

Latvijas Lauksaimniecības universitāte
Veterinārmedicīnas fakultāte
Preklīniskais institūts



Sintija Jonova 

promocijas darbs

**TOPINAMBŪRA KONCENTRĀTA UN TĀ KOMBINĀCIJAS AR
SACCHAROMYCES CEREVISIAE IETEKME UZ TEĻU POSTNATĀLO
ATTĪSTĪBU**

***THE EFFECT OF JERUSALEM ARTICHOKE CONCENTRATE AND ITS
COMBINATION WITH SACCHAROMYCES CEREVISIAE ON THE
POSTNATAL DEVELOPMENT OF CALVES***

Zinātniskā doktora grāda (*Ph.D.*) iegūšanai
Veterinārmedicīnas zinātnē

Promocijas darba zinātniskā vadītāja
Profesore, *Dr.med.vet.* **Aija Ilgaža**

Promocijas darba autore

Jelgava 2022

Promocijas darbs izstrādāts

Saldus novada, Jaunlutriņu pagasta z/s "Ratenieki"; Latvijas Lauksaimniecības universitātes Veterinārmedicīnas fakultātes Preklīniskajā institūtā; Latvijas Lauksaimniecības universitātes Biotehnoloģiju zinātniskajā laboratorijā un Molekulārās bioloģijas un mikrobioloģijas nodaļā; Latvijas Lauksaimniecības universitātes Veterinārās klīnikas laboratorijā; Latvijas Lauksaimniecības universitātes Veterinārmedicīnas fakultātes Preklīniskā institūta Salīdzinošās patoloģijas laboratorijā un Pārtikas drošības, dzīvnieku veselības un vides zinātniskajā institūtā "BIOR" no 2016. gada līdz 2021. gadam.

Promocijas darba zinātniskā vadītāja

Profesore, *Dr.vet.med.* **Aija Ilgaža**

Oficiālie recenzenti

- *Dr.med.vet.* **Anda Valdovska** – Latvijas Zinātnes padomes korespondētājlocekle, Latvijas Lauksaimniecības universitātes profesore
- *Dr.med.vet.* **Ruta Medne** – Latvijas Zinātnes padomes eksperte, vadošā pētniece Pārtikas drošības, dzīvnieku veselības un vides zinātniskajā institūtā "BIOR", Latvijas Lauksaimniecības universitātes docente
- *M.D., D.M.Sci.* **Piret Hussar** – Tartu universitātes, Igaunijas Dzīvības zinātņu universitātes asociētā profesore

Promocijas darba aizstāvēšana notiks 2022. gada 9. septembrī, pulksten 13:00, LLU Veterinārmedicīnas fakultātē, Jelgavā, K. Helmaņa ielā 8, A 300 auditorijā.

The defense of this thesis will take place at Latvia University of Life Sciences and Technologies Faculty of Veterinary Medicine, Jelgava, K. Helmaņa Street 8, auditorium No A 300, on 9th of September, 2022, at 13:00 o'clock.

AgroBioRes

Promocijas darbs izstrādāts ar projekta Valsts pētījumu programmas AGROBIORES "Lauksaimniecības resursi ilgtspējīgai kvalitatīvas un veselīgas pārtikas ražošanai Latvijā" Projekts Nr.3 Vietējās izcelsmes slaucamo govju un cūku saimnieciski nozīmīgo pazīmju ģenētiskā izpēte kvalitatīvu pārtikas produktu ražošanai un dabīgas izcelsmes barības sastāvdaļu izstrāde un pārbaude (Lopkopība) (2014 – 2018) atbalstu

ANOTĀCIJA

Sintijas Jonovas promocijas darbs “Topinambūra koncentrāta un tā kombinācijas ar *Saccharomyces cerevisiae* ietekme uz teļu postnatālo attīstību” izstrādāts: Saldus novada, Jaunlutriņu pagasta z/s “Ratenieki”; Latvijas Lauksaimniecības universitātes Veterinārmedicīnas fakultātes Preklīniskajā institūtā; Latvijas Lauksaimniecības universitātes Biotehnoloģiju zinātniskajā laboratorijā un Molekulārās bioloģijas un mikrobioloģijas nodaļā; Latvijas Lauksaimniecības universitātes Veterinārās klīnikas laboratorijā; Latvijas Lauksaimniecības universitātes Veterinārmedicīnas fakultātes Preklīniskā institūta Salīdzinošās patoloģijas laboratorijā un Pārtikas drošības, dzīvnieku veselības un vides zinātniskajā institūtā no 2016. līdz 2021. gadam.

Pētījuma mērķis un uzdevumi

Darba mērķis ir noskaidrot topinambūra koncentrāta un tā sinbiotikas ar raugu (*Saccharomyces cerevisiae* celms 1026) izbarošanas ietekmi uz teļu veselības stāvokli un augšanu, gremošanas kanāla morfofunkcionālo attīstību, kā arī metanogēnēzi spureklī un resnajā zarnā pārejas periodā no piena uz tilpumainās barības izbarošanu.

Darba uzdevumi

1. Izpētīt, kā topinambūra koncentrāta un sinbiotikas (topinambūra koncentrāts un raugs *Saccharomyces cerevisiae*) izbarošana ietekmē veselības stāvokli, dzīvības pieaugumu un ekonomisko ieguvumu, kā arī izsalkuma un sāta sajūtu teļiem no 4 līdz 14 nedēļu vecumam.
2. Noskaidrot 56 dienu ilgā pētījumā iekļauto barības piedevu izbarošanas ietekmi uz dažādu gremošanas kanāla daļu (spurekļa, glumenieka, tievās un resnās zarnas) morfofunkcionālo attīstību pārejas periodā no piena uz tilpumainās barības izbarošanu.
3. Izvērtēt topinambūra koncentrāta un sinbiotikas izbarošanas ietekmi uz kopējo prokariotu, tai skaitā, metanogēno mikroorganismu daudzumu 13 – 14 nedēļu vecu teļu spureklī un resnajā zarnā.
4. Noteikt pētījumā iekļauto barības piedevu izbarošanas ietekmi uz metāna (CH₄) un oglekļa dioksīda (CO₂) daudzumu spureklī 4 – 14 nedēļu veciem teļiem.

Personīgais ieguldījums: veicu pētījumā iekļauto dzīvnieku veselības stāvokļa novērtēšanu, nosakot sirdsdarbības frekvenci, elpošanas frekvenci, ķermeņa temperatūru, izvērtējot fekāliju konsistenci un izanalizējot iegūto asins paraugu hematoloģiskos un bioķīmiskos rādītājus, kā arī veicu dzīvnieku mērīšanu, ieguvu spurekļa šķidruma un gāzes paraugus, mērīju dažādu gremošanas kanāla daļu satura pH, noteicu daudzkameru kuņģa dažādo nodalījumu masu, ieguvu nepieciešamos paraugus gremošanas kanāla struktūru histoloģiskajai analīzei (veicu paraugu fiksāciju, piegriešanu, ievietošanu histoloģijas paraugu kasetēs), veicu histoloģisko paraugu mikroskopisko izmeklēšanu, kā arī visu iegūto rezultātu analīzi, prezentēšanu konferencēs un publicēšanu.

Darbs strukturēts piecās nodaļās – ievads, literatūras apskats, materiāls un metodes, pētījuma rezultāti un diskusija. Literatūras sarakstā ietverti 372 informācijas avoti.

Pētījumā kopā izmantoti 15 Holšteinas melnraibās un sarkanraibās šķirnes krustojuma abu dzimumu 32±4 dienas veci teļi.

Pētīta topinambūra koncentrāta (12 g), kas satur 48.5 – 50.1% prebiotiku inulīnu (turpmāk tekstā 6 g) un sinbiotikas (12 g topinambūra koncentrāts ar 5 g *S.cerevisiae* rauga celmu 1026) izbarošanas ietekme uz: veselības stāvokli; dzīvības pieauguma dinamiku; gremošanas kanāla

morfofunkcionālo attīstību; izsalkuma un sāta sajūtu, metanogēno mikroorganismu daudzumu spureklī un fekālijās; CH₄ un CO₂ produkciju spureklī teļiem no 4 līdz 14 nedēļu vecumam.

Darbā analizēti šādi parametri: teļu veselības stāvokli raksturojošie pamatrādītāji (sirdsdarbības frekvence, elpošanas frekvence, ķermeņa temperatūra, fekāliju konsistence, hematoloģiskie un asins seruma bioķīmiskie rādītāji); teļu dzīvmasa noteiktās pētījuma dienās un dzīvmasas izmaiņas; grelīna imūnreaktīvo šūnu daudzums glumeniekā un zarnās; iekšējās vides pH dažādās gremošanas kanāla daļās *post-mortem*; priekškuņģu, glumenieka un visa kuņģa absolūtā un relatīvā masa; spurekļa, glumenieka, tievās un resnās zarnas mikromorfometriskie parametri; kopējais prokariotu, kopējais metanogēnu un atsevišķu metanogēnu sugu daudzums spureklī un fekālijās; producētā CH₄ un CO₂ daudzums spureklī un šo gāzu daudzums uz 1 kg dzīvmasas.

Promocijas darba pētījumā izmantoto barības piedevu izbarošana teļiem sākot no 4 līdz 14 nedēļu vecumam neietekmēja veselības stāvokli, jo fizioloģiskie pamatrādītāji, fekāliju konsistence, kā arī visi noteiktie hematoloģiskie un bioķīmiskie asins rādītāji iekļāvās teļu vecumam atbilstošajās normu robežās. Konstatēts, ka topinambūra koncentrāts devā 12 g, kas satur 6 g prebiotiku inulīnu un sinbiotika (12 g topinambūra koncentrāts kombinācijā ar 5 g *S.cerevisiae* rauga celmu 1026) būtiski uzlabo teļu dzīvmasas pieaugumu, kā arī veicina teļu dažādu gremošanas kanāla struktūru morfoloģisko attīstību, bet neietekmēja daudzkameru kuņģa un tā atsevišķu daļu masu un relatīvo masu. Teļu grupām, kurām papildus pie barības tika izbarotas barības piedevas, glumenieka fundālo dziedzeru zonā tika novērots būtiski mazāks grelīna imūnreaktīvo šūnu skaits, bet glumenieka pilorisko dziedzeru zonā, divpadsmitpirkstu un tukšās zarnas vidusdaļā šo šūnu skaits bija bez būtiskām atšķirībām starp grupām. Topinambūra koncentrāts devā 12 g uz teļu dienā, būtiski neietekmēja spurekļa satura pH *post-mortem*, bet sinbiotikas teļu grupas spurekļa pH rezultāti bija būtiski zemāki nekā teļu grupai, kura saņēma 12 g topinambūra koncentrātu. Arī tievajā un resnajā zarnā tika novērotas būtiskas satura pH atšķirības starp grupām, kuras saņēma barības piedevas un kontroles grupas teļiem. Izbarotās barības piedevas neietekmēja metanogēnu *Methanospaera stadtmannae*, *Methanobrevibacter ruminantium* un *Methanobrevibacter smithii* sastopamību teļu spurekļa šķidrumā un fekālijās, bet teļu grupai, kurai izbaroja 12 g topinambūra koncentrātu, kopējo prokariotu sastopamība spurekļa šķidrumā bija būtiski lielāka nekā sinbiotikas grupai, savukārt kopējo metanogēnu sastopamības biežums spurekļa šķidrumā šīs grupas teļiem bija būtiski mazāks nekā sinbiotikas grupas teļiem. Topinambūra koncentrāta (12 g) izbarošana veicina CH₄ un CO₂ gāzu producēšanu teļu spureklī, bet tā kombinācijas ar 5 g *S.cerevisiae* rauga celmu 1026 izbarošana būtiski samazina šo gāzu produkciju teļu spureklī.

Darba nobeigumā formulēti 7 secinājumi un 3 ieteikumi praksei.

Promocijas darbs noformēts 122 lappusēs, 18 tabulās, 27 attēlos, kā arī pievienoti 3 pielikumi.

ANNOTATION

Sintija Jonova's doctoral thesis "The effect of Jerusalem artichoke concentrate and its combination with *Saccharomyces cerevisiae* on the postnatal development of calves" was developed at: Saldus region, Jaunlutriņi parish, farm "Ratenieki"; Latvia University of Life Sciences and Technologies, Faculty of Veterinary Medicine, Preclinical Institute; Latvia University of Life Sciences and Technologies, Research Laboratory of Biotechnology, Division of Molecular Biology and Microbiology; Laboratory of the Veterinary Clinic of Latvia University of Life Sciences and Technologies; Latvia University of Life Sciences and Technologies, Faculty of Veterinary Medicine, Laboratory of Comparative Pathology of the Preclinical Institute and Institute of Food Safety Animal health and Environment "BIOR" from 2016 to 2021.

The aim and objectives of the study

The aim of this study was to determine the effects of feeding Jerusalem artichoke concentrate and its synbiotic with yeast (*Saccharomyces cerevisiae* strain 1026) on the health status and growth of calves, the morphofunctional development of the digestive tract, as well as methanogenesis in the rumen and large intestine during the transition from milk to solid feed.

Objectives of the study

1. To study how the feeding of Jerusalem artichoke concentrate and synbiotic (Jerusalem artichoke concentrate and yeast *Saccharomyces cerevisiae*) can affect the health status, weight gain and economic benefits, as well as hunger and satiety in calves from 4 to 14 weeks of age.
2. To determine the effect of feeding the feed additives included in the 56-day study on the morphofunctional development of different parts of the digestive tract (rumen, abomasum, small and large intestine) during the transition from milk to solid feeding.
3. To evaluate the effect of Jerusalem artichoke concentrate and synbiotic feeding on the total amount of prokaryotes, including methanogenic microorganisms in the rumen and large intestine of 13 – 14-week-old calves.
4. To determine the effect of feeding the feed additives on the amounts of methane (CH₄) and carbon dioxide (CO₂) in the rumen of 4 – 14-week-old calves.

The personal contributions are as follows: I performed an assessment of the animal health status, measuring the heart rate, respiratory rate, body temperature, evaluating the consistency of the faecal matter and analysing the haematological and biochemical parameters of the blood samples obtained. I also measured the animals, obtained rumen fluid and gas samples, measured the pH of the contents of different parts of the digestive canal, determined the mass of the various compartments of the multi-chambered stomach, obtained the necessary samples for histological analysis of the digestive canal structures (fixation, cutting, insertion in histology sample cassettes), conducted the microscopic examination of histological samples and analysed, presented and published the obtained results.

The doctoral thesis is structured in five chapters: introduction, literature review, material and methods, research results and discussion. References contain 372 sources from the scientific literature.

In the study, a total of 15 32±4-day old calves of both sexes of the Holstein Friesian black and white and red crossbreed were used.

The effect of feeding Jerusalem artichoke concentrate (12 g) containing 48.5 – 50.1% of prebiotic inulin (hereinafter 6 g) and synbiotics (12 g Jerusalem artichoke concentrate with 5 g of *S.cerevisiae* yeast strain 1026) on: health status; live weight gain dynamics;

morphofunctional development of the digestive tract; hunger and satiety, the amount of methanogenic microorganisms in the rumen and faeces; CH₄ and CO₂ production in the rumen of calves from 4 to 14 weeks of age.

The following parameters were analysed in the study: basic health indicators of calves (heart rate, respiration rate, body temperature, fecal consistency, haematological and blood serum biochemical parameters); live weight of calves on specific study days and changes in live weight; the amount of ghrelin-immunoreactive cells in the abomasum and intestines; the pH of the internal environment in different parts of the digestive tract *post-mortem*; the absolute and relative mass of the forestomach, abomasum and entire stomach; micromorphometric parameters of the rumen, abomasum, small and large intestine; the total amount of prokaryotes, total methanogens and individual methanogenic species in the rumen and faeces; the amount of CH₄ and CO₂ produced in the rumen and the amount of these gases per kg of live weight.

Feeding of the feed additives used in the dissertation study to calves from 4 to 14 weeks of age did not affect health status, as the basic physiological parameters, faecal consistency, as well as all determined haematological and biochemical blood parameters were within the age limits of the calves. Jerusalem artichoke concentrate at a dose of 12 g, which contains 6 g of the prebiotic inulin and synbiotic (12 g Jerusalem artichoke concentrate in combination with 5 g of *S.cerevisiae* yeast strain 1026) has been found to significantly improve calf live weight gain and promote the morphological development of different digestive canal structures, but did not affect the mass and relative mass of the multi-chamber stomach and its parts. Groups of calves fed feed supplements had significantly lower numbers of ghrelin-immunoreactive cells in the fundic region of the abomasum, but in the pyloric region of the abomasum, in the middle of the duodenum and jejunum, the number of these cells was not significantly different between the groups. Jerusalem artichoke concentrate at a dose of 12 g per calf per day did not significantly affect the rumen pH *post-mortem*, but the rumen pH results of the synbiotic calf group were significantly lower than those of the calf group that received 12 g of Jerusalem artichoke concentrate. Significant differences in pH level were also observed in the small and large intestine between the groups receiving the feed supplements and the control group of calves. Feed additives did not affect the incidence of methanogens *Methanosphaera stadtmanae*, *Methanobrevibacter ruminantium* and *Methanobrevibacter smithii* in calf rumen fluid and faeces, but the incidence of total prokaryotes in the rumen were significantly higher in the group of calves fed 12 g of Jerusalem artichoke concentrate than in the synbiotic group, while the incidence of total methanogens in the rumen was significantly lower than in calves of the synbiotic group. The feeding of Jerusalem artichoke concentrate (12 g) promotes the production of CH₄ and CO₂ gases in the calf's rumen, but feeding it in combination with 5 g of *S.cerevisiae* strain 1026 significantly reduces the production of these gases in the calf's rumen.

There are 7 conclusions formulated in the conclusion part and 3 recommendations for practice.

The doctoral thesis comprises 122 pages, 18 tables, 27 figures, and 3 appendices.

SATURS

ANOTĀCIJA.....	3
ANNOTATION.....	5
Darbā iekļauto tabulu saraksts.....	9
Darbā iekļauto attēlu saraksts.....	10
Darbā izmantotie saīsinājumi.....	12
IEVADS.....	13
1. LITERATŪRAS APSKATS.....	17
1.1. Teļu gremošanas kanāla postnatālā attīstība.....	17
1.1.1. Gremošanas kanāla morfofunkcionālā attīstība.....	17
1.1.2. Gremošanas kanāla postnatālā mikrobiālā kolonizācija.....	23
1.2. Teļu hematoloģisko un bioķīmisko asins rādītāju izmaiņas postnatālās attīstība laikā.....	25
1.3. Metanoģenēze atgremotāju gremošanas kanālā.....	28
1.3.1. Metanogēnie mikroorganismi spurekļa un resnās zarnas saturā.....	29
1.3.2. Metanoģenēzē iesaistīto gāzu nozīme <i>siltumnīcas efekta</i> procesos.....	30
1.3.3. Metanoģenēzes procesa samazināšanas iespējas.....	31
1.4. Bioloģiskas izcelsmes barības piedevas (prebiotikas, probiotikas, sinbiotikas).....	32
1.4.1. Prebiotiku, t.sk., inulīna ietekme uz atgremotāju veselības stāvokli, augšanu un gremošanas kanāla attīstību.....	33
1.4.2. Probiotiku, t.sk., rauga <i>Saccharomyces cerevisiae</i> ietekme uz atgremotāju veselības stāvokli, augšanu un gremošanas kanāla attīstību.....	35
Literatūras apskata kopsavilkums.....	38
2. MATERIĀLS UN METODES.....	40
2.1. Pētījuma laiks, objekts, raksturojums, pētījuma shēma.....	40
2.2. Teļu veselības stāvokļa novērtēšana.....	43
2.3. Teļu dzīvības noteikšana.....	43
2.4. Spurekļa gāzu paraugu iegūšana un metāna, oglekļa dioksīda daudzuma noteikšana.....	43
2.5. Spurekļa šķidruma un fekāliju paraugu iegūšana.....	44
2.6. Kopējo prokariotu, metanogēnu un atsevišķu metanogēnu sugu noteikšana spurekļa šķidruma un fekāliju paraugos.....	45
2.7. Barības piedevu izbarošanas ekonomiskā ieguvuma izvērtējums.....	46
2.8. Iekšējās vides pH noteikšana dažādās gremošanas kanāla daļās (<i>post-mortem</i>).....	47
2.9. Daudzkameru kuņģa masas noteikšana.....	48
2.10. Dažādu gremošanas kanāla daļu histoloģisko paraugu iegūšana un izmeklēšana.....	49
2.11. Imūnhistoķīmiskās krāsošanas izmantošana grelīna IR šūnu skaita noteikšanai glumenieka un tievo zarnu histoloģiskajos paraugos.....	55
2.12. Datu statistiskā analīze.....	56
3. REZULTĀTI.....	57
3.1. Topinambūra koncentrāta un tā kombinācijas ar rauga <i>S.cerevisiae</i> celma 1026 izbarošanas ietekme uz teļu veselības stāvokli.....	57
3.2. Topinambūra koncentrāta un tā sinbiotikas ar <i>S.cerevisiae</i> rauga celmu 1026 izbarošanas ietekme uz teļu dzīvības pieaugumu un ekonomiskā ieguvuma izvērtējums.....	62
3.3. Izbaroto barības piedevu ietekme uz grelīna imūnreaktīvo šūnu skaitu dažādās gremošanas kanāla daļās.....	65
3.4. Topinambūra koncentrāta un tā kombinācijas ar raugu izbarošanas ietekme uz iekšējās vides pH dažādās gremošanas kanāla daļās (<i>post-mortem</i>).....	67
3.5. Daudzkameru kuņģa masas analīze pēc 56 dienu ilgas barības piedevu izbarošanas teļiem 13 – 14 nedēļu vecumā.....	68

3.6. Dažādu gremošanas kanāla daļu histoloģisko paraugu izmeklēšanas rezultāti pēc 56 dienu ilgas barības piedevu izbarošanas teļiem 13 – 14 nedēļu vecumā.....	69
3.7. Izbaroto barības piedevu ietekme uz kopējiem prokariotiem, metanogēniem un atsevišķām metanogēnu sugām spureklā šķidrumā un fekālijās	73
3.8. Topinambūra koncentrāta un tā sinbiotikas ar raugu izbarošanas ietekme uz producētā metāna un oglekļa dioksīda daudzumu spureklī.....	74
4. DISKUSIJA	77
4.1. Topinambūra koncentrāta un tā sinbiotikas ar raugu <i>S.cerevisiae</i> izbarošanas ietekme uz hematoloģiskajiem un bioķīmiskajiem asins rādītājiem	77
4.2. Barības piedevu ietekme uz teļu dzīvības izmaiņām	81
4.3. Grelīna imūnreaktīvo šūnu skaits 13 – 14 nedēļu vecu teļu gremošanas kanālā atkarībā no izbarotajām barības piedevām	83
4.4. Iekšējās vides pH izmaiņas teļiem dažādās gremošanas kanāla daļās atkarībā no izbarotajām barības piedevām (<i>post-mortem</i>)	84
4.5. Topinambūra koncentrāta un tā sinbiotikas ar raugu izbarošanas ietekme uz gremošanas kanāla atsevišķu daļu attīstību teļiem 13 – 14 nedēļu vecumā.....	86
4.6. Topinambūra koncentrāta ar tā sastāvā esošo prebiotiku inulīnu un <i>S.cerevisiae</i> rauga celma 1026 izbarošanas ietekme uz metanogēnajiem mikroorganismiem un spureklī producētā CH ₄ un CO ₂ daudzumu teļiem	88
Diskusijas kopsavilkums	92
SECINĀJUMI	95
IETEIKUMI PRAKSEI	96
LITERATŪRAS SARAKSTS	97
PIELIKUMI.....	123

Darbā iekļauto tabulu saraksts

Nr.	Nosaukums	Lpp.
2.1.	Saimniecībā teļu barošanā izmantoto barības līdzekļu ķīmiskais sastāvs	40-41
3.1.	Pētījumā iekļauto barības piedevu izbarošanas ietekme uz fizioloģiskajiem pamatrādītājiem 4 – 14 nedēļas veciem teļiem	57
3.2.	Topinambūra koncentrāta vai tā kombinācijas ar raugu ietekme uz fekāliju konsistenci teļiem pētījuma 1., 28. un 56. dienā	58
3.3.	Topinambūra koncentrāta vai tā kombinācijas ar raugu ietekme uz hematoloģiskajiem rādītājiem teļiem pētījuma 1., 28. un 56. dienā	59
3.4.	Topinambūra koncentrāta vai tā kombinācijas ar raugu ietekme uz atsevišķiem asins bioķīmiskajiem rādītājiem teļiem pētījuma 1., 28. un 56. dienā	61
3.5.	Vidējais diennakts dzīvmasas pieaugums (kg) dažādos pētījuma posmos teļu grupām, kas saņēma pētījumā iekļautās barības piedevas un kontroles grupai	64
3.6.	Pētījumā iekļauto barības piedevu ekonomiskā ieguvuma izvērtējums pēc 56 dienu ilgas izbarošanas teļiem	64
3.7.	Grelīna imūnreaktīvo pozitīvo šūnu skaits 1 mm ² teļiem glumeniekā un zarnās pēc 56 dienu ilgas topinambūra koncentrāta un tā sinbiotikas ar raugu <i>S.cerevisiae</i> izbarošanas	67
3.8.	Barības piedevu izbarošanas ietekme uz skābju-sārmu līdzsvaru (pH) dažādu gremošanas kanāla daļu saturā 13 – 14 nedēļas veciem teļiem (<i>post-mortem</i>)	68
3.9.	Topinambūra koncentrāta un tā sinbiotikas ar raugu 56 dienas ilgas izbarošanas ietekme uz visa kuņģa un tā dažādo nodalījumu masu 13 – 14 nedēļas veciem teļiem	69
3.10.	Topinambūra koncentrāta un tā sinbiotikas ar raugu 56 dienas ilgas izbarošanas ietekme uz dažādu kuņģa nodalījumu relatīvo masu (% no dzīvmasas) 13 – 14 nedēļas veciem teļiem	69
3.11.	Pētījumā iekļauto barības piedevu izbarošanas ietekme uz spurekļa kārpīņu un epitēlija dažādu histoloģisko parametru lielumu 13 – 14 nedēļas veciem teļiem	70
3.12.	Barības piedevu izbarošanas ietekme uz glumenieka dziedzeru zonu gļotādas biezumu 13 – 14 nedēļas veciem teļiem	71
3.13.	Barības piedevu 56 dienu ilgas izbarošanas ietekme uz zarnu atsevišķu histoloģisko parametru attīstību 13 – 14 nedēļas veciem teļiem	72
3.14.	Prebiotikas un sinbiotikas izbarošanas ietekme uz analizēto praimeru sekvenču daudzumu 13 – 14 nedēļu vecu teļu spurekļa šķidrums un fekāliju paraugos	73
3.15.	Prebiotikas un sinbiotikas izbarošanas ietekme uz metāna (CH ₄) un oglekļa dioksīda (CO ₂) daudzumu teļu spurekļa gāzē	75
3.16.	Barības piedevu izbarošanas ietekme uz vidējo metāna (CH ₄) daudzumu teļu spureklī rēķinot uz 1 kg dzīvmasas	76
3.17.	Barības piedevu izbarošanas ietekme uz vidējo oglekļa dioksīda (CO ₂) daudzumu teļu spureklī rēķinot uz 1 kg dzīvmasas	76

Darbā iekļauto attēlu saraksts

Nr.	Nosaukums	Lpp.
1.1.	Jaundzimuša teļa un pieaugušas govys kuņģa nodalījumu tilpumu procentuālās attiecības	17
1.2.	Spurekļa kārpiņu (<i>papillae ruminis</i>) variācijas klīniski veselām govīm	18
1.3.	Slēgtā (A) un atvērta (B) tipa greļina šūnu shematiskais attēlojums	21
1.4.	Greļina un leptīna regulācija organismā pirms un pēc ēšanas	22
2.1.	Kopējā pētījuma shēma	42
2.2.	Spurekļa gāzu parauga iegūšanas tehnika teļu fiksējot guļus pozīcijā uz labā sāna	44
2.3.	Govs galvas shematiskais šķēsgriezums ar atzīmētu pH mērīšanas vietu mutes dobumā zem mēles saknes (1)	47
2.4.	Govs daudzkameru kuņģis no labās puses, pH mērījumu veikšanas vietas	47
2.5.	Govs zarnas no kreisās puses, pH mērījumu veikšanas vietas	48
2.6.	Histoloģisko paraugu iegūšanas vietas no spurekļa (<i>rumen</i>) un glumenieka (<i>abomasum</i>)	49
2.7.	Dažādu zarnu histoloģisko paraugu iegūšanas vietas	49
2.8.	Spurekļa kārpiņu (<i>papillae ruminis</i>) garuma un platuma mērīšanas tehnika, H&E, 40x	50
2.9.	Spurekļa visa epitēlija un epitēlija pārragotās kārtas (<i>stratum corneum</i>) biezuma mērīšanas tehnika, H&E, 400x	51
2.10.	Glumenieka kardiālo dziedzeru zonas (<i>abomasum pars cardiaca</i>) gļotādas biezuma mērīšanas tehnika, H&E, 100x	51
2.11.	Glumenieka fundālo dziedzeru zonas (<i>abomasum pars fundalis</i>) gļotādas biezuma mērīšanas tehnika, H&E, 100x	52
2.12.	Glumenieka pilorisko dziedzeru zonas (<i>abomasum pars pylorica</i>) gļotādas biezuma mērīšanas tehnika, H&E, 100x	52
2.13.	Divpadsmitpirkstu zarnas (<i>duodenum</i>) vidusdaļas gļotādas biezuma un visas zarnu sienas biezuma mērīšanas tehnika, H&E, 40x	53
2.14.	Tukšās zarnas (<i>jejunum</i>) vidusdaļas gļotādas biezuma un visas zarnu sienas biezuma mērīšanas tehnika, H&E, 40x	53
2.15.	Tukšās zarnas (<i>jejunum</i>) beigu daļas gļotādas biezuma un visas zarnu sienas biezuma mērīšanas tehnika, H&E, 40x	53
2.16.	Gūžas zarnas (<i>ileum</i>) vidusdaļas gļotādas biezuma un visas zarnu sienas biezuma mērīšanas tehnika, H&E, 40x	54
2.17.	Lokzarnas (<i>colon</i>) vidusdaļas kriptu dziļuma un visas zarnu sienas biezuma mērīšanas tehnika, H&E, 40x	54
3.1.	Teļu dzīvmasa (kg) 1., 28. un 56. pētījuma dienā prebiotikas, sinbiotikas un kontroles grupā ($\bar{x} \pm SE$, 95%)	62
3.2.	Teļu dzīvmasas (kg) izmaiņas dažādos pētījuma posmos (no 1. līdz 28., no 28. – 56. un 1. – 56. dienai) kontroles grupai un grupām, kas saņēma pētījumā iekļautās barības piedevas ($\bar{x} \pm SE$, 95%)	63
3.3.	Glumenieka pilorisko dziedzeru zona (<i>abomasum pars pylorica</i>) 13 nedēļas vecam kontroles grupas teļam – greļina IR+ šūnas netiek novērotas (DAB + hematoksilīns, 400x)	65
3.4.	Greļina IR+ šūnas (bultiņas) 13 nedēļas vecam teļam no kontroles grupas glumenieka fundālo dziedzeru zonā (<i>abomasum pars fundalis</i>) (DAB + hematoksilīns, 400x)	66

Nr.	Nosaukums	Lpp.
3.5.	Grelīna IR+ šūna (bultiņa) 13 nedēļu vecam teļam no kontroles grupas divpadsmitpirkstu zarnas (<i>duodenum</i>) vidusdaļā (DAB + hematoksilīns, 400x)	66
3.6.	Tukšās zarnas (<i>jejunum</i>) vidusdaļa 13 nedēļu vecam teļam no prebiotikas grupas – grelīna IR+ šūnas netiek novērotas (DAB + hematoksilīns, 400x)	67

Darbā izmantotie saīsinājumi

Saīsinājums/ <i>abbreviation</i>	Skaidrojums latviski/ <i>in Latvian</i>	Skaidrojums angliiski/ <i>in English</i>
A	Austrumi	East
ANOVA	Dispersijas analīze	Analysis of variance
ASAT	Asparāta aminoskābes transferāze	Aspartate aminotransferase
CoG	Kontroles grupa	Control group
CREA	Kreatinīns	Creatinine
DAB	Diaminobenzidīns	Diaminobenzidine
FOS	Fruktooligosaharīdi	Fructooligosaccharides
GGT	Gamma-glutamyltransferāze	Gamma-glutamyltransferase
GOS	Galaktooligosaharīdi	Galactooligosaccharides
H&E	Hematoksilīns un eozīns	Hematoxylin and eosin
IPCC	Klimata pārmaiņu starpvaldību padome	Intergovernmental Panel on Climate Change
IQR	Starpkvartīļu intervāls	Inter quartile range
IR	Imūnreaktīvā šūna	Immunoreactive cell
IR+	Imūnreaktīvā pozitīvā šūna	Immunoreactive positive cell
IU	Starptautiskās vienības	International Units
KVV	Koloniju veidojoša vienība	Colony forming unit
K-W tests	Kruskala-Valisa H tests	Kruskal-Wallis H test
Me	Mediāna	Median
MOS	Mannānoligosaharīdi	Mannan-oligosaccharides
p	p-vērtība	p-value
pH	Ūdeņraža jonu koncentrācijas negatīvais logaritms	The negative logarithm of the hydrogen ion concentration
PreG	Prebiotikas grupa	Prebiotic group
Q1-Q3	1.-3.kvartīlis	Quartile1-Quartile3
SD	Standartnovirze	Standard deviation
SE	Standartklūda	Standard error
SynG	Sinbiotikas grupa	Synbiotic group
TP	Kopējais proteīns	Total protein
UREA	Urīnviela	Blood urea nitrogen
VVP	Valsts Pētījumu Programma	State Research Programme
$\bar{x}$	Vidējais aritmētiskais	Mean
Z	Ziemeļi	North

IEVADS

Pārejas periods no piena izbarošanas uz tilpumainās barības izbarošanu teļu dzīvē ir saistīts ar dažādām fizioloģiskām un anatomiskām izmaiņām gremošanas kanālā. Tajā notiek straujas mikrobiālas un strukturālas pārmaiņas. Šis periods dzīvniekiem rada papildus stresu un var veicināt dažādu infekcijas slimību attīstību, kas var negatīvi ietekmēt teļu augšanu un attīstību (Meale et al., 2017).

Jaundzimušo atgremotāju spurekļa mikrobiālā kolonizācija ir īpaši nozīmīga spurekļa fizioloģiskajā attīstībā (Fonty et al., 1988). Spureklī no mikroorganismiem visvairāk novēro baktērijas, kam seko viensūņi, metanogēni un sēnes. Straujš mikrobiālās populācijas daudzveidīguma pieaugums pirms piena izbarošanas perioda beigām veicina ātrāku spurekļa funkcionālo attīstību un uzlabo produktivitāti. Spurekļa mikrobioma daudzveidība ir nepieciešama normālai spurekļa fizioloģiskai attīstībai un tilpumainās barības pārstrādei (Li et al., 2012). Mikrobiālās fermentācijas procesu rezultātā spureklī un arī resnajā zarnā veidojas dažādas gāzes, tai skaitā oglekļa dioksīds (CO₂) un metāns (CH₄) (Öztürk, 2007). Spureklī metanogēnēzes procesa rezultātā producētais CH₄ ietekmē dzīvnieku produktivitāti (GHGMP, 2005), radot enerģijas zudumus līdz pat 15% (Hegarty, 2002; Giger-Reverdin et al., 1998). Metāns tiek minēts arī kā viena no galvenajām gāzēm, kas paaugstina globālo temperatūru (Hansen et al., 2007). No lauksaimniecības nozares siltumnīcas efektu izraisošo gāzu emisijas, īpaši liellopiem, ir atraugu un zarnu gāzu veidā (Muñoz et al., 2012; Murray et al., 1999).

Spureklī un zarnās producētās gāzes un gaistošās taukskābes ietekmē vides pH. Spurekļa iekšējās vides pH un gaistošo taukskābju koncentrācija atgremotājiem ir būtiski fermentācijas aktivitātes rādītāji, kas atspoguļo spurekļa funkcijas (Feng et al., 2020), ietekmē barības uzņemšanu, mikrobiālo vielmaiņu un barības vielu noārdīšanu (Wang, 2012), kā arī ietekmē spurekļa anatomisko attīstību (Thompson et al., 2006). Teļu augšanā un attīstībā piedalās arī nozīmīgs hormons greļīns, kas ne tikai veicina augšanas hormona izdalīšanos no hipofīzes, bet arī piedalās apetītes regulēšanā (Solomis, Korbonits, 2014; Kojima et al., 1999).

Mūsdienās, strauji attīstoties piena lopkopībai, pieaug nepieciešamība pēc tādu teļu iegūšanas, kas ir veselīgāki, ar labākiem augšanas rādītājiem un augstāku produktivitāti. Nereti to vēlas panākt ar antibiotiku profilaktisku pielietošanu. Tomēr Eiropas Savienības valstīs kopš 2006. gada 1. janvāra antibiotiku lietošana dzīvniekiem slimību profilaksei un produktivitātes paaugstināšanai ir aizliegta¹.

Kā iespējamie alternatīvie līdzekļi ar šādām īpašībām ir prebiotikas, probiotikas un abu šo vielu kombinācija – sinbiotikas. Šo piedevu būtiskākā ietekme ir uz gremošanas kanāla mikrofloru. Tiek veicināta organismam labvēlīgo mikroorganismu augšana un vairošanās. Tas, savukārt, atstāj pozitīvu efektu uz visu organismu: dzīvniekiem novēro labāku dzīvības pieaugumu, mazāku patogēno mikroorganismu daudzumu gremošanas kanālā (Martínez et al., 2014; Gibson, Roberfroid, 1995), tiek veicināta spurekļa un zarnu strukturālā un funkcionālā attīstība (Samal, Behura, 2015; Brewer et al., 2014; Ghosh, Mehla, 2012; Heinrichs et al., 2009; Lesmeister et al., 2004), kā arī šīs barības piedevas var samazināt metāna produkciju spureklī (Zhou et al., 2004).

Uzsākot šo pētījumu, vēlējamies noskaidrot Latvijā ražota topinambūra koncentrāta, kura sastāvā prebiotika inulīns sasniedz 48.5 – 50.1%, un tā sinbiotikas ar raugu (*Saccharomyces cerevisiae* (*S.cerevisiae*) celmu 1026) ietekmi uz teļu veselības stāvokli, gremošanas kanāla anatomisko, histoloģisko un funkcionālo attīstību, kā arī teļu augšanu un metanogēni teļu spureklī un resnajā zarnā tiem fizioloģiski nozīmīgā periodā, kļūstot par pilnvērtīgiem atgremotājiem.

¹ Eiropas Parlamenta un Padomes Regula (EK) Nr. 1831/2003 Eiropas Parlamenta un Padomes Regula (EK) Nr. 1831/2003 (2003. gada 22. septembris) par dzīvnieku ēdināšanā lietotām piedevām. [Tiešsaiste] [skatīts 2016. gada 20. septembrī].

Pieejams: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LV/TXT/PDF/?uri=CELEX:32003R1831&from=en>

Sākot pētījumus, tika izvirzīta sekojošas **aizstāvamās tēzes**

1. Topinambūra koncentrāta (inulīna saturs 48.5 – 50.1%) un tā kombinācijas ar raugu *S.cerevisiae* (celms 1026) izbarošana uzlabo teļu veselības stāvokli, veicina teļu dzīvmasas pieaugumu un samazina greļina imūnreaktīvo šūnu skaitu gremošanas kanālā.
2. Topinambūra koncentrāta (inulīna saturs 48.5 – 50.1%) un tā kombinācijas ar *S.cerevisiae* izbarošana veicina gremošanas kanāla morfofunkcionālo attīstību.
3. Topinambūra koncentrāta (inulīna saturs 48.5 – 50.1%) un tā kombinācijas ar *S.cerevisiae* izbarošana samazina metanogēno mikroorganismu daudzumu teļu gremošanas kanālā, kā arī samazina CO₂ un CH₄ produkciju spureklī.
4. Rauga pievienošana topinambūra koncentrātam, izveidojot jaunu sinbiotiku, samazina CO₂ un CH₄ produkciju teļu spureklī, veicina gremošanas kanāla morfofunkcionālo attīstību, uzlabo dzīvmasas pieaugumu un paaugstina ekonomisko ieguvumu.

Promocijas darba **mērķis** ir noskaidrot topinambūra koncentrāta un tā sinbiotikas ar raugu (*Saccharomyces cerevisiae* celms 1026) izbarošanas ietekmi uz teļu veselības stāvokli un augšanu, gremošanas kanāla morfofunkcionālo attīstību, kā arī metanoģenēzi spureklī un resnajā zarnā pārejas periodā no piena uz tilpumainās barības izbarošanu.

Mērķa sasniegšanai izvirzīti sekojoši uzdevumi

1. Izpētīt, kā topinambūra koncentrāta un sinbiotikas (topinambūra koncentrāts un raugs *Saccharomyces cerevisiae*) izbarošana ietekmē veselības stāvokli, dzīvmasas pieaugumu un ekonomisko ieguvumu, kā arī izsalkuma un sāta sajūtu teļiem no 4 līdz 14 nedēļu vecumam.
2. Noskaidrot 56 dienu ilgā pētījumā iekļauto barības piedevu izbarošanas ietekmi uz dažādu gremošanas kanāla daļu (spurekļa, glumenieka, tievās un resnās zarnas) morfofunkcionālo attīstību pārejas periodā no piena uz tilpumainās barības izbarošanu.
3. Izvērtēt topinambūra koncentrāta un sinbiotikas izbarošanas ietekmi uz kopējo prokariotu, tai skaitā, metanogēno mikroorganismu daudzumu 13 – 14 nedēļu vecu teļu spureklī un resnajā zarnā.
4. Noteikt pētījumā iekļauto barības piedevu izbarošanas ietekmi uz metāna (CH₄) un oglekļa dioksīda (CO₂) daudzumu spureklī 4 – 14 nedēļu veciem teļiem.

Pētījuma zinātniskā novitāte

1. Iegūti oriģināli dati par sinbiotikas (12 g topinambūra koncentrāts kombinācijā ar 5 g *S.cerevisiae* rauga celmu 1026 dnn⁻¹) izbarošanas ietekmi uz 4 – 14 nedēļas vecu teļu augšanu, t.sk., gremošanas kanāla morfoloģisko un fizioloģisko attīstību.
2. Iegūti oriģināli dati par greļina imūnreaktīvo šūnu skaitu divpadsmitpirkstu un tukšajā zarnā 13 – 14 nedēļas veciem teļiem, kuri saņēma standartbarību, un teļiem, kuriem papildus izbaroja 12 g topinambūra koncentrātu (inulīna saturs 6 g) dnn⁻¹.
3. Iegūti oriģināli dati par greļina imūnreaktīvo šūnu skaitu dažādās gremošanas kanāla daļās (glumenieka pilorisko un fundālo dziedzeru zonā, divpadsmitpirkstu un tukšajā zarnā) teļiem 13 – 14 nedēļu vecumā, kuriem pie barības papildus izbaroja sinbiotiku, kuru veido 12 g topinambūra koncentrāts un 5 g *S.cerevisiae* rauga celms 1026 dnn⁻¹.

4. Pirmo reizi Latvijā iegūti oriģināli dati par topinambūra koncentrāta (12 g dnn⁻¹; satur 6 g prebiotiku inulīnu) un tā sinbiotikas ar *S.cerevisiae* rauga celmu 1026 (5 g dnn⁻¹) izbarošanas ietekmi uz prokariotu, t.sk., metanogēno mikroorganismu un producēto CH₄, CO₂ daudzumu 4 – 14 nedēļu vecu teļu spureklī.

Zinātniskā darba aprobācija

Publikācijas, kas indeksētas **SCOPUS** un/vai **WEB OF SCIENCE** datu bāzēs

Žurnāli

1. **S. Jonova**, A. Ilgaza, A. Ilgazs, M. Zolovs, L. Gatina. (2022) The amount of ghrelin-immunoreactive cells in the abomasum and intestines of 13-14-week-old calves supplemented with Jerusalem artichoke flour alone or in combination with *Saccharomyces cerevisiae* yeast. *Veterinary World*, 15(4): 1080-1086. (*Q1 ranga zinātniskais žurnāls*) www.doi.org/10.14202/vetworld.2022.1080-1086
2. **S. Jonova**, A. Ilgaza, M. Zolovs. (2021) The impact of inulin and a novel synbiotic (yeast *Saccharomyces cerevisiae* strain 1026 and inulin) on the development and functional state of the gastrointestinal canal of calves. *Veterinary Medicine International*, 2021, article ID 8848441: 1-9. (*Q1 ranga zinātniskais žurnāls*) <https://doi.org/10.1155/2021/8848441>
3. **S. Jonova**, A. Ilgaza, M. Zolovs, A. Balins. (2020) Impact of inulin and yeast containing synbiotic on calves' productivity and greenhouse gas production. *Veterinary World*, 13(6): 1017-1024. (*Q2 ranga zinātniskais žurnāls*) <https://doi.org/10.14202/vetworld.2020.1017-1024>
4. **S. Jonova**, A. Ilgaza, I. Grinfelde, M. Zolovs. (2018) Impact of the flour of Jerusalem artichoke on the production of methane and carbon dioxide and growth performance in calves. *Veterinary World*, 11(11): 1532-1538. (*Q2 ranga zinātniskais žurnāls*) <https://doi.org/10.14202/vetworld.2018.1532-1538>

Konferenču rakstu krājumi

1. **S. Jonova**, A. Ilgaza, I. Grinfelde, M. Zolovs. (2018) Impact of inulin on production of methane, carbon dioxide and gastrointestinal canal functionality in calves. *Research for rural development 2018*, vol.1: 264-270. <https://doi.org/10.22616/rrd.24.2018.042>
2. **S. Jonova**, A. Ilgaza, I. Grinfelde. (2017) Methane mitigation possibilities and weight gain in calves fed with prebiotic inulin. *Research for rural development 2017*, vol.1: 265-270. <https://doi.org/10.22616/rrd.23.2017.039>

Par pētījuma rezultātiem ziņots šādās starptautiskās zinātniskās konferencēs

1. **S. Jonova**, A. Ilgazs, A. Ilgaza, L. Gatina, M. Zolovs. Growth performance and production of rumen gases in calves supplemented with prebiotic inulin or a novel synbiotic (inulin and yeast). *Biosystems Engineering 2021*, 5.-7. maijs, 2021.gads, Tartu, Igaunija. (stenda referāts)
2. **S. Jonova**, A. Ilgaza, I. Grinfelde, M. Zolovs. Impact of the flour of Jerusalem artichoke on production of methane and carbon dioxide and weight gain in calves'. 26th NJF congress "Agriculture for the next 100 years", 27.-29.jūnijs, 2018.gads, Kauņa, Lietuva. (stenda referāts)

3. A. Ilgaza, **S. Jonova**, A. Arne, L. Gatina, A. Ilgazs. Influence of various concentrations of synbiotic feeding on the growth and development of calves during the first four months of postnatal development. Agriculture and Food, 20.-24.jūnijs, 2018.gads, Elenite, Bulgārija. (stenda referāts)
4. **S. Jonova**, A. Ilgaza, I. Grinfelde, M. Zolovs. Impact of inulin on production of methane, carbon dioxide and gastrointestinal canal functionality in calves. Research for rural development, 16.-18. maijs, 2018. gads, Jelgava, Latvija. (mutiska prezentācija)
5. **S. Jonova**, A. Ārne, A. Ilgaža. Dažādu prebiotisku un sinbiotisku piedevu ietekme uz teļu veselību un dzīvmasas pieaugumu. Projekta Nr.3. LOPKOPĪBA “Vietējās izcelsmes slaucamo govju un cūku saimnieciski nozīmīgo pazīmju ģenētiskā izpēte kvalitatīvu pārtikas produktu ražošanai un dabīgas izcelsmes barības sastāvdaļu izstrāde un pārbaude” noslēguma seminārs, 27. aprīlis, 2018. gads, Jelgava, Latvija. (mutiska prezentācija)
6. **S. Jonova**, A. Ilgaza, I. Grinfelde. Methane mitigation possibilities and weight gain in calves fed with prebiotic inulin. Research for rural development, 17.-19. maijs, 2017. gads, Jelgava, Latvija. (mutiska prezentācija)
7. A. Ilgaza, **S. Jonova**, I. Grinfelde. Impact of inulin on increase of calves' body weight and methane emission. 6th Global Veterinary Summit, 14.-16. novembris, 2016. gads, Atlanta, ASV. (attālināts stenda referāts)

1. LITERATŪRAS APSKATS

1.1. Teļu gremošanas kanāla postnatālā attīstība

Jaundzimušu teļu gremošanas kanāls tā postnatālajā attīstībā ir pakļauts plašām morfoloģiskām un funkcionālām pārmaiņām. Primārā gremošanas kanāla fizioloģiskā funkcija ir barības vielu sagremošana un uzsūkšana. Citas funkcijas ir saimniekorganisma pasargāšana no patstāvīgi mainīgā mikroorganismu daudzuma, toksīniem un ķīmiskajām vielām gremošanas kanāla lūmenā un, novērst to neregulētu translokāciju asinsrites cirkulācijā (Gäbel et al., 2002). Gremošanas kanāls nepārtraukti reaģē uz tā lūmenā esošo vielu sastāvu un pielāgojas, lai uzturētu tajā homeostāzi un veicinātu barības vielu uzsūkšanu (Furness et al., 2013).

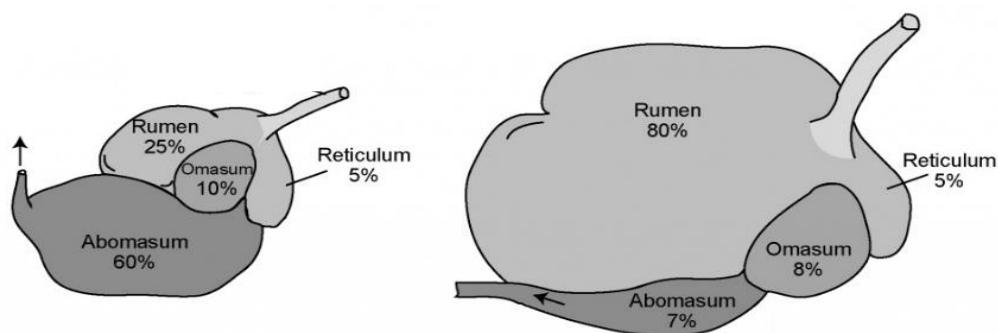
Gremošanas kanālam ir arī nozīmīga loma organisma enerģētiskajos procesos, jo tas patērē 20% no kopējā pieejamā skābekļa apjoma un nodrošina 30% no kopējās vielmaiņas aktivitātes un proteīna sintēzes. Tādējādi metamorfoze, kurai pakļauts gremošanas kanāls, var ietekmēt daudzas orgānu sistēmas (Cant et al., 1996).

Īpaši nozīmīgs teļu gremošanas kanāla attīstības posms ir pārejas periods no piena izbarošanas uz tilpumainās barības izbarošanu, kad gremošanas kanālā notiek straujas mikrobiālās un strukturālās pārmaiņas. Šis periods dzīvniekiem rada papildus stresu un var veicināt dažādu infekcijas slimību attīstību, kas var negatīvi ietekmēt teļu augšanu un attīstību (Meale et al., 2017).

1.1.1. Gremošanas kanāla morfofunkcionālā attīstība

Atgremotāji savā ziņā ir unikāli, jo tiem ir daudzkameru kuņģis, kas sastāv no acekņa (*reticulum*), spurekļa (*rumen*), grāmatnieka (*omasum*) un glumenieka (*abomasum*) (Brūveris et al., 2018; Shibata, Terada, 2010). Teļam piedzimstot, tā gremošanas sistēma funkcionē līdzīgi kā monogastriskajiem dzīvniekiem. Būtiskākās postnatālās gremošanas kanāla izmaiņas atgremotājiem saistītas ar daudzkameru kuņģa attīstību.

Trīs no četriem kuņģa nodalījumiem (aceknis, spureklis, grāmatnieks) pilnvērtīgi nefunkcionē, tie nav attīstījušies un ir mazi izmērā, salīdzinot ar pieauguša atgremotāja kuņģi. Jaundzimuša teļa spureklis veido aptuveni 25% no visu kuņģa nodalījumu apjoma (Sato et al., 2010) (1.1. attēls). Spureklis sāk augt tikai 2 – 3 nedēļu vecumā un tā augšana turpinās līdz aptuveni 6 mēnešu vecumam (Shibata, Terada, 2010).



1.1.att. Jaundzimuša teļa un pieaugušas govs kuņģa nodalījumu tilpumu procentuālās attiecības

Avots: http://bizplan-uz.com/learning/course/?COURSE_ID=6&LESSON_ID=908&LESSON_PATH=8.906.907.908

Spurekļa siena sastāv no 2 slāņiem – epitēlija un muskuļslāņa. Katram slānim ir savas specifiskas funkcijas, un to attīstība atkarīga no dažādiem faktoriem. Epitēlija šūnu slānis atrodas spurekļa iekšpusē un ir saskarsmē ar spurekļa saturu. Tas sastāv no ļoti plāna audu slāņa, uz kura atrodas daudzi “pirkstiem līdzīgi veidojumi” (*finger like*), ko sauc par kārpiņām (*papillae ruminis*). Šīs kārpiņas nodrošina lielāku uzsūkšanas virsmu spureklī. Tēlam piedzimstot, kārpiņas ir mazas un tās nefunkcionē (Govil et al., 2017).

Spurekļa epitēlijam ir būtiska loma spurekļa attīstībā. Caur to notiek barības vielu uzsūkšana un transports uz citām organisma daļām, kā arī epitēlijam ir svarīga loma īso ķēžu taukskābju vielmaiņas procesos un tam piemīt arī spurekļa aizsargfunkcija (Baldwin et al., 2004). Spurekļa epitēlijs morfoloģiski no dobuma puses sastāv no 4 šūnu kārtām: pārragotās kārtas (*stratum corneum*), graudainās kārtas (*stratum granulosum*), dzeloņainās kārtas (*stratum spinosum*) un bazālās kārtas (*stratum basale*). Jaundzimušajiem atgremotājiem spurekļa epitēlijam nav izteikta pārragotā kārtā, kā tas ir raksturīgs nobrieduša atgremotāja spureklim. Spurekļa kārpiņas ir novērojamas uz visas spurekļa virsmas jau no dzimšanas. Tās saskatāmas arī makroskopiski (Van Soest, 1994). Spurekļa kārpiņu augšanu gan garumā, gan arī platumā, kā arī spurekļa sienas biezuma palielināšanos nodrošina spurekļa daudzkārtu plakanā epitēlija augšana un proliferācija (Baldwin et al., 2004). Morfoloģiskā spurekļa attīstība saistīta ar kārpiņu īpašībām, muskuļslāņa biezumu un paša spurekļa izmēru. Un tieši spurekļa kārpiņu garums un platums ir svarīgākie faktori, pēc kuriem tiek novērtēta spurekļa attīstības pakāpe (Lesmeister et al., 2004; Van Soest, 1994) (1.2. attēls). Kārpiņu garums, platumus un virsmas laukums palielinās līdz ar vecumu, un kārpiņas ietekmē barības vielu uzsūkšanas apjomu (Bull et al., 1965). Spurekļa kārpiņas ir galvenās morfoloģiskās struktūras, caur kurām notiek barības vielu transports (Graham, Simmons, 2005). Spurekļa attīstība ietekmē atgremotājiem barības pārstrādes efektivitāti (Lesmeister et al., 2004).



1.2. att. Spurekļa kārpiņu (*papillae ruminis*) variācijas klīniski veselām govīm

Avots: <https://www.wur.nl/web/file?uuid=007f14f5-e2bc-42db-869a-2b03a5fa6009&owner=4d1f99b3-4ef5-4f38-a2cc-97d473a63ef9>

Jaundzimušiem teļiem visas barības vielas tiek nodrošinātas ar pirm piena uzņemšanu. Pirm piens tiek sagremots glumeniekā un tālākās gremošanas kanāla daļās, kas nodrošina teļiem nepieciešamo enerģiju, barības vielas, kā arī imūnvielas. Turpmāk lielāko daļu enerģijas teļi gūst no piena vai piena aizvietotāja. Piens pirmajās teļu dzīves nedēļās apiet neattīstīto spurekli, acekni un grāmatnieku piena rievās (ezofagālās rievās) reflektorās aizvēršanās dēļ un uzreiz nokļūst glumeniekā. Lai gan piena izbarošana veicina strauju jaundzīvnieku augšanu, tas nesagatavo dzīvnieka spurekli tilpumainās barības pārstrādei (Govil et al., 2017; Baldwin et al., 2004).

Spurekļa attīstība ir nozīmīgs fizioloģisks pārmaiņu komplekss (Jiao et al., 2015). Šo attīstību veicina anaerobās ekosistēmas izveidošanās, tilpumainās barības izbarošana un tam sekojoši fermentatīvie procesi un uzsūkšanās mehānismi (Govil et al., 2017; Baldwin et al., 2004).

Fermentatīvo procesu gala produktu (piemēram, gaistošo taukskābju) produkcija un uzsūkšana stimulē spurekļa kārpīņu un epitēlija attīstību (Suárez et al., 2007; Baldwin et al., 2004). Jau sen izpētīts, ka šo kārpīņu attīstība ir ļoti nozīmīga spurekļa uzsūkšanas virsmas palielināšanai. Tomēr, ne visas gaistošās taukskābes vienādā apjomā stimulē spurekļa attīstību (Govil et al., 2017). Visintensīvāk spurekļa epitēlija attīstību veicina sviestskābe (Govil et al., 2017; Baldwin et al., 2004). Tā netiek uzsūkta caur spurekļa sienu, bet nodrošina ar enerģiju spurekļa sienas šūnas, veicinot paša spurekļa attīstību – padarot spurekļa sienu biezāku, formējot kārpīņas un palielinot kapilāru daudzumu spurekļa sienā (Suárez et al., 2007). Savukārt acetatišķābe un propionskābe tiek labi uzsūktas caur spurekļa sienu un nodrošina augošā teļa organismu ar enerģiju. Tādējādi spurekļa attīstību primāri ietekmē ķīmiskie faktori, nevis fizikālie (Govil et al., 2017).

Spurekļa attīstību ļoti ietekmē izbarotās barības veids, īpaši tilpumainās barības uzņemšana (Govil et al., 2017). Tilpumainā barība stimulē arī atgremošanu un papildus siekalu ieplūšanu spureklī. Lai arī tilpumainās barības līdzekļi veicina spurekļa muskuļa attīstību, tie nestimulē spurekļa epitēlija augšanu (Hodgson, 1971).

Pirmajā dzīves nedēļā teļiem nenovēro atgremošanu. Līdz ar tilpumainās barības uzņemšanu, sākas arī spurekļa muskulatūras kontrakcijas. Ja teļiem neilgi pēc piedzimšanas sāk izbarot pienu, sienu un graudus, tad normālas spurekļa kontrakcijas var konstatēt jau 3 nedēļu vecumā. Tomēr, ja teļiem izbaro tikai pienu, normālas spurekļa kontrakcijas novēro daudz vēlāk. Spurekļa muskuļslāņa attīstību būtiski veicina tilpumainās barības uzņemšana (Quigley, 1997). Teļiem, kuriem izbaro tikai pienu, novēro arī relatīvi nelielu spurekļa tilpuma pieaugumu proporcionāli ķermeņa masai. Daudzi pētnieki konstatējuši, ka teļiem, kuriem līdz 12 nedēļu vecumam izbaro tikai pienu vai piena aizvietotāju, spurekļa attīstība notiek lēnāk (Heinrichs, 2005; Anderson et al., 1987).

Tilpumainā barība un spēkbarība, pretēji šķidrajai, nonāk priekškuņģos. Teļi tilpumaino barību nelielos daudzumos sāk uzņemt aptuveni no 14 dienu vecuma (National Research Council, 2001). Tilpumainā barība, un īpaši spēkbarība vai barība ar augstu ogļhidrātu daudzumu, stimulē spureklī mikrobiālo proliferāciju un veicina spurekļa attīstību. Spurekļa muskuļslāņa attīstība ir atkarīga no barības fizikālās struktūras. Liela izmēra daļiņas ar augstu šķiedru daudzumu pastiprināti kairina spurekļa sienu, tādējādi pastiprinot spurekļa motilitāti, kā arī veicina spurekļa muskuļslāņa attīstību un spurekļa apjoma palielināšanos (Kristensen et al., 2007).

Piena izbarošanas perioda beigās, kad piens tiek pilnībā izņemts no teļu barības raciona, saistīts ar nozīmīgām spurekļa morfoloģiskajām izmaiņām. Kopējā spurekļa ietilpība palielinās no 25% līdz 80% no visa kuņģa apjoma (Warner et al., 1956), palielinās arī kārpīņu garums un to virsmas laukums (Yonekura et al., 2002). Pieaugušam dzīvniekam tā ietilpība ir 100-150 L (Shibata, Terada, 2010).

Turklāt līdz ar teļa vecuma palielināšanos, attīstās arī spurekļa ketogēnā kapacitāte, jo 60 – 80% no visām gaistošajām taukskābēm tiek uzsūktas caur spurekļa sienu un 75 – 90% no uzsūktās sviestskābes tiek metabolizēta ar spurekļa epitēlija palīdzību (Allen, 1997). Tomēr pētījumi pierāda, ka līdz teļa 8 nedēļu vecumam spureklis nespēj uzņemties primāro lomu barības vielu uzsūkšanā un metabolismā (Eckert et al., 2015).

Kad spureklis ir pietiekami attīstījies, un no tilpumainās barības un spēkbarības pietiekamā daudzumā tiek producētas gaistošās taukskābes, tad organisms producēto enerģiju var izmantot citu orgānu un orgānu sistēmu attīstībai (Govil et al., 2017).

Atgremotājiem būtiski barības fermentācijas aktivitātes rādītāji spureklī ir tā iekšējās vides pH un gaistošo taukskābju koncentrācija (Feng et al., 2020).

Spurekļa iekšējās vides pH samazināšanās ir tieši saistīta ne tikai ar barības sastāvu, bet arī ar barošanas plānošanu (piemēram, vietas pieejamība pie barības galda) un dzīvnieku ēšanas uzvedību (barošanu skaits dienā, barības daudzums, ko apēd katrā reizē) (Calsamiglia et al., 2012). Ja fermentējamo barības līdzekļu daudzums, kas nonāk spureklī, ir lielāks, pH ir zemāks (Bach et al., 2007). Spurekļa iekšējās vides pH var variēt arī starp atsevišķiem indivīdiem. Tas

varētu būt saistīts ar atšķirīgu fermentatīvo aktivitāti, ko būtiski ietekmē uzņemtās tilpumainās barības daudzums pirmajos dzīves mēnešos, kā arī varētu būt saistīts ar siekalu dziedzeru attīstības pakāpi un producēto siekalu daudzumu, kas palīdz stabilizēt spurekļa vidi un ietekmē gremošanas kanāla iztukšošanās ātrumu (Rey et al., 2012).

Spurekļa iekšējās vides pH visaugstākais ir īsi pirms barības uzņemšanas, sāk kristies pēc ēšanas un sasniedz savu minimumu 3 – 6 h pēc barības uzņemšanas atkarībā no barības veida (Palmonari et al., 2010; Marden et al., 2005). Līdz ko skābes produkcija barības līdzekļu fermentācijas rezultātā samazinās, gaistošo taukskābju uzsūkšana un spurekļa burferspējas (galvenokārt no siekalām) palielinās un pH sāk atgriezties sākotnējā līmenī. Izpētīts, ka šis process ilgst aptuveni 18 stundas (Palmonari et al., 2010).

Ja spurekļa iekšējās vides pH ilgstošu laiku ir zems, tas var negatīvi ietekmēt barības uzņemšanu, mikrobiālo vielmaiņu un barības vielu noārdīšanu un var novest pie acidozes, iekaisuma, laminīta, uzpūšanās un diarejas (Wang, 2012). Tāpēc spurekļa iekšējās vides pH regulēšana ir galvenais noteicošais faktors optimālu spurekļa funkciju uzturēšanai (Chaucheyras-Durand et al., 2012). Turklāt, kad spurekļa pH samazinās, laktātu producējošās baktērijas, tādas kā *Streptococcus bovis* (Chaucheyras et al., 1996; Williams et al., 1991) daudzuma ziņā var pārspēt laktātu utilizējošajās baktērijas, tādas kā *Selenomonas ruminantium* un *Megasphaera elsdenii* (Callaway, Martin, 1997) un novest pie laktāta akumulācijas spureklī (Russell, Hino, 1985).

Zems spurekļa pH atstāj arī negatīvu ietekmi uz celullolītiskajām baktērijām. Tās nespēj augt ar zemu intracelulāro pH un pH gradienta pieaugums noved pie nedisociētu gaistošo taukskābju iekļūšanu šūnās un disociēto anjonu akumulācijas intracelulārajā vidē, kas baktērijām izraisa smagu toksicitāti (Russell, Wilson, 1996). Zemā spurekļa iekšējās vides pH (zem 5.5) ietekmē samazinās arī viensūņu daudzums (Goad et al., 1998) un sēņu populācijas lielums (Grenet et al., 1989).

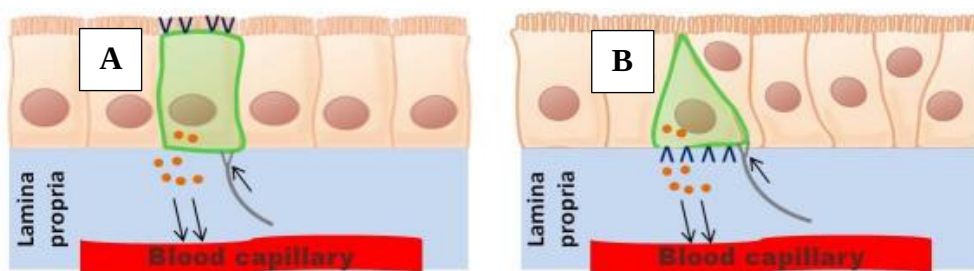
Jāpiemin, ka zemam spurekļa satura pH var būt negatīva ietekme arī uz spurekļa sienu. Ilgstoša spurekļa skābju iedarbība var izraisīt kārpīņu atrofiju, difūzus akūtus vai hroniskus bojājumus, kas rodas no smaga lokāla rumenīta, perforācijām un mukormikozes, kas dzīvniekam izraisa sāpes, diskomfortu, kā arī izmaiņas barības uzņemšanā un spurekļa darbības izmaiņas (Thompson et al., 2006).

Optimāls spurekļa iekšējās vides pH teļiem pārejas periodā no piena izbarošanas uz tilpumainās barības izbarošanu palīdz nodrošināt piemērotu vidi normālai spurekļa baktēriju un viensūņu populāciju funkcionēšanai un attīstībai (Kehoe et al., 2008). Spurekļa attīstību, un līdz ar to arī barības uzņemšanu, ietekmē spurekļa iekšējās vides pH regulācija un samazināta laktāta producēšana (Bull et al., 1965; Hinders, Owen, 1965).

Gremošanas kanāla morfofunkcionālajā attīstībā svarīga nozīme ir arī hormonam grelinam. Grelīns ir peptīds, kas monogastriskajiem dzīvniekiem sastāv no 28 aminoskābēm, atgremotājiem no 27 aminoskābēm (Masuda et al., 2000), izņemot liellopus, kuriem šis peptīds sastāv no 29 aminoskābēm (Niemann et al., 2011). Tāpat kā kuņģī, arī zarnās galvenās sastopamās grelina molekulārās formas ir *n*-oktanoil (*n-octanoyl*) grelīns un *des*-acilgrelīns (*des-acyl*) (Date et al., 2000a).

Kuņģī un zarnās grelīnu producējošās šūnas morfoloģiski atšķiras. Kuņģī grelīnu producējošās šūnas ir mazas, apaļas formas, tā saucamās slēgtā tipa šūnas (*closed-type cells*) (Zhao et al., 2008). Savukārt divpadsmitpirkstu zarnā, gūžas zarnā, aklajā zarnā un lokzarnā novērojamas divu veidu grelina šūnas. Slēgtā tipa šūnas, kas ir trīsstūrveida vai iegarenas formas, un atvērtā tipa šūnas (*opened-type cells*), kuru apikālā gala citoplazmas izaugums saskaras ar zarnas lūmenu (1.3. attēls). Atvērtā tipa šūnas pamatā tiek funkcionāli regulētas saņemot informāciju no zarnu lūmena, piemēram, par tajā esošajām barības vielām un vides pH, savukārt slēgtā tipa šūnas tiek funkcionāli regulētas ar hormonu palīdzību (piemēram,

leptīnu, somatostatīnu, glikagonu) (Vitari et al., 2012), to ietekmē arī neirālā stimulācija vai mehāniskā kuņģa/zarnu iestiepšanās (Lew, LeWinter, 1986).



1.3. att. Slēgtā (A) un atvērtā (B) tipa grelīna šūnu shematisks attēlojums

(A) slēgtā tipa grelīna šūna, tai nav tieša saskarsme ar gremošanas kanāla lūmenu; kad neironi tiek stimulēti (pelēkie), grelīns (oranžie punktiņi) tiek izdalīts un šūnas bazālā apvidū novēro barības vielu receptorus (zilie) (B) atvērtā tipa grelīna šūna, šīs šūnas augšdaļā tieši saskaras ar zarnu lūmenu, savukārt šūnas apakšējā daļā novēro barības vielu receptorus. Oranžie punktiņi abu veidu šūnām norāda grelīna izplatīšanos lamina propria, no kuras tie tālāk nokļūst asins kapilāros (Blood capillary) un tad centrālajā asins cirkulācijas sistēmā.

Avots: Mehdar, 2020

Grelīna imūnreaktīvās (IR) šūnas histoloģiskajos paraugos var identificēt pēc granulām, kas kuņģa kardiālo dziedzeru zonā esošajās šūnās lokalizētas citoplazmā un perinukleāri dziedzeršūnās. Fundālo dziedzeru zonā grelīna imūnpozitīvā reakcija novērojama kā granulas, kas lokalizējas citoplazmā īpaši dziedzeršūnu apikālajā galā. Pilorisko dziedzeru proksimālajā reģionā grelīna imūnpozitīvo šūnu granulas lokalizējas šūnu kodolos un paranukleārajā dziedzeršūnu citoplazmā. Savukārt pilorisko dziedzeru distālajā reģionā grelīna imūnpozitīvo šūnu granulas lokalizējas šūnu kodolos un paranukleārajā dziedzeršūnu un virsmas epitēlijsūnu citoplazmā (Özfiliz et al., 2011).

Atgremotājiem grelīns galvenokārt tiek ražots glumenieka gļotādas endokrīnajās šūnās Ir izpētīts, ka ne tikai pieaugušiem atgremotājiem, bet arī teļiem glumenieks ir galvenā vieta, kur tiek ražots grelīns. (Hayashida et al., 2001). Kuņģī grelīna saturošās šūnas lielākā daudzumā ir atrodamas fundālo dziedzeru zonā, mazākā daudzumā pilorisko dziedzeru zonā (Date et al., 2000a).

Grelīnu producējošo šūnu daudzums zarnās pakāpeniski samazinās virzienā no divpadsmitpirkstu zarnas uz lokzarnu (Date et al. 2000a). Grelīns mazākā daudzumā tiek producēts arī aizkuņģa dziedzerī (Kojima, Kangawa, 2008) endokrīnā un/vai parakrīnā veidā, ietekmējot aizkuņģa dziedzera saliņu darbību (Date et al., 2002b). Vēl nav pilnībā noskaidrots, vai grelīna ietekme uz insulīna sekrēciju atgremotājiem ir inhibējoša (Reimer et al., 2003) vai stimulējoša (Date et al., 2002b). Uzskata, ka grelīnam ir arī ietekme uz glikagona sekrēciju (Date et al., 2002b). Mazākā daudzumā grelīnu producējošās šūnas ir atrastas hipofīzē, nierēs, plaušās, placentā, sēkliniekos, leukocītos, hipotalāmā un niecīgā daudzumā arī virsnierēs, adipocītos, žultspūslī, skeleta muskuļaudos, miokardā, ādā, liesā, aknās, olnīcās un prostatā (Gnanapavan et al., 2002).

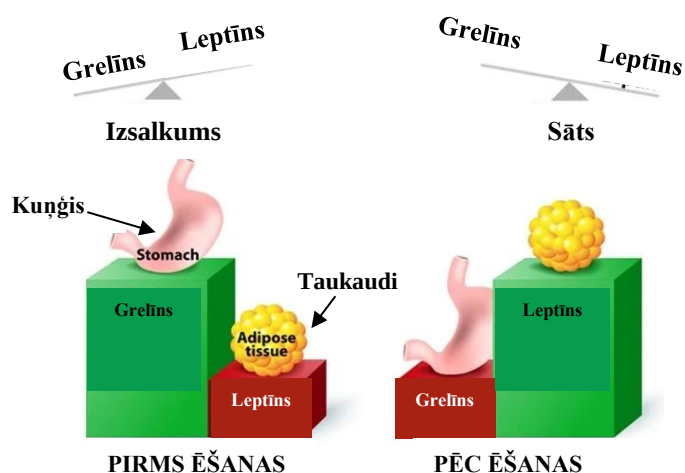
Kā galvenā grelīna nozīme ir augšanas hormona sekrēcijas stimulēšana (Masuda et al., 2000; Date et al., 2000a). Grelīns stimulē augšanas hormona izdalīšanos no hipofīzes šūnām, kas norāda uz to, ka grelīns tieši iedarbojas uz hipofīzi (Kojima et al., 1999), tomēr arī hipotalāmam ir ietekme uz grelīna ietekmētā augšanas hormona izdalīšanās stimulēšanu (Popovic et al., 2003), jo uz cirkulējošā grelīna daudzumu asins plazmā reaģē arī neironi hipotalāma lokveida kodolā (*nucleus arcuatus*) (Gropp et al., 2005). Arī *nervus vagus* (*n.vagus*) ir nozīme augšanas hormona līmeņa regulācijā. To pierāda pētījums, kurā šis nervs tika pārgriezts un tika novērots, ka augšanas hormona izdalīšanās pēc grelīna injekcijas būtiski samazinājās (Date et al., 2002a), norādot uz to, ka *n.vagus* ir būtiska loma, lai novērotu grelīna maksimāli stimulējošo efektu.

Augšanas hormonam ir nozīmīga loma orgānu attīstībā (Kojima, Kangawa, 2002). Pētījumos ar jēriem novērots, ka lielāka grelīna daudzuma izdalīšanās no glumenieka veicināja ātrāku tā attīstību. Tāpēc var uzskatīt, ka grelīns piedalās glumenieka attīstības regulācijā (Pan et al., 2004).

Izpētīts, ka grelīns stimulē augšanas hormona izdalīšanos gan *in vitro*, gan *in vivo* pētījumos atkarībā no devas. Turklāt intravenoza grelīna ievadīšana izraisa spēcīgu augšanas hormona izdalīšanos daudzām dzīvnieku sugām. Tāpēc grelīns ir spēcīgs augšanas hormona atbrīvojošs peptīds (Kojima et al., 1999).

Cita būtiska grelīna ietekme organismā ir apetītes regulēšana. Pētījumos atklāts, ka apetīti regulējošie humorālie faktori atrodas ne tikai centrālajā nervu sistēmā, bet arī perifērajos audos (Coll et al., 2007; Stanley et al., 2005). Grelīns ir vienīgais zināmais perifērijā producētais un centrāli aktīvais apetīti stimulējošais hormons, kas sūta izsalkuma signālus no kuņģa uz smadzenēm, kontrolējot apetīti un enerģijas balansu (Solomis, Korbonits, 2014).

Leptīns, kas tiek producēts taukaudos, ir apetīti nomācošs hormons, kas pārvada sāta signālus smadzenēm. Grelīns tādējādi ir funkcionāli dabisks leptīna antagonists. Grelīns tiek producēts reaģējot uz izsalkumu un badu un cirkulē asinīs, kur darbojas kā perifērais signāls, dodot signālu centrālajai nervu sistēmai, ka ir jāuzņem barība (Nakazato et al., 2001; Wren et al., 2000). Tātad, pirms ēšanas gremošanas kanālā (pamatā kuņģī) tiek pastiprināti sekretēti apetīti stimulējošais hormons grelīns. Tā līmenis strauji paaugstinās arī asinīs, bet apetīti nomācošā hormona leptīna sekrēcija ir zema. Pēc ēšanas iestājas sāts un izsalkuma hormona grelīna līmenis asinīs strauji samazinās, bet paaugstinās taukaudos producētā, apetīti nomācošā, hormona leptīna sekrēcija un tā līmenis asinīs (1.4. attēls).



1.4. att. Grelīna un leptīna regulācija organismā pirms un pēc ēšanas

Avots: <https://www.news-medical.net/amp/health/Ghrelin-and-Leptin.aspx>

Grelīna koncentrācija asins plazmā samazinās pēc ēšanas (Roche et al., 2007; Hayashida et al., 2001), radot sāta sajūtu (Bacha, Arslanian, 2005; Cummings et al., 2001). Tas norāda uz to, ka grelīna sekrēciju ietekmē barošana un liek noprast, ka kuņģī producētajam grelīnam ir nozīmīga loma barības uzņemšanas regulēšanā. To apstiprina arī novērojums, ka žurkām pēc 48 h ilgas badināšanas asins plazmā paaugstinās grelīna līmenis (Wren et al., 2000). De la Cour ar kolēģiem (2007) pētījumos atklāja, ka grelīna izdalīšanos veicina arī adrenalīns, noradrenalīns, endotelīns un sekretīns. Savukārt perorāla vai intravenoza glikozes ievadīšana samazina plazmas grelīna koncentrāciju (Shiia et al., 2002).

Miura ar kolēģiem (2004) novēroja, ka pieaugušām govīm grelīna koncentrācija asins plazmā pirms un pēc ēšanas atšķiras par aptuveni 90 ng mL^{-1} . Teļiem šīs atšķirības bija mazākas. Grelīna koncentrāciju asins plazmā ietekmē daudzi faktori, piemēram, ķermeņa masa, barošanas biežums, barības sastāvs un apēstās barības daudzums (Cummings et al., 2001).

Pētījumos novērots, ka papildus greļina lietošana ievērojami palielina uzņemtās barības daudzumu un veicina arī ķermeņa masas pieaugumu (Nakazato et al., 2001; Wren et al., 2000). Pētījumos ar žurkām novērots, ka pat viena greļina injekcija palielināja uzņemtās barības daudzumu un ķermeņa masu (Nakazato et al., 2001; Wren et al., 2000). Tāpat novērots, ka intravenoza greļina injicēšana žurkām stimulē kuņģa skābes izdalīšanos un pastiprina kuņģa motilitāti (Masuda et al., 2000). Pētījumos apstiprināts, ka greļina stimulējošais efekts uz barības uzņemšanu nav saistīts ar tā ietekmi uz augšanas hormona sekrēciju, jo greļins stimulē barības uzņemšanu pat tām žurkām, kurām ir ģenētisks augšanas hormona deficīts.

Pētījumā ar žurkām konstatēts, ka greļina IR šūnu skaits žurkām būtiski palielinājās, kad tās tika 7 dienas badinātas, bet pēc barības uzņemšanas šo šūnu skaits samazinājās līdz normālam līmenim (Sönmez, Ozan, 2007). Savukārt līdzīgā pētījumā ar Amerikas vērsa vardēm (*Lithobates catesbeianus*), kuras tika badinātas 20 dienas, netika novērota būtiskas greļina šūnu skaita izmaiņas (Kaiya et al., 2006).

Greļinam ir arī dažādas citas nozīmīgas bioloģiskas ietekmes kā, piemēram, kardiovaskulāro funkciju regulēšana (asinsspiediena samazināšana) (Nagaya et al., 2004), kuņģa skābes sekrēcijas stimulācija (Masuda et al., 2000). Tas ietekmē gremošanas kanāla motilitāti, aizkuņģa dziedzeru endokrīno sekrēciju, lipīdu metabolismu (Ueno et al., 2005). Turklāt greļins samazina tauku izmantošanu (Nakazato et al., 2001).

Greļins ietekmē arī glikozes metabolismu (Patel et al., 2006) un iespējams ir iesaistīts arī insulīna regulācijā (Roche et al., 2008).

Augsts glikozes līmenis nomāc greļina sekrēciju un stimulē insulīna sekrēciju. Date ar kolēģiem (2002b) ziņoja, ka greļins stimulē insulīna izdalīšanos pie augsta glikozes līmeņa asinīs, bet pie normāla glikozes līmeņa asinīs greļins neietekmēja insulīna izdalīšanos. Roche ar kolēģiem (2008) ziņoja par strauju plazmas greļina koncentrācijas samazināšanos govīm pēc glikozes infūzijas. Savukārt Dezaki ar kolēģiem (2006) ziņoja, ka greļins inhibē insulīna sekrēciju.

Novērots, ka greļins *in vitro* arī inhibē glikogēna sintēzi un glikoneoģenēzi. Greļins var arī inhibēt insulīnu sensibilizējošā proteīna adiponektīna sekrēciju no adipocītiem un stimulēt pretregulējošo hormonu sekrēciju, ieskaitot augšanas hormonu, kortizolu, adrenalīnu un (iespējams) glikagonu. Nepieciešams veikt vairāk pētījumu, lai precizētu greļina fizioloģisko nozīmi glikozes homeostāzes regulācijā (Barnett et al., 2010).

1.1.2. Gremošanas kanāla postnatālā mikrobiālā kolonizācija

Gremošanas kanāla sākotnējai mikrobiālajai kolonizācijai ir būtiska nozīme jaundzīvnieku veselībā, jo tā ietekmē daudzu organisma sistēmu, piemēram, endokrīnās sistēmas un imūnsistēmas, nobriešanu un funkcionēšanu (Williams et al., 2020). Pētījumos par atgremotājiem galvenā uzmanība tiek pievērsta spureklīm, jo tajā atrodas liels daudzums dažādu mikroorganismu, kuru darbības rezultātā, fermentējot dažādus barības līdzekļus, atgremotāji iegūst enerģiju īso ķēžu taukskābju veidā. Mikroorganismu augšanai pieejamie substrāti ietekmē gremošanas kanāla kolonizāciju un mikroorganismu populāciju daudzveidīgumu (Virgínio, Bittar, 2021).

Jaundzimušo atgremotāju spurekļa mikrobiālā kolonizācija ir īpaši nozīmīga spurekļa fizioloģiskajā attīstībā (Fonty et al., 1988). Nobriedušā spureklī novēro daudzveidīgu mikrobiālo populāciju. Dominē baktērijas, kam seko viensūņi, metanogēni un sēnes. Straujš mikrobiālās populācijas daudzveidīguma pieaugums pirms piena izbarošanas perioda beigām veicina ātrāku spurekļa funkcionālo attīstību un pozitīvi ietekmē dzīvnieka veselību (piemēram, dzīvniekiem retāk novēro diareju) un produktivitāti (lielāks dzīvmasas pieaugums). Spurekļa mikrobioma daudzveidība ir nepieciešama normālai spurekļa fizioloģiskai attīstībai un tilpumainās barības pārstrādei. Spurekļa mikroorganismu daudzveidīgums un daudzums (piemēram, amilolītiskie, celulolītiskie, proteolītiskie un laktātu utilizējošie mikroorganismi)

mainās līdz ar teļu vecumu un uzņemtas barības veidu. Jo agrāk teļiem sāk izbarot tilpumaino barību, jo ātrāk spureklī attīstās mikrobiālā daudzveidība, kā rezultātā novēro lielāku spurekļa metabolisko aktivitāti un palielinātu kopējo gaistošo taukskābju koncentrāciju spurekļa saturā (Li et al., 2012).

Spurekļa mikroorganismi dzīvo ūdens vidē. Bez pietiekama ūdens daudzuma mikroorganismi nespēj augt, un tiek kavēta arī spurekļa attīstība. Ja teļi uzņem pietiekoši lielu ūdens daudzumu, tad palielinās teļu dzīvmasas pieaugums, tiek uzņemts lielāks daudzums starterbarības un samazinās diareju biežums. Ūdens uzņemšanu veicina sāls, nātrija bikarbonāts un augsts proteīna daudzums barībā. Ūdens uzņemšanas apjomu var palielināt arī lielāks tilpumainās barības daudzums barības devā (Quigley, 1997).

Pirmie mikroorganismi jaundzimušo teļu spureklī nonāk teļa dzimšanas laikā, saskaroties ar mikrofluoru mātes dzimumceļos un uzreiz pēc piedzimšanas, saskaroties ar fekālijām, pirmpienu, mātes ādu un siekalām (Guzman et al., 2015), kā arī uzņemot barību un dzīvnieku savstarpējo kontaktu ceļā (Abecia et al., 2013).

Pirmajās dzīves dienās spurekļa satura mikrobiālajā daudzveidībā notiek straujas izmaiņas (Jami et al., 2013). Vienu līdz divu dienu laikā pēc piedzimšanas spureklī sāk kolonizēt ļoti daudzi mikroorganismi (Anderson et al., 1987). Vienas dienas vecumā teļu spureklī lielā daudzumā novēro aerobās un fakultatīvi anaerobās baktērijas (Abecia et al., 2013; Jami et al., 2013). Nozīmīga loma spurekļa biotopa veidošanā ir pirmajiem kolonizējošajiem mikroorganismiem, vēlāk pievienojas obligāti anaerobās mikrobiālās populācijas. Spurekļa bakteriālā populācija primāri atkarīga no teļiem izbarotās barības veida (Anderson et al., 1987). *Proteobacteria* tipa un *Streptococcus* ģints mikroorganismi novēroti jau 1 – 3 dienas vecu teļu spureklī, bet tie drīz vien tiek aizvietoti ar obligāti anaerobām baktēriju kopienām (Jami et al., 2013). Pēc citu autoru pētījumiem, kā pirmie gremošanas kanāla kolonizētāji ir minēti mikroorganismi no *Streptococcus* un *Enterococcus* baktēriju ģintīm, kas patērē skābekli un rada anaerobus apstākļus, kas nepieciešami obligāti anaerobajiem mikroorganismiem, tādiem kā *Bifidobacterium* un *Bacteroides* ģints pārstāvjiem (Jost et al., 2012). Metanogēni spureklī parādās 8. – 10. dienā pēc piedzimšanas (Fonty et al., 1987), bet viensūņi parādās tikai 2 – 3 nedēļu vecumā. Kā pirmie viensūņi novērojami *Entodinium sp.* sugas pārstāvji (Fonty et al., 1988). Celulolītiskās baktērijas un sēnes ir attiecīgi konstatētas vienas un divu nedēļu vecumā. No celulolītisko baktēriju populācijas dominē *Ruminococcus* ģints sugas (Fonty et al., 1987).

Jau 2 – 3 nedēļu vecu teļu spureklī ir identificētas 45 – 47 baktēriju ģintis, kas pieder pie 13 – 17 tipiem (Jami et al., 2013). Pēdējo gadu pētījumos novērots, ka līdz ar piena izbarošanas perioda beigām, mikrobiālā daudzveidība spureklī samazinās (Meale et al., 2016). Tas varētu būt saistīts ar ekstensīvu viena veida substrātu fermentācijas pieaugumu un zemu spurekļa satura pH fluktuāciju (Steele et al., 2016).

Pētījumos ar kultivācijas metodēm tika novērots, ka teļu spurekļa mikrobiālā ekosistēma sāk stabilizēties pēc 2 mēnešu vecuma (Fonty et al., 1987).

Kopējais secinājums ir šāds – jo ātrāk teļš sāk uzņemt tilpumaino barību, jo ātrāk tā spurekļa mikrobiālā daudzveidība kļūst līdzīga nobrieduša atgremotāja spureklī esošajai (Meale et al., 2016; Jami et al., 2013).

Īsi pēc piedzimšanas (aptuveni 8 h) teļiem visā gremošanas kanālā (kuņģī, tievajā zarnā, resnajā zarnā) var jau novērot *E.coli* un *Streptococcus spp.* baktēriju klātbūtni, bet *Lactobacillus* ģints baktērijas konstatētas tikai dienu pēc piedzimšanas. *Lactobacillus* ģints baktērijas kā galvenās baktērijas visos gremošanas kanāla reģionos kļūst pirmās dzīves nedēļas laikā. *Bacteroides* ģints baktērijas tika novērotas tikai aklajā zarnā un fekālajās masās 2 dienas pēc piedzimšanas. *Clostridium perfringens* baktērijas aklajā zarnā tika novērotas 8 h pēc piedzimšanas, bet citās gremošanas kanāla daļās šī baktērija tika konstatēta tikai 18 h pēc piedzimšanas (Smith, 1965). Sākotnēji teļu gremošanas kanālu kolonizē fakultatīvi anaerobie mikroorganismi, kas pakāpeniski rada anaerobus apstākļus, kas nepieciešami, lai zarnu

mikrobiomā varētu sākt augt un vairoties obligāti anaerobie mikroorganismi, tādi kā *Bifidobacterium* un *Bacteroides* ģints pārstāvji (Jost et al., 2012).

Pētījumā konstatēts, ka 12 nedēļu vecu teļu fekālijās lielā daudzumā atrodamas *Bacteroides*, *Prevotella* un *Clostridium coccoides*, *Eubacterium rectale* grupu baktērijas. Viena no biežāk sastopamākajām baktēriju ģintīm nedēļu veciem teļiem bija *Faecalibacterium* (21.7%), bet šis ģints baktēriju daudzums samazinājās līdz ar teļu vecuma palielināšanos. Teļu gremošanas kanālā no 5 nedēļu vecuma tika novērotas *Ruminococcus flavefaciens* un *Fibrobacter* ģints fibrolītiskās baktērijas, bet vairs netika atrastas *Streptococcus* un *Lactococcus* ģints baktērijas (Uyeno et al., 2010). Šie pētījumi apstiprināja, ka gremošanas kanāla mikrobioma sastāvs ir atkarīgs no teļa vecuma un var būtiski atšķirties spureklī un zarnās.

Pētījumā ar 20 nedēļu veciem teļiem novērots, ka *Bifidobacterium* un *Lactobacillus* ģints baktērijas spēja lielākā daudzumā izdzīvot kuņģī un nonākt tālākās gremošanas kanāla daļās nekā koliformas, tai skaitā *E.coli* baktērijas. Šo organismam labvēlīgo baktēriju blīvums 20 nedēļu veciem teļiem bija augsts visās gremošanas kanāla daļās (spureklī, glumeniekā, divpadsmitpirkstu, tukšajā, aklajā un lokzarnā) (Vlkova et al., 2006). Spureklī un resnajā zarnā tika novērota lielāka bakteriālā filotipiskā daudzveidība nekā tievajā zarnā (Collado, Sanz, 2007). Bakteriālā daudzveidība un tās blīvums zarnās atkarīgs no dažādiem faktoriem, piemēram, teļu vecuma, saņemtās barības, barošanas režīma, saņemtajām barības piedevām, teļu turēšanas veida (individuāls vai grupās) (Pereira et al., 2014) u.c. faktoriem. Turklāt jauniem teļiem mikrobiālā sastāva variācijas gremošanas kanālā starp atsevišķiem dzīvniekiem ir augstākas nekā pieaugušiem atgremotājiem (Jami et al., 2013). Šīs lielās bakteriālās daudzveidības un blīvuma variācijas starp atsevišķiem teļiem norāda arī uz to, ka to zarnu mikrobiomu var vairāk ietekmēt un mainīt nekā pieaugušiem atgremotājiem (Jami et al., 2013). Tas arī izskaidro to, kāpēc, piemēram, probiotiku un prebiotiku pozitīvā ietekme vairāk redzama jaunākiem teļiem nekā vecākiem (Marquez, 2014).

Labvēlīgajai zarnu mikroflorai ir ļoti būtiska fizioloģiska nozīme. Tā novērš potenciālo patogēno mikroorganismu savairošanos, konkurējot par pieejamajām barības vielām. Zarnu mikroflora nodrošina arī nozīmīgu enerģijas daudzumu zarnu sienas šūnām, fermentējot ogļhidrātus līdz īso ķēžu gaistošajām taukskābēm (Roberfroid, Gibson, 2008). Macfarlane ar kolēģiem (2008) apgalvo, ka īso ķēžu taukskābju produkcija ir vissvarīgākais fizioloģiskais process, ko veic zarnu mikroorganismi. Tiek producētas trīs galvenās īso ķēžu gaistošās taukskābes: acetilskābe, sviestskābe un propionskābe. Šīs taukskābes ietekmē vielu transportu cauri zarnu epitēlijšūnām, zarnu šūnu vielmaiņu, augšanu un diferenciāciju, nodrošina enerģiju dažādiem orgāniem un palīdz samazināt diareju smagumu (Nugent, 2005). Sviestskābe veicina šūnu augšanu un palielina zarnās uzsūkšanās laukumu un tā tiek metabolizēta zarnu epitēlijā, izmainot mikrofloras sastāvu gan tievajā, gan resnajā zarnā (Hawthorne, Abrams, 2007). Propionskābe uzlabo sagremoto barības masu kustību resnajā zarnā, tādējādi stimulējot epitēlijšūnu proliferāciju un palīdzot uzturēt epitēlija integritāti, lai uzturētu homeostāzi organismā (Annison, Topping, 1994). Acetilskābe tiek izmantota sviestskābes veidošanā. Palielināts īso ķēžu gaistošo taukskābju daudzums un samazināts intraluminālais pH var novērst pH jutīgo patogēno baktēriju augšanu un vairošanos zarnās un veicina labvēlīgo baktēriju proliferāciju, tādējādi uzlabojot dzīvnieka vispārējo gremošanas kanāla veselību (Topping, Clifton, 2001).

1.2. Teļu hematoloģisko un bioķīmisko asins rādītāju izmaiņas postnatālās attīstības laikā

Teļiem pirmajos dzīves mēnešos jāpielāgojas dažādiem ārējās vides faktoriem, ieskaitot izmaiņām barošanā, īpaši pārejas periodā no piena izbarošanas uz tilpumaino barību (Odle, 1997). Dažādu asins analīžu laboratorisko izmeklējumu veikšana var sniegt būtisku informāciju par atsevišķu indivīdu un visa ganāmpulka veselību. Lai maksimāli precīzāk varētu interpretēt

laboratorisko izmeklējumu rezultātus, ir labi jāizprot visas fizioloģiskās izmaiņas teļu organismā tiem augot. Tomēr jāņem vērā, ka laboratorisko izmeklējumu rezultāti ir atkarīgi arī, piemēram, no teļa vecuma, dzimuma, šķirnes, uzņemtās barības veida un citiem faktoriem (Mikolaychik et al., 2020; Dillane et al., 2018; Ježek et al., 2011; Mohri et al., 2007). Teļi tilpumaino barību nelielos daudzumos sāk uzņemt jau no aptuveni 14 dienu vecuma (National Research Council, 2001), bet īpaši liela nozīme barības veidam un barošanas režīmam ir sasniedzot 5 nedēļu vecumu, kad teļi tilpumaino barību (sienu, starterbarību) sāk uzņemt būtiski vairāk (Reece, 1980).

Kā jau minēts iepriekš, teļu vecums ir būtisks faktors, kas ietekmē asins analīžu rezultātus. Pētījumā ar 65 Holšteinas melnraibās šķirnes teļiem no dzimšanas līdz 24 nedēļu vecumam tika novērots, ka teļu vecumam bija būtiska ietekme uz hematoloģiskajiem rādītājiem ($p < 0.001$) (Ježek et al., 2011). Eritrocītu daudzums asinīs samazinājās no 2. – 5. teļu dzīves nedēļai, vēlāk eritrocītu daudzums palielinājās. Līdzīga dinamika bija novērojama saistībā ar hemoglobīna koncentrāciju asinīs un hematokrītu. Rādītāji palielinājās līdz 2. teļu dzīves nedēļai, tad tie samazinājās līdz 6. dzīves nedēļai, bet vēlāk līdz ar vecumu palielinājās. Eritrocītu daudzuma samazinājumu pirmajās dzīves nedēļās varētu izskaidrot ar to, ka pēc piedzimšanas samazinās eritrocītu produkcija, kā arī teļa organismā cirkulējošo intrauterīni producēto eritrocītu dzīves ilgums ir īsāks (Harvey, 1997). Savukārt pēc 5. – 6. dzīves nedēļas eritrocītu, hemoglobīna un hematokrīta rādītāji palielinās, kas varētu būt saistīts ar to, ka teļi vairāk uzņem tilpumaino barību (starterbarību, sienu), kas satur vairāk dzelzi nekā piens (Reece, 1980).

Kopējo leukocītu skaits asinīs teļiem ir augstāks nekā pieaugušiem dzīvniekiem un ir vairāk mainīgs nekā citi hematoloģiskie rādītāji. Dažādajiem leukocītu veidiem ir atšķirīgs dzīves ilgums, tāpēc to daudzums var strauji mainīties un asinis kalpo tikai kā transportvide uz iekaisuma vietu (Kraft, 1999). Tas, ka leukocītu skaits dažādos teļa vecuma posmos ir svārstīgs, tika apstiprināts Ježek un viņa kolēģu (2011) veiktajā pētījumā. Leukocītu skaits parasti palielinās dažādu slimību gadījumos, īpaši, ja novērojams iekaisuma process.

Trombocītiem ir ļoti svarīga nozīme homeostāzes, iekaisuma, audzēju metastāžu, audu dzīšanas un organisma aizsardzības fizioloģiskajos un patoloģiskajos procesos (Jurk, Kehrel, 2005). Kopējo trombocītu skaitu ietekmē ražošanas apjoms, patēriņš, sekvestrācija un asins zudums (Russell, 2010). Trombocītu skaits teļiem būtiski palielinās pirmo 2 dzīves nedēļu laikā un turpina palielināties, bet daudz lēnāk, arī pirmajos 3 dzīves mēnešos. Pētījumos konstatēts, ka, salīdzinot ar pieaugušu govju trombocītu skaitu asinīs, teļiem tas var būt gan tāds pats (Mohri et al., 2007), gan būt arī lielākā daudzumā (Brun-Hansen et al., 2006).

Asins seruma bioķīmisko rādītāju novērtēšana sniedz priekšstatu par dažādu orgānu un visa organisma darbību. Piemēram, urīnvielas (UREA) līmeni asins serumā nosaka, lai novērtētu proteīna un enerģijas maiņu organismā un spriestu par nieru darbību (Hammond, 1998). UREA ir proteīna noārdīšanas produkts, kas tiek sintezēts aknās un izvadīts caur nierēm (Blum, Hammon, 2000). Ja palielinās ar barību uzņemtās enerģijas daudzums, tad UREA koncentrācija asinīs samazinās. Tas varētu būt saistīts ar to, ka spureklī tiek efektīvāk izmantots UREA sastāvā esošais slāpekļs (Hammond, 1998). Palielināta UREA koncentrācija teļu asins serumā norāda uz palielinātu proteīnu katabolismu un tas novērojams, piemēram, pie ilgstošām diarejām (Jazbec, 1990). Urīnvielas daudzums asinīs mainās arī atkarībā no teļu vecuma. Knowles ar kolēģiem (2000) 83 dienu garā pētījumā ar 14 teļiem novēroja UREA koncentrācijas strauju samazināšanos pēc piedzimšanas līdz 10. dzīves dienai, bet pēc 40. dzīves dienas UREA līmenis asinīs pakāpeniski palielinājās un pētījuma beigās jau sasniedza pieaugušu govju UREA normas zemāko robežu 3.4 mmol L^{-1} .

Par nieru darbību, un īpaši par glomerulāro filtrācijas sistēmu, var spriest, nosakot asins serumā kreatinīna (CREA) līmeni. Kreatinīns ir kreatīna un kreatīna fosfāta sadalīšanās produkts muskuļos un tas tiek izvadīts caur nierēm (Yu, 2019). Tomēr jāpiemin, ka šī rādītāja koncentrācija asins serumā palielinās tikai pie nopietniem nieru bojājumiem (Kraft, Durr, 1999a), kā arī tā nav atkarīga no uzņemtās barības veida (Ježek et al., 2011).

Par aknu darbību var spriest izvērtējot vairāku asins seruma bioķīmisko rādītāju vērtības. Piemēram, asparāta aminosferāzes (ASAT) palielināts daudzums asins serumā norāda uz aknu bojājumiem, pat, ja vēl nav novērojamas nekādas klīniskas saslimšanas pazīmes (Meyer, Harver, 1998). Jāpiemin, ka ASAT enzīms novērojams arī citos organisma audos un ir jutīgs mīksto audu bojājumu indikators. Augsta ASAT aktivitāte, neskaitot aknas, ir arī sirds un skeleta muskulatūrā (Kraft, 1999). Tā kā ASAT novērojams šūnu citoplazmā un mitohondrijos, tad tā līmenis asinīs paaugstinās galvenokārt šūnu nekrozes dēļ un mazākā mērā šūnu membrānas bojājumu dēļ (Teneva et al., 2020). Izpētīts, ka ASAT līmenis asinīs saglabājas stabils un zems līdz 7. teļu dzīves nedēļai (Yu et al., 2019), citi autori novērojuši, ka ASAT aktivitāte pieaug jau no 2. teļu dzīves nedēļas, bet ASAT pieaugušu govju līmeni sasniedz aptuveni 8. – 10. dzīves nedēļā (Mohri et al., 2007).

Gamma-glutamilttransferāze (GGT) vislielākā daudzumā ir atrodama žults vadu epitēlijā un nierēs. Enzīms ir lokalizēts šūnu membrānu struktūrās. Paaugstināts GGT daudzums asins serumā parasti ir saistīts ar holestāzi un žults vadu bojājumiem. Ļoti liels GGT daudzums ir arī atgremotāju pirmpienā (Ježek et al., 2011).

Daudz informācijas par dažādiem organisma fizioloģiskajiem procesiem var iegūt arī izpētot tādus asins seruma rādītājus kā kopējais proteīns (TP), t.sk., albumīns un globulīni. Proteīna uzsūkšana notiek tievajā zarnā, kur tas tiek sašķelts līdz aminoskābēm. Atgremotājiem galvenais proteīna avots nāk no spureklī esošajiem mikroorganismiem, kas tiek sagremoti tālākās gremošanas kanāla daļās. Aknas ir galvenā vieta organismā, kur tiek sintezēti paša organisma proteīni (Ježek et al., 2011). Kopējā proteīna un albumīna – globulīnu savstarpējā attiecība mainās līdz ar vecumu. Parasti teļiem TP koncentrācija asins serumā ir zemāka nekā pieaugušiem dzīvniekiem (Kraft, Durr, 1999b). TP un albumīna koncentrāciju ietekmē teļu barošana un aknu darbība (Steinhardt, Thilescher, 2000). Augstāks TP līmenis asins serumā var norādīt uz dehidratāciju (Soares et al., 2017). Albumīns sastāda 50 – 65% no kopējā proteīna apjoma (Pekcan et al., 2012) un tas tiek sintezēts aknās (Ježek et al., 2011). Galvenā albumīna funkcija ir buferfunkcija un piedalīšanās jonu transportā, pamatā ūdenī šķīstošo vitamīnu un kofaktoru apmaiņā (Jain, 1993). Albumīns palīdz uzturētu osmotisko spiedienu, kas nepieciešams, lai nodrošinātu normālu organisma šķidrumu sadalījumu starp intravaskulāro un ekstravaskulāro vidi (Pekcan et al., 2012; Ježek et al., 2011). Globulīnus, kas arī novērojami asinīs, producē imūnsistēma (Ježek et al., 2011). Seruma globulīni ir atbildīgi par imūnsistēmas stāvokli. Tātad palielināts seruma TP un globulīnu līmenis norāda uz labāku imūnsistēmas stāvokli dzīvniekam (Jain, 1993). Dzīvniekam kļūstot vecākam, albumīna līmenis asinīs samazinās un globulīna koncentrācija asins serumā palielinās (Kaneko et al., 2008).

Priekšstatu par enerģētiskajiem procesiem organismā var iegūt izvērtējot glikozes līmeni asinīs. Glikoze ir viens no galvenajiem organisma enerģijas avotiem. Asins glikozes homeostāze ir komplekss process, kurā ietverti dažādi orgāni un receptori, hormoni un citi regulatorie mehānismi (Barros et al., 2009). Atgremotājiem vielmaiņu būtiski ietekmē apēsto barības līdzekļu ekstensīvā mikrobiālā fermentācija spureklī. Barības līdzekļos esošie ogļhidrāti lielā daudzumā tiek pārvērsti gaistošajās taukskābēs, tāpēc no gremošanas kanāla tiek uzsūkts ļoti neliels glikozes daudzums. Tādēļ galvenais process, kura rezultātā atgremotāja organisms tiek nodrošināts ar nepieciešamo glikozes daudzumu ir glikoneoģenēze, kas notiek aknās (Hamada, 1984). Kā galvenā spureklī producētā gaistošā taukskābe, kas tiek izmantota glikozes producēšanai glikoneoģenēzes procesā ir propionskābe (Ensminger et al., 1990). Teļiem agrīnā vecumā, kad spureklis vēl pilnīgi nefunkcionē, galvenais enerģijas avots ir glikoze no laktozes, kas atrodas pienā vai piena aizvietotājā, tomēr līdz ar teļa vecuma palielināšanos un spurekļa attīstīšanos, glikozes daudzums, kas tiek uzņemts no gremošanas kanāla samazinās (Haga et al., 2008).

1.3. Metanoģenēze atgremotāju gremošanas kanālā

Enterālo CH₄ producē metanoģenie mikroorganismi, kas pieder pie domēna *Archaea*, tipa *Euryarcheota* (Balch et al., 1979), procesā, ko sauc par metanoģenēzi (Varga, Kolver, 1997). Spurekļa ekosistēmā metanoģeni ir atrodami lielā daudzumā (10⁸ līdz 10⁹ šūnas mL⁻¹) (Kumar et al., 2009).

Metāna produkcija galvenokārt rodas no mikrobiālās fermentatīvās ogļhidrātu hidrolīzes (Kristensen et al., 2011; Johnson, Johnson, 1995). No katriem 100 g spureklī fermentēto ogļhidrātu tiek producēts aptuveni 4.5 g CH₄ (Mahesh et al., 2013). Metanoģeni dzīvo obligāti anaerobos apstākļos un tiem ir simbiotiskas attiecības ar daudzām baktērijām un viensūņiem (Ohene-Adjei et al., 2007). Metāna producēšanā spureklī ir iesaistīti gan metanoģeni, gan viensūņi (Johnson, Johnson, 1995). Būtībā visas baktērijas, kas piestiprinājušās pie viensūņiem, ir metanoģeni. Šīs baktērijas saražo 0.25 – 0.37% no kopējā CH₄ daudzuma (Vogels et al., 1980).

Lielākā daļa no liellopu spureklī esošajiem metanoģeniem metāna producēšanai patērē ūdeņradi un CO₂, bet ir grupa metanoģenu no *Methanosarcina* ģints, kas, patērējot tikai ūdeņradi un CO₂, aug lēni un tāpēc, lai producētu CH₄, patērē arī metanolu un metilamīnus. Kā izejvielu metanoģenēzes procesā metanoģeni var izmantot arī formiātu, kas tiek veidots acetāta producēšanas laikā, lai gan bieži tas ātri tiek pārvērsts ūdeņradī un CO₂ (Hungate et al., 1970). Gaistošās taukskābes kā izejvielas metanoģenēzes procesā netiek bieži izmantotas, jo to pārvēršana līdz CO₂ un ūdeņradim, ir ilgstošs process (Stewart et al., 1997). Tāpēc metanoģenēzei bieži izmanto ūdeņradi un CO₂, kas tiek producēts no ogļhidrātu fermentācijas procesiem, kad tiek producētas gaistošās taukskābes (Hungate et al., 1970). Ogļhidrātu fermentācijas process noslēdzas ar ūdeņraža produkciju un, ja šis gala produkts netiek neitralizēts, tas spēj nomākt spurekļa mikroorganismu metabolismu (Sharp et al., 1998).

Metāna produkcija atgremotāju gremošanas kanālā ir atkarīga no daudziem faktoriem:

- 1) uzņemtās barības apjoma (Enishi, 2007). Ja uzņemtās barības daudzums diennaktī pieaug, pieaug arī CH₄ produkcija (Shibata, Terada, 2010).
- 2) barības veida un tās kvalitātes (Shibata, Terada, 2010; Hegarty et al., 2007; Nkrumah et al., 2006; Johnson, Johnson, 1995). Īpaša nozīme ir ogļhidrātu veidam, jo ogļhidrāti spēj ietekmēt spurekļa satura pH un tādējādi mainīt spureklī esošo mikrobiomu (Johnson, Johnson, 1995). Metāna produkcija palielinās, ja barības devā pieaug tilpumainās barības daudzums (Shibata, Terada, 2010; Johnson, Johnson, 1995)
- 3) barības līdzekļu sagremojamības (Enishi, 2007)
- 4) lipīdu klātbūtnes (nepiesātinātās taukskābes) (Enishi, 2007). Barības fermentācijas ātrumu un veidu ietekmē daudzi faktori, tādi kā barības košļāšana, siekalu daudzums un barības masu virzīšanās ātrums pa gremošanas kanālu (Varga, Kolver, 1997)
- 5) enerģijas patēriņa līmeņa un dzīvnieka izmēra (Nkrumah et al., 2006)
- 6) dzīvnieka augšanas ātruma, produktivitātes (Hegarty et al., 2007)
- 7) ģenētikas (Hegarty et al., 2007)
- 8) dzīvnieku stresa līmeņa (Shibata, Terada, 2010; Hegarty et al., 2007; Johnson, Johnson, 1995).

Metanoģenēzes process ietekmē dzīvnieku produktivitāti un, iespējams, var atstāt negatīvu ietekmi uz atgremotāju produktivitāti arī ilgtermiņā (GHGMP, 2005). Dažādi autori ir noteikuši enterālā CH₄ produkcijas radīto enerģijas zudumu atgremotājiem:

- 1) 5 – 9%, (Martin et al., 2010);
- 2) 10%, (Öztürk, 2007);
- 3) 10 – 12%, (McCrabb, Hunter, 1999);
- 4) 12%, (Johnson, Johnson 1995);
- 5) 2 – 12%, (Mahesh et al., 2013; Johnson, Johnson, 1995);

6) 2 – 15%, (Giger-Reverdin et al., 1998);

7) 5 – 15%, (Hegarty, 2002).

Metanogēnēzes procesā saražotais metāns ir bezkrāsaina gāze, bez smaržas un garšas. Tā ir viegli uzliesmojoša, tāpēc ir primārais dabasgāzes komponents. Tā kā CH₄ dabiski ir atrodams atmosfērā, cilvēki un dzīvnieki to ikdienā nelielos daudzumos ieelpo. Metāns ir vieglāks par gaisu un tā specifiskais blīvums ir 0.554. Šī gāze slikti šķīst ūdenī, bet labi šķīst organiskajos šķīdinātajos. Dabiski novērojamais CH₄ pamatā tiek producēts metanogēnēzes procesā (Hook et al., 2010).

Metāns, kā nozīmīgs globālās sasilšanas veicinātājs, (Xiaoli et al., 2010), ir otrais pēc CO₂ (Lassey, 2007; IPCC 1995) un sastāda:

1) 10 – 18% (Scheehle, Kruger, 2006),

2) 12 – 17% (Beauchemin et al., 2009),

3) 15 – 20% (Rawat et al., 2008) no visām siltumnīcas efektu izraisošām gāzēm.

Metāna siltumnīcas efektu izraisošais potenciāls ir vairākkārtīgi lielāks par CO₂:

1) 23 reizes (IPCC 1995),

2) 23 – 25 reizes (Christophersen et al., 2008),

3) 25 reizes (Forster et al., 2007; IPCC, 2001).

Kopējās globālās antropogēnās CH₄ koncentrācijas kopš pirmsindustriālā laika ir strauji pieaugušas (Chagunda et al., 2009).

1.3.1. Metanogēnie mikroorganismi spurekļa un resnās zarnas saturā

Metanogēni klasificēti 28 ģintīs un ir izdalītas 113 metanogēnu sugas, bet tikai neliels to skaits ir izolēts no spurekļa (Janssen, Kirs, 2008). Piecas galvenās metanogēnu kārtas ir: *Methanobacteriales*, *Methanosarcinales*, *Methanococcales*, *Methanomicrobiales* un *Methanopyrales*. Spureklī dominē metanogēni no *Methanobacteriales* kārtas. Nozīmīgākie metanogēni aitu un liellopu spurekļa ekosistēmā ir *Methanosarcina* ģints metanogēni un atsevišķas metanogēnu sugas, tādas kā *Methanobrevibacter ruminantium* un *Methanomicrobium mobile*. Pētījumos atklāts, ka kopējie metanogēni spureklī sastāda 3.6% no visu mikroorganismu daudzuma spureklī un 54% no tiem ir *Methanomicrobium mobile* (Yanagita et al., 2000).

Nicholson ar līdzautoriem (2007) atklāja, ka liellopiem dominējošie ir *Methanobacteriales* un *Methanosarcinales* kārtu metanogēni. Wright ar kolēģiem (2007) liellopiem kā galvenās spureklī esošās metanogēnu sugas identificēja *Methanobrevibacter ruminantium*, *Methanobrevibacter thaueri*, *Methanobrevibacter smithii* un *Methanosphaera stadtmanae*. Savukārt Whitford ar kolēģiem (2001) liellopu spureklī kā galvenās metanogēnu sugas identificēja *Methanobrevibacter ruminantium* un *Methanosphaera stadtmanae*.

Dažādās spurekļa lokalizācijas vietās ir sastopami atšķirīgi metanogēni. Shin ar līdzautoriem (2004) savā pētījuma novēroja, ka spurekļa šķidrumā un uz spurekļa sienas epitēlija dominē *Methanomicrobiaceae* dzimtas metanogēni, bet, paraugos, kas ņemti no spurekļa cieto daļiņu satura, dominē *Methanobacteriaceae* dzimtas metanogēni.

Ir veikti plaši pētījumi par metanogēniem atgremotāju spureklī, bet ir maz zināms par šo mikroorganismu sastopamību gremošanas kanāla tālākās daļās. Atsevišķos pētījumos noskaidrots, ka teļu resnajā zarnā un fekālijās konstatētās satopamākās metanogēnu sugas ir *Methanomicrobiales mobile*, mazākā daudzumā *Methanococcales vovae* un pārstāvji no ģints *Methanobrevibacter* (*M. ruminantium*, *M. wolinii*, *M. smithii* u.c.) (Guzman et al., 2015).

Atšķirībā no baktērijām, metanogēniem šūnas sienā nav peptidoglikāna. *Methanobrevibacter* un *Methanobacterium* ģints metanogēniem tas ir aizvietots ar pseidomureīnu, *Methanosarcina* ģints pārstāvjiem ar heteropolisaharīdu un *Methanomicrobium* ģints metanogēniem ar proteīnu (Balch et al., 1979). Visi metanogēni producē koenzīmu F₄₂₀, kas ir kofaktors un nepieciešams tādu enzīmu darbībai, kā hidroģenāze un formiāta

dehidrogenāze (Ashby et al., 2001). Otrs koenzīms, kas raksturīgs metanogēniem ir koenzīms M, kuru vai nu producē paši metanogēni, piemēram, *Methanobacterium* ģints pārstāvji, vai tas tiek iegūts no ārējiem avotiem, kā tas ir *Methanobrevibacter ruminantium* sugas metanogēniem (Rouviere, Wolfe, 1988). Koenzīms M nepieciešams, lai producētu CH₄ (Stewart et al., 1997).

Metanogēnie mikroorganismi pēc savas uzbūves ir ļoti atšķirīgi.

- 1) *Methanobrevibacter ruminantium* ir nūjiņveida ar variablu motilitāti un kā substrātus CH₄ ražošanai spēj izmantot ūdeņradi, CO₂ un formiātu (metanoātu) (Balch et al., 1979). Uzskata, ka no formiāta veidojas aptuveni 15 – 20% no kopējā spureklī producētā CH₄ daudzuma (Asanuma et al., 1999; Hungate et al., 1970).
- 2) *Methanobacterium formicicum* var būt nūjiņveida vai pavedienvēda, bez motilitātes un CH₄ ražošanai spēj izmantot tādus pašus substrātus kā *Methanobrevibacter* (Balch et al., 1979).
- 3) *Methanomicrobium mobile* ir nūjiņveida un ir kustīgi un, lai producētu CH₄, izmanto gan ūdeņradi, gan CO₂, kā arī formiātu (Balch et al., 1979).
- 4) *Methanosarcina barkeri* un *Metanosarcina mazei* ir kokveida formas, bet bez motilitātes (Balch et al., 1979).
- 5) *Methanosarcinales* kārtā satur vienīgos metanogēnus ar citohromām un spēj augt visplašākajos substrātu veidos (Thauer et al., 2008). Citohromām ir svarīga nozīme metil grupu oksidācijas procesos līdz CO₂ (Kuhn et al., 1983).
- 6) *Methanosarcina barkeri* spēj producēt CH₄ no ūdeņraža un CO₂, acetāta, metilamīniem un metanola (Balch et al., 1979).
- 7) *Methanosarcina mazei* spēj izmantot tādus pašus substrātus kā *Methanosarcina barkeri*, izņemot ūdeņradi un CO₂ (Balch et al., 1979).

1.3.2. Metanogēnēzē iesaistīto gāzu nozīme siltumnīcas efekta procesos

Visu dzīvnieku gremošanas kanālā notiek dažādi mikrobiālie procesi, kuru rezultātā tiek producētas gāzes. Mikrobiālā aktivitāte ir īpaši intensīva atgremotājiem (Alemu et al., 2011). Spureklī norit mikrobiālie fermentācijas procesi, kuru rezultātā veidojas gāzes. Tās ir atrodamas spurekļa augšējā daļā, pamatā tās veido CO₂ 65.5% (Ishler, 2016) (50 – 60%) (Öztürk, 2007) un CH₄ 26.8% (Ishler, 2016) (30 – 40%) (Öztürk, 2007), kā arī ūdeņradis (H₂) 0.2%, skābeklis (O₂) 0.5%, slāpeklis (N₂) 7% (Ishler, 2016). Pieaugušu liellopu spureklī dienā tiek saražoti 500 – 1500 L gāzu (Öztürk, 2007). Šo gāzu proporcija ir atkarīga no spurekļa ekosistēmas un fermentācijas procesu intensitātes. Parasti CO₂ tiek saražots 2 – 3 reizes vairāk nekā CH₄, neskatoties uz to, ka liels daudzums CO₂ tiek pārveidots par CH₄ (Ishler, 2016). Liellopi producē 250 – 500 L CH₄ dienā (Johnson, Johnson, 1995). Savukārt citi autori aprēķinājuši, ka atgremotāji producē aptuveni 80 miljonus tonnu CH₄ gadā (Beauchemin et al., 2008).

Ir trīs galvenās antropogēnās izcelsmes siltumnīcas efektu izraisošās gāzes: metāns (CH₄), oglekļa dioksīds (CO₂) un slāpekļa oksīds (N₂O) (Slade et al., 2016). Galvenās gāzes, kas paaugstina globālo temperatūru ir CO₂ un CH₄ (Hansen et al., 2007). Cilvēki ir atbildīgi par aptuveni divām trešdaļām no kopējām metāna emisijām (Huarte et al., 2010). Kopējās antropogēnās metāna emisijas no lauksaimniecības nozares sastāda aptuveni 47 – 56% (Shibata, Terada, 2010; Smith et al., 2007), 50 – 60% (Ellis et al., 2007) un tās galvenokārt nāk no lopkopības sektora. Satraukumu visā pasaulē rada pieaugošā siltumnīcas efektu izraisīto gāzu emisija no dzīvniekiem un šo gāzu ietekme uz klimata izmaiņām (Martin et al., 2010; Steinfeld, Wassenaar, 2007). Jau ilgstoši visā pasaulē tiek runāts par globālo sasilstānu un ozona slāņa noārdīšanos siltumnīcas efektu izraisīto gāzu palielinātās emisijas dēļ. Tiek novērota aisbergu kušana, okeānu līmeņa celšanās un citas lokālas un globālas ekosistēmas problēmas. Šīs izmaiņas skar ne tikai vidi, bet arī rada izmaiņas cilvēku un dzīvnieku populācijā (Bunglavan, 2014). IPCC (2001) brīdināja, ka šī gadsimta vidū globālā temperatūra paaugstināsies par 5.8°C. Tomēr jāpiemin, ka siltumnīcas efektu izraisītajām gāzēm atmosfērā ir arī kāda būtiska

nozīme. Tās nepieciešamas, lai uzturētu uz zemes dzīvību. Bez tām planēta būtu mūžīgi sasalusi, jo viss saules siltums no zemes virsmas tiktu izstarots atpakaļ visumā (Moss, 1993).

Liellopi ir galvenie CH₄ emitētāji Latvijā (95.2% no kopējām enterālās izcelsmes CH₄ emisijām). 2013. gadā slaucamās govīs producēja 64.5% un neslaucamie liellopi 30.7% no kopējām CH₄ emisijām (Degola et al., 2015).

Liellopi saražo aptuveni 80% no kopējām lauksaimniecības sektora siltumnīcas efektu izraisošajām gāzēm. Pamatā tas ir CH₄, kas nāk no enterālās anaerobās fermentācijas procesiem un mēslu apstrādes (Kristensen et al., 2011; Takahashi, 2010). Enetrālais CH₄ pamatā tiek producēts spureklī (87 – 90%) un mazākā apjomā (13 – 10%) resnajā zarnā (Muñoz et al., 2012).

Dažādi autori savos pētījumos min atšķirīgu informāciju par atgremotāju gremošanas procesu laikā producēto CH₄ procentuālo daudzumu (Alemu et al., 2011) no globālā CH₄ emisijas apjoma:

- 1) 12% (Beauchemin et al., 2010),
- 2) 15% (Takahashi, 2010),
- 3) 15 – 20% (Scheehle, Kruger 2006; IPCC, 2001),
- 4) 18% (Naqvi, Sejian, 2011),
- 5) aptuveni 28% (Beauchemin et al., 2008)

Dzīvnieki CH₄ izdala atmosfērā to izelpojot pamatā caur muti un degunu (Beauchemin et al., 2010). No visa CH₄ daudzuma, kas tiek producēts fermentācijas procesos priekškuņģos, 95% tiek izvadīts ar atraugām un no tā CH₄ daudzuma, kas tiek producēts resnajā zarnā, 89% (Murray et al., 1976) tiek izvadīts izelpojot un tikai 11% (Murray et al., 1999), 3% (Muñoz et al., 2012) caur anālo atveri. Metāna koncentrācija izelpā ir variabla. Tas ir zemākā koncentrācijā, ja izelpa nāk no plaušām, un augtākā koncentrācijā, ja „izelpa” ir gāzes, kas ar atraugām nāk no priekškuņģiem. Autori uzsver, ka no plaušām izelpotais gaiss satur gan organismā saražoto CH₄, gan to, kas tika ieelpots (Madsen et al., 2010).

Lai arī CO₂ tiek pieskaitīts pie siltumnīcas efektu izraisošajām gāzēm, runājot par atgremotājiem, tas netiek īpaši uzsvērts (IPCC 2001). Emitētais CO₂ ir daļa no oglekļa (C) cikla, kas sākas ar fotosintēzes procesu augos. Kad dzīvnieki apēd augu barību, to organismā augos saistītais C tiek pārvērsts atpakaļ par CO₂ un tiek izdalīts no organisma izelpojot (IPCC 2001). Slaucamo govju fermās CO₂ emisijas rodas no elpošanas (dzīvnieki, augi) un augsnes organiskā materiāla sadalīšanās un kūstmēsliem (IPCC 2001, Schlesinger, 2000). Slaucamo govju fermās dzīvnieku elpošana ir galvenais CO₂ avots (90% no visām fermas CO₂ emisijām) (Chianese et al., 2009b). Kopumā fermās producētā CO₂ daudzums ir līdzsvarā ar asimilēto šīs gāzes daudzumu augos, kurus apēd dzīvnieki. Tomēr daļa ar barību uzņemtā oglekļa tiek pārvērsts un no organisma izdalīts kā CH₄, daļa tiek absorbēta dzīvnieku audos (gaļā) un daļa no C tiek izdalīts ar producēto pienu (Chianese et al., 2009a).

1.3.3. Metanogēnes procesa samazināšanas iespējas

Ir aprakstītas daudz dažādas stratēģijas, kā samazināt metāna emisiju apkārtējā vidē, ieskaitot atgremotāju skaita samazināšanu. Kopējā siltumnīcas efektu izraisošo gāzu emisija cieši saistīta ar mājlopu skaitu. Mazāks daudzums produktīvāku dzīvnieku kopumā rada mazāku šo gāzu emisiju uz vienu gaļas vai piena vienību (Beauchemin et al., 2008). Lielāka dzīvnieku produktivitāte pakāpeniski samazina CH₄ emisiju uz kg iegūtā produkta, jo pieaug pienā un gaļā absorbētā metāna daudzums. Tomēr dienas emisijas un tātad arī gada emisijas no augsti produktīviem dzīvniekiem parasti ir lielākas, jo augstāka dzīvnieka produktivitāte ir saistīta ar labāku barības, īpaši sausnes, uzņemšanas spēju (O'Mara, 2004). Tāpēc barības sastāvā esošās sausnes daudzumu izmanto matemātiskai CH₄ emisijas aprēķināšanai (Degola et al., 2016).

Kā viena no CH₄ mazināšanas iespējām tiek minēta slaucamo govju dzīvildzes pagarināšana. Jo ilgāk govis paliek ganāmpulkā, jo to aizvietošana ar jaunām, vēl nelaktējošām govīm notiek retāk, un tāpēc kopējās šādas saimniecības CH₄ emisijas ir zemākas (O'Mara, 2004).

Pētnieki ir meklējuši iespēju samazināt CH₄ emisiju arī ražojot liellopu gaļu. Noskaidrots, ka labāki dzīvnieku augšanas rādītāji palīdz ātrāk sasniegt kaušanas dzīvmasu, līdz ar to kopējā dzīves laika CH₄ emisija ir mazāka (O'Mara et al., 2008).

Kā citas CH₄ emisijas samazināšanas stratēģijas tiek minētas: neatgremotāju dzīvnieku skaita palielināšana, ģenētiskās manipulācijas ar spurekļa metanogēnajiem mikroorganismiem, tādu dzīvnieku šķirņu attīstīšana, kas producē mazāk CH₄, dažādu barības piedevu pielietošana (organiskās skābes, probiotikas, augu ekstrakti, taukskābes, eļļas, acetogēni, bakteriocīni u.c.), kā arī ieviešot korekcijas barošanā (Shibata, Terada, 2010).

Ciete stimulē proprionāta veidošanos un veicina amilolītisko baktēriju skaita palielināšanos, kas samazina spurekļa satura pH, kas savukārt noved pie metanogēnēzes samazināšanās (Johnson, Johnson 1995).

Taukskābes un eļļas ir barības piedevas, kas pētītas gan *in vitro*, gan *in vivo*, arī ietekmē metanogēnēzi. Palielināts lipīdu saturs barībā samazina metanogēnēzi, jo lipīdi inhibē viensūņus, palielina proprionskābes produkciju (Johnson, Johnson 1995). Atklāts, ka taukskābe miristīnskābe spēj samazināt CH₄ produkciju par 22% aitām, kurām izbaroja tilpumaino barību un par 58% aitām, kurām izbaroja koncentrātu barību (Machmüller et al., 2003a). Saulespuķu eļļas pievienošana liellopiem pie barības samazināja metanogēnēzi par 11.5 – 22% (Beauchemin et al., 2007).

Proteīna piedevas barībā palielina barības vielu sagremojamību un būtiski samazina CH₄ produkciju spureklī (Shibata, Terada, 2010; Johnson, Johnson, 1995).

Spurekļa defaunizācija var samazināt CH₄ produkciju par 20% (Eckard et al., 2010). Spurekļa viensūņiem ir simbiotiskas attiecības ar metanogēniem, tie piedalās starpsugu ūdeņraža pārvadē, kas nodrošina metanogēniem ūdeņradi, kas tiem nepieciešams, lai transformētu CO₂ par CH₄ (Machmüller et al., 2003b). Ir noteikts, ka metanogēni, kas saistīti ar skropstaiņu viensūņiem, gan intracelulāri, gan ekstracelulāri saražo 9 – 37% no kopējā CH₄ spureklī (Machmüller et al., 2003b). Šī iemesla dēļ, manipulācijas, kas samazina viensūņu populāciju spureklī, var arī samazināt ar viensūņiem saistītās metanogēnu populācijas daudzumu un, tādējādi samazināt CH₄ produkciju spureklī (Stewart et al., 1997).

Pēdējā laikā lielu uzmanību ir piesaistījusi raugu (*S.cerevisiae*, *Aspergillus oryzae*) piedevu pievienošana pie atgremotāju barības (Hassan et al., 2016). Tomēr līdz šim ir maz pierādījumu, kas norādītu uz probiotiku efektivitāti CH₄ produkcijas samazināšanā atgremotājiem (Jeyanathan et al., 2014).

1.4. Bioloģiskas izcelsmes barības piedevas (prebiotikas, probiotikas, sinbiotikas)

Mūsdienās, strauji attīstoties piena lopkopībai, pieaug arī nepieciešamība pēc tādu teļu iegūšanas, kas ir veselīgāki, ar labākiem augšanas rādītājiem un augstāku produktivitāti. Nereti to vēlas panākt ar antibiotiku profilaktisku pielietošanu. Jau kopš 1940. gada pie dzīvnieku barībām tika pievienotas antibiotikas, lai veicinātu dzīvnieku augšanu. Tomēr Eiropas Savienības valstīs kopš 2006. gada 1. janvāra antibiotiku lietošana dzīvniekiem slimību profilaksei un produktivitātes paaugstināšanai ir aizliegta².

Antibiotiku lietošana var radīt antimikrobiālo rezistenci, samazināt labvēlīgo baktēriju daudzumu zarnās un nomākt dzīvnieku dabisko imunitāti. Lai aizstātu antibiotiku profilaktisko

² Eiropas Parlamenta un Padomes Regula (EK) Nr. 1831/2003 Eiropas Parlamenta un Padomes Regula (EK) Nr. 1831/2003 (2003. gada 22. septembris) par dzīvnieku ēdināšanā lietotām piedevām. [Tiešsaiste] [skatīts 2016. gada 20. septembrī].

Pieejams: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LV/TXT/PDF/?uri=CELEX:32003R1831&from=en>

pielietošanu lopkopībā, ir nepieciešami alternatīvi, nekaitīgi līdzekļi, kas, tāpat kā antibiotikas, uzlabotu dzīvnieku augšanas rādītājus un produktivitāti (Martínez et al., 2014). Kā iespējamie alternatīvie līdzekļi ar īpašībām, kas ir līdzīgas antibiotikām ir prebiotikas, probiotikas un abu šo vielu kombinācija – sinbiotikas.

Prebiotikas ir ogļhidrāti (polisaharīdi vai oligosaharīdi), kas netiek sagremoti gremošanas kanālā fermentu ietekmē un netiek hidrolizēti gremošanas kanāla skābju ietekmē, kā arī netiek uzsūkti gremošanas kanāla sākumdaļā un, kurus savai augšanai un attīstībai izmanto gremošanas kanāla labvēlīgā mikroflora (Karlsson et al., 2011; Gibson, Roberfroid, 1995). Prebiotikas piegādā enerģiju un barības vielas probiotiskajiem mikroorganismiem (Le Blay et al., 1999).

Probiotikas pēc definīcijas ir dzīvu mikroorganismu barības piedevas, kas labvēlīgi ietekmē saimniekorganismu, uzlabojot mikroorganismu līdzsvaru zarnās (Kaur et al., 2002). Probiotikas palīdz uzturēt zarnu homeostāzi un veido aizsargbarjeru gremošanas kanālā (Le Blay et al., 1999).

Tiek uzskatīts, ka sinbiotikas (prebiotiku un probiotiku kombinācija) ir daudz aktīvākas un to ietekme ir daudz izteiktāka, nekā lietojot prebiotikas un probiotikas atsevišķi (Vandeplas et al., 2010). Tātad sinbiotikām ir gan prebiotiku, gan probiotiku īpašības, kas uzlabo probiotiku spēju izdzīvot gremošanas kanālā (Rioux et al., 2005). Kad lietotas atsevišķi, gan prebiotikas, gan probiotikas var uzlabot barības pārstrādi un diennakts dzīvmasas pieaugumu (Krueger et al., 2002) un, atbilstošā kombinācijā, šim efektam būtu jābūt labākam (Bengmark, 2005).

1.4.1. Prebiotiku, t.sk., inulīna ietekme uz atgremotāju veselības stāvokli, augšanu un gremošanas kanāla attīstību

Kā galvenās prebiotikas, ko izmanto dzīvniekiem, tiek minēti nesagremojamie oligosaharīdi: fruktooligosaharīdi (FOS), mannānoligosaharīdi (MOS) un galaktooligosaharīdi (GOS) (Hirayama, 2002).

Oligosaharīdi pagarina zarnu bārktstīņas un palielina īso ķēžu taukskābju produkciju, kā arī pasargā no patogēnu piestiprināšanās zarnu gļotādai, stimulē labvēlīgo baktēriju augšanu un aktivitāti un samazina patogēnu proliferāciju gremošanas kanālā (Król, 2011). Tiem ir specifiskas funkcijas, piemēram, MOS spēj bloķēt patogēnu vairošanos, FOS novērš *Enterobacteriaceae* dzimtas mikroorganismu, pamatā *Escherichia coli* (*E.coli*) un *Salmonella* ģints baktēriju, piestiprināšanos pie zarnu epitēlija (Benyacoub et al., 2008). Prebiotikas MOS un GOS veicina celulozītisko baktēriju skaita palielināšanos spureklī (Ghosh, Mehla, 2012). MOS un FOS var uzlabot teļu augšanas rādītājus gan piena izbarošanas periodā, gan tilpumainās barības izbarošanas periodā. Prebiotikas ksilooligosaharīdi teļiem palielina dzīvmasas pieaugumu un uzlabo barības izmantojamību tilpumainās barības izbarošanas periodā (Heinrichs et al., 2009). Savukārt prebiotikas GOS pievienošana pie barības spēj samazināt metāna (CH₄) produkciju pat par 11% (Zhou et al., 2004).

Mwenya ar kolēģiem (2004a) novēroja, ka prebiotikas veicina propionāta produkciju, stimulējot *Selenomonas*, *Succinomonas* un *Megasphaera* ģints baktēriju augšanu un inhibē acetātu producējošo *Ruminococcus* un *Butyrivibrio* ģints baktēriju augšanu.

Jāpiemin, ka pieaugušo atgremotāju spureklī esošie mikroorganismi var noārdīt prebiotikas un to pozitīvais efekts var izpalikt. To varētu novērst, ja prebiotikas tiktu iekapsulētas lipīdos, polimēros, vai tiktu pasargātas no noārdīšanas spureklī ar citām metodēm (Callaway et al., 2008).

Prebiotika inulīns ir polisaharīds, kas sastāv no frukānu ķēdēm, kas savienotas ar β 2,1 glikozīdu saiti, kas satur glikozi mazās devās (viena glikozes vienība ≤60 fruktozes vienībām). Savu saišu dēļ, inulīns ir rezistents pret fermentatīvo hidrolīzi cilvēku un monogastrisko dzīvnieku gremošanas kanāla sākumdaļā (Roberfroid et al., 1998). Inulīns netiek ne sagremots, ne arī uzsūkts tievajā zarnā, bet baktēriju ietekmē tas tiek selektīvi un ātri fermentēts tālākās

gremošanas kanāla daļās, stimulējot dažādu *Lactobacillus* un *Bifidobacterium* ģints baktēriju proliferāciju (Roberfroid et al., 1998; Gibson, Roberfroid, 1995). Rezultātā tiek producētas organiskās skābes (pienskābe un īso ķēžu taukskābes kā acetatiķskābe, propionskābe un sviestskābe) un gāzes (CO₂, CH₄ un H₂) (Samal, Behura, 2015).

Inulīns tiek veiksmīgi izmantots monogastriskiem dzīvniekiem, bet ne pieaugušiem atgremotājiem. Fermentācijas process, kas notiek monogastrisko dzīvnieku resnajā zarnā būtībā ir identisks tam procesam, kas notiek pieaugušu atgremotāju priekškuņģos (Öztürk, 2008).

Inulīns kā ogļhidrāts dabā ir atrodams 36000 augu sugās. Galvenie inulīna avoti ir topinambūrs (*Helianthus tuberosus*) un cigoriņi (*Cichorium intybus*) (Öztürk, 2008).

Vairākas enzīmu klases spēj hidrolizēt topinambūrā esošā inulīna fruktānu ķēdes. Endoinulināze šajās ķēdēs sašķel saites, iegūstot fruktānus ar samazinātu polimerāzes pakāpi (piem., β-D-fruktofuranosidāze). Eksoinulināze (2,1 β-D- fruktāna fruktanohidrolāze) turpretī atdala atsevišķas D-fruktozes molekulas. Eksoinulināzes spēj producēt dažādi mikroorganismi, ieskaitot sēnes, raugus un baktērijas:

- a) sēnes: *Aspergillus* sp. (*A.aureus*, *A.awamori*, *A.ficum*, *A.fischeri*, *A.flavus*, *A.nidulans*, *A.niger*, *A.phoenicis*), *Cladosporium* sp., *Chrysosporium pannorum*, *Fusarium* sp. (*F.oxysporum*), *Penicillium* sp. (*P.purpurogenum*, *P.rugulosum*, *P.trzebinskii*), *Streptomyces* sp. (*S.rochei*) (Pandey et al., 1999)
- b) baktērijas: *Lactobacillus* sp., *Bifidobacterium* sp. (Zhu et al., 2020), *Acetobacter* sp., *Achromobacter* sp., *Arthrobacter* sp., *Bacillus* sp. (*B.subtilis*), *Clostridium* sp. (*C.acetobutylicum*, *C.pasteurianum*, *C.thermoautotrophicum*, *C.thermosuccinogenes*), *E.coli*, *Flavobacterium multivorum*, *Pseudomonas* sp., *Staphylococcus* sp.
- c) raugi: *S.cerevisiae* (Yuan et al., 2013), *Candida* sp. (*C.kefyr*, *C.pseudotropicalis*), *Kluyveromyces* sp. (*K.fragilis*, *K.lactis*, *K.marxianus*), *Pichia* sp. (Pandey et al., 1999)

Pētījumā *in vitro*, kurā izmantots aitu spurekļa saturs izpētīts, ka inulīna fermentācija notiek ātrāk pie vides pH 6.0, nekā pie neitrāla pH (Flickinger et al., 2003).

Gremošanas kanālā fermentētā inulīna gala produkti ir gāzes (CO₂ un H₂), laktāts un īso ķēžu gaistošās taukskābes (ieskaitot acetatiķskābi, propionskābi un sviestskābi) (Kelly, 2008). Īso ķēžu gaistošās taukskābes samazina intraluminālo pH, nodrošina nepieciešamo enerģiju epitēlijšūnām un piedalās vielmaiņas regulācijā (Pourabedin, Zhao, 2015).

Prebiotikas labvēlīgi ietekmē zarnu gļotādas morfoloģiju, struktūru un funkcijas, t.i., bārkstiņu garumu, kriptu dziļumu, kriptu blīvumu, epitēlija biezumu, epitēlijšūnu skaitu, mitotisko šūnu skaitu, mucīnu saturošo šūnu skaitu (kausveida šūnas) (Xu et al., 2003).

Pieminētās zarnu strukturālās izmaiņas norāda uz uzlabotu barības vielu uzsūkšanu un izmantošanu (Samal, Behura, 2015; Ghosh, Mehla, 2012; Heinrichs et al., 2009). Ir aprakstīti vairāki iespējamie mehānismi, kas izskaidro šīs izmaiņas:

- 1) enteroglikagons veicina kriptu šūnu proliferāciju tievajā zarnā un fermentējamo ogļhidrātu daudzums ietekmē tā līmeni asinīs (Gee et al., 1996)
- 2) no prebiotikām var tikt sintezēti poliamīni, kas ir svarīgi tievās un resnās zarnas gļotādas augšanai un attīstībai (Delzenne et al., 2000)
- 3) arī īso ķēžu taukskābes var stimulēt resnās un tievās zarnas šūnu proliferāciju un līdz ar to, var palielināt zarnu membrāno gremošanu un barības vielu uzsūkšanu caur garākām bārkstiņām un dziļākām kriptām (Samal, Behura, 2015). Enterocīti kā enerģijas avotu izmanto gaistošo taukskābi sviestskābi. Tā stimulē šūnu proliferāciju, diferenciāciju un uzlabo zarnu barjerfunkciju. Šo procesu rezultātā veidojas garākas zarnu bārkstiņas un dziļākas kriptas (Samanta et al., 2012; Ghosh, Mehla, 2012).
- 4) šūnu paskābināšana, ko ierosina prebiotiku fermentācija (Samal, Behura, 2015).

Inulīns pozitīvi ietekmē vielmaiņas procesus zarnās. Tas zarnu šūnas nodrošina ar barības vielām un pazemina zarnu intraluminālo pH, kā arī stimulē zarnu bārkstiņu pagarināšanos, palielina epitēlijšūnu un atsevišķu bārkstiņu skaitu (Gibson, Roberfroid, 1995). Rehman ar kolēģiem (2007) 5 nedēļu garā pētījumā ar broileriem novēroja, ka 1% inulīns būtiski pagarina tukšās (*jejunum*) zarnas bārkstiņas. Inulīna grupas broileriem novēroja arī dziļākas zarnu

kriptas. Pētījumā ar teļiem, kuriem 28 dienas izbaroja prebiotiku MOS (5 g dnn^{-1}), novēroja, ka prebiotika veicina zarnu bārkstiņu pagarināšanos (Costa et al., 2019). Tomēr ir arī pretēji rezultāti. Pētījumā ar teļiem, kuriem 20 nedēļas pie barības pievienoja 2% inulīnu, tika novērotas zarnu morfoloģiskās izmaiņas. Tukšās (*jejunum*) un gūžas (*ileum*) zarnas bārkstiņas bija īsākas nekā kontroles grupas teļiem (Masanetz et al., 2010). Arī Pierce ar līdzautoriem (2005), pētījumā ar sivēniem, kuriem 28 dienas izbaroja inulīnu (15 g kg^{-1}), novēroja zarnu bārkstiņu garuma samazināšanos.

Ir veikti arī pētījumi par prebiotiku ietekmi uz zarnu intraluminālo pH. Gibson un Roberfroid (1995) novēroja, ka zarnu intraluminālais pH samazinājās bifidogēnā mehānisma darbības dēļ, kas balstīts uz fruktānu selektīvo fermentāciju, ko veic bifidobaktērijas, sintezējot beta-fruktozidāzes enzīmu, kas sadala inulīna un oligofruktozes β 2, 1 glikozīdu saites. Bifidogēnā efekta rezultātā, zarnās izmainās bakteriālā mikroflora un novēro kaitīgo baktēriju daudzuma samazināšanos. To proliferāciju inhibē bifidobaktērijas, kas producē īso ķēžu taukskābes un samazina zarnu satura pH, kas vienlaikus rada nelabvēlīgus apstākļus patogēno mikroorganismu augšanai. Turklāt bifidobaktērijas konkurē ar patogēniem gan par pietiecināšanās vietu zarnu epitēlijam, gan par barības vielām, un producē antibiotikām līdzīgas vielas, tā saucamos bakteriocīnus un ūdeņraža peroksīdāzi. Fruktānu bakteriālās fermentācijas laikā tiek producētas īso ķēžu taukskābes, īpaši acetilskābe, pienskābe un sviestskābe. Šīs skābes uzlabo zarnu vielmaiņu, baro zarnu šūnas, pazemina zarnu intraluminālo pH un pagarina zarnu bārkstiņas, kā arī palielina bārkstiņas epitēlijšūnu skaitu (Raschka, Deniel, 2005; Gibson, Roberfroid, 1995). Līdzīgi rezultāti tika novēroti Chen un viņa kolēģu (2005) pētījumā, kurā pētīja oligofruktozes un inulīna efektu un novēroja, ka broileriem, kuriem izbaroja oligofruktozi samazinājās fekāliju pH, bet inulīna grupā fekāliju pH nebija izmainīts, vai arī tas bija izmainīts tikai nedaudz. Tomēr Fujisawa ar kolēģiem (2010), novēroja, ka teļiem, kuriem izbaroja prebiotikas, fekāliju pH neatšķīrās no kontroles grupas teļu pH rādītājiem.

1.4.2. Probiotiku, t.sk., rauga *Saccharomyces cerevisiae* ietekme uz atgremotāju veselības stāvokli, augšanu un gremošanas kanāla attīstību

Probiotikas konkurē ar patogēnajiem mikroorganismiem, samazinot to pietiecināšanos zarnu gļotādai, kavējot to augšanu (Voravuthikunchai et al., 2006), kā arī samazina zarnās intraluminālo pH, tādējādi radot nelabvēlīgus apstākļus patogēno mikroorganismu augšanai (Bidarkar et al., 2014). Piemēram, bifidobaktērijas spēj nomākt *Salmonella* un *Shigella* ģints baktēriju, kā arī *E.coli*, *Campylobacter jejuni* un *Clostridium perfringens* baktēriju proliferāciju (Gibson, Roberfroid, 1995). Probiotikas stimulē arī antimikrobiālo savienojumu producēšanu, piemēram, bakteriocīnus (Gibson, Roberfroid, 1995), uzlabo gremošanas kanāla barjerfunkciju un stimulē vispārējo (Bidarkar et al., 2014) un lokālo zarnu imunitāti ar pastiecinātu makrofāgu veidošanos, naturālo killeru šūnām, antigēnu specifiskajiem citotoksiskajiem T limfocītiem un dažādu citotoksīnu izdalīšanu (Novak et al., 2012; Timmerman et al., 2005).

Visbiežāk atgremotājiem pielietotās probiotikas ir *Bacillus*, *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Enterococcus* ģints pārstāvji un raugi (Denev et al., 2007). No iepriekš minētajiem probiotiskajiem mikroorganismiem, *Bacillus* ģints pārstāvjiem piemīt labāka termostabilitāte un šiem mikroorganismiem ir labāka ietekme uz lokālās zarnu imunitātes stimulāciju. Savukārt pienskābās baktērijas ir izturīgākas skābākā vidē, un to raksturojošākā pazīme ir metaboliskā aktivitāte zarnās, izdalot antimikrobiālās vielas un biofilmas veidošana, kas pasargā zarnu gļotādu (Oetzel et al., 2007). Piemēram, *Lactobacillus acidophilus* (*L.acidophilus*) producē pienskābi, kas pazemina zarnās vides pH un tādējādi nomāc patogēno mikroorganismu augšanu (Denev, 2006) un samazina diareju biežumu teļiem (Agarwal et al., 2002). Arī *Bifidobacterium* un *Bacillus* ģints baktērijas tiek plaši pielietotas kā probiotiskie līdzekļi diareju novēršanai (Agarwal et al., 2002; Abu-Tarboush et al., 1996). Pētījumā, kurā

diarejas ārstēšanai daļai teļu tika pielietota antibiotika neomicīns un daļai teļu izmantoja pienskābās baktērijas *Lactobacillus sporogenes* (*L.sporogenes*), tika novērots identisks terapeitiskais efekts, pierādot to, ka diarejas ārstēšanā antibiotikas var veiksmīgi aizstāt ar probiotikām (Shaheen, Munshi, 2017). Arī citā pētījumā, kurā teļu diareju ārstēšanā izmantoja antibiotikas norfloksacīnu un metronidazolu, netika novērots labāks terapeitiskais rezultāts nekā teļiem, kuru ārstēšanā tika izmantotas probiotikas *L.sporogenes* un *L.acidophilus* (Shaheen, 2017). Novērots arī, ka teļi, kuriem pie barības pievieno *S.cerevisiae* ātrāk atveseļojas pēc *E.coli* izraisītas diarejas (Galvão et al., 2005).

Kā tika minēts iepriekš, lielākā daļa probiotiku savu darbību veic zarnās (Denev, 2006; Denev et al., 2000), bet raugi, kas ir nozīmīgas probiotikas atgremotājiem, aktīvāk darbojas tieši spureklī (Denev et al., 2007). Jāpiemin gan, ka rauga piedevu pozitīvā iedarbība nav tik izteikti novērojama dzīvniekiem, kuri tiek baroti ar sabalansētu barību, bet šīs probiotikas lielākais efekts redzams dzīvniekiem, kas pakļauti ilgstošām stresa situācijām un pie dažādām barošanas kļūdām (Dawson, Tricarico, 2002).

Kā svarīgākie raugi tiek minēti *S.cerevisiae* un *Aspergillus oryzae* (Bidarkar et al., 2014). Raugs *S.cerevisiae* ir atzīts kā drošs līdzeklis gan cilvēkiem, gan dzīvniekiem (Lettat et al., 2012; McAllister et al., 2011; Magalhães et al., 2008), un tas tiek plaši pielietots kā barības piedeva atgremotājiem, pamatā slaucamajām govīm. Ir izpētīts, ka rauga pievienošana atgremotāju barībā palielina sausnes uzņemšanu (Bidarkar et al., 2014), uzlabo izslaukumu (Nocek, Kautz, 2006) (pat par 3 – 4%) (Robinson, 2007), paaugstina gaistošo taukskābju koncentrāciju spureklī un uzlabo organisko vielu sagremošanu (Desnoyers et al., 2009). Kā arī ar rauga piedevu palīdzību tiek uzlabota produktivitāte nobarojamajiem liellopiem (Lettat et al., 2012; McAllister et al., 2011).

Rauga pievienošana pie barības pozitīvi ietekmē spurekļa iekšējo vidi (Desnoyers et al., 2009; Bach et al., 2007). Autori ziņoja, ka rauga piedevas veicina spurekļa iekšējās vides pH paaugstināšanos, kā arī samazina laktāta koncentrāciju (Xiao et al., 2016). Williams ar kolēģiem (1991), pievienojot teļu barībai rauga kultūras, nonāca pie līdzīgiem secinājumiem. Arī citi autori savos pētījumos novērojuši, ka probiotikas veicina spurekļa iekšējās vides pH stabilizēšanos (Desnoyers et al., 2009; Bach et al., 2007). Rauga kultūras stabilizē spurekļa pH un samazina tā svārstības dienas laikā, noārdot ogļhidrātus spureklī, tādējādi veicinot barības fermentācijas ātrumu un stimulējot laktātu izmantojošo baktēriju augšanu (Marden et al., 2005; Williams et al. 1991). Rauga kultūras palielina arī barības sagremojamību un sviestskābes un acetilskābes produkciju spureklī (Ghazanfar et al., 2015; Kumar et al., 1997).

Tomēr, ir arī daudz pētījumu, kuros nav novērots, ka raugs ietekmētu spurekļa iekšējās vides pH, vai arī rauga piedevas to samazināja. Piemēram, Hučko ar līdzautoriem (2009) konstatēja, ka *S.cerevisiae* rauga celms 1026 Holšteinas teļiem neietekmēja spurekļa iekšējās vides pH. Arī citi pētnieki nonākuši pie līdzīgiem secinājumiem (Pinos-Rodríguez et al., 2008; Yoon, Stern, 1996). Citos pētījumos pat novērots, ka rauga pievienošana pie atgremotāju barības samazināja spurekļa satura pH (Doležal et al., 2005).

Ir pieejama neviennozīmīga informācija par rauga *S.cerevisiae* ietekmi uz spurekļa strukturālo un funkcionālo attīstību. Raugs *S.cerevisiae* palielina kārpiņu garumu un platumu spureklī (Brewer et al., 2014; Lesmeister et al., 2004), kā arī palielina kārpiņu skaitu uz vienu spurekļa laukuma vienību (Gäbel et al., 1991). Šo pozitīvo spurekļa morfoloģisko izmaiņu cēlonis ir intensīvāki fermentatīvie procesi spureklī, kuru rezultātā lielākā daudzumā veidojas īso ķēžu taukskābes. Intensīvāks šo taukskābju transports caur spurekļa epitēliju palielina spurekļa gļotādā esošo cilmes šūnu mitotisko dalīšanos, tādējādi palielinot kārpiņu skaitu (Mentschel et al., 2001; Gäbel et al., 1991).

Savukārt 42 dienu garā eksperimentā, kurā izmantoja 2% rauga kultūru novēroja, ka piedeva tikai nedaudz uzlaboja spurekļa attīstību teļiem (Lesmeister et al., 2004). Tika novērota spurekļa kārpiņu garuma un platuma palielināšanās, bet šī atšķirība no kontroles grupas teļu rezultātiem nebija būtiska. Brewer ar kolēģiem (2014), 5 nedēļu garā eksperimentā novēroja,

ka *S.cerevisiae* devā 1 g uz dzīvnieku dienā un 3.5 g uz dzīvnieku dienā, būtiski palielina teļiem spurekļa kārpiņu garumu un platumu.

Ir arī veikti pētījumi, kuros novērots, ka rauga kultūras neietekmē spurekļa attīstību un funkcionalitāti (Magalhães et al., 2008), līdzīgi rezultāti novēroti arī 2 mēnešus garā pētījumā ar teļiem, kuriem izbaroja *S.cerevisiae*. Netika ietekmēts kārpiņu platums, garums un spurekļa sienas biezums (Kaldmae et al., 2008).

Šie atšķirīgie rezultāti varētu būt saistīti ar dažādu raugu celmu izmantošanu, kā arī ar atšķirīgu raugu devu pielietošanu, pētījuma ilgumu, pašu pētījumos izmantoto teļu vecumu, turēšanas un barošanas īpatnībām un citiem faktoriem.

Daudzos pētījumos novērota raugu pozitīvā ietekme ne tikai uz spurekļa vides pH, bet arī uz mikrobiālo aktivitāti spureklī (Chevaux, Fabre, 2007; Lila et al., 2004; Alshaikh et al., 2002; Jouany, 2001). Noteikti rauga celmi veicina atsevišķu viensūņu populāciju augšanu, kas patērē cieti un tādējādi efektīvi konkurē ar amilolītiskajām laktātu producējošajām baktērijām (Al-Saiady, 2010; Brossard et al., 2006). Raugi arī patērē skābekli, radot optimālākus apstākļus spurekļa anaerobo baktēriju darbībai (Jouany, 2001; Newbold et al., 1996). Tāpēc raugi darbojas ne tikai kā probiotikas, bet arī kā prebiotikas, jo veicina spurekļa mikroorganismu augšanu. Rauga piedevas palielina arī laktātu utilizējošo baktēriju daudzumu, piemēram, *Megasphaera* un *Selenomonas* ģints baktērijas, kā arī fibrolītisko mikroorganismu daudzumu no *Fibrobactor* un *Ruminococcus* ģintīm, tādējādi uzlabojot celulozītisko baktēriju aktivitāti (Bhat et al., 2017; Bidarkar et al., 2014). Raugu piedevas palielina kopējo anaerobo mikroorganismu daudzumu (Galvão et al., 2005; Jouany, 2001), kā arī amilolītisko (Kumar et al., 1997) un celulozītisko baktēriju daudzumu spureklī (Bidarkar et al., 2014; Galvão et al., 2005; Jouany, 2001; Kumar et al., 1997). Citos pētījumos novērots, ka raugu kultūru piedevas veicina proteolītisko baktēriju augšanu (Yoon, Stern, 1996), un tādu baktēriju augšanu, kas spureklī pārveido molekulāro ūdeņradi acetātā (Chaucheyras et al., 1995).

Teļiem probiotikas palielina dzīvmasas pieaugumu, uzlabo dzīvnieku vispārējo veselības stāvokli (Bruno et al., 2009; Timmerman et al., 2005) un veicina labāku barības izmantojamību (Timmerman et al., 2005).

Raugi veicina arī fermentācijas procesus spureklī, tādējādi samazinot gāzu veidošanos (Bruno et al., 2009). Līdz šim veikti daudzi pētījumi par rauga piedevu ietekmi tieši uz CH₄ gāzes produkciju spureklī. Ir novērots gan tas, ka raugi samazina (Lila et al., 2004), gan palielina CH₄ produkciju (Takahashi et al., 1997). Nepieciešamas veikt vairāk pētījumu par dažādiem raugiem un to celmiem, lai izolētu tos, kas pozitīvi ietekmē gan produktivitāti, gan būtiski pazemina CH₄ produkciju spureklī.

Tiek uzskatīts, ka raugi samazina CH₄ produkciju spureklī četros veidos: palielinot sviestskābes vai proprionskābes produkciju (Lila et al., 2004); samazinot viensūņu daudzumu (Bidarkar et al., 2014; Newbold et al., 1998); uzlabojot dzīvnieku produktivitāti (Chaucheyras et al., 1995); veicinot acetoģenēzi (Bidarkar et al., 2014; Chaucheyras-Durand, Durand, 2010; Bruno et al., 2005; Newbold et al., 1998).

Promocijas darba pētījumā tika izmantots metaboliski aktīvs *S.cerevisiae* rauga celms 1026 (minimālais saturs vismaz 1×10^9 KVV g⁻¹ (vidēji 8.4×10^9 KVV g⁻¹, ar diapazonu $6.1 - 9.2 \times 10^9$ KVV g⁻¹) (Lyons, 1997).

Daudzos pētījumos pierādīts, ka šim rauga celmam ir liela nozīme spurekļa fermentatīvo procesu stabilizēšanā un spurekļa darbības traucējumu mazināšanā. Williams ar līdzautoriem (1991) un Jouany (2001), novēroja, ka *S.cerevisiae* rauga celms 1026 spēj samazināt pienskābes koncentrāciju spureklī dzīvniekiem, kuriem izbaro ogļhidrātiem bagātu barību, tādējādi uzturot augstāku spurekļa satura pH un stabilizējot spurekļa fermentācijas procesus. Pienkābes samazinājums tiek panākts, veicinot pienskābi utilizējošo baktēriju augšanu un aktivitāti spureklī (Jouany, 2001; Girard et al., 1993).

Ir maz informācijas par *S.cerevisiae* rauga ietekmi uz gremošanas procesiem atgremotāju resnajā zarnā, jo, kā jau iepriekš tika pieminēts, atgremotājiem rauga kultūras pamatā funkcionē spureklī (Denev et al., 2007).

Tomēr, Durand-Chaucheyras ar kolēģiem (1998), savā pētījumā ar aitām novēroja, ka rauga šūnas paliek aktīvas arī gremošanas kanāla beigu daļā, tādējādi norādot, ka raugus var novērot dažādās gremošanas kanāla daļās, ne tikai spureklī. Savukārt Xiao ar kolēģiem (2016), novēroja, ka teļiem, kuriem izbaroja raugu *S.cerevisiae*, bārktiņas divpadsmitpirkstu (*duodenum*), tukšajā (*jejunum*) un gūžas (*ileum*) zarnā bija būtiski garākas un kriptu dziļumu visā tievajā zarnā bija mazāks nekā kontroles grupas teļiem. Arī citā pētījumā ar teļiem, kuriem izbaroja *Saccharomyces cerevisiae boulardii*, novēroja samazinātu kriptu dziļumu un kriptu platumu (Fomenky et al., 2017). Samazināts lokzarnas (*colon*) kriptu dziļums un platums varētu samazināt bakteriālās populācijas lielumu, kas ir tiešā kontaktā ar epitēlija virsmu, tādējādi kavējot baktēriju translokāciju zarnu sieniņā (Mello et al., 2012).

Literatūras apskata kopsavilkums

Pārejas periods no piena izbarošanas uz tilpumainās barības izbarošanu teļu dzīvē ir saistīts ar dažādām fizioloģiskām un morfoloģiskām izmaiņām gremošanas kanālā. Tajā notiek straujas mikrobiālas un strukturālas pārmaiņas. Šis periods dzīvniekiem rada papildus stresu un var veicināt dažādu infekcijas slimību attīstību, kas var negatīvi ietekmēt teļu augšanu un attīstību (Meale et al., 2017). Vislielākās morfofunkcionālās pārmaiņa skar spurekli (Jiao et al., 2015). Spurekļa attīstību veicina anaerobās ekosistēmas izveidošanās, tilpumainās barības izbarošana un tam sekojoši fermentatīvie procesi un uzsūkšanās mehānismi (Govil et al., 2017; Baldwin et al., 2004). Spureklis sāk augt tikai 2 – 3 nedēļu vecumā un tā augšana turpinās līdz aptuveni 6 mēnešu vecumam (Shibata, Terada, 2010). Par pilnvērtīgiem atgremotājiem teļus var uzskatīt no 12 nedēļu vecuma, kad teļu spureklis ir attīstījies tādā līmenī, ka spēj sagremot tilpumaino barību tikpat labi, kā to spēj pieaugušie atgremotāji (Govil et al., 2017).

Spurekļa funkcionālajā attīstībā īpaši liela nozīme ir tā mikrobiālajai kolonizācijai (Fonty et al., 1988). Nobriedušā spureklī novēro daudzveidīgu mikrobiālo populāciju. Dominē baktērijas, kam seko viensūņi, metanogēni un sēnes. (Li et al., 2012). Pirmie mikroorganismi jaundzimušo teļu spureklī nonāk teļa dzimšanas laikā, saskaroties ar mikrofloru mātes dzimumceļos un uzreiz pēc piedzimšanas, saskaroties ar fekālijām, pirmpienu, mātes ādu un siekalām (Guzman et al., 2015), kā arī uzņemot barību un dzīvnieku savstarpējo kontaktu ceļā (Abecia et al., 2013). Nozīmīga mikroorganismu grupa, kas parāda spurekļa funkcionālo attīstības pakāpi ir metanogēni, kas spureklī parādās 8. – 10. dienā pēc piedzimšanas (Fonty et al., 1987). Liellopiem kā galvenās spureklī esošās metanogēnu sugas identificētas *Methanobrevibacter ruminantium*, *Methanobrevibacter thaueri*, *Methanobrevibacter smithii* un *Methanosphaera stadtmanae* (Wright et al., 2007), bet teļu resnajā zarnā un fekālijās konstatētās satopamākās metanogēnu sugas ir *Methanomicrobiales mobile*, mazākā daudzumā *Methanococcales votae* un pārstāvji no ģints *Methanobrevibacter* (*M.ruminantium*, *M.wolinii*, *M.smithii* u.c.) (Guzman et al., 2015). Ir veikti daudzi pētījumi par rauga *S.cerevisiae* ietekmi uz dažādu mikroorganismu, t.sk., metanogēnu daudzumu un veidu atgremotāju gremošanas kanālā (Ding et al. 2014; Agarwal et al., 2002; Kumar et al, 1997; Dawson et al, 1990), bet līdz šim nav veikti pētījumi par šī rauga kombinācijas ar topinambūra koncentrāta ar tā sastāvā esošo prebiotiku inulīnu ietekmi uz gremošanas kanāla mikrobiomu. Pētījumos par prebiotiku inulīnu noskaidrots, ka šī barības piedeva ietekmē dažādu baktēriju augšanu un vairošanos (Roberfroid et al., 1998; Gibson, Roberfroid, 1995), tomēr nav pieejami pētījumi par inulīna vai topinambūra ietekmi uz metanogēnu populāciju atgremotāju gremošanas kanālā.

Metanogēnie mikroorganismi producē CH₄, procesā, ko sauc par metanogēnēzi (Varga, Kolver, 1997). Līdz šim ir plaši izpētīta rauga *S.cerevisiae* ietekme uz metāna produkciju atgremotājiem (Ogunade et al., 2019; Hernandez et al., 2017; Newbold, Rode, 2006; Mwenya et al., 2004a; Chaucheyras et al., 1995), bet ir publicēti ļoti maz pētījumu rezultāti par prebiotikas inulīna ietekmi uz CH₄ produkciju atgremotājiem (Roonaal, 2015; Charalampopoulos, Rastall, 2009; Zhou et al., 2004) un nav veikti pētījumi par sinbiotikas

(topinambūra koncentrāts un raugs *S.cerevisiae*) ietekmi uz šīs siltumnīcas efektu izraisošās gāzes produkciju.

Atgremotājiem būtisks barības fermentācijas aktivitātes rādītājs spureklī ir tā iekšējās vides pH (Feng et al., 2020). Stabils spurekļa iekšējās vides pH teļiem piena izbarošanas periodā palīdz nodrošināt piemērotu vidi normālai spurekļa baktēriju un viensūņu populāciju funkcionēšanai (Kehoe et al., 2008). Ir izpētīts, ka prebiotika inulīns var ietekmēt spurekļa satura pH (Król, 2011). Plaši ir pētīta arī rauga *S.cerevisiae* dažādu celmu ietekme uz spurekļa iekšējās vides pH (Eladawi et al., 2020; Křizová et al., 2011; Doležal et al., 2005; Chaucheyras et al., 1996). Savukārt nav pieejamu pētījumu rezultātu par topinambūra koncentrāta ar tā sastāvā esošo prebiotiku inulīnu un šī koncentrāta kombinācijas ar raugu *S.cerevisiae* ietekmi uz atgremotāju zarnu satura pH.

Teļu attīstību var ietekmēt arī hormons greļīns, kas ir samērā nesen atklāts – 1999.gadā (Kojima et al., 1999). Kā galvenā greļīna nozīme ir augšanas hormona sekrēcijas stimulēšana (Masuda et al., 2000; Date et al., 2000b). Augšanas hormonam ir nozīmīga loma orgānu attīstībā (Kojima, Kangawa, 2002). Cita būtiska greļīna ietekme organismā ir apetītes regulēšana (Coll et al., 2007; Stanley et al., 2005). Līdz šim atgremotājiem ir plaši izpētītas greļīna šūnu lokalizācijas vietas gremošanas kanālā (Özfiliz et al., 2011; Hayashida et al., 2001), bet pētījumi par greļīna imūnreaktīvo šūnu skaita variāciju atkarībā no izbarotajām barības piedevām ir maz (Arne et al., 2021).

Viens no būtiskākajiem rādītājiem, kas atspoguļo teļu augšanu, ir dzīvmasas pieaugums. Prebiotikas, probiotikas un sinbiotikas saistībā ar dzīvmasas izmaiņām teļiem ir paši pētītas (Bruno et al., 2009; Heinrichs et al., 2009; O'Mara et al., 2008; Bengmark, 2005; Timmerman et al., 2005; Krueger et al., 2002), tomēr jāpiemin, ka pētījumi, kuros teļiem izbaroti topinambūra milti vai tā koncentrāts ir maz (Khare et al., 2018; Ilgaza et al., 2016), bet promocijas darbā sakombinētā sinbiotika (rauga *S.cerevisiae* celms 1026 un topinambūra koncentrāts ar tā sastāvā esošo prebiotiku inulīnu) līdz šim vēl nav pētīta.

Par gremošanas kanāla morfoloģisko attīstību var spriest, novērtējot dažādas tā struktūras, piemēram, spurekļa kārpiņu garumu un platumu, zarnu bārksīņu garumu, kriptu dziļumu, epitēlija biezumu u.c. (Samal, Behura, 2015; Ghosh, Mehla, 2012; Heinrichs et al., 2009; Gibson, Roberfroid, 1995). Izpētīts, ka raugs var ietekmēt atgremotāju gremošanas kanāla dažādu struktūru attīstību (Fomenky et al., 2017; Xiao et al., 2016; Brewer et al., 2014; Lesmeister et al., 2004). Ir maz pētījumu atgremotājiem par inulīna ietekmi uz šiem parametriem (Masanetz et al., 2010), jo atgremotājiem spureklī notiek intensīvi fermentatīvie procesi un inulīns var tikt pilnībā fermentēts un var nesasniegt tālākās gremošanas kanāla daļas (Van Leeuwen, Verdonk, 2004).

Mūsdienās, strauji attīstoties piena lopkopībai, pieaug arī nepieciešamība pēc tādu teļu iegūšanas, kas ir veselīgāki, ar labākiem augšanas rādītājiem un augstāku produktivitāti un šos mērķus var sasniegt, pielietojot promocijas darba pētījumā izmantotās dabiskas izcelsmes barības piedevas – topinambūra koncentrātu ar tā sastāvā esošo prebiotiku inulīnu (48.5 – 50.1%) un šī koncentrāta kombināciju ar probiotiku *Saccharomyces cerevisiae* (celms 1026).

2. MATERIĀLS UN METODES

2.1. Pētījuma laiks, objekts, raksturojums, pētījuma shēma

Promocijas darbs izstrādāts ar projekta Valsts pētījumu programmas AGROBIORES “Lauksaimniecības resursi ilgtspējīgai kvalitatīvas un veselīgas pārtikas ražošanai Latvijā” projekts Nr.3 “Vietējās izcelsmes slaucamo govju un cūku saimnieciski nozīmīgo pazīmju ģenētiskā izpēte kvalitatīvu pārtikas produktu ražošanai un dabīgas izcelsmes barības sastāvdaļu izstrāde un pārbaude (Lopkopība)” (2014 – 2018) atbalstu (VPP 2014/VPP2014-2017, apakšprojekts VP29.3). Pētījuma metodika izvērtēta LLU Dzīvnieku labturības un aizsardzības ētikas padomes sēdē Nr.DzLĒP/2017/2-1 (1.pielikums).

Promocijas darba pētījums tika veikts Saldus novada, Jaunlutriņu pagasta z/s “Ratenieki” 2017./2018. gadā, laika posmā no decembra līdz februāra beigām. Pētījums ilga 56 dienas. Pētījuma norises kopējā shēma (2.1. attēls) tika izveidota, vadoties pēc citu zinātnieku aprakstītās metodikas (Król, 2011; Hassan et al., 2016). Visa pētījuma laikā tika novērtēti teļu veselības stāvoklis, ko veica gan pētījumā iesaistītās personas, gan saimniecības veterinārārsts. Teļiem netika novērotas ilgstošas diarejas, respiratorās saslimšanas vai citas slimības, kas varētu ietekmēt pētījuma norisi un iegūtos rezultātus. Teļu izmeklēšana un visu paraugu iegūšana notika saimniecības veterinārārsta uzraudzībā. Pētījumā veikto izmeklējumu rezultāti tika izmantoti visa ganāmpulka, t.sk., teļu vispārējā veselības stāvokļa novērtēšanai un augšanas rādītāju uzlabošanai.

Pētījumā tika iekļauti 15 klīniski veseli, nejauši izvēlēti dažāda dzimuma Holšteinas melnraibās un Holšteinas sarkanās šķirnes krustojuma teļi (*Bos taurus*) ar vidējo vecumu 32 ± 4 dienas (jaunākie teļi bija vismaz 28 dienas jeb 4 nedēļas veci) un vidējo dzīvmasu 72.1 ± 11.34 kg.

Veidojot pētījuma grupas, tika izvēlēti teļi ar atbilstošu vecumu, bez būtiskām dzīvmasas atšķirībām starp atsevišķiem indivīdiem, ar labu veselības stāvokli, kas tika novērtēts pēc veiktās klīniskās izmeklēšanas. Katrā teļu grupā tika iekļauti 2 vīrišķās kārtas un 3 sievišķās kārtas teļi.

Katras nokomplektētās pētījuma grupas teļi tika turēti kopā vienā teļu turēšanai atbilstoši aprīkotā telpā. Telpu izmēri: garums 5.3 m, platums 4.5 m, augstums 2.6 m, loga lielums: 1.2×1.2 m, durvju lielums: 1.95×1.0 m. Telpa bija pietiekami liela, lai dzīvnieki varētu apgulties, kā arī brīvi pārvietoties un savstarpēji saskarties. Grīda bija no betona, kas nosepta ar nelielu daudzumu salmiem. Novietnē bija 2 barošanas galdi, viens sienam un otrs piena aizvietotājam, prestarterim un miežu miltiem un viena ūdens dzirdne.

Pēc piedzimšanas, 2 h laikā, visi teļi saņēma pirmpienu, nākamās 5 dienas teļi saņēma pilnpienu ($3.5 \text{ L } 2 \times \text{dienā}$) un vēlāk piena aizvietotāju ražotāja rekomendētajā teļu vecumam un dzīvmasai atbilstošā devā. 4 – 6 nedēļu vecumā teļi saņēma 5 L piena aizvietotāja dienā un prestartera barību (aptuveni 0.5 kg uz teļu dienā). Pēc 8 nedēļu vecuma, teļi saņēma aptuveni 1.5 kg miežu miltu un 6 L piena aizvietotāja dienā. Teļiem visu laiku bija brīvi pieejams ūdens un siens. Pētījuma laikā izbaroto barības līdzekļu ķīmisko sastāvu, kas noteikts Pārtikas drošības, dzīvnieku veselības un vides zinātniskajā institūtā, skatīt 2.1. tabulā.

2.1. tabula

Saimniecībā teļu barošanā izmantoto barības līdzekļu ķīmiskais sastāvs

Sastāvs (sausnā)	Prestarters*	Piena aizvietotājs**	Siens	Miežu milti
Kopproteīns, %	18.0	23.5	14.2	11.8
Koptauki, %	5.2	12.5	2.4	2.7
Kokšķiedra, %	7.0	3.5	32.1	3.3
Koppelni, %	6.5	9.0	5.6	4.4
Kalcijs, g kg ⁻¹	14.0	9.0	3.3	4.4

Sastāvs (sausnā)	Prestarters*	Piena aizvietotājs**	Siens	Miežu milti
Fosfors, g kg ⁻¹	7.0	7.0	3.0	4.0
Nātrijs, g kg ⁻¹	6.0	4.0	0.2	16.2

*Piedevas uz 1 kg: A vitamīns, 35.000 IU; D3 vitamīns, 3.000 IU; E vitamīns, 250 mg; B1 vitamīns, 13 mg; B2 vitamīns, 6 mg; B6 vitamīns, 5 mg; B12 vitamīns, 40 µg; niacīns, 36 mg; Ca-D-pantotenāts, 20 mg; folijskābe, 2 mg; K3 vitamīns, 2 mg; holīna hlorīds, 500 mg; biotīns, 1.000 µg; dzelzs, 180 mg; varš, 25 mg; selēns, 0.4 mg; cinks, 120 mg; mangāns, 120 mg; jods, 3 mg; kobalts, 1 mg.

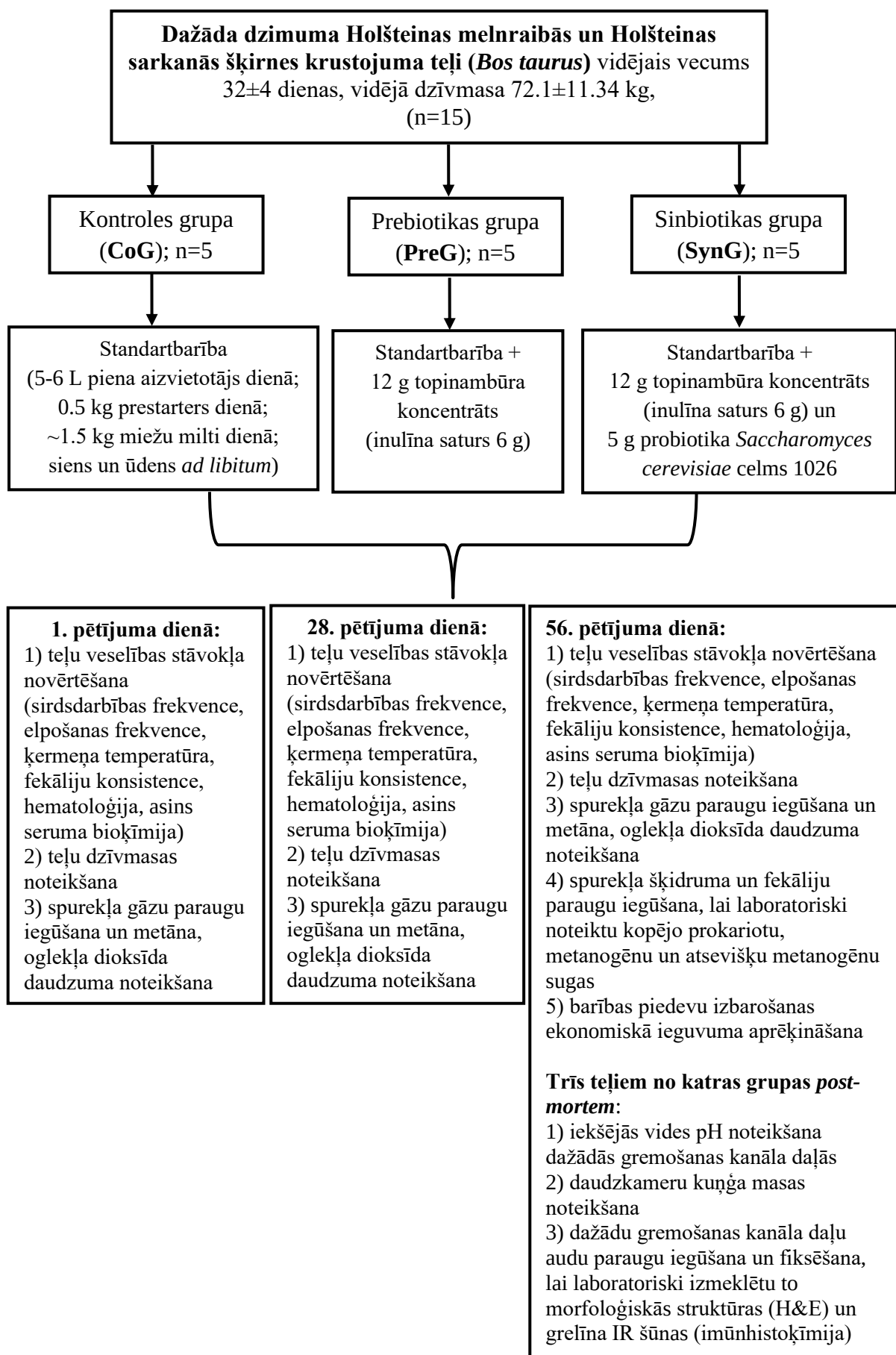
**Piedevas uz 1 kg: A vitamīns, 48.000 IU; D3 vitamīns, 4.000 IU; E vitamīns, 100 mg; B1 vitamīns, 16 mg; B2 vitamīns, 8 mg; B6 vitamīns, 6 mg; B12 vitamīns, 50 µg; niacīns, 50 mg; C vitamīns, 250 mg; Ca-D-pantotenāts, 25 mg; folijskābe, 1 mg; K3 vitamīns, 2 mg; holīna hlorīds, 300 mg; biotīns 200 µg; dzelzs, 100 mg; cinks, 36 mg; varš, 4 mg; selēns, 0.4 mg; mangāns, 48 mg; jods, 1 mg

Kopā tika izveidotas trīs pētījuma grupas. Pieci teļi bija kontroles grupā (CoG) un saņēma standartbarību. Katram no 5 teļiem prebiotikas grupā (PreG) papildus izbaroja 12 g topinambūra (*Helianthus tuberosus*) koncentrātu dienā, kas satur 6 g prebiotiku inulīnu. 5 teļi no sinbiotikas grupas (SynG) katrs dienā papildus saņēma eksperimentālu sinbiotiku, kas sastāvēja no 2 dažādiem produktiem: 12 g topinambūra koncentrāta, kas satur 6 g prebiotiku inulīnu un 5 g probiotiku *S.cerevisiae* rauga kultūru *Yea-Sacc*[®] 1026 (*Alltech Inc.*, Francija), kas satur vismaz 1×10^9 koloniju veidojošās vienības (KVV) g⁻¹ *S.cerevisiae* rauga celmu 1026 (*Yea-Sacc*[®] 1026 ķīmisko sastāvu skatīt 2.pielikumā). Pētījumā izmantotā rauga barības piedeva ir reģistrēta lietošanai Eiropas Savienības valstīs³. Savukārt pētījumā izmantotā sinbiotika nav komerciāli pieejama un tika sakombinēta tieši šim pētījumam. Topinambūra koncentrāts un sinbiotika tika pievienota pie spēkbarības 1 × dienā, no rītiem.

Pētījumā teļiem izbarotā topinambūra koncentrāta deva tika izvēlēta, vadoties no cita ar tāda paša sastāva topinambūra koncentrāta veikta pētījuma metodikā norādītās devas (Arne, Ilgaza, 2016), kā arī 6 g inulīns tika izmantots Król (2011) pētījumā. Jāpiemin, ka topinambūrs satur tikai aptuveni 10% inulīna, bet, izmantojot speciālas tehnoloģijas, inulīna saturu var palielināt līdz pat 48.5 – 50.1% no sausnes (Fleming, Groot, 1979). Topinambūra koncentrāts ražots SIA “Herbe” pēc Latvijas Universitātes Mikrobioloģijas un Biotehnoloģiju institūta izstrādātās tehnoloģijas. Promocijas darba pētījumā izmantoto topinambūra koncentrāta ķīmisko sastāvu skatīt 3.pielikumā. Savukārt probiotikas *S.cerevisiae* celma 1026 deva tika izvēlēta balstoties uz 2016. gadā publicētu pētījuma metodiku (Hassan et al., 2016).

³ KOMISIJAS ĪSTENOŠANAS REGULA (ES) Nr. 1109/2014 (2014. gada 20. oktobris) par atļauju izmantot *Saccharomyces cerevisiae* CBS 493.94 kā barības piedevu gaļas liellopiem, mazāk izplatītām atgremotāju sugām, ko audzē nobarošanai, piena govīm un mazāk izplatītām atgremotāju sugām, ko audzē piena ieguvei, un ar ko groza Regulu (EK) Nr. 1288/2004 un (EK) Nr. 1811/2005 (atļaujas turētājs *Alltech*, Francija). [Tiešsaistē] [skatīts 2021. gada 1. maijā].

Pieejams: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LV/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R1109&from=EN>



2.1. att. Kopējā pētījuma shēma

2.2. Teļu veselības stāvokļa novērtēšana

Pētījuma 1., 28. un 56. dienā teļiem tika noteikta **sirdsdarbības frekvence** ($x \text{ min}^{-1} \pm \text{SD}$), **elpošanas frekvence** ($x \text{ min}^{-1} \pm \text{SD}$) un **ķermeņa temperatūra** ($^{\circ}\text{C} \pm \text{SD}$). Sirdsdarbības frekvence noteikta veicot sirds auskultāciju krūškurvja kreisajā pusē, 4. ribstarpā, 2 – 3 cm virs elkoņa līmeņa. Elpošanas frekvence noteikta, veicot auskultāciju krūšu sienas vidusdaļā labajā vai kreisajā pusē. Sirds un plaušu auskultācija veikta ar *Littmann Cardiology IV* (3M, ASV) stetoskopu. Ķermeņa temperatūra tika noteikta, to mērot rektāli ar elektronisko termometru *DIGI-VET* (Kruuse, Dānija).

Iepriekš minētajās pētījuma dienās tika novērtēta teļu **fekāliju konsistence**, izmantojot ballu skalu no 0 līdz 3, kurā ar 0 ballēm novērtē stingras, sugai raksturīgas konsistences fekālijas, ar 1 balli tiek apzīmētas mīkstas fekālijas, ar 2 ballēm – šķidrās fekālijas, bet ar 3 ballēm tiek apzīmētas ūdeņainas fekālijas (Larson et al., 1977). Šajās pētījuma dienās fekāliju konsistenci novērtēja trīs veterinārārsti. Arī pārējās pētījuma dienās saimniecības darbinieki sekoja līdzi fekāliju konsistencei, lai teļiem varētu noteikt diareju. Jāpiemin, ka diarejas epizodes netika konstatētas.

Kā arī pētījuma 1., 28. un 56. dienā teļiem tika ņemti asins paraugi, veicot punkciju jugulārajā vēnā (*vena jugularis*), izmantojot vakutainera adatas 20 G (30 mm garums) un vakutainera adatu turētāju. **Hematoloģisko** analīžu veikšanai asinis ņemtas *S-Monovette EDTA 2.7 mL* (SARSTEDT AG&Co. KG, Vācija) vakutainera stobriņos. Iegūtajos asins paraugos tika noteikts kopējais leikocītu skaits (WBC, 10^9 L^{-1}), eritrocītu skaits (RBC, 10^{12} L^{-1}), hematokrīts (HCT, %), hemoglobīna daudzums eritrocītos (HGB, g dL^{-1}) un trombocītu skaits (PLT, 10^9 L^{-1}). Asins paraugu analīze veikta, izmantojot *Exigo EOS* (Boule Medical AB, Zviedrija) automātisko veterināro asins hematoloģijas analizatoru. **Asinis bioķīmisko** rādītāju noteikšanai iegūtas, izmantojot *S-Monovette* seruma vakutainerus 2.7 mL ar asins recēšanas aktivatoru (SARSTEDT AG&Co. KG, Vācija). Tika noteikta gamma glutamīltransferāze (GGT, U L^{-1}), aspartātaminotransferāze (ASAT, U L^{-1}), urīnviela (UREA, mmol L^{-1}), kreatinīns (CREA, mmol L^{-1}), kopējais proteīns (TP, g L^{-1}), albumīns, g L^{-1} , globulīni, g L^{-1} un glikoze mmol L^{-1} . Asins paraugu analīze veikta izmantojot *Mindray BS-200E* (Shenzhen Mindray Bio-Medical Electronics Co., Ltd., Ķīna) asins bioķīmijas analizatoru. Glikoze asinīs tika noteikta nekavējoties pēc asins parauga iegūšanas izmantojot glikozimetru *ACCU-CHEK instant* (Roche, Vācija). Asins paraugu izmeklēšana veikta Latvijas Lauksaimniecības universitātes Veterinārās klīnikas laboratorijā.

2.3. Teļu dzīvmasas noteikšana

Pētījuma 1., 28. un 56. dienā tika noteikta teļu dzīvmasa ar citu zinātnieku atzītu netiešās dzīvmasas noteikšanas metodi (Heinrichs, Hargrove, 1987), izmantojot speciālu mērlenti *Animeter* (Albert Kerbl GmbH, Vācija). Dzīvmasu var noteikt, izmērot krūšu apkārtmēru tieši aiz elkoņiem un nolasot rezultātu uz mērlentes esošās kg skalas. Šī metode, kas balstīta uz liellopu standarta augšanas līknēm, ir plaši pielietota dzīvmasas noteikšanai saimniecībās (Heinrichs, Hargrove, 1987).

2.4. Spurekļa gāzu paraugu iegūšana un metāna, oglekļa dioksīda daudzuma noteikšana

Pētījuma 1., 28. un 56. dienā no rīta, 2 h pēc teļu barošanas, tika noteikts metāna (CH_4) un oglekļa dioksīda (CO_2) daudzums spureklī. Lai iegūtu teļu spurekļa gāzu paraugus ar rumenocentēzes metodi, teļš tika fiksēts stāvus pozīcijā, piespiežot teļa labo sānu pie sienas, vai labajā laterālajā guļā (2.2. attēls).



2.2. att. Spurekļa gāzu parauga iegūšanas tehnika teļu fiksējot labajā laterālajā guļā

Avots: J.Pileckas-Uļčuģačevas foto

Kreisajos sānos aiz ribu loka zem jostas skriemeļu sānu izaugumiem tika sagatavots rumenocentēzes laukums, izcērpot apmatojumu un dezinficējot ādu ar 70% spirta šķīdumu. Adata (14 G, ārējais diametrs 2.1 mm, garums 60 mm) tika ievadīta vēdera dobumā 45° leņķī pret vēdera sienu orientējoši virzienā uz labās priekškājas elkoņa locītavu, apmēram 4 – 6 cm dziļumā. Spurekļa gāzes tika iegūtas ar 20 mL tilpuma vienreiz lietojamu šļirci. Pēc parauga iegūšanas, nekavējoties adatas gals tika aiztaisīts ar elastīgu, gaisa necaurlaidīgu, inertu materiālu (līdzīgu silikonam), lai novērstu gāzu izplūšanu no šļirces. Pēc punkcijas veikšanas, dūruma vieta tika dezinficēta ar 70% spirta šķīdumu (Atkinson, 2017).

Spurekļa gāzes (CH_4 un CO_2) tika mērītas, izmantojot mobilo gāzu spektrofotometru *Picarro G2508* (Picarro, ASV). Iekārtas tehniskie parametri ir sīkāk aprakstīti ražotāja tehniskajā dokumentācijā (*Picarro G2508 Analyzer Datasheet*) un izmantošanas iespējas aprakstītas Fleck et al. (2013) pētījumā. Gāzu analīzi veicām saimniecībā sadarbībā ar Latvijas Lauksaimniecības universitātes Meža un Ūdens resursu zinātniskās laboratorijas zinātniekiem uzreiz pēc paraugu iegūšanas.

Gāzu mērījumi tika veikti, izmantojot necaurspīdīgu kameru, kuras tilpums bija 1 L. Kamera ar mērīšanas iekārtu un ārēju nulles noplūdes vakuumsūkni tika savienota slēgtā cirkulācijas sistēmā, izmantojot 9 metrus garu teflona cauruli (iekšējais diametrs 1/16 collas, ārējais diametrs 1/8 collas). Mērījumi tika veikti 180 sekundes ar vienas sekundes vidējo intervālu, un tika analizēts 10 mL liels spurekļa gāzu daudzums (Grinfelde et al., 2018).

2.5. Spurekļa šķidruma un fekāliju paraugu iegūšana

Pētījuma 56. dienā no rīta, 2 h pēc teļu barošanas, tika noņemti arī teļu spurekļa šķidruma paraugi. Ja nelielās spurekļa pildījuma pakāpes dēļ spurekļa šķidrumu nebija iespējams iegūt pēc 2.4. apakšnodaļā aprakstītās metodikas, tad tika mainīts injekcijas adatas virziens (ventrāli) un vienlaicīgi ar dūri tika radīts pretpiediens uz labās vēdera sienas. Spurekļa šķidruma iegūšanai netika veikts papildus dūriens spureklī, bet, pēc spurekļa gāzu parauga iegūšanas, tika nomainīta tikai šļirce. Spurekļa šķidrums tika iegūts ar 20 mL tilpuma vienreiz lietojamu šļirci, vadoties pēc Atkinson (2017) metodes.

Pēc parauga iegūšanas, spurekļa šķidrums tika iepildīts stikla stobriņos. Uz spurekļa šķidruma parauga tika uzpilināti 5 pilieni minerāleļļas un stobriņš tika cieši noslēgts ar gumijas aizbāzni, lai nodrošinātu maksimāli anaerobu vidi. Pēc punkcijas veikšanas, dūruma vieta tika atkārtoti dezinficēta ar 70% spirta šķīdumu. Pēc nogādāšanas laboratorijā (3 h laikā), spurekļa šķidruma paraugi tika sasaldēti $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Pētījuma 56. dienā, no taisnās zarnas manuāli tika paņemti fekāliju paraugi un ievietoti tam domātos polietilēna maisiņos. Pēc nogādāšanas laboratorijā, fekāliju paraugi tika sasaldēti -80°C līdz tālākai mikrobioloģiskajai izmeklēšanai.

2.6. Kopējo prokariotu, metanogēnu un atsevišķu metanogēnu sugu noteikšana spurekļa šķidruma un fekāliju paraugos

Individuālajos spurekļa šķidruma paraugos ($n=15$), kā arī katras grupas ($n=3$) visu piecu teļu fekāliju kopparaugā tika noteikta kopējo metanogēnu, atsevišķu metanogēnu sugu (*Methanosphaera stadtmanae*, *Methanobrevibacter ruminantium*, *Methanobrevibacter smithii*) un kopējo prokariotu sastopamība. Attiecīgo metanogēnu noteikšana paraugos izvēlēta balstoties uz citu autoru pētījuma rezultātiem, kuri šos metanogēnus identificējuši kā dominējošos spureklī (Nicholson et al., 2007; Wright et al., 2007; Whitford et al., 2001).

DNS no teļu spurekļa satura un fekālijām izdalīts izmantojot *QIAamp® DNA Stool Mini Kit* (Qiagen Ltd., Lielbritānija). Tā iegūšanai izmantoti 200 mg sasaldēta parauga un izmeklējums veikts sekojot ražotāja klāt pievienotajām instrukcijām (*QIAamp Fast DNA Stool Mini Handbook*) (Yu, Morrison, 2004).

DNS daudzums un tīrība pārbaudīta, izmantojot *NanoDrop-1000* (Thermo Fisher Scientific Inc., ASV) spektrofotometru (McCartney et al., 2013). Iegūtie DNS paraugi uzglabāti -20°C līdz to tālākai analīzei.

Metanogēni un prokarioti noteikti, izmantojot specifiskus praimeru kompleksus. Metanogēnu un kopējo prokariotu praimeru sekvences bija sekojošas:

- 1) kopējie metanogēni (rrs):
Met630F: 5'-GGATTAGATACCCSGGTAGT-3';
Met803R: 5'-GTTGARTCCAATTAAACCGCA-3'
- 2) kopējie prokarioti (rrs, references gēns):
V3-F: 5'-CCTACGGGAGGCAGCAG-3'
V3-R: 5'-ATTACCGCGGCTGCTGG-3'
- 3) *Methanosphaera stadtmanae* (rrs):
Stad-F: 5'-CTTA ACTATAAGAATTGCTGG-3'
Stad-R: 5'-TTCGTTACTCACCGTCAAGAT-3'
- 4) *Methanobrevibacter ruminantium* (rrs):
Rum16S 740F: 5'-TCCCAGGGTAGAGGTGAAA-3'
Rum16S 862R: 5'-CGTCAGAATCGTTCCAGTCA-3'
Rum16S FAM: 5'-CCGTCAGGTTCGTTCCAGTTAG-3'
- 5) *Methanobrevibacter smithii* (rrs):
Smit.16S-740F: 5'-CCGGGTATCTAATCCGGTTC-3'
Smit.16S862R: 5'-TCCCAGGGTAGAGGTGAAA-3'
Smit.16S FAM: 5'-CGTCAGAATCGTTCCAGTCA-3'

Polimerāzes ķēdes reakcijas veiktas, izmantojot *QuantiNova™ Probe PCR Kit* (Qiagen Ltd., Lielbritānija) un *QuantiNova™ SYBR® Green PCR Kit* (Qiagen Ltd., Lielbritānija) reaģentu kompleksus, un sekojot ražotāja instrukcijām (*QuantiNova Probe PCR Handbook*; *QuantiNova™ SYBR® Green PCR Handbook*). DNS amplifikācija veikta reālā laika PCR iekārtā *RotorGene Q* (Qiagen, Ltd., Lielbritānija), ar sākotnējo denaturāciju pie 95°C 2 minūtes, kam sekoja 40 denaturācijas cikli (95°C 5 s) un praimeru hibridizācija 60°C 10 s (kopējiem metanogēniem (rrs, mcrA), kopējiem prokariotiem un *M.stadtmanae*) un 60°C 5 s (*M.ruminantium* un *M.smithii*) (McCartney et al., 2013).

Metanogēnu un kopējo prokariotu līmenis tika novērtēts kā C_t vērtība (cikls, pie kura PCR amplifikācija ir sasniegusi eksponenciālo fāzi). Jo C_t vērtība bija mazāka, jo lielāks daudzums meklētās sekvences bija paraugā. Pēc tā arī var secināt, cik lielā daudzumā izmeklētajā paraugā bija kopējie metanogēni, prokarioti vai konkrētie metanogēni. Izmeklējumi veikti Latvijas

2.7. Barības piedevu izbarošanas ekonomiskā ieguvuma izvērtējums

Tika veikts pētījumā iekļauto barības piedevu (topinambūra koncentrāta un tā kombinācijas ar raugu *S.cerevisiae* celmu 1026) ekonomiskā ieguvuma izvērtējums pēc to 56 dienu ilgas izbarošanas teļiem, balstoties uz Dar un kolēģu (2017) līdzīgā pētījumā aprakstītajām aprēķinu metodēm. Noteicām sekojošus rādītājus.

1. Vienam teļam izbarotās barības piedevas daudzums visā pētījuma laikā (2.1. formula)

$$a \times b = c, \quad (2.1.)$$

kur a – vienam teļam izbarotās barības piedevas daudzums dienā (g),
b – izbarošanas dienu skaits,
c – vienam teļam izbarotās barības piedevas daudzums visā pētījuma laikā (g)

2. Vienam teļam izbarotās barības piedevas izmaksas visā pētījuma laikā (2.2. formula)

$$e \times b = g, \quad (2.2.)$$

kur e – vienam teļam izbarotās barības piedevas izmaksas dienā (EUR),
b – izbarošanas dienu skaits,
g – vienam teļam izbarotās barības piedevas izmaksas pētījuma laikā (EUR)

3. Izbarotās barības piedevas izmaksas uz vienu dzīvmasas kg (2.3. formula)

$$\frac{g}{f} = d, \quad (2.3.)$$

kur g – vienam teļam izbarotās barības piedevas izmaksas pētījuma laikā (EUR),
f – teļu vidējā dzīvmasa pēc 56 dienu ilgas attiecīgās barības piedevas izbarošanas (kg),
d – barības piedevas izmaksas uz vienu dzīvmasas kg (1 kg EUR⁻¹)

4. Vienam teļam izbarotās barības piedevas izmaksas visā pētījuma laikā (2.4. formula)

$$j \times f = i, \quad (2.4.)$$

kur j – vairumtirgotāju noteiktā vidējā iepirkuma cena par vienu attiecīgā vecuma teļa dzīvmasas kg (EUR) (*informācija iegūta 2021.gada septembrī*),
f – teļu vidējā dzīvmasa pēc 56 dienu ilgas attiecīgās barības piedevas izbarošanas (kg),
i – prognozējamais ienākums, pārdodot 1 teļu (EUR)

5. Ekonomiskais ieguvums, pārdodot vienu teļu un ņemot vērā izbarotās attiecīgās barības piedevas izmaksas (2.5. formula)

$$i - g = x, \quad (2.5.)$$

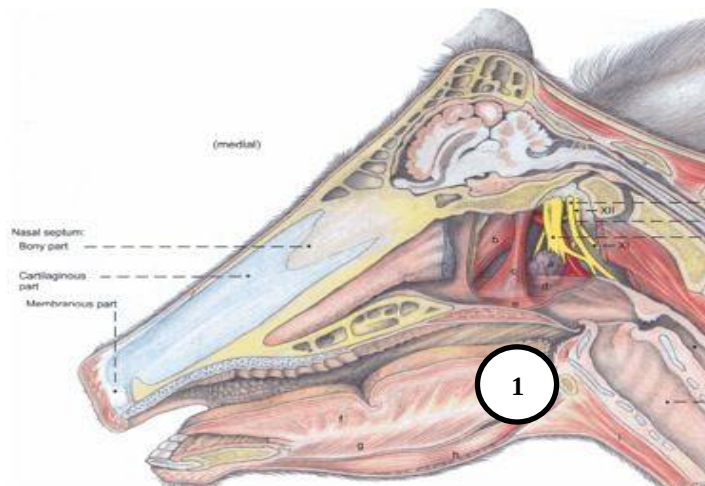
kur i – prognozējamais ienākums, pārdodot 1 teļu (EUR),
g – vienam teļam izbarotās barības piedevas izmaksas pētījuma laikā (EUR),

x – ekonomiskais ieguvums, pārdodot vienu teļu un ņemot vērā izbarotās attiecīgās barības piedevas izmaksas (EUR)

2.8. Iekšējās vides pH noteikšana dažādās gremošanas kanāla daļās (*post-mortem*)

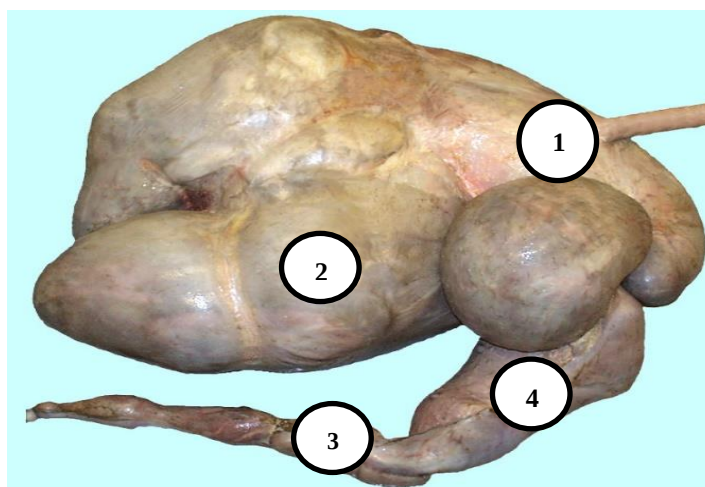
Pēc dzīvnieku nokaušanas saimnieciskā nolūkā pētījuma 56. dienā (teļu vecums 88 ± 4 dienas jeb vismaz 12 nedēļas veci), dažādās gremošanas kanāla daļās tika noteikts iekšējās vides skābju-sārmu līdzsvars (pH):

- 1) mutes dobumā zem mēles saknes (2.3. attēls),
- 2) spurekļa priekštelpas apvidū (*atrium ruminis*) (2.4. attēls),
- 3) spureklī ventrālajā maisā (*rumen saccus ventralis*) (2.4. attēls),
- 4) glumeniekā pie piloriskā sfinktera (*abomasum pars pylorica*) (2.4. attēls),
- 5) glumenieka (*abomasum*) vidusdaļā (2.4. attēls),
- 6) tukšās zarnas vidusdaļā (*jejunum*) (2.5. attēls),
- 7) lokzarnas vidusdaļā (*colon*) (2.5. attēls)



2.3. att. Govs galvas shematisks šķersgriezums ar atzīmētu pH mērīšanas vietu mutes dobumā zem mēles saknes (1)

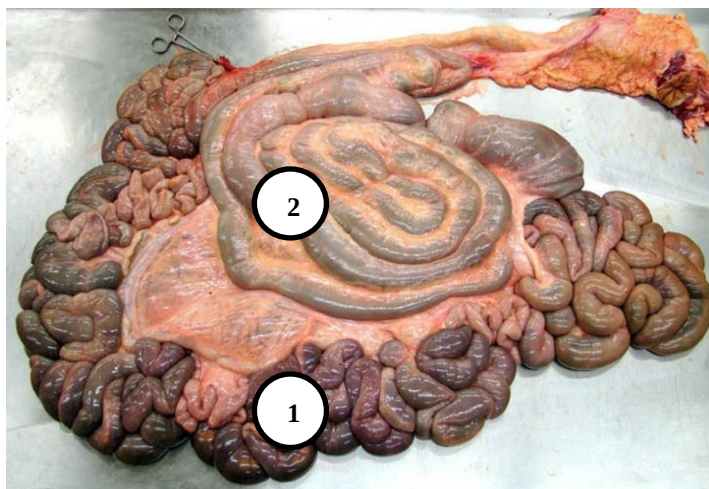
Avots: <https://images.cram.com/images/upload-flashcards/back/3/2/33523127.jpg>



2.4. att. Govs daudzkameru kuņģis no labās puses, pH mērījumu veikšanas vietas

1. spurekļa priekštelpas apvidū (*atrium ruminis*); 2. spurekļa ventrālajā maisā (*rumen saccus ventralis*);
3. glumeniekā pie piloriskā sfinktera (*abomasum pars pylorica*); 4. glumenieka (*abomasum*) vidusdaļā

Avots: <http://vanat.ahc.umn.edu/ungDissect/Lab14/Img14-3.html>



2.5. att. **Gova zarnas no kreisās puses, pH mērījumu veikšanas vietas**

1. tukšās zarnas (*jejunum*) vidusdaļā; 2. lokzarnas (*colon*) vidusdaļā

Avots: <http://vanat.ahc.umn.edu/ungDissect/Lab14/Img14-11.html>

Iekšējās vides pH noteikšanai tika izmantots pārnēsājams pH metrs *ProfiLine pH 3110*, (*Xylem Inc.*, Vācija). Diapazons: pH –2.000...+19.999 (± 0.005 pH). Izmantotā pH metra kalibrēšana tika veikta ar rūpnieciski ražotiem standartšķīdumiem (pH 4.01 un pH 7.00) (*Xylem Inc.*, Vācija) 20 °C temperatūrā.

2.9. Daudzkameru kuņģa masas noteikšana

Tika noteiktas atsevišķu kuņģa daļu masas (kopējā tukša kuņģa masa, glumenieka masa, priekškuņģu masa), izmantojot digitālos rokas svarus (*Rapala*, Ķīna), kļūda ± 10 g.

Kā arī tika aprēķināta kopējā kuņģa, priekškuņģu un glumenieka relatīvā masa attiecībā pret dzīvmasu (2.6. formula) un aprēķināta glumenieka un priekškuņģu masas procentuālā attiecība pret kopējo kuņģa masu (2.7. formula).

$$\frac{A}{B} \times 100 = C\%, \quad (2.6.)$$

kur A – kopējā kuņģa, glumenieka vai priekškuņģu masa (kg),

B – teļu dzīvmasa (kg),

C – attiecīgās kuņģa daļas relatīvā masa (%) (Jonova et al., 2021)

$$\frac{D}{E} \times 100 = F\%, \quad (2.7.)$$

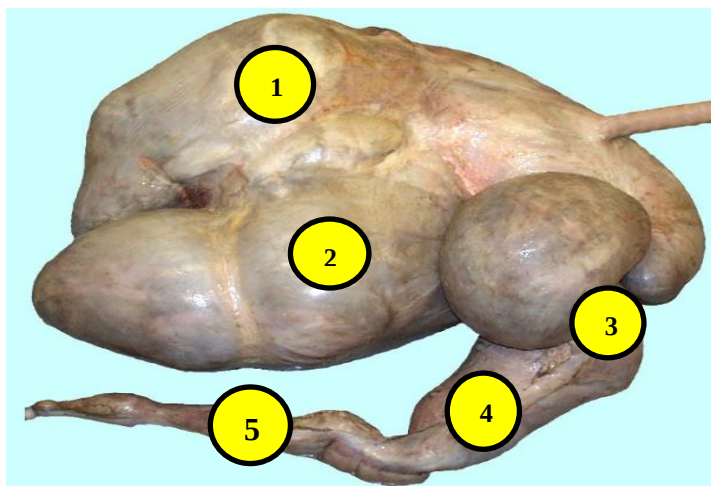
kur D – glumenieka vai priekškuņģu masa (kg),

E – kopējā kuņģa masa (kg),

F – attiecīgās kuņģa daļas procentuālā attiecība pret kopējo kuņģa masu (Górka et al., 2011)

2.10. Dažādu gremošanas kanāla daļu histoloģisko paraugu iegūšana un izmeklēšana

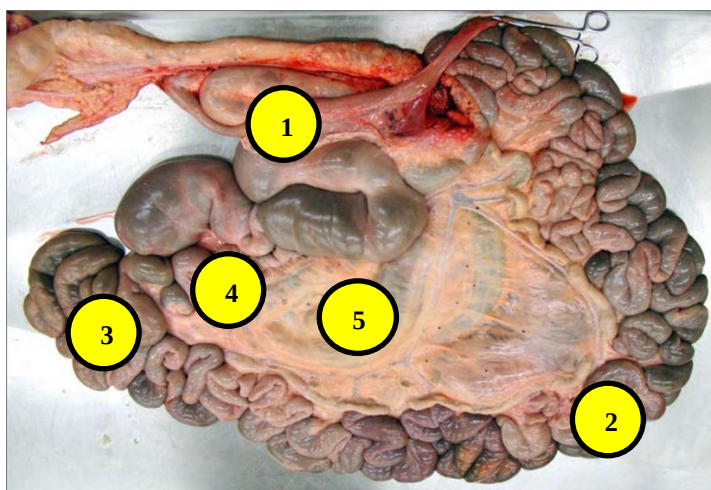
Audu paraugi histoloģiskiem izmeklējumiem **tika iegūti** no spurekļa dorsālā maisa (*rumen saccus dorsalis*) un ventrālā maisa (*rumen saccus ventralis*), glumenieka (*abomasum*) kardiālo (*pars cardiaca*), fundālo (*pars fundalis*) un pilorisko dziedzeru zonas (*pars pylorica*) (2.6. attēls), divpadsmitpirkstu zarnas (*duodenum*), tukšās zarnas (*jejunum*) vidusdaļas, kā arī tukšās zarnas beigu daļas un gūžas zarnas (*ileum*) vidusdaļas un lokzarnas (*colon*) vidusdaļas (2.7. attēls).



2.6. att. **Histoloģisko paraugu iegūšanas vietas no spurekļa (*rumen*) un glumenieka (*abomasum*)**

1. spurekļa dorsālais maiss (*rumen saccus dorsalis*); 2. spurekļa ventrālais maiss (*rumen saccus ventralis*); 3. glumenieka kardiālo dziedzeru zona (*abomasum pars cardiaca*); 4. glumenieka fundālo dziedzeru zona (*abomasum pars fundalis*); 5. glumenieka pilorisko dziedzeru zona (*abomasum pars pylorica*)

Avots: <http://vanat.ahc.umn.edu/ungDissect/Lab14/Img14-3.html>



2.7.att. **Dažādu zarnu histoloģisko paraugu iegūšanas vietas**

1. divpadsmitpirkstu zarnas (*duodenum*) vidusdaļa; 2. tukšās zarnas (*jejunum*) vidusdaļa; 3. tukšās zarnas beigu daļa; 4. gūžas zarnas (*ileum*) vidusdaļa; 5. lokzarnas (*colon*) vidusdaļa

Avots: <http://vanat.ahc.umn.edu/ungDissect/Lab14/Img14-12.html>

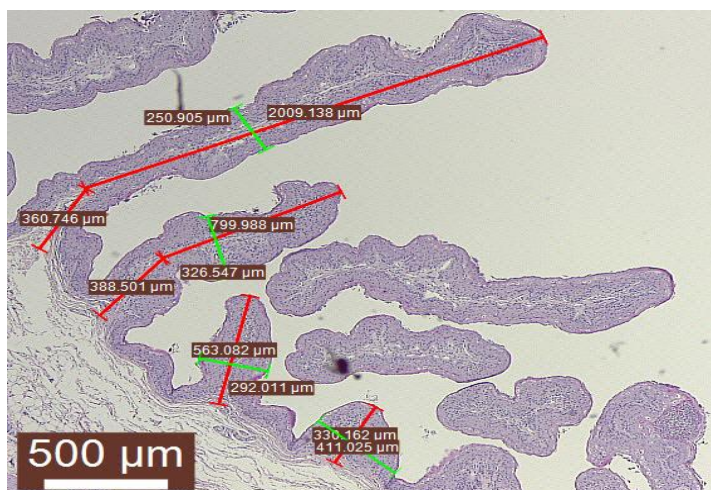
Ar grieznēm tika iegūts 4×4 cm liels audu paraugs, to noskaloja ar 0.9% NaCl šķīdumu, lai atbrīvotos no kuņģa un zarnu satura. Tad, turot ar pinceti, paraugus skaloja 10% formalīna šķīdumā, lai nofiksētos gļotāda un formalīns vienmērīgi iekļūtu visos ņemto zarnu paraugu lūmenos, un tad paraugi tika ievietoti cieši noslēdzamos plastmasas traukos ar 10% buferēto neitrālo formalīnu (audu un formalīna attiecība 1:10). Paraugus 2 dienas uzglabāja istabas temperatūrā un tad tika veikta audu piegriešana un ievietošana histoloģijas paraugu kasetēs. Audu histoloģisko paraugu dehidratācijai, sagatavošanai un ieslēgšanai parafina blokos

izmantoja audu procesoru *Leica ASP200 S* (*Leica Biosystems Nussloch GmbH*, Vācija) pēc standartizētas audu histoloģiskās sagatavošanas metodes (Kiernan, 2008; Carson, 1997).

Kopumā nofiksēti un parafīna blokos tika ieslēgti 90 dažādu gremošanas kanāla daļu paraugi. Pēc paraugu ieslēgšanas parafīna blokos, preparāti ar mikrotomu tika griezti 5 µm plānos griezumos un tika uznesti uz priekšmetstikliņiem. Sagatavotos priekšmetstikliņus ievietoja termostātā 60 °C uz 30 min – žāvēšanai un nostiprināšanai uz priekšmetstikliņa.

Audu paraugu histoloģiskai krāsošanai izmantota **hematoksilīna-eozīna krāsošanas metode** (H&E) (Carson, 1997). Lai veiktu paraugu atbrīvošanu no parafīna (deparafinizācija), paraugus 2 reizes pa 5 min noturēja ksilolā. Parauga rehidratācijai tika izmantota spirta koncentrācijas samazināšanas rinda (99%, 96%, 70%, un 50% koncentrācijās). Katrā koncentrācijā paraugi tika turēti 2 minūtes. Tad veica audu iekrāsošanu ar hematoksilīnu. Priekšmetstikliņus krāsā atstāja uz 3 minūtēm un tad noskaloja ar destilētu ūdeni un veica krāsošanu ar eozīnu 3 – 5 minūtes. Pēc krāsošanas tika veikta paraugu dehidratācija, izmantojot pieaugošu spirta koncentrācijas rindu (70%, 96% un 99% koncentrācijās) (katrā koncentrācijā 1 min) un paraugu dzidrināšana, ievietojot ksilolā (2 reizes pa 5 minūtēm). Paraugus pēc dehidratācijas un dzidrināšanas nosedza ar ksilolā šķīstošu histoloģisko līmi un segstikliņiem.

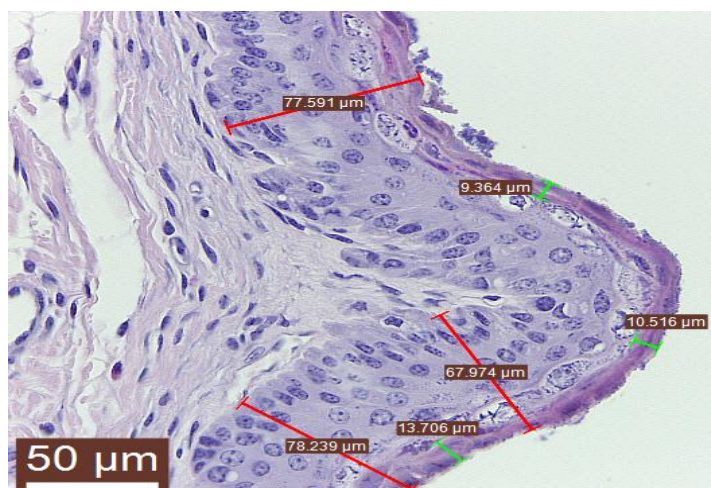
Spurekļa dorsālā maisa (*rumen saccus dorsalis*) un spurekļa ventrālā maisa (*rumen saccus ventralis*) histoloģiskajos paraugos tika mērīts kārpiņu garums, platums (µm) (2.8. attēls), visa epitēlija un epitēlija pārragotās kārtas (*stratum corneum*) biezums (µm) (2.9. attēls).



2.8. att. Spurekļa kārpiņu (*papillae ruminis*) garuma un platuma mērīšanas tehnika, H&E, 40x

Avots: S.Jonovas foto

Kārpiņas garums tika mērīts no kārpiņas epitēlija apikālā gala līdz gļotādas muskuļu plātnītei. Ja kārpiņa bija izliektas formas, tad tās garuma mērīšanai tika lietotas laužas līnijas (2.8. attēls). Kārpiņas platums tika mērīts tās vidusdaļā līdz epitēlija šūnu apikālajiem galiem perpendikulāri kārpiņu garumam. Katrā paraugā mērījumi tika veikti 5 dažādos redzeslaukos visām tur esošajām kārpiņām.

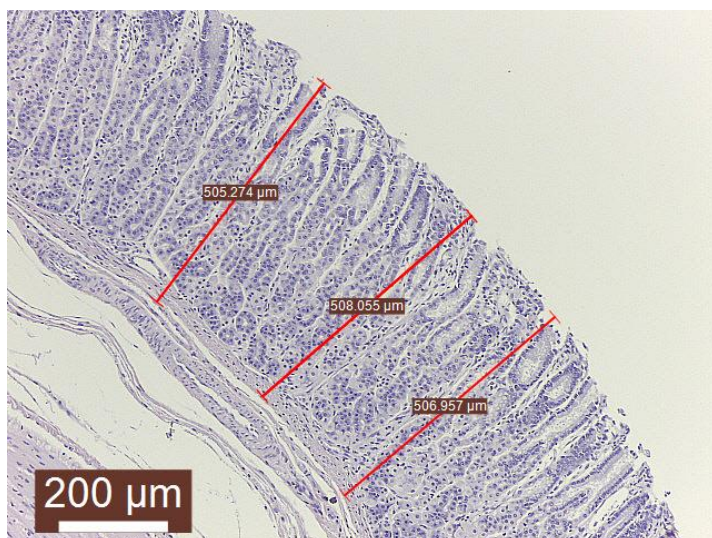


2.9. att. Spurekļa visa epitēlija un epitēlija pārragotās kārtas (*stratum corneum*) biezuma mērīšanas tehnika, H&E, 400x

Avots: S.Jonovas foto

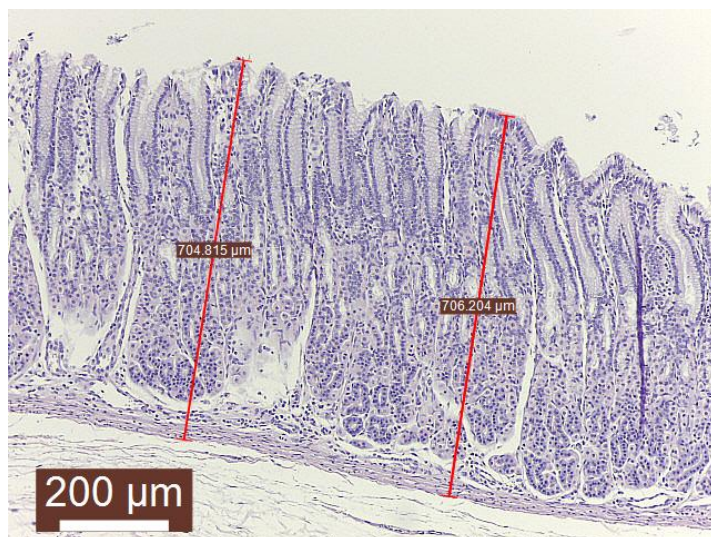
Katrā paraugā spurekļa kārpiņu visa epitēlija un epitēlija pārragotās kārtas (*stratum corneum*) biezums (μm) tika mērīts 5 dažādos redzeslaukos un katrā redzeslaukā tika veikti 3 mērījumi.

Glumenieka kardiālo (*pars cardiaca*) (2.10. attēls), fundālo (*pars fundalis*) (2.11. attēls) un pilorisko dziedzeru (*pars pylorica*) (2.12. attēls) zonā tika mērīts gļotādas biezums (μm) 5 redzeslaukos, katrā 3 mērījumi.



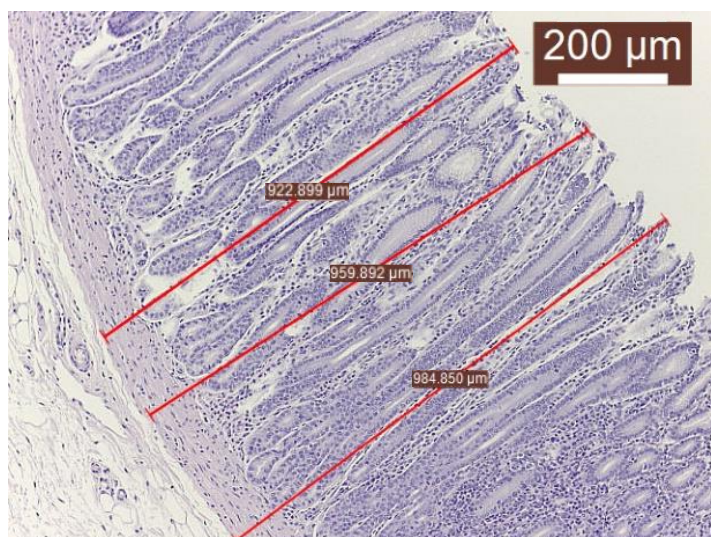
2.10. att. Glumenieka kardiālo dziedzeru zonas (*abomasum pars cardiaca*) gļotādas biezuma mērīšanas tehnika, H&E, 100x

Avots: S.Jonovas foto



2.11. att. **Glumenieka fundālo dziedzeru zonas (*abomasum pars fundalis*) gļotādas biezuma mērīšanas tehnika, H&E, 100x**

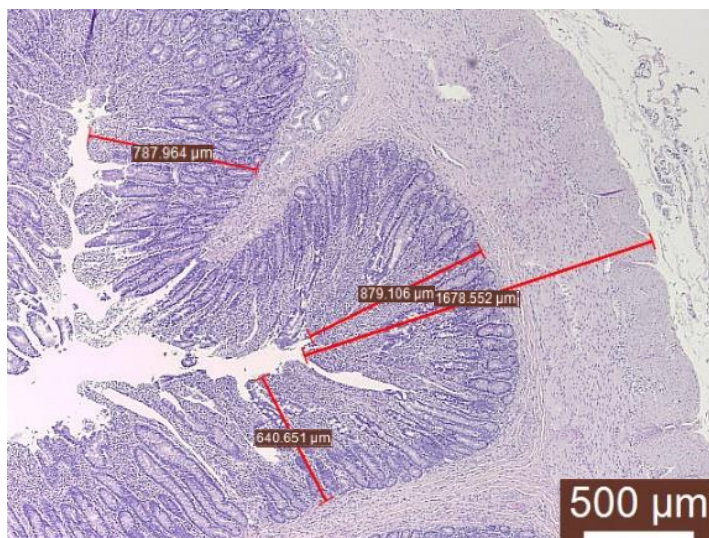
Avots: S.Jonovas foto



2.12. att. **Glumenieka pilorisko dziedzeru zonas (*abomasum pars pylorica*) gļotādas biezuma mērīšanas tehnika, H&E, 100x**

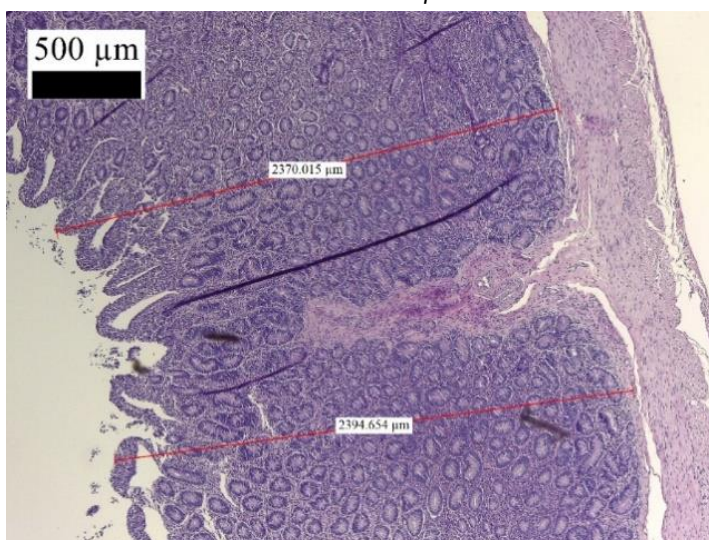
Avots: S.Jonovas foto

Divpadsmitpirkstu zarnas (*duodenum*) (2.13. attēls), tukšās zarnas (*jejunum*) vidusdaļā (2.14. attēls), kā arī tukšās zarnas beigu daļā (2.15. attēls) un gūžas zarnas (*ileum*) vidusdaļā (2.16. attēls) tika mērīts gļotādas biezums (bārkstiņas garums un kriptas dziļums), kā arī visas zarnu sienas biezums (µm). Katrā paraugā tika veikti 3 – 5 mērījumi, 5 redzeslaukos.



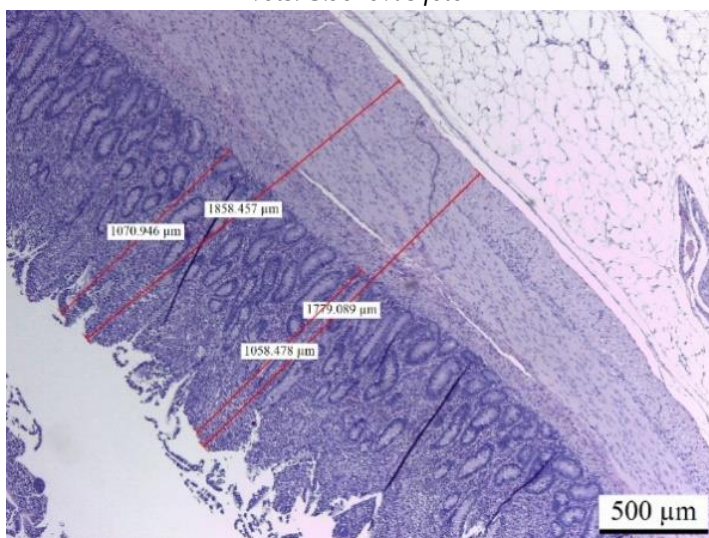
2.13. att. Divpadsmitpirkstu zarnas (*duodenum*) vidusdaļas gļotādas biezuma un visas zarnu sienas biezuma mērīšanas tehnika, H&E, 40x

Avots: S.Jonovas foto



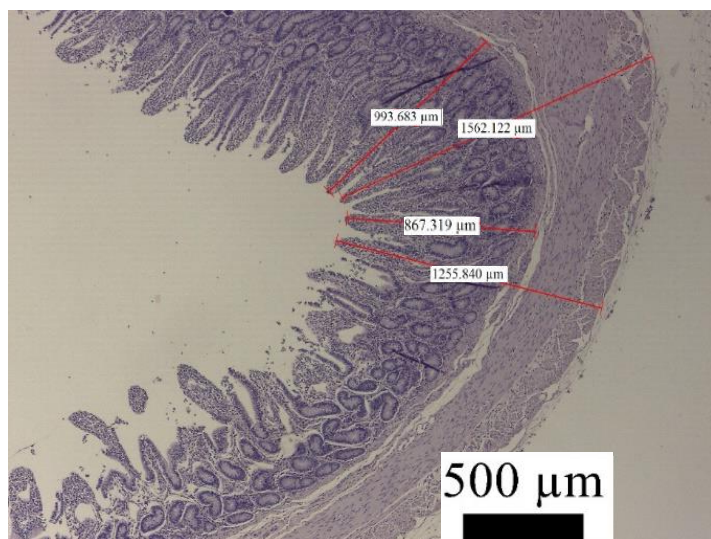
2.14. att. Tukšās zarnas (*jejunum*) vidusdaļas gļotādas biezuma un visas zarnu sienas biezuma mērīšanas tehnika, H&E, 40x

Avots: S.Jonovas foto



2.15. att. Tukšās zarnas (*jejunum*) beigu daļas gļotādas biezuma un visas zarnu sienas biezuma mērīšanas tehnika, H&E, 40x

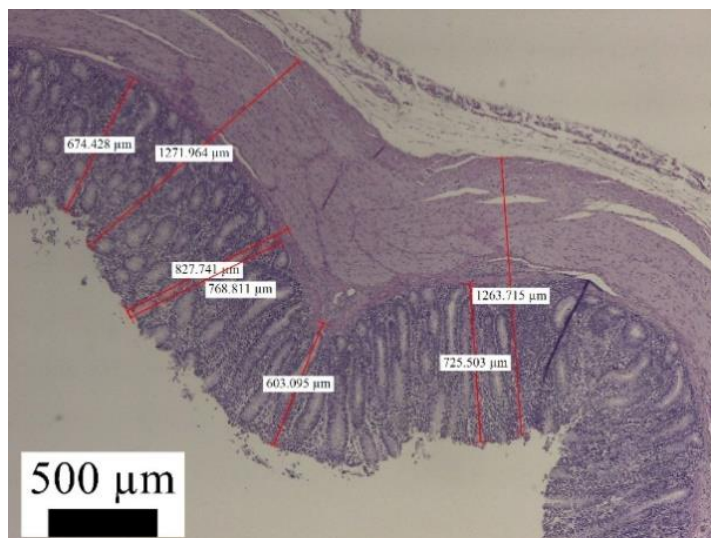
Avots: S.Jonovas foto



2.16. att. **Gūžas zarnas (*ileum*) vidusdaļas gļotādas biezuma un visas zarnu sienas biezuma mērīšanas tehnika, H&E, 40x**

Avots: S.Jonovas foto

Lokzarnas (*colon*) vidusdaļā tika mērīts kriptu dziļums no kriptu epitēlija apikālā gala līdz gļotādas muskuļu plātnītei (*lamina muscularis mucosae*) un visas zarnas sienas biezums (μm) (2.17. attēls). Katrā paraugā tika veikti 3 – 5 mērījumi, 5 redzeslaukos.



2.17. att. **Lokzarnas (*colon*) vidusdaļas kriptu dziļuma un visas zarnu sienas biezuma mērīšanas tehnika, H&E, 40x**

Avots: S.Jonovas foto

Kopumā izvērtēti 200 histoloģisko preparātu griezumus no dažādām gremošanas kanāla daļām. Visi mērījumi veikti, izmantojot gaismas mikroskopiju ar multifunkcionālu mikroskopu *Leica DM 750* (*Leica Microsystems*, Vācija). Iegūto histoloģisko izmeklējumu fotografēšana, apstrāde un mērīšana tika veikta, izmantojot kameru *Leica ICC50 HD* (*Leica Microsystems*, Vācija) un programmatūru *Leica Application Suite* (*Leica Microsystems*, Vācija). Izmeklējumi veikti Latvijas Lauksaimniecības universitātes, Veterinārmedicīnas fakultātes, Preklīniskā institūta Salīdzinošās patoloģijas laboratorijā.

2.11. Imūnhistoķīmiskās krāsošanas izmantošana grelīna IR šūnu skaita noteikšanai glumenieka un tievo zarnu histoloģiskajos paraugos

Grelīna imūnreaktīvo šūnu noteikšanai tika izmantota audu imūnhistoķīmiskās krāsošanas metode. Grelīna imūnreaktīvo šūnu skaits noteikts glumenieka un tievās zarnas audu griezumos. Imūnreaktīvo šūnu iezīmēšana veikta izmantojot streptavidīna – biotīna kompleksu (*Dako REAL™ EnVision™ Detection System, Peroxidase/DAB+, Rabbit/Mouse, Agilent Technologies, ASV*). Izmeklētie audu paraugi uznesti uz priekšmetstikliņiem ar silāna pārklājumu (*HistoBond®+, Paul Marienfeld GmbH & Co. KG, Vācija*), tad tie tika žāvēti 12 stundas 37 °C termostatā. Pēc tam tika veikta paraugu deparafinizācija ar ksilolu un rehidratācija ar etanola koncentrācijas samazināšanas rindu. Pēc paraugu rehidratācijas, tie tika ievietoti 65 °C buferšķīdumā ar pH 9.0 (*Target Retrieval solution, pH 9, Dako, Agilent Technologies, ASV*) un apstrādāti 2 reizes ar pārtraukumu līdz 70 °C, ar mikroviļņiem 450W 5 min epitopu atbrīvošanai, lai antigēns tiktu piesaistīts pie antivielas. Tad paraugi tika atdzesēti līdz 22 °C (istabas temperatūra) un amplicēti 5 minūtes ar endogēnās peroksidāzes bloķēšanas reaģentu (*Dako Endogenous enzyme block, Agilent Technologies, ASV*), lai bloķētu endogēno peroksidāzi. Kā primārās antivielas tika izmantotas žurku un peļu poliklonālās antivielas (*H-031-31, Phoenix Pharma. Inc., ASV*) ar atšķaidījumu 1:500. Imūnreaktīvo šūnu un primārās antivielas reakciju konstatēšanai, antigēna un antivielas komplekss tika iezīmēts tam aplicējot 30 minūtes sekundāro antivielu un vēlāk tas iekrāsots 5 minūtes aplicējot DAB+ kompleksu. (*Dako REAL™ EnVision™ Detection System, Agilent Technologies, ASV*). Kontrasta radīšanai paraugā un, lai izvairītos no artefaktiem, audus iekrāsoja ar hematoksilīnu. Nokrāsoto paraugu inkubācija tika veikta mitrā kamerā istabas temperatūrā un paraugi tika skaloti ar fosfāta buferšķīdumu (*Wash Buffer, pH 7.4, Dako, Agilent Technologies, ASV*).

Pozitīvajai kontrolei grelīna antivielai tika izmantoti suņu kuņģa piloriskās daļas histoloģiskie griezumumi. Kā negatīvā kontrole tika lietoti tie paši paraugi, tikai tiem primārās antivielas vietā aplicēts antivielu atšķaidītājs (tajos netika konstatēta imūnreakcija pret grelīnu).

Imūnreaktīvo šūnu kvantitatīvais sastāvs tika vērtēts katrā paraugā 10 redzes laukos, nosakot gļotādas laukumu 1 mm² un pozitīvo šūnu skaitu tajā.

Paraugi tika izmeklēti 400x palielinājumā ar EVOS M5000 (*Invitrogen™, ASV*) mikroskopu. Izmeklējumi veikti Latvijas Lauksaimniecības universitātes, Veterinārmedicīnas fakultātes, Preklīniskā institūta Salīdzinošās patoloģijas laboratorijā.

2.12. Datu statistiskā analīze

Pētījuma datu sadalījums noteikts, izmantojot Šapiro – Vilka testu, kā arī vizuāli novērtējot *box-plot*, histogrammas un normālus Q-Q *plot* grafikus. Dispersiju viendabīguma pieņēmums pārbaudīts ar Levene testu. Lai noteiktu, vai starp trim un/vai vairākām neatkarīgām grupām pastāv statistiski nozīmīgas atšķirības, veica vienvirziena ANOVA ar Tukeja *post hoc* testu (ja dati bija normāli sadalīti, homogēni un nesaturēja izlēcienu) (*sirdsdarbības frekvences, elpošanas frekvences, temperatūras, hematoloģisko, asins bioķīmisko rādītāju, teļu dzīvmasas izmaiņu, metanogēno mikroorganismu daudzuma, gremošanas kanāla pH un daudzkameru kuņģa nodalījumu masas analīze*). Pretējā gadījumā veica Kruskala – Valisa H testu, pielietojot Dunn (1964) procedūru ar Bonferroni korekciju (*fekāliju konsistences, metāna un oglekļa dioksīda koncentrācijas, gremošanas kanāla histoloģisko paraugu parametru analīze un grelīna imūnreaktīvo šūnu skaita analīze*). *Post hoc* salīdzināšanu veic, kad jāsalīdzina trīs un vairāk grupas savā starpā. Lai to izdarītu izmanto speciālus indeksus, kuri veic korekcijas attiecībā uz p-vērtību. Indeksu izvēle ir atkarīga no grupu skaita, datu sadalījuma, pētījuma dizaina sabalansētības un datu dispersijas. Piemēram, nelielam grupu skaitam (līdz 5 pāriem) ar vienādu dispersiju un normālo datu sadalījumu izmanto Tukeja testu, savukārt Bonferroni korekciju izmanto, kad ir liels grupu skaits vai arī dati nav normāli sadalīti. Lai noteiktu, vai starp divām grupām pastāv statistiski nozīmīga atšķirība, tika izmantots Manna – Vitnija U tests, neatkarīgu izlašu T – tests vai Velča tests. Lineārais attiecības ciešums un virziens starp diviem mainīgajiem lielumiem novērtēts, izmantojot Spīrmena rangū vai Pīrsona korelācijas testu.

Datu analīzei izmantota statistiskās apstrādes programma *SPSS Statistics* 22. versija (*IBM Corporation, Čikāga, Ilinoisa*). Visas statistiskās analīzes tika veiktas pie nozīmības līmeņa $\alpha=0.05$, un dati parādīti kā vidējais aritmētiskais $\pm$ standartnovirze, ja dati piederēja intervālu vai attiecību mērījumu skalai, bija normāli sadalīti un nesaturēja būtiskus izlēcienu vai mediāna un starpkvartīļu intervāls, ja dati piederēja rangū skalai, nebija normāli sadalīti un/vai saturēja būtiskus izlēcienu. Diagrammu veidošanai izmantota programma *Microsoft Excel* 2016 (*Microsoft Corporation, ASV*).

3. REZULTĀTI

3.1. Topinambūra koncentrāta un tā kombinācijas ar rauga *S.cerevisiae* celma 1026 izbarošanas ietekme uz teļu veselības stāvokli

Viens no galvenajiem uzdevumiem bija novērtēt topinambūra koncentrāta un tā kombinācijas ar rauga *S.cerevisiae* celma 1026 izbarošanas ietekmi uz teļu veselības stāvokli. Abu grupu dzīvniekiem šīs barības piedevas tika pievienotas pie spēkbarības vienu reizi dienā no rītiem un izbarotas 56 dienas. Pētījuma laikā noteicām teļu fizioloģiskos pamatrādītājus: sirdsdarbības frekvenci, elpošanas frekvenci un ķermeņa temperatūru. Izvērtējot iegūtos rezultātus, tos salīdzinājām ar Jackson un Cockcrof (2002) noteiktajām normu robežām. Lai noteiktu gremošanas kanāla funkcionālos traucējumus, katram teļam individuāli noteicām fekāliju konsistenci. To konsistences novērtējumu veicām saskaņā ar zinātniskajos pētījumos bieži izmantoto Larson un līdzautoru (1977) izstrādāto metodi, kas paredz fekāliju izvērtēšanai lietot gradāciju ballēs. Teļu veselības stāvokli un arī funkcionālo attīstību vērtējām, izmantojot hematoloģiskos un bioķīmiskos asins rādītājus, kas salīdzināti ar Ježek (2007) un Kaneko un līdzautoru (2008) aprakstītajām normu robežām.

Sirdsdarbības frekvence pētījuma pirmajā dienā visaugstākā bija PreG (prebiotikas grupa) teļiem $118 \pm 6 \times \text{min}^{-1}$, bet viszemākā SynG (sinbiotikas grupa) teļiem $112 \pm 8 \times \text{min}^{-1}$, tomēr šī atšķirība nebija būtiska, $p > 0.05$. Otrajā sirdsdarbības frekvences noteikšanas dienā (pētījuma 28. diena), tā SynG grupas teļiem bija nebūtiski augstāka $113 \pm 11 \times \text{min}^{-1}$ nekā PreG grupas teļiem $109 \pm 7 \times \text{min}^{-1}$ un CoG (kontroles grupa) teļiem $113 \pm 4 \times \text{min}^{-1}$, $p > 0.05$. Arī pētījuma 56. dienā veiktajos izmeklējumos konstatēts, ka sirdsdarbības frekvence starp grupām būtiski neatšķīrās, $p > 0.05$ (3.1. tabula). Jāpiebilst, ka sirdsdarbības frekvence visām teļu grupām visās sirds auskultācijas reizēs iekļāvās teļu vecumam atbilstošās normas robežās.

3.1. tabula

Pētījumā iekļauto barības piedevu izbarošanas ietekme uz fizioloģiskajiem pamatrādītājiem 4 – 14 nedēļas veciem teļiem

Fizioloģiskais pamatrādītājs	Pētījuma diena	Teļu vecums nedēļās	Fizioloģisko pamatrādītāju vidējās vērtības grupā (n=15)			p-vērtība, ANOVA	Normas robežas (Jackson, Cockcrof, 2002)
			CoG	PreG	SynG		
Sirdsdarbības frekvence, $\times \text{min}^{-1} \pm \text{SD}$	1.	4-5	114 ± 9	118 ± 6	112 ± 8	0.575	80-120
	28.	8-9	113 ± 4	109 ± 7	113 ± 11	0.728	
	56.	13-14	109 ± 9	112 ± 9	111 ± 7	0.885	
Elpošanas frekvence, $\times \text{min}^{-1} \pm \text{SD}$	1.	4-5	29 ± 5	30 ± 4	29 ± 2	0.885	24-36
	28.	8-9	31 ± 2	29 ± 4	32 ± 3	0.580	
	56.	13-14	29 ± 3	31 ± 4	29 ± 2	0.564	
Ķermeņa temperatūra, $^{\circ}\text{C} \pm \text{SD}$	1.	4-5	39.1 ± 0.24	39.1 ± 0.26	38.9 ± 0.19	0.397	38.5-39.5
	28.	8-9	39.1 ± 0.29	39.2 ± 0.15	38.9 ± 0.24	0.236	
	56.	13-14	38.9 ± 0.34	38.9 ± 0.39	39.0 ± 0.29	0.897	

Elpošanas frekvence visās trijās tās noteikšanas reizēs (pētījuma 1., 28. un 56. dienā) būtiski neatšķīrās starp grupām, $p > 0.05$ un iekļāvās normas robežās (3.1. tabula).

Arī teļu **ķermeņa temperatūra** gan pētījuma 1. dienā, gan arī 28. un 56. dienā iekļāvās normas robežās (38.5 – 39.5 °C) un būtiski neatšķīrās starp teļu grupām, $p>0.05$ (3.1. tabula).

Pētījuma 1., 28. un 56. dienā, nosakot **fekāliju konsistenci**, tika novērots, ka visās teļu grupās tā bija robežās no 0 (stingras, sugai raksturīgas konsistences fekālijas) līdz 2 (šķidras fekālijas) (3.2. tabula). Nevienam pētījumā iekļautajam teļam paraugu ņemšanas reizēs un arī pārējās pētījuma dienās netika konstatētas ūdeņainas fekālijas.

3.2. tabula

Topinambūra koncentrāta vai tā kombinācijas ar raugu ietekme uz fekāliju konsistenci teļiem pētījuma 1., 28. un 56. dienā

Pētījuma diena	Fekāliju konsistence grupā (balles)*(n=15)						P-vērtība, K-W tests
	CoG		PreG		SynG		
	Me**	Q1-Q3***	Me	Q1-Q3	Me	Q1-Q3	
1.	1	0.5-1.5	1	0-1	1	0-2	0.649
28.	1	0.5-1	1	0-1.5	0	0-1	0.493
56.	1	0-1.5	1	0-1.5	0	0-1	0.644

*0 balles – stingras, sugai raksturīgas konsistences fekālijas; 1 balle - mīksta fekālija; 2 balles – šķidras fekālijas; 3 balles – ūdeņainas fekālijas (Larson et al., 1977)

**Me – mediāna,

***Q1-Q3 – 1.-3.kvartīlis

Kontroles grupas teļiem fekāliju konsistence pētījuma beigās bija Me=1, IQR 0 – 1.5 balles, tāds pats fekāliju konsistences novērtējums konstatēts teļu grupai, kas papildus pie barības saņēma 12 g topinambūra koncentrātu, kas satur 6 g prebiotiku inulīnu. Savukārt teļu grupai, kas pie barības papildus saņēma šo pašu topinambūra koncentrātu kopā ar 5 g rauga *S.cerevisiae* 1026 celmu, fekāliju konsistence tika novērtēta kā Me=0, IQR 0 – 1, norādot uz to, ka šīs grupas teļu fekāliju konsistence bija vairāk stingra, sugai raksturīga, tomēr netika novērota būtiska atšķirība fekāliju konsistencē starp grupām, $p=0.644$.

Izanalizējot asins analīžu rezultātus, kas iegūti pētījuma 1., 28. un 56. dienā, tika novērots, ka noteiktie **hematoloģiskie rādītāji** (leikocītu skaits (WBC), eritrocītu skaits (RBC), hematokrīts (HTC), hemoglobīna līmenis eritrocītos (HGB) un trombocītu skaits (PLT)) visās asins paraugu ņemšanas reizēs CoG, PreG un SynG grupu teļiem bija bez būtiskām atšķirībām starp grupām, $p>0.05$. Jāpiebilst, ka visi iegūto hematoloģisko rādītāju vidējie teļu grupu rezultāti arī iekļāvās teļu vecumam atbilstošajās normu robežās (3.3. tabula).

Topinambūra koncentrāta vai tā kombinācijas ar raugu ietekme uz hematoloģiskajiem rādītājiem teļiem pētījuma 1., 28. un 56. dienā

Hematoloģiskais rādītājs	Pētījuma diena	Teļu vecums nedēļās	Vidējās hematoloģisko rādītāju vērtības grupā (n=15)			p-vērtība, ANOVA	Normas robežas (Jēžek, 2007)	Normas robežas pieaugušām govīm (Radostits et al., 2006)
			CoG	PreG	SynG			
WBC, 10^9 L^{-1}	1.	4-5	10.4±2.14	10.0±1.38	9.9±1.39	0.861	7.0-14.0	4-12
	28.	8-9	11.4±1.61	10.7±1.60	10.4±1.60	0.631	6.5-13.1	
	56.	13-14	11.1±1.02	10.6±1.26	10.8±1.28	0.868	8.2-13.4	
RBC, 10^{12} L^{-1}	1.	4-5	7.4±0.64	7.1±0.78	7.5±0.82	0.731	6.51-9.65	5-10
	28.	8-9	8.7±0.74	8.3±0.67	7.9±0.38	0.136	7.52-9.54	
	56.	13-14	9.8±0.70	9.7±0.61	9.5±1.04	0.907	8.44-10.22	
HCT, %	1.	4-5	24.4±1.99	22.8±0.87	23.2±0.82	0.179	22.0-38.0	24-46
	28.	8-9	25.8±1.14	25.1±0.52	25.0±0.64	0.284	25.0-35.0	
	56.	13-14	29.1±1.03	29.1±1.14	29.9±0.42	0.309	29.0-37.0	
HGB, g dL^{-1}	1.	4-5	10.0±0.81	9.5±0.68	9.6±0.80	0.498	7.6-12.2	8-15
	28.	8-9	9.4±1.04	9.7±0.63	9.7±0.89	0.880	8.5-11.1	
	56.	13-14	10.1±0.35	10.2±0.81	10.0±0.40	0.872	10.1-11.8	
PLT, 10^9 L^{-1}	1.	4-5	772.1 ±93.47	737.3 ±114.04	742.2 ±112.99	0.859	545-939	100-800
	28.	8-9	791.5 ±65.45	763.1 ±65.30	803.7 ±50.87	0.572	429-933	
	56.	13-14	677.4 ±106.07	720.1 ±86.22	736.0 ±68.84	0.571	461-857	

Lai novērtētu teļu veselības stāvokli, pētījuma ietvaros 1., 28. un 56. dienā tika novērtēti atsevišķi **asins seruma bioķīmiskie rādītāji** (3.4. tabula). Lai varētu spriest par iespējamām aknu darbības problēmām, tika novērtēta gamma-glutamyltransferāze (GGT) un asparāta aminotransferāze (ASAT). Šie asins bioķīmiskie rādītāji būtiski neatšķīrās starp visām teļu grupām un iekļāvās normu robežās.

Nieru darbības novērtēšanai tika analizēts urīnvielas (UREA) un kreatinīna (CREA) līmenis asins serumā. UREA līmenis visās grupās iekļāvās teļu vecuma atbilstošās normu robežās un būtiski neatšķīrās starp grupām, $p > 0.05$. Savukārt CREA līmenis asins serumā būtiski atšķīrās visās asins paraugu ņemšanas reizēs. Pētījuma 1. dienā CREA līmenis asins serumā CoG grupas teļiem bija $81.4 \pm 10.08 \text{ mmol L}^{-1}$ un tas bija būtiski augstāks nekā PreG un SynG grupu teļiem (attiecīgi $68.8 \pm 2.51 \text{ mmol L}^{-1}$, $p = 0.035$ un $59.5 \pm 6.04 \text{ mmol L}^{-1}$, $p = 0.01$).

Pētījuma 28. dienā PreG grupas teļu CREA līmenis asins serumā $85.7 \pm 5.59 \text{ mmol L}^{-1}$ bija būtiski augstāks nekā CoG un SynG grupu teļiem (attiecīgi $68.7 \pm 7.01 \text{ mmol L}^{-1}$, $p=0.004$ un $69.4 \pm 7.32 \text{ mmol L}^{-1}$, $p=0.006$). Pētījuma 56. dienā CoG teļu CREA līmenis asins serumā $79.8 \pm 4.24 \text{ mmol L}^{-1}$ bija būtiski augstāks nekā PreG un SynG grupu teļiem (attiecīgi $68.9 \pm 2.85 \text{ mmol L}^{-1}$, $p=0.001$ un $70.1 \pm 3.58 \text{ mmol L}^{-1}$, $p=0.003$). Arī savstarpēji salīdzinot PreG un SynG teļu vidējo CREA līmeni asins serumā, tika konstatēts, ka tas būtiski atšķiras starp grupām, $p=0.001$. Tomēr kopumā novērtējot visus iegūtos rezultātus, tie iekļāvās teļu vecumam atbilstošajās normu robežās.

Kopējā proteīna (TP) līmenis asins serumā pētījuma 1. un 28. dienā bija bez būtiskām atšķirībām starp teļu grupām, $p>0.05$ un iekļāvās normu robežās. Savukārt pētījuma 56. dienā PreG grupas teļiem tas bija $65.4 \pm 3.34 \text{ g L}^{-1}$ un šis rezultāts bija būtiski augstāks nekā SynG grupas teļiem $59.4 \pm 2.63 \text{ g L}^{-1}$, $p=0.017$. Kontroles grupas teļiem TP līmenis asins serumā bija $62.3 \pm 2.63 \text{ g L}^{-1}$ un tas būtiski neatšķīrās no SynG un PreG grupu teļu TP līmeņa asins serumā. Jāpiebilst, ka visu grupu vidējie TP rādītāji asins serumā visās paraugu ņemšanas reizēs iekļāvās normu robežās.

Globulīnu līmenis asins serumā būtiski atšķīrās starp grupām gan pētījuma 28., gan arī 56. dienā. Pētījuma 28. dienā globulīnu līmenis asins serumā CoG grupas teļiem bija būtiski zemāks nekā PreG grupas teļiem. Arī SynG grupas teļiem globulīnu līmenis asins serumā bija augstāks nekā CoG grupas teļiem, tomēr šī atšķirība nebija būtiska. Pētījumam 56. dienā visaugstākais globulīnu līmenis asins serumā tika konstatēts PreG grupas teļiem, nedaudz zemāks CoG grupas teļiem, bet viszemākais SynG grupas teļiem. Tika novērota būtiska atšķirība globulīnu līmenī asins serumā starp SynG un PreG grupu teļiem, SynG grupas teļiem globulīnu līmenis bija būtiski zemāks nekā PreG grupas teļiem.

Glikozes līmenis asinīs pētījuma 1. un 28. dienā visaugstākais bija SynG grupas teļiem, bet šī atšķirība starp grupām nebija būtiska. Savukārt pētījuma 56. dienā CoG teļiem vidējais glikozes līmenis asinīs bija viszemākais un tas būtiski atšķīrās no PreG un SynG grupu teļu vidējā glikozes līmeņa asinīs.

Topinambūra koncentrāta vai tā kombinācijas ar raugu ietekme uz atsevišķiem asins bioķīmiskajiem rādītājiem teļiem pētījuma 1., 28. un 56. dienā

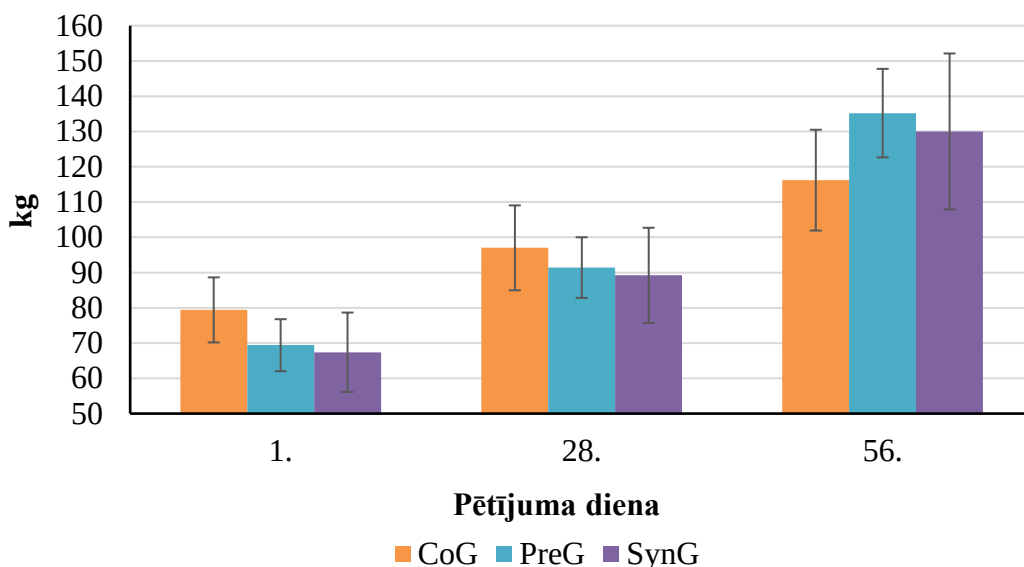
Asins bioķīmiskais rādītājs	Pētījuma diena	Teļu vecums nedēļās	Vidējās asins bioķīmisko rādītāju vērtības grupā (n=15)			p-vērtība, ANOVA	Normu robežas (Ježek, 2007) un (Kaneko et al., 2008)*	Normu robežas pieaugušām govīm (Radostits et al., 2006)
			CoG	PreG	SynG			
GGT, U L ⁻¹	1.	4-5	30.2±10.79	32.7±25.84	28.8±15.67	0.140	13.4-48.8, (12.0–48.6)*	6-17.4
	28.	8-9	25.2±3.28	23.3±1.66	18.2±8.31	0.134	12.6-19.6, (11.0–27.6)*	
	56.	13-14	16.1±1.50	15.3±0.99	14.5±1.51	0.211	10.4-16.4	
ASAT, U L ⁻¹	1.	4-5	52.0±16.54	56.7±15.82	55.9±8.13	0.187	21.8-46.0, (22.0–63.3)*	60-125
	28.	8-9	42.6±15.37	50.0±9.48	39.2±9.86	0.122	30.1-50.5, (19.0–63.3)*	
	56.	13-14	49.0±8.54	51.4±5.39	50.6±4.94	0.291	38.4-56.8	
UREA, mmol L ⁻¹	1.	4-5	3.1±0.69	3.8±0.54	3.2±0.46	0.194	2.51-5.22, (2.75-8.5)*	3.57-8.93
	28.	8-9	3.4±1.13	4.4±1.44	3.2±0.50	0.343	2.71-5.09, (2.43-6.53)*	
	56.	13-14	4.5±0.91	3.2±0.61	3.4±0.47	0.092	2.86-5.28	
CREA, mmol L ⁻¹	1.	4-5	81.4±10.08 ^a	68.8±2.51 ^b	59.5±6.04 ^b	0.001	72.68-110.21, (49.52-106.1)*	44.2-194.48
	28.	8-9	68.7±7.01 ^a	85.7±5.59 ^b	69.4±7.32 ^a	0.002	67.24-97.44, (41.56-87.54)*	
	56.	13-14	79.8±4.24 ^a	68.9±2.85 ^b	70.1±3.58 ^c	0.001	64.71-85.91	
TP, g L ⁻¹	1.	4-5	56.0±5.82	52.3±2.92	52.1±1.48	0.242	48.5-58.24, (39.4-59.3)*	67-75
	28.	8-9	57.3±1.03	59.7±2.99	57.8±3.30	0.345	51.75-62.13, (38.7-61.3)*	
	56.	13-14	62.3±2.63 ^{ab}	65.4±3.34 ^a	59.4±2.63 ^b	0.021	56.11-66.07	
Albumīns, g L ⁻¹	1.	4-5	33.8±1.76	34.1±0.77	32.6±1.52	0.261	28.46-34.15	25-38
	28.	8-9	33.9±1.18	33.4±0.78	33.6±1.01	0.664	29.08-34.44	
	56.	13-14	33.6±1.89	33.9±1.21	33.3±0.64	0.784	28.89-34.53	
Globulīni, g L ⁻¹	1.	4-5	22.2±4.44	18.2±3.36	19.5±2.54	0.233	ND	30-35
	28.	8-9	21.4±1.80 ^a	26.4±3.22 ^b	22.3±2.79 ^{ab}	0.027	ND	
	56.	13-14	28.7±1.70 ^{ab}	29.4±4.45 ^a	23.9±2.66 ^b	0.034	ND	
Glikoze, mmol L ⁻¹	1.	4-5	5.9±0.32	5.9±0.40	6.2±0.43	0.464	3.5-8.0*	2.22-5.55
	28.	8-9	5.8±0.69	5.6±0.47	6.4±0.56	0.145	3.52-6.83*	
	56.	13-14	5.3±0.38 ^a	6.6±0.48 ^b	6.5±0.40 ^b	0.001	4.4-6.7	

^{a-b} Vērtības vienā līnijā bez neviena kopīga burtā ir būtiski atšķirīgas. ND – nav pieejamas normu robežas šāda vecuma teļiem

3.2. Topinambūra koncentrāta un tā sinbiotikas ar *S.cerevisiae* rauga celmu 1026 izbarošanas ietekme uz teļu dzīvmasas pieaugumu un ekonomiskā ieguvuma izvērtējums

Veicot datu analīzi, tika noskaidrots, ka dati par teļu dzīvmasu un diennakts dzīvmasas pieaugumu bija normāli sadalīti, un grupu dispersijas bija vienādas.

Pirmajā pētījuma dienā teļu vidējā dzīvmasa bija bez būtiskām atšķirībām starp grupām: CoG – 79.4 ± 10.53 kg; PreG – 69.4 ± 8.41 kg un SynG – 67.4 ± 12.84 kg, $p > 0.05$. Arī otrajā mērījumu veikšanas reizē, 28. pētījuma dienā, vidējā dzīvmasa visām trīs teļu grupām bija bez būtiskām atšķirībām: CoG – 97.0 ± 13.73 kg; PreG – 91.4 ± 9.81 kg un SynG 89.2 ± 15.40 kg, $p > 0.05$. Pētījuma noslēgumā, kaut arī vidējā dzīvmasa CoG teļiem bija viszemākā 116.2 ± 16.30 kg, tomēr šī atšķirība no SynG 130.0 ± 25.23 kg un PreG 135.2 ± 14.3 kg teļu grupām nebija būtiska, $p > 0.05$ (3.1. attēls).

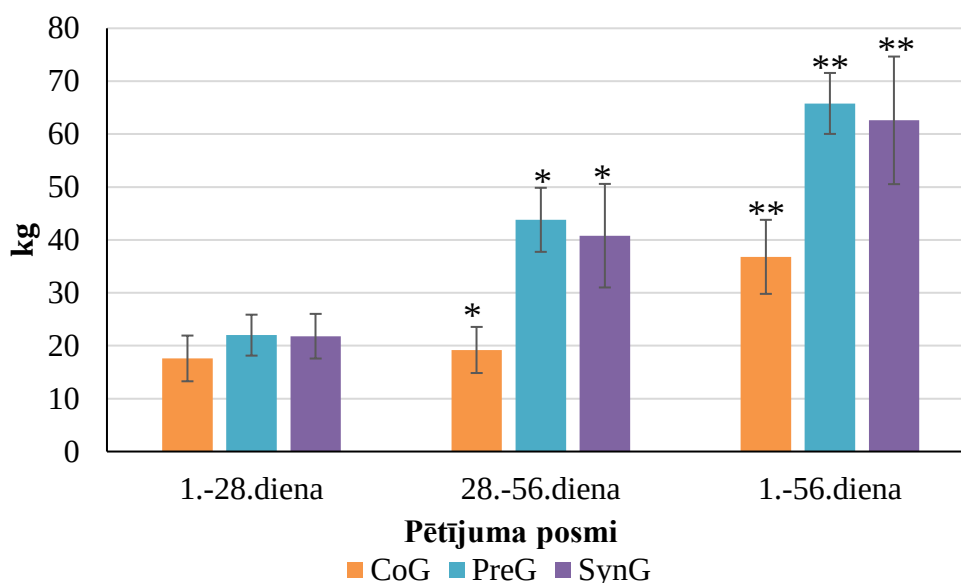


3.1. att. Teļu dzīvmasa (kg) 1., 28. un 56. pētījuma dienā prebiotikas, sinbiotikas un kontroles grupā ($\bar{x} \pm SE$, 95%)

Lai precīzāk novērtētu dzīvmasas izmaiņas pētījuma laikā, tika analizēts vidējais dzīvmasas pieaugums katrā pētījuma posmā (1. – 28. diena; 28. – 56. diena un 1. – 56. diena). Kontroles grupas teļu vidējais dzīvmasas pieaugums abos pētījuma posmos (1. – 28. diena un 28. – 56. diena) bija ļoti līdzīgs, attiecīgi 17.6 ± 4.92 kg un 19.2 ± 4.96 kg, $p > 0.05$. PreG grupas teļiem vidējais dzīvmasas pieaugums pētījuma posmā no 1. – 28. dienai bija 22.0 ± 4.41 kg, bet no 28. – 56. dienai vidējais dzīvmasas pieaugums bija būtiski lielāks – 43.8 ± 6.91 kg, $p = 0.001$. Līdzīgi rezultāti tika novēroti arī SynG grupas teļiem. To vidējais dzīvmasas pieaugums pētījuma pirmajā posmā bija 21.8 ± 4.81 kg un otrajā posmā būtiski lielāks – 40.8 ± 11.16 kg, $p = 0.002$.

Grupu savstarpējai salīdzināšanai tika izmantots tests vienvirziena ANOVA, kas parādīja, ka vidējais dzīvmasas pieaugums ($\text{kg} \pm \text{SD}$) bija būtiski atšķirīgs starp grupām pētījuma posmos 28. – 56. diena un 1. – 56. diena, $p = 0.001$. Tā kā, salīdzinātie dati bija ar vienādu dispersiju un bija normāli sadalīti, tad tika pielietots Tukeja *post hoc* tests, kas parādīja, ka dzīvmasas pieaugums PreG teļiem 43.8 ± 6.91 kg (28. – 56. diena) un 65.8 ± 6.57 kg (1. – 56. diena) bija būtiski augstāks nekā CoG grupas teļiem 19.2 ± 4.96 kg (28. – 56. diena), $p = 0.001$ un 36.8 ± 7.98 kg (1. – 56. diena), $p = 0.002$, kā arī dzīvmasas pieaugums SynG grupas teļiem 40.8 ± 11.16 kg (28. diena – 56. diena) un 62.6 ± 13.75 kg (1. – 56. diena) bija būtiski augstāks nekā CoG grupas teļiem attiecīgajos periodos, $p = 0.003$ un $p = 0.004$. Tātad gan PreG, gan SynG

teļu vidējais dzīvmasas pieaugums visā pētījuma laikā bija būtiski augstāks nekā CoG teļiem (3.2. attēls).



3.2. att. Teļu dzīvmasas (kg) izmaiņas dažādos pētījuma posmos (no 1. līdz 28., no 28. – 56. un 1. – 56. dienai) kontroles grupai un grupām, kas saņēma pētījumā iekļautās barības piedevas ($\bar{x} \pm \text{SE}$, 95%)

Zvaigznīte (-s) norāda uz būtiskām (* $p < 0.05$), (** $p < 0.05$) atšķirībām pētījuma grupām pret kontroles grupu attiecīgajos pētījuma posmos.

Kopējais procentuālais vidējais dzīvmasas pieaugums, salīdzinot ar pētījuma pirmās dienas teļu vidējo dzīvmasu, CoG bija + 31.7%, PreG + 48.7% un SynG + 48.2%.

Vidējais diennakts dzīvmasas pieaugums ($\text{kg d}^{-1} \pm \text{SD}$) pētījuma pirmajā posmā (1. – 28. diena) nebija būtiski atšķirīgs starp grupām, $p > 0.05$, tomēr tika novērots, ka zemākais rezultāts $0.63 \pm 0.17 \text{ kg d}^{-1}$ bija CoG teļiem, bet PreG un SynG teļu vidējais diennakts dzīvmasas pieaugums bija augstāks un savstarpēji starp grupām ļoti līdzīgs, attiecīgi $0.78 \pm 0.15 \text{ kg d}^{-1}$ un $0.77 \pm 0.17 \text{ kg d}^{-1}$. Pētījuma otrajā posmā no 28. – 56. dienai, CoG teļu vidējais dzīvmasas pieaugums bija tikai nedaudz palielinājies, salīdzinot ar pirmo pētījuma posmu, sasniedzot $0.68 \pm 0.17 \text{ kg d}^{-1}$ un Tukeja *post hoc* tests parādīja, ka tas bija būtiski zemāks nekā PreG grupas teļiem $1.56 \pm 0.24 \text{ kg d}^{-1}$, $p = 0.001$ un arī SynG grupas teļiem $1.45 \pm 0.39 \text{ kg d}^{-1}$, $p = 0.003$. Arī visa pētījuma laikā (1. – 56. diena), CoG teļu vidējais diennakts dzīvmasas pieaugums saglabājās zems $0.65 \pm 0.14 \text{ kg d}^{-1}$, un šis rezultāts arī bija būtiski zemāks nekā to grupu teļiem, kas saņēma barības piedevas. Prebiotikas teļiem vidējais diennakts dzīvmasas pieaugums visa pētījuma laikā bija $1.17 \pm 0.11 \text{ kg d}^{-1}$, $p = 0.002$ un sinbiotikas grupas teļiem $1.11 \pm 0.24 \text{ kg d}^{-1}$, $p = 0.004$. Nevienā no pētījuma posmiem netika konstatētas statistiski būtiskas atšķirības iegūtajos rezultātos starp abām teļu grupām, kuras pie barības papildus saņēma barības piedevas, $p > 0.05$ (3.5. tabula).

Vidējais diennakts dzīvmasas pieaugums (kg) dažādos pētījuma posmos teļu grupām, kas saņēma pētījumā iekļautās barības piedevas un kontroles grupai

Pētījuma posms	Vidējais dzīvmasas pieaugums grupā (kg d ⁻¹ ±SD)			P-vērtība, ANOVA
	CoG	PreG	SynG	
1. – 28. pētījuma diena	0.63±0.17 ^a	0.78±0.15 ^a	0.77±0.17 ^a	0.293
28. – 56. pētījuma diena	0.68±0.17 ^a	1.56±0.24 ^b	1.45±0.39 ^{bc}	0.001
1. – 56. pētījuma diena	0.65±0.14 ^a	1.17±0.11 ^b	1.11±0.24 ^{bc}	0.001

^{a-c} Vērtības vienā līnijā bez neviena kopīga burta ir būtiski atšķirīgas.

Pētījumā izmantotajām barības piedevām tika noteiktas izmaksas un ekonomiskie ieguvumi, ja tās tiek pievienotas pie teļu barības.

Dienā PreG grupas vienam teļam 12 g topinambūra koncentrāta izmaksas bija 0.12 EUR, bet SynG grupas vienam teļam šīs pašas devas topinambūra koncentrāta un 5 g rauga *S.cerevisiae* celma 1026 kopējās izmaksas bija 0.15 EUR.

Prebiotikas grupas teļiem, kas pie spēkbarības 56 dienas papildus saņēma topinambūra koncentrātu, dzīvmasa pētījuma beigās vidēji bija 135.2 kg. Savukārt sinbiotikas grupas katram teļiem, kas papildus pie spēkbarības saņēma topinambūra koncentrātu un rauga *S.cerevisiae* celma 1026 sinbiotiku, dzīvmasa pētījuma beigās vidēji bija 130.0 kg, bet kontroles teļiem, kas saņēma tikai standartbarību vidējā dzīvmasa bija 116.2 kg.

Topinambūra koncentrāta izbarošanas izmaksas visa pētījuma laikā katram teļam bija 6.72 EUR, bet, rēķinot uz vienu iegūtās dzīvmasas kg, bija 0.05 EUR. Savukārt topinambūra koncentrāta kombinācijas ar raugu *S.cerevisiae* (celms 1026) izbarošanas izmaksas bija 8.40 EUR, bet, rēķinot uz vienu iegūtās dzīvmasas kg, bija 0.06 EUR (3.6. tabula).

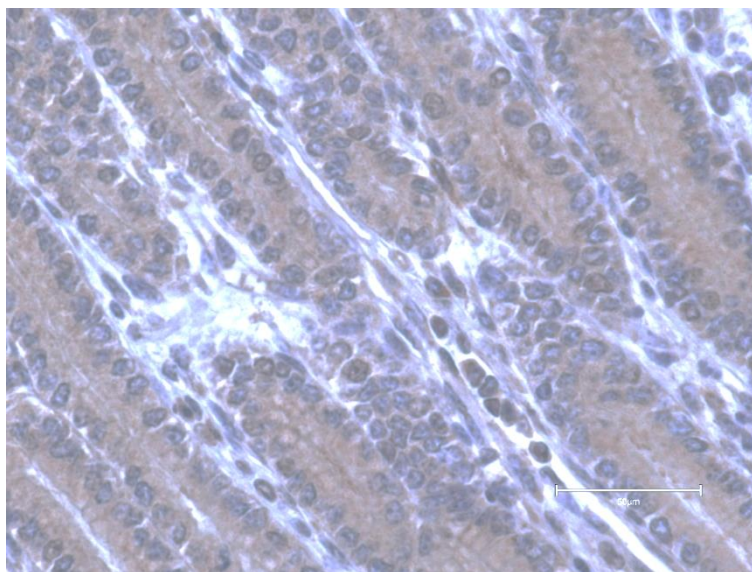
Pētījumā iekļauto barības piedevu ekonomiskā ieguvuma izvērtējums pēc to 56 dienu ilgas izbarošanas teļiem

Analizētais rādītājs	Mērvienība	Analizētā rādītāja rezultāts uz 1 grupas teļu		
		PreG	SynG	CoG
Teļu vidējā dzīvmasa grupā pētījuma noslēgumā	kg	135.2	130.0	116.2
Izbarotais attiecīgās barības piedevas daudzums 56 dienās	g	672	952	—
Barības piedevas izmaksas 56 dienās	EUR	6.72	8.40	—
Barības piedevu izmaksas uz vienu dzīvmasas kg	1 kg EUR ⁻¹	0.05	0.06	—
Ienākums, pārdodot 1 teļu (1.50 EUR/1 dzīvmasas kg)	EUR	202.8	195.0	174.3
Prognozējamais ekonomiskais ieguvums, ņemot vērā izbarotās barības piedevas izmaksas	EUR	196.08	186.60	174.3

Vairumtirgotāju noteiktā vidējā iepirkuma cena par vienu attiecīgā vecuma teļa dzīvmasas kg bija 1.50 EUR⁴. Balstoties uz šo informāciju, var aprēķināt, ka katru prebiotikas grupas teļu var pārdot par 202.80 EUR, bet sinbiotikas grupas teļu par 195.00 EUR, savukārt kontroles grupas teļu tikai par 174.30 EUR. Ekonomiskais ieguvums, pārdodot vienu teļu un ņemot vērā izbarotās attiecīgās barības piedevas izmaksas, bet izvērtējumā neiekļaujot citas ar teļu audzēšanu saistītās izmaksas (teļu barības izmaksas, veterinārārsta un kopēju algas u.c. saimnieciskie izdevumi), PreG grupā bija 196.08 EUR un SynG grupā bija 186.60 EUR, kas attiecīgi bija par 21.78 EUR un 12.30 EUR vairāk nekā par katru kontroles grupas teļu.

3.3. Izbaroto barības piedevu ietekme uz grelīna imūnreaktīvo šūnu skaitu dažādās gremošanas kanāla daļās

Izmeklējot no dažādām gremošanas kanāla daļām iegūtos paraugus, tika novērots, ka grelīna imūnreaktīvās (IR) šūnas visvairāk bija lokalizētas glumenieka fundālo (*abomasum pars fundalis*) un pilorisko dziedzeru zonu (*abomasum pars pylorica*) muskuļslāņa šūnu citoplazmā, bet mazākā daudzumā divpadsmitpirkstu zarnā (*duodenum*) un tukšajā zarnā (*jejunum*). Fundālo dziedzeru zonā, kā arī divpadsmitpirkstu zarnā un tukšajā zarnā, grelīna IR šūnas pamatā bija novērojamas dziedzeršūnu apikālajos galos, bet pilorisko dziedzeru zonā šīs šūnas pamatā bija novērojamas paranukleāri un arī pašos šūnu kodolos. Grelīna IR šūnas paraugos krāsojot ar DAB+ iekrāsojās brūnā krāsā, un pašas šūnas bija apaļas, iegarenas un kvadrātveida formas. Negatīvās kontroles paraugos netika novēroti pozitīvi krāsošanas rezultāti (3.3. attēls).

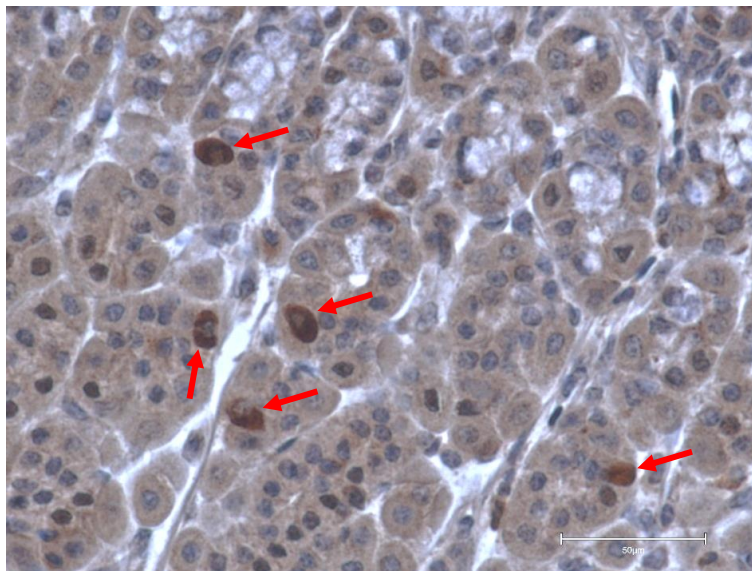


3.3. att. Glumenieka pilorisko dziedzeru zona (*abomasum pars pylorica*) 13 nedēļas vecam kontroles grupas teļam – grelīna IR+ šūnas netiek novērotas (DAB + hematoksilīns, 400x)

Avots: S.Jonovas foto

Izmeklējot visu teļu grupu histoloģiskos paraugus, tika konstatēts, ka grelīna IR šūnu skaits glumenieka fundālo dziedzeru zonā vislielākais bija kontroles grupas teļiem (3.4. attēls), kas bija arī vienlaicīgi būtiski lielāks nekā PreG un SynG grupu teļiem, $p=0.0001$. Savukārt savstarpēji salīdzinot PreG un SynG teļu grupu šīs zonas grelīna IR šūnu skaitu – tas bija bez būtiskām atšķirībām starp grupām, $p=0.700$.

⁴ 2021.gada septembra dati

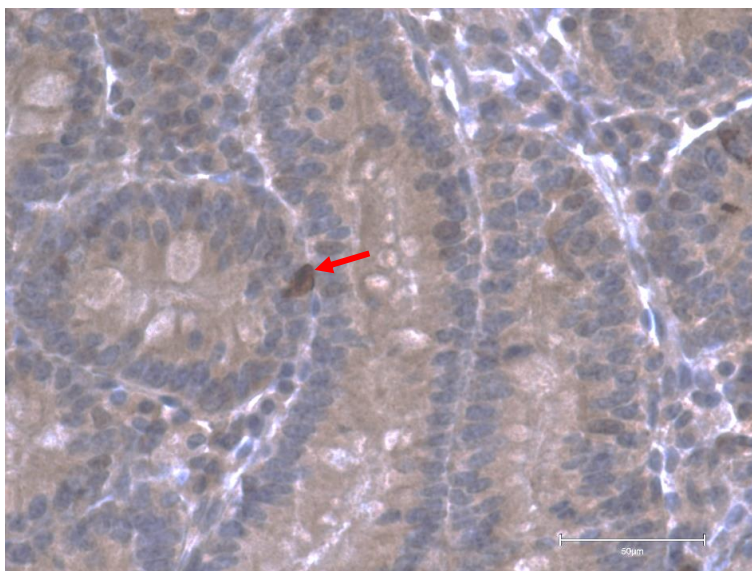


3.4. att. Grelīna IR+ šūnas (bultiņas) 13 nedēļas vecam teļam no kontroles grupas glumenieka fundālo dziedzeru zonā (*abomasum pars fundalis*) (DAB + hematoksilīns, 400x)

Avots: S.Jonovas foto

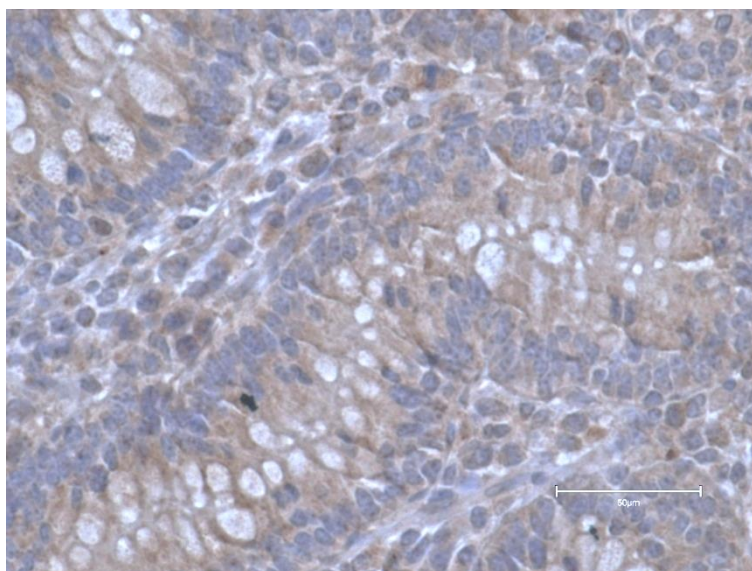
Grelīna IR šūnu skaits glumenieka pilorisko dziedzeru zonā visaugstākais bija CoG teļiem, bet tas nebija būtiski lielāks nekā abām teļu grupām, kurām papildus izbaroja barības piedevas, $p > 0.05$.

Divpadsmitpirkstu zarnas (3.5. attēls) un tukšās zarnas vidusdaļā (3.6. attēls) grelīna IR šūnu skaits bija ļoti līdzīgs starp grupām un būtiski neatšķīrās, $p > 0.05$ (3.7. tabula).



3.5. att. Grelīna IR+ šūna (bultiņa) 13 nedēļu vecam teļam no kontroles grupas divpadsmitpirkstu zarnas (*duodenum*) vidusdaļā (DAB + hematoksilīns, 400x)

Avots: S.Jonovas foto



3.6. att. Tukšās zarnas (*jejenum*) vidusdaļa 13 nedēļu vecam teļam no prebiotikas grupas – grelīna IR+ šūnas netiek novērotas (DAB + hematoksilīns, 400x)

Avots: S.Jonovas foto

3.7. tabula

Grelīna imūnreaktīvo pozitīvo šūnu skaits 1 mm² teļiem glumeniekā un zarnās pēc 56 dienu ilgas topinambūra koncentrāta un tā sinbiotikas ar raugu *S.cerevisiae* izbarošanas

Grelīna IR+ šūnu lokalizācija	Grelīna IR+ šūnu skaits grupā (n=9)						p- vērtība, K-W tests
	CoG		PreG		SynG		
	Me	Q1-Q3	Me	Q1-Q3	Me	Q1-Q3	
Glumenieka fundālo dziedzeru zona (<i>abomasum pars fundalis</i>)	12 ^a	10-14	6 ^b	5-9	5 ^b	4-8	0.0001
Glumenieka pilorisko dziedzeru zona (<i>abomasum pars pylorica</i>)	2	0.75-3	1.5	1-2	1	0-2	0.289
Divpadsmitpirkstu zarnas (<i>duodenum</i>) vidusdaļa	1	0-2	0.5	0-1	1	0-2	0.098
Tukšās zarnas (<i>jejenum</i>) vidusdala	1	0-1	0	0-1	0	0-1	0.222

^{a-b} Vērtības vienā līnijā bez neviena kopīga burta ir būtiski atšķirīgas.

Izvērtējot korelācijas varbūtību starp teļu gremošanas kanālā konstatēto grelīna IR šūnu skaitu un teļu dzīvmasu pētījuma 56. dienā, tika secināts, ka šāda korelācija nepastāv, $r=0.025$, $n=9$, $p=0.948$. Kā arī netika konstatēta korelācija starp grelīna IR šūnu skaitu dažādās gremošanas kanāla daļās un glikozes līmeni asinīs pētījuma 56. dienā, $r=0.080$, $n=9$, $p=0.839$.

3.4. Topinambūra koncentrāta un tā kombinācijas ar raugu izbarošanas ietekme uz iekšējās vides pH dažādās gremošanas kanāla daļās (*post-mortem*)

Pielietojot datu statistiskās analīzes testu vienvirziena ANOVA, konstatēts, ka pH mutes dobumā būtiski atšķīrās starp grupām, $p=0.009$. Ar Tukeja *post hoc* testu noteikts, ka pH mutes dobumā PreG grupas teļiem 8.6 ± 0.35 bija būtiski augstāks nekā CoG grupas teļiem 7.9 ± 0.25 ,

p=0.048, kā arī pH PreG grupas teļiem bija būtiski augstāks nekā SynG grupas teļiem 7.6 ± 0.21 , p=0.008 (3.8. tabula).

3.8. tabula

Barības piedevu izbarošanas ietekme uz skābju-sārmu līdzsvaru (pH) dažādu gremošanas kanāla daļu saturā 13 – 14 nedēļas veciem teļiem (*post-mortem*)

Mērījuma veikšanas vieta	Skābju-sārmu līdzsvars (pH) ($\bar{x} \pm SD$) grupā (n=9)			p-vērtība, ANOVA
	CoG	PreG	SynG	
Mutes dobums	7.9 ± 0.25^{ac}	8.6 ± 0.35^b	7.6 ± 0.21^c	0.009
Spureklis priekštelpas apvidū (<i>atrium ruminis</i>)	7.1 ± 0.12^{ab}	7.5 ± 0.85^b	4.7 ± 0.15^c	0.001
Spureklis ventrālajā maisā (<i>rumen saccus ventralis</i>)	7.1 ± 0.10^{ab}	7.5 ± 0.60^b	4.8 ± 0.30^c	<0.001
Glumenieks pie piloriskā sfinktera (<i>abomasum pars pylorica</i>)	2.7 ± 1.07	3.6 ± 0.35	2.1 ± 0.51	0.092
Glumenieks (<i>abomasum</i>) vidusdaļa	2.1 ± 0.25^{ac}	3.8 ± 0.70^b	2.0 ± 0.35^c	0.007
Tukšās (<i>jejunum</i>) zarnas vidusdaļa	6.3 ± 0.15	7.0 ± 0.70	6.0 ± 0.06	0.070
Lokzarnas (<i>colon</i>) vidusdaļa	6.0 ± 0.12^{ab}	6.5 ± 0.38^b	5.3 ± 0.15^c	0.003

^{a-c} Vērtības vienā līnijā bez neviena kopīga burtā ir būtiski atšķirīgas.

Spurekļa satura pH mērījums spurekļa priekštelpas (*atrium ruminis*) apvidū CoG grupas teļiem bija būtiski augstāks 7.1 ± 0.12 nekā SynG grupas teļiem 4.7 ± 0.15 , p=0.003, kā arī, tas bija būtiski augstāks PreG grupas teļiem 7.5 ± 0.85 nekā SynG grupas teļiem, p=0.001. Spurekļa ventrālajā maisā pH gan CoG grupas teļiem 7.1 ± 0.10 , gan PreG grupas teļiem 7.5 ± 0.60 bija būtiski augstāks nekā SynG grupas teļiem 4.8 ± 0.30 , p<0.001. Glumenieka vidusdaļā pH CoG grupas teļiem 2.1 ± 0.25 bija būtiski zemāks nekā PreG grupas teļiem 3.8 ± 0.70 , p=0.013, bet SynG grupas teļiem 2.0 ± 0.35 tas bija būtiski zemāks nekā PreG grupas teļiem, p=0.009. Lokzarnas (*colon*) vidusdaļā pH gan CoG grupas teļiem 6.0 ± 0.12 , gan PreG grupas teļiem 6.5 ± 0.38 bija būtiski augstāks nekā SynG grupas teļiem 5.3 ± 0.15 (attiecīgi p=0.044 un p=0.002). Citas statistiski būtiskas atšķirības netika novērotas (3.8. tabula).

3.5. Daudzkameru kuņģa masas analīze pēc 56 dienu ilgas barības piedevu izbarošanas teļiem 13 – 14 nedēļu vecumā

Par barības piedevu izbarošanas ietekmi uz teļu kuņģu attīstību tika spriests pēc kuņģa un tā dažādu nodalījumu masu un relatīvo masu attiecības pret teļu dzīvmasu.

Vismagākais kuņģis bija PreG teļiem 4.4 ± 0.4 kg, bet visvieglākais SynG grupas teļiem 3.6 ± 0.22 kg. Arī priekškuņģi (aceknis, spureklis un grāmatnieks) vismagākie bija PreG grupas teļiem 3.7 ± 0.3 , nedaudz vieglāki CoG grupas teļiem 3.2 ± 0.39 kg un visvieglākie SynG grupas teļiem 2.9 ± 0.38 kg. Savukārt glumenieka masa CoG grupas teļiem un PreG grupas teļiem bija attiecīgi 0.6 ± 0.14 kg un 0.6 ± 0.1 kg, bet SynG grupas teļiem – 0.7 ± 0.16 kg. Tomēr netika novērotas būtiskas atšķirības starp priekškuņģu, glumenieka un visu kuņģu masu starp grupām, p>0.05 (3.9. tabula).

Topinambūra koncentrāta un tā sinbiotikas ar raugu 56 dienas ilgas izbarošanas ietekme uz visa kuņģa un tā dažādo nodalījumu masu 13 – 14 nedēļas veciem teļiem

Izmeklētais orgāns	Masa (kg, $\bar{x} \pm SD$) grupā (n=9)			p-vērtība, ANOVA
	CoG	PreG	SynG	
Viss kuņģis	3.9±0.53	4.4±0.4	3.6±0.22	0.525
Priekškuņģi	3.2±0.39	3.7±0.3	2.9±0.38	0.830
Glumenieks	0.6±0.14	0.6±0.1	0.7±0.16	0.423

Procentuālais glumenieka apjoms no kopējā kuņģa apjoma CoG grupas teļiem bija 16.2%, PreG grupas teļiem 14.6% un SynG grupas teļiem 19.8%. Bet priekškuņģu procentuālais apjoms no kopējā kuņģa apjoma CoG grupas teļiem bija 83.8%, PreG grupas teļiem 85.4% un SynG grupas teļiem 80.2%. Šīs atšķirības starp grupām nebija statistiski būtiskas, $p > 0.05$.

Visa kuņģa relatīvās masas attiecība pret teļu dzīvmasu visaugstākā bija CoG grupas teļiem $3.5 \pm 1.17\%$, bet priekškuņģu relatīvā masa visaugstākā bija CoG un PreG grupu teļiem, attiecīgi $2.9 \pm 0.93\%$ un $2.9 \pm 0.19\%$, savukārt glumenieka relatīvā masa vislielākā bija CoG un SynG grupu teļiem, attiecīgi $0.6 \pm 0.25\%$ un $0.6 \pm 0.10\%$. Tomēr netika novērotas būtiskas atšķirības starp priekškuņģu, glumenieka un visu kuņģu relatīvo masu attiecībā pret dzīvmasu starp grupām, $p > 0.05$ (3.10. tabula).

Topinambūra koncentrāta un tā sinbiotikas ar raugu 56 dienas ilgas izbarošanas ietekme uz dažādu kuņģa nodalījumu relatīvo masu (% no dzīvmasas) 13 – 14 nedēļas veciem teļiem

Izmeklētais orgāns	Relatīvā masa (% , $\bar{x} \pm SD$) grupā (n=9)			p-vērtība, ANOVA
	CoG	PreG	SynG	
Viss kuņģis	3.5±1.17	3.4±0.23	3.0±0.37	0.505
Priekškuņģi	2.9±0.93	2.9±0.19	2.4±0.47	0.669
Glumenieks	0.6±0.25	0.5±0.04	0.6±0.10	0.412

3.6. Dažādu gremošanas kanāla daļu histoloģisko paraugu izmeklēšanas rezultāti pēc 56 dienu ilgas barības piedevu izbarošanas teļiem 13 – 14 nedēļu vecumā

Veicot mērījumus spurekļa histoloģiskajos paraugos, tika novērotas statistiski būtiskas atšķirības starp kārpīņu garumu un platumu, spurekļa visa epitēlija biezumu un epitēlija pārragotās kārtas (*stratum corneum*) biezumu spurekļa dorsālajā maisā (*rumen saccus dorsalis*), kā arī starp kārpīņu garumu, spurekļa epitēlija biezumu un *stratum corneum* biezumu spurekļa ventrālajā maisā (*rumen saccus ventralis*).

Pielietojot Bonferroni korekciju, tika novērots, ka *rumen saccus dorsalis* histoloģiskajos paraugos **kārpīņu garums** CoG teļiem bija būtiski lielāks nekā PreG, $p = 0.005$, SynG būtiski lielāks nekā PreG, $p = 0.037$, **kārpīņu platums** šajā apvidū būtiski mazāks tika novērots CoG grupas teļiem salīdzinot ar PreG un SynG grupu teļiem, $p < 0.001$. Savukārt **epitēlija slāņa biezums** CoG grupas teļiem bija būtiski mazāks nekā PreG un SynG, $p < 0.001$ un SynG būtiski

lielāks nekā PreG, $p=0.024$ un **epitēlija pārragotās kārtas** (*stratum corneum*) biezums CoG būtiski mazāks nekā PreG un SynG, $p<0.001$ un SynG būtiski lielāks nekā PreG, $p<0.001$.

Histoloģiskajos paraugos no *rumen saccus ventralis*, tika novērots, ka SynG grupas teļiem **kārpiņu garums** bija būtiski lielāks nekā CoG un PreG attiecīgi $p<0.001$ un $p=0.004$. Tāpat kā *rumen saccus dorsalis*, arī šajā apvidū **epitēlija slāņa biezums** CoG grupas teļiem bija būtiski mazāks nekā PreG un SynG grupu teļiem, $p<0.001$. **Epitēlija pārragotās kārtas** (*stratum corneum*) biezums CoG grupas teļiem bija būtiski mazāks nekā PreG un SynG grupu teļiem, $p<0.001$ (3.11. tabula).

3.11. tabula

Pētījumā iekļauto barības piedevu izbarošanas ietekme uz spurekļa kārpiņu un epitēlija dažādu histoloģisko parametru lielumu 13 – 14 nedēļas veciem teļiem

Parauga iegūšanas vieta	Parametrs (µm)	Vidējās histoloģisko parametru vērtības pētījuma grupā (n=9)						P-vērtība, K-W tests
		CoG		PreG		SynG		
		Me	Q1-Q3	Me	Q1-Q3	Me	Q1-Q3	
Spurekļa dorsālais maiss (rumen saccus dorsalis)	Kārpiņu garums	1016 ^{ac}	765-1692	899 ^b	668-1098	1033 ^c	764-1525	0.004
	Kārpiņu platums	282 ^a	246-341	344 ^{bc}	312-431	371 ^c	310-475	<0.001
	Spurekļa epitēlija biezums	77 ^a	66-86	122 ^b	101-171	153 ^c	123-176	<0.001
	Pārragotās kārtas (stratum corneum) biezums	9 ^a	7-12	17 ^b	14-22	33 ^c	24-38	<0.001
Spurekļa ventrālais maiss (rumen saccus ventralis)	Kārpiņu garums	1113 ^{ab}	850-1578	1359 ^b	831-2036	1647 ^c	1304-2203	<0.001
	Kārpiņu platums	334	275-395	346	270-413	322	287-377	0.861
	Spurekļa epitēlija biezums	97 ^a	72-127	129 ^{bc}	99-177	120 ^c	102-164	<0.001
	Pārragotās kārtas (stratum corneum) biezums	9 ^a	7-12	25 ^{bc}	15-32	29 ^c	24-36	<0.001

^{a-c} Vērtības vienā līnijā bez neviena kopīga burtā ir būtiski atšķirīgas.

Veicot mērījumus histoloģiskajos paraugos no glumenieka, tika novērotas statistiski būtiskas atšķirības starp gļotādas biezumu glumenieka kardiālo, fundālo un pilorisko dziedzeru zonās starp CoG un pētījuma grupām.

Pielietojot Bonferroni korekciju, tika novērtots, ka **glumenieka gļotāda kardiālo dziedzeru zonā** bija būtiski biezāka SynG un PreG grupu teļiem, nekā CoG grupas teļiem, $p<0.001$, kā arī, savstarpēji salīdzinot pētījuma grupas, tika novērots, ka SynG grupas teļiem gļotādas biezums šajā zonā bija būtiski lielāks nekā PreG grupas teļiem, $p<0.001$.

Gļotādas biezums fundālo dziedzeru zonā SynG grupas teļiem bija būtiski lielāks nekā CoG grupas teļiem un PreG grupas teļiem, $p<0.001$.

Glumenieka gļotādas biezums pilorisko dziedzeru zonā PreG grupas teļiem bija būtiski lielāks nekā CoG grupas teļiem un SynG grupas teļiem, $p < 0.001$ (3.12. tabula).

3.12. tabula

**Barības piedevu izbarošanas ietekme uz glumenieka dziedzeru zonu gļotādas biezumu
13 – 14 nedēļas veciem teļiem**

Glumenieka dziedzeru zona	Gļotādas biezums vidēji grupā (µm) (n=9)						p-vērtība, K-W tests
	CoG		PreG		SynG		
	Me	Q1-Q3	Me	Q1-Q3	Me	Q1-Q3	
Kardiālo (<i>pars cardiaca</i>)	510 ^a	472-558	571 ^b	544-591	610 ^c	585-642	<0.001
Fundālo (<i>pars fundalis</i>)	581 ^a	515-657	620 ^{ab}	575-660	673 ^c	632-752	<0.001
Pilorisko (<i>pars pylorica</i>)	834 ^a	787-896	912 ^b	852-1100	854 ^{ac}	792-900	<0.001

^{a-c} Vērtības vienā līnijā bez neviena kopīga burta ir būtiski atšķirīgas.

Zarnu izmeklējumos netika novērotas statistiski būtiskas atšķirības starp grupām tādos parametros kā gļotādas biezumā divpadsmitpirkstu zarnas (*duodenum*) vidusdaļā, tukšās zarnas (*jejunum*) beigu daļā un visas sienas biezumā tukšās zarnas (*jejunum*) beigu daļā. Citi novērtētie parametri statistiski būtiski atšķīrās starp grupām.

Pielietojot Bonferroni korekciju, tika novērots, ka **divpadsmitpirkstu zarnas vidusdaļas** sieniņas biezums CoG grupas teļiem bija būtiski mazāks nekā SynG un PreG grupu teļiem, $p < 0.001$, bet tukšās zarnas vidusdaļas gļotādas biezums CoG grupas teļiem bija būtiski mazāks nekā PreG un SynG grupu teļiem (attiecīgi $p = 0.024$ un $p < 0.001$). Šī apvidus visas zarnas sieniņas biezums CoG grupas teļiem bija būtiski mazāks nekā PreG un SynG grupu teļiem, $p < 0.001$. **Gūžas zarnas vidusdaļas** histoloģiskajos paraugos tika novērots, ka gļotādas biezums CoG grupas teļiem bija būtiski mazāks nekā PreG un SynG grupu teļiem, $p < 0.001$. Arī visas zarnas sieniņas biezums CoG grupas teļiem bija būtiski mazāks nekā PreG grupas teļiem, $p < 0.001$, bet PreG grupas teļiem zarnas sieniņas biezums bija būtiski lielāks nekā SynG grupas teļiem, $p < 0.001$. **Lokzarnas** kriptu dziļums CoG grupas teļiem bija būtiski mazāks nekā SynG grupas teļiem, $p < 0.001$, bet PreG grupas teļiem būtiski mazāks nekā SynG grupas teļiem, $p < 0.001$. Savukārt visas zarnas sieniņas biezums CoG grupas teļiem bija būtiski mazāks nekā SynG grupas teļiem, $p < 0.001$ un PreG grupas teļiem būtiski mazāks nekā SynG grupas teļiem, $p < 0.001$. (3.13. tabula).

Barības piedevu 56 dienu ilgas izbarošanas ietekme uz zarnu atsevišķu histoloģisko parametru attīstību 13 – 14 nedēļas veciem teliem

Parauga iegūšanas vieta	Parametrs (μm)	Vidējās histoloģisko parametru vērtības pētījuma grupā (n=9)						p-vērtība, K-W tests
		CoG		PreG		SynG		
		Me	Q1-Q3	Me	Q1-Q3	Me	Q1-Q3	
Divpadsmitpirkstu zarnas (duodenum) vidus	Ģlotādas biezums (bārkstiņas un kriptas)	917	799-1066	929	819-1093	952	874-1048	0.628
	Visas sieniņas biezums	1595 ^a	1513-1665	1981 ^{bc}	1800-2029	2042 ^c	1922-2125	<0.001
Tukšās zarnas (jejunum) vidus	Ģlotādas biezums (bārkstiņas un kriptas)	1647 ^a	1157-2320	2234 ^{bc}	1740-2455	2346 ^c	1815-2635	<0.001
	Visas sieniņas biezums	2412 ^a	1931-2858	3154 ^{bc}	2967-3550	3197 ^c	2935-3579	<0.001
Tukšās zarnas (jejunum) beigas	Ģlotādas biezums (bārkstiņas un kriptas)	1216	1147-1414	1193	1079-1363	1211	1107-1326	0.641
	Visas sieniņas biezums	1907	1758-4199	2162	1922-2728	2580	2258-3111	0.165
Gūžas zarnas (ileum) vidus	Ģlotādas biezums (bārkstiņas un kriptas)	1632 ^a	1559-1777	2983 ^{bc}	2413-3581	2889 ^c	1743-3259	<0.001
	Visas sieniņas biezums	969 ^{ac}	895-1023	1601 ^b	1403-1855	1073 ^c	953-1217	<0.001
Lokzarnas (colon) vidus	Kriptu dziļums	612 ^{ab}	566-671	659 ^b	618-721	764 ^c	729-799	<0.001
	Visas sieniņas biezums	1371 ^{ab}	1232-1481	1325 ^b	1280-1423	1758 ^c	1665-1935	<0.001

^{a-c} Vērtības vienā līnijā bez neviena kopīga burta ir būtiski atšķirīgas.

Kopumā tika novērots, ka topinambūra koncentrāts, kas satur prebiotiku inulīnu 6 g un sinbiotika (12 g topinambūra koncentrāts (6 g inulīns) un 5 g *S.cerevisiae* rauga celms 1026) ietekmē gan tievās, gan resnās zarnas dažādu daļu visas sieniņas un ģlotādas biezumu. Gandrīz

visās zarnu daļās šie parametri bija būtiski lielāki teļiem, kuriem izbaroja barības piedevas, salīdzinot ar kontroles grupas teļiem, $p < 0.001$, bet, savstarpēji salīdzinot prebiotikas un sinbiotikas teļu zarnu struktūru biezumus, šie rādītāji pamatā bija bez būtiskām atšķirībām.

3.7. Izbaroto barības piedevu ietekme uz kopējiem prokariotiem, metanogēniem un atsevišķām metanogēnu sugām spurekļa šķidrumā un fekālijās

Kopējo prokariotu un metanogēnu analīze **spurekļa šķidrumā** parādīja, ka kopējo prokariotu (t.i., baktērijas un metanogēni) ($\bar{x} \pm SD$) sastopamība būtiski atšķīrās starp grupām, attiecīgi $p = 0.005$ un $p = 0.004$. Tukeja *post hoc* atklāja, ka kopējie prokarioti paraugā bija mazākā daudzumā SynG grupas teļiem 12.3 ± 1.41 nekā PreG teļu spurekļa paraugā 9.68 ± 1.00 , $p = 0.004$, bet kopējie metanogēni spurekļa šķidrumā bija mazākā daudzumā PreG teļiem 32.77 ± 1.47 nekā SynG grupas teļiem 27.8 ± 2.16 , $p = 0.003$. Citas statistiski būtiskas atšķirības izmeklētajos spurekļa šķidruma paraugos netika atrastas.

Izmeklētajos **fekāliju kopparaugos** kopējie prokarioti vislielākā daudzumā tika konstatēti SynG grupas teļiem, bet vismazākā daudzumā kopējie prokarioti konstatēti PreG grupas teļu fekāliju kopparaugā. Savukārt kopējie metanogēni visvairāk konstatēti CoG grupas teļiem, bet vismazāk SynG grupas teļiem. No atsevišķām metanogēnu sugām *Methanospaera stadmanae* (*M. stadmanae*) netika konstatēta SynG teļu grupas fekāliju kopparaugā, *Methanobrevibacter ruminantium* (*M. ruminantium*) visvairāk tika novērota PreG grupas teļiem, bet *Methanobrevibacter smithii* (*M. smithii*) visvairāk novērota CoG grupas teļiem. Tomēr visi fekāliju kopparaugu izmeklējumi starp grupām nebija būtiski atšķirīgi, $p > 0.05$ (3.14. tabula).

3.14. tabula

Prebiotikas un sinbiotikas izbarošanas ietekme uz analizēto praimeru sekvenču daudzumu 13 – 14 nedēļu vecu teļu spurekļa šķidruma un fekāliju paraugos

Praimeru sekvenču	Vidējais PCR ciklu skaits grupā (sekvenču skaits), (n=15)					
	Spurekļa šķidrums, $\bar{x} \pm SD$			Fekālijas (grupas kopparaugs)		
	Grupās			Grupās		
	CoG	PreG	SynG	CoG	PreG	SynG
Kopējie prokarioti (baktērijas un metanogēni)	10.5 ± 0.84^{ab}	9.68 ± 1.00^a	12.3 ± 1.41^b	33.9	34.9	13.3
Kopējie metanogēni	31.5 ± 1.75^{ab}	32.77 ± 1.47^a	27.8 ± 2.16^b	23.5	24.5	26.6
<i>Methanospaera stadmanae</i>	17.5 ± 1.86	11.98 ± 4.09	18.1 ± 0.82	8.8	8.1	–
<i>Methanobrevibacter ruminantium</i>	18.3 ± 5.41	24.96 ± 4.65	22.7 ± 0.71	17.0	13.4	19.4
<i>Methanobrevibacter smithii</i>	13.4 ± 4.35	14.12 ± 7.24	17.8 ± 5.82	10.5	19.4	12.7

^{a-b} Vērtības vienā līnijā bez kopīgiem burtiem ir būtiski atšķirīgas.

3.8. Topinambūra koncentrāta un tā sinbiotikas ar raugu izbarošanas ietekme uz producētā metāna un oglekļa dioksīda daudzumu spureklī

PreG (prebiotikas grupa) teļu grupas spureklī 1. pētījuma dienā tika konstatēts pat zemāks CH₄ daudzums nekā CoG (kontroles grupa) teļiem, attiecīgi Me (mediāna)=773.87, IQR (starpkvartīļu intervāls) 721.82 – 1114.40 mg m⁻³ un Me=811.50, IQR 107.87 – 870.45, 28. pētījuma dienā šīs gāzes daudzums PreG grupas teļu spureklī nebūtiski palielinājās līdz Me=847.25, IQR 812.13 – 879.86 mg m⁻³, bet pētījuma 56. dienā tika novērots CH₄ daudzuma samazinājums spureklī līdz Me=802.09, IQR 708.65 – 1076.77 mg m⁻³, p>0.05.

SynG (sinbiotikas grupa) teļu spureklī esošās CH₄ gāzes daudzums, uzsākot pētījumu, arī bija zemāks nekā CoG teļiem Me=790.18, IQR 442.75 – 1032.87 mg m⁻³. Pētījuma 28. dienā šīs gāzes koncentrācija spureklī bija būtiski samazinājusies līdz Me=659.11, IQR 565.04 – 1015.32 mg m⁻³, p=0.003 un pētījuma beigās tikai nedaudz palielinājās Me=675.41, IQR 653.46 – 700.50 mg m⁻³, p>0.05.

Kontroles grupas teļiem CH₄ koncentrācija spureklī pētījuma 1. dienā bija Me=811.50, IQR 107.87 – 870.45 mg m⁻³, pētījuma 28. dienā šīs gāzes daudzums spureklī bija būtiski palielinājies līdz Me=1052.94, IQR 983.33 – 1111.89 mg m⁻³, p<0.001, bet pētījuma noslēgumā CH₄ daudzums spureklī pat bija zemāks nekā pētījuma 1. dienā Me=792.06, IQR 755.06 – 873.59 mg m⁻³ un šis samazinājums bija būtisks, salīdzinot ar pētījuma 28. dienā iegūtajiem rezultātiem, p<0.001.

Vidējā CH₄ (mg m⁻³) daudzuma analīze teļu spureklī parādīja, ka šīs gāzes koncentrācijas atšķīrās starp grupām 1., 28. un 56. pētījuma dienā, p=0.001. Tā kā dati nebija normāli sadalīti, tad grupu savstarpējā salīdzinājumā tika izmantota Bonferroni korekcija.

Uzsākot pētījumu tika konstatēts, ka CoG teļu spureklī CH₄ koncentrācija bija būtiski augstāka nekā PreG grupas teļiem, attiecīgi Me=811.50, IQR 107.87 – 870.45 mg m⁻³ un Me=773.87, IQR 721.82 – 1114.40 mg m⁻³, p<0.001. Sinbiotikas grupas teļiem šīs gāzes koncentrācija spureklī bija būtiski augstāka nekā PreG grupas teļiem, attiecīgi Me=790.18, IQR 442.75 – 1032.87 mg m⁻³ un Me=773.87, IQR 721.82 – 1114.40 mg m⁻³, p=0.005.

Pētījuma 28. dienā tika novērots, ka CH₄ gāzes koncentrācija spureklī bija būtiski zemāka SynG grupas teļiem Me=659.11, IQR 565.04 – 1015.32 mg m⁻³, salīdzinot ar CoG teļiem un PreG grupas teļiem, attiecīgi Me=1052.94, IQR 983.33 – 1111.89 mg m⁻³ un Me=847.25, IQR 812.13 – 879.86 mg m⁻³, p<0.001.

Pētījuma beigās CH₄ koncentrācija bija būtiski augstāka CoG grupas teļiem Me=792.06, IQR 755.06 – 873.59 mg m⁻³ un PreG grupas teļiem Me=802.09, IQR 708.65 – 1076.77 mg m⁻³ nekā SynG grupas teļiem Me=675.41, IQR 653.46 – 700.50 mg m⁻³, p<0.001.

Netika novērota sakarība starp CH₄ daudzumu spureklī un dzīvnieku dzīvmasu.

PreG teļu grupas spureklī 1. pētījuma dienā tika konstatēts augstāks CO₂ daudzums nekā CoG teļiem Me=3939.60, IQR 3688.75 – 4815.07 mg m⁻³, 28. pētījuma dienā šīs gāzes daudzums spureklī nebūtiski samazinājās līdz Me=3908.24, IQR 3634.82 – 4288.28 mg m⁻³, bet pētījuma 56. dienā tika novērota būtiska CO₂ gāzes daudzuma palielināšanās spureklī līdz Me=4727.27, IQR 4503.39 – 4978.12 mg m⁻³, p<0.001.

SynG teļu spureklī esošās CO₂ gāzes daudzums, uzsākot pētījumu, arī bija zemāks nekā CoG teļiem Me=2701.65, IQR 2419.45 – 3042.81 mg m⁻³. Pētījuma 28. dienā šīs gāzes koncentrācija teļu spureklī bija jau būtiski palielinājusies līdz Me=4263.82, IQR 3553.29 – 4599.96 mg m⁻³, p<0.001, bet pētījuma beigās tika novērots būtisks šīs gāzes daudzuma samazinājums Me=3266.07, IQR 1358.98 – 4584.91 mg m⁻³, p<0.001.

Kontroles grupas teļiem CO₂ koncentrācija spureklī pētījuma 1. dienā bija Me=3258.54, IQR 2864.08 – 3506.88 mg m⁻³, pētījuma 28. dienā šīs gāzes daudzums spureklī bija būtiski palielinājies līdz Me=4618.15, IQR 4378.59 – 4756.74 mg m⁻³, p<0.001, bet pētījuma noslēgumā CO₂ daudzums teļu spureklī samazinājās līdz Me=4251.28, IQR

4045.58 – 4426.25 mg m⁻³ un šis samazinājums bija būtisks salīdzinot ar pētījuma 28. dienā iegūtajiem rezultātiem, p=0.002.

Vidējā CO₂ (mg m⁻³) daudzuma analīze teļu spureklī parādīja, ka šīs gāzes koncentrācijas atšķīrās starp grupām 1., 28. un 56. pētījuma dienā, p=0.001. Grupu savstarpējā salīdzinājumā tika izmantota Bonferroni korekcija.

Pētījuma 1. dienā tika novērots, ka CO₂ koncentrācija spureklī PreG teļiem Me=3939.60, IQR 3688.75 – 4815.07 mg m⁻³ bija būtiski augstāka nekā CoG teļiem Me=3258.54, IQR 2864.08 – 3506.88 mg m⁻³, p<0.001 un arī būtiski augstāka nekā SynG grupas teļiem Me=2701.65, IQR 2419.45 – 3042.81 mg m⁻³, p=0.037. Kontroles grupas teļu CO₂ koncentrācija spureklī bija būtiski augstāka nekā SynG grupas teļiem, p<0.001.

Pētījuma 28. dienā CO₂ koncentrācija teļu spureklī bija būtiski augstāka CoG grupas teļiem Me=4618.15, IQR 4378.59 – 4756.74, salīdzinot ar abām pētījuma grupām, attiecīgi PreG Me=3908.24, IQR 3634.82 – 4288.28 un SynG Me=4263.82, IQR 3553.29 – 4599.96, p<0.001. Sinbiotikas grupas teļiem šīs gāzes koncentrācija bija būtiski augstāka nekā PreG grupas teļiem, p=0.002.

Savukārt CO₂ koncentrācija teļu spureklī pētījuma beigās bija būtiski augstāka PreG grupas teļiem Me=4727.27, IQR 4503.39 – 4978.12 mg m⁻³ nekā CoG grupas teļiem Me=4251.28, IQR 4045.58 – 4426.25 mg m⁻³, p<0.001 un SynG grupas teļiem Me=3266.07, IQR 1358.98 – 4584.91 mg m⁻³, p<0.001. Sinbiotikas grupas teļiem šīs gāzes koncentrācija bija būtiski zemāka nekā CoG grupas teļiem, p=0.003 (3.15. tabula).

Netika novērota sakarība starp CO₂ daudzumu spureklī un dzīvnieku dzīvmasu.

3.15. tabula

Prebiotikas un sinbiotikas izbarošanas ietekme uz metāna (CH₄) un oglekļa dioksīda (CO₂) daudzumu teļu spureklā gāzē

Testētā gāze	Pētījuma diena	Producētais vidējais gāzes daudzums grupā (n=15; mg m ⁻³)						p- vērtība, K-W tests
		CoG		PreG		SynG		
		Me	Q1-Q3	Me	Q1-Q3	Me	Q1-Q3	
CH ₄	1.	811.50 ^a	107.87-870.45	773.87 ^b	721.82-1114.40	790.18 ^{ac}	442.75-1032.87	<0.001
	28.	1052.94 ^a	983.33-1111.89	847.25 ^{ab}	812.13-879.86	659.11 ^c	565.04-1015.32	<0.001
	56.	792.06 ^a	755.06-873.59	802.09 ^{ab}	708.65-1076.77	675.41 ^c	653.46-700.50	<0.001
CO ₂	1.	3258.54 ^a	2864.08-3506.88	3939.60 ^b	3688.75-4815.07	2701.65 ^c	2419.45-3042.81	<0.001
	28.	4618.15 ^a	4378.59-4756.74	3908.24 ^b	3634.82-4288.28	4263.82 ^c	3553.29-4599.96	<0.001
	56.	4251.28 ^a	4045.58-4426.25	4727.27 ^b	4503.39-4978.12	3266.07 ^c	1358.98-4584.91	<0.001

^{a-c} Vērtības vienā līnijā bez neviena kopīga burta ir būtiski atšķirīgas.

Vidējais producētais CH₄ daudzums teļu spureklī uz 1 kg dzīvmasas CoG teļiem 1. pētījuma dienā bija Me=9.63, IQR 1.17 – 9.86 mg m⁻³, bet PreG grupas teļiem Me=12.49, IQR 10.45 – 15.80 mg m⁻³, savukārt SynG grupas teļiem Me=12.95, IQR 3.94 – 16.75 mg m⁻³. 28. pētījuma dienā CH₄ uz 1 kg dzīvmasas CoG teļiem pieauga līdz Me=10.33, IQR 9.55 – 10.90 mg m⁻³, bet PreG un SynG grupas teļiem samazinājās – attiecīgi Me=9.14, IQR 8.71 – 10.09 mg m⁻³ un Me=7.58, IQR 5.95 – 10.88 mg m⁻³. Pētījuma beigās, 56. dienā, CH₄ daudzums uz 1 kg dzīvmasas CoG teļiem sasniedza zemāko līmeni visa pētījuma laikā Me=7.10, IQR 6.35 – 9.19 mg m⁻³. Līdzīga tendence tika novērota PreG grupas un SynG grupas

teļiem – attiecīgi Me=5.49, IQR 4.97 – 9.15 mg m⁻³ un Me=5.46, IQR 4.60 – 5.95 mg m⁻³. Kruskala–Valisa tests parādīja, ka vidējais CH₄ daudzums spureklī uz 1 kg dzīvmasas visās trīs teļu grupās bija bez būtiskām atšķirībām, p>0.05 (3.16. tabula).

3.16. tabula

Barības piedevu izbarošanas ietekme uz vidējo metāna (CH₄) daudzumu teļu spureklī rēķinot uz 1 kg dzīvmasas

Testētā gāze	Pētījuma diena	Producētais vidējais CH ₄ daudzums uz 1 kg dzīvmasas grupā (n=15; mg m ⁻³)						P-vērtība, K-W tests
		CoG		PreG		SynG		
		Me	Q1-Q3	Me	Q1-Q3	Me	Q1-Q3	
CH ₄	1.	9.63	1.17-9.86	12.49	10.45-15.80	12.95	3.94-16.75	0.395
	28.	10.33	9.55-10.90	9.14	8.71-10.09	7.58	5.95-10.88	0.264
	56.	7.10	6.35-9.19	5.49	4.97-9.15	5.46	4.60-5.95	0.137

Vidējais producētais CO₂ daudzums teļu spureklī, rēķinot uz 1 kg dzīvmasas, CoG teļiem 1. pētījuma dienā bija Me=38.36, IQR 36.32 – 39.26 mg m⁻³, PreG grupas teļiem Me=51.88, IQR 49.58 – 77.46 mg m⁻³ un SynG grupas teļiem Me=44.28, IQR 29.47 – 46.0 mg m⁻³. Nākošajā paraugu ņemšanas reizē, CO₂ daudzums uz 1 kg dzīvmasas CoG un SynG grupas teļiem bija paaugstinājies, attiecīgi līdz Me=46.42, IQR 42.58 – 48.61 mg m⁻³ un Me=53.96, IQR 37.59 – 54.71 mg m⁻³, bet PreG grupas teļiem samazinājās līdz Me=43.57, IQR 35.66 – 51.30 mg m⁻³. 56. pētījuma dienā CoG teļiem CO₂ gāzes daudzums gandrīz sasniedza tādu pašu līmeni kā 1. pētījuma dienā – Me=36.72, IQR 34.63 – 37.07 mg m⁻³, bet PreG grupas un SynG teļiem CO₂ daudzums uz 1 kg dzīvmasas samazinājās līdz zemākajam līmenim visās mērījumu veikšanas reizēs un sasniedza attiecīgi Me=33.09, IQR 30.54 – 43.54 mg m⁻³ un Me=38.47, IQR 9.61 – 62.95 mg m⁻³. Kruskala–Valisa tests parādīja, ka vidējais CO₂ daudzums spureklī uz 1 kg dzīvmasas būtiski atšķīrās tikai 1. pētījuma dienā, p=0.025. Grupu salīdzinājums ar Bonferroni korekciju atklāja, ka PreG grupas teļiem Me=51.88, IQR 49.58 – 77.46 mg m⁻³ tas bija būtiski augstāks nekā CoG grupas teļiem Me=38.36, IQR 36.32 – 39.26 mg m⁻³, p=0.040. Nekādas citas statistiski būtiskas atšķirības netika konstatētas (3.17. tabula).

3.17. tabula

Barības piedevu izbarošanas ietekme uz vidējo oglekļa dioksīda (CO₂) daudzumu teļu spureklī rēķinot uz 1 kg dzīvmasas

Testētā gāze	Pētījuma diena	Producētais vidējais CO ₂ daudzums uz 1 kg dzīvmasas grupā (n=15; mg m ⁻³)						p-vērtība, K-W tests
		CoG		PreG		SynG		
		Me	Q1-Q3	Me	Q1-Q3	Me	Q1-Q3	
CO ₂	1.	38.36 ^a	36.32-39.26	51.88 ^b	49.58-77.46	44.28 ^{ab}	29.47-46.0	0.025
	28.	46.42	42.58-48.61	43.57	35.66-51.30	53.96	37.59-54.71	0.691
	56.	36.72	34.63-37.07	33.09	30.54-43.54	38.47	9.61-62.95	0.970

^{a-b} Vērtības vienā līnijā bez neviena kopīga burta ir būtiski atšķirīgas.

4. DISKUSIJA

4.1. Topinambūra koncentrāta un tā sinbiotikas ar raugu *S.cerevisiae* izbarošanas ietekme uz hematoloģiskajiem un bioķīmiskajiem asins rādītājiem

Asins analīzes spēj sniegt būtisku informāciju par atsevišķu teļu un visa ganāmpulka veselību. Tomēr jāatceras, ka teļi, īpaši jaundzimuši, un arī teļi pārejas periodā no piena izbarošanas uz tilpumainās barības izbarošanu, nav pilnībā pielīdzināmi pieaugušām govīm, jo vēl netiek uzskatīti par pilnvērtīgiem atgremotājiem. Atšķirības ir novērojamas arī asins analīzēs, kuras ietekmē ne tikai teļa vecums, bet arī daudzi citi faktori kā, piemēram, uzņemtās barības veids un dažādas barības piedevas (Dillane et al., 2018; Mohri et al., 2007). Īpaši liela nozīme barības veidam un barošanas režīmam ir sasniedzot aptuveni 5 nedēļu vecumu, kad teļi sāk vairāk uzņemt tilpumaino barību (sienu, starterbarību) (Reece, 1980).

Promocijas darba pētījumā tika novērots, ka noteiktie hematoloģiskie rādītāji (leikocītu skaits, eritrocītu skaits, hematokrīts, hemoglobīna līmenis eritrocītos un trombocītu skaits) visās asins paraugu ņemšanas reizēs PreG (prebiotikas grupa) un SynG (sinbiotikas grupa) un CoG (kontroles grupa) grupu teļiem bija bez būtiskām atšķirībām starp grupām, $p > 0.05$.

Eritrocītu skaits līdz ar teļu vecuma palielināšanos vienmērīgi paaugstinājās, arī hematokrīts un hemoglobīna koncentrācija eritrocītos bija ar tendenci paaugstināties līdz ar teļu vecuma palielināšanos gan teļu grupās, kuras papildus saņēma barības piedevas, gan arī kontroles grupā. Līdzīgi novērojumi konstatēti pētījumā ar 65 Holšteinas melnraibās šķirnes teļiem no dzimšanas līdz 24 nedēļu vecumam (Ježek et al., 2011). Teļiem pēc 5. dzīves nedēļas eritrocītu daudzums palielinājās. Līdzīga dinamika bija novērojama saistībā ar hemoglobīna koncentrāciju asinīs un hematokrītu. Rādītāji palielinājās līdz 2. teļu dzīves nedēļai, tad tie samazinājās līdz 6. dzīves nedēļai, bet vēlāk līdz ar vecumu palielinājās. Zemāku eritrocītu daudzumu, kā arī zemāku hemoglobīna daudzumu un hematokrītu varētu izskaidrot ar to, ka pēc piedzimšanas samazinās eritrocītu produkcija, kā arī teļu organismā cirkulējošo intrauterīni producēto eritrocītu dzīves ilgums ir īsāks (Harvey, 1997). Savukārt pēc 5. – 6. dzīves nedēļas eritrocītu, hemoglobīna un hematokrīta rādītāji palielinās, kas varētu būt saistīts ar to, ka teļi vairāk uzņem tilpumaino barību (starterbarību, sienu), kas satur vairāk dzelzi nekā piens (Reece, 1980).

Kā jau tika minēts, ne tikai teļu vecums, bet arī barības piedevas var ietekmēt asins analīžu rezultātus. Promocijas pētījumā netika novērots, ka topinambūra koncentrāts (sastāvā 48.5 – 50.1% inulīns) un tā kombinācija ar raugu *Saccharomyces cerevisiae* (celms 1026) būtiski ietekmētu eritrocītu skaitu, hemoglobīna līmeni eritrocītos un hematokrīta līmeni. Līdzīgi novērojumi bija pētījumā ar teļiem no to dzimšanas līdz 6 mēnešu vecumam, kuriem pie barības papildus izbaroja 10 g *S.cerevisiae* (Yea-Sacc 1026) uz teļu dienā. Rauga izbarošana būtiski neietekmēja eritrocītu skaitu un hemoglobīna līmeni eritrocītos (Mikolaychik et al., 2020). Arī citā pētījumā ar Holšteinas šķirnes teļiem no to 1. – 56. dzīves dienai, kuriem izbaroja prebiotiku inulīnu devā 3 g un 6 g uz teļu dienā, novēroja, ka šī barības piedeva neietekmēja eritrocītu daudzumu pētījuma grupām, salīdzinot ar kontroles grupas teļiem, kā arī līdzīgi novērojumi bija saistībā ar hematokrīta līmeni. Pētījumā iegūtie rezultāti par hemoglobīna līmeni nesakrīta ar mūsu iegūtajiem rezultātiem. Zinātnieks novērojis, ka pētījuma 56. dienā hemoglobīna līmenis eritrocītos būtiski augstāks bija teļu grupai, kurai papildus izbaroja inulīnu devā 3 g uz teļu dienā, $p \leq 0.05$ nekā citās grupās (Król, 2011).

Literatūrā minēts, ka leikocītu skaits teļiem ir augstāks nekā pieaugušiem dzīvniekiem un ir vairāk mainīgs nekā citi hematoloģiskie rādītāji (Kraft, 1999). Promocijas darba pētījumā novērots, ka leikocītu skaits visās teļu grupās un arī visa pētījuma laikā bija ļoti līdzīgs un būtiski neatšķīrās, kā arī būtiski nemainījās atkarībā no teļu vecuma. Līdzīgi rezultāti par leikocītu skaitu iegūti jau iepriekš pieminētajā Mikolaychik un viņa kolēģu (2020) pētījumā ar teļiem no to dzimšanas līdz 6 mēnešu vecumam, kuriem pie barības papildus izbaroja 10 g *S.cerevisiae* (Yea-Sacc 1026) uz teļu dienā. Šī barības piedeva neietekmēja leikocītu skaitu

asinīs. Savukārt Król (2011) pētījumā ar Holšteinas šķirnes teļiem no to 1. – 56. dzīves dienai, kuriem izbaroja prebiotiku inulīnu devā 3 g un 6 g uz teļu dienā novēroja, ka pētījuma 56. dienā būtiski augstāks leukocītu skaits bija teļiem, kuriem papildus izbaroja 6 g inulīnu uz teļu dienā, salīdzinot ar citām grupām, $p < 0.05$. Tomēr šajā pētījumā netika noteikts, vai tieši izbarotajām barības piedevām bija ietekme uz leukocītu skaitu, vai tomēr to skaitu ietekmēja kādi citi faktori, piemēram, teļu vispārējais veselības stāvoklis vai stress.

Promocijas pētījumā konstatēts, ka trombocītu skaits visās teļu grupās pētījuma 1., 28. un 56. dienā bija bez būtiskām atšķirībām, $p > 0.05$. Citu autoru pētījumos novērots, ka trombocītu skaits palielinās teļu pirmajos 3 dzīves mēnešos (Mohri et al., 2007; Brun-Hansen et al., 2006), tomēr promocijas darba pētījumā šāda tendence netika novērota. Lai arī visu grupu teļiem trombocītu skaits palielinājās un 8 – 9 nedēļu veciem teļiem tas bija augstāks nekā 4 – 5 nedēļu veciem teļiem, tomēr 12 – 14 nedēļu veciem teļiem trombocītu skaits, lai arī ne būtiski, bet bija samazinājies un bija pat zemāks nekā 4 – 5 nedēļu vecumā. Tātad promocijas darba pētījumā augstākais trombocītu skaits visās grupās tika novērots 8 – 9 nedēļas veciem teļiem, bet visaugstākais teļu grupai, kas pie spēkbarības papildus saņēma 12 g topinambūra koncentrātu, kas satur 6 g prebiotiku inulīnu un 5 g rauga *S.cerevisiae* 1026 celmu. Pētījumā ar Holšteinas šķirnes teļiem no to 1. – 56. dzīves dienas, kuriem tika izbarots inulīns devā 3 g un 6 g uz teļu dienā, viszemākais trombocītu skaits tika novērots 2 – 4 dienu vecumā un 56 dienu vecumā (8 nedēļu vecumā) tiem teļiem, kas saņēma inulīnu devā 3 g uz teļu dienā, bet visaugstākais trombocītu skaits 2 – 4 dienu vecumā un 56 dienu vecumā tika novērots teļiem, kas saņēma inulīnu devā 6 g uz teļu dienā. Tomēr atšķirības starp grupām nebija būtiskas (Król, 2011).

Nozīmīgi asins seruma bioķīmiskie parametri, kas var sniegt būtisku informāciju par dzīvnieka vispārējo veselības stāvokli ir kopējais proteīns (TP), albumīns un globulīni. Promocijas darba pētījumā novērots, ka TP līmenis asins serumā līdz ar teļu vecuma pieaugumu visās grupās palielinājās, bet viszemākais TP līmenis asins serumā pētījuma 56. dienā bija SynG grupas teļiem $59.4 \pm 2.63 \text{ g L}^{-1}$, kas bija arī būtiski zemāks nekā PreG grupas teļiem $65.4 \pm 3.34 \text{ g L}^{-1}$, $p = 0.017$. Kontroles grupas teļiem kopējā proteīna līmenis asins serumā bija $62.3 \pm 2.63 \text{ g L}^{-1}$ un tas būtiski neatšķīrās no SynG un PreG grupu teļu proteīna līmeņa asins serumā. Līdzīgi rezultāti par raugu novēroti 12 nedēļu garā pētījumā ar 75 dienas veciem bifela teļiem, kuriem izbaroja *S.cerevisiae* 30 g un 60 g uz teļu dienā. TP līmenis asins serumā šiem teļiem pētījuma beigās bija nebūtiski, bet tomēr zemāks nekā kontroles grupas teļiem (Abdalla et al., 2013). Pavisam pretēji rezultāti novēroti pētījumā, kurā aitām izbaroja raugu *S.cerevisiae*. Aitām, kurām izbaroja raugu, TP līmenis asins serumā bija augstāks nekā kontroles grupas aitām (El-Ashry et al., 2003). Līdzīgi novērojumi konstatēti arī Hossain un viņa kolēģu (2012) pētījumā ar teļiem, kuriem papildus pie barības izbaroja *S.cerevisiae* devās 5 g un 10 g. Arī šajā pētījumā teļiem, kuriem izbaroja raugu, TP līmenis asins serumā bija augstāks nekā kontroles grupas teļiem un rauga grupas teļiem, kuriem izbaroja 10 g *S.cerevisiae* dienā, pat būtiski augstāks nekā kontroles grupas teļiem, $p < 0.05$. Arī Hassan un kolēģu (2016) pētījumā, kurā Holšteinas melnraibās šķirnes krustojuma teļiem no dzimšanas līdz 90 dienu vecumam papildus izbaroja 2.5 g un 5 g raugu *S.cerevisiae* uz teļu dienā (*Yea-sacc 1026*), novēroja būtiski augstāku TP līmeni asins serumā nekā kontroles grupas teļiem, $p = 0.004$. Kā pamatojumu šiem rezultātiem zinātnieki min iespējams labāku proteīna uzsūkšanu no gremošanas kanāla.

Promocijas pētījumā teļu grupai, kurai pie barības papildus pievienoja topinambūra koncentrātu, kura sastāvā ir 48.5–50.1% prebiotika inulīns, TP līmenis asins serumā, kā jau tika pieminēts iepriekš, bija nebūtiski, bet tomēr augstāks nekā kontroles grupas teļiem. Šie rezultāti ir pretēji Tóth un viņa kolēģu (2020) pētījumā novērotajam. Šie pētnieki teļiem izbaroja prebiotiku inulīnu devā 18.7 g uz teļu dienā un novēroja, ka 60. pētījuma dienā inulīna grupas teļiem TP līmenis asins serumā bija būtiski zemāks nekā kontroles grupas teļiem, $p < 0.05$. TP samazināšanos varētu radīt pastiprināta fermentācija tievajā zarnā un tai sekojoša mikrobiālo procesu darbības rezultātā radusies palielinātā slāpekļa daudzuma ieplūšana resnajā zarnā (Verdonk et al., 1998).

Runājot par albumīnu, tad tā līmenis asins serumā promocijas darba pētījuma visās grupās bija līdzīgs un būtiski neatšķīrās ne starp grupām, ne arī palielinoties teļu vecumam, $p>0.05$. Arī jau iepriekš pieminētajā Hossain un viņa kolēģu (2012) pētījumā ar teļiem, kuriem papildus pie barības izbaroja *S.cerevisiae* devās 5 g un 10 g, netika novērota būtiska albumīna līmeņa atšķirība starp teļu grupām, kurām papildus izbaroja raugu un kontroles grupu. Līdzīgus rezultātus ieguvuši Tóth un viņa kolēģi (2020) pētījumā ar teļiem, kuriem izbaroja prebiotiku inulīnu devā 18.7 g uz teļu dienā. Pētnieki novēroja, ka inulīns neietekmēja albumīna līmeni asins serumā.

Promocijas darba pētījumā novērots, ka globulīnu līmenis asins serumā PreG un SynG grupu teļiem līdz ar teļu vecumu palielinājās, bet CoG teļu grupai globulīnu līmenis pētījuma vidū samazinājās, tomēr pētījuma beigās, tāpat kā citām grupām, arī palielinājās. Pētījuma 56. dienā visaugstākais globulīnu līmenis asins serumā tika konstatēts PreG grupas teļiem $29.4\pm 4.45 \text{ g L}^{-1}$, nedaudz zemāks CoG grupas teļiem – $28.7\pm 1.70 \text{ g L}^{-1}$, bet viszemākais SynG grupas teļiem – $23.9\pm 2.66 \text{ g L}^{-1}$, un PreG grupas teļiem globulīnu līmenī asins serumā bija būtiski augstāks nekā SynG grupas teļiem, $p=0.042$. Līdzīgi rezultāti iegūti 12 nedēļu garā pētījumā ar 75 dienas veciem bifeļa teļiem, kuriem izbaroja *S.cerevisiae* 30 g un 60 g uz teļu dienā. Šiem teļiem globulīnu līmenis asins serumā pētījuma beigās bija nebūtiski, bet tomēr zemāks nekā kontroles grupas teļiem (Abdalla et al., 2013). Savukārt pretēji rezultāti iegūti Hossain un viņa kolēģi (2012) pētījumā ar teļiem, kuriem papildus pie barības izbaroja *S.cerevisiae* devās 5 g un 10 g. Teļiem, kuriem izbaroja raugu, globulīnu līmenis asins serumā bija augstāks nekā kontroles grupas teļiem. Arī pētījumā ar 24 Holšteinas melnraibās šķirnes krustojuma teļiem no dzimšanas līdz 90 dienu vecumam, kuriem papildus izbaroja 2.5 g un 5 g rauga *S.cerevisiae* uz teļu dienā (*Yea-sacc 1026*), novēroja būtiski augstāku globulīnu līmeni asins serumā, $p=0.004$ (Hassan et al., 2016).

Kopumā izvērtējot promocijas pētījumā iegūtos rezultātus par kopējo proteīna, albumīna un globulīnu līmeni asins serumā, nevar viennozīmīgi apgalvot, ka topinambūra koncentrāta ar tā sastāvā esošo prebiotiku inulīnu un rauga *S.cerevisiae* celms 1026 izbarošana būtiski ietekmētu šo rādītāju līmeni asins serumā.

Promocijas pētījuma ietvaros tika novērots, ka glikozes līmenis asinīs 4 – 14 nedēļu veciem teļiem bija mainīgs, bet būtiski neatšķīrās atkarībā no teļu vecuma, bet tika novērotas glikozes līmeņa atšķirības asinīs atkarībā no izbarotās barības piedevas. Glikozes līmenis asinīs pētījuma 1. un 28. dienā visaugstākais bija SynG grupas teļiem, bet šī atšķirība starp visām grupām nebija būtiska, $p>0.05$. Savukārt pētījuma 56. dienā CoG teļiem vidējais glikozes līmenis asinīs bija būtiski zemāks $5.3\pm 0.38 \text{ mmol L}^{-1}$ nekā teļu grupai, kas papildus pie barības saņēma topinambūra koncentrātu un nekā teļu grupai, kura pie barības papildus saņēma šo koncentrātu kombinācijā ar rauga *S.cerevisiae* celmu 1026 (attiecīgi $6.6\pm 0.48 \text{ mmol L}^{-1}$, $p=0.001$ un $6.5\pm 0.40 \text{ mmol L}^{-1}$, $p=0.002$). Augstāku glikozes līmeni asinīs teļiem, kuriem papildus pie barības pievienoja *S.cerevisiae*, varētu izskaidrot ar to, ka raugs uzlabo barības vielu sagremošanu un palielina propriionskābes produkciju spureklī, kas tiek tālāk izmantota glikozes producēšanai glikoneoģenēzes procesā aknās (Hassan et al., 2016). Iegūtie rezultāti ir līdzīgi Hossain un viņa kolēģu (2012) izpētītajam, kas arī novēroja, ka *S.cerevisiae* piedevas (5 g un 10 g) būtiski palielina ($p<0.05$) glikozes līmeni augošu teļu asins serumā. Līdzīgi novērojumi ir arī par šī rauga ietekmi uz glikozes līmeni asinīs slaucamajām govīm (Szucs et al. 2013). Arī pētījumā ar 24 Holšteinas melnraibās šķirnes krustojuma teļiem no dzimšanas līdz 90 dienu vecumam, kuriem papildus pie barības izbaroja 2.5 g un 5 g rauga *S.cerevisiae* celmu 1026 uz teļu dienā, novēroja asinīs būtiski augstāku glikozes līmeni, $p<0.001$, salīdzinot ar kontroles grupas teļiem (Hassan et al., 2016). Savukārt Dobicki ar kolēģiem (2005) pētījumā ar teļiem no dzimšanas līdz 120. dzīves dienai, kuriem pie piena un spēkbarības pievienoja 1 – 4% *S.cerevisiae*, novēroja būtiski zemāku ($p\leq 0.05$) glikozes koncentrāciju asinīs nekā kontroles grupas teļiem.

Pētījumi par prebiotikas inulīna ietekmi uz glikozes līmeni asinīs ir pretrunīgi. Vairākos pētījumos, kuros izmantota prebiotika inulīns, kas ir arī mūsu pētījumā izmantotā topinambūra

koncentrāta sastāvā, novērots, ka inulīna izbarošana neietekmēja glikozes līmeni asinīs. Piemēram, pētījumā ar teļiem no dzimšanas līdz 63. dzīves dienai, kas pie barības saņēma 18.7 g inulīnu uz teļu dienā, nenovēroja asins glikozes līmeņa būtiskas atšķirības, salīdzinot ar kontroles grupas teļiem (Tóth et al., 2020). Pretēji rezultāti iegūti pētījumā ar Holšteinas šķirnes teļiem, kuriem no dzimšanas līdz dzīves 56. dienai papildus izbaroja inulīnu devā 3 g un 6 g uz teļu dienā. Šiem teļiem pētījuma beigās bija augstāks glikozes līmenis asinīs nekā kontroles grupai, bet šī atšķirība nebija būtiska, $p > 0.05$ (Król, 2011). To varētu izskaidrot ar augstāku uzņemtās enerģijas daudzumu un labāku tās uzsūkšanu un izmantošanu audos. Teļiem augstāks glikozes līmenis asinīs ir cieši saistīts ar labāku dzīvmasas pieaugumu (Król, 2011), kas tika arī novērtots promocijas darba pētījumā.

Runājot par urīnvielu (UREA) un kreatinīnu (CREA), šo asins seruma bioķīmisko rādītāju līmenis var izmainīties pie nieru darbības traucējumiem (Hammond, 1998). Vairākos pētījumos novērots, ka UREA daudzums asins serumā mainās atkarībā no teļa vecuma, kā arī to var ietekmēt barība (Knowles et al., 2000; Abdalla et al., 2013). Uzsākot promocijas pētījumu, teļu vidējais vecums bija 32 ± 4 dienas un noslēgumā 88 ± 4 dienas, un tika novērots, ka CoG un SynG grupu teļiem vidējais UREA līmenis asins serumā bija ar tendenci palielināties un pētījuma beigās bija attiecīgi 4.5 ± 0.91 mmol L⁻¹ un 3.4 ± 0.47 mmol L⁻¹. Savukārt PreG grupas teļiem UREA līmenis asins serumā pētījuma beigās bija pat zemāks nekā uzsākot pētījumu (attiecīgi 3.2 ± 0.61 mmol L⁻¹ un 3.8 ± 0.54 mmol L⁻¹). Knowles ar kolēģiem (2000) 83 dienu garā pētījumā ar 14 teļiem novēroja UREA koncentrācijas strauju samazināšanos pēc teļu piedzimšanas līdz to 10. dzīves dienai, bet pēc 40. dzīves dienas UREA līmenis asinīs pakāpeniski palielinājās un pētījuma beigās jau sasniedza pieaugušu govju UREA normu zemāko robežu. Promocijas darba pētījuma teļiem, kuriem pie barības papildus izbaroja barības piedevas, UREA līmenis asins serumā pētījuma beigās bija zemāks nekā CoG teļiem un tas nesasniedza pieaugušu govju normu zemāko robežu, kas ir 3.57 mmol L⁻¹ (Radostits et al., 2006). Līdzīgi rezultāti iegūti 12 nedēļu garā pētījumā ar 75 dienas veciem bifeļa teļiem, kuriem izbaroja *S.cerevisiae* 30 g un 60 g uz teļu dienā. Urīnvielas līmenis asins serumā šiem teļiem pētījuma laikā bija nebūtiski, bet tomēr zemāks nekā kontroles grupas teļiem (Abdalla et al., 2013). Arī citā pētījumā ar Holšteinas šķirnes teļiem no 1. – 56. dzīves dienai, kuriem pie piena aizvietotāja pievienoja prebiotiku inulīnu 3 g un 6 g dienā uz teļu, novēroja, ka UREA līmenis asins serumā kontroles grupai bija būtiski augstāks nekā teļiem, kuriem izbaroja 3 g un 6 g inulīnu, attiecīgi $p < 0.01$ un $p < 0.05$ (Król, 2011). Noskaidrots, ka UREA koncentrācija asinīs samazinās, ja palielinās ar barību uzņemtās enerģijas daudzums. Tas varētu būt saistīts ar to, ka spureklī tiek efektīvāk izmantots UREA sastāvā esošais slāpekļis (Hammond, 1998), kā arī spureklī palielinās proteīna sintēze, ko sintezē tur esošie mikroorganismi (Blowey et al., 1973). Savukārt citā pētījumā ar teļiem no dzimšanas līdz 63. dzīves dienai, tika novērots, ka teļu grupai, kura pie barības saņēma 18.7 g inulīnu uz teļu dienā, asins seruma UREA līmenis nesamazinājās, bet bija līdzīgs kā teļiem no kontroles grupas (Tóth et al., 2020).

Promocijas pētījumā novērots, ka CREA līmenis asins serumā visa pētījuma laikā bija mainīgs un tikai SynG teļu grupai novērots, ka CREA līmenis pakāpeniski paaugstinājās līdz ar teļu vecuma palielināšanos. Pētījuma 56. dienā CoG teļu CREA līmenis asins serumā 79.8 ± 4.24 mmol L⁻¹ bija būtiski augstāks nekā PreG un SynG grupu teļiem (attiecīgi 68.9 ± 2.85 mmol L⁻¹, $p = 0.001$ un 70.1 ± 3.58 mmol L⁻¹, $p = 0.003$). Arī savstarpēji salīdzinot PreG un SynG teļu vidējo CREA līmeni asins serumā, tika konstatēts, ka tas būtiski atšķiras starp grupām, $p = 0.001$. Līdzīgi rezultāti iegūti 12 nedēļu garā pētījumā ar 75 dienas veciem bifeļa teļiem, kuriem izbaroja *S.cerevisiae* 30 g un 60 g uz teļu dienā. Kreatinīna līmenis asins serumā šiem teļiem pētījuma laikā arī bija mainīgs, tomēr atšķirības starp pētījuma grupām un kontroles grupu nebija būtiskas (Abdalla et al., 2013). Kā zināms, CREA ir kreatīna un kreatīna fosfāta sadalīšanās produkts muskuļos (Yu, 2019) un šī rādītāja koncentrācija asins serumā palielinās tikai pie nopietniem nieru bojājumiem (Kraft, Durr, 1999a). Tātad var secināt, ka promocijas pētījumā pie barības pievienotais topinambūra koncentrāts un tā kombinācija ar rauga *S.cerevisiae* celmu 1026 neietekmēja vielmaiņas procesus muskuļos.

Lai varētu spriest par iespējamām aknu darbības problēmām, tika novērtēts GGT (gamma-glutamyltransferāze) un ASAT (asparāta aminotransferāze). Abi šie asins seruma bioķīmiskie rādītāji būtiski neatšķīrās starp visām teļu grupām, $p > 0.05$. Arī El-Ashry ar kolēģiem (2001) un El-Shaer (2003) pētījumos ar raugu, kas pievienots pie bifeļu teļu un aitu barības, nenovēroja būtisku ietekmi uz ASAT līmeni asins serumā. Citā pētījumā ar Holšteinas šķirnes teļiem, kuriem izbaroja prebiotiku inulīnu 3 g un 6 g dienā uz teļu no to 1. – 56. dzīves dienai, pētnieks arī novēroja, ka ASAT līmenis asinīs būtiski neatšķīrās inulīna grupu teļiem un kontroles grupas teļiem (Król, 2011).

Promocijas darba pētījuma ietvaros noteiktais GGT līmenis asins serumā gan teļu grupām, kurām papildus pie barības izbaroja barības piedevas, gan arī kontroles grupai, līdz ar vecumu samazinājās, un 13 – 14 nedēļu veciem teļiem šis rādītājs jau iekļāvās pieaugušu govju normu robežās. Savukārt ASAT līmenis asins serumā joprojām bija zemāks nekā tas ir pieaugušām govīm, lai gan vairākos pētījumos novērots, ka ASAT pieaugušu govju līmeni sasniedz jau aptuveni 8. – 10. dzīves nedēļā (Mohri et al., 2007). Tātad, ne topinambūra koncentrāts, ne arī tā kombinācija ar rauga *S.cerevisiae* celmu 1026 neietekmē ASAT un GGT līmeni teļu asins serumā.

4.2. Barības piedevu ietekme uz teļu dzīvmasas izmaiņām

Prebiotikas var pozitīvi ietekmēt atgremotāju produktivitāti, uzlabojot teļu diennakts dzīvmasas pieaugumu gan piena izbarošanas periodā, gan tilpumainās barības izbarošanas periodā, kā arī uzlabot barības izmantojamību tilpumainās barības izbarošanas periodā (Heinrichs et al., 2009). Šī promocijas darba pētījuma rezultāti parādīja, ka topinambūra koncentrāts ar tā sastāvā esošo prebiotiku inulīnu (48.5–50.1% no kopējā sastāva), kas tika pievienots teļu barībā pie spēkbarības vienreiz dienā, veicina straujāku teļu dzīvmasas pieaugumu.

Promocijas darba pētījumā novērots, ka teļu grupām, kurām pie barības papildus tika izbarots 12 g topinambūra koncentrāts ar tā sastāvā esošo prebiotiku inulīnu (6 g) un 12 g topinambūra koncentrāts (inulīna saturs 6 g) kombinācijā ar 5 g raugu *Saccharomyces cerevisiae* (celms 1026), dzīvmasas pieaugums bija lielāks nekā kontroles grupas teļiem. Teļiem no PreG grupas vidējais dzīvmasas pieaugums visā pētījuma laikā bija 65.8 ± 6.57 kg, kas bija arī būtiski augstāks nekā CoG grupas teļiem – 36.8 ± 7.98 kg, $p = 0.002$. Kā arī SynG grupas teļiem dzīvmasas pieaugums 62.6 ± 13.75 kg bija būtiski augstāks nekā CoG grupas teļiem, $p = 0.004$. Procentuāli PreG grupai teļu dzīvmasa pētījuma beigās palielinājās par 48.7% un SynG grupai par 48.2%, bet CoG par 31.7%. Tātad PreG grupas teļiem dzīvmasas pieaugums bija par 17% labāks nekā CoG grupas teļiem, bet SynG tas bija par 16.5% labāks nekā CoG teļiem. Šie iegūtie rezultāti ir līdzīgi citu pētnieku publicētajiem datiem, kuri savos pētījumos izmantoja prebiotiku inulīnu un arī novēroja būtiski labāku teļu dzīvmasas pieaugumu (Verdonk, Van Leeuwen, 2004; Webb et al., 1992). Citā līdzīgā pētījumā, kurā tika izmantots tas pats topinambūra koncentrāts ar inulīna saturu 48.5 – 50.1%, kā šī promocijas darba pētījumā, devās 6 g, 12 g un 24 g, arī tika novērots labāks dzīvmasas pieaugums prebiotiku grupām, īpaši tai teļu grupai, kurai dienā izbaroja 24 g topinambūra koncentrāta, kas saturēja 12 g prebiotiku inulīnu (Ilgaza et al., 2016). Ļoti labus rezultātus savā 56 dienu garajā pētījumā ar 36 Holšteinas šķirnes piena teļiem novēroja Król (2011). Viņš teļiem izbaroja inulīnu devās 3 un 6 g dienā un konstatēja, ka tiem teļiem, kuri saņēma 6 g inulīnu, dzīvmasa pētījuma beigās bija būtiski augstāka nekā tiem teļiem, kas saņēma 3 g inulīnu vai bija no kontroles grupas, $p < 0.01$.

Noskaidrots, ka prebiotikas pozitīvi ietekmē gremošanas kanāla mikrobiomu, veicinot labvēlīgās zarnu mikrofloras augšanu un vairošanos un kavējot patogēno mikroorganismu proliferāciju un adhēziju pie zarnu gļotādas, kas arī varētu būt kā iespējama izskaidrojums labākiem teļu augšanas rādītājiem (Król, 2011). Tomēr jāņem vērā, ka pieaugušiem

atgremotājiem spureklī notiek intensīvi fermentatīvie procesi un inulīns var tikt pilnībā fermentēts un var nesasniegt tālākās gremošanas kanāla daļas (Van Leeuwen, Verdonk, 2004). Spureklī prebiotikas tiek pamatā fermentētas ar dažādu baktēriju palīdzību, kas tās izmanto kā enerģijas avotu (Samanta et al., 2013; Öztürk, 2008). Tātad pieaugušu atgremotāju spureklī prebiotikas var tikt pilnībā fermentētas un to iedarbības efekts var izpalikt. Bet teļiem, kuriem pamatā izbaro pienu vai piena aizvietotāju, spureklis tik labi vēl nav attīstījies, un noteiktu laiku teļus var uzskatīt par monogastriskiem dzīvniekiem (Van Leeuwen, Verdonk, 2004). Atgremošanas procesi teļiem pilnīgi sākas aptuveni 6 – 8 nedēļu vecumā un spureklis sastāda aptuveni 70% no visiem kuņģa nodalījumiem. Bet par pilnvērtīgiem atgremotājiem teļus var uzskatīt no 12 nedēļu vecuma, kad teļu spureklis ir attīstījies tādā līmenī, ka spēj sagremot tilpumaino barību tikpat labi, kā to spēj pieaugušie atgremotāji (Govil et al., 2017). Tātad, balstoties uz šo informāciju, var secināt, ka prebiotiku, ieskaitot inulīnu, ietekme teļiem vislabāk izpaužas pirms tie kļuvuši par pilnvērtīgiem atgremotājiem. Promocijas darba pētījumā iekļautie teļi bija pārejas vecumā no nosacīti monogastriskiem dzīvniekiem uz pilnvērtīgiem atgremotājiem (teļu vidējais vecums uzsākot pētījumu bija 4 – 5 nedēļas un to noslēdzot 13 – 14 nedēļas), tādēļ var pieņemt, ka topinambūra sastāvā esošā prebiotika inulīns netika pilnībā fermentēta spureklī, bet nokļuva arī tālākās gremošanas kanāla daļās.

Promocijas darba pētījuma ietvaros vienai teļu grupai tika izbarota arī sinbiotika (sastāvā 12 g topinambūra koncentrāts, kas satur 6 g prebiotiku inulīnu kombinācijā ar 5 g *S.cerevisiae* rauga celmu 1026) un šī piedeva būtiski uzlaboja teļu dzīvmasas pieaugumu 56 dienu garajā pētījumā. Teļiem, kuriem izbaroja sinbiotiku, dzīvmasas pieaugums pētījuma beigās bija 62.6 ± 13.75 kg, kas, salīdzinot ar CoG grupas teļu dzīvmasas pieaugumu 36.8 ± 7.98 kg, bija būtiski lielāks, $p=0.004$. Arī daudzos pētījumos novērots, ka ne tikai prebiotikas, vai probiotikas, bet arī abu šo piedevu kombinācijas – sinbiotikas, var uzlabot dzīvnieku augšanas rādītājus. Piemēram, Lesmeister ar līdzautoriem (2004) novēroja, ka tiem teļiem, kuriem 42 dienu garā pētījumā izbaroja 2% *S.cerevisiae* dzīvmasas pieaugums bija par 15.6% labāks nekā kontroles grupas teļiem. Bet Roodposhti un Dabiri (2012) novēroja, ka teļu vidējais diennakts dzīvmasas pieaugums būtiski palielinājās, kad 8 nedēļas pie teļu barības pievienoja 1 g probiotiku, kas saturēja 7 baktēriju celmus un 2 raugu celmus ar 2×10^9 KVV g^{-1} un 4 g prebiotiku, kas saturēja polisaharīdus no *S.cerevisiae* šūnu sienas. Arī citi autori savos pētījumos pierādījuši, ka probiotikas var veiksmīgi izmantot kā augšanas veicinātājus. Francia ar līdzautoriem (2008) novēroja, ka 12 nedēļu ilga *S.cerevisiae* rauga kultūras produktu pievienošana pie 10 dienas vecu teļu barības devā 26 g sausrē, uzlabo vidējo diennakts dzīvmasas pieaugumu, salīdzinot ar kontroles grupu. Kā arī Nehru ar kolēģiem (2017) pētījumā ar 2 nedēļas veciem Holšteinas šķirnes krustojuma teļiem, kuriem 16 nedēļas tika izbarota probiotika *S.cerevisiae* celms 1026 devā 2 g (1×10^{10} KVV), novēroja būtisku uzlabojumu diennakts dzīvmasas pieaugumā (560.27 ± 8.56 g), salīdzinot ar kontroles grupas teļiem (512.28 ± 6.52 g). Līdzīgi rezultāti tika sasniegti arī citā pētījumā, kurā raugs *S.cerevisiae* devā 2.5 g un 5 g tika pievienots pie 24 jaundzimušu Holšteinas šķirnes teļu barības 90 dienas (Hassan et al., 2016). Citā pētījumā, kurā pētnieki 7 – 10 dienu veciem bifeļu teļiem 120 dienas izbaroja topinambūra miltus devās 8 g, 16 g un 24 g dienā, tikai ar daudz zemāku inulīna saturu (15 – 20%), arī novēroja labāku dzīvmasas pieaugumu visām eksperimenta teļu grupām, salīdzinot ar kontroles grupas teļiem (Khare et al., 2018). Tomēr ir arī pētījumi, kuru rezultāti bija pretēji iepriekš minētajiem. Tóth ar līdzautoriem (2020) savā 60 dienu garajā pētījumā ar Holšteinas šķirnes teļiem, kuriem izbaroja MOS devā 18.7 g uz teļu dienā un inulīnu devā 18.7 g uz teļu dienā, nenovēroja nekādu pozitīvu ietekmi uz teļu dzīvmasas un diennakts dzīvmasas pieaugumu, salīdzinot ar kontroles grupu.

Promocijas darba ietvaros vēlējāmie noskaidrot, vai 5 g rauga *S.cerevisiae* celma 1026 pievienošana pie 12 g topinambūra koncentrāta (inulīna saturs 6 g) uzlabo teļu dzīvmasas pieaugumu, salīdzinot ar teļu grupu, kurai papildus pie barības pievienoja tikai 12 g topinambūra koncentrātu. Tika novērots, ka kopējais dzīvmasas pieaugums un diennakts dzīvmasas pieaugums, lai arī ne būtiski, bet bija lielāks tiem teļiem, kuriem izbaroja tikai

topinambūra koncentrātu, kas satur prebiotiku inulīnu (attiecīgi kopējais dzīvmasas pieaugums pētījuma laikā bija 65.8 ± 6.57 kg un diennakts dzīvmasas pieaugums 1.17 ± 0.11 kg), bet kombinācijā ar *S.cerevisiae* rauga celmu 1026, teļu augšanas rādītāji nebija tik augsti: 62.6 ± 13.75 kg un 1.11 ± 0.24 kg, bet joprojām būtiski labāki nekā kontroles grupas teļiem: 36.8 ± 7.98 kg, 0.65 ± 0.14 kg, $p=0.004$. To varētu izskaidrot ar rauga spēju fermentēt ogļhidrātu inulīnu. Lim ar kolēģiem (2011) atklāja, ka *S.cerevisiae* celms KCCM50549 spēj efektīvi fermentēt inulīnu saturošos ogļhidrātus topinambūrā. Arī cits *S.cerevisiae* celms (NCYC625) spēj fermentēt inulīnu, tikai mazākā daudzumā. Izanalizējot pētījumā iegūtos rezultātus, var pieņemt, ka tieši inulīna daļējā fermentācija bija par iemeslu nedaudz sliktākiem teļu augšanas rādītājiem SynG grupas teļiem, salīdzinot ar PreG grupas teļiem.

Ekonomiskais ieguvums, pārdodot vienu teļu un ņemot vērā izbarotās attiecīgās barības piedevas izmaksas, bet izvērtējumā neiekļaujot citas ar teļu audzēšanu saistītās izmaksas (teļu barības izmaksas, veterinārārsta un kopēju algas u.c. saimnieciskie izdevumi), PreG grupā bija 196.08 EUR un SynG grupā bija 186.60 EUR, kas attiecīgi bija par 21.78 EUR un 12.30 EUR vairāk nekā par katru kontroles grupas teļu.

4.3. Grelīna imūnreaktīvo šūnu skaits 13 – 14 nedēļu vecu teļu gremošanas kanālā atkarībā no izbarotajām barības piedevām

Grelīns ir hormons, kuram ir būtiska nozīme dažādu fizioloģisko procesu regulēšanā. Tas ietekmē organisma augšanu un attīstību, jo veicina augšanas hormona izdalīšanos no hipofīzes (Masuda et al., 2000; Date et al., 2000a), kā arī grelinam ir būtiska nozīme izsalkuma un sāta sajūtas regulēšanā (Coll et al., 2007; Stanley et al., 2005).

Atgremotājiem grelinas galvenokārt tiek ražots glumenieka gļotādas endokrīnajās šūnās (Hayashida et al., 2001). Kuņģī grelinas saturošās šūnas lielākā daudzumā ir atrodamas fundālo dziedzeru zonā, mazākā daudzumā – pilorisko dziedzeru zonā. Grelīnu producējošās šūnas ir atrodamas arī zarnās, bet tajās to daudzums nav tik liels kā glumeniekā un pakāpeniski samazinās virzienā no divpadsmitpirkstu zarnas uz lokzarnu (Date et al. 2000a). Arī promocijas pētījumā tika konstatēts, ka glumenieka fundālo dziedzeru zonā grelinas imūnreaktīvo (IR) šūnu skaits gan kontroles grupas teļiem, gan arī teļiem, kas papildus pie barības saņēma barības piedevas, bija lielāks nekā pilorisko dziedzeru zonā un šo šūnu daudzums izteikti mazāks bija divpadsmitpirkstu un tukšās zarnas vidusdaļā.

Pētījumā ar 16 divus mēnešu vecām aitām ar vienādu izbarotās barības veidu, bet dažādiem barošanas režīmiem (1. grupa – *ad libitum*, 2. grupa – *ad libitum* un intravenoza grelinas injekcija ($1 \mu\text{g kg}^{-1}$), 3. grupa – baro vienu reizi dienā, 4. grupa – baro divas reizes dienā), kurš ilga vienu mēnesi, tika novērots, ka grelinas IR šūnu skaits glumenieka kardiālā, fundālo un pilorisko dziedzeru zonās būtiski neatšķīrās starp aitu grupām ar dažādo barošanas režīmu (Özfiliz et al., 2011). Promocijas pētījumā visām teļu grupām pamatbarība un barošanas režīms bija vienāds, tikai atšķīrās pievienotās barības piedevas. Tātad var izteikt pieņēmumu, ka tieši barības piedevas ietekmēja grelinas IR šūnu skaitu. Grelīna IR šūnas glumeniekā, divpadsmitpirkstu zarnā un tukšajā zarnā lielākā daudzumā bija kontroles grupas teļiem un mazākā daudzumā teļu grupām, kurām pie barības papildus izbaroja topinambūra koncentrātu vai šo koncentrātu kombinācijā ar rauga *S.cerevisiae* celmu 1026. Piemēram, kontroles grupas teļiem grelinas IR šūnu skaits glumenieka fundālo dziedzeru zonā bija $Me=12$, IQR 10 – 14, PreG $Me=6$, IQR 4 – 9, bet SynG $Me=5$, IQR 5 – 8. Lielāks grelinas IR šūnu skaits gremošanas kanālā varētu norādīt uz lielāka daudzuma grelinas sekrēciju. Zinot to, ka grelinas tiek producēts reaģējot uz izsalkumu un badu un samazinās pēc ēšanas, kad dzīvniekam rodas sāta sajūta (Nakazato et al., 2001; Wren et al., 2000), var pieņemt, ka kontroles grupas teļi izjuta lielāku izsalkumu nekā teļi, kuri saņēma barības piedevas. Daudzos pētījumos ir novērots, ka dažādas barības piedevas dzīvniekiem uzlabo barības vielu sagremojamību, tātad tā pati barības deva dzīvniekiem ilgāk saglabā sāta sajūtu un uzlabojas uzņemto barības līdzekļu izmantojamība.

Piemēram, Sullivan un Martin (1999) ziņojuši, ka rauga *S.cerevisiae* pievienošana pie govju barības uzlaboja celulozes sagremojamību, bet Samanta ar kolēģiem (2012) konstatējuši, ka prebiotikas FOS pievienošana pie barības būtiski uzlabo organisko vielu un sausnes sagremojamību spureklī.

Ir pieejams ļoti ierobežots daudzums informācijas par greļina IR šūnu skaita izmaiņām saistībā ar barības uzņemšanu. Tomēr pētījumā ar žurkām konstatēts, ka pēc 7 dienu badošanās greļina IR šūnu skaits kuņģī būtiski palielinājās, bet pēc barības uzņemšanas aktīvo šūnu daudzums samazinājās līdz normālam līmenim (Sönmez, Ozan, 2007). Tātad pēc barības uzņemšanas paaugstinātais glikozes līmenis asinīs nomāc greļina sekrēciju (Date et al., 2002b). Tomēr promocijas darba pētījumā netika konstatēta korelācija starp greļina IR šūnu skaitu dažādās gremošanas kanāla daļās un glikozes līmeni asinīs, $r=0.080$ $n=9$ $p=0.839$.

Par lielāku izsalkumu un sliktāku barības sagremojamību vai arī mazāku uzņemtās barības apjomu ilgākā laika posmā varētu liecināt arī mazāka teļu dzīvmasa. Lai arī kontroles grupu teļu dzīvmasa 115.3 ± 21.73 kg bija mazāka nekā teļiem, kuriem papildus izbaroja barības piedevas (PreG 130.0 ± 17.32 kg un SynG 119.0 ± 7.93 kg), tomēr netika konstatēta korelācija starp greļina IR šūnu skaitu dažādās gremošanas kanāla daļās un teļu dzīvmasu pētījuma 56. dienā, $r=0.025$, $p=0.948$.

4.4. Iekšējās vides pH izmaiņas teļiem dažādās gremošanas kanāla daļās atkarībā no izbarotajām barības piedevām (post-mortem)

Priekškuņģos notiek intensīvi mikrobiālie procesi, kuru rezultātā tiek fermentēti dažādi barības līdzekļi un tiek saražotas daudz dažādas organiskās skābes. Dažas no tām var uzkrāties un samazināt spurekļa satura pH, ja spurekļa buferespējas nespēj neitralizēt to ietekmi. Zems spurekļa iekšējās vides pH ilgstošu periodu var negatīvi ietekmēt barības uzņemšanu, spureklī esošo mikroorganismu augšanu un aktivitāti un barības vielu noārdīšanu, un var novest pie acidozes, iekaisuma, laminīta, diarejas. Tāpēc spurekļa iekšējās vides pH regulācija ir vissvarīgākais faktors optimālu spurekļa funkciju uzturēšanai (Chaucheyras-Durand et al., 2012).

Promocijas darba pētījumā teļiem 10 minūšu laikā pēc nokaušanas tika noteikts iekšējās vides (satura) pH dažādās gremošanas kanāla daļās un tika noskaidrots, ka pētījumā izmantotais topinambūra koncentrāts ar sastāvā esošo prebiotiku inulīnu un topinambūra koncentrāts kombinācijā ar raugu *S.cerevisiae* ietekmēja pH dažādās gremošanas kanāla daļās.

Iekšējās vides pH mērījums spurekļa priekštelpas (*atrium ruminis*) apvidū PreG grupas teļiem bija 7.5 ± 0.85 pH vienības, bet CoG grupas teļiem – 7.1 ± 0.12 pH vienības. Spurekļa ventrālajā maisā pH PreG grupas teļiem bija 7.5 ± 0.60 pH vienības, bet CoG grupas teļiem – 7.1 ± 0.10 pH vienības. Abi šie rezultāti starp grupām bija ļoti līdzīgi un PreG grupas teļiem pH spureklī bija augstāks, tomēr šī atšķirība nebija statistiski būtiska, $p>0.05$. Ir publicēti līdzīgi pētījumi, kuros novērots, ka prebiotika inulīns ietekmē spurekļa satura pH, to paaugstinot. Piemēram, Król ar līdzautoriem (2011) veica 56 dienu garu pētījumu ar 108 Holšteinas šķirnes teļiem, kuriem ar piena aizvietotāju izbaroja inulīnu devās 3 g un 6 g uz teļu, un tika konstatēts, ka zemāks spurekļa satura pH bija kontroles grupai, $p<0.05$, bet inulīna grupu teļiem tas bija augstāks, īpaši tai teļu grupai, kura saņēma inulīnu devā 6 g uz teļu dienā. Šie paši autori pētīja arī MOS ietekmi uz spurekļa satura pH. Viņi izbaroja prebiotiku MOS devā 4 g d⁻¹ uz katru teļu un novēroja būtisku spurekļa satura pH paaugstināšanos, salīdzinot ar kontroles grupas teļiem. Arī izbarojot šo prebiotiku devās 3 g un 6 g, tika panākti līdzīgi rezultāti. Savukārt pretēji rezultāti iegūti *in vitro* pētījumā, kurā tika izmantots inulīns, kas iegūts no topinambūra pulvera. Tika novērots, ka šī prebiotika būtiski neietekmēja spurekļa satura pH (Öztürk, 2008). Arī citā *in vitro* pētījumā iegūti līdzīgi rezultāti un secināts, ka prebiotika inulīns būtiski neietekmē spurekļa satura pH (Umucalilar et al., 2010).

Ja topinambūra koncentrāts ar tā sastāvā esošo prebiotiku inulīnu spurekļa iekšējās vides pH uzturēja augstā līmenī, tad pētījuma rezultāti par sinbiotiku bija pilnīgi pretēji. Iekšējās vides pH mērījums spureklī *atrium ruminis* apvidū CoG grupas teļiem bija tuvu neitrālam 7.1 ± 0.12 pH vienības un būtiski augstāks nekā SynG grupas teļiem, kuriem spurekļa satura reakcija šajā apvidū bija izteikti skāba 4.7 ± 0.15 pH vienības, $p=0.003$. Līdzīga situācija tika novērota spurekļa ventrālajā maisā – SynG grupas teļiem pH 4.8 ± 0.30 pH vienības, kas bija būtiski zemāks nekā CoG grupas teļiem pH 7.1 ± 0.10 pH vienības, $p<0.001$. Arī PreG grupas teļu spurekļa pH rezultāti bija būtiski augstāki nekā SynG grupas teļiem, $p \leq 0.001$. Pētījumā SynG grupas teļu spurekļa satura pH iegūtie rezultāti bija ļoti pārsteidzoši. Tie bija izteikti zemi, jo, iespējams, pirms dzīvnieku kaušanas tie tika pārāk ilgi badināti un spureklī pieauga gaistošo taukskābju daudzums, vai arī teļiem ilgstoši tika liegta pieeja ūdenim un bija samazināts producēto siekalu daudzums. Siekalām piemīt buferspējas un tās spēj samazināt spureklī esošo skābes līmeni. SynG grupas teļiem pH mutes dobumā 7.6 ± 0.21 bija būtiski zemāks nekā PreG grupas teļiem pH 8.6 ± 0.35 , $p=0.008$.

Par spurekļa satura pH samazināšanos, izbarojot raugu *S.cerevisiae*, ziņo arī citi pētnieki. Sešdesmit dienu garā pētījumā ar 36 Holšteinas šķirnes govīm, kurām izbaroja raugu *S.cerevisiae* (celms 47) devās 2 g, 4 g, 6 g, 8 g un 10 g d^{-1} uz dzīvnieku, autori secināja, ka visiem eksperimenta grupu dzīvniekiem spurekļa satura pH bija būtiski ($p<0.01$) zemāks nekā kontroles grupas dzīvniekiem (piemēram, grupai, kurai izbaroja 6 g raugu pH bija 6.11 ± 0.01 , bet kontroles grupai 6.3 ± 0.10 pH vienības), bet savstarpējās eksperimenta grupu pH atšķirības nebija būtiskas, $p>0.05$ (Doležal et al., 2005).

Lai arī iepriekš minētajā pētījumā autori ieguvuši pārliecinošus rezultātus, ka raugs samazina spurekļa satura pH, tomēr vairākos pētījumos ir novērots, ka raugs *S.cerevisiae* paaugstina spurekļa iekšējās vides pH. Pētījumā ar Holšteinas šķirnes govīm, kurām 3 nedēļas izbaroja 3 g dzīvo raugu (BIOSAF Sc 47) autori novēroja, ka tām govīm, kurām izbaroja raugu spurekļa satura pH bija būtiski augstāks, nekā kontroles grupas govīm, $p<0.001$, attiecīgi rauga grupai pH bija 5.9 – 6.7 (vidēji 6.26), bet kontroles grupas govīm pH variēja robežās no 5.90 līdz 6.60 (vidējais pH bija 6.16). (Křížová et al., 2011). Citā pētījumā ar 20 teļiem, kuriem 3 mēnešus izbaroja 5 g *S.cerevisiae* rauga celmu 1026 autori novēroja, ka probiotikas grupas teļiem spurekļa satura pH bija būtiski augstāks 6.53 ± 0.06 nekā kontroles grupas teļiem 6.1 ± 0.15 pH vienības, $p<0.05$ (Eladawi et al., 2020).

Chaucheyras ar kolēģiem (1996) *in vitro* pētījumā novēroja, ka *S.cerevisiae* spēja nomākt *Streptococcus bovis* baktērijas, kas savai augšanai izmanto cukurus, jo rauga šūnām bija augstāka piesaistīšanās spēja pie cukuriem. Tādējādi samazinājās brīvi pieejamo fermentējamo substrātu daudzums, kas nepieciešams baktēriju augšanai un līdz ar to samazinājās producētā laktāta daudzums un stabilizējās spurekļa iekšējās vides pH. Pie līdzīgiem secinājumiem nonākuši arī citi autori (Bach et al., 2007). Jau pieminētais pētnieks Chaucheyras ar kolēģiem (1996) novēroja, ka *S.cerevisiae* stimulē arī celulolītisko baktēriju populācijas palielināšanos, kas arī palīdz uzturēt augstāku spurekļa pH.

Promocijas darba pētījumā novērots, ka lokzarnas vidusdaļā pH gan PreG grupas teļiem 6.5 ± 0.38 , gan CoG grupas teļiem 6.0 ± 0.12 bija būtiski augstāks nekā SynG grupas teļiem 5.3 ± 0.15 (attiecīgi $p=0.044$ un $p=0.002$). Pētījumā novērots arī, ka gan tukšās zarnas vidusdaļā, gan lokzarnas vidusdaļā prebiotikas grupas teļiem pH bija nedaudz augstāks nekā kontroles grupas teļiem, bet atšķirība nebija būtiska, $p>0.05$. Citu autoru pētījumus par prebiotiku, probiotiku un sinbiotiku ietekmi uz atgremotāju zarnu satura pH mums atrast neizdevās. Tomēr šādi pētījumi veikti citām dzīvnieku sugām. Tzortzis ar līdzautoriem (2005) ziņoja, ka prebiotika inulīns devā $40g\ kg^{-1}$, kas pievienots pie cūku barības 33 – 35 dienu garā eksperimentā, būtiski palielināja *Bifidobacterium* daudzumu, palielināja acetetiķskābes līmeni un samazināja zarnu satura pH, salīdzinot ar kontroles grupu. Šie rezultāti sakrīt ar Juśkiewicz un viņa kolēģu (2006) ziņoto. Pētnieki novēroja zarnu satura pH samazināšanos tītariem, kuriem 8 nedēļas izbaroja 2% FOS. Savukārt Uyeno ar kolēģiem (2015) apgalvo, ka probiotikas

liellopiem samazina patogēnu vairošanos zarnās, samazina satura pH un uzlabo zarnu gļotādas imunitāti.

4.5. Topinambūra koncentrāta un tā sinbiotikas ar raugu izbarošanas ietekme uz gremošanas kanāla atsevišķu daļu attīstību teļiem 13 – 14 nedēļu vecumā

Pārejas periods no piena izbarošanas uz tilpumainās barības izbarošanu teļu dzīvē ir saistīts ar dažādām fizioloģiskām un morfoloģiskām izmaiņām gremošanas kanālā. Tajā notiek straujas mikrobiālas un strukturālas pārmaiņas (Meale et al., 2017). Dažādas barības piedevas var ietekmēt gan atgremotāju kuņģa, gan zarnu dažādu struktūru attīstību.

Promocijas pētījuma ietvaros tika novērots, ka ne topinambūra koncentrāts ar tā sastāvā esošo prebiotiku inulīnu, ne arī topinambūra koncentrāts kombinācijā ar raugu *S.cerevisiae* (celms 1026), būtiski neietekmēja kopējo kuņģa masu, priekškuņģu un glumenieka masu, $p>0.05$. Vislielākā visa kuņģa masa bija PreG teļiem 4.4 ± 0.4 kg, bet vismazākā – SynG grupas teļiem 3.6 ± 0.22 kg. Arī priekškuņģu masa (aceknis, spureklis un grāmatnieks) vislielākā bija PreG grupas teļiem 3.7 ± 0.3 kg, nedaudz mazāka CoG grupas teļiem 3.2 ± 0.39 kg un vismazākā SynG grupas teļiem 2.9 ± 0.38 kg. Savukārt glumenieka masa CoG grupas teļiem un PreG grupas teļiem bija attiecīgi 0.6 ± 0.14 kg un 0.6 ± 0.1 kg, bet SynG grupas teļiem – 0.7 ± 0.16 kg. Pētījumā tika novērots, ka arī visa kuņģa, priekškuņģu un glumenieka relatīvā masa attiecībā pret teļu ķermeņa masu būtiski neatšķīrās starp grupām, $p>0.05$. Pie līdzīgiem secinājumiem nonācis arī Xiao ar kolēģiem (2016), kas savā pētījumā ar teļiem, kuri 52 dienas saņēma *S.cerevisiae* fermentācijas produktus devās 0.5% un 1% no sausnes, novēroja, ka šī piedeva būtiski neietekmēja spurekļa, acekņa, grāmatnieka un glumenieka masu.

Promocijas darba pētījumā aprēķinātais procentuālais glumenieka apjoms no kopējā kuņģa apjoma PreG grupas teļiem bija 14.6%, SynG grupas teļiem 19.8% un CoG grupas teļiem 16.2%. Bet priekškuņģu procentuālais apjoms no kopējā kuņģa apjoma PreG grupas teļiem bija 85.4%, SynG grupas teļiem 80.2% un CoG grupas teļiem 83.8%. Šīs atšķirības starp grupām nebija statistiski būtiskas, $p>0.05$. Iegūtie rezultāti ir ļoti līdzīgi tiem, kādus novērojuši vairāki pētnieki 12 – 16 nedēļu veciem teļiem. Šī vecuma teļiem priekškuņģi aizņem 85% no kopējā kuņģa apjoma, bet glumenieks attiecīgi 15% (Diao et al., 2017). Var secināt, ka promocijas darbā izmantotās barības piedevas būtiski neietekmēja normālu anatomisku teļu kuņģa nodalījumu attīstību.

Zinātniskajās publikācijās ir pieejama pretrunīga informācija par rauga *S.cerevisiae* ietekmi uz strukturālo un funkcionālo spurekļa attīstību. Mūsu promocijas darba pētījumā tika konstatēts, ka gan sinbiotika, gan arī prebiotika pozitīvi ietekmēja spurekļa kārpiņu attīstību. Prebiotikas grupas teļiem tika novēroti labāki rezultāti spurekļa *saccus dorsalis* apvidus kārpiņu platumā Me=344, IQR 312 – 431 μm , salīdzinot ar kontroles grupas teļiem Me=282, IQR 246 – 341 μm , $p<0.001$, bet spurekļa *saccus ventralis* apvidū prebiotikas grupai tika novērotas garākas un platākas kārpiņas, salīdzinot ar kontroles grupas teļiem, tomēr šīs atšķirības nebija būtiskas, $p>0.05$.

Sinbiotikas grupas teļiem spurekļa *saccus dorsalis* kārpiņu platumš Me=371, IQR 310 – 475 μm bija būtiski lielāks nekā kontroles grupas teļiem Me=282, IQR 246 – 341 μm , $p<0.001$ un spurekļa *saccus ventralis* kārpiņu garums Me=1647, IQR 1304 – 2203 μm bija būtiski lielāks nekā kontroles grupas teļiem Me=1113, IQR 850 – 1578 μm , $p<0.001$. Šie rezultāti ir līdzīgi tiem, kas iegūti 5 nedēļu garā eksperimentā, kurā tika izmantoti rauga *S.cerevisiae* fermentācijas produkti devās 1 g uz teļu dienā un 3.5 g uz teļu dienā. Pētnieki teļu spureklī novēroja garākas un platākas kārpiņas (Brewer et al., 2014). Šie novērojumi sakrīt ar rezultātiem, par kuriem ziņojis Xiao ar kolēģiem (2016), veicot 52 dienas garu eksperimentu, kurā tika izmantoti *S.cerevisiae* fermentācijas produkti devās 0.5% un 1%. Turklāt tiem teļiem, kuriem izbaroja *S.cerevisiae*, autori novēroja arī kriptu dziļuma samazināšanos tukšajā zarnā.

Promocijas darba pētījuma sinbiotikas grupas teļiem tika novērots, ka gan spurekļa *saccus dorsalis*, gan spurekļa *saccus ventralis* apvidos kārpiņu garums bija būtiski lielāks, nekā teļu grupai, kura saņēma tikai topinambūra koncentrātu ar tā sastāvā esošo prebiotiku inulīnu, liekot domāt, ka *S.cerevisiae* rauga celma 1026 pievienošana pie topinambūra koncentrāta potenciāli varētu paātrināt spurekļa kārpiņu attīstību. Iegūtie rezultāti ir pretēji Magalhães un viņa kolēģu (2008) ziņotajam, kas 70 dienu garā eksperimentā, teļiem izbarojot rauga kultūru (2% no sausnes) un nenovēroja nekādas būtiskas izmaiņas spurekļa attīstībā. Līdzīgus rezultātus novēroja arī Kaldmae ar kolēģiem (2008). Pētnieki nenovēroja nekādas būtiskas atšķirības teļu spurekļa kārpiņu garumā un platumā, kā arī spurekļa sienas biezumā viena un divu mēnešu vecumā, 2 mēnešus izbarojot *S.cerevisiae* devā 2% no sausnes.

Četrdesmit divu dienu garā pētījumā novērots, ka 2% rauga kultūra tikai nedaudz uzlaboja teļiem spurekļa attīstību (Lesmeister, 2004). Šajā pētījumā autori novēroja, ka probiotikas grupas teļiem bija garākas un platākas spurekļa kārpiņas, tomēr šīs izmaiņas nebija būtiskas, salīdzinot ar kontroles grupas teļiem.

Promocijas darba pētījumā tika novērots, ka spurekļa *saccus dorsalis* un *saccus ventralis* epitēlija pārragotās kārtas (*stratum corneum*) biezums bija būtiski mazāks kontroles grupas teļiem (abos apvidos Me=9, IQR 7 – 12 μm), salīdzinot ar SynG (attiecīgi Me=17, IQR 14 – 22 μm un Me=25, IQR 15 – 32 μm) un PreG grupu teļiem (attiecīgi Me=33, IQR 24 – 38 μm un Me=29, IQR 24 – 36 μm), $p<0.001$. Šī spurekļa gļotādas slāņa šūnu citoplazmā atrodas liels daudzums keratīna, kas darbojas kā fizikāla barjera un samazina gaistošo taukskābju transportu uz dziļākajiem epitēlija slāņiem (Hinders, Owen, 1965). Kā arī pētījumā tika novērots, ka kopējais spurekļa epitēlija slāņa biezums bija būtiski mazāks CoG grupas teļiem, nekā SynG un PreG grupu teļiem, $p<0.001$. Pilnīgi pretēji rezultāti par epitēlija pārragotās kārtas (*stratum corneum*) un kopējo spurekļa epitēlija biezumu tika iegūti pētījumā ar aitām. Šajā pētījumā pie barības 42 dienas tika pievienots raugs *S.cerevisiae* devā 2 g uz kg sausnes, MOS devā 2 g uz kg sausnes un abu šo piedevu kombinācija tādā pašā devā, un novēroja, ka MOS un sinbiotikas grupas aitām bija plānāks *stratum corneum* spureklī, salīdzinot ar kontroles grupu, $p<0.01$. Kopējais spurekļa epitēlija biezums bija mazāks tām aitām, kuras saņēma MOS, salīdzinot ar grupu, kura saņēma *S.cerevisiae* barības piedevu, $p<0.03$, bet šīs piedevas neietekmēja spurekļa kārpiņu platumu (Diaz et al., 2018).

Promocijas darba pētījumā tika novērots, ka glumenieka gļotāda kardiālo dziedzeru zonā bija būtiski biezāka SynG Me=610, IQR 585 – 642 μm un PreG grupu teļiem Me=571, IQR 544 – 591 μm, nekā CoG grupas teļiem Me=510, IQR 472 – 558 μm, $p<0.001$, kā arī savstarpēji salīdzinot pētījuma grupas, tika novērots, ka SynG grupas teļiem gļotādas biezums šajā zonā bija būtiski lielāks nekā PreG grupas teļiem, $p<0.001$.

Gļotādas biezums fundālo dziedzeru zonā SynG grupas teļiem Me=673, IQR 632 – 752 μm bija būtiski lielāks nekā CoG grupas teļiem Me=581, IQR 515 – 657 μm un PreG grupas teļiem Me=620, IQR 575 – 660 μm, $p<0.001$.

Glumenieka gļotādas biezums pilorisko dziedzeru zonā PreG grupas teļiem Me=912, IQR 852 – 1100 μm bija būtiski lielāks nekā CoG grupas teļiem Me=834, IQR 787 – 896 μm un SynG grupas teļiem Me=854, IQR 792 – 900 μm, $p<0.001$. Tātad, gan topinambūra koncentrāts, gan arī šī barības piedeva kombinācijā ar *S.cerevisiae* rauga celmu 1026, veicināja glumenieka sienas biezuma palielināšanos un palīdz pasargāt glumenieka sieniņu no kuņģa skābes negatīvās ietekmes.

Ir pieejams neliels daudzums informācijas par rauga *S.cerevisiae* ietekmi uz gremošanas procesiem zarnās un zarnu attīstību atgremotājiem. Iespējams tādēļ, ka tiek uzskatīts, ka rauga kultūras pamatā savu darbību veic spureklī. Pētījumā ar aitām Durand-Chaucheyras ar līdzautoriem (1998) novēroja, ka rauga šūnas paliek dzīvas arī zarnās, kas liek domāt, ka rauga ietekme varētu izpausties arī citās gremošanas kanāla daļās, ne tikai spureklī.

Promocijas darba pētījumā tika novērotas būtiskas atšķirības starp sinbiotikas un kontroles grupu teļiem tādos parametros kā visas zarnu sieniņas biezums divpadsmitpirkstu, tukšās, gūžas un lokzarnas vidusdaļā un gļotādas biezumā (bārkstiņu garums un kriptu dziļums)

tukšās zarnas vidusdaļā un kriptu dziļumā lokzarnā. Visi šie parametri bija būtiski lielāki teļiem no sinbiotikas grupas. Par rauga darbību zarnās liecina arī citi pētījumi, piemēram, Xiao un viņa kolēģu (2016) veiktajā pētījumā, kurā teļiem 52 dienas izbaroja *S.cerevisiae* fermentācijas produktus devās 0.5% un 1% no sausnes. Pētnieki šiem teļiem novēroja garākas bārkstiņas divpadsmitpirkstu, tukšajā un gūžas zarnā, kā arī mazāku kriptu dziļumu tukšajā zarnā. Līdzīgi rezultāti tika novēroti pētījumā ar sivēniem. Autori ziņoja, ka tiem sivēniem, kuriem 21 dienu izbaroja *S.cerevisiae* fermentācijas produktus devā 5 g kg⁻¹, tukšās zarnas bārkstiņu garums bija lielāks nekā kontroles grupas dzīvniekiem (Shen et al., 2009). Pētījumā ar broileriem, kurā 42 dienas izbaroja *S.cerevisiae* fermentācijas produktus devās 2.5 g, 5 g un 7.5 g kg⁻¹, tika novērots, ka pētījuma grupu broileriem bija garākas divpadsmitpirkstu zarnas bārkstiņas, bet kriptu dziļums divpadsmitpirkstu, tukšajā un gūžas zarnā bija vismazākais tiem broileriem, kuriem izbaroja 2.5 g probiotiku, salīdzinot ar kontroles grupu un abām pārējām probiotikas devu grupām, bet vislielākais kriptu dziļums tika novērots grupai, kurai izbaroja 7.5 g *S.cerevisiae* rauga kultūras piedevu (Gao et al., 2008).

Promocijas darba pētījumā iegūti rezultāti, ka divpadsmitpirkstu, tukšās un gūžas zarna vidusdaļas visas zarnas sienas biezums (bārkstiņu garums un kriptu dziļums), kā arī gļotādas biezums tukšās un gūžas zarnas vidusdaļā bija būtiski lielāks prebiotikas grupā, nekā kontroles grupā. Ir publicēti vairāku pētījumu rezultāti par prebiotikas inulīna ietekmi uz zarnu morfoloģiskajām izmaiņām. Pētījumā, kurā izmantoja inulīnu, tika novērota līdzīga ietekme uz zarnām kā mūsu promocijas darba pētījumā. Pētījums tika veikts ar broileriem, kuriem 5 nedēļas izbaroja 1% inulīnu un tika novērots, ka šī piedeva būtiski palielina tukšās zarnas bārkstiņu garumu, kā arī inulīna grupai novēroja dziļākas kriptas (Rehman et al., 2007). Šo pozitīvo prebiotiku ietekmi uz tievās un resnās zarnas gļotādas augšanu un attīstību varētu izskaidrot ar poliamīnu sintēzi no prebiotikām, kas ir būtiski nepieciešams zarnu attīstībai (Dzelzenne et al., 2000) vai ar inulīna fermentāciju, kas nodrošina īso ķēžu taukskābju producēšanu. Šīs skābes var veicināt šūnu proliferāciju tievajā un resnajā zarnā un rezultātā palielinās bārkstiņu garums un kriptu dziļums (Samal, Behura, 2015). Tomēr pretēji rezultāti novēroti vairākos citos pētījumos. Masanetz ar kolēģiem (2010) ziņoja, ka 20 nedēļu garā eksperimentā ar teļiem, kuriem izbaroja 2% prebiotiku inulīnu, tukšās un gūžas zarnas bārkstiņu garums bija mazāks, nekā kontroles grupas teļiem. Šie rezultāti sakrīt ar tiem, ko ziņojis Pierce ar kolēģiem (2005). Autori novēroja līdzīgu bārkstiņu garuma samazināšanos pēc inulīna 28 dienu ilgas pievienošanas pie sivēnu barības devā 15 g kg⁻¹.

Zarnu morfoloģiskā attīstība būtībā parāda visa dzīvnieka gremošanas kanāla veselības stāvokli. Barības vielu uzsūkšanas apjoms samazinās līdz ar zarnu bārkstiņu garuma samazināšanos (Anonymous, 1999). Jaunās epitēlija šūnas tiek producētas zarnu gļotādas kriptās un migrē pa zarnu bārkstiņu līdz tās apikālajam galam (Schat, Myers, 1991), tādēļ kriptas tiek uzskatītas par bārkstiņu "fabriku". Dziļākas kriptas var norādīt uz ātrāku šūnu nomaiņu, lai notiktu veiksmīga bārkstiņu atjaunošana. Tas ir saimniekorganisma zarnu atbildes mehānisms, kas mēģina kompensēt fizioloģisko bārkstiņu nomaiņu un patoloģisko bārkstiņu atrofiju, kas rodas no patogēnu un to toksīnu radītajiem iekaisumiem. Garākas bārkstiņas norāda uz vairāk nobriedušu epitēliju un uzlabotām uzsūkšanas spējām palielinātās bārkstiņu uzsūkšanas virsmas dēļ. Garākas bārkstiņas palielina arī to apikālajā galā sekretēto enzīmu aktivitāti, kā rezultātā uzlabojas barības vielu sagremojamība (Anonymous, 1999; Newbold et al., 1996).

4.6. Topinambūra koncentrāta ar tā sastāvā esošo prebiotiku inulīnu un *S.cerevisiae* rauga celma 1026 izbarošanas ietekme uz metanogēnajiem mikroorganismiem un spureklī producētā CH₄ un CO₂ daudzumu teļiem

Metanogēnēze ir fizioloģisks process, kura rezultātā tiek producēts metāns galvenokārt no ogļhidrātu hidrolīzes (Kristensen et al., 2011; Johnson, Johnson, 1995). Enterālo CH₄ producē metanogēnie mikroorganismi, kas pieder pie domēna *Archaea*, tipa *Euryarchaeota*

(Balch et al., 1979). Atgremotājiem metanoģenēze pamatā norit spureklī, mazākā mērā resnajā zarnā (Muñoz et al., 2012).

Kopumā spureklī novēro plašu mikroorganismu daudzveidību, kuru pamatā veido dažādi prokarioti, eikarioti un vairākas metanoģēnu sugas (Kumar et al., 2009; Guo et al., 2005). Biežāk sastopamā metanoģēnu ģints liellopu spureklī ir *Methanobrevibacter* (Henderson et al., 2015; Leahy et al., 2013). Wright ar kolēģiem (2007) liellopiem kā galvenās metanoģēnu sugas spureklī identificēja *Methanobrevibacter ruminantium*, *Methanobrevibacter thaueri*, *Methanobrevibacter smithii* un *Methanosphaera stadtmanae*. Šī pētījuma rezultāti bija līdzīgi Whitford un viņa kolēģu (2001) izpētītajam, tomēr pētnieki novēroja, ka *M.ruminantium* bija visbiežāk sastopamā metanoģēnu suga, kurai sekoja *M.stadtmanae*.

Metanoģēni producē CH₄ anaerobos apstākļos (Guo et al., 2005). Piemēram, *M.smithii* producē CH₄ no CO₂, H₂ un formiāta, bet *M.stadtmanae* CH₄ producē tikai pārveidojot metanolu kopā ar H₂ (Carberry et al., 2014). Govju spureklī kā noteicošie CH₄ producētāji tiek minēti atsevišķi *Methanobrevibacter* ģints metanoģēni (*M.smithii*, *Methanobrevibacter gottschalkii*, *Methanobrevibacter millerae* un *M.thaueri*) (Danielsson et al., 2014).

Promocijas darba pētījumā novērots, ka kopējo prokariotu (t.i., baktēriju un metanoģēnu) un kopējo metanoģēnu sastopamības biežums teļu spurekļa šķidrumā būtiski atšķīrās starp grupām. Bet kopējo prokariotu un kopējo metanoģēnu sastopamības biežums fekālijās, kā arī atsevišķu metanoģēnu sugu *M.stadtmanae*, *M.ruminantium* un *M.smithii* sastopamības biežums teļu spurekļa šķidrumā būtiski neatšķīrās starp grupām, $p > 0.05$.

Novērots, ka SynG grupas teļiem, kuriem kopā ar inulīnu saturošo topinambūra koncentrātu izbaroja arī raugu *S.cerevisiae*, kopējo prokariotu (baktērijas un metanoģēni) daudzums spureklī bija būtiski mazāks, salīdzinot ar PreG teļiem, $p = 0.004$, kā arī tas bija zemāks nekā CoG teļiem. Raugs *S.cerevisiae* teļiem ietekmē gremošanas kanāla mikrobiomu, piemēram, veicinot pienskābi utilizējošo baktēriju augšanu un aktivitāti spureklī (Jouany, 2001; Girard et al., 1993), kā arī ietekmē tā morfoloģisko attīstību (palielina kārpiņu garumu un platumu spureklī) (Brewer et al., 2014; Lesmeister et al., 2004), kā arī palielina kārpiņu skaitu uz vienu spurekļa laukuma vienību (Gäbel et al., 1991), bet divpadsmitpirkstu (*duodenum*), tukšajā (*jejunum*) un gūžas (*ileum*) zarnā palielina bārkstiņu garumu un samazina kriptu dziļumu visā tievajā zarnā (Xiao et al., 2016).

Ir publicēti vairāki pētījumi dažādām dzīvnieku sugām par barības piedevu ietekmi uz kopējo baktēriju un metanoģēnu daudzumu gremošanas kanālā. Vairāki no tiem ir pretēji promocijas darba pētījumā iegūtajiem rezultātiem. SynG teļu grupas spurekļa šķidruma paraugos tika novērots būtiski lielāks kopējo metanoģēnu daudzums, salīdzinot ar prebiotikas grupu, $p = 0.003$, kā arī tas bija lielāks nekā CoG teļiem. Šie rezultāti ir līdzīgi tiem, ko novērojis Ding ar kolēģiem (2014). Viņi novēroja, ka *S.cerevisiae* var palielināt spureklī kopējo baktēriju, sēņu un viensūņu daudzumu. Dawson ar līdzautoriem (1990) ziņoja, ka Džērsijas šķirnes liellopiem, kuriem izbaroja probiotiku *S.cerevisiae* (2.04×10^9 KVV g⁻¹) devā 1 g uz 1 kg barības 10 dienas, pieauga celulolītisko baktēriju skaits spureklī. Līdzīgi rezultāti novēroti arī Kumar un līdzautoru (1997) 6 nedēļu garajā pētījumā ar bifeļu teļiem, kuriem izbaroja 5 g *S.cerevisiae* celmu 1026. Interesantus rezultātus ieguvuši Agarwal ar kolēģiem (2002). Pētnieki veica eksperimentu ar jaundzimušiem teļiem, kuriem 24 nedēļas izbaroja *S.cerevisiae* NCDC-49, 10^6 KVV mL⁻¹, un secināja, ka probiotika neietekmēja spurekļa mikrobiālo populāciju. Ogunade ar līdzautoriem (2019) novēroja, ka raugs *S.cerevisiae* devā 15g d⁻¹ palielināja CH₄ produkciju liellopiem 25 dienu garā eksperimentā, jo šo liellopu spureklī palielinājās *M.ruminantium* daudzums, kas tiek uzskatīta par vienu no galvenajām metānu producējošajām metanoģēno mikroorganismu sugām liellopiem (Whitford et al., 2001). Citi autori ziņoja par pretējiem rezultātiem. Galindo ar līdzautoriem (2010) novēroja samazinātu metanoģēnu daudzumu 24 h garā *in vitro* eksperimentā, kad tika pievienots *S.cerevisiae* raugs pie Bermuda zāles (*Cynodon nlemfuensis*), kas tika izmantota kā fermentācijas substrāts.

Promocijas darbā pētītās atsevišķās metanoģēnu sugas būtiski neatšķīrās starp grupām, tomēr divas no tām – *M.stadtmanae* un *M.smithii* bija sastopamas mazākā daudzumā SynG

grupas teļu spureklā šķidrumā nekā PreG un CoG grupas teļu spureklā šķidrumā. Iespējams, ka palielināts kopējo metanogēnu daudzums SynG grupas teļiem varētu būt citu metanogēnu sugu dēļ, kas netika pētītas šī promocijas darba izstrādes ietvaros.

Fekāliju kopparaugos kopējo prokariotu (t.i., baktēriju un metanogēnu), kopējo metanogēnu un atsevišķu metanogēnu sugu *M.stadtmanae*, *M.ruminantium* un *M.smithii* sastopamības biežums starp grupām būtiski neatšķīrās, $p>0.05$.

Promocijas darba izstrādes laikā netika iegūti pārliecinoši rezultāti, ka izmantotais topinambūra koncentrāts ar tā sastāvā esošo prebiotiku inulīnu un šī koncentrāta kombinācija ar raugu *S.cerevisiae* ietekmē *Methanospaera stadtmanae*, *Methanobrevibacter ruminantium* un *Methanobrevibacter smithii* sugu sastopamības biežumu teļu spureklā šķidrumā un fekālijās.

Metāna produkciju spureklī un resnajā zarnā viennozīmīgi ietekmē metanogēnie mikroorganismi un to daudzums. Šī gāze tiek minēta kā galvenā dzīvnieku gremošanas kanālā saražotā gāze, kas pastiprina siltumnīcas efekta negatīvo ietekmi uz vispasaules ekosistēmām. Kopējā antropogēnā CH₄ emisija no lauksaimniecības nozares sastāda aptuveni 47 – 56% (Shibata, Terada, 2010; Smith et al., 2007), 50 – 60% (Ellis et al., 2007) un tās galvenokārt nāk no lopkopības sektora. Daudzi pētnieki veikuši eksperimentus ar dažādu barības piedevu izmantošanu enterālā CH₄ produkcijas un emisijas samazināšanai. Ir ļoti maz pieejamu pētījumu rezultātu par prebiotikas inulīna ietekmi uz CH₄ produkciju atgremotājiem. Šīs disertācijas pētījuma ietvaros tika pētīta 12 g topinambūra koncentrāta (inulīna saturs 6 g), kā arī sinbiotikas (*S.cerevisiae* rauga celms 1026 devā 5 g un topinambūra koncentrāts devā 12 g) ietekme uz CH₄ un CO₂ produkciju teļu spureklī.

Pētījumā konstatēts, ka teļu spureklī producētā CH₄ daudzums PreG grupai Me=802.09, IQR 708.65 – 1076.77 mg m⁻³ pētījuma beigās bija augstāks nekā CoG Me=792.06, IQR 755.06 – 873.59 mg m⁻³, tomēr šī atšķirība nebija būtiska, $p>0.05$. Bet aprēķinot producētā CH₄ daudzumu uz 1 kg ķermeņa masas, tika novērots, ka pētījuma beigās tas bija zemāks PreG grupas teļiem Me=5.49, IQR 4.97 – 9.15 mg m⁻³ nekā CoG grupas teļiem Me=7.10, IQR 6.35 – 9.19 mg m⁻³. Lai arī PreG šis rezultāts bija mazāks nekā kontroles grupā, tomēr šī atšķirība nebija būtiska, $p>0.05$.

Kopējie rezultāti par topinambūra koncentrātu ar tā saturā esošo prebiotiku inulīnu un producētā CH₄ daudzumu bija pretēji citu autoru novērotajam, ka prebiotika inulīns var samazināt CH₄ produkciju atgremotājiem (Roonaal, 2015; Charalampopoulos, Rastall, 2009; Zhou et al., 2004). Hindrichsen ar līdzautoriem (2004) veica *in vitro* pētījumu, izmantojot mākslīgo spurekli (RUSITEC), un secināja, ka 10 dienu garā eksperimentā topinambūra saknes piedevai, kas satur prebiotiku inulīnu, bija pozitīva ietekme uz CH₄ samazināšanu. Citi pētnieki salīdzinājuši inulīna un cietes ietekmi uz CH₄ produkciju, un pētnieku iegūtie rezultāti bija ļoti pretrunīgi. Czerkawski un Breckenridge (1969) savā *in vitro* pētījumā, kurā izmantoja 1.5 g inulīnu, novēroja, ka pirmās stundas laikā tika producēti 4.2 mL CH₄, kamēr ciete producēja tikai 0.6 mL šo gāzi. Tomēr, Poulsen ar līdzautoriem (2012) nekonstatēja nekādu būtisku atšķirību *in vitro* producētā CH₄ apjomā starp inulīnu, kviešu un kukurūzas cieti pēc 48 stundām. Savukārt Zhao ar kolēģiem (2014) *in vitro* eksperimentā novēroja, ka CH₄ produkcija bija zemāka inulīnam, salīdzinot ar cieti.

Daudz efektīvāk CH₄ produkcijas samazināšanai atgremotājiem var izmantot citas pētnieku izmantotās prebiotikas. Piemēram, GOS piedevu pievienošana pie barības efektīvi samazina CH₄ produkciju slaucamām govīm pat par 11% (Charalampopoulos, Rastall, 2009). Arī Mwenya ar līdzautoriem (2004b) pētījumā ar Holšteinas šķirnes govīm novēroja CH₄ samazinājumu par 11% GOS pētījuma grupai, salīdzinot ar kontroles grupu. Tomēr jāpiemin, ka šie abi pētījumi par GOS veikti ar pieaugušām slaucamām govīm, tādēļ rezultāti varētu atšķirties, ja pētījums tiktu veikts ar teļiem. Zheng ar līdzautoriem (2019) *in vitro* pētījumā novēroja, ka MOS devā 5 – 6% rezultējās ar viszemāko producētā CH₄ un CO₂ apjomu.

Runājot par spureklī producētā CO₂ daudzumu, pētījuma beigās tas bija būtiski augstāks PreG grupas teļiem Me=4727.27, IQR 4503.39 – 4978.12 mg m⁻³ nekā CoG grupas teļiem Me=4251.28, IQR 4045.58 – 4426.25 mg m⁻³, $p<0.001$.

Līdzīgi kā CH₄ daudzums, rēķinot uz 1 kg dzīvmasas, arī CO₂ daudzums uz 1 kg dzīvmasas pētījuma beigās bija zemāks PreG grupas teļiem Me=33.09, IQR 30.54 – 43.54 mg m⁻³, salīdzinot ar CoG teļiem Me=36.72, IQR 34.63 – 37.07 mg m⁻³, tomēr atšķirība nebija būtiska, p>0.05.

Mums neizdevās atrast pētījumus par prebiotiku inulīnu un tā ietekmi uz CO₂ produkciju spureklī, bet Zheng ar līdzautoriem (2019) savā *in vitro* pētījumā, kurā izmantoja prebiotiku MOS noskaidroja, ka MOS 2% kg⁻¹ barības devā, visvairāk ietekmēja CO₂ produkciju – tā bija viszemākā. Bet pētnieku rezultāti bija pretrunīgi, jo šī pati piedeva devā 2.5% – 4.5% veicināja vislielāko CO₂ produkciju, bet, izbarojot MOS devā 5.0% – 6.0%, novēroja CO₂ produkcijas samazinājumu.

Oglekļa dioksīds ir viena no būtiskākajām gāzēm, kas izraisa siltumnīcas efektu, bet lauksaimniecības dzīvnieki netiek uzskatīti par šīs gāzes būtiskiem emitētājiem, jo dzīvnieku producētais CO₂ ir daļa no oglekļa cikla. Augi asimilē CO₂ aptuveni tādā pašā daudzumā, kā dzīvnieki izelpo un liela daļa no augiem uzņemtā oglekļa spureklī tiek pārveidots par CH₄, kā arī tas tiek uzsūkts dzīvnieku audos un izdalīts ar pienu (Chianese et al., 2009a; IPCC 2001). Iespējams tādēļ arī pētnieki savos eksperimentos nav noteikuši atgremotāju spureklī producētā un no dzīvniekiem emitētā CO₂ daudzumu. Šī promocijas darba pētījumā tika novērots, ka PreG grupas teļiem pētījuma beigās gan CH₄, gan CO₂ bija augstāks, nekā CoG grupas teļiem. Lielāku producētā CH₄ daudzumu varētu izskaidrot ar to, ka metanogēnie mikroorganismi CH₄ produkcijai izmanto CO₂ un H₂ (Van Zijderveld et al., 2011), un, jo vairāk ir izejmateriāla, jo vairāk gāzes tiek producētas. Savukārt PreG grupas teļu spureklī augstāks CO₂ daudzums varētu būt saistīts ar lielāku uzņemtās augu barības daudzumu, kurā esošais saistītais ogleklis spureklī tiek pārvērsts atpakaļ par CO₂ (IPCC 2001).

SynG grupas teļiem papildus pie barības izbaroja 12 g topinambūra koncentrātu, kas satur 6 g prebiotiku inulīnu un 5 g *S.cerevisiae* rauga celmu 1026. Par prebiotiku inulīnu un tā ietekmi uz CH₄ produkciju ir maz pētījumu un iegūtie rezultāti ir neviennozīmīgi. Daļa pat parāda, ka šī prebiotika tieši veicina CH₄ produkciju. Savukārt par probiotikām un to ietekmi uz CH₄ ir publicēti daudzu pētnieku rezultāti un to liela daļa parāda, ka probiotikas samazina šīs gāzes produkciju spureklī.

Promocijas darba ietvaros tika noskaidrots, ka SynG grupas teļiem CH₄ daudzums spureklī pētījuma 28. dienā bija būtiski zemāks Me=659.11, IQR 565.04 – 1015.32 mg m⁻³ nekā CoG grupas teļiem Me=1052.94, IQR 983.33 – 1111.89 mg m⁻³ un PreG teļiem Me=847.25, IQR 812.13 – 879.86 mg m⁻³, p<0.001. Arī 56. dienā SynG grupas teļiem CH₄ daudzums spureklī bija būtiski zemāks Me=675.41, IQR 653.46 – 700.50 mg m⁻³ nekā PreG grupas teļiem Me=802.09, IQR 708.65 – 1076.77 mg m⁻³ un CoG grupas teļiem Me=792.06, IQR 755.06 – 873.59 mg m⁻³, p<0.001. Arī producētā CH₄ daudzums uz 1 kg teļu dzīvmasas SynG grupas teļiem pētījuma 28. un 56. dienā bija mazāks nekā PreG grupas un CoG grupas teļiem, tomēr šīs atšķirības nebija būtiskas, p>0.05. Pētījuma rezultāti parāda, ka topinambūra koncentrāts devā 12 g (inulīna saturs 6 g) būtiski nesamazina CH₄ un CO₂ produkciju teļu spureklī. Šie rezultāti liek domāt, ka topinambūra koncentrāts ar tā sastāvā esošo prebiotiku inulīnu viens pats nespēj ietekmēt šo gāzu daudzumu spureklī, bet šis koncentrāts kombinācijā ar *S.cerevisiae* rauga celmu 1026 spēj samazināt spureklī producēto CH₄ un CO₂ daudzumu.

Pētījuma SynG teļu grupai novērotie rezultāti par CH₄ daudzumu spureklī izbarojot sinbiotiku, kuras sastāvā bija raugs *S.cerevisiae*, ir līdzīgi ar daudzu citu pētnieku iegūtajiem rezultātiem. Piemēram, Chung ar līdzautoriem (2011) secināja, ka raugu kultūras, kas pievienotas pie barības, uzlabo gan laktējošu, gan augošu dzīvnieku produktivitāti. Raugi spēj spureklī mainīt fermentācijas procesus, tie veicina acetogēno baktēriju augšanu un vairošanos un šīs baktērijas savukārt konkurē ar metanogēniem mikroorganismiem un izmanto CO₂ un H₂, kas nepieciešams arī metanogēnu augšanai, tādējādi samazinot CH₄ produkciju (Haque, 2018; Mwenya et al., 2004b; Chaucheyras et al., 1995). Tas tika apstiprināts arī 5 dienu garā *in vitro* eksperimentā (Chaucheyras et al., 1995). Arī citos *in vitro* pētījumos sasniegti līdzīgi rezultāti. Hernandez ar līdzautoriem (2017) ziņoja, ka raugs *S.cerevisiae* devā 2 g un 4 g 70 h garā *in*

vitro pētījumā, kurā izmantoja 60 dienu vecu Holšteinas šķirnes teļu spurekļa saturu, samazināja CH₄ produkciju, salīdzinot ar kontroles grupu. Arī Newbold un Rode (2006) ziņojuši par 58% CH₄ produkcijas samazināšanos, pielietojot *S.cerevisiae* barības piedevu *in vitro* pētījumā.

Ir arī pētījumu rezultāti, kuros netika novērots CH₄ samazinājums. Piemēram, Oh ar līdzautoriem (2019) pētījumā izmantoja *S.cerevisiae* devā 28 g d⁻¹ uz govi, 18 Holšteinas šķirnes govīm trīs 28 dienu garos pētījuma periodos un secināja, ka šī piedeva neietekmēja ne CH₄, ne arī CO₂ produkcijas apjomus.

Tomēr jāpiemin, ka ir arī zinātniskas publikācijas par rauga *S.cerevisiae* ietekmi uz palielinātu CH₄ veidošanos spureklī. Tas tika novērots Ogunade un līdzautoru (2019) veiktajā 25 dienu garajā eksperimentā, kura laikā liellopiem tika papildus izbarots raugs *S.cerevisiae* devā 15 g d⁻¹. Pētnieki šo producētā CH₄ pieaugumu izskaidro ar palielinātu metanogēnu *M.ruminantium* vairošanos spureklī.

Producētais CO₂ daudzums teļu spureklī pētījuma beigās SynG grupas teļiem Me=3266.07, IQR 1358.98 – 4584.91 mg m⁻³ bija būtiski zemāks nekā CoG grupas teļiem Me=4251.28, IQR 4045.58 – 4426.25 mg m⁻³, p<0.001 un arī būtiski zemāks nekā PreG grupas teļiem Me=4727.27, IQR 4503.39 – 4978.12 mg m⁻³, p<0.001. Tātad mūsu pētījuma rezultāti liecina, ka, pie spēkbarības izbarojot *S.cerevisiae* kopā ar topinambūra koncentrātu (inulīna saturs 50%), var panākt CO₂ produkcijas samazināšanos. Šie rezultāti ir pretēji jau iepriekš pieminētajā Hernandez un viņa kolēģu (2017) *in vitro* pētījumā par raugu *S.cerevisiae* izmantošanu devās 2 g un 4 g, autori konstatēja, ka šī rauga piedeva būtiski palielina CO₂ produkciju. Savukārt rēķinot producētā CO₂ daudzumu uz 1 kg dzīvmasas, novērots, ka SynG grupas teļiem šis rezultāts ir visaugstākais Me=38.47, IQR 9.61 – 62.95 mg m⁻³, ja salīdzina ar CoG – Me=36.72, IQR 34.63 – 37.07 mg m⁻³ un PreG grupu teļiem Me=33.09, IQR 30.54 – 43.54 mg m⁻³, p>0.05. Jāatzīmē, ka mums neizdevās atrast nevienu zinātnisko publikāciju par *S.cerevisiae* rauga un tā kombinācijas ar prebiotikām (tai skaitā inulīnu) ietekmi uz CO₂ produkciju teļu spureklī.

Diskusijas kopsavilkums

Promocijas darba literatūras apskatā iekļautie pētījumi liecina, ka viens no būtiskākajiem dzīves posmiem teļu attīstībā ir pārejas periods no piena izbarošanas uz tilpumainās barības izbarošanu, jo šajā laika posmā teļš no nosacīti monogastriska dzīvnieka attīstās par pilnvērtīgu atgremotāju. Šajā pārejas periodā būtiskākās mikrobiālās, morfoloģiskās un arī funkcionālās pārmaiņas notiek tieši teļu gremošanas kanālā (Meale et al., 2017; Jiao et al., 2015). Tādēļ promocijas darbā tika pētīts tieši šis teļu dzīves posms ar mērķi noskaidrot, vai dabiskas izcelsmes barības piedevas – topinambūra koncentrāts ar tā sastāvā esošo prebiotiku inulīnu (48.5 – 50.1%), ko savā darbā saucām par prebiotikas grupu, un šī koncentrāta sinbiotika ar rauga *Saccharomyces cerevisiae* celmu 1026, kuru saucām par sinbiotikas grupu, var ietekmēt teļu gremošanas kanāla morfofunkcionālo attīstību un teļu augšanu.

Daudzi pētnieki novērojuši, ka teļu morfofunkcionālo attīstību un dzīvmasas pieaugumu ietekmē dažādi veselības traucējumi, īpaši tie, kuri izpaužas ar diareju (Jatkauskas, Vrotniakiene, 2010; Luginbühl et al., 2005; Virtala et al., 1996). Pētījuma laikā, būtiskas fekāliju konsistences atšķirības starp prebiotikas, sinbiotikas un kontroles grupas vidējiem rādītājiem nekonstatējām. Jāpiebilst, ka nevienam pētījumā iekļautajam teļam pētījuma laikā netika konstatētas ūdeņainas fekālijas – diareja. Prebiotikas, sinbiotikas un kontroles grupu teļiem netika konstatēti arī citi būtiski veselības traucējumi, par ko liecina asins analīžu (gan hematoloģisko, gan bioķīmisko) rezultāti, jo tie visi ietilpa teļu vecumam atbilstošajās normu robežās.

Prebiotikas, probiotikas un sinbiotikas var pozitīvi ietekmēt atgremotāju produktivitāti, uzlabojot teļu diennakts dzīvmasas pieaugumu gan piena izbarošanas periodā, gan tilpumainās barības izbarošanas periodā, kā arī uzlabot barības izmantojamību tilpumainās barības

izbarošanas periodā (Roodposhti, Dabiri, 2012; Heinrichs et al., 2009; Lesmeister et al., 2004). Promocijas darba pētījumā novērots, ka teļu grupām, kurām pie barības papildus tika izbarots 12 g topinambūra koncentrāts ar tā sastāvā esošo prebiotiku inulīnu (6 g) (PreG) un 12 g topinambūra koncentrāts (inulīna saturs 6 g) kombinācijā ar 5 g raugu *Saccharomyces cerevisiae* (celms 1026) (SynG), dzīvmasas pieaugums bija būtiski lielāks nekā kontroles grupas teļiem. Prebiotikas pozitīvi ietekmē gremošanas kanāla mikrobiomu, veicinot labvēlīgās zarnu mikrofloras augšanu un vairošanos un kavējot patogēno mikroorganismu proliferāciju un adhēziju pie zarnu gļotādas, kas arī varētu būt kā iespējamais izskaidrojums labākiem teļu augšanas rādītājiem (Król, 2011). Tomēr jāņem vērā, ka pieaugušiem atgremotājiem spureklī notiek intensīvi fermentatīvie procesi un inulīns var tikt pilnībā fermentēts un var nesasniegt tālākās gremošanas kanāla daļas (Van Leeuwen, Verdonk, 2004). Prebiotiku ietekme teļiem vislabāk izpaužas pirms tie kļuvuši par pilnvērtīgiem atgremotājiem. Promocijas darba pētījumā iekļautie teļi bija pārejas vecumā no nosacīti monogastriskiem dzīvniekiem uz pilnvērtīgiem atgremotājiem (teļu vidējais vecums uzsākot pētījumu bija 4 – 5 nedēļas un to noslēdzot, 13 – 14 nedēļas), tādēļ var pieņemt, ka topinambūra sastāvā esošā prebiotika inulīns netika pilnībā fermentēta spureklī, bet nokļuva arī tālākās gremošanas kanāla daļās. Savstarpēji salīdzinot PreG un SynG teļu grupu dzīvmasas pieaugumu, tika novērots, ka kopējais dzīvmasas pieaugums un diennakts dzīvmasas pieaugums, lai arī ne būtiski, bet bija lielāks tiem teļiem, kuriem izbaroja tikai topinambūra koncentrātu (PreG), kas satur prebiotiku inulīnu, bet kombinācijā ar *S.cerevisiae* rauga celmu 1026 (SynG), teļu augšanas rādītāji nebija tik augsti, bet joprojām būtiski labāki nekā kontroles grupas teļiem. To varētu izskaidrot ar rauga spēju fermentēt ogļhidrātu inulīnu (Lim et al., 2011). Izanalizējot pētījumā iegūtos rezultātus, var pieņemt, ka tieši inulīna daļējā fermentācija bija par iemeslu nedaudz sliktākiem teļu augšanas rādītājiem SynG grupas teļiem, salīdzinot ar PreG grupas teļiem.

Pētījuma laikā noteicām hormonu grelīnu, kas ietekmē organisma augšanu un attīstību, jo veicina augšanas hormona izdalīšanos no hipofīzes (Masuda et al., 2000; Date et al., 2000b). Šim hormonam ir arī būtiska nozīme izsalkuma un sāta sajūtas regulēšanā, jo tā izdalīšanās grelīna imūnreaktīvajās šūnās palielinās dzīvniekam sajūtot izsalkumu (Coll et al., 2007; Stanley et al., 2005). Noskaidrojām, ka prebiotikas un sinbiotikas grupas teļiem gan glumenieka, gan divpadsmitpirkstu zarnas un tukšajās zarnas gļotādā tika novērots mazāks grelīna imūnreaktīvo šūnu skaits nekā kontroles grupas teļiem. Tātad šie teļi ilgstošāk izjutuši sāta sajūtu, kas netieši norāda uz labāku barības līdzekļu pārstrādi gremošanas kanālā. Par to liecina arī teļu dzīvmasas pieaugums, kas bija būtiski augstāks PreG un SynG grupu teļiem.

Gremošanas kanāla iekšējās vides pH ir viens no būtiskākajiem barības pārstrādi ietekmējošiem faktoriem, kas atspoguļo un regulē spurekļa funkcijas (Feng et al., 2020), ietekmē barības uzsūkšanu, mikroorganismu aktivitāti un barības vielu pārstrādi (Wang, 2012), kā arī ietekmē spurekļa anatomisko un histoloģisko struktūru attīstību (Thompson et al., 2006). Topinambūra koncentrāta izbarošana neietekmēja iekšējās vides pH izmaiņas (*post-mortem*) spurekļa priekštelpas (*atrium ruminis*) apvidū, spurekļa ventrālajā maisā (*rumen saccus ventralis*), glumeniekā pie piloriskā sfinktera (*abomasum pars pylorica*), tukšās (*jejunum*) un lokzarnas (*colon*) vidusdaļā. Sinbiotikas izbarošana neietekmēja arī vides pH mērījumu rezultātus glumeniekā un tukšās zarnas vidusdaļā, bet lokzarnas vidusdaļas satura pH šai teļu grupai bija skābāks nekā kontroles grupas teļiem. Savukārt iekšējās vides pH reakcija spurekļa priekštelpas apvidū un spurekļa ventrālajā maisā, kā arī lokzarnas vidusdaļā sinbiotikas grupas teļiem bija skābāka nekā CoG grupas teļiem. Vides pH mērījumu rezultāti spureklī bija izteikti zemi, jo, iespējams, pirms kaušanas dzīvnieki tika pārāk ilgi badināti un spureklī pieauga gaistošo taukskābju daudzums, vai arī teļiem ilgstoši tika liegta pieeja ūdenim un bija samazināts producēto siekalu daudzums. Siekalām piemīt buferespējas un tās spēj samazināt spureklī esošo skābes līmeni. Sinbiotikas grupas teļu spurekļa iekšējās vides pH rezultāti bija būtiski zemāki nekā prebiotikas grupas teļiem. Promocijas pētījumā novērots, ka arī lokzarnas vidusdaļā pH SynG grupas teļiem bija būtiski zemāks nekā PreG grupas teļiem. Iegūtos

rezultātus ir grūti viennozīmīgi novērtēt, jo mums neizdevās atrast citu zinātnieku pētījumus par prebiotiku, probiotiku un sinbiotiku ietekmi uz atgremotāju zarnu satura pH.

Prebiotikas un sinbiotikas grupu teļiem 56 dienu ilgā barības piedevu izbarošana neietekmēja teļu daudzkameru kuņģa kopējo un relatīvo masu. Tomēr spurekļa histoloģisko struktūru attīstība izrādījās daudz labāka PreG un SynG grupu teļiem nekā kontroles grupas teļiem. Gandrīz visas novērtētās spurekļa *saccus dorsalis* un *saccus ventralis* struktūras (kārpīņu garums un platums, spurekļa sienas kopējā epitēlija un atsevišķi epitēlija pārragotās kārtas (*stratum corneum*) biezums), glumenieka dažādo dziedzeru zonu gļotādas biezums un zarnu (*duodenum*, *jejunum*, *ileum*, *colon*) sieniņas, t.sk., gļotādas biezums uzrādīja labākus rezultātus teļu grupās, kuras saņēma barības piedevas. Teļu daudzkameru kuņģa kopējā un relatīvā masa būtiski neatšķīrās savstarpēji salīdzinot prebiotikas un sinbiotikas grupas. Tomēr novērojām, ka sinbiotikas grupas teļiem, gan spurekļa *saccus dorsalis*, gan spurekļa *saccus ventralis* apvidos kārpīņu garums bija būtiski lielāks nekā prebiotikas teļu grupai. Tas liek domāt, ka rauga *S.cerevisiae* (celms 1026) pievienošana pie topinambūra koncentrāta var paātrināt spurekļa kārpīņu attīstību. Jāpiemin, ka promocijas darba pētījumā gandrīz visi veiktie zarnu gļotādas un arī visas sieniņas biezuma mērījumi sinbiotikas grupas teļiem bija lielāki nekā prebiotikas grupai.

Atgremotāju spurekļa mikrobiālā kolonizācija ir īpaši nozīmīga spurekļa funkcionālajā un morfoloģiskajā attīstībā. Metanogēni ir viena no dominējošajām mikroorganismu grupām spureklī un metanogēnēzes process, kas atgremotājiem galvenokārt notiek spureklī, var liecināt par daudzkameru kuņģa attīstību (Li et al., 2012). Promocijas darba pētījumā prebiotikas un sinbiotikas teļu grupām kopējo metanogēnu daudzums spureklī pētījuma noslēgumā bija līdzīgs kā kontroles grupas teļiem. Arī spureklī biežāk sastopamās metanogēnu sugas (*Methanosphaera stadtmanae*, *Methanobrevibacter ruminantium* un *Methanobrevibacter smithii*) bija bez būtiskām atšķirībām starp šīm pētījuma grupām un kontroles grupas teļiem. Tomēr, novērtējot metanogēno mikroorganismu producētā metāna daudzumu spureklī, tika novērots, ka pētījuma 56. dienā prebiotikas teļu grupai CH₄ produkcija bija augstāka nekā kontroles grupas teļiem. Daudzi metanogēnie mikroorganismi metāna produkcijai izmanto CO₂ un šīs gāzes koncentrācija spureklī šajā paraugu ņemšanas reizē bija būtiski augstāka PreG grupas teļiem, salīdzinot ar CoG grupas teļiem. Savukārt sinbiotikas teļu grupai abu šo gāzu daudzums spureklī pētījuma noslēgumā bija būtiski zemāks nekā CoG grupas teļiem. Savstarpēji salīdzinot prebiotikas un sinbiotikas teļu grupas, novērojām, ka pētījuma 56. dienā SynG grupas teļiem spurekļa šķidrums paraugos kopējo metanogēnu daudzums bija ievērojami lielāks nekā PreG grupu, bet producētā CH₄ daudzums bija mazāks. Iespējams noteiktās metanogēnu sugas nebija tik aktīvas un izdalīja mazāku metāna daudzumu vai arī spureklī pieauga acetogēno baktēriju daudzums, jo sinbiotikas sastāvā esošais raugs patērē skābekli, radot optimālākus apstākļus spurekļa anaerobo baktēriju darbībai un spēj mainīt spureklī fermentācijas procesus, veicinot acetogēno baktēriju augšanu un vairošanos. Šīs baktērijas savukārt konkurē ar metanogēniem mikroorganismiem un izmanto CO₂ un H₂, kas nepieciešams arī metanogēnu augšanai, tādējādi samazinot spureklī gan brīvi pieejamā CO₂ daudzumu, gan CH₄ produkciju (Haque, 2018; Mwenya et al., 2004b; Jouany, 2001; Newbold et al., 1996; Chaucheyras et al., 1995).

Izvērtējot pētījumā izmantotās barības piedevas, nosakot to izmaksas un ekonomisko ieguvumu, ja tās tiek pievienotas pie teļu barības, tad izdevīgāk teļu barībā būtu pievienot 12 g topinambūra koncentrātu ar tā sastāvā esošo prebiotiku inulīnu (6 g), jo šīs teļu grupas dzīvmasas pieaugums bija lielāks nekā teļu grupai, kas papildus pie barības saņēma šīs pašas devas topinambūra koncentrātu sinbiotikā ar 5 g rauga *S.cerevisiae* celmu 1026. Kā arī izbarotās barības piedevas izmaksas prebiotikas grupai bija mazākas.

Tomēr, ja mērķis ir samazināt CH₄ un CO₂ produkciju spureklī, tad būtiski labākus rezultātus var sasniegt, ja teļiem izbaro sinbiotiku (12 g topinambūra koncentrātu kopā ar 5 g rauga *S.cerevisiae* celmu 1026), nevis tikai 12 g topinambūra koncentrātu.

SECINĀJUMI

1. Topinambūra koncentrāta (12 g), kas satur prebiotiku inulīnu (6 g), un tā kombinācijas ar rauga *S.cerevisiae* celmu 1026 (5 g) izbarošana teļiem pārejas periodā no piena uz tilpumaino barību fekāliju konsistenci, kā arī fizioloģiskos pamatrādītājus, hematoloģiskos un bioķīmiskos asins rādītājus saglabāja vecumam atbilstošajās normu robežās.
2. Topinambūra koncentrāta un tā kombinācijas ar *S.cerevisiae* 56 dienu ilga izbarošana, neskatoties uz papildu izdevumiem, ir ekonomiski izdevīga, jo nodrošināja attiecīgi par 17% un 16.5% lielāku dzīvmasas pieaugumu, salīdzinot ar kontroles grupu. Tomēr sinbiotikas izbarošanas izmaksas bija lielākas, kas prognozējamus ienākumus samazināja.
3. Teļiem 13 – 14 nedēļu vecumā greļina imūnreaktīvās šūnas sastopamas ne tikai glumenieka fundālo un pilorisko dziedzeru zonā, bet arī divpadsmitpirkstu un tukšās zarnas vidusdaļās, turklāt barības piedevu (topinambūra koncentrāta vai tā sinbiotikas ar raugu) izbarošana šo šūnu skaitu glumenieka fundālo dziedzeru zonā būtiski samazināja ($p<0.001$), salīdzinot ar kontroles grupu, kas netieši norāda uz labāku barības sagremošanu un sāta sajūtu.
4. Topinambūra koncentrāta un tā kombinācijas ar raugu izbarošana, salīdzinot ar kontroles grupu, neietekmēja kuņģa kopējo un relatīvo masu, bet būtiski ($p<0.001$) palielināja spurekļa *saccus dorsalis* kārpīņu platumu, *saccus dorsalis*, *ventralis* sieniņas epitēlija, t.sk., epitēlija pārragotās kārtas (*stratum corneum*) biezumu un glumenieka visu gļotādas zonu biezumu, kā arī divpadsmitpirkstu un tukšās zarnas sieniņu biezumu, tukšās zarnas un gūžas zarnas gļotādas biezumu, nodrošinot lielāku uzsūkšanās virsmas laukumu.
5. Sinbiotikas izbarošana būtiski ($p<0.001$) palielināja divpadsmitpirkstu, tukšās un lokzarnas sieniņas biezumu un lokzarnas kriptu dziļumu, salīdzinot ar prebiotikas grupas teļiem. Tātad rauga *S.cerevisiae* pievienošana topinambūra koncentrātam veicināja šo zarnu sieniņu mikrostruktūru attīstību.
6. Neskatoties uz to, ka kopējais prokariotu un metanogēnu daudzums 13 – 14 nedēļu vecu teļu spurekļa šķidrumā starp pētījuma grupām un kontroles grupu būtiski neatšķīrās, tomēr teļu grupai, kurai izbaroja topinambūra koncentrātu kombinācijā ar *S.cerevisiae*, spureklī konstatēts būtiski mazāks ($p<0.001$) CH_4 un CO_2 daudzums nekā tikai topinambūra koncentrātu saņēmušajiem un kontroles grupas teļiem. Sinbiotikas sastāvā esošais raugs spēj spureklī mainīt fermentācijas procesus, veicinot acetogēno baktēriju augšanu un vairošanos, kuras konkurē ar metanogēniem par CO_2 un H_2 izmantošanu, tādējādi samazinot spureklī gan brīvi pieejamā CO_2 daudzumu, gan CH_4 produkciju.
7. Topinambūra koncentrāta un tā sinbiotikas ar *S.cerevisiae* celma 1026 raugu izbarošana teļiem pārejas periodā no piena uz tilpumaino barību uzlabo teļu dzīvmasas pieaugumu un gremošanas kanāla attīstību, salīdzinot ar kontroles grupu. Tomēr, savstarpēji salīdzinot pētījuma grupu teļus, konstatējām, ka rauga pievienošana topinambūra koncentrātam būtiski neuzlaboja dzīvmasas pieaugumu, bet būtiski ($p<0.001$) samazināja CO_2 un CH_4 produkciju spureklī.

IETEIKUMI PRAKSEI

1. Topinambūra koncentrāta un tā kombinācijas ar *S.cerevisiae* izbarošana teļiem pārejas periodā no piena uz tilpumaino barību ir ieteicama, jo veicina gremošanas kanāla attīstību un funkcionalitāti, kā arī stabilizē vispārējo veselības stāvokli.
2. No ekonomiskā viedokļa izdevīgāk ir izbarot topinambūra koncentrātu, jo tā pievienošana spēkbarībai (12 g uz 1 teļu dienā) teļiem no 4 – 14 nedēļu vecumam palielina dzīvmasas pieaugumu par 17%, kas var dot papildus ienākumus aptuveni 22 EUR apmērā par vienu teļu.
3. Lai gan topinambūra koncentrāta izbarošana teļiem dod par 0.5% lielāku dzīvmasas pieaugumu, tomēr no siltumnīcas efektu izraisīto gāzu emisijas samazināšanas viedokļa labāk ir izbarot sinbiotiku, kuras sastāvā ietilpst 12 g topinambūra koncentrāts un 5 g rauga *S.cerevisiae* celms 1026, jo tā būtiski ($p < 0.001$) samazina CH_4 un CO_2 produkciju spureklī.

LITERATŪRAS SARAKSTS

1. Abdalla, O. A., EL-Boshy, M. E., Fatma, M., Hamid, A., & Ali, N. M. (2013). Clinicopathological studies of dietary supplementation of *Saccharomyces cerevisiae* in calves. *Journal of American Science*, 9(9), 298-306
2. Abecia, L., Martín-García, A. I., Martínez, G., Newbold, C. J., & Yáñez-Ruiz, D. R. (2013). Nutritional intervention in early life to manipulate rumen microbial colonization and methane output by kid goats postweaning1. *Journal of Animal Science*, 91(10), 4832–4840. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-6142>
3. Abu-Tarboush, H. M., Al-Saiady, M. Y., & Keir El-Din, A. H. (1996). Evaluation of diet containing lactobacilli on performance, fecal coliform, and lactobacilli of young dairy calves. *Animal Feed Science and Technology*, 57(1–2), 39–49. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(95\)00850-0](https://doi.org/10.1016/0377-8401(95)00850-0)
4. Agarwal, N., Kamra, D. N., Chaudhary, L. C., Agarwal, I., Sahoo, A., & Pathak, N. N. (2002). Microbial status and rumen enzyme profile of crossbred calves fed on different microbial feed additives. *Letters in Applied Microbiology*, 34(5), 329–336. <https://doi.org/10.1046/j.1472-765X.2002.01092.x>
5. Alemu, A. W., Ominski, K. H., & Kebreab, E. (2011). Estimation of enteric methane emissions trends (1990-2008) from Manitoba beef cattle using empirical and mechanistic models. *Canadian Journal of Animal Science*, 91(2), 305–321. <https://doi.org/10.4141/cjas2010-009>
6. Allen, M. S. (1997). Relationship between Fermentation Acid Production in the Rumen and the Requirement for Physically Effective Fiber. *Journal of Dairy Science*, 80(7), 1447–1462. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76074-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76074-0)
7. Al-Saiady, M. Y. (2010). Effect of probiotic bacteria on iimmunoglobulin G concentration and other blood components of newborn calves. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 9(3), 604–609. <https://doi.org/10.3923/javaa.2010.604.609>
8. Alshaikh, M. A., Alsiadi, M. Y., Zahran, S. M., Mogawer, H. H., & Aalshowime, T. A. (2002). Effect of feeding yeast culture from different sources on the performance of lactating Holstein cow in Saudi Arabia. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 15(3), 352–356. <https://doi.org/10.5713/ajas.2002.352>
9. Anderson, K. L., Nagaraja, T. G., Morrill, J. L., Avery, T. B., Galitzer, S. J., & Boyer, J. E. (1987). Ruminal microbial development in conventionally or early-weaned calves. *Journal of Animal Science*, 64(4), 1215–1226. <https://doi.org/10.2527/jas1987.6441215x>
10. Annison, G., & Topping, D. L. (1994). Nutritional role of resistant starch: chemical structure vs. physical function. *The Annual Review of Nutrition*, 14(1), 297-320. <https://doi.org/10.1146/annurev.nu.14.070194.001501>
11. Anonymous. (1999). How do mannanoligosaccharides work? *Feed Times*, 1, 7–9.
12. Arne, A., & Ilgaza, A. (2016). Different dose inulin feeding effect on calf digestion canal state and development. In *Research for rural development 2016: Annual 22nd international scientific conference proceedings*, Jelgava, Latvia, 18-20 May, Vol. 1, pp. 116-119.
13. Arne, A., Ilgaza, A., & Kalnina, L. A. (2021). Ghrelin Immunoreactive Cell Amounts in the Abomasum in 4-Month-Old Calves by Feeding Different Amounts of Prebiotics and New Synbiotics. *Veterinary Medicine International*, 2021, Article ID 5542372, 5 pages. <https://doi.org/10.1155/2021/5542372>
14. Asanuma, N., Iwamoto, M., & Hino, T. (1999). The Production of Formate, a Substrate for Methanogenesis, from Compounds Related with the Glyoxylate Cycle by Mixed Ruminal Microbes. *Nihon Chikusan Gakkaiho*, 70(2), 67–73. <https://doi.org/10.2508/chikusan.70.67>

15. Ashby, K. D., Casey, T. A., Rasmussen, M. A., & Petrich, J. W. (2001). Steady-State and Time-Resolved Spectroscopy of F420 Extracted from Methanogen Cells and Its Utility as a Marker for Fecal Contamination. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(3), 1123–1127. <https://doi.org/10.1021/jf000689r>
16. Atkinson, O. (2017). Rumenocentesis: a useful technique for diagnosis and monitoring of rumen health in cattle. *Livestock*, 22(5), 240–243. <https://doi.org/10.12968/LIVE.2017.22.5.240>
17. Bach, A., Iglesias, C., & Devant, M. (2007). Daily rumen pH pattern of loose-housed dairy cattle as affected by feeding pattern and live yeast supplementation. *Animal Feed Science and Technology*, 136(1–2), 146–153. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.09.011>
18. Bacha, F., & Arslanian, S. A. (2005). Ghrelin suppression in overweight children: a manifestation of insulin resistance? *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 90(5), 2725–2730. <https://doi.org/10.1210/JC.2004-1582>
19. Balch, W. E., Fox, G. E., Magrum, L. J., Woese, C. R., & Wolfe, R. S. (1979). Methanogens: Reevaluation of a Unique Biological Group. *Microbiological Reviews*, 43(2), 260–296. <https://doi.org/10.1128/mr.43.2.260-296.1979>
20. Baldwin, R. L., McLeod, K. R., Klotz, J. L., & Heitmann, R. N. (2004). Rumen development, intestinal growth and hepatic metabolism in the pre- and postweaning ruminant. *Journal of Dairy Science*, 87(SUPPL. 1). [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)70061-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)70061-2)
21. Barnett, B. P., Hwang, Y., Taylor, M. S., Kirchner, H., Pfluger, P. T., Bernard, V., Lin, Y., Bowers, E. M., Mukherjee, C., Song, W-J., Longo, P. A., Leahy, D. J., Hussain, M. A., Tschöp, M. H., Boeke, J. D., & Cole, P. A. (2010). Glucose and weight control in mice with a designed ghrelin O-acyltransferase inhibitor. *Science*, 330(6011), 1689–1692. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1196154>
22. Barros, R. P. A., Gabbi, C., Morani, A., Warner, M., & Gustafsson, J. A. (2009). Participation of ER α and ER β in glucose homeostasis in skeletal muscle and white adipose tissue. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 297(1), 124–133. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00189.2009>
23. Beauchemin, K. A., Kreuzer, M., O'Mara, F., & McAllister, T. A. (2008). Nutritional management for enteric methane abatement: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48(2), 21–27. <https://doi.org/10.1071/EA07199>
24. Beauchemin, K. A., McAllister, T. A., & McGinn, S. M. (2009). Dietary mitigation of enteric methane from cattle. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 4(35), 1–18. <https://doi.org/10.1079/PAVSNR20094035>
25. Beauchemin, K. A., Henry J. H., Little, S. M., McAllister, T. A., & McGinn, S. M. (2010). Life cycle assessment of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada: A case study. *Agricultural Systems*, 103(6), 371–379. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.03.008>
26. Beauchemin, K. A., McGinn, S. M., & Petit, H. V. (2007). Methane abatement strategies for cattle: Lipid supplementation of diets. *Canadian Journal of Animal Science*, 87(3), 431–440. <https://doi.org/10.4141/CJAS07011>
27. Bengmark, S. (2005). Bioecologic control of the gastrointestinal tract: The role of flora and supplemented probiotics and synbiotics. *Gastroenterology Clinics of North America*, 34(3), 413–436. <https://doi.org/10.1016/j.gtc.2005.05.002>
28. Benyacoub, J., Rochat, F., Saudan, K. Y., Rochat, I., Antille, N., Cherbut, C., Von Der Weid, T., Schiffrin, E. J., & Blum, S. (2008). Feeding a diet containing a fructooligosaccharide mix can enhance Salmonella vaccine efficacy in mice. *Journal of Nutrition*, 138(1), 123–129. <https://doi.org/10.1093/jn/138.1.123>

29. Bhat, I. A., & Shaheen, M. (2017). Advances in Synbiotic Therapy in the Management of Gastrointestinal Diseases (Enteric Diseases) in Farm Animals. *Veterinary Medicine – Open Journal*, 2(3), 147–152. <https://doi.org/10.17140/vmoj-2-125>
30. Bidarkar, V. K., Swain, P. S., Ray, S., & Dominic, G. (2014). Probiotics: Potential Alternative to Antibiotics in Ruminant Feeding. *Trends in Veterinary and Animal Sciences*, 1(1), 1-4.
31. Blowey, R. W., Wood, D. W., & Davis, J. R., (1973). A nutritional monitoring system for dairy herds based on blood glucose, urea and albumin levels. *Veterinary Record*, 92(26), 691–696. <https://doi.org/10.1136/vr.92.26.691>
32. Blum, J. W., & Hammon, H. (2000). Colostrum effects on the gastrointestinal tract, and on nutritional, endocrine and metabolic parameters in neonatal calves. *Livestock Production Science*, 66(2), 151–159. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(00\)00222-0](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00222-0)
33. Brewer, M. T., Anderson, K. L., Yoon, I., Scott, M. F., & Carlson S. A. (2014). Amelioration of salmonellosis in pre-weaned dairy calves fed *Saccharomyces cerevisiae* fermentation products in feed and milk replacer. *Veterinary Microbiology*, 172, 248–255. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2014.05.026>
34. Brossard, L., Chaucheyras-Durand, F., Michalet-Doreau, B., & Martin, C. (2006). Dose effect of live yeasts on rumen microbial communities and fermentations during butyric latent acidosis in sheep: New type of interaction. *Journal of Animal Science*, 82(6), 829–836. <https://doi.org/10.1017/ASC200693>
35. Brun-Hansen, H. C., Kampen, A. H., & Lund, A. (2006). Hematologic values in calves during the first 6 months of life. *Veterinary Clinical Pathology*, 35(2), 182-187. <https://doi.org/10.1111/j.1939-165x.2006.tb00111.x>
36. Bruno, R. G. S., Rutigliano, H. M., Cerri, R. L. A., Robinson, P. H., & Santos, J. E. P. (2005). Effect of feeding a *Saccharomyces Cerevisiae* yeast culture on lactation performance of dairy cows under heat stress in ruminant nutrition, feed additives and Feedstuffs. *Journal of Animal Science*, 85(1), 310.
37. Bruno, R. G. S., Rutigliano, H. M., Cerri, R. L., Robinson, P. H., & Santos, J. E. P. (2009). Effect of feeding *Saccharomyces Cerevisiae* on performance of dairy cows during summer heat stress. *Animal Feed Science and Technology*, 150(3–4), 175–186. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2008.09.001>
38. Brūveris, Z., Baumane, S., & Dūrītis, I. (2018). Kuņģis (ventriculus, grieķiski gaster). No: Brūveris, Z. *Mājdzīvnieku praktiskā anatomija*. Rīga: Medicīnas apgāds, 301. – 308. lpp.
39. Bull, L. S., Bush, L. J., Friend, J. D., Harris, B., & Jones, E. W. (1965). Incidence of Ruminal Parakeratosis in Calves Fed Different Rations and Its Relation to Volatile Fatty Acid Absorption. *Journal of Dairy Science*, 48(11), 1459–1466. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(65\)88499-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(65)88499-5)
40. Bunglavan, S. J. (2014). Methanogenesis and recent techniques for mitigation of methanogenesis in ruminants. *Journal of Livestock Science*, 5, 35-48.
41. Callaway, E. S., & Martin, S. A. (1997). Effects of a *Saccharomyces cerevisiae* Culture on Ruminal Bacteria that Utilize Lactate and Digest Cellulose. *Journal of Dairy Science*, 80(9), 2035–2044. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76148-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76148-4)
42. Callaway, T. R., Edrington, T. S., Anderson, R. C., Harvey, R. B., Genovese, K. J., Kennedy, C. N., Venn, D. W., & Nisbet, D. J. (2008). Probiotics, prebiotics and competitive exclusion for prophylaxis against bacterial disease. *Animal health research reviews*, 9(2), 217–225. <https://doi.org/10.1017/S1466252308001540>
43. Calsamiglia, S., Blanch, M., Ferret, A., & Moya, D. (2012). Is subacute ruminal acidosis a pH related problem? Causes and tools for its control. *Animal Feed Science and Technology*, 172(1–2), 42–50. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.12.007>

44. Cant, J. P., McBride, B. W., & Croom, W. J. (1996). The Regulation of Intestinal Metabolism and Its Impact on Whole Animal Energetics. *Journal of Animal Science*, 74(10), 2541–2553. <https://doi.org/10.2527/1996.74102541x>
45. Carberry, C. A., Waters, S. M., Kenny, D. A., & Creevey, C. J. (2014). Rumen methanogenic genotypes differ in abundance according to host residual feed intake phenotype and diet type. *Applied and Environmental Microbiology*, 80(2), 586–594. <https://doi.org/10.1128/AEM.03131-13>
46. Carson, F. L. (1997). *Histotechnology: A Self-Instructional Text* (2nd ed.). ASCP Press, Chicago.
47. Chagunda, M. G. G., Römer, D. A. M., & Roberts, D. J. (2009). Effect of genotype and feeding regime on enteric methane, non-milk nitrogen and performance of dairy cows during the winter feeding period. *Livestock Science*, 122(2–3), 323–332. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.09.020>
48. Charalampopoulos, D. & Rastall, R. A. (2012). Prebiotics in foods. *Current Opinion in Biotechnology*, 23(2), 187–191. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2011.12.028>
49. Chaucheyras, F., Fonty, G., Bertin, G., & Gouet, P. (1995). In vitro H₂ utilization by a ruminal acetogenic bacterium cultivated alone or in association with an archaea methanogen is stimulated by a probiotic strain of *Saccharomyces cerevisiae*. *Applied and Environmental Microbiology*, 61(9), 3466–3467. <https://doi.org/10.1128/aem.61.9.3466-3467.1995>
50. Chaucheyras, F., Fonty, G., Bertin, G., Salmon, J. M., & Gouet, P. (1996). Effects of a strain of *Saccharomyces cerevisiae* (Levucell® SC), a microbial additive for ruminants, on lactate metabolism in vitro. *Canadian Journal of Microbiology*, 42(9), 927–933. <https://doi.org/10.1139/m96-119>
51. Chaucheyras-Durand, F., & Durand, H. (2010). Probiotics in animal nutrition and health. *Beneficial Microbes*, 1(1), 3–9. <https://doi.org/10.3920/BM2008.1002>
52. Chaucheyras-Durand, F., Chevaux, E., Martin, C., & Forano, E. (2012). Use of Yeast Probiotics in Ruminants: Effects and Mechanisms of Action on Rumen pH, Fibre Degradation, and Microbiota According to the Diet. In *Probiotic in Animals* (pp. 119–152). <https://doi.org/DOI: 10.5772/50192>
53. Chen, Y. C., Nakthong, C., & Chen, T. C. (2005). Improvement of Laying Hen Performance by Dietary Prebiotic Chicory Oligofructose and Inulin. *International Journal of Poultry Science*, 4(2), 103–108. <https://doi.org/10.3923/ijps.2005.103.108>
54. Chevaux, E., & Fabre, M. M. (2007). Probiotic yeast in small ruminants. *Feed Mix*, 15(1), 28–29.
55. Chianese, D. S., Rotz, C. A., & Richard, T. L. (2009a). Simulation of Methane Emissions From Dairy Farms to Assess Greenhouse Gas Reduction Strategies. *Transactions of the ASABE*, 52(4), 1313–1323.
56. Chianese, D. S., Rotz, C. A., & Richard, T. L. (2009b). Whole-Farm Greenhouse Gas Emissions: A Review with Application to a Pennsylvania Dairy Farm. *Applied Engineering in Agriculture*, 25(3), 431–442.
57. Christophersen, C. T., Wright, A. D. G., & Vercoe, P. E. (2008). In vitro methane emission and acetate:propionate ratio are decreased when artificial stimulation of the rumen wall is combined with increasing grain diets in sheep. *Journal of Animal Science*, 86(2), 384–389. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0373>
58. Chung, Y. H., Walker, N. D., McGinn, S. M., & Beauchemin, K. A. (2011). Differing effects of 2 active dried yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) strains on ruminal acidosis and methane production in nonlactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 94(5), 2431–2439. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3277>
59. Coll, A. P., Farooqi, I. S., & O’Rahilly, S. (2007). The hormonal control of food intake. *Cell*, 129(2), 251–262. <https://doi.org/10.1016/J.CELL.2007.04.001>

60. Collado, M. C., & Sanz, Y. (2007). Quantification of mucosa-adhered microbiota of lambs and calves by the use of culture methods and fluorescent in situ hybridization coupled with flow cytometry techniques. *Veterinary Microbiology*, 121(3-4), 299-306. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2006.12.006>
61. Costa, N. A., Pansani, A. P., de Castro, C. H., Colugnati, D. B., Xaxier, C. H., Guimarães, K. C., Rabelo, L. A., Nunes-Souza, V., Caixeta, L. F. S., & Ferreira, R. N. (2019). Milk restriction or oligosaccharide supplementation in calves improves compensatory gain and digestive tract development without changing hormone levels. *PLoS ONE*, 14(3), e0214626–e0214626. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214626>
62. Cummings, D. E., Purnell, J. Q., Frayo, R. S., Schmidova, K., Wisse, B. E., & Weigle, D. S. (2001). A preprandial rise in plasma ghrelin levels suggests a role in meal initiation in humans. *Diabetes*, 50(8), 1714–1719. <https://doi.org/10.2337/DIABETES.50.8.1714>
63. Czerkawski, J. W., & Breckenridge, G. (1969). Fermentation of various soluble carbohydrates by rumen micro-organisms with particular reference to methane production. *British Journal of Nutrition*, 23(4), 925–937. <https://doi.org/10.1079/bjn19690104>
64. Danielsson, R., Werner-Omazic, A., Ramin, M., Schnürer, A., Griinari, M., Dicksved, J., & Bertilsson, J. (2014). Effects on enteric methane production and bacterial and archaeal communities by the addition of cashew nut shell extract or glycerol-An in vitro evaluation. *Journal of Dairy Science*, 97(9), 5729–5741. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-7929>
65. Dar, A. H., Singh, S. K., Palod, J., Kurat-ul-Ain, Kumar, N., Khadda, B. S., & Farooq, F. (2017). Effect of Probiotic, Prebiotic and Synbiotic on Hematological Parameters of Crossbred Calves. *International Journal of Livestock Research*, 7(4), 127–136. <https://doi.org/10.5455/ijlr.20170312053224>
66. Date, Y., Kojima, M., Hosoda, H., Sawaguchi, A., Mondal, M. S., Suganuma, T., Matsukura, S., Kangawa, K., & Nakazato, M. (2000a). Ghrelin, a novel growth hormone-releasing acylated peptide, is synthesized in a distinct endocrine cell type in the gastrointestinal tracts of rats and humans. *Endocrinology*, 141(11), 4255–4261. <https://doi.org/10.1210/endo.141.11.7757>
67. Date, Y., Murakami, N., Kojima, M., Kuroiwa, T., Matsukura, S., Kangawa, K., & Nakazato, M. (2000b). Central effects of a novel acylated peptide, ghrelin, on growth hormone release in rats. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 275(2), 477–480. <https://doi.org/10.1006/BBRC.2000.3342>
68. Date, Y., Murakami, N., Toshinai, K., Matsukura, S., Nijima, A., Matsuo, H., Kangawa, K., & Nakazato, M. (2002a). The role of the gastric afferent vagal nerve in ghrelin-induced feeding and growth hormone secretion in rats. *Gastroenterology*, 123(4), 1120–1128. <https://doi.org/10.1053/gast.2002.35954>
69. Date, Y., Nakazato, M., Hashiguchi, S., Dezaki, K., Mondal, M. S., Hosoda, H., Kojima, M., Kangawa, K., Arima, T., Matsuo, H., Yada, T., & Matsukura, S. (2002b). Ghrelin is present in pancreatic α -cells of humans and rats and stimulates insulin secretion. *Diabetes*, 51(1), 124–129. <https://doi.org/10.2337/diabetes.51.1.124>
70. Dawson, K. A., & Tricarico, J. (2002). The evolution of yeast cultures-20 years of research. *Navigating from Niche Markets to Mainstream. Proceedings of Alltech's European, Middle Eastern and African Lecture Tour*, 26–43.
71. Dawson, K. A., Newman, K. E., & Boling, J. A. (1990). Effects of microbial supplements containing yeast and lactobacilli on roughage-fed ruminal microbial activities. *Journal of Animal Science*, 68(10), 3392–3398. <https://doi.org/10.2527/1990.68103392x>
72. Degola, L., Trūpa, A., Aplociņa, E., & Berziņa, L. (2015). Methane from enteric fermentation of livestock in Latvia. In *Proceedings of the 25th NJF Congress*, Riga, Latvia, 16-18 June, pp. 270–273.

73. Degola, L., Trūpa, A., & Aplociņa, E. (2016). *Lopbarības ķīmiskās analīzes un sagremojamība*. LLU, Jelgava.
74. de la Cour, C. D., Norlen, P., & Håkanson, R. (2007). Secretion of ghrelin from rat stomach ghrelin cells in response to local microinfusion of candidate messenger compounds: a microdialysis study. *Regulatory Peptides*, 143(1–3), 118–126. <https://doi.org/10.1016/J.REGPEP.2007.05.001>
75. Delzenne, N. M., Kok, N., Deloyer, P., & Dandrifosse, G. (2000). Dietary fructans modulate polyamine concentration in the cecum of rats. *Journal of Nutrition*, 130(10), 2456–2460. <https://doi.org/10.1093/jn/130.10.2456>
76. Denev, S. A. (2006). Role of Lactobacilli in Gastrointestinal Ecosystem. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 12(1), 63–114.
77. Denev, S. A., Peeva, T., Radulova, P., Stancheva, N., Staykova, G., Beev, G., Todorova, P., & Tchobanova, S. (2007). Yeast Cultures in Ruminant Nutrition. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 13, 357–374.
78. Denev, S. A., Suzuki, I., & Kimoto, H. (2000). Role of Lactobacilli in Human and Animal Health. *Nihon Chikusan Gakkaiho*, 71(6), 549–562. <https://doi.org/10.2508/chikusan.71.549>
79. Desnoyers, M., Giger-Reverdin, S., Bertin, G., Duvaux-Ponter, C., & Sauvant, D. (2009). Meta-analysis of the influence of *Saccharomyces cerevisiae* supplementation on ruminal parameters and milk production of ruminants. *Journal of Dairy Science*, 92(4), 1620–1632. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1414>
80. Dezaki, K., Sone, H., Koizumi, M., Nakata, M., Kakei, M., Nagai, H., Hosoda, H., Kangawa, K., & Yada, T. (2006) Blockade of pancreatic islet-derived ghrelin enhances insulin secretion to prevent high-fat diet-induced glucose intolerance. *Diabetes*, 55(12), 3486–3493. <https://doi.org/10.2337/db06-0878>
81. Diao, Q., Zhang, R., & Tu, Y. (2017). Current research progresses on calf rearing and nutrition in China. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(12), 2805–2814. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61767-2](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61767-2)
82. Diaz, T. G., Branco, A. F., Jacovaci, F. A., Jobim C. C., Bolson, D. C., & Daniel, J. L. P. (2018). Inclusion of live yeast and mannan-oligosaccharides in high grain-based diets for sheep: Ruminal parameters, inflammatory response and rumen morphology. *PLOS ONE*, 13, e0193313. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193313>
83. Dillane, P., Krump, L., Kennedy, A., Sayers, R. G., & Sayers, G. P. (2018). Establishing blood gas ranges in healthy bovine neonates differentiated by age, sex, and breed type. *Journal of Dairy Science*, 101(4), 3205–3212. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13445>
84. Ding, G., Chang, Y., Zhao, L., Zhou, Z., Ren, L., & Meng, Q. (2014). Effect of *Saccharomyces cerevisiae* on alfalfa nutrient degradation characteristics and rumen microbial populations of steers fed diets with different concentrate-to-forage ratios. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 5(1), 1–24. <https://doi.org/10.1186/2049-1891-5-24>
85. Dobicki, A., Pres J., Łuczak, W., & Szyrner, A., (2005). Influence of dried brewery's yeast on body weight gains, physiological and biochemical indicators of blood and development of the rumen microorganisms in calves. *Medycyna Weterynaryjna*, 61(8), 946–949. [in Polish].
86. Doležal, P., Doležal, J., & Trínáctý, J. (2005). The effect of *Saccharomyces cerevisiae* on ruminal fermentation in dairy cows. *Czech Journal of Animal Science*, 50(11), 503–510. <https://doi.org/10.17221/4255-CJAS>
87. Dunn, O. J. (1964). Multiple comparisons using rank sums. *Technometrics*, 6(3), 241–252.
88. Durand-Chaucheyras, F., Fonty, G., Bertin, G., Théveniot, M., & Gouet, P. (1998). Fate of Levucell® SC I-1077 yeast additive during digestive transit in lambs. *Reproduction Nutrition Development*, 38(3), 275–280. <https://doi.org/10.1051/rnd:19980307>

89. Eckard, R. J., Grainger, C., & de Klein, C. A. M. (2010). Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: A review. *Livestock Science*, 130(1–3), 47–56. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.02.010>
90. Eckert, E., Brown, H. E., Leslie, K. E., DeVries, T. J., & Steele, M. A. (2015). Weaning age affects growth, feed intake, gastrointestinal development, and behavior in Holstein calves fed an elevated plane of nutrition during the preweaning stage. *Journal of Dairy Science*, 98(9), 6315–6326. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-9062>
91. Eladawi, O. I., Gouda, S. M., Elnaggar, E. M., & Maghawry, S. El. (2020). Evaluation Study on the Effect of *Saccharomyces cerevisiae* 1026 and *Lactobacillus casei* on Some Ruminal and Biochemical Parameters in Fattening Calves. *Zagazig Veterinary Journal*, 48(2), 153–164. <https://doi.org/10.21608/zvjz.2020.20416.1088>
92. El-Ashry, M. A., Fayed, A. M., Youssef, K. M., Salem, F. A. & Aziz, H. S. (2003). Effect of feeding flavomycin or yeast as feed supplement on lambs performance in Sinai. *Egyptian Journal of Nutrition and Feeds*, 6, 1009-1022.
93. El-Ashry, M. A., Motagally, Zeba, A., & Maareck, Y. A. (2001). Effect of live dried baker's yeast with or without acidification of milk and yeast culture on performance of suckling buffalo calves. *Egyptian Journal of Nutrition and Feeds*, 4, 605-606.
94. Ellis, J. L., Kebreab, E., Odongo, N. E., McBride, B. W., Okine, E. K., & France, J. (2007). Prediction of Methane Production from Dairy and Beef Cattle. *Journal of Dairy Science*, 90, 3456–3467. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-675>
95. El-Shaer, E. K. H. I. (2003). *Effect of yeast culture supplementation and concentrate roughage ratio on performance of growing lambs*. [M. Sc. Thesis, Faculty of Agriculture Mansoura University].
96. Enishi, O. (2007). Greenhouse gas emissions caused from livestock in Japan. In *Proceedings of the 4th Workshop on Greenhouse Gas Inventories in Asia*, Jakarta. National Institute for Environmental Studies, Japan.
97. Ensminger, M. E., Oldfield, J. E., & Heinemann, W. W. (1990). *Feeds and Nutrition*. 2nd ed. The Ensminger Publishing Company, Clovis, CA.
98. Feng, Lv., Wang, X., Pang, X., & Liu, G. (2020). Effects of supplementary feeding on the rumen morphology and bacterial diversity in lambs. *Peer J*, 8, e9353. <https://doi.org/10.7717/peerj.9353>
99. Fleck, D., He, Y., Alexander, C., Jacobson, G., & Cunningham, K. (2013). Simultaneous soil flux measurements of five gases - N₂O, CH₄, CO₂, NH₃, and H₂O - with the Picarro G2508. Picarro Appl. Note AN034.
100. Fleming, S., & Groot, W. J. (1979). Preparation of high-fructose syrup from the tubers of the Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*). *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 12(1), 1–28.
101. Flickinger, E. A., Van Loo, J., & Fahey, G. C. (2003). Nutritional responses to the presence of inulin and oligofructose in the diets of domesticated animals: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 43(1), 19–60. <https://doi.org/10.1080/10408690390826446>
102. Fomenky, B. E., Chiquette, J., Bissonnette, N., Talbot, G., Chouinard, P. Y., & Ibeagha-Awemu, E. M. (2017). Impact of *Saccharomyces cerevisiae* boulardii CNCMI-1079 and *Lactobacillus acidophilus* BT1386 on total lactobacilli population in the gastrointestinal tract and colon histomorphology of Holstein dairy calves. *Animal Feed Science and Technology*, 234, 151–161. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.08.019>
103. Fonty, A. R. D. (1987). Establishment of the Microflora and Anaerobic Fungi in the Rumen of Lambs. *Journal of General Microbiology*, 133(7), 1835–1843. <https://doi.org/10.1099/00221287-133-7-1835>

104. Fonty, G., Senaud, J., Jouany, J. P., & Gouet, P. (1988). Establishment of ciliate protozoa in the rumen of conventional and conventionalized lambs: influence of diet and management conditions. *Canadian Journal of Microbiology*, 34(3), 235–241. <https://doi.org/10.1139/m88-044>
105. Forster, P., Ramaswamy, V., Artaxo, P., Bernsten, T., Betts, R., Fahey, D. W., Haywood, J., Lean, J., Lowe, D. C., Myhre, G., Nganga, J., Prinn, R., Raga, G., Schulz, M., & Van Dorland, R. (2007). Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, & H. L. Miller (Eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 129–234). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
106. Francia, A. Di, Masucci, F., De Rosa, G., Varricchio, M. L., & Proto, V. (2008). Effects of *Aspergillus oryzae* extract and a *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product on intake, body weight gain and digestibility in buffalo calves. *Animal Feed Science and Technology*, 140(1), 67–77. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.02.010>
107. Fujisawa, T., Sadatoshi, A., Ohashi, Y., Orihashi, T., Sakai, K., Sera, K., & Kanbe, M. (2010). Influences of Prebio SupportTM (Mixture of Fermented Products of *Lactobacillus gasseri* OLL2716 and *Propionibacterium freudenreichii* ET-3) on the Composition and Metabolic Activity of Fecal Microbiota in Calves. *Bioscience Microflora*, 29(1), 41–45. <https://doi.org/10.12938/bifidus.29.41>
108. Furness, J. B., Rivera, L. R., Cho, H. J., Bravo, D. M., & Callaghan, B. (2013). The gut as a sensory organ. *Nature Reviews. Gastroenterology & Hepatology*, 10(12), 729–740. <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2013.180>
109. Gäbel, G., Aschenbach, J. R., & Müller, F. (2002). Transfer of energy substrates across the ruminal epithelium: implications and limitations. *Animal Health Research Reviews*, 3(1), 15–30. <https://doi.org/10.1079/ahrr200237>
110. Gäbel, P. G., Bestmann, M., & Martens, H. (1991). Influences of Diet, Short-Chain Fatty Acids, Lactate and Chloride on Bicarbonate Movement across the Reticulo-Rumen Wall of Sheep. *Journal of Veterinary Medicine Series A*, 38(1–10), 523–529. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0442.1991.tb01043.x>
111. Galindo, J., Galindo, J., Marrero, Y., Sosa, A., Miranda, A. L., Aldana, A. I., Moreira, O., Delgado, D., Torres, V., & Noda, A. (2010). Effect of preparations with the viable yeasts *Saccharomyces cerevisiae* and LEVICA-25 on methanogens and in vitro ruminal methanogenesis. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 44(3), 267–272.
112. Galvão, K. N., Santos, J. E. P., Coscioni, A., Villaseñor, M., Sischo, W. M., & Berge, A. C. B. (2005). Effect of feeding live yeast products to calves with failure of passive transfer on performance and patterns of antibiotic resistance in fecal *Escherichia coli*. *Reproduction Nutrition Development*, 45(4), 427–440. <https://doi.org/10.1051/rnd:2005040>
113. Gao, J., Zhang, H. J., Yu, S. H., Wu, S. G., Yoon, I., Quigley, J., Gao, Y. P., & Qi, G. H. (2008). Effects of yeast culture in broiler diets on performance and immunomodulatory functions. *Poultry Science*, 87(7), 1377–1384. <https://doi.org/10.3382/ps.2007-00418>
114. Gee, J. M., Lee-Finglas, W., Wortley, G. W., & Johnson, I. T. (1996). Fermentable carbohydrates elevate plasma enteroglucagon but high viscosity is also necessary to stimulate small bowel mucosal cell proliferation in rats. *Journal of Nutrition*, 126(2), 373–379. <https://doi.org/10.1093/jn/126.2.373>
115. Ghazanfar, S., Anjum, M. I., Azim, A., & Ahmed, I. (2015). The effects of dietary supplementation of yeast (*saccharomyces cerevisiae*) culture on growth performance, blood parameters, nutrient digestibility and fecal flora of dairy heifers. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 25(1), 53–59.

116. GHGMP. (2005). *Good management practice-greenhouse gas emissions*. GHGMP for Canadian Agriculture and AAFC, Canada.
117. Ghosh, S., & Mehla, R. K. (2012). Influence of dietary supplementation of prebiotics (mannanooligosaccharide) on the performance of crossbred calves. *Tropical Animal Health and Production*, 44(3), 617–622. <https://doi.org/10.1007/s11250-011-9944-8>
118. Gibson, G. R., & Roberfroid, M. B. (1995). Dietary modulation of the human colonic microbiota: Introducing the concept of prebiotics. *Journal of Nutrition*, 125(6), 1401–1412. <https://doi.org/10.1093/jn/125.6.1401>
119. Giger-Reverdin, S., Sauvant, D., Ledin, I., & Morand-Fehr, P. (1998). Methane production in sheep in relation to concentrate feed composition from bibliographic data. In *Proceedings of the 8th Seminar of the Sub-Network on Nutrition of the FAOCIHEAM Inter-Regional Cooperative Research and Development Network on Sheep and Goats*, Gignon, France, pp. 1022–1379.
120. Girard, I. D., Jones, C. R., & Dawson, K. A. (1993). Lactic acid utilization rumen simulating cultures receiving a yeast culture supplement. *Journal of Animal Science*, 71(Suppl. 1), 288.
121. Gnanapavan, S., Kola, B., Bustin, S. A., Morris, D. G., McGee, P., Fairclough, P., Bhattacharya, S., Carpenter, R., Grossman, A. B., & Korbonits, M. (2002). The tissue distribution of the mRNA of ghrelin and subtypes of its receptor, GHS-R, in humans. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 87(6), 2988–2991. <https://doi.org/10.1210/jcem.87.6.8739>
122. Goad, D. W., Goad, C. L., & Nagaraja, T. G. (1998). Ruminal microbial and fermentative changes associated with experimentally induced subacute acidosis in steers. *Journal of Animal Science*, 76(1), 234–241. <https://doi.org/10.2527/1998.761234x>
123. Górka, P., Kowalski, Z. M., Pietrzak, P., Kotunia, A., Jagusiak, W., & Zabielski, R. (2011). Is rumen development in newborn calves affected by different liquid feeds and small intestine development?. *Journal of Dairy Science*, 94(6), 3002–3013. doi:10.3168/jds.2010-3499
124. Govil, K., Yadav, D. S., Patil, A. K., Nayak, S., Baghel, R. P. S., Yadav, P. K., Malapure, C. D., & Thakur, D. (2017). Feeding management for early rumen development in calves. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 5(3), 1132–1139.
125. Graham, C., & Simmons, N. L. (2005). Functional organization of the bovine rumen epithelium. *American Journal of Physiology - Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 288, R173–R181. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00425.2004>
126. Grenet, E., Breton, A., Barry, P., & Fonty, G. (1989). Rumen anaerobic fungi and plant substrate colonization as affected by diet composition. *Animal Feed Science and Technology*, 26(1–2), 55–70. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(89\)90006-0](https://doi.org/10.1016/0377-8401(89)90006-0)
127. Grinfelde, I., Ilgaza, A., Jonova, S., Arne, A., & Kovalenko, K. (2018). Inulin impact on CO₂ and CH₄ balance in Holstein Friesian crossbreed calves rumen. In *18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, Sofia, Bulgaria, 02-08 July, 18(4.2.), pp. 507–513. <https://doi.org/10.5593/sgem2018/4.2/S19.066>
128. Gropp, E., Shanabrough, M., & Borok, E. (2005). Agouti-related peptide-expressing neurons are mandatory for feeding. *Nature Neuroscience*, 8(10), 1289–1291. <https://doi.org/10.1038/nn1548>
129. Guo, Y. Q., Hu, W. L., & Liu, J. X. (2005). Methanogens and manipulation of methane production in the rumen. *Wei Sheng Wu Xue Bao*, 45(1), 145–148.
130. Guzman, C. E., Bereza-Malcolm, L. T., De Groef, B., & Franks, A. E. (2015). Presence of selected methanogens, fibrolytic bacteria, and proteobacteria in the gastrointestinal tract of neonatal dairy calves from birth to 72 hours. *PLoS ONE*, 10(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133048>

131. Haga, S., Fujimoto, S., Yonezawa, T., Yoshioka, K., Shingu, H., Kobayashi, Y., Takahashi, T., Otani, Y., Katoh, K., & Obara, Y. (2008). Changes in hepatic key enzymes of dairy calves in early weaning production systems. *Journal of Dairy Science*, 91(8), 3156-3164. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0853>
132. Hamada, T. (1984). Importance of Blood Glucose and Ketones in the Evaluation of Nutritional State of the Ruminant. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 18(1), 48-52.
133. Hammond, A. (1998). Use of BUN and MUN as guides for protein and energy supplementation in cattle. *Revista Corpoica*, 2, 44-48.
134. Hansen, J., Sato, M., Kharecha, P., Russell, G., Lea, D. W., & Siddall, M. (2007). Climate change and trace gases. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 365(1856), 1925-1954. <https://doi.org/10.1098/rsta.2007.2052>
135. Haque, M. N. (2018). Dietary manipulation: A sustainable way to mitigate methane emissions from ruminants. *Journal of Animal Science and Technology*, 50, 15. <https://doi.org/10.1186/s40781-018-0175-7>
136. Harvey, J. W. (1997). The erythrocyte: physiology, metabolism, and biochemical disorders. In J. J. Kaneko, J. W. Harvey & M. L. Bruss (Eds.), *Clinical biochemistry of domestic animals* (pp. 157-203). Academic Press, San Diego.
137. Hassan, A. A., Salem, A. Z. M., Kholif, A. E., Samir, M., Yacout, M. H., Hafsa, S. H. A., Mendoza, G. D., Elghandour, M. M. Y., Ayala, M., & Lopez, S. (2016). Performance of crossbred dairy Friesian calves fed two levels of *Saccharomyces cerevisiae*: Intake, digestion, ruminal fermentation, blood parameters and faecal pathogenic bacteria. *Journal of Agricultural Science*, 154(8), 1488-1498. <https://doi.org/10.1017/S0021859616000599>
138. Hawthorne, K. M., & Abrams, S. A. (2007). Prebiotics and the absorption of minerals: a review of experimental and human data. In G. R. Gibson & M. Roberfroid (Eds.), *Handbook of Prebiotics* (pp. 105-113), CRC Press, London.
139. Hayashida, T., Murakami, K., Mogi, K., Nishihara, M., Nakazato, M., Mondal, M. S., Horii, Y., Kojima, M., Kangawa, K., & Murakami, N. (2001). Ghrelin in domestic animals: distribution in stomach and its possible role. *Domestic Animal Endocrinology*, 21(1), 17-24. [https://doi.org/10.1016/S0739-7240\(01\)00104-7](https://doi.org/10.1016/S0739-7240(01)00104-7)
140. Hegarty, R. S. (2002). Strategies for mitigating methane emissions from livestock. Australian options and opportunities. *Proceedings of 1st International Conference on Greenhouse Gases and Animal Agriculture*, Obihiro, Japan, pp. 61-65.
141. Hegarty, R. S., Goopy, J. P., Herd, R. M., & McCorkell, B. (2007). Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production^{1,2}. *Journal of Animal Science*, 85(6), 1479-1486. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-236>
142. Heinrichs, A. J., Jones, C. M., Elizondo-Salazar, J. A., & Terrill, S. J. (2009). Effects of a prebiotic supplement on health of neonatal dairy calves. *Livestock Science*, 125(2-3), 149-154. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.04.003>
143. Heinrichs, A. J., & Hargrove, G. L. (1987). Standards of Weight and Height for Holstein Heifers. *Journal of Dairy Science*, 70(3), 653-660. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(87\)80055-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(87)80055-3)
144. Heinrichs, J. (2005). Rumen development in the dairy calf. *Advance Dairy Technology*, 17(1), 179-187.
145. Henderson, G., Cox, F., Ganesh, S., Jonker, A., Young, W., Janssen, P. H., Abecia, L., Angarita, E., Aravena, P., Arenas, G. N., Ariza, C., Attwood, G. T., Avila, J. M., Avila-Stagno, J., Bannink, A., Barahona, R., Batistotti, M., Bertelsen, M. F., Brown-Kav, A., & Zunino, P. (2015). Rumen microbial community composition varies with diet and host, but a core microbiome is found across a wide geographical range. *Scientific Reports*, 5(1), 14567. <https://doi.org/10.1038/srep14567>

146. Hernandez, A., Kholif, A. E., Elghandour, M. M. Y., Camacho, L. M., Cipriano, M. M., Salem, A. Z. M., Cruz, H., & Ugbogu, E. A. (2017). Effectiveness of xylanase and *Saccharomyces cerevisiae* as feed additives on gas emissions from agricultural calf farms. *Journal of Cleaner Production*, 148(148), 616–623. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.070>
147. Hinders, R. G., & Owen, F. G. (1965). Relation of Ruminant Parakeratosis Development to Volatile Fatty Acid Absorption. *Journal of Dairy Science*, 48(8), 1069–1073. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(65\)88393-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(65)88393-X)
148. Hindrichsen, I. K., Wettstein, H. R., Machmüller, A., Soliva, C. R., Bach Knudsen, K. E., Madsen, J., & Kreuzer, M. (2004). Effects of feed carbohydrates with contrasting properties on rumen fermentation and methane release in vitro. *Canadian Journal of Animal Science*, 84(2), 265–276. <https://doi.org/10.4141/A03-095>
149. Hirayama, M. (2002). Novel physiological functions of oligosaccharides. *Pure and Applied Chemistry*, 74(7), 1271–1279. <http://dx.doi.org/10.1351/pac200274071271>
150. Hodgson, J. (1971). The development of solid food intake in calves 4. The effect of the addition of material to the rumen, or its removal from the rumen, on voluntary food intake. *Animal Production*, 13(4), 581–592. <https://doi.org/10.1017/S0003356100000040>
151. Hook, S. E., Wright, A. D. G., & McBride, B. W. (2010). Methanogens: Methane producers of the rumen and mitigation strategies. *Archaea*, 945785. <https://doi.org/10.1155/2010/945785>
152. Hossain, S. A., Parnerkar, S., Haque, N., Gupta, R. S., Kumar D., & Tyagi, A. K. (2012). Influence of Dietary Supplementation of Live Yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) on Nutrient Utilization, Ruminant and Biochemical Profiles of Kankrej Calves. *International Journal of Applied Sciences*, 1(1), 30-38.
153. Huarte, A., Cifuentes, V., Gratton, R., & Clausse, A. (2010). Correlation of methane emissions with cattle population in Argentine Pampas. *Atmospheric Environment*, 44(23), 2780–2786. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.03.012>
154. Hučko, B., Bampidis, V. A., Kodeš, A., Christodoulou, V., Mudřík, Z., Poláková, K., & Plachý, V. (2009). Rumen fermentation characteristics in pre-weaning calves receiving yeast culture supplements. *Czech Journal of Animal Science*, 54(10), 435–442. <https://doi.org/10.17221/1674-cjas>
155. Hungate, R. E., Smith, W., Bauchop, T., Yu, I., & Rabinowitz, J. C. (1970). Formate as an Intermediate in the Bovine Rumen Fermentation. *Journal of Bacteriology*, 102(2), 389-397.
156. Ilgaza, A., Arne, A., Gorodko, S., & Ilgazy, A. (2016). Impact of inulin on calves' growth and possible reduction of greenhouse gas emission. *AGROFOR International Journal*, 1(2), 88–94.
157. IPCC. (1995). *Intergovernmental Panel on Climate Changes. Climate Change. The Second IPCC Scientific Assessment*, WMO/ UNEP. <https://archive.ipcc.ch/pdf/climate-changes-1995/ipcc-2nd-assessment/2nd-assessment-en.pdf>
158. IPCC. (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGI_TAR_full_report.pdf
159. Ishler, V. (2016). *Carbon, methane emissions and the dairy cow*. <https://docs.ufpr.br/~freitasjaf/artigos/metanovacas.pdf>
160. Jackson, P., & Cockcroft P. (2002). *Clinical Examination of Farm Animals*. Blackwell Science Ltd.
161. Jain, N. C. (1993). *Essentials of Veterinary Haematology*. Lea & Febiger, Philadelphia, USA.
162. Jami, E., Israel, A., Kotser, A., & Mizrahi, I. (2013). Exploring the bovine rumen bacterial community from birth to adulthood. *ISME Journal*, 7(6), 1069–1079. <https://doi.org/10.1038/ismej.2013.2>

163. Janssen, P. H., & Kirs, M. (2008). Structure of the archaeal community of the rumen. In *Applied and Environmental Microbiology*, 74(12), 3619–3625. <https://doi.org/10.1128/AEM.02812-07>
164. Jatkauskas, J., & Vrotniakienė, V. (2010). Effects of probiotic dietary supplementation on diarrhoea patterns, faecal microbiota and performance of early weaned calves. *Veterinariji Medicina*, 55(10), 494–503. <https://doi.org/10.17221/2939-VETMED>
165. Jazbec, I. (1990). Klinično laboratorijska diagnostika. In I. Jazbec (Eds.), pp. 82–206, Veterinarska fakulteta, Ljubljana, Slovenija.
166. Jeyanathan, J., Martin, C., & Morgavi, D. P. (2014). The use of direct-fed microbials for mitigation of ruminant methane emissions: A review. *Animal*, 8(2), 250–261. <https://doi.org/10.1017/S1751731113002085>
167. Ježek, J. (2007). The dynamics of serum immunoglobulin concentrations and hematological and biochemical parameters in the period to the age of 24 weeks in differently reared calves, pp. 172, *Univerza v Ljubljani, Veterinarska fakulteta*, Ljubljana, Slovenija.
168. Ježek, J., Nemec, M., Starič, J., & Klinkon, M. (2011). Age related changes and reference intervals of haematological variables in dairy calves. *Bulletin of the Veterinary Institute in Pulawy*, 55(3), 471–478.
169. Jiao, J., Li, X., Beauchemin, K. A., Tan, Z., Tang, S., & Zhou, C. (2015). Rumen development process in goats as affected by supplemental feeding v . grazing: age-related anatomic development, functional achievement and microbial colonisation. *British Journal of Nutrition*, 113(6), 888–900. <https://doi.org/10.1017/S0007114514004413>
170. Johnson, K. A., & Johnson, D. E. (1995). Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science*, 73(8), 2483–2492. <https://doi.org/10.2527/1995.7382483x>
171. Jonova, S., Ilgaza, A., & Zolovs, M. (2021). The Impact of Inulin and a Novel Synbiotic (Yeast *Saccharomyces cerevisiae* Strain 1026 and Inulin) on the Development and Functional State of the Gastrointestinal Canal of Calves. *Veterinary Medicine International*, 2021, Article ID 88484441, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2021/8848441>
172. Jost, T., Lacroix, C., Braegger, C. P., & Chassard, C. (2012). New Insights in Gut Microbiota Establishment in Healthy Breast Fed Neonates. *PLoS ONE*, 7(8), e44595. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0044595>
173. Jouany, J. P. (2001). 20 years of research and now more relevant than ever- the coming of age of yeast cultures in ruminant diets. In *Responding to a Changing Agricultural Landscape. Alltech's European, Middle Eastern and African Lecture Tour*, pp. 44–69.
174. Jurk, K., & Kehrel, B. E. (2005). Platelets: physiology and biochemistry. *Seminars in Thrombosis and Hemostasis*, 31(4), 381–392. <https://doi.org/10.1055/s-2005-916671>
175. Juśkiewicz, J., Jankowski, J., Zduńczyk, Z., & Mikulski, D. (2006). Performance and Gastrointestinal Tract Metabolism of Turkeys Fed Diets with Different Contents of Fructooligosaccharides. *Poultry Science*, 85(5), 886–891. <https://doi.org/10.1093/ps/85.5.886>
176. Kaiya, H., Sakata, I., Yamamoto, K., Koda, A., Sakai, T., Kangawa, K., & Kikuyama, S. (2006). Identification of immunoreactive plasma and stomach ghrelin, and expression of stomach ghrelin mRNA in the bullfrog, *Rana catesbeiana*. *General and Comparative Endocrinology*, 148(2), 236–244. <https://doi.org/10.1016/J.YGCEN.2006.03.008>
177. Kaldmae, H., Suurmets, H., Jarveots, T., Suuroja, T., & Kart, O. (2008). Effects of supplemental yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) culture on rumen development and growth in calves. *Akadeemiline Pollumajanduse Selts*, 19, 19–23.
178. Kaneko, J. J., Harvey, J. W., & Bruss, M. (2008). Clinical biochemistry of domestic animals. 6th ed. Elsevier Academic Press London, 905 pp.

179. Karlsson, C. L. J., Molin, G., Fåk, F., Johansson Hagslätt, M. L., Jakešević, M., Håkansson, Å., Jeppsson, B., Weström, B., & Ahrné, S. (2011). Effects on weight gain and gut microbiota in rats given bacterial supplements and a high-energy-dense diet from fetal life through to 6 months of age. *British Journal of Nutrition*, 106(6), 887–895. <https://doi.org/10.1017/S0007114511001036>
180. Kaur, I. P., Chopra, K., Saini, A. (2002). Probiotics: potential pharmaceutical applications. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 15(1), 1-9. [https://doi.org/10.1016/s0928-0987\(01\)00209-3](https://doi.org/10.1016/s0928-0987(01)00209-3).
181. Kehoe, S. I., Heinrichs, A. J., Baumrucker, C. R., & Greger, D. L. (2008). Effects of nucleotide supplementation in milk replacer on small intestinal absorptive capacity in dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 91(7), 2759–2770. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0751>
182. Kelly, G. (2008). Inulin-type prebiotics - A Review: Part 1. *Alternative Medicine Review*, 13(4), 315-329.
183. Khare, A., Mani, V., Kumar, S., & Thorat, G. (2018). Effect of chicory root powder as prebiotic source to growth and nutrient digestibility of murrah buffalo calves. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 6(3), 1424–1427.
184. Kiernan, J. A. (2008). *Histological and histochemical methods* (4th ed.). Scion Publishing Ltd.
185. Knowles, T. G., Edwards, J. E., Bazeley, K. J., Brown, S. N., Butterworth, A., & Warriss, P. D. (2000). Changes in the blood biochemical and haematological profile of neonatal calves with age. *Veterinary Record*, 147(21), 593-598. <https://doi.org/10.1136/vr.147.21.593>
186. Kojima, M., & Kangawa, K. (2002). Ghrelin, an orexigenic signaling molecule from the gastrointestinal tract. *Current Opinion in Pharmacology*, 2(6), 665–668. [https://doi.org/10.1016/S1471-4892\(02\)00220-5](https://doi.org/10.1016/S1471-4892(02)00220-5)
187. Kojima, M., & Kangawa, K. (2008). Structure and function of ghrelin. *Results and Problems in Cell Differentiation*, 46, 89–115. https://doi.org/10.1007/400_2007_049
188. Kojima, M., Hosoda, H., Date, Y., Nakazato, M., Matsuo, H., & Kangawa, K. (1999). Ghrelin is a growth-hormone-releasing acylated peptide from stomach. *Nature*, 402(6762), 656–660. <https://doi.org/10.1038/45230>
189. Kraft, W. & Dürr, U. M. (1999a). Leber. In W. Kraft & U. M. Dürr (Eds.), *Klinische Labordiagnostik in der Tiermedizin* (pp. 112-133). Schattauer, Stuttgart, Germany.
190. Kraft, W. & Dürr, U. M. (1999b). Harnapparat. In W. Kraft & U. M. Dürr (Eds.), *Klinische Labordiagnostik in der Tiermedizin* (pp. 169-200), Schattauer, Stuttgart, Germany.
191. Kraft, W. (1999). Hämatologie. In W. Kraft & U. M. Dürr (Eds.), *Klinische Labordiagnostik in der Tiermedizin* (pp. 43-77), Schattauer, Stuttgart, Germany.
192. Kristensen, N. B., Sehested, J., Jensen, S. K., & Vestergaard, M. (2007). Effect of milk allowance on concentrate intake, ruminal environment, and ruminal development in milk-fed Holstein calves. *Journal of Dairy Science*, 90(9), 4346–4355. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-885>
193. Kristensen, T., Mogensen, L., Knudsen, M. T., & Hermansen, J. E. (2011). Effect of production system and farming strategy on greenhouse gas emissions from commercial dairy farms in a life cycle approach. *Livestock Science*, 140(1–3), 136–148. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.03.002>
194. Křížová, L., Richter, M., Trínáctý, J., Říha, J., & Kumprechtová, D. (2011). The effect of feeding live yeast cultures on ruminal pH and redox potential in dry cows as continuously measured by a new wireless device. *Czech Journal of Animal Science*, 56(1), 37-45. <https://doi.org/10.17221/39/2010-CJAS>

195. Król, B. (2011). Effect of Mannan Oligosaccharides, Inulin and Yeast Nucleotides Added to Calf Milk Replacer on Rumen Microflora, Level of Serum Immunoglobulin and Health Condition of Calves. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, 14(2), 1-18.
196. Krueger, M., Schroedl, W., Isik, K., Lange, W., & Hagemann, L. (2002). Effects of lactulose on the intestinal microflora of periparturient sows and their piglets. *European Journal of Nutrition*, 41(SUPPL. 1), 26–31. <https://doi.org/10.1007/s00394-002-1104-5>
197. Kuhn, W., Fiebig, K., & Hippe, H. (1983). Distribution of cytochromes in methanogenic bacteria. *FEMS Microbiology Letters*, 20(3), 407–410.
198. Kumar, S., Puniya, A. K., Puniya, M., Dagar, S. S., Sirohi, S. K., Singh, K., & Griffith, G. W. (2009). Factors affecting rumen methanogens and methane mitigation strategies. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 25(9), 1557–1566. <https://doi.org/10.1007/s11274-009-0041-3>
199. Kumar, U., Sareen, V. K., & Singh, S. (1997). Effect of yeast culture supplement on ruminal microbial populations and metabolism in buffalo calves fed a high roughage diet. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 73(2), 231–236. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199702\)73:2<231::AID-JSFA710>3.0.CO;2-D](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199702)73:2<231::AID-JSFA710>3.0.CO;2-D)
200. Larson, L., Owen, F. G., Albright, J. L., Appleman, R. D., Lamb, R. C., & Muller, L.D. (1977). Guidelines Toward More Uniformity in Measuring and Reporting Calf Experimental Data. *Journal of Dairy Science*, 60(6), 989–991. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(77\)83975-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(77)83975-1)
201. Lassey, K. R. (2007). Livestock methane emission: From the individual grazing animal through national inventories to the global methane cycle. *Agricultural and Forest Meteorology*, 142(2–4), 120–132. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.03.028>
202. Le Blay, G., Michel, C., Blottière, H. M., & Cherbut, C. (1999). Prolonged intake of fructo-oligosaccharides induces a short-term elevation of lactic acid-producing bacteria and a persistent increase in cecal butyrate in rats. *Journal of Nutrition*, 129(12), 2231–2235. <https://doi.org/10.1093/jn/129.12.2231>
203. Leahy, S. C., Kelly, W. J., Ronimus, R. S., Wedlock, N., Altermann, E., & Attwood, G. T. (2013). Genome sequencing of rumen bacteria and archaea and its application to methane mitigation strategies. *Animal*, 7(2), 235–243. <https://doi.org/10.1017/S1751731113000700>
204. Lesmeister, K. E., Heinrichs, A. J., & Gabler, M. T. (2004). Effects of supplemental yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) culture on rumen development, growth characteristics, and blood parameters in neonatal dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 87(6), 1832–1839. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73340-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73340-8)
205. Lettat, A., Nozière, P., Silberberg, M., Morgavi, D. P., Berger, C., & Martin, C. (2012). Rumen microbial and fermentation characteristics are affected differently by bacterial probiotic supplementation during induced lactic and subacute acidosis in sheep. *BMC Microbiology*, 12(1), 142-154. <https://doi.org/10.1186/1471-2180-12-142>
206. Lew, W. Y. & LeWinter, M. M. (1986). Regional comparison of midwall segment and area shortening in the canine left ventricle. *Circulation Research*, 58(5), 678–691. <https://doi.org/10.1161/01.RES.58.5.678>
207. Li, R. W., Connor, E. E., Li, C., Baldwin Vi, R. L., & Sparks, M. E. (2012). Characterization of the rumen microbiota of pre-ruminant calves using metagenomic tools. *Environmental Microbiology*, 14(1), 129–139. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2011.02543.x>
208. Lila, Z. A., Mohammed, N., Yasui, T., Kurokawa, Y., Kanda, S., & Itabashi, H. (2004). Effects of a twin strain of *Saccharomyces cerevisiae* live cells on mixed ruminal microorganism fermentation in vitro. *Journal of Animal Science*, 82(6), 1847–1854. <https://doi.org/10.2527/2004.8261847x>

209. Lim, S. H., Ryu, J. M., Lee, H., Jeon, J. H., Sok, D. E., & Choi, E. S. (2011). Ethanol fermentation from Jerusalem artichoke powder using *Saccharomyces cerevisiae* KCCM50549 without pretreatment for inulin hydrolysis. *Bioresource Technology*, 102(2), 2109–2111. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.08.044>
210. Luginbühl, A., Reitt, K., Metzler, A., Kollbrunner, M., Corboz, L. and Deplazes, P. (2005) Field Study about Prevalence and Diagnostics of Diarrhea Causing Agents in the New-Born Calf in a Swiss Veterinary Practice Area. *Schweizer Archiv für Tierheilkunde*, 147(6), 245-252. <http://dx.doi.org/10.1024/0036-7281.147.6.245>
211. Lyons, T. P. (1997). A new era in animal production: the arrival of the scientifically proven natural alternatives. In T.P. Lyons & K. A. Jacques (Eds.), *Biotechnology in the Feed Industry (Proceedings of the 13th Annual Symposium)*. Nottingham University Press, Nottingham, UK.
212. Macfarlane, G. T., Steed, H., & Macfarlane, S. (2008). Bacterial metabolism and healthrelated effects of galacto-oligosaccharides and other prebiotics. *Journal of Applied Microbiology*. 104(2), 305-344. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2007.03520.x>.
213. Machmüller, A., Soliva, C. R., & Kreuzer, M. (2003a). Methane-suppressing effect of myristic acid in sheep as affected by dietary calcium and forage proportion. *British Journal of Nutrition*, 90(3), 529–540. <https://doi.org/10.1079/bjn2003932>
214. Machmüller, A., Soliva, C. R., & Kreuzer, M. (2003b). Effect of coconut oil and defaunation treatment on methanogenesis in sheep. *Reproduction Nutrition Development*, 43(1), 41–55. <https://doi.org/10.1051/rnd:2003005>
215. Madsen, J., Bjerg, B. S., Hvelplund, T., Weisbjerg, M. R., & Lund, P. (2010). Methane and carbon dioxide ratio in excreted air for quantification of the methane production from ruminants. *Livestock Science*, 129(1–3), 223–227. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.01.001>
216. Magalhães, V. J. A., Susca, F., Lima, F. S., Branco, A. F., Yoon, I., & Santos, J. E. P. (2008). Effect of feeding yeast culture on performance, health, and immunocompetence of dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 91(4), 1497–1509. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0582>
217. Mahesh, M. S., Sheel, R., & Nampoothiri, V. M. (2013). What's all the fuss about livestock, methane and global warming? *Research News for U*, 11.
218. Marden, J. P., Bayourthe, C., Enjalbert, F., & Moncoulon, R. (2005). A new device for measuring kinetics of ruminal pH and redox potential in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 88(1), 277–281. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72685-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72685-0)
219. Marquez, C. J. (2014). *Calf intestinal health: Assessment and dietary interventions for its improvement*. [Doctoral dissertation, University of Illinois].
220. Martin, C., Morgavi, D. P., & Doreau, M. (2010). Methane mitigation in ruminants: From microbe to the farm scale. *Animal*, 4(3), 351–365. <https://doi.org/10.1017/S1751731109990620>
221. Martínez-Vaz, B. M., Fink, R. C., Diez-Gonzalez, F., & Sadowsky, M. J. (2014). Enteric pathogen-plant interactions: Molecular connections leading to colonization and growth and implications for food safety. *Microbes and Environments*, 29(2), 123–135. <https://doi.org/10.1264/jsme2.ME13139>
222. Masanetz, S., Wimmer, N., Plitzner, C., Limbeck, E., Preißinger, W., & Pfaffl, M. W. (2010). Effects of inulin and lactulose on the intestinal morphology of calves. *Animal*, 4(5), 739–744. <https://doi.org/10.1017/S1751731109991728>
223. Masuda, Y., Tanaka, T., Inomata, N., Ohnuma, N., Tanaka, S., Itoh, Z., Hosoda, H., Kojima, M., & Kangawa, K. (2000). Ghrelin stimulates gastric acid secretion and motility in rats. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 276(3), 905–908. <https://doi.org/10.1006/bbrc.2000.3568>

224. McAllister, T. A., Beauchemin, K. A., Alazzez, A. Y., Baah, J., Teather, R. M., & Stanford, K. (2011). Review: The use of direct fed microbials to mitigate pathogens and enhance production in cattle. *Canadian Journal of Animal Science*, 91(2), 193–211. <https://doi.org/10.4141/cjas10047>
225. McCartney, C. A., Bull, I. D., Waters, S. M., & Dewhurst, R. J. (2013). Technical note: Comparison of biomarker and molecular biological methods for estimating methanogen abundance. *Journal of Animal Science*, 91(12), 5724–5728. <https://doi.org/10.2527/JAS.2013-6513>
226. McCrabb, G. J., & Hunter, R. A. (1999). Prediction of methane emissions from beef cattle in tropical production systems. *Australian Journal of Agricultural Research*, 50, 1335–1339.
227. Meale, S. J., Li, S. C., Azevedo, P., Derakhshani, H., DeVries, T. J., Plaizier, J. C., Steele, M. A., & Khafipour, E. (2017). Weaning age influences the severity of gastrointestinal microbiome shifts in dairy calves. *Scientific Reports*, 7(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-00223-7>
228. Meale, S. J., Li, S., Azevedo, P., Derakhshani, H., Plaizier, J. C., Khafipour, E., & Steele, M. A. (2016). Development of ruminal and fecal microbiomes are affected by weaning but not weaning strategy in dairy calves. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1–16. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00582>
229. Mehdar, K. M. (2020). The distribution of ghrelin cells in the human and animal gastrointestinal tract: a review of the evidence. *Folia Morphologica*, 80(2), 225–236. <https://doi.org/10.5603/FM.a2020.0077>
230. Mello, R. de O., da Silva, C. M. G., Fonte, F. P., Silva, D. L. F., Pereira, J. A., Margarido, N. F., & Martinez, C. A. R. (2012). Avaliação do número de células caliciformes nas criptas da mucosa colônica com e sem trânsito intestinal. *Revista Do Colegio Brasileiro de Cirurgioes*, 39(2), 139–145. <https://doi.org/10.1590/S0100-69912012000200010>
231. Mentschel, J., Leiser, R., Mülling, C., Pfarrer, C., & Claus, R. (2001). Butyric acid stimulates rumen mucosa development in the calf mainly by a reduction of apoptosis. *Archives of Animal Nutrition/Archiv Fur Tierernahrung*, 55(2), 85–102. <https://doi.org/10.1080/17450390109386185>
232. Meyer, D. J., & Harvey, J. W. (1998). Evaluation of hepatobiliary system and skeletal muscle and lipid disorders. In D. J. Meyer & J. W. Harvey (Eds.), *Veterinary laboratory medicine. Interpretation and diagnosis*, 2ed. (pp. 157–187). W.B. Saunders Company, Philadelphia.
233. Mikolaychik, I. N., Morozova, L. A., Kahikalo, V. G., Ovchinnikova, L. Yu., Yarmots, L. P., Karmatskikh, Yu. A., & Charykov, V. I. (2020). Microbiological Supplements for the Metabolic Rate Correction in Calves. *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies*, 11(2), 1–13. <https://doi.org/10.14456/ITJEMAST.2020.39>
234. Miura, H., Tsuchiya, N., Sasaki, I., Kikuchi, M., Kojima, M., Kangawa, K., Hasegawa, Y., & Ohnami, Y. (2004). Changes in plasma ghrelin and growth hormone concentrations in mature Holstein cows and three-month-old calves. *Journal of Animal Science*, 82(5), 1329–1333. <https://doi.org/10.2527/2004.8251329X>
235. Mohri, M., Sharifi, K., & Eidi, S. (2007). Hematology and serum biochemistry of Holstein dairy calves: Age related changes and comparison with blood composition in adults. *Research in Veterinary Science*, 83(1), 30–39. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2006.10.017>
236. Moss, A. R. (1993). *Methane-Global Warming and Production by Animals*. Chalcombe Publications, Canterbury, UK, 105.

237. Muñoz, C., Yan, T., Wills, D. A., Murray, S., & Gordon, A. W. (2012). Comparison of the sulfur hexafluoride tracer and respiration chamber techniques for estimating methane emissions and correction for rectum methane output from dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 95(6), 3139–3148. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4298>
238. Murray, P. J., Moss, A., Lockyer, D. R., & Jarvis, S. C. (1999). A comparison of systems for measuring methane emissions from sheep. *Journal of Agricultural Science*, 133(4), 439–444. <https://doi.org/10.1017/S0021859699007182>
239. Murray, R. M., Bryant, A. M., & Leng, R. A. (1976). Rates of production of methane in the rumen and large intestine of sheep. *British Journal of Nutrition*, 36(1), 1–14. <https://doi.org/10.1079/bjn19760053>
240. Mwenya, B., Santoso, B., Sar, C., Gamo, Y., Kobayashi, T., Arai, I., & Takahashi, J. (2004a). Effects of including β 1-4 galacto-oligosaccharides, lactic acid bacteria or yeast culture on methanogenesis as well as energy and nitrogen metabolism in sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 115(3–4), 313–326. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2004.03.007>
241. Mwenya, B., Zhou, X., Santoso, B., Sar, C., Gamo, Y., Kobayashi, T., & Takahashi, J. (2004b). Effects of Probiotic-vitacogen and β 1-4 Galacto-oligosaccharides Supplementation on Methanogenesis and Energy and Nitrogen Utilization in Dairy Cows. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 17(3), 349–354. <https://doi.org/10.5713/ajas.2004.349>
242. Nagaya, N., Moriya, J., Yasumura, Y., Uematsu, M., Ono, F., Shimizu, W., Ueno, K., Kitakaze, M., Miyatake, K., & Kangawa, K. (2004). Effects of Ghrelin administration on left ventricular function, exercise capacity, and muscle wasting in patients with chronic heart failure. *Circulation*, 110(24), 3674–3679. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000149746.62908.BB>
243. Nakazato, M., Murakami, N., Date, Y., Kojima, M., Matsuo, H., Kangawa, K., & Matsukura, S. (2001). A role for ghrelin in the central regulation of feeding. *Nature*, 409(6817), 194–198. <https://doi.org/10.1038/35051587>
244. Naqvi, S. M. K., & Sejian, V. (2011). Global Climate Change: Role of Livestock. *Asian Journal of Agricultural Sciences*, 3(1), 19–25.
245. National Research Council. (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle* (7th ed). The National Academies Press, Washington, DC, USA. <https://doi.org/https://doi.org/10.17226/9825>
246. Nehru, P. A., Sunandhadevi, S., Rama, T., & Muniyappan, N. (2017). Effect of Probiotic Supplementation on Growth Performance of Crossbred Calves in an organized Cattle Farm. *Journal of Animal Health and Production*, 5(3), 89-91. <https://doi.org/10.17582/journal.jahp/2017/5.3.89.91>
247. Newbold, C. J., & Rode, L. M. (2006). Dietary additives to control methanogenesis in the rumen. In C. R. Soliva, J. Takahashi & M. Kreuzer (Eds.), *Greenhouse gases and animal agriculture: an update. Elsevier International Congress Series 1293* (pp. 138–147). Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
248. Newbold, C. J., McIntosh, F. M., & Wallace, R. J. (1998). Changes in the microbial population of a rumen-simulating fermenter in response to yeast culture. *Canadian Journal of Animal Science*, 78(2), 241–244. <https://doi.org/10.4141/A97-086>
249. Newbold, C. J., Wallace, R. J., & McIntosh, F. M. (1996). Mode of action of the yeast *Saccharomyces cerevisiae* as a feed additive for ruminants. *British Journal of Nutrition*, 76(2), 249–261. <https://doi.org/10.1079/bjn19960029>
250. Nicholson, M. J., Evans, P. N., & Joblin, K. N. (2007). Analysis of methanogen diversity in the rumen using temporal temperature gradient gel electrophoresis: Identification of uncultured methanogens. *Microbial Ecology*, 54(1), 141–150. <https://doi.org/10.1007/s00248-006-9182-1>

251. Niemann, H., Kuhla, B. & Flachowsky, G. (2011). Perspectives for feed-efficient animal production. *Journal of Animal Sciences*, 89(12), 4344-4363. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4235>
252. Nkrumah, J. D., Okine, E. K., Mathison, G. W., Schmid, K., Li, C., Basarab, J. A., Price, M. A., Wang, Z., & Moore, S. S. (2006). Relationships of feedlot feed efficiency, performance, and feeding behavior with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 84(1), 145–153. <https://doi.org/10.2527/2006.841145x>
253. Nocek, J. E., & Kautz, W. P. (2006). Direct-fed microbial supplementation on ruminal digestion, health, and performance of pre- and postpartum dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 89(1), 260–266. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72090-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72090-2)
254. Novak, K. N., Davis, E., Wehnes, C. A., Shields, D. R., Coalson, J. A., Smith, A. H., & Rehberger, T. G. (2012). Effect of supplementation with an electrolyte containing a Bacillus-based direct-fed microbial on immune development in dairy calves. *Research in Veterinary Science*, 92(3), 427-434. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2011.04.008>
255. Nugent, A. R. (2005). Health properties of resistant starch. *British Nutrition Foundation Nutrition Bulletin*, 30(1), 27-54. <https://doi.org/10.1111/j.1467-3010.2005.00481.x>
256. O'Mara, F. (2004). Greenhouse gas production from dairying: Reducing methane production. *Advances in Dairy Technology*, 16, 283–295.
257. O'Mara, F. P., Beauchemin, K., Kreuzer, M., & McAllister, T. A. (2008). Reduction of greenhouse gas emissions of ruminants through nutritional strategies. In P. Rowlinson, M. Steele & A. Nevzaoui (Eds.), *Livestock and Global Climate Change* (pp. 40–43). Cambridge University Press, England.
258. Odle, J. (1997). New insights into the utilization of medium-chain triglycerides by the neonate: observation from a piglet model. *The Journal of Nutrition*, 127(6), 1061–1067. <https://doi.org/10.1093/jn/127.6.1061>
259. Oetzel, G. R., Emery, K. M., Kautz, W. P., & Nocek, J. E. (2007). Direct-fed microbial supplementation and health and performance of pre- and postpartum dairy cattle: A field trial. *Journal of Dairy Science*, 90(4), 2058–2068. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-484>
260. Ogunade, I. M., Lay, J., Andries, K., McManus, C. J., & Bebe, F. (2019). Effects of live yeast on differential genetic and functional attributes of rumen microbiota in beef cattle. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 10(1), 68. <https://doi.org/10.1186/s40104-019-0378-x>
261. Oh, J., Harper, M., Melgar, A., Compart, D. M. P., & Hristov, A. N. (2019). Effects of *Saccharomyces cerevisiae*-based direct-fed microbial and exogenous enzyme products on enteric methane emission and productivity in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 102(7), 6065–6075. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15753>
262. Ohene-Adjei, S., Teather, R. M., Ivan, M., & Forster, R. J. (2007). Postinoculation protozoan establishment and association patterns of methanogenic archaea in the ovine rumen. *Applied and Environmental Microbiology*, 73(14), 4609–4618. <https://doi.org/10.1128/AEM.02687-06>
263. Özfiliz, N., Tütüncü, Ş., Çetin, M., & Udum, D. (2011). Effects of different feeding programs and ghrelin injection on plasma ghrelin concentrations and distribution of the ghrelin positive cells in the abomasum of Awassi male lambs. *Revue de Médecine Vétérinaire*, 162(2), 65–71.
264. Öztürk, H. (2007). Kuresel Isinmada Ruminantların Rolü. *Journal of the Turkish Veterinary Medical Society*, 78(1), 17–22.
265. Öztürk, H. (2008). Effects of inulin on rumen metabolism in vitro. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 55(2), 79–82. https://doi.org/10.1501/vetfak_00000000302

266. Palmonari, A., Stevenson, D. M., Mertens, D. R., Cruywagen, C. W., & Weimer, P. J. (2010). PH dynamics and bacterial community composition in the rumen of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 93(1), 279–287. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2207>
267. Pan, X., Terada, T., Okuda, M., & Inui, K. (2004). The diurnal rhythm of the intestinal transporters SGLT1 and PEPT1 is regulated by the feeding conditions in rats. *The Journal of Nutrition*, 134(9), 2211–2215. <https://doi.org/10.1093/JN/134.9.2211>
268. Pandey, A., Soccol, C. R., Selvakumar, P., Soccol, V. T., Krieger, N., & Fontana, J. D. (1999). Recent developments in microbial inulinases. Its production, properties, and industrial applications. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 81(1), 35–52. <https://doi.org/10.1385/ABAB:81:1:35>
269. Patel, A. D., Stanley, S. A., Murphy, K. G Frost, G. S., Gardiner, J. V., Kent, A. S., White, N. E., Ghatei, M. A., Bloom, S. R. (2006). Ghrelin stimulates insulin-induced glucose uptake in adipocytes. *Regulatory Peptides*, 134(1), 17–22. <https://doi.org/10.1016/J.REGPEP.2005.11.001>
270. Pekcan, M., Altintas, A., Hilal, K., Fidanci, U. R., Uysal, H., Besalti, O., Serap, U. A., Gulay, C., Sibel, B., & Basak, H. (2012). Serum biochemistry and native protein electrophoresis in diarrheic calves with arthritis. *Acta Veterinaria*, 62(2-3), 261-269. <https://doi.org/10.2298/AVB1203261P>
271. Pereira, R. V., Siler, J. D., Ng, J. C., Davis, M. A., & Warnick, L. D. (2014). Effect of preweaned dairy calf housing system on antimicrobial resistance in commensal *Escherichia coli*. *J. Dairy Sci.* 97(12), 7633-7643. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8588>
272. Pierce, K. M., Sweeney, T., Brophy, P. O., Callan, J. J., McCarthy, P., & O'Doherty, J. V. (2005). Dietary manipulation post weaning to improve piglet performance and gastrointestinal health. *Animal Science*, 81(3), 347–356. <https://doi.org/10.1079/ASC50400347>
273. Pinos-Rodríguez, J. M., Robinson, P. H., Ortega, M. E., Berry, S. L., Mendoza, G., & Bárcena, R. (2008). Performance and rumen fermentation of dairy calves supplemented with *Saccharomyces cerevisiae*1077 or *Saccharomyces boulardii*1079. *Animal Feed Science and Technology*, 140(3–4), 223–232. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.08.003>
274. Popovic, V., Miljic, D., Micic, D., Damjanovic, S., Arvat, E., Ghigo, E., Dieguez, C., & Casanueva, F. F. (2003). Ghrelin main action on the regulation of growth hormone release is exerted at hypothalamic level. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 88(7), 3450–3453. <https://doi.org/10.1210/jc.2003-030211>
275. Poulsen, M., Jensen, B. B., & Engberg, R. M. (2012). The effect of pectin, corn and wheat starch, inulin and pH on in vitro production of methane, short chain fatty acids and on the microbial community composition in rumen fluid. *Anaerobe*, 18(1), 83–90. <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2011.12.009>
276. Pourabedin, M., & Zhao, X. (2015). Prebiotics and gut microbiota in chickens. *FEMS Microbiology Letters*, 362(15), 122. <https://doi.org/10.1093/FEMSLE/FNV122>
277. Quigley, J. D. (1997). *Development of the Rumen Epithelium*. <http://www.calfnotes.com/pdf/CN020.pdf>
278. Radostits, O. M., Gay, C. C., Hinchcliff, K. W., & Constable, P. D. (2006). *Veterinary Medicine*, 10th ed., W.B. Saunders, London, pp. 2047–2050.
279. Raschka, L., & Daniel, H. (2005). Mechanisms underlying the effects of inulin-type fructans on calcium absorption in the large intestine of rats. *Bone*, 37(5), 728–735. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2005.05.015>
280. Rawat, M., Singh, U. K., Mishra, A. K., & Subramanian, V. (2008). Methane emission and heavy metals quantification from selected landfill areas in India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 137(1–3), 67–74. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9729-8>

281. Reece, W. O. (1980). Acid-base balance and selected hematologic, electrolyte, and blood chemical variables in calves: milk-fed vs conventionally fed. *American Journal of Veterinary Research*, 41, 109-113.
282. Rehman, H., Rosenkranz, C., Böhm, J., & Zentek, J. (2007). Dietary inulin affects the morphology but not the sodium-dependent glucose and glutamine transport in the jejunum of broilers. *Poultry Science*, 86(1), 118–122. <https://doi.org/10.1093/ps/86.1.118>
283. Reimer, M. K., Pacini, G., & Ahren, B. (2003). Dose-dependent inhibition by ghrelin of insulin secretion in the mouse. *Endocrinology*, 144(3), 916–921. <https://doi.org/10.1210/en.2002-220819>
284. Rey, M., Enjalbert, F., & Monteils, V. (2012). Establishment of ruminal enzyme activities and fermentation capacity in dairy calves from birth through weaning. *Journal of Dairy Science*, 95(3), 1500–1512. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4902>
285. Rioux, K. P., Madsen, K. L., & Fedorak, R. N. (2005). The role of enteric microflora in inflammatory bowel disease: Human and animal studies with probiotics and prebiotics. *Gastroenterology Clinics of North America*, 34(3), 465–482. <https://doi.org/10.1016/j.gtc.2005.05.005>
286. Roberfroid, M., & Gibson, G. R. (2008). General introduction: prebiotics in nutrition. In M. B. Roberfroid (Eds.), *Handbook of Prebiotics* (pp. 1-11). London: CRC Press.
287. Roberfroid, Marcel B., Van Loo, J. A. E., & Gibson, G. R. (1998). The bifidogenic nature of chicory inulin and its hydrolysis products. *Journal of Nutrition*, 128(1), 11–19. <https://doi.org/10.1093/jn/128.1.11>
288. Robinson, P. H. (2007). *Yeast Products for Growing and Lactating Ruminants: A Literature Summary of Impacts on Rumen Fermentation and Performance*. <https://animalscience.ucdavis.edu/sites/g/files/dgvnsk446/files/inline-files/Web200901.pdf>
289. Roche, J. R., Sheahan, A. J., Chagas, L. M., & Berry, D. P. (2007). Concentrate Supplementation Reduces Postprandial Plasma Ghrelin in Grazing Dairy Cows: A Possible Neuroendocrine Basis for Reduced Pasture Intake in Supplemented Cows. *Journal of Dairy Science*, 90(3), 1354–1363. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(07\)71622-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(07)71622-3)
290. Roche, J. R., Sheahan, A. J., Chagas, L. M., & Boston, R. C. (2008). Short communication: Change in plasma ghrelin in dairy cows following an intravenous glucose challenge. *Journal of Dairy Science*, 91(3), 1005–1010. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0571>
291. Roodposhti, P. M., & Dabiri, N. (2012). Effects of probiotic and prebiotic on average daily gain, fecal shedding of Escherichia coli, and immune system status in newborn female calves. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 25(9), 1255–1261. <https://doi.org/10.5713/ajas.2011.11312>
292. Roonal, P. K. (2015). Use of feed additives for reducing greenhouse gas emissions from dairy farms. *Microbiology Research*, 6(1), 19 – 25. <https://doi.org/10.4081/mr.2015.6120>
293. Rouviere, P. E., & Wolfe, R. S. (1988). Novel Biochemistry of Methanogenesis. *The Journal of Biological Chemistry*, 263(17), 7913–7916.
294. Russell, J. B., & Hino, T. (1985). Regulation of Lactate Production in Streptococcus bovis: A Spiraling Effect That Contributes to Rumen Acidosis. *Journal of Dairy Science*, 68(7), 1712–1721. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(85\)81017-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)81017-1)
295. Russell, J. B., & Wilson, D. B. (1996). Why Are Ruminal Cellulolytic Bacteria Unable to Digest Cellulose at Low pH? *Journal of Dairy Science*, 79(8), 1503–1509. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(96\)76510-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(96)76510-4)
296. Russell, K. E. (2010). Platelet kinetics and laboratory evaluation of thrombocytopenia. In D. J. Weiss & K. J. Wardrop (Eds.), *Schalm's Veterinary Hematology*, 6th Ed. (pp. 576-585). Wiley-Blackwell.

297. Samal, L., & Behura, N. C. (2015). Prebiotics: An emerging nutritional approach for improving gut health of livestock and poultry. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*, 10(11), 724–739. <https://doi.org/10.3923/ajava.2015.724.739>
298. Samanta, A. K., Jayapal, N., Senani, S., Kolte, A. P., & Sridhar, M. (2013). Prebiotic inulin: Useful dietary adjuncts to manipulate the livestock gut microflora. *Brazilian Journal of Microbiology*, 44(1), 1–14. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822013005000023>
299. Samanta, A. K., Senani, S., Kolte, A. P., Sridhar, M. B. R., & Jayapal, N. (2012). Effect of prebiotic on digestibility of total mixed ration. *Indian Veterinary Journal*, 89(1), 41–42.
300. Sato, T., Hidaka, K., Mishima, T., Nibe, K., Kitahara, G., Hidaka, Y., Katamoto, H., & Kamimura, S. (2010). Effect of sugar supplementation on rumen protozoa profile and papillae development in retarded growth calves. *Journal of Veterinary Medical Science*, 72(11), 1471–1474. <https://doi.org/10.1292/jvms.09-0399>
301. Schat, K. A., & Myers, T. J. (1991). Avian intestinal immunity. *Critical Reviews in Poultry Biology*, 3, 19–34.
302. Scheehle, E., & Kruger, D. (2006). Global anthropogenic methane and nitrous oxide emissions. *The Energy Journal*, 27(3), 33–44.
303. Schlesinger, W. H. (2000). Carbon sequestration in soils: some cautions amidst optimism. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 82(1–3), 121–127. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(00\)00221-8](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(00)00221-8)
304. Shaheen, M. (2017). Synbiotic therapy. In *Health Management and Disease Control Practices for Dairy Cattle*. Narendra Publications, New Delhi, India.
305. Shaheen, M., & Munshi, N. (2017). Studies on the Diagnostic and prognostic role of ECG in calf Diarrhoea and therapeutic trial study with reference to Probiotics. In *International Conference on Food and Agriculture Science and International Conference on Bioengineering and Biotechnology (ICAFS-ICBB-2017)*, Lahore, Pakistan.
306. Sharp, R., Ziemer, C. J., Stern, M. D., & Stahl, D. A. (1998). Taxon-specific associations between protozoal and methanogen populations in the rumen and a model rumen system. *FEMS Microbiology Ecology*, 26(1), 71–78. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.1998.tb01563.x>
307. Shen, Y. B., Piao, X. S., Kim, S. W., Wang, L., Liu, P., Yoon, I., & Zhen, Y. G. (2009). Effects of yeast culture supplementation on growth performance, intestinal health, and immune response of nursery pigs. *Journal of Animal Science*, 87(8), 2614–2624. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1512>
308. Shibata, M., & Terada, F. (2010). Factors affecting methane production and mitigation in ruminants. *Animal Science Journal*, 81(1), 2–10. <https://doi.org/10.1111/j.1740-0929.2009.00687.x>
309. Shiiya, T., Nakazato, M., Mizuta, M., Date, Y., Mondal, M. S., Tanaka, M., Nozoe, S., Hosoda, H., Kangawa, K., & Matsukura, S. (2002). Plasma ghrelin levels in lean and obese humans and the effect of glucose on ghrelin secretion. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 87(1), 240–244. <https://doi.org/10.1210/JCEM.87.1.8129>
310. Shin, E. C., Choi, B. R., Lim, W. J., Hong, S. Y., An, C. L., Cho, K. M., Kim, Y. K., An, J. M., Kang, J. M., Lee, S. S., Kim, H., & Yun, H. D. (2004). Phylogenetic analysis of archaea in three fractions of cow rumen based on the 16S rDNA sequence. *Anaerobe*, 10(6), 313–319. <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2004.08.002>
311. Slade, E. M., Riutta, T., Roslin, T., & Tuomisto, H. L. (2016). The role of dung beetles in reducing greenhouse gas emissions from cattle farming. *Scientific Reports*, 6. <https://doi.org/10.1038/srep18140>

312. Smith, H. W. (1965). The development of the flora of the alimentary tract in young animals. *The Journal of Pathology and Bacteriology*, 90(2), 495-513. <https://doi.org/10.1002/path.1700900218>.
313. Smith, K., Cumby, T., Lapworth, J., Misselbrook, T., & Williams, A. (2007). Natural crusting of slurry storage as an abatement measure for ammonia emissions on dairy farms. *Biosystems Engineering*, 97(4), 464–471. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2007.03.037>
314. Soares, M. C., de Paula, M. R., Slanzon, G. S., Rocha, F. H., Mourão, G. B., & Bittar, C. M. M. (2017). Clinical, blood gas and biochemical profile of diarrheic dairy calves fed starter concentrate containing citrus pulp as a replacement for corn. *Brazilian Journal of Veterinary Research*, 37(8):790-796. <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2017000800002>
315. Solomis, S., Korbonits, M. (2014). The role of ghrelin in weight-regulation disorders: Implications in clinical practice. *Hormones*, 13(4), 458-475. <https://doi.org/10.14310/horm.2002.1551>
316. Sönmez, M. F., & Ozan, E. (2007). Determination of ghrelin immunoreactivity in the rat stomach after fasting and refeeding. *Acta Histochemica*, 109(3), 193–199. <https://doi.org/10.1016/J.ACTHIS.2007.02.002>
317. Stanley, S., Wynne, K., McGowan, B., & Bloom, S. (2005). Hormonal regulation of food intake. *Physiological Reviews*, 85(4), 1131–1158. <https://doi.org/10.1152/PHYSREV.00015.2004>
318. Steele, M. A., Penner, G. B., Chaucheyras-Durand, F., & Guan, L. L. (2016). Development and physiology of the rumen and the lower gut: Targets for improving gut health. *Journal of Dairy Science*, 99(6), 4955–4966. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10351>
319. Steinfeld, H., & Wassenaar, T. (2007). The Role of Livestock Production in Carbon and Nitrogen Cycles. *Annual Review of Environment and Resources*, 32(1), 271–294. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.32.041806.143508>
320. Steinhardt, M. & Thielscher, H. H. (2000). Tiergerechte Haltung und physiologische Funktionen von Tieren. *Tierärztliche Umschau*, 55(4), 189-198.
321. Stewart, C. S., Flint, H. J., & Bryant, M. P. (1997). The rumen bacteria. In P. N. Hobson & C. Stewart (Eds.), *The rumen microbial ecosystem* (pp. 21–72). Blackie Academic & Professional, London.
322. Suárez, B. J., Van Reenen, C. G., Stockhofe, N., Dijkstra, J., & Gerrits, W. J. J. (2007). Effect of roughage source and roughage to concentrate ratio on animal performance and rumen development in veal calves. *Journal of Dairy Science*, 90(5), 2390–2403. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-524>
323. Sullivan, H. M., & Martin, S. H. (1999). Effects of *Saccharomyces cerevisiae* culture on in vitro mixed ruminal microorganism fermentation. *Journal of Dairy Science*, 82(9), 2011–2016. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75438-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75438-X)
324. Szucs, J. P., Suli, A., Halasz, T., Arany, A., & Bodor, Z. (2013). Effect of Live Yeast Culture *Saccharomyces cerevisiae* on Milk Production and some Blood Parameters. *Animal Science and Biotechnologies*, 46(1), 40-44.
325. Takahashi, J. (2010). Some Prophylactic Options to Mitigate Methane Emission from Animal Agriculture in Japan. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 24(2), 285–294. <https://doi.org/10.5713/ajas.2011.r03>
326. Takahashi, J., Chaudhry, A. S., Beneke, R. G., Suhubdy, & Young, B. A. (1997). Modification of methane emission in sheep by cysteine and a microbial preparation. *Science of the Total Environment*, 204(2), 117–123. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(97\)00162-9](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(97)00162-9)

327. Teneva, A., Hristov, K., & Stoimenov, G. (2020). Blood biochemical profiles of dairy cows and their calves from Bulgarian Black and White Cattle Breed. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 26 (4), 890–893.
328. Thauer, R. K., Kaster, A. K., Seedorf, H., Buckel, W., & Hedderich, R. (2008). Methanogenic archaea: Ecologically relevant differences in energy conservation. *Nature Reviews Microbiology*, 6(8), 579–591. <https://doi.org/10.1038/nrmicro1931>
329. Thompson, P., Hentzen, A., & Schultheiss, W. (2006). The effect of rumen lesions in feedlot calves : which lesions really affect growth? *Proceedings from the 4th Schering Plough Ruminant Day*, pp. 23–27.
330. Timmerman, H. M., Mulder, L., Everts, H., Van Espen, D. C., Van Der Wal, E., Klaassen, G., Rouwers, S. M. G., Hartemink, R., Rombouts, F. M., & Beynen, A. C. (2005). Health and growth of veal calves fed milk replacers with or without probiotics. *Journal of Dairy Science*, 88(6), 2154–2165. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72891-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72891-5)
331. Topping, D. L., & P. M. Clifton. (2001). Short-chain fatty acids and human colonic function: roles of resistant starch and non-starch polysaccharides. *Physiological Reviews*, 81(3), 1031-1064. <https://doi.org/10.1152/physrev.2001.81.3.1031>
332. Tóth, S., Kovács, M., Bóta, B., Szabó-Fodor, J., Bakos, G., & Fébel, H. (2020). Effect of mannanoligosaccharide (MOS) and inulin supplementation on the performance and certain physiological parameters of calves reared on milk replacer. *Journal of Applied Animal Research*, 48(1), 228–234. <https://doi.org/10.1080/09712119.2020.1770096>
333. Tzortzis, G., Goulas, A. K., Gee, J. M., & Gibson, G. R. (2005). A novel galactooligosaccharide mixture increases the bifidobacterial population numbers in a continuous in vitro fermentation system and in the proximal colonic contents of pigs in vivo. *Journal of Nutrition*, 135(7), 1726–1731. <https://doi.org/10.1093/jn/135.7.1726>
334. Umucalilar, D., Gulsen, N., & Hayirli, A. (2010). Potential role of inulin in rumen fermentation. *Revue de Médecine Vétérinaire*, 161(1), 3–9.
335. Ueno, H., Yamaguchi, H., Kangawa, K., & Nakazato, M. (2005). Ghrelin: a gastric peptide that regulates food intake and energy homeostasis. *Regulatory Peptides*, 126(1–2), 11–19. <https://doi.org/10.1016/J.REGPEP.2004.08.007>
336. Uyeno, Y., Sekiguchi, Y., & Kamagata, Y. (2010). rRNA-based analysis to monitor succession of fecal bacterial communities of Holstein calves. *Letters in Applied Microbiology*, 51(5), 570-577. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2010.02937>
337. Uyeno, Y., Shigemori, S., & Shimosato, T. (2015). Effect of Probiotics/Prebiotics on Cattle Health and Productivity. *Microbes and Environments*, 30(2), 126–132. <https://doi.org/10.1264/jsme2.ME14176>
338. Van Leeuwen, P., & Verdonk, J. M. A. (2004). *The Gastrointestinal Degradation of Inulin Preparations and their effects on Production Performance and Gut Microflora in Calves*. Animal Sciences Group Wageningen UR, Lelystad, Netherlands, Project nr 825.20552.02, Report No: 04/ 100287. pp. 1-31.
339. Van Soest, P. J. (1994). Function of the ruminant forestomach. In P. J. Van Soest (Eds.), *Nutritional Ecology of the Ruminant* 2nd ed. (pp. 230–252). Cornell University Press, Ithaca, NY. <https://doi.org/10.7591/9781501732355-016>
340. Van Zijderveld, S. M., Fonken, B., Dijkstra, J., Gerrits, W. J. J., Perdok, H. B., Fokkink, W., & Newbold, J. R. (2011). Effects of a combination of feed additives on methane production, diet digestibility, and animal performance in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 94(3), 1445–1454. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3635>
341. Vandeplas, S., Dubois Dauphin, R., Beckers, Y., Thonart, P., & Théwis, A. (2010). Salmonella in chicken: Current and developing strategies to reduce contamination at farm level. *Journal of Food Protection*, 73(4), 774–785. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-73.4.774>

342. Varga, G. A., & Kolver, E. S. (1997). Microbial and animal limitations to fiber digestion and utilization. *Journal of Nutrition*, 127(5 SUPPL.), 819-823. <https://doi.org/10.1093/jn/127.5.819s>
343. Verdonk, J. M. A. J., Beelan, G. M., Jansman, A. J. M., & Huisman, J. (1998). Effect of soyacarbohydrate fractions on the ileal digestibility and endogenous flow of nitrogen in veal calves. In A. J. M. Jansman, G. D. Hill, J. Huisman & A. F. B. Vander Poel (Eds.), *Recent advances of research in antinutritional factors in legume seeds* (pp. 341–343). Wageningen, The Netherlands.
344. Verdonk, J. M. A. J., & Van Leeuwen, P. (2004). The application of inulin type fructans in diets for veal calves and broilers. In *4th Orafit Research Conference – Inulin and Oligofructose Feed Good Factors for Health and Well Being*, Paris, France, pp. 50–51.
345. Virginio Júnior, G. F., & Bittar, C. M. M. (2021). Microbial colonization of the gastrointestinal tract of dairy calves – a review of its importance and relationship to health and performance. *Animal Health Research Reviews*, 1–12. <https://doi.org/10.1017/S1466252321000062>
346. Virtala, A. M., Mechor, G. D., Grohn, Y. T., & Erb, H. N. (1996). Morbidity from nonrespiratory diseases and mortality in dairy heifers during the first three months of life. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 208(12), 2043–2046.
347. Vitari, F., Di Giancamillo, A., Deponti, D., Carollo, V., & Domeneghini, D. (2012). Distribution of ghrelin producing cells in the gastrointestinal tract of pigs at different ages. *Veterinary Research Communications*, 36(1), 71–80. <https://doi.org/10.1007/s11259-012-9517-y>
348. Vlkova, E., Nevoral, J., & Rada, V. (2006). Distribution of bifidobacteria in the gastrointestinal tract of calves. *Folia Microbiol.* 51, 325-328. <https://doi.org/10.1007/BF02931825>
349. Vogels, G. D., Hoppe, W. F., & Stumm, C. K. (1980). Association of methanogenic bacteria with rumen ciliates. *Applied and Environmental Microbiology*, 40(3), 608–612. <https://doi.org/10.1128/aem.40.3.608-612.1980>
350. Voravuthikunchai, S. P., Bilasoi, S., & Supamala, O. (2006). Antagonistic activity against pathogenic bacteria by human vaginal lactobacilli. *Anaerobe*, 12(5–6), 221–226. <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2006.06.003>
351. Wang, Y., Majak, W., & McAllister, T. A. (2012). Frothy bloat in ruminants: Cause, occurrence, and mitigation strategies. *Animal Feed Science and Technology*, 172(1/2), 103–114. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.12.012>
352. Warner, R. G., Flatt, W. P., & Loosli, J. K. (1956). Dietary factors influencing the development of the ruminant stomach. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 4(9), 788–792. <https://doi.org/10.1021/jf60067a003>
353. Webb, P., Kellogg, D. W., McGahee, M. W., & Johnson, Z. B. (1992). Addition of fructooligosaccharide (FOS) and sodium diacetate (SD) plus decoquinate (D) to milk replacer starter and starter grain fed to Holstein calves. *Journal of Dairy Science*, 75(S1), 300.
354. Whitford, M. F., Teather, R. M., & Forster, R. J. (2001). Phylogenetic analysis of methanogens from the bovine rumen. *BMC Microbiology*, 1(1), 1–5. <https://doi.org/10.1186/1471-2180-1-5>
355. Williams, C. L., Garcia-Reyero, N., Martyniuk, C. J., Tubbs, C. W., & Bisesi, J. H. (2020). Regulation of endocrine systems by the microbiome: perspectives from comparative animal models. *General and Comparative Endocrinology*, 292, 113437. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2020.113437>

356. Williams, P. E., Tait, C. A., Innes, G. M., & Newbold, C. J. (1991). Effects of the inclusion of yeast culture (*Saccharomyces cerevisiae* plus growth medium) in the diet of dairy cows on milk yield and forage degradation and fermentation patterns in the rumen of steers. *Journal of Animal Science*, 69(7), 3016–3026. <https://doi.org/10.2527/1991.6973016x>
357. Wren, A. M., Small, C. J., Ward, H. L., Murphy, K. G., Dakin, C. L., Taheri, S., Kennedy, A. R., Roberts, G. H., Morgan, D. G. A., Ghatei, M. A., & Bloom, S. R. (2000). The Novel Hypothalamic Peptide Ghrelin Stimulates Food Intake and Growth Hormone Secretion. *Endocrinology*, 141(11), 4325–4328. <https://doi.org/10.1210/ENDO.141.11.7873>
358. Wright, A. D. G., Auckland, C. H., & Lynn, D. H. (2007). Molecular diversity of methanogens in feedlot cattle from Ontario and Prince Edward Island, Canada. *Applied and Environmental Microbiology*, 73(13), 4206–4210. <https://doi.org/10.1128/AEM.00103-07>
359. Xiao, J. X., Alugongo, G. M., Chung, R., Dong, S. Z., Li, S. L., Yoon, I., Wu, Z. H., & Cao, Z. J. (2016). Effects of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation products on dairy calves: Ruminal fermentation, gastrointestinal morphology, and microbial community. *Journal of Dairy Science*, 99(7), 5401–5412. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10563>
360. Xiaoli, C., Ziyang, L., Shimaoka, T., Nakayama, H., Ying, Z., Xiaoyan, C., Komiya, T., Ishizaki, T., & Youcai, Z. (2010). Characteristics of environmental factors and their effects on CH₄ and CO₂ emissions from a closed landfill: An ecological case study of Shanghai. *Waste Management*, 30(3), 446–451. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.09.047>
361. Xu, Z. R., Hu, C. H., Xia, M. S., Zhan, X. A., & Wang, M. Q. (2003). Effects of dietary fructooligosaccharide on digestive enzyme activities, intestinal microflora and morphology of male broilers. *Poultry Science*, 82(6), 1030–1036. <https://doi.org/10.1093/ps/82.6.1030>
362. Yanagita, K., Kamagata, Y., Kawaharasaki, M., Suzuki, T., Nakamura, Y., & Minato, H. (2000). Phylogenetic analysis of methanogens in sheep rumen ecosystem and detection of methanomicrobium mobile by fluorescence in situ hybridization. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 64(8), 1737–1742. <https://doi.org/10.1271/bbb.64.1737>
363. Yonekura, S., Kitade, K., Furukawa, G., Takahashi, K., Katsumata, N., Katoh, K., & Obara, Y. (2002). Effects of aging and weaning on mRNA expression of leptin and CCK receptors in the calf rumen and abomasum. *Domestic Animal Endocrinology*, 22(1), 25–35. [https://doi.org/10.1016/S0739-7240\(01\)00114-X](https://doi.org/10.1016/S0739-7240(01)00114-X)
364. Yoon, I. K., & Stern, M. D. (1996). Effects of *Saccharomyces cerevisiae* *Aspergillus oryzae* Cultures on Ruminal Fermentation in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 79(3), 411–417. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(96\)76380-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(96)76380-4)
365. Yu, K., Canalias, F., Solà-Oriol, D., Arroyo, L., Pato, R., Saco, Y., Terré, M., & Bassols, A. (2019). Age-Related Serum Biochemical Reference Intervals Established for Unweaned Calves and Piglets in the Post-weaning Period. *Frontiers in Veterinary Science*, 6, 123. <https://doi.org/10.3389/fvets.2019.00123>
366. Yu, Z., & Morrison, M. (2004). Improved extraction of PCR-quality community DNA from digesta and fecal samples. *BioTechniques*, 36(5), 808–812. <https://doi.org/10.2144/04365ST04>
367. Yuan, B., Wang, S-A., & Li, F-L. (2013). Expression of exoinulinase genes in *Saccharomyces cerevisiae* to improve ethanol production from inulin sources. *Biotechnology Letters*, 35(10), 1589–1592. <https://doi.org/10.1007/s10529-013-1251-1>
368. Zhao, C-M., Furnes, M. W., Stenström, B., Kulseng, B., & Chen, D. (2008). Characterization of obestatin- and ghrelin-producing cells in the gastrointestinal tract and pancreas of rats: an immunohistochemical and electron-microscopic study. *Cell and Tissue Research*, 331(3), 575–587. <https://doi.org/10.1007/s00441-007-0514-3>

- 369. Zhao, X. H., Gong, J. M., Zhou, S., Liu, C. J., & Qu, M. R. (2014). The Effect of Starch, Inulin, and Degradable Protein on Ruminal Fermentation and Microbial Growth in Rumen Simulation Technique. *Italian Journal of Animal Science*, 13(1), 189-195. <https://doi.org/10.4081/ijas.2014.3121>
- 370. Zheng, C., Ma, J., Liu, T., Wei, B., & Yang, H. (2019). Effects of mannan oligosaccharides on gas emission, protein and energy utilization, and fasting metabolism in sheep. *Animals*, 9(10), 741-751. <https://doi.org/10.3390/ani9100741>
- 371. Zhou, X., Sar, C., Kobayashi, T., Takahashi, J., Santoso, B., Gamo, Y., & Mwenya, B. (2004). Effects of probiotic vitacogen and β 1-4 galacto-oligosaccharides supplementation on methanogenesis and energy and nitrogen utilization in dairy cows. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 17(3), 349-354.
- 372. Zhu, Y., Liu, J., Lopez, J. M., & Mills, D. A. (2020). Inulin Fermentation by Lactobacilli and Bifidobacteria from Dairy Calves. *Applied and Environmental Microbiology*, 87(1), 1–12. <https://doi.org/10.1128/AEM.01738-20>

PIELIKUMI

LLU Dzīvnieku labturības un aizsardzības ētikas padomes (DzLĒP)

2. SĒDES PROTOKOLS

2017. gada 10. februāris

Protokols Nr. 2017/2-1

Sēde sākās 13.00 VMF A309 telpā Jelgavā, Kr.Helmaņa ielā 8.

Sanāksmi vada:

LLU DzLĒP vadītāja,
VMF Preklīniskā institūta asoc.prof. A.Ilgaža

Piedalās:

LLU LF Agrobiotehnoloģijas institūta prof. Daina Jonkus
LLU LF Agrobiotehnoloģijas institūta prof. Daina Kairiša
LLU VMF Klīniskā institūta lektore, LLU Veterinārās klīn. veterinārārste K.Drevinska
LLU VMF Pārtikas un vides higiēnas institūta lektore K.Jemeljanova

Sanāksmi protokolē:

LLU DzLĒP atbildīgā sekretāre K.Drevinska

Sēdē tika izskatīti sekojoši jautājumi:

1. ...
2.
3. LLU Veterinārmedicīnas fakultātes doktorantes Sintijas Gorodko iesnieguma par promocijas darba pētījuma, kas noris Valsts Pētījumu 7. Programmas “Lauksaimniecības resursi ilgtspējīgai kvalitatīvas un veselīgas pārtikas ražošanai Latvijā (AgroBioRes)” VPP 2014/VPP2014-2017, apakšprojekta VP29.3. “Vietējās izcelsmes slaucamo govju un cūku saimnieciski nozīmīgo pazīmju ģenētiskā izpēte kvalitatīvu pārtikas produktu ražošanai un dabīgas izcelsmes barības sastāvdaļu izstrāde un pārbaude” izskatīšana.
4. ...
5. Citi jautājumi.

...

3. jautājums.

Saņemts Sintijas Gorodko iesniegums ar lūgumu izvērtēt viņas promocijas darba pētījumu, kas noris Valsts Pētījumu 7. Programmas (VPP) “Lauksaimniecības resursi ilgtspējīgai kvalitatīvas un veselīgas pārtikas ražošanai Latvijā (AgroBioRes)” VPP 2014/VPP2014-2017, apakšprojekta VP29.3. “Vietējās izcelsmes slaucamo govju un cūku saimnieciski nozīmīgo pazīmju ģenētiskā izpēte kvalitatīvu pārtikas produktu ražošanai un dabīgas izcelsmes barības sastāvdaļu izstrāde un pārbaude” ietvaros.

Iesniegums tika izsūtīts visiem komisijas locekļiem. S.Gorodko savā iesniegumā informē, ka VP29.3. ietvaros paredzēto pētījumu plānots veikt z/s “Ratenieki”, par ko tiks noslēgts divpusējs līgums ar LLU. Padomes locekļi atzīmē, ka tas nozīmē turpmāku projekta realizācijas novērošanu no ZM, PVD un no LLU puses. Komisijas locekļi pārliecinās, ka iesniegumā minētās metodes kā rutīnas izmeklēšanas un paraugu iegūšanas metodes ir aprakstītas arī citu autoru atrodamajos pētījumos. Darbā tiks izmantotas: 1) asins parauga iegūšana, punktējot v. *jugularis externa* (S. Lee, S. Ok, H. Kwon, D. Kim *Arterial and Venous Blood Gas, Electrolytes, Biochemical and Hematological Values in Healthy Korean Native Calves* (2015), 2) spurekļa satura parauga iegūšana, veicot spurekļa punkciju (T. Duffield, J. C. Plaizier, A. Fairfield, R. Bagg, G. Vessie, P. Dick, J. Wilson, J. Aramini, and B. McBride *Comparison of Techniques for Measurement of Rumen pH in Lactating Dairy Cows* (2004); Kleen, J. L.; Hooijer, G.A. ; Rehage, J. *Rumenocentesis (rumen puncture): A viable Instrument in herd health diagnosis* (2004)). Abas šīs metodes S.Gorodko ir papildus apguvusi, izstrādājot studiju noslēguma darbu.

Vērtējot iesniegumā sniegto informāciju, sēdes laikā konstatēts, ka atbilstoši spēkā esošajiem Ministru kabineta noteikumiem Nr.52, Rīgā 2013. gada 22. janvārī (prot. Nr.5 25.§), “Noteikumi par zinātniskiem mērķiem izmantojamo dzīvnieku aizsardzību”, pētījums tiek realizēts, netransportējot dzīvniekus, kā arī nemainot saimniecībā pieņemtos dzīvnieku turēšanas un ēdināšanas apstākļus. Teļiem papildus tiks izēdināts topinambūra miltu koncentrāts ar tā sastāvā esošu prebiotiku inulīnu un raugs *Saccharomyces cerevisiae* (celms 1026). Abas piedevas ir atļautas lietot kā barības piedevas teļiem, un to paredzētā deva atbilst citos zinātniskos rakstos ieteiktajām optimālajām devām. Pētījuma novitāte ir abu piedevu kombinācijā, tā izveidojot jaunu sinbiotiku. Tas liecina, ka pētījums kvalificējams kā “neeksperimentālās lauksaimniecības pētījums” (5.1. punkts). Saimniecības veterinārārsta vadībā veiktās ikmēneša veselības stāvokļa izvērtēšanas procedūras un papildus tām veiktā asins un spurekļa satura paraugu iegūšana ar veterinārmedicīnā vispārzināmām un atzītām metodēm – v. *jugularis externa* punkcija un spurekļa punkcija, palīdzību nepārsniedz labas veterinārās prakses robežas un neizraisīs dzīvniekam ilgstošas sāpes un ciešanas, tāpēc šīs procedūras ir attiecināma uz punktu “neeksperimentālā veterinārmedicīniskā prakse” (5.2.).

Nolemj: Pamatojoties uz 2013. gada 22. janvārī izdoto MK noteikumu Nr.52 punktiem 5.1. un 5.2., LLU DzLĒP padome vienbalsīgi nolemj, ka doktorantes Sintijas Gorodko promocijas darba pētījumam “Atsevišķu barības piedevu ietekme uz teļu attīstību un siltumnīcas efekta izraisošo gāzu emisiju” PVD atļauja nav nepieciešama.

...

Sēde noslēdzas plkst. 15.00

IZRAKSTS SNIEGTS PĒC S.JONOVAS PIEPRASĪJUMA

Topinambūra koncentrāta ķīmiskais sastāvs

Rādītājs	Daudzums (%)	12 g topinambūra koncentrāta ķīmiskais sastāvs (g)
Sausna	94.8-95.6	11.38-11.48
Ogļhidrāti no sausnas	62.8-64.5	7.54-7.74
Inulīns no sausnas	48.5-50.1	5.82-6.01
Brīvā glikoze no sausnas	0.8	0.09
Brīvā fruktoze no sausnas	2.6	0.31
Saharoze no sausnas	10.6	1.27
Proteīns no sausnas	17.12	2.05
Lipīdi no sausnas	1.96	0.24
Nukleīnskābes no sausnas	2.11	0.25
Brīvās reducējošās vielas no sausnas	4.7-5.1	0.56-0.61

Avots: ražotāja sniegtā informācija

Yea-Sacc 1026 barības piedevas ķīmiskais sastāvs

Rādītājs	Daudzums (%)
Kopproteīns	25
Koptauki	5
Kokšķiedra	8
Skābi skalotā kokšķiedra	10.44
Kopējais sagremojamo barības vielu daudzums	80.2
Fosfors	1.23
Kālijs	1.81
Magnijs	0.46
Nātrijs	0.15

Avots: <https://store.alltech.com/products/yea-sacc>