

KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS
JŪROS TYRIMŲ INSTITUTAS

**NILO TILAPIJŲ (*OREOCHROMIS NILOTICUS*)
RECIRKULIACINĖS AKVAKULTŪROS
TECHNOLOGIJOS EFEKTYVUMAS DRUSKĖTO
VANDENS SĄLYGOMIS**

Ekologijos ir aplinkotyros studijų programos magistro
baigiamasis darbas

Autorius

JMNEA19 Gerda Petreikytė

Vadovas

Doc. dr. Nerijus Nika

Reg. nr.

Klaipėda, 2021

Santrauka

Gerda Petreikytė

NILO TILAPIJŲ (*Oreochromis niloticus*) RECIRKULIACINĖS AKVAKULTŪROS TECHNOLOGIJOS EFEKTYVUMAS DRUSKĖTO VANDENS SĄLYGOMIS

Ekologijos ir aplinkotyros studijų programos magistro baigiamasis darbas

Darbo vadovas: doc. dr. Nerijus Nika

Klaipėdos universitetas

Jūros tyrimų institutas

Klaipėda, 2021

Darbo apimtis: 57 puslapiai, 31 paveikslas, 2 lentelės.

Raktažodžiai: Nilo tilapija (*Oreochromis niloticus*), uždara vandens apytakinė sistema, druskėtas vanduo.

Dėl pasauliui gresiančio gėlo vandens trūkumo imamas ieškoti sprendimų, kuom jį būtų galima pakeisti. Tai neaplenkia ir akvakultūros – vis dažniau renkama sūlavandenes žuvis auginti druskėtame vandenyje. Daugelis autorių savo tyrimuose įrodė druskėto vandens naudą žuvų augimui bei kitoms fiziologinėms funkcijoms.

Šio tyrimo tikslas – įvertinti druskėto vandens įtaką Nilo tilapijų (*Oreochromis niloticus*) akvakultūros technologijos efektyvumui. Darbo tikslui pasiekti 2020 metų rugpjūčio 05 – gruodžio 18 dienomis Klaipėdos Universiteto Jūros tyrimų instituto Žuvininkystės ir akvakultūros laboratorijoje buvo atliktas eksperimentas. Jo metu iš B sistemos sukonstruotos trys atskirai veikiančios sistemėlės, vieną tokią sistemėlę sudarė trys baseinai. Eksperimente naudotas trijų skirtingų druskingumų vanduo – gėlas vanduo (0‰), vanduo iš Baltijos jūros priekrantės (6‰) bei skiestas jūros vanduo (3‰). Nilo tilapijos išrūšiuotos ir paskirstytos po baseinus. Tyrimo pradžioje vidutinis žuvų svoris buvo: 0‰ – $84,4 \pm 19,51$ g, 3‰ – $81,28 \pm 22,31$ g, 6‰ – $84,08 \pm 16,47$ g.

Kasdien matuoti vandens kokybės parametrai – temperatūra (°C), ištirpusio deguonies kiekis (%), pH, atliekami vandens mėginių testai nustatyti amonio (NH₄), nitritų (NO₂) ir nitratų (NO₃) kiekiui nustatyti, fiksuotas duodamo pašaro kiekis, kritusių žuvų skaičius. Maždaug kas tris savaites buvo atliekami matavimai, kurių metu žuvis buvo pasvertos, išmatuotas bendras ilgis (L) bei ilgis iki uodeginio peleko (l), nustatyta lytis, surinkti jaunikliai, jie suskaičiuoti. Eksperimentui pasibaigus apskaičiuoti: žuvų vidutinis svoris matavimų metu, specifinis augimo greitis (SGR), svorio prieaugis (Δw), pašaro konversijos santykis (FCR), pradinis ir galutinis Fultono koeficientai (K_i ir K_f), galutinė

biomasė bei išgyvenamumas. Vykdytas respiracijos eksperimentas naudojant Nilo tilapijų jauniklius, norint nustatyti jų metabolinį greitį (MO_2). Atliktas žuvies mėsos fizinių-cheminių savybių tyrimas.

Tyrimo metu nustatyta, kad vandens druskingumas turėjo statistiškai reikšmingą įtaką ištirpusio deguonies kiekiui, vandens pH ir nitritų kiekiui vandenyje. Taip pat, dėl druskėto vandens naudojimui nepritaikytos uždaros vandens apytakinės sistemos, tyrimo eigoje suprastėjo vandens kokybė, ypač 6‰ sistemoje, tai turėjo įtakos kitiems rezultatams. Augimas ir pašaro konversijos santykis statistiškai reikšmingai nesiskyrė skirtingo druskingumo sąlygomis. Prasčiausias išgyvenamumas buvo 6‰ sistemoje dėl tyrimo metu pablogėjusios vandens kokybės, geriausias – 0‰ sistemoje. Lytis turėjo statistiškai reikšmingos įtakos žuvų svoriui – galutinis patinų svoris buvo 54% didesnis nei patelių. Druskėto vandens sąlygos neturėjo reikšmingos įtakos Nilo tilapijų patelių nerštui, lervų ir mailiaus kiekiui. Statistiškai reikšmingų skirtumų nebuvo ir matuojant jauniklių metabolinį greitį. Vertinant mėsos kokybę tarp sistemų, statistiškai reikšmingai skyrėsi mėsos pH ir vandeningumas. Vandeningumas taip pat statistiškai reikšmingai skyrėsi tarp lyčių.

Summary

Gerda Petreikytė

EFFICIENCY OF NILE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) RECIRCULATING AQUACULTURE TECHNOLOGY UNDER BRACKISH WATER CONDITIONS

Master thesis in Ecology and Environmental Sciences

Supervisor: doc. dr. Nerijus Nika

Klaipeda University

Marine Research Institute

Klaipeda, 2021

Work's size: 57 papers, 2 tables, 31 pictures.

Key words: Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), recirculating aquaculture system, brackish water.

There are many areas in the world where scarcity of freshwater are threatening the human population. So humans have to look for solutions to replace freshwater when use of it is not necessary. This also has an effect to aquaculture – more and more farmers are farming freshwater fish in brackish water. Many authors have demonstrated the benefits of brackish water for fish growth and other physiological functions. Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) is valuable fish for its tolerance to high temperatures, salinity, low amount of dissolved oxygen. They are fairly easy to farm and the quality of the meat and the taste is good. But, despite all the qualities, farmers in Lithuania do not choose to farm these fish.

The aim of this study was to evaluate the effect of brackish water on the efficiency of Nile tilapia aquaculture technology. To achieve the goal an experiment was conducted in the Laboratory of Fishery and Aquaculture of the Marine Research Institute of Klaipeda University on August 5-December 18, 2020. During it, three separate recirculating aquaculture systems were constructed from system B. One such system consisted of three tanks. Tank volume – 2,83 m³. Total amount of biofilter filler – 130 L, water inflow – 36 L min⁻¹. All tanks were equipped with the same bio and mechanical filters, oxygen diffusers, the room is heated by heaters. In the experiment water of three different salinities were used: fresh water (0‰), water from the Baltic Sea (6‰) and diluted sea water (3‰). The remaining three basins are used as reserve tanks for storing and diluting seawater. Seawater is pumped to the laboratory from the shores of the Baltic Sea, and fresh water is obtained from a well. Nile tilapia were sorted and distributed into tanks. At the beginning of the study, the average fish weight was: 0‰ – 84,4 ± 19,51 g, 3‰ – 81,28 ± 22,31 g, 6‰ – 84,08 ± 16,47 g, stocking

density - 0‰ – 8,08 kg m⁻³, 3‰ ir 6‰ – po 8,22 kg m⁻³. Fish were acclimatized for three weeks, their health and behavior were monitored.

Water quality parameters were measured daily – temperature (°C), dissolved oxygen content (%), pH. Tests of water samples from each system were conducted to determine the amount of ammonium (NH₄), nitrite (NO₂) and nitrate (NO₃) in the water. Dead fish were counted.

During the experiment, approximately every three weeks, 30 fishes were randomly caught and measured from tank. Caught individuals were placed in plastic buckets filled with water. If present, juveniles were collected. Eggs and larvae were photographed, the amount was counted from the photo and fry was counted by transferring from one container to another. Counted juveniles were released into individual aquariums filled with water of appropriate salinity. Adult individuals were weighed, the total length (L) and the length to the caudal fin (l) were measured.

During the last two measurements, the sex of the fish was determined according to the shape and size of the papilla and the urogenital organs. A toluidine blue solution diluted with distilled water was used for determination of gender.

At the end of the experiment, the following were calculated: mean fish weight, specific growth rate (SGR), weight gain (Δw), feed conversion ratio (FCR), initial and final Fulton coefficients (K_i and K_f), final biomass, and survival.

A respiration experiment was conducted using Nile tilapia juveniles to determine their metabolic rate (MO₂). A PyroScience FireSting O₂ optical oxygen meter was used for the respiration experiment. Experiment was conducted in two trials. First one: water of different salinity (0‰, 3‰, 6‰) was added to each respirometry system, the water temperature was 22 °C. Juveniles from 0‰ aquarium were placed in 0‰ system, from 3‰ to 3‰ systems and from 6‰ aquarium to 6‰ system. Second trial: water of different salinity (0‰, 3‰, 6‰) was added to each system, the water temperature was 23 °C., Juveniles from 0‰, 3‰ and 6‰ aquariums were placed in each system. Intermittent respirometry method were used: when the amount of oxygen dropped ~ 2 mg L⁻¹ from the initial amount, the water was renewed – the former water was poured out of the bottle and a new, well-oxygenated water was added. Fry in the bottles were not changed. After the experiment, the fry was weighed (g).

A study of physico-chemical properties of fish meat was conducted. After the growth experiment, three females and three males were randomly transferred from each pool to the reservoirs of the system with water of appropriate salinity. A total of 54 tilapias were used in the study. Skinless fish fillets were used for the study, each piece was weighed. A total of 18 samples were taken, 6 from each system (3 females and 3 males). Due to the low weight of the female fillets, the samples were pooled – one sample consisted of three fish using one half of their fillets. Samples were kept on ice until they reached the laboratory. The study of physico-chemical properties of meat was performed at

the Veterinary Academy of the Lithuanian University of Health Sciences. The percentage of protein, fat, ash, dry matter, water binding and water content of the sample was determined and the pH was determined.

In this study were found that water salinity had a statistically significant effect on dissolved oxygen content, pH, and nitrite content in water. Also, due failed adaptation of freshwater recirculating aquaculture system to the brackish water, the water quality deteriorated during the study, especially in the 6 ‰ system, which affected other results. Growth and feed conversion ratios did not differ statistically significantly under different salinity conditions. The worst survival was in the 6 ‰ system due to deteriorating water quality during the study, and the best in the 0 ‰ system. Gender had a statistically significant effect on fish weight, with the final weight of males being 54% higher than females. Brackish water conditions did not significantly affect the spawning of Nile tilapia females, larval and fry amount. There were also no statistically significant differences in the measurement of pup metabolic rate. When assessing meat quality, there was a statistically significant difference in meat pH and water content between systems. Water content in fish meat also differed statistically significantly between the sexes.

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Specifinio augimo greičio (SGR) $\pm$ SD, pašaro konversijos santykio (FCR) $\pm$ SD, pradinio vidutinio Fultono koeficiento (K_i) $\pm$ SD ir galutinio vidutinio Fultono koeficiento (K_f) $\pm$ SD reikšmės, 26 psl.

2 lentelė. Patelių ir patinų skaičius (vnt.), 27 psl.

Paveikslų sąrašas

1 pav. Uždara vandens apytakinė sistema (modifikuota pagal www.lbaaf.co.nz), 11 psl.

2 pav. Nilo tilapija (*O. niloticus*) (nuotrauka autorės), 14 psl.

3 pav. Nilo tilapija (*O. niloticus*) burnoje inkubuojanti ikrelius (nuotrauka autorės), 14 psl.

4 pav. Eksperimento schema (schema autorės), 16 psl.

5 pav. Nilo tilapijos (*O. niloticus*) ikrai (nuotrauka autorės), 17 psl.

6 pav. Nilo tilapijos (*O. niloticus*): a) patinas; b) patelė (nuotraukos autorės), 18 psl.

7 pav. Įranga respiracijos eksperimentui (nuotrauka autorės), 19 psl.

8 pav. Respiracijos eksperimento schema. a) pirmas etapas, b) antras etapas (schema autorės), 20 psl.

9 pav. Nilo tilapijos (*O. niloticus*) mailius respiraciniame buteliuke (nuotrauka autorės), 21 psl.

10 pav. Nilo tilapijų (*O. niloticus*) filė (nuotrauka autorės), 22 psl.

11 pav. Ištirpusio deguonies kiekis (%) eksperimento laikotarpiu, 23 psl.

12 pav. Temperatūra (°C) eksperimento laikotarpiu, 23 psl.

13 pav. pH eksperimento laikotarpiu, 24 psl.

14 pav. Nitritų (NO_2) (mg L^{-1}) kiekis vandenyje eksperimento laikotarpiu, 24 psl.

15 pav. Nitratų (NO_3) (mg L^{-1}) kiekis eksperimento laikotarpiu, 25 psl.

16 pav. Vidutinis svoris (g) $\pm$ SD 0‰, 3‰ ir 6‰ sistemose, 25 psl.

17 pav. Galutinė biomasė (kg) sistemose, 26 psl.

18 pav. Nilo tilapijų (*O. niloticus*) išgyvenamumas (%) sistemose, 27 psl.

19 pav. Nilo tilapijų (*O. niloticus*) patelių ir patinų vidutinis svoris (g) $\pm$ SD, 28 psl.

20 pav. Neršiančių žuvų skaičius (vnt.) sistemose tyrimo laikotarpiu, 29 psl.

21 pav. Ikrų skaičius (vnt.) sistemose tyrimo laikotarpiu, 29 psl.

22 pav. Lervų skaičius (vnt.) sistemose tyrimo laikotarpiu, 30 psl.

23 pav. Mailius skaičius (vnt.) sistemose tyrimo laikotarpiu, 30 psl.

24 pav. Ryšys tarp suaugusių Nilo tilapijų patelių svorio (g) ir jauniklių kiekio (vnt.), 31 psl.

25 pav. Metabolinis greitis (MO_2) ($\text{mg g}^{-1} \text{h}^{-1}$) $\pm$ SD pirmo etapo metu, 31 psl.

26 pav. Metabolinis greitis (MO_2) ($\text{mg g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) $\pm$ SD antro etapo metu. Antrasis skaitmuo prie respiracijos sistemos pavadinimo, reiškia sistemą, iš kurios paimti jaunikliai, pvz. R10 – 0‰ vanduo ir jaunikliai iš 0‰ sistemos, 32 psl.

27 pav. Vidutinis patinų ir patelių riebalų, pelenų ir baltymų kiekis (%) $\pm$ SD sistemose, 33 psl.

28 pav. Vidutinis patinų ir patelių sausos masės, vandeningumo ir vandens rišlumo (%) $\pm$ SD kiekis sistemose, 34 psl.

29 pav. Vidutinis patinų ir patelių pH $\pm$ SD sistemose, 34 psl.

30 pav. Vandens kokybė a) 0‰ sistemoje, b) 3‰ sistemoje, c) 6‰ sistemoje (nuotraukos autorės), 37 psl.

31 pav. Nilo tilapijų (*O. niloticus*) patelė (viršuje) ir patinas (apačioje) (nuotrauka autorės), 38 psl.

Turinys

Įvadas.....	3
I. Literatūros analizė	5
1.1. Druskingumo įtaka žuvų anatomijai ir fiziologijai	5
1.2. Žuvų mėsos kokybė	7
1.3. Uždara vandens apytakinė sistema	11
1.4. Tyrimų istorija.....	13
1.5. Tyrimo objektas	13
II. Tyrimo metodai ir medžiaga.....	16
2.1. Eksperimento eiga.....	16
2.2. Respiracijos eksperimentas	19
2.3. Mėsos kokybės tyrimas.....	21
III. Rezultatai.....	23
3.1. Vandens kokybė.....	23
3.2. Augimas, išgyvenamumas bei pašaro konversija	25
3.3. Patinų ir patelių augimas.....	27
3.4. Reprodukciniai rodikliai ir ankstyvoji ontogenezė	28
3.5. Mėsos kokybė	32
IV. Rezultatų aptarimas	35
Išvados	41
Literatūros sąrašas	42

Ivadas

Šiuo metu nemaža dalis pasaulio gyventojų patiria gėlo vandens ir maisto trūkumą, šios problemos yra vienos iš svarbiausių besivystančios žmonijos iššūkių (FAO, 2015). Siekiant patenkinti vis didėjančios žmonių populiacijos aprūpinimą maistu, tampa svarbu ieškoti alternatyvių maisto šaltinių (Ruiz et al., 2019). Dėl esančio peržvejojimo, taršos bei klimato kaitos daugelio pagrindinių verslinių žuvų ištekliai labai sumažėjo (FAO, 2020). Nesikeičiant tokioms sąlygoms, be efektyvaus išteklių valdymo, natūralios populiacijos atsistatymo nėra tikimasi.

Akvakultūra – alternatyvus žuvies bei kitų jūros gėrybių (pvz. vėžiagyvių, moliuskų, dumblių) šaltinis žmonių poreikiams tenkinti (Ruiz et al., 2019). Dėka akvakultūros taip pat kuriamos naujos darbo vietos, skatinamas eksportas ir bendra socialinė bei ekonominė plėtra. Uždaros vandens apytakinės (recirkuliacinės) sistemos (UVAS) – akvakultūros tipas, užtikrinantis optimalią vandens kokybę ištisus metus, suteikiantis galimybę optimizuoti pašarų naudojimą ir pasiekti aukštą sveikų auginamų gyvūnų produkciją kontroliuojamomis sąlygomis (Rurangwa, Verdegem, 2014). UVAS, lyginant su kitomis akvakultūros sistemomis (pvz., tvenkiniais, pratekančiomis upių sistemomis), sunaudoja mažiau vandens, į aplinką išleidžia geriau išvalytas nuotekas bei padidina biologinį saugumą.

Susirūpinimą kelia ir didėjantis gėlo gruntinio vandens trūkumas (Abdelrhman et al., 2020). Pritaikymas akvakultūroje auginti žuvis bei kitus vandens organizmus jūriniame vandenyje yra pagrindinis tikslas daugelyje pasaulio regionų.

Nilo tilapija (*Oreochromis niloticus*) – viena iš svarbių verslinių žuvų rūšių, pasižyminčių gebėjimu išgyventi ir augti įvairiomis aplinkos sąlygomis: tiek gėlame, tiek druskėtame vandenyje, esant mažam kiekiui ištirpusio deguonies, toleruoja didesnę amonio ir nitritų kiekį vandenyje nei kitos komerciškai svarbios rūšys (Iqbal et al., 2012).

Didėjanti tilapijų paklausa rinkoje ir galimybė naudotis didžiuliais jūrinio vandens ištekliais paskatino šios rūšies auginimą akvakultūroje plačiu mastu (Iqbal et al. 2012). Pasaulyje 2018 metais užauginta 4,5 mln. tonų Nilo tilapijų (FAO, 2020). Pagal užauginamą kiekį tilapijas lenkia tik baltasis plačiakaktis (*Hypophthalmichthys molitrix*), ir baltasis amūras (*Ctenopharyngodon idellus*). Lietuvoje situacija kiek kitokia: vyrauja tvenkininė akvakultūra, kurioje daugiausia užauginama paprastųjų karpių (*Cyprinus carpio*) (2730 t., 2019 m.) (LSD). Uždarų vandens apytakinių sistemų akvakultūrą Lietuvoje vykdo iki 20 įmonių, daugiausiai jos užaugina afrikinių šamų (*Clarias gariepinus*) (311 t., 2019 m.) ir vaivorykštinių upėtakių (*Oncorhynchus mykiss*) (127 t., 2019 m.). Lietuvoje 2020 metais buvo viena akvakultūros įmonė auginanti Nilo tilapijas.

Tai, jog atlikta nemažai tyrimų, rodančių teigiamą druskėto vandens įtaką žuvų augimui ir kitoms fiziologinėms funkcijoms (Nass, Kloas, 2019), bei tai, jog Nilo tilapijos yra viena populiariausių rūšių auginamų akvakultūroje pasaulyje, tačiau Lietuvoje, nepaisant gerųjų žuvies

savybių, įmonės nesiryžta auginti šios rūšies, paskatino atlikti šį eksperimentą ir išmėginti auginimo biotechnologiją.

Tikslas – įvertinti druskėto vandens įtaką Nilo tilapijų (*O. niloticus*) akvakultūros technologijos efektyvumui.

Uždaviniai:

1. Nustatyti druskėto vandens įtaką UVAS funkcionavimui;
2. Nustatyti druskėto vandens įtaką Nilo tilapijų augimui, mirtingumui, pašaro konversijai;
3. Nustatyti lyčių įtaką akvakultūros efektyvumui;
4. Nustatyti druskėto vandens įtaką reprodukciniams rodikliams ir ankstyvajai ontogenezei;
5. Nustatyti druskėto vandens ir lyties įtaką mėsos kokybei.

I. Literatūros analizė

1.1. Druskingumo įtaka žuvų anatomijai ir fiziologijai

Druskingumas – bendra ištirpusių jonų koncentracija vandenyje arba dirvožemyje (Williams, Sherwood., 1994). Druskingumas gali reikšti bet kokius ištirpusius neorganinius jonus. Be svarbiausių elementų – chloro (Cl^-) ir natrio (Na^+), dažniausiai randama kalcio (Ca^{2+}), magnio (Mg^{2+}), kalio (K^+), sulfatų (SO_4^{2-}), karbonatų (CO_3^{2-}) ir bikarbonatų (HCO_3^-) jonų. Buveinės druskingumas yra pagrindinis abiotinis veiksnys, valdantis žuvų ir kitų vandens organizmų veiklą ir paplitimą (Kültz, 2015). Be to, druskingumas daro įtaką biocheminiams procesams ląstelių viduje ir išorėje. Venecijos sistema vandenų klasifikavimui pagal druskingumą (1958), apibrėžia vandenį, kaip gėlą, kai jo druskingumas $< 0,5\%$ (0 mOsmol kg^{-1}), o jūrinį vandenį – 30-40% ($1000 \text{ mOsmol kg}^{-1}$).

Stabilaus druskingumo aplinkoje gyvena stenohalinės žuvys, jų druskingumo toleravimo ribos yra siauros, eurihalinės žuvys – geba toleruoti platesnį druskingumo diapazoną (Wurts, 1998). Daugelis pasaulyje komerciškai svarbių gėlavandenių žuvų rūšių yra eurihalinės (pvz., lašišos (*Salmo* sp.), unguriai (*Anguilla* sp.), tilapijos (*Oreochromis* sp.)) (Edwards, Marshall, 2013). Gali būti reikalingas aklimatizacijos periodas, jog eurihalinės žuvys galėtų toleruoti didelius druskingumo lygio pasikeitimus (Wurts, 1998).

Vandens druskingumo pasikeitimas žuvims sukelia stresą (hiper- arba hipo- osmotinį), nes trukdo homeostazei ir įprastiems biologiniams procesams (Kültz, 2015). Žuvys palaiko santykinai pastovų jų tarpląstelinio kūno skysčio osmolalumą – apie $300 \text{ mOsmol kg}^{-1}$ (9‰ – izotoninis), nepriklausomai nuo aplinkos druskingumo. Gėlame vandenyje žuvų inkstai gamina praskiestą šlapimą, kad neutralizuotų difuzinį vandens padidėjimą, o žiaunos aktyviai iš aplinkos ima jonus bei stengiasi juos kuo labiau sulaikyti organizme (Sakamoto, McCormick, 2006). Jūriniame vandenyje atvirkščiai – difuzinis vandens praradimas neutralizuojamas gausiai geriant sūrų vandenį ir jį siurbiant per žarnyną, kol žiaunos aktyviai išskiria druskas. Dauguma žuvų yra jautrios aplinkos druskingumo pokyčiams, nes joms trūksta galimybių perjungti šiuos labai skirtingus osmoreguliacijos būdus (Evans, Kültz, 2020)

Kai eurihalinės žuvys pereina nuo hiper-osmoreguliacijos (aplinkos druskingumas $< 9\%$) prie hipo-osmoreguliacijos (aplinkos druskingumas $> 9\%$), žiaunose, inkstuose ir žarnyne vyksta daug sudėtingų funkcinų ir struktūrinių pokyčių, kurie parodo kritinę aplinkos druskingumo įtaką žuvų fiziologijai (Kültz, 2015).

Žuvų hidratacijos būsena atsispindi pakitusiame ląstelių hidratacijos būvyje (Kültz, 2012). Žuvų ir kitų gyvūnų ląstelės turi pusiau pralaidžias membranas (gerai praleidžia vandenį, prastai praleidžia jonus), tačiau jose nėra sienelių, todėl jos negali palaikyti turgoro slėgio ar osmosinio skirtumo tarp viduląstelinio ir ekstraląstelinio skysčio. Vidinio ląstelės skysčio sudėtis labai skiriasi nuo išorinio

skysčio – išoriniame skystyje gausus kalio jonų kiekis (100-200 mmol L⁻¹) ir nedidelis natrio jonų kiekis viduląsteliniam skystyje lemia homeostazę (Evans, Kültz, 2020).

Gyvūnų ląstelės nesugeba palaikyti pastovaus viduląstelinio osmoliškumo, bet koks išorinio osmoliškumo pokytis yra susijęs su viduląstelinio osmoliškumo pasikeitimu (Kültz, 2012). Ląstelių hidratacijos būsenos nukrypimas nuo optimalios trukdo makromolekulių ir ląstelių struktūrų funkcijoms. Šio žalingo osmosinio streso poveikio priežastis yra ta, kad ląstelių metabolizmas ir makromolekulių biocheminės savybės buvo parinktos optimaliai veikti specifinėje ir labai stabilioje tarpląstelinėje joninėje aplinkoje.

Ląstelių streso atsakas yra fiziologinis mechanizmas, padedantis įveikti aplinkos stresą, sukeliantį makromolekulinius pažeidimus (Evans, Kültz, 2020). Pagrindiniai atsako komponentai – makromolekulių apsauga ir taisymas, ląstelių ciklo sustojimas, medžiagų apykaitos energijos perskirstymas ir (jei viršijamos ląstelių tolerancijos ribos) užprogramuota ląstelių mirtis.

Žuvis sugeba suvokti ir kompensuoti druskingumo pokyčius: naudoja jutiklius osmosiniam stresui suvokti, osmosensorinius signalizacijos mechanizmus – informacijos apie osmosinį stresą perdavimui ir osmoreguliacijos efektoriaus mechanizmus – osmosiniam stresui palengvinti (Kültz, 2012). Osmosensoriai yra molekulės, kurios osmoliškumo pokyčius jaučia tiesiogiai (dėl jonų, osmoso ar vandens aktyvumo) ar netiesiogiai (makromolekulių susispaudimo ar pažeidimo, ląstelės tūrio pasikeitimo, membranos/citoskeleto įtempimo) (Kültz, 2013). Druskingumo sukeltas pokytis ląstelėje keičia signalo perdavimo kelius, kurie valdo osmoreguliacijos efektoriaus mechanizmus. Žuvų osmoreguliacijos efektorių mechanizmai apima jonų pernešimą per žiaunas, virškinamąjį traktą ir inkstus, vandens pernešimą virškinimo trakte, organinių osmolitų lygio reguliavimą, epitelio jungčių reguliavimą, šlapimo sudėties ir tūrio reguliavimą (Edwards, Marshall, 2013).

Žuvis gali reaguoti į osmosinį stresą ne tik siųsdamos signalą apie dirgiklį į smegenis, kurios, neuronų pagalba jį perduoda į atsakingas ląsteles, bet ir tiesiogiai (Kültz, 2013). Eurihalinių žuvų žiaunose yra neuroepitelinių ląstelių, kurios tiesiogiai kontaktuoja su aplinka, taip pat jose gaminami citokinai – jais siunčiamas signalas apie osmosinį slėgį tarp ląstelių ar audinių.

Osmoreguliacija yra daug energijos reikalaujantis procesas (Fiúza et al., 2015). Net ir toms rūšims, kurių medžiagų apykaitos greitis yra mažesnis, osmoreguliacija sunaudoja didelę dalį turimos energijos – nuo 20 iki daugiau nei 50% visų energijos sąnaudų priklausomai nuo aplinkos druskingumo (Boeuf, Payan, 2001). Energetinės osmoreguliacijos išlaidos yra mažesnės izo-osmotinėje terpėje (9-12%), kur gradientas tarp kraujo ir vandens yra minimalus. Šis energijos taupymas gali būti nukreiptas į kitas svarbias metaboline funkcijas, tokias kaip augimas (Martinez-Palacios, 1990). Jonų reguliavimo energetinės sąnaudos didėja tostant nuo izo-osmotinių

sąlygų, tačiau bet kokiems bandymams įvertinti šias sąnaudas turi įtakos kiti medžiagų apykaitos procesai, reaguojantys į druskingumo pokyčius (Boeuf, Payan, 2001).

Žuvų augimas, bei kitos funkcijos priklauso nuo vidinių (nervų, endokrinologinių, neuroendokrinologinių) ir išorinių (ekologinių) veiksnių (Boeuf, Payan, 2001). Pastaruosius galima suskirstyti į du tipus: lemiantys veiksniai (temperatūra, druskingumas, fotoperiodas), kurie veikia tiesiogiai per receptorius, kad padidintų arba sumažintų augimą ir ribojantys faktoriai, veikiantys augimą esant virš (pvz., amoniakas) arba žemiau (pvz., deguonis) tam tikro slenksčio.

Geresnis augimas jūriniame vandenyje priklauso ir nuo maisto suvartojimo, nes gėlavandenės žuvys apysūriame vandenyje įsisavina didesnę maisto medžiagų kiekį (Bukelskis ir kt., 2014). Tokį elgesį kontroliuoja centrinė nervų sistema ir kiti hormonai, įskaitant insuliną, gliukagoną, adrenalina, cholecistokinina (CCK), peptidą YY (PYY), augimo hormoną (GH), tiroidų hormoną (TH) (Boeuf, Payan, 2001). Tačiau, didelis druskingumas gali turėti ir neigiamą poveikį pašaro įsisavinimui – išgertas sūrus vanduo gali paveikti virškinimo fermentų aktyvumą (Mapenzi, Mmochi, 2016). Augimui ir maisto konversijai, taip pat turi įtakos ir temperatūros-druskingumo sąveika (Boeuf, Payan, 2001).

Daugelis jūrinių žuvų plaukia į estuarijas neršti, kad ikreliai ir lervutės vystytųsi mažo druskingumo vandenyje (Bishai, 1961). Kitos žuvys, pvz., lašišinės (*Salmoniformes*), neršti migruoja į gėlo vandens telkinius, o ikreliai ir jaunikliai vystosi gėlame vandenyje prieš jų migraciją į jūrą. Išgyvenamumas ir gebėjimas reguliuoti osmosinį slėgį skirtinguose druskingumuose priklauso nuo žuvies dydžio, amžiaus bei gebėjimo reguliuoti osmosinį slėgį žiaunose (Tandler et al., 1995). Ikrų gyvybinės funkcijos yra daug labiau apribotos nei subrendusių žuvų, nes dar nėra išvystyta homeostatinė kontrolė (Parry, 1966), todėl manoma, kad vystantis embrionams bei lervoms, jonų reguliavimas reikalauja daugiausiai energijos sąnaudų (Swanson, 1996). Druskingumas turi įtakos sėkmingam embrionų vystymuisi, ikrelių išsiritimui, tolimesniam lervų išgyvenimui bei augimui (Rogers, 1976), trynio maišo sunaudojimo efektyvumui (Swanson, 1996). Druskingumas dažnai yra embriono mirtingumo priežastis gastruliacijos stadijoje (Rogers, 1976), ekstremalus kiekis gali sukelti vystymosi anomalijas (Walsh et al., 1991). Pastebėta, kad nedidelis osmosinis slėgis tėvų kraujyje prisideda prie padidėjusio vandens kiekio ikrelyje (Holliday, 1969). Tai leidžia manyti, kad tėvų reakcija į druskingumą daro įtaką ikrelių išgyvenamumui.

1.2. Žuvų mėsos kokybė

Maisto augintojai ir gamintojai siekia vartotojams pasiūlyti maisto produktą, kuriems keliami tam tikri kokybės reikalavimai – spalva, drėgmė, bendra išvaizda, kvapas, produkto švelnumas, elastingumas, minkštumas ar kietumas (Al-Husseiny, 2017). Šie požymiai suformuoja lūkesčius dėl produkto kokybės, yra svarbūs vartotojo sprendimui pirkti.

Cheminis mėsos sudėties tyrimas yra svarbus, nes tai daro įtaką kokybės ir technologinių savybių išlaikymui (Jim et al., 2017). Baltymai, lipidai ir vandeningumas dažnai matuojami, siekiant užtikrinti, kad jie atitiktų maisto reglamentų ir komercinių specifikacijų reikalavimus, šie faktoriai taip pat daro įtaką mėsos galiojimo laikui.

Apie 50-60% žuvies svorio sudaro raumenys – baltymai yra pagrindinė sudedamoji dalis, sudaranti apie 16-21%, lipidai (0,5-2,3%), pelenai (1,2-1,5%) ir vanduo (52-82%), angliavandenių yra mažai, apie 0,5% (Petricorena, 2015).

Vanduo. Raumenyse esantis vanduo yra tvirtai surištas su baltymais (Gokoglu, Yerlikaya, 2015). Pastebėtas atvirkštinis ryšys tarp vandens ir lipidų kiekio – kuo riebesnė žuvis, tuo mažiau vandens turi savo sudėtyje (Venugopal, Shahidi, 1996). Vandens mažėja su amžiumi (Gokoglu, Yerlikaya, 2015).

Baltymai. Baltymai yra būtini individų augimui (Gokoglu, Yerlikaya, 2015). Žmonės ir kiti žinduoliai negali sintetinti būtinų amino rūgščių, todėl jie turi gauti jų su maistu. Žuvis yra vienas pigiausių gyvūninių baltymų šaltinių (Jim et al., 2017). Žuvų mėsosje gausu būtinų amino rūgščių, tokių kaip lizinas, cistinas, metioninas, treoninas ir triptofanas (Gokoglu, Yerlikaya, 2015). Nėra amino rūgščių sudėties skirtumų tarp gėlavandenių ir jūrinių žuvų (Venugopal, Shahidi, 1996)

Gėlavandenėse ir jūrinėse žuvyse baltymų kiekis skiriasi (Petricorena, 2015). Kai kurių žuvų rūšių baltymų kiekis skiriasi priklausomai nuo sezono ir gali nukristi 2-3% (Venugopal, Shahidi, 1996).

Žuvų ir vėžiagyvių raumenų baltymai skirstomi į tris pagrindines grupes (Gokoglu, Yerlikaya, 2015):

- Sarkoplazminiai baltymai sudaro apie 15–30% visų žuvų raumenyse esančių baltymų. Šie baltymai susideda iš įvairių fermentų, pigmentinių baltymų, tokių kaip mioglobinas ir hemoglobinas, ir kitų albuminų. Oksimioglobinas ir oksihemoglobinas yra atsakingi už žuvų raumenų spalvos ypatybes. Mėsos kokybę lemia sarkoplazmos fermentai – hidrolazės, oksidoreduktazės ir transferazės – jų buvimas neigiamai veikia miofibrilinių baltymų gelių stiprumą ir vandens surišimo galimybes.
- Miofibriliniai baltymai sudaro 65–70% žuvų raumenų baltymų. Miozinas sudaro storus miofilamentus, o aktinas yra pagrindinė plonų gijų sudedamoji dalis. Miozinas ir aktinas taip pat yra atsakingi už vandens surišimą, emulsinimo gebėjimą ir gelinimą.
- Stromos baltymai – jungiamojo audinio baltymai. Daugiausia susideda iš kolageno, elastino ir želatinos. Kolagenas suteikia minkštumą žuvies mėsos struktūrai. Mėsa lengvai virškinama dėl mažo jungiamojo audinio kiekio ir raumenų skaidulų trūkumo.

Iš žuvų išskirti baltymai naudojami daugelyje pramonės sričių – emulsijų, želatinos gamybai, naudojami kaip plėvelę formuojanti medžiaga, pašarai akvakultūroje ar

gyvulininkystėje (Petricorena, 2015). Išskirti bioaktyvūs peptidai ir hidrolizatai apsaugo ir veikia širdies ligas, diabetą, vėžį, su nutukimu susijusias chronines ligas. Baltymų gelio formavimo gebėjimas turi didelę reikšmę tokiuose produktuose kaip surimi ir kamaboko (Gokoglu, Yerlikaya, 2015). Baltymų koncentratai naudojami kaip maisto papildai kūdikiams, sportininkams ir ligoniams, siekiant praturtinti suvartojamų baltymų kiekį.

Be baltymų, žuvų raumenyse yra ir kitų azoto junginių – laisvosios aminorūgštys, peptidai, kreatinas, kreatininas, amino oksidai, kreatininas, nukleotidai (Venugopal, Shahidi, 1996). Šie junginiai lemia ne tik organoleptines ypatybes (pvz., trimetilamino oksidas sukelia „žuvišką“ kvapą (Venugopal, Shahidi, 1996)), bet ir prisideda prie žuvies produktų gedimo (Gokoglu, Yerlikaya, 2015).

Lipidai. Lipidai yra pagrindinis ląstelių energijos šaltinis (Gokoglu, Yerlikaya, 2015). Riebalų rūgštys lemia audinio tvirtumą, galiojimo laiką, spalvą, skonį bei kvapą (Wood et al., 2003).

Žuvis, pagal lipidų kiekį, skirstomos į tris kategorijas – liesos (mažiau kaip 2% lipidų), vidutinio riebumo (2-5%) ir riebios rūšys (daugiau nei 5%) (Venugopal, Shahidi, 1996). Liesų žuvų raumenys paprastai būna balti, o didesnio riebumo žuvų spalva tamsesnė.

Žuvų raumenyse yra mažai cholesterolio (Petricorena, 2015). Gėlavandenių žuvų raumenyse yra daugiau cholesterolio nei jūrinėse (Gokoglu, Yerlikaya, 2015). Yra žinoma, kad žuvyse gausu polinesočiųjų riebalų rūgščių (PNRR) – omega-3 (kurias sudaro dokozaheksaeno ir eikozapentaeno rūgštys) ir omega-6 riebalų rūgštys (Li et al., 2011).

Riebalų kiekis ir riebalų rūgščių sudėtis žuvyse keičiasi atsižvelgiant į mitybą, gyvenimo ciklą, lytį, buveinę, temperatūrą ir druskingumą (Cakmak et al., 2012). Jūrinėse žuvyse didesnis bendras lipidų bei omega-3 kiekis, gėlavandenėse žuvyse daugiau omega-6 riebiųjų rūgščių (Li et al., 2011). Skirtumą tarp jūrinių ir gėlavandenių žuvų gali lemti riebalų rūgščių kiekio skirtumai maisto racione arba tai gali būti susiję su fiziologiniu prisitaikymu prie aplinkos (Chow, 1980). Abbas ir kitų (2009) tyrime nustatyta, kad riebiųjų rūgščių kiekis yra mažesnis žuvyse, kurios pagautos šaltuose Ramiojo vandenyno vandenyse, palyginus su šiltamėgėmis žuvimis.

Žmonės gali sintetinti polinesočiąsias riebalų rūgštis, tačiau šių riebalų rūgščių konversija yra per maža natūraliai apsirūpinti organizmui (Gokoglu, Yerlikaya, 2015). PNRR teikia naudos sveikatai – sumažina hipertenziją ir cholesterolio kiekį, astmą, imuninės sistemos sutrikimus, polinkį į psichikos ligas, veikia priešūždegimiškai, apsaugo nuo širdies ligų, vėžio, pagerina vaikų smegenų ir akių funkciją, nervinių ląstelių vystymąsi (Li et al., 2011).

Angliavandeniai. Angliavandeniai yra pagrindinis metabolinės energijos šaltinis (Gokoglu, Yerlikaya, 2015). Angliavandeniai yra glikogene ir kaip žuvų raumenų nukleotidų sudedamoji dalis. Glikogeno kiekis yra susijęs su mėsos pH verte (Al-Husseiny, 2017). pH yra vienas iš svarbiausių faktorių, nusakančių mėsos laikymo trukmę, vandens surišimo galimybę bei spalvą. Žuvų prieš mirtį

patiriamas stresas, kurio metu sunaudojamos glikogeno atsargos, taip pat lemia mėsos pH (Gokoglu, Yerlikaya, 2015).

Svarbi žuvies mėsos kokybės problema yra kvapas ir skonis. Pašaliniai skonis ir kvapas yra nepageidaujami bei vartotojų laikomi nepriimtinais (Sándor et al., 2011). Akvakultūroje užaugintoms jūrinėms ar gėlavandenėms žuvims pašalinį skonį gali suteikti pašarai, pomirtinis oksidacinis kvapų iš aplinkos sugėrimas. „Dumbluotą“ skonį ir kvapą dažniausiai sukelia du natūralios kilmės izoprenoidiniai junginiai – 2-metilizoborneolis (MIB) ir geosminas (GSM), kuriuos sintetina įvairūs mikroorganizmai. Šie du izoprenoidai randami ir natūraliuose vandens telkiniuose ir akvakultūros sistemose.

Vitaminai ir mineralai. Mineralai vaidina svarbų vaidmenį atliekant fermentines reakcijas, formuojant skeleto struktūrą, raumenų susitraukimą, reguliuojant osmosinį slėgį, klampumą, difuziją bei rūgščių ir šarmų pusiausvyrą (Gokoglu, Yerlikaya, 2015). Jūros gėrybėse randamas didesnis mineralinių medžiagų kiekis nei sausumoje gyvenančiuose organizmuose (Venugopal, Shahidi, 1996). Mineralų kiekis jūrinių žuvų ir bestuburių žaliajoje mėsoje svyruoja nuo 0,6 iki 1,5 % drėgnos masės. Jų kiekis skiriasi priklausomai nuo sezono, biologinių ypatumų, maisto šaltinių, aplinkos veiksnių ir perdirbimo (Gokoglu, Yerlikaya, 2015).

Daugiausia žuvyse yra kalcio ir fosforo, kurių suvartojimas dar padidėja valgant mažų žuvų mėsą kartu su ašakomis (Gokoglu, Yerlikaya, 2015). Taip pat randama natrio, kalio ir chloro. Jūrinės žuvis yra geri jodo bei seleno šaltiniai. Kepenyse gausu geležies, cinko, vario ir mangano (Petricorena, 2015).

Kai kurie mikroelementai – toksiški sunkieji metalai, tokie kaip gyvsidabris, arsenas, švinas ir kadmio. Sunkieji metalai yra pripažįstami kaip vienas iš svarbiausių teršalų, todėl jų kaupimasis organizmuose stebimas dėl jūros gėrybių vartojimo saugumo.

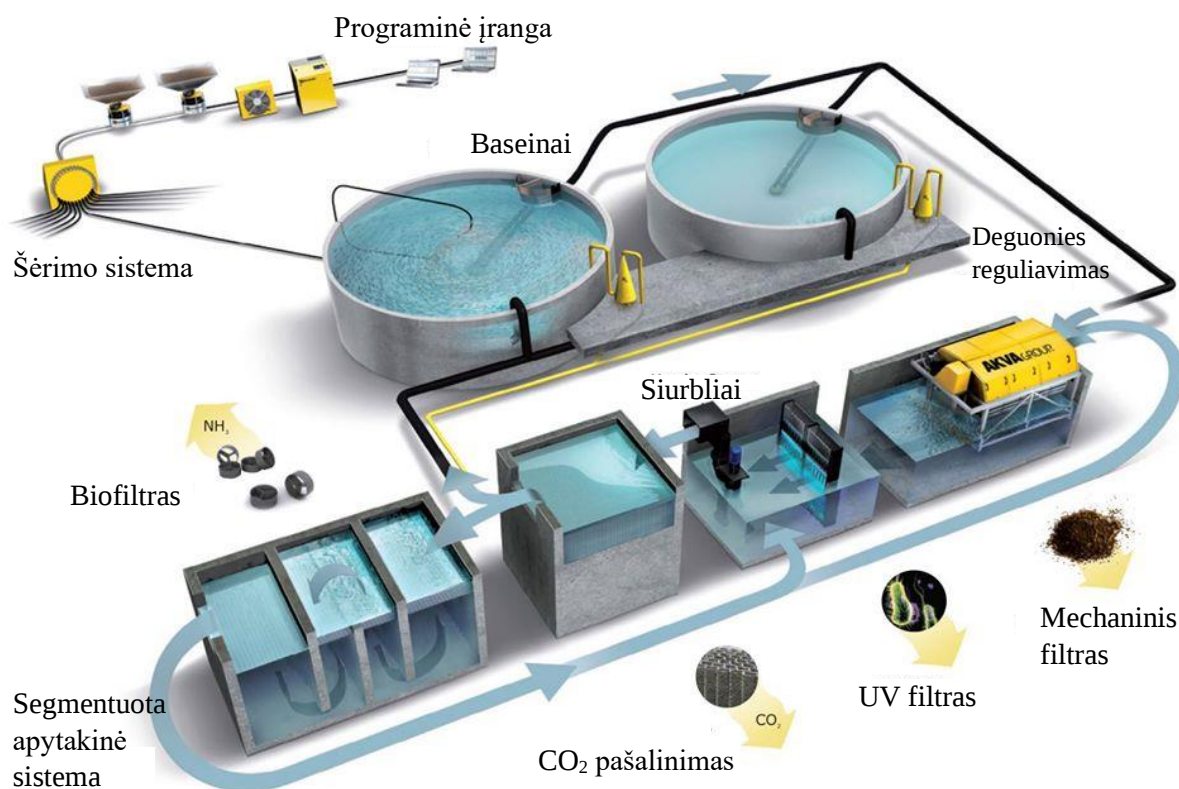
Vitaminai yra būtini medžiagų apykaitos reakcijoms organizme (Gokoglu, Yerlikaya, 2015). Jie veikia kaip kofaktoriai arba kofermentai biocheminėse reakcijose. Vitaminai leidžia įsisavinti angliavandenius, baltymus ir riebalus. Jie taip pat vaidina svarbų vaidmenį susidarant kraujo ląstelėms, hormonams ir neuromediatoriams. Daugumos vitaminų jų organizmas negali sintetinti, todėl svarbu jų gauti su maistu.

Vitaminų kiekis žuvyse skiriasi priklausomai nuo rūšies, amžiaus, sezono, lytinio brendimo ir geografinės vietovės (Petricorena, 2015). Vitaminų A, D, E ir K koncentracija yra didesnė žuvyje nei kitoje mėsoje, be to jos yra laikomos geru B komplekso vitaminų šaltiniu (Jim et al., 2017).

1.3. Uždara vandens apytakinė sistema

Uždara vandens apytakinė sistema (UVAS) – technologija, skirta vandens organizmų auginimui pakartotinai naudojant vandenį (Bregnballe, 2015). Šis metodas gali būti panaudotas auginant bet kokias vandens gyvių rūšis, tokias, kaip žuvis, krevetės, moliuskai ir kt., tačiau recirkuliacijos technologija visų pirma yra naudojama žuvininkystėje. Uždaros vandens apytakinės sistemos tapo svarbia priemone užtikrinant tvarią, ekologišką ir nuolatinę akvakultūros produkciją (Lugert, 2014).

Vandens kokybės palaikymas UAS yra nukreiptas į azoto atliekų ir suspenduotų kietų medžiagų pašalinimą, organinių junginių kaupimosi kontrolę ir deguonies papildymą (Brazil, 2006). Sistema yra paprasta (1 pav.) – iš žuvies auginimo baseinų vanduo teka į mechaninį filtrą, toliau – į biologinį filtrą, pašalinamas anglies dvideginis, prisotinamas deguonimi, grąžinamas į apytaką (Bregnballe, 2015). Pridedami ir kiti įtaisai – ultravioletinės šviesos lempa, ozono dezinfektorius, automatinis pH reguliatorius, denitrifikacijos sistema ir kt.



1 pav. Uždara vandens apytakinė sistema (modifikuota pagal www.lbaaf.co.nz)

Apytakinės sistemos sparčiai plėtojamos daugelyje žuvų auginimo sektoriaus sričių – nuo didžiulių įrenginių, gaminančių daug tonų vartojimui skirtos žuvis per metus, iki nedidelių modernių sistemų, naudojamų nykstančioms rūšims išsaugoti ir atstatyti (Bregnballe, 2015). UVAS pranašumas yra tai, kad žuvis auginamos kontroliuojamoje aplinkoje – leidžia kontroliuoti produkto augimo

tempus, nuspėti derliaus nuėmimo grafiką, produkcijos dydį ir kiekį (Ebeling, Timmons, 2012). Dėl aplinkos sąlygų kontrolės turi konkurencinį pranašumą prieš lauko sistemas, nes gamyba vyksta visus metus, nepaisant sezono.

Ligų sukėlėjų poveikis UVAS ženkliai sumažėja – vanduo dažniausiai yra imamas iš gręžinio, drenažo sistemos arba šaltinio, kuriuose ligų rizika yra minimali (Bregnballe, 2015). Dauguma recirkuliacinių sistemų neturi visiškai jokių problemų dėl ligų, todėl vaistų panaudojimas yra ženkliai sumažinamas, kas yra naudinga produkcijai ir supančiai aplinkai.

Lyginant su tradiciniais auginimo būdais, apytakinės sistemos sunaudoja mažiau vandens (Shnel et al., 2002). UVAS galima naudoti vietose, kur vandens kokybė, jo kiekis, aplinkos temperatūra, žemės kaina ar kiti parametrai yra už priimtinių ribų (Ebeling, Timmons, 2012). Sumažėjęs neigiamas poveikis aplinkai buvo svarbus šių sistemų kūrimo veiksnys.

Vis dėlto šios sistemos gali daryti poveikį aplinkai, nes jų nuotekose yra didelės organinių medžiagų ir maistinių medžiagų (ypač neorganinio azoto ir fosforo) koncentracijos. Sumažinti poveikį aplinkai galima tinkamai išvalius nuotekas arba efektyviau valant vandenį apytakinėje sistemoje (Shnel et al., 2002). Sistemos, taip pat, reikalauja didelių investicijų ir eksploatavimo išlaidų, norint gauti pelną, jos turi būti labai produktyvios (Lugert, 2014).

Nitrifikacija yra svarbi pasaulinio azoto ciklo dalis (Hüpeden et al., 2020). Nitrifikacija apima amoniako oksidavimąsi į nitritą ir toliau į nitratą. Jį vykdo amoniako oksiduojančių bakterijų ir/arba archėjų (AOB/AOA) ir nitritus oksiduojančių bakterijų (NOB) kompleksas. Intensyviose akvakultūros sistemose pašaro kiekis ir vandens valdymas daro įtaką auginamų žuvų tankumui. Tai yra svarbu, nes netinkama praktika gali sukelti nitrifikacijos proceso pokyčius ir azoto produktų kaupimąsi dėl nesuvartoto pašaro bei žuvų šalinimo produktų (Ruiz et al., 2019). Didelis amoniako ir nitritų kiekis kelia didelį pavojų vandens gyvūnų gyvybei ir mažina akvakultūros produktyvumą (Gao et al., 2020). Norint išvengti kenksmingų azoto junginių kaupimosi, būtinas vandens valymas (Hüpeden et al., 2020). Nitrifikacijos procesas yra plačiai naudojamas biologinis metodas UAS biofiltruose, kurio metu pašalinamos toksiškos medžiagos (Kinyage et al., 2019). UAS, nitrifikacija vyksta biofiltruose, kur chemolitoautotrofinės bakterijos nusėda ant bionešiklinių elementų kartu su heterotrofinėmis bakterijomis tankiuose biofilmuose. Azoto ciklo bakterijų biologinė įvairovė UAS biofiltruose yra didelė. AOB susideda iš *Nitrosomonas* ir *Nitrosospira* ir jūrinių *Nitrosococcus* genčių. Be to, amoniaką oksiduojančios archėjos, prisitaikiusios oligotrofinėms sąlygoms, neseniai buvo nustatytos gėlavandeniuose ir jūriniuose UVAS biofiltruose. NOB sudaro ir jūrinės, ir gėlavandenės *Nitrospira* ir *Nitrobacter*, bei jūrinės *Nitrococcus* ir *Nitrospina*. Nitrifikuojančios bakterijos konkuruoja su heterotrofinėmis dėl maistinių medžiagų, deguonies ir vietos. Įvairūs vandens parametrai daro įtaką nitrifikacijos efektyvumui, vienas iš jų – druskingumas (Kinyage et al., 2019).

Nitrifikuojančios bakterijos jautriai reaguoja į druskingumo pokyčius, todėl svarbūs druskos koncentracijos poveikio tyrimai nitrifikacijos procesui (Hüpeden et al., 2020). Didelis druskingumas valomame vandenyje gali sukelti reikšmingą neigiamą poveikį nitrifikuojančių bakterijų metaboliniam aktyvumui, bendrijos struktūrai ir nusėdimui (Gao et al., 2020). Mikrobinė biomasė esanti biofiltre gali žymiai sumažėti, padidėjus druskingumo lygiui, tuo tarpu druskingumui atsparių mikroorganizmų, kurie iš pradžių nebuvo dominuojantys, kiekis gali palaipsniui didėti. Druskingumas, didesnis nei 5‰, veikia amoniaką oksiduojančių bakterijų ir nitritus oksiduojančių bakterijų reakcijų greitį (Kinyage et al., 2019). Esant labai mažam druskingumui ($\leq 3,7\text{‰}$) pastebėtas tik nedidelis neigiamas poveikis, o visiškas slopinimas pastebėtas esant didesniai nei 24‰ druskingumui.

1.4. Tyrimų istorija

Naas ir Kloas (2019) atliktos meta-analizės metu buvo rasti 56 straipsniai, susiję su gėlavandenių žuvų auginimu naudojant jūrinį vandenį akvakultūroje. Tyrimai atlikti su skirtingų būrių žuvimis – šamažuvėmis (*Siluriformes*) (Fagbenro et al., 1993; Luz, dos Santos 2010; Mattioli et al., 2017), lydekžuvėmis (*Esociformes*) (Engstrom-Ost et al., 2005), *Cichliformes* (Likongwe et al., 1996; Kang'ombe, Brown 2008; Iqbal et al., 2012; Hegazi et al., 2014), lašišažuvėmis (*Salmoniformes*) (Morgan, Iwana, 1991; Arnesen et al., 1993; Duston et al., 2007). Šie eksperimentai atlikti naudojant ne tik skirtingas žuvų rūšis, tačiau ir skirtingas jų gyvenimo stadijas, taip pat taikytos nevienodos eksperimento planavimo ir matavimo metodikos, aklimatizacijos trukmė.

Meta-analizės metu nustatyta, jog optimalus druskingumas žuvų augimui yra 2,6‰ (Naas, Kloas, 2019), kas prieštarauja nuomonei, jog geriausias augimas yra iso-osmotiniame (9-12‰) vandenyje, nes tada osmoreguliacija reikalauja mažiausiai energijos sąnaudų, kurią galima panaudoti augimui (Martinez-Palacios et al., 1990; Boeuf, Payan, 2001; Cuesta et al., 2019).

Lietuvoje panašių tyrimų vykdyta nedaug. Tirtas starkingų (*Sander lucioperca*) ir ešerių (*Perca fluviatilis*) augimas skirtingo druskingumo sąlygomis Kuršių mariose bei Baltijos jūros priekrantėje (Ložys, 2004). Rezultatai parodė, kad tam tikromis temperatūros sąlygomis druskėtas vanduo (5‰) daro teigiamą įtaką starkingų ir ešerių augimui.

1.5. Tyrimo objektas

Nilo tilapija (*O. niloticus*) (2 pav.) – vienos iš dažniausiai auginamų ir maistui parduodamų žuvų (Gupta, Acosta, 2004). Produkcija pasaulyje 2018 metais siekė apie 4,5 mln. tonų (FAO, 2020). Paplitusios daugelyje šalių, bet vietinės Afrikoje ir Viduriniuose Rytuose (Gupta, Acosta, 2004). Kūnas lateraliai suspaustas, turi ilgus spyglius ant nugarinio peleko (Popma, Masser, 1999). Spygliai taip pat randami ant pilvinio ir analinio peleko. Gali užaugti iki 60 cm ilgio, 4,3 kg svorio, gyvena iki 9 metų (FishBase). Patinai auga greičiau bei užauga didesni nei patelės (Guerrero, 1982).



2 pav. Nilo tilapija (*O. niloticus*) (nuotrauka autorės).

Lytinis brendimas priklauso nuo amžiaus, dydžio bei aplinkos sąlygų – keliuose Rytų Afrikos ežeruose Nilo tilapija subręsta maždaug 10-12 mėnesių ir 350-500 g (Popma, Masser, 1999). Geromis dirbtinio auginimo sąlygomis subręsta 5-6 mėnesių ir 150-200 gramų. *Oreochromis* genties patinai, po trumpo poravimosi ritualo, išoriškai apvaisina ikrelius, o patelė juos susirenka ir inkubuoja burnos ertmėje iki kol išsirita, o dažnai net iki kol jaunikliai pradeda maitintis (3 pav.). Ikrų skaičius neršte yra nedidelis, proporcingas patelės kūno svoriui – 100 g patelė išneršia maždaug 100 ikrelių, o 600–1000 g sverianti patelė – 1000-1500 ikrelių (FAO). Jei yra palaikomos optimalios sąlygos nerštui, patelė gali neršti nuolat. Neršto bei ikrelių inkubacijos metu, patelė maitinasi nedaug arba visai nesimaitina.



3 pav. Nilo tilapija (*O. niloticus*) burnoje inkubuojanti ikrelius (nuotrauka autorės).

Paprastai nebeauga esant žemesnei nei 16 °C temperatūrai ir negali išgyventi žemesniame nei 10 °C temperatūros vandenyje, bet tolerantiškos aukštai (~40 °C) vandens temperatūrai (Chervinski, 1982). Normaliam tilapijų vystymuisi, augimui ir dauginimuisi reikalinga yra 20-35 °C temperatūra (El-Sayed, 2006), tačiau optimalus diapazonas yra 25–30 °C (El-Sherif, El-Feky, 2009). Išgyvena esant mažam ištirpusio deguonies kiekiui (0,7-0,8 mg L⁻¹), tačiau augimas sustoja, jei deguonies kiekis yra 2-2,5 mg L⁻¹ (Chervinski, 1982). Optimalus ištirpusio deguonies kiekis – virš 5 mg L⁻¹ (Makori et al., 2017). Gali išgyventi deguonies prisotinimą iki 400% (El-Sayed, 2006). Tiesiogiai perkeliant, gali tverti 18‰ druskingumą, aklimatizuojant – iki 36‰. Optimalus druskingumas – iki 15‰. Toleruoja pH nuo 5 iki 10, geriausiai jaučiasi esant 6-9 pH, taip pat tveria didesnes amoniako ir nitritų koncentracijas (Chervinski, 1982).

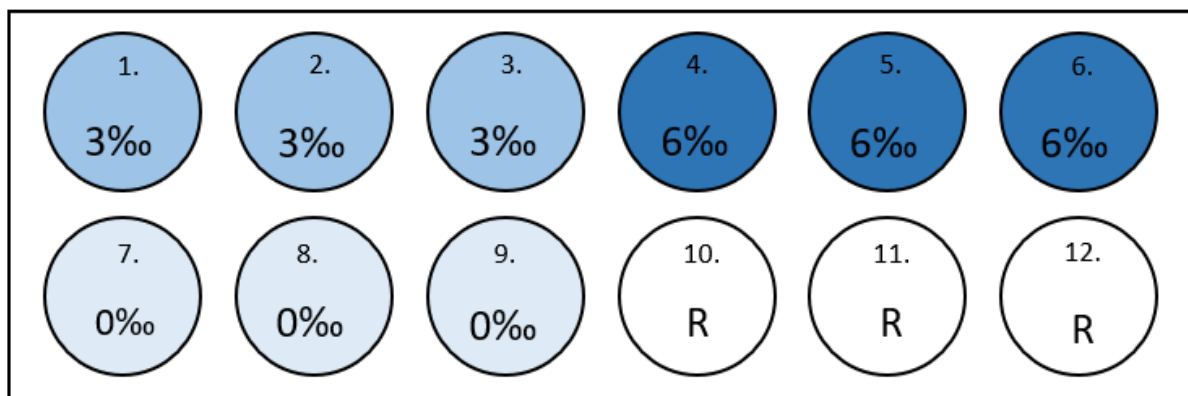
Yra daugybė priežasčių, dėl kurių tilapijas dažnai renkasi auginimui akvakultūroje – patrauklios išvaizdos, lengvai veisiamos, atsparios ligoms, gali būti laikomos dideliu tankumu bei šeriamos tiek dirbtiniu, tiek natūraliu pašaru, mėsa tvirta, geros kokybės (Gabbadon, 1998).

II. Tyrimo metodai ir medžiaga

2.1. Eksperimento eiga

Nilo tilapijos auginamos Klaipėdos universiteto Jūros tyrimų instituto Žuvininkystės ir akvakultūros laboratorijoje, uždaroje vandens apytakinėje sistemoje B. Sistemą sudaro 12 baseinų (vieno baseino tūris – $2,83 \text{ m}^3$) skirtų žuvų auginimui. Šio eksperimento metu žuvų auginimui naudojami devyni baseinai, kurie buvo permontuoti į tris atskirai veikiančias uždaras vandens apytakines sistemas. Bendras biofiltro užpildo kiekis – 130 L, vandens įtekėjimas – 36 L min^{-1} , visi baseinai aprūpinti vienodais bio ir mechaniniais filtrais, deguonies difuzoriais, patalpa šildyta šildytuvais. Likę trys baseinai naudojami kaip rezervinės talpos jūrinio vandens laikymui ir skiedimui. Jūrinis vanduo į laboratoriją pumpuojamas iš Baltijos jūros priekrantės, gėlas vanduo gaunamas iš gręžinio.

Tilapijos (vid. svoris $72,33 \text{ g} \pm 1,67 \text{ g}$) į laboratoriją atgabentos 2020 m. liepos 10 dieną iš UAB „Tilapis“, išrūšiuotos ir suskirstytos į tris grupes (1 grupė – gėlas vanduo (0‰), 2 grupė – skiestas jūrinis vanduo (3‰), 3 grupė – jūrinis vanduo (6‰)) po tris pakartojimus, taip, kad jose būtų panašus žuvų kiekis ir biomasė (4 pav). Žuvų tankis baseinuose: 0‰ – $8,08 \text{ kg m}^{-3}$, 3‰ ir 6‰ – po $8,22 \text{ kg m}^{-3}$. Prieš eksperimento pradžią žuvis tris savaites buvo aklimatizuojamos, stebima jų būklė bei elgsena.



4 pav. Eksperimento schema (schema autorės).

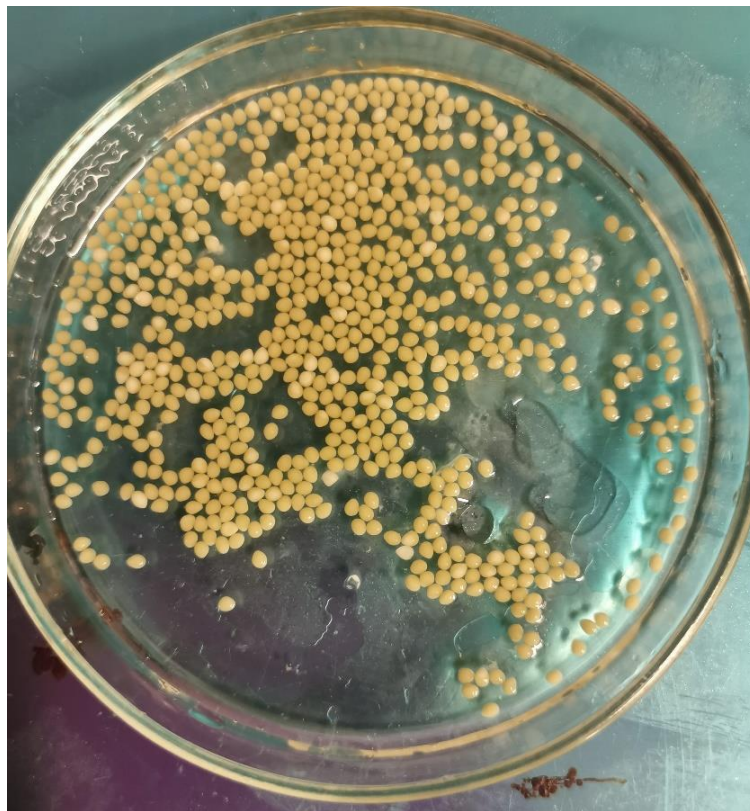
Naudotas Alltech Coppens pašaras, granulių dydis nuo 2 mm eksperimento pradžioje iki 4,5 mm eksperimento pabaigoje. Žuvų šėrimas automatizuotas, vyksta kas valandą, siekiant efektyvesnio augimo žuvis šeriamos visą parą. Po kiekvieno matavimo, naudojant , koreguotas duodamo pašaro kiekis, priklausomai nuo vidutinio svorio ir biomasės baseine. Visą parą paliktas įjungtas apšvietimas virš baseinų, nebuvo sudaromas nakties režimas. Kasdien fiksuotas kritusių žuvų skaičius, jos pašalintos iš baseinų.

Norint palaikyti optimalias sąlygas augimui bei siekiant išvengti žuvų kritimo, kasdien matuoti vandens parametrai. Multiparametriniu instrumentu (YSI Professional Plus) matuotas druskingumas (‰), temperatūra (°C), ištirpusio deguonies kiekis (%) bei pH kiekvienoje sistemoje.

Imti vandens mėginiai amonio (JBL NH₄ Test Set), nitritų (JBL NO₂ Test Set) bei nitratų (Salifert NO₃ Profil Test) testams atlikti. Siekiant išvengti žuvų užkrėtimo ligomis laikytasi biosaugos taisyklių.

Eksperimento laikotarpis: 2020 m. rugpjūčio 5 d.-gruodžio 18 d.

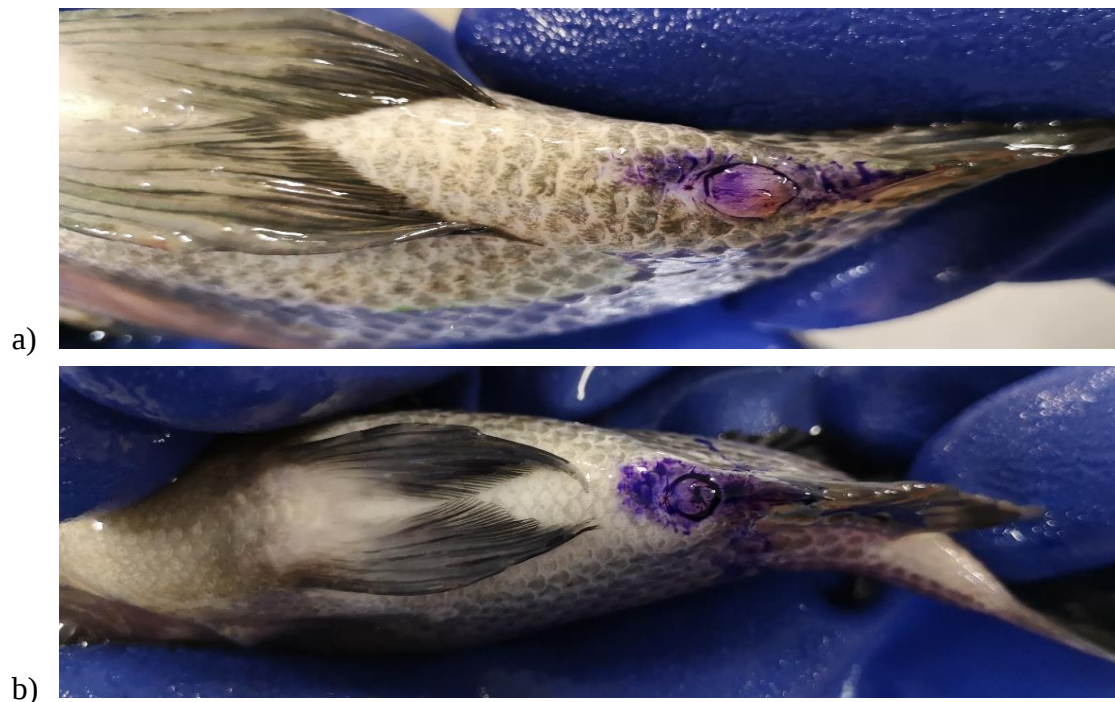
Eksperimento metu, maždaug kas tris savaites, iš kiekvieno baseino atsitiktinai sugauti ir išmatuoti 30 vnt. tilapijų. Sugauti individai patalpinti į plastikinius kibirėlius, pripildytus vandeniu. Jei buvo, surinkti išspjauti jaunikliai arba vandens srove išplauti iš patelės burnos. Nejudrūs ikreliai bei lervutės nufotografuoti, kiekis suskaičiuotas iš nuotraukos (5 pav.), o judrus mailius skaičiuotas perpilant iš vienos talpos į kitą. Suskaičiuoti jaunikliai paleisti į atskirus akvariumus, pripildytus atitinkamo druskingumo vandeniu.



5 pav. Nilo tilapijos (*O. niloticus*) ikrai (nuotrauka autorės).

Paskutinių dviejų matavimų metu, pagal papilės formą ir dydį bei urogenitalinius organus nustatyta žuvies lytis (6 pav.). Lyties organams išryškinti naudotas toluidino mėlynas tirpalas skiestas distiliuotu vandeniu.

Išmatuotas žuvies ilgis (cm) bei svoris (g), apskaičiuotas vidutinis svoris bei ilgis. Po matavimo žuvis paleistos atgal į baseinus.



6 pav. Nilo tilapijos (*O. niloticus*): a) patinas; b) patelė (nuotraukos autorės).

Bandymo pabaigoje išmatuotos ir pasvertos visos tilapijos, suskaičiuotas jų kiekis baseinuose. Apskaičiuota biomasė, svorio prieaugis (ΔW), specifinis augimo greitis (SGR) (Lugert et al., 2014), žuvų gerovės indeksas pagal Fultoną (K) (Nash et al., 2006), išgyvenamumas (SR), pašaro konversijos santykis (FCR):

$$\Delta w = w_t - w_i \text{ (g)} \quad (1)$$

kur: w_t – galutinis svoris (g);

w_i – pradinis svoris (g)

$$SGR = \frac{\ln(w_t) - \ln(w_i)}{t} \times 100 \text{ (\% } d^{-1}) \quad (2)$$

kur: w_t – galutinis svoris (g);

w_i – pradinis svoris (g);

t – eksperimento trukmė (dienos).

$$K = \frac{w}{l^3} \times 100 \quad (3)$$

kur: w – svoris (g);

l – ilgis (cm).

$$SR = \frac{n_t}{n_i} \times 100 \text{ (\%)} \quad (4)$$

kur: n_i – pradinis žuvų skaičius (vnt.);

n_t – galutinis žuvų skaičius (vnt.).

$$FCR = \frac{w_f}{w_t - w_i} \quad (5)$$

kur: w_f – sausas pašaro svoris (g);

w_t – galutinis svoris (g);

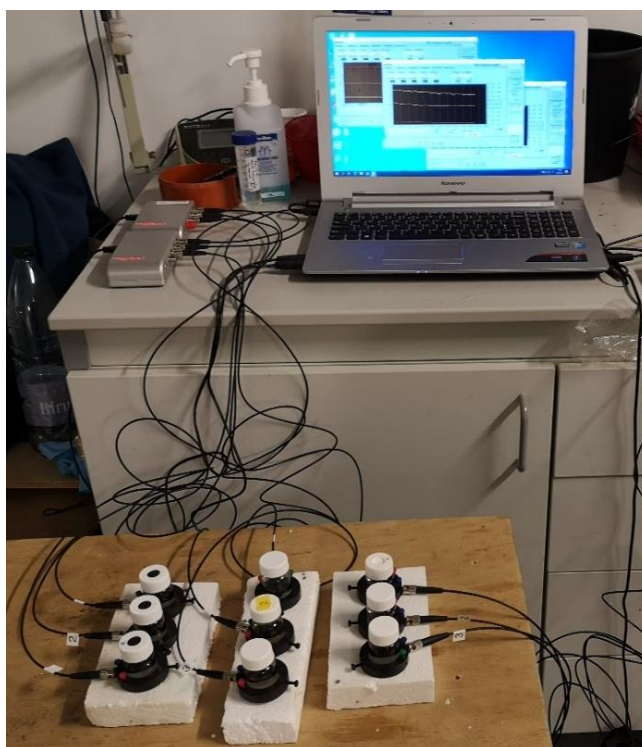
w_i – pradinis svoris (g).

Statistinė analizė atlikta naudojantis Microsoft Excel ir RStudio programomis.

2.2. Respiracijos eksperimentas

Tilapijų jaunikliai, surinkti ir suskaičiuoti matavimų metu, buvo aklimatizuojami atitinkamo druskingumo (0‰, 3‰ ir 6‰) 50 L akvariumuose. Palaikytos optimalios sąlygos naudojant deguonies difuzorius, šildytuvus, bei kelis kartus per dieną pakeičiant trečdalį akvariumo vandens. Jaunikliai šerti Skretting firmos Perla Larva 6.0 ir 5.0 pašaru. Parą prieš bandymą jaunikliai nebuvo šeriami.

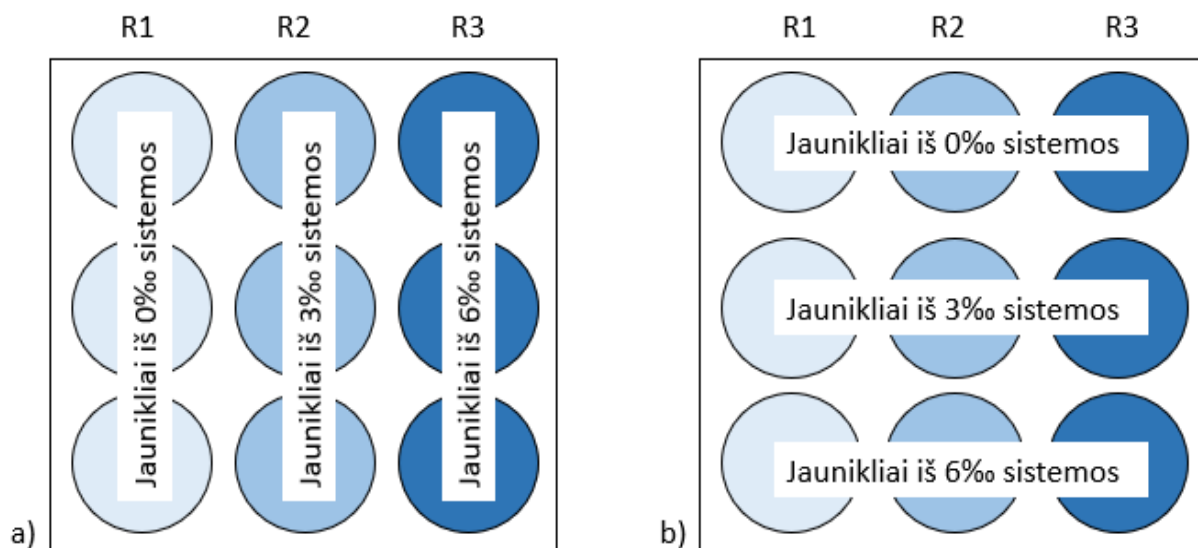
Respiracijos eksperimentui naudotas PyroScience FireSting O₂ optinis deguonies matuoklis. Matuota trimis matuoklių sistemomis – R1, R2 ir R3, šios sistemos turi po 4 kanalus, tačiau šiam eksperimentui naudoti 3 kanalai iš kiekvieno matuoklio. Taip pat buvo naudojami gryno pluošto (*angl. bare fiber*) jutikliai, 20 ml respiraciniai buteliukai su bekontakčiais deguonies jutikliais bei kompiuterinė programinė įranga, skirta sekti bei registruoti deguonies kiekį buteliukuose (7 pav.). Naudotas dviejų taškų jutiklių kalibravimas (natrio sulfito tirpalas naudotas 0% deguonies kalibravimui, o 100% deguonies kalibravimas atliktas su eksperimentui naudojamu atitinkamo druskingumo vandeniu).



7 pav. Įranga respiracijos eksperimentui (nuotrauka autorės)

Respiracijos eksperimentas vykdytas dviem etapais (8 pav.):

1. Į kiekvieną sistemą įpilta skirtingo druskingumo vandens (R1 – 0‰, R2 – 3‰, R3 – 6‰), vandens temperatūra buvo 22 °C. Vanduo, prieš įpylimą, buvo kelias minutes stipriai purtytas, kad prisipildytų kuo daugiau deguonies. Iš akvariumų ištraukti maždaug vienodo dydžio tilapijų mailius ir pipete įdėti po tris į vieną respiracijos buteliuką (9 pav.): į R1 įdėti jaunikliai iš 0‰ akvariumo, į R2 – iš 3‰, o į R3 – iš 6‰. Vienas bandymas truko 6 valandas. Deguonies kiekiui nukritus $\sim 2 \text{ mg L}^{-1}$ nuo pradinio kiekio, atnaujintas vanduo – išpiltas buteliuke buvęs ir švirkštu įpiltas naujas, deguonimi gerai prisotintas, vanduo, mailius buteliukuose nebuvo keičiamas. Po bandymo mailius pasvertas (g). Šis etapas buvo pakartotas dar du kartus siekiant turėti tris pakartojimus.
2. Į kiekvieną sistemą įpilta skirtingo druskingumo vandens (R1 – 0‰, R2 – 3‰, R3 – 6‰), vandens temperatūra buvo 23 °C. Vanduo, prieš įpylimą, buvo kelias minutes stipriai purtytas, kad prisipildytų kuo daugiau deguonies. Iš akvariumų ištraukti maždaug vienodo dydžio tilapijų mailius ir pipete įdėti po tris į vieną respiracijos buteliuką: į kiekvieną sistemą įdėti jaunikliai iš 0‰, 3‰ ir 6‰ akvariumų. Vienas bandymas truko 5 valandas. Deguonies kiekiui nukritus $\sim 2 \text{ mg L}^{-1}$ nuo pradinio kiekio, atnaujintas vanduo – išpiltas buteliuke buvęs ir švirkštu įpiltas naujas, deguonimi gerai prisotintas, vanduo, mailius buteliukuose nebuvo keičiamas. Po bandymo mailius pasvertas (g). Šis etapas buvo pakartotas dar du kartus siekiant turėti tris pakartojimus.



8 pav. Respiracijos eksperimento schema. a) pirmas etapas, b) antras etapas (schema autorės).



9 pav. Nilo tilapijos (*O. niloticus*) mailius respiraciniame buteliuke (nuotrauka autorės).

Iš bandymo metu gautų duomenų suskaičiuotas metabolinis deguonies sunaudojimo greitis (MO_2) ($\text{mg g}^{-1} \text{h}^{-1}$) naudojantis RStudio paketu respR, skirtu vandens gyvūnų respiracijai apskaičiuoti (Harianto et al., 2019).

2.3. Mėsos kokybės tyrimas

Po augimo eksperimento, iš kiekvieno baseino į rezervines sistemos talpas su atitinkamo druskingumo vandeniu atsitiktinai perkelta po tris pateles ir tris patinus. Iš viso tyrime naudotos 54 tilapijos. Žuvys perlaikytos savaitę laiko, jos nebuvo šeriamos.

Po perlaikymo, žuvys apsvaigintos smūgiu į galvą bei, naudojant ledą, joms sukeltas terminis šokas, iškart išskrostos. Tyrimui buvo naudota žuvų filė be odos (10 pav.), kiekvienas gabaliukas pasvertas. Iš viso paimti 18 mėginių – po 6 iš kiekvienos sistemos (3 patelių ir 3 patinų mėginiai). Dėl per mažo patelių filė svorio, mėginiai buvo sujungti – vienas mėginys sudarytas iš trijų žuvų, naudojant po vieną jų filė pusę. Mėginiai, kol pasiekė tyrimo vietą, laikyti atvėsinti ant ledo.

Mėsos fizinių-cheminių savybių tyrimas atliktas Lietuvos sveikatos mokslų universiteto Veterinarijos akademijos Gyvūnų auginimo technologijų institute. Išmatuotas mėginio baltymų, riebalų, pelenų, sausos masės kiekio, vandens rišlumo ir vandeningumo procentinis kiekis, nustatytas pH.

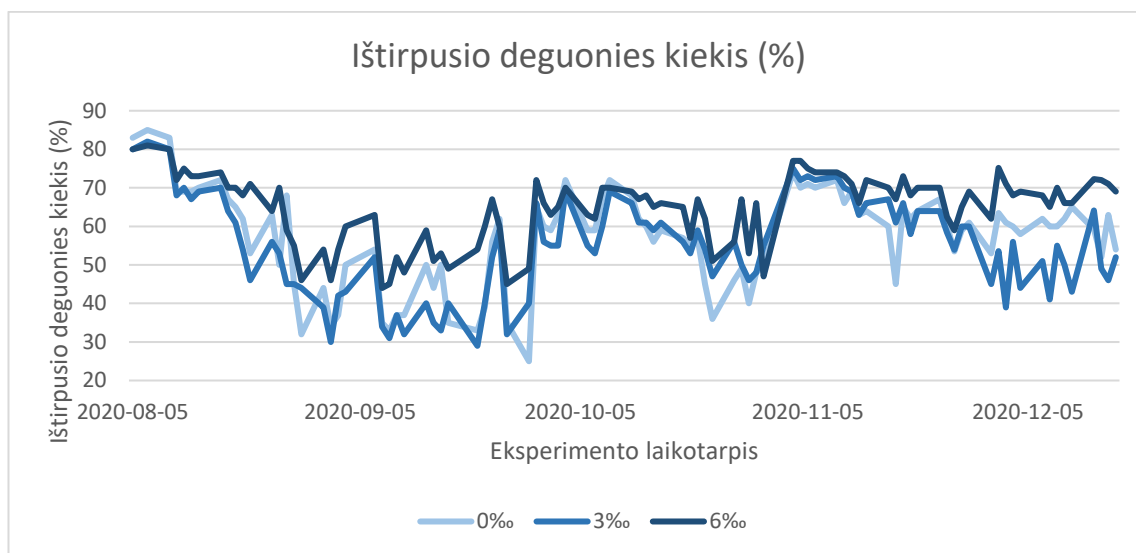


10 pav. Nilo tilapijų (*O niloticus*) filė (nuotrauka autorės).

III. Rezultatai

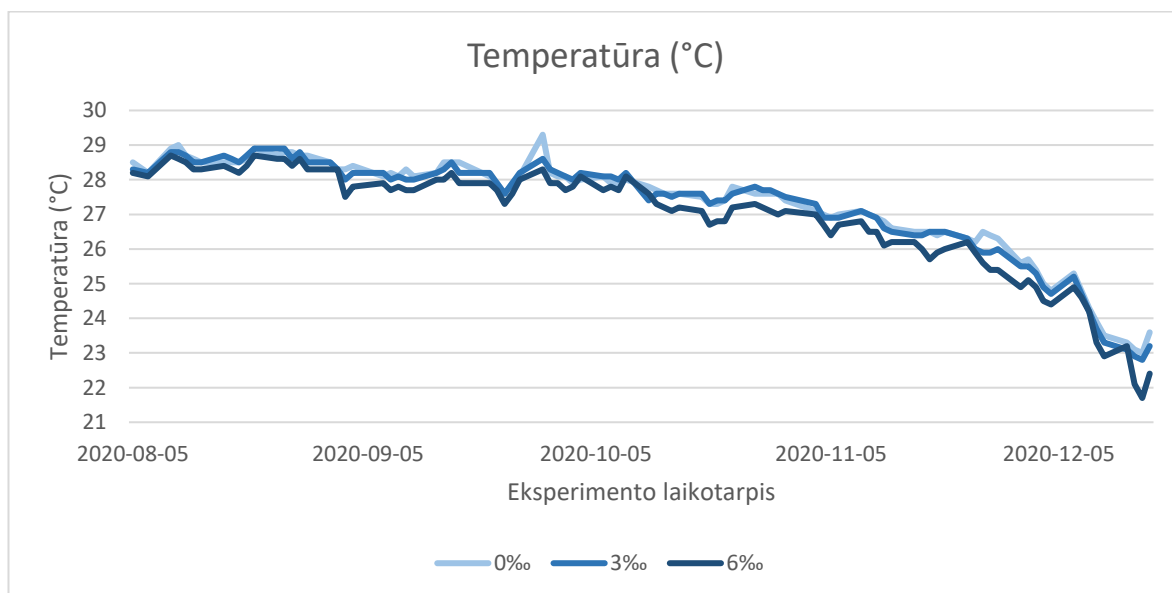
3.1. Vandens kokybė

Didžiausias ištirpusio deguonies vidutinis kiekis buvo 6‰ sistemoje – $64,71 \pm 8,93\%$ (11 pav.). Vidutinis kiekis 0‰ sistemoje buvo $57,07 \pm 12,53\%$, o 3‰ – $54,82 \pm 12,52\%$. Ištirpusio deguonies kiekis statistiškai reikšmingai skiriasi tarp sistemų (ANOVA, Velčo F-testas, $p = 1,052e^{-9} < 0,05$). Atlikus Games-Howell post-hoc analizę, nustatyta, kad ištirpusio deguonies kiekis 6‰ sistemoje skiriasi ir tarp 0‰, ir tarp 3‰ sistemų ($p = 1,1e^{-5} < 0,05$ ir $p = 1,3e^{-8} < 0,05$ atitinkamai).



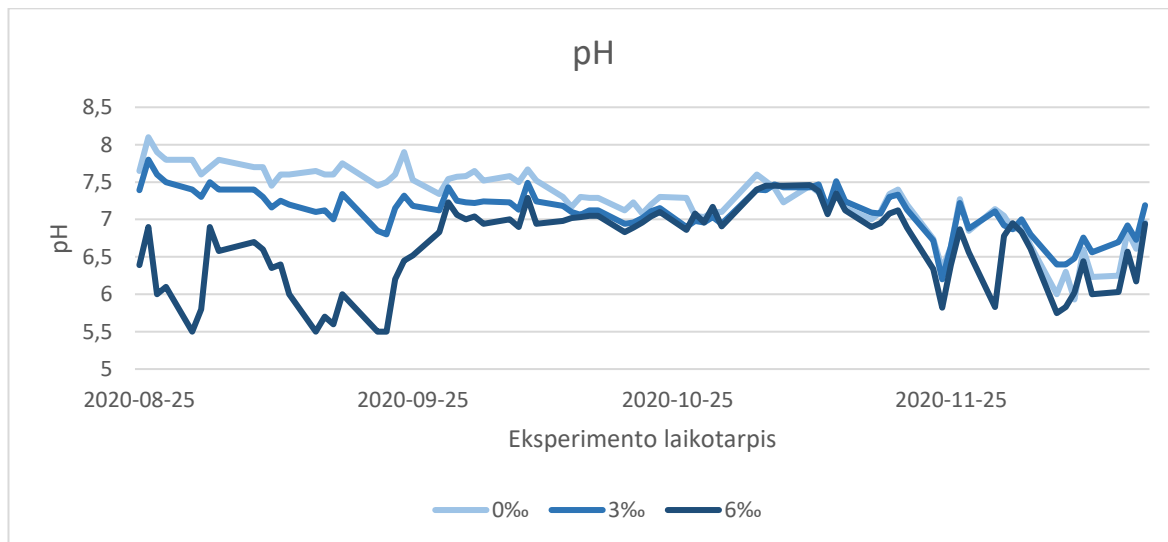
11 pav. Ištirpusio deguonies kiekis (%) eksperimento laikotarpiu.

Aukščiausia vidutinė temperatūra buvo 0‰ sistemoje – $27,28 \pm 1,47$ °C, vos žemesnė 3‰ sistemoje – $27,22 \pm 1,53$ °C, o 6‰ sistemoje vidutinė temperatūra buvo – $26,89 \pm 1,6$ °C (12 pav.). Statistiškai reikšmingų skirtumų tarp sistemose buvusių temperatūrų nebuvo (ANOVA, $p = 0,166 > 0,05$).



12 pav. Temperatūra (°C) eksperimento laikotarpiu.

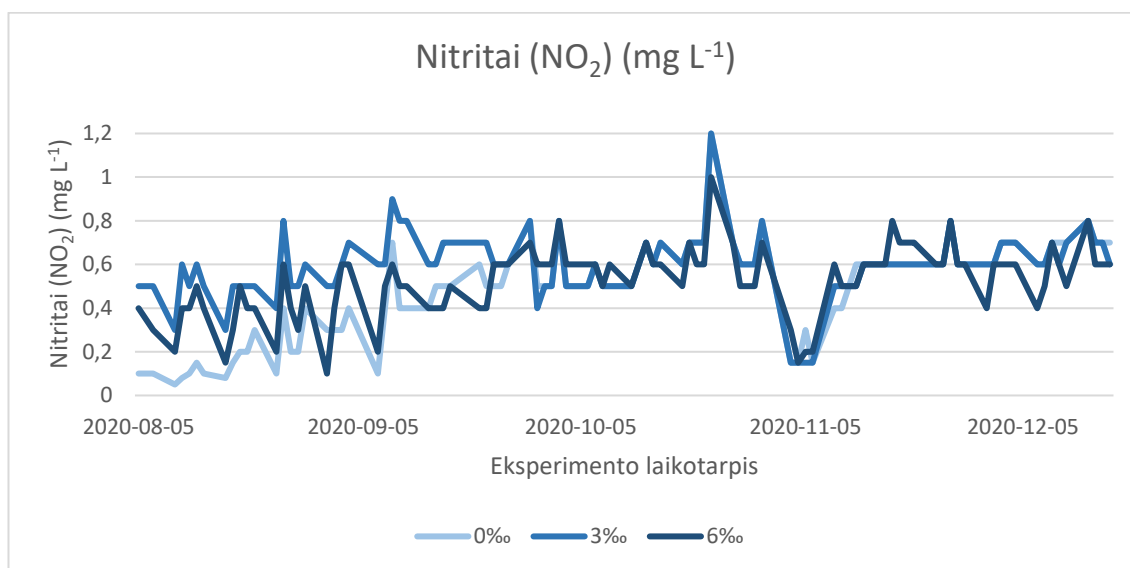
Didžiausias vidutinis vandens pH buvo 0‰ sistemoje – $7,26 \pm 0,45$, nedaug mažesnis 3‰ sistemoje – $7,11 \pm 0,29$, mažiausias – 6‰ sistemoje – $6,65 \pm 0,55$ (13 pav.). Nustatytas statistiškai reikšmingas pH skirtumas tarp sistemų (ANOVA, Velčo F-testas, $p = 4,549e^{-12} < 0,05$). Games-Hovell post-hoc testas nustatė, jog pH 6‰ sistemoje reikšmingai skiriasi tarp 0‰ ir 3‰ sistemų ($p = 4,9e^{-12} < 0,05$ ir $p = 2,6e^{-9} < 0,05$ atitinkamai).



13 pav. pH eksperimento laikotarpiu.

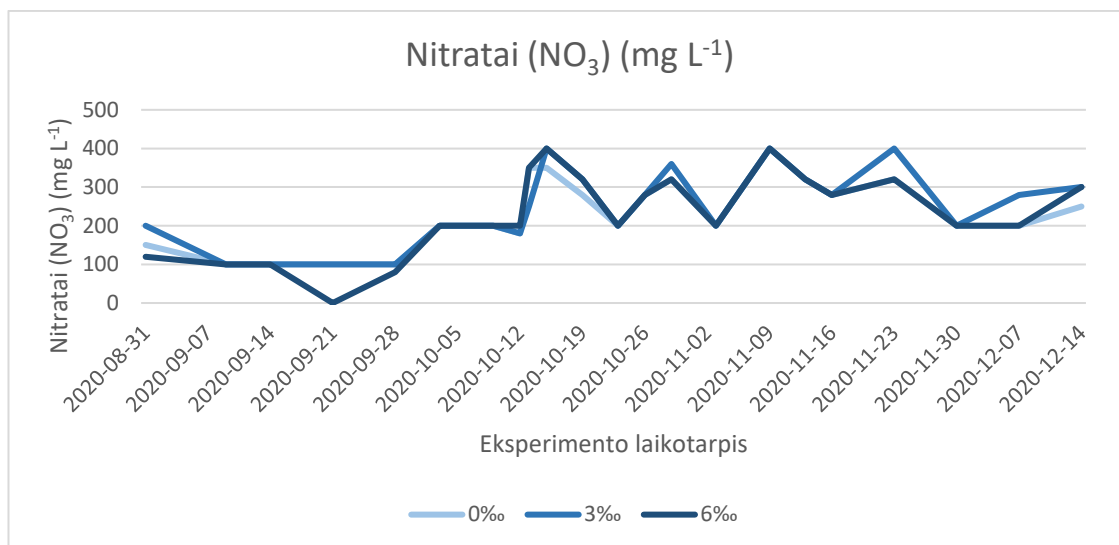
Amonio (NH_4) (mg L^{-1}) kiekis visose sistemose, viso tyrimo metu buvo vienodas – $< 0,05 \text{ mg L}^{-1}$.

Nitritų (NO_2) didžiausias vidutinis kiekis buvo 3‰ sistemoje – $0,59 \pm 0,16 \text{ mg L}^{-1}$. 0‰ sistemoje – $0,49 \pm 0,22 \text{ mg L}^{-1}$, 6‰ sistemoje – $0,52 \pm 0,16 \text{ mg L}^{-1}$ (14 pav.). Nustatytas statistiškai reikšmingas nitritų kiekio skirtumas tarp sistemų (ANOVA, Velčo F-testas, $p = 6,412e^{-4} < 0,05$). Atliktas Games-Howell post-hoc testas nustatė, jog nitritų kiekis 3‰ sistemoje reikšmingai skiriasi tarp 0‰ ir 6‰ sistemų ($p = 0,0016 < 0,05$, $p = 0,0089 < 0,05$ atitinkamai).



14 pav. Nitritų (NO_2) (mg L^{-1}) kiekis vandenyje eksperimento laikotarpiu.

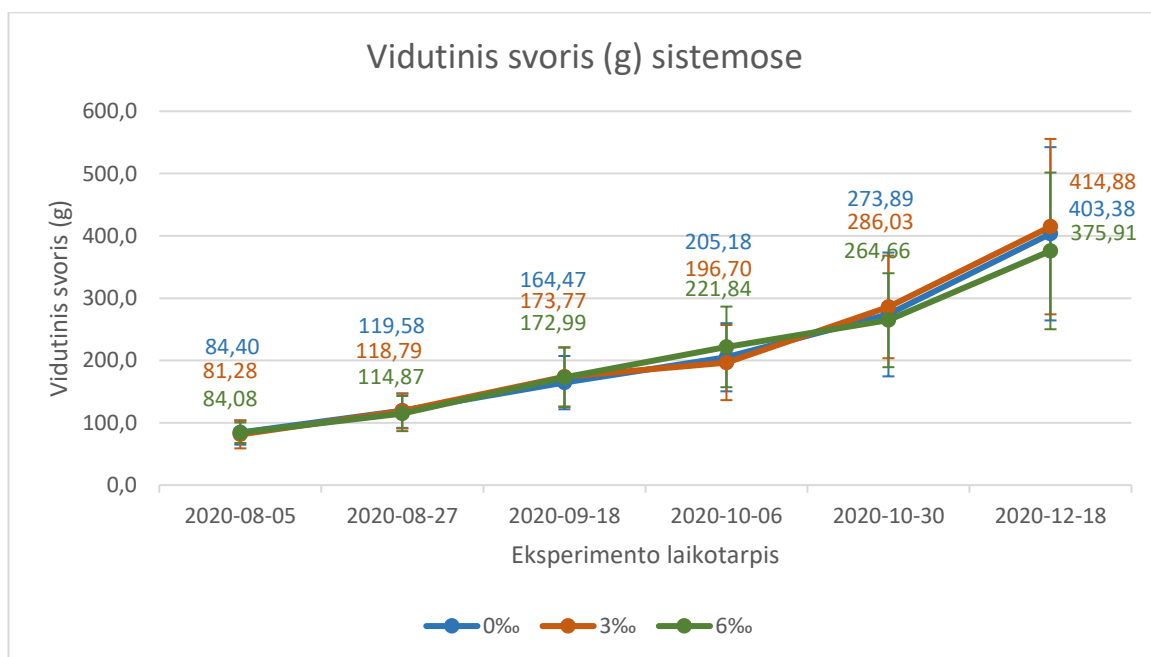
Didžiausias vidutinis nitratų (NO_3) kiekis buvo 3‰ sistemoje – $237,83 \pm 100,81 \text{ mg L}^{-1}$. 0‰ sistemoje vidutinis kiekis – $223,91 \pm 94,52 \text{ mg L}^{-1}$, 6‰ – $230 \pm 100,68 \text{ mg L}^{-1}$ (15 pav.). Nebuvo statistiškai reikšmingo skirtumo tarp sistemose buvusio nitratų kiekio (ANOVA, $p = 0,892 > 0,05$).



15 pav. Nitratų (NO_3) (mg L^{-1}) kiekis eksperimento laikotarpiu.

3.2. Augimas, išgyvenamumas bei pašaro konversija

Didžiausias vidutinis Nilo tilapijų svoris tyrimo pabaigoje buvo 3‰ sistemoje $414,88 \pm 139,04 \text{ g}$ (16 pav.). Vidutinis svoris tarp sistemų skiriasi nežymiai. Statistiškai reikšmingas skirtumas tarp žuvų vidutinio svorio sistemose buvo tik 2020 10 06 matavimo metu (ANOVA, $p = 0,0179 < 0,05$). Tukey post-hoc testas parodė, kad tuo metu reikšmingai skyrėsi 3‰ ir 6‰ sistemų žuvų vidutiniai svoriai ($p = 0,0147 < 0,05$).



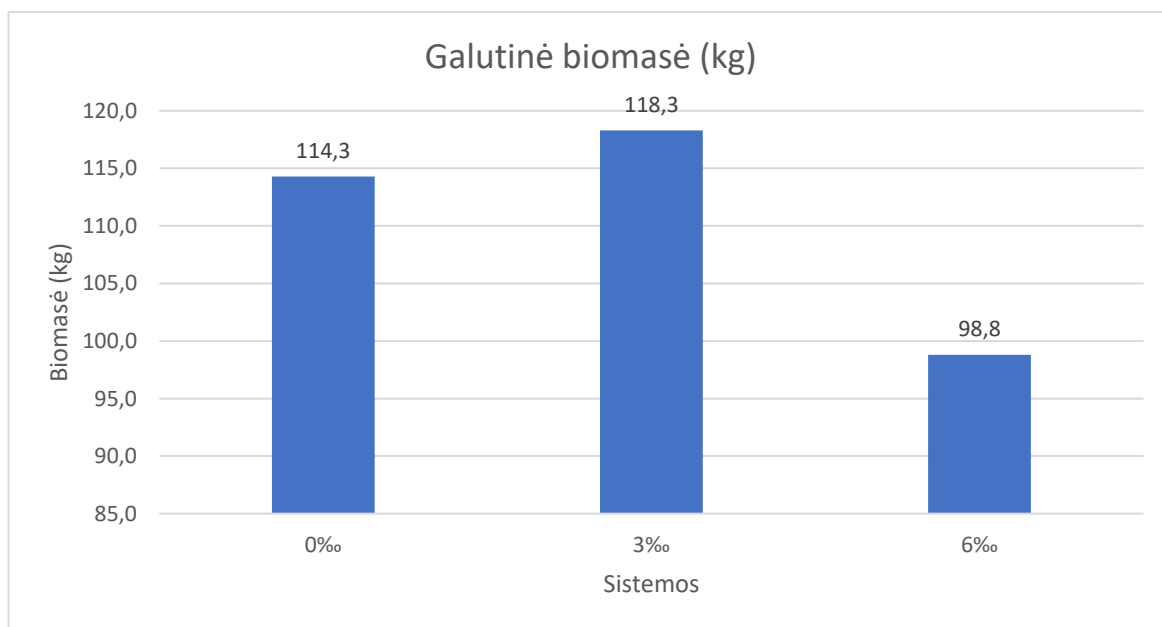
16 pav. Vidutinis svoris (g) $\pm$ SD 0‰, 3‰ ir 6‰ sistemose.

Didžiausias svorio priaugis buvo 3‰ sistemoje, mažiausias – 6‰ sistemoje (1 lentelė). Specifinis augimo greitis buvo didžiausias 3‰ sistemoje, 0‰ ir 6‰ sistemoje SGR buvo panašus. Tyrimo laikotarpiu sušerta virš 340 kg pašaro. Pašaro įsisavinimo greitis (FCR) buvo didžiausias 6‰ sistemoje, mažiausias – 3‰ sistemoje. Pradinis Fultono koeficientas visose sistemose buvo panašus. Galutinis Fultono koeficientas visose sistemose irgi buvo panašus, didžiausias – 6‰ sistemoje, mažiausias 3‰ sistemoje. Nustatytas statistiškai reikšmingas galutinio Fultono koeficiento skirtumas (ANOVA, $p = 0,0163 < 0,05$) tarp sistemų – 6‰ sistema skyrėsi nuo 3‰ sistemos (Tukey post-hoc testas, $p = 0,0143 < 0,05$).

1 lentelė. Svorio priaugio (Δw), specifinio augimo greičio (SGR) $\pm$ SD, pašaro konversijos santykio (FCR) $\pm$ SD, pradinio vidutinio Fultono koeficiento (K_i) $\pm$ SD ir galutinio vidutinio Fultono koeficiento (K_f) $\pm$ SD reikšmės.

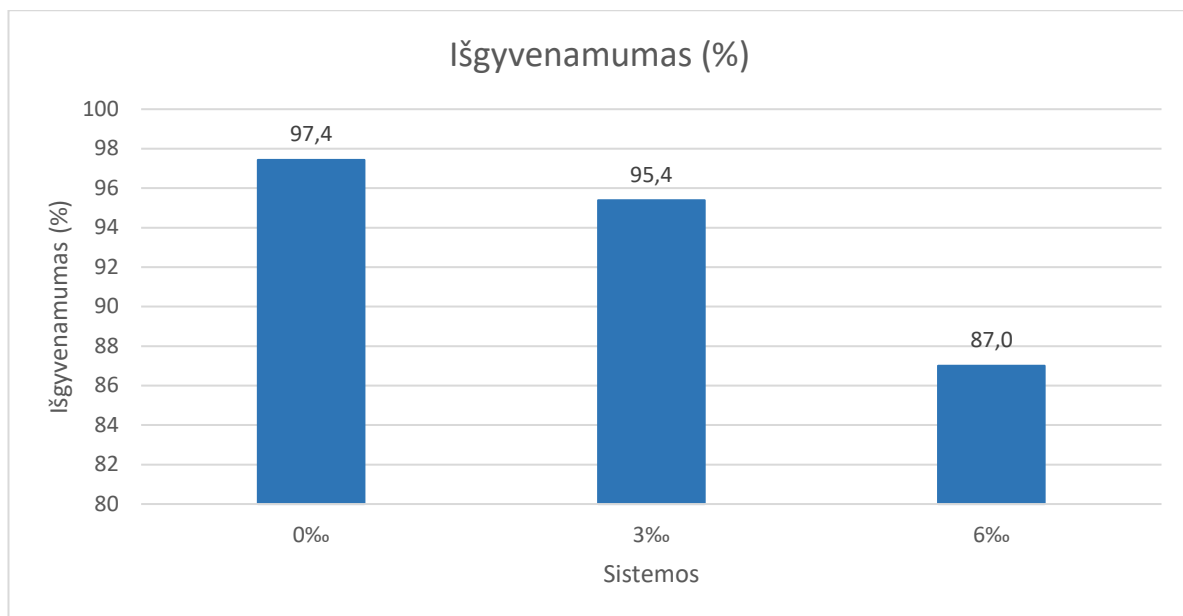
Sistema	Δw (g)	SGR (% d ⁻¹)	FCR	K_i	K_f
0‰	318,47 $\pm$ 38,17	1,16 $\pm$ 0,1	1,25 $\pm$ 0,13	1,8 $\pm$ 0,2	2,25 $\pm$ 0,16
3‰	333,42 $\pm$ 26,03	1,2 $\pm$ 0,09	1,20 $\pm$ 0,06	1,84 $\pm$ 0,3	2,21 $\pm$ 0,2
6‰	291,87 $\pm$ 6,35	1,1 $\pm$ 0,01	1,31 $\pm$ 0,04	1,84 $\pm$ 0,18	2,33 $\pm$ 0,19

Didžiausia galutinė biomasė buvo 3‰ sistemoje, mažiausia – 6‰ (17 pav.). Žuvų tankis tyrimo pabaigoje – 0‰ – 40,2 kg/m³, 3‰ – 41,7 kg/m³, 6‰ – 34,8 kg/m³.



17 pav. Galutinė biomasė (kg) sistemose.

Didžiausias išgyvenamumas buvo 0‰ sistemoje, mažiausias – 6‰ (18 pav.). Iš viso per tyrimo laikotarpį krito 65 žuvys (0‰ – 8 vnt., 3‰ – 15 vnt., 6‰ – 42 vnt.).



18 pav. Nilo tilapijų (*O. niloticus*) išgyvenamumas (%) sistemose.

3.3. Patinų ir patelių augimas

Daugiausiai patinų, tiek 2020 10 30, tiek 2020 12 18 matavimo metu buvo imtyje iš 3‰ sistemos, patelių daugiausiai 2020 10 30 matavime buvo iš 0‰ sistemos imties, o 2020 12 18 – 6‰ sistemos. 2020 10 30 matavimo metu, patinų buvo pagauta beveik 1,5 karto daugiau nei patelių, 2020 12 18 matavimo metu patinų buvo pagauta 1,25 karto daugiau nei patelių.

2 lentelė. Patelių ir patinų skaičius (vnt.).

Sistema	2020 10 30		2020 12 18	
	Patelės	Patinai	Patelės	Patinai
0‰	43	47	43	47
3‰	31	59	30	60
6‰	37	53	47	43

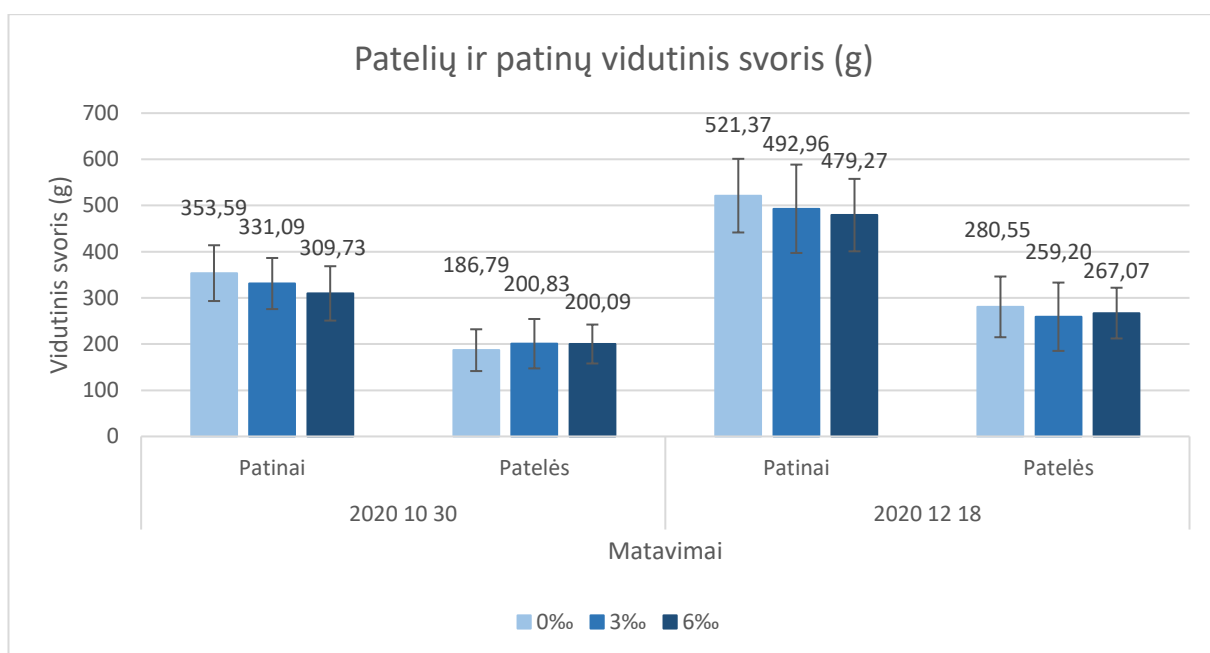
Didžiausias vidutinis patinų svoris 2020 10 30 matavime nustatytas 0‰ patinų sistemoje, mažiausias – 6‰ (19 pav.). Vidutiniai patelių svoriai 2020 10 30 matavime buvo beveik vienodi. Pirmojo matavimo metu nustatytas statistiškai reikšmingas skirtumas tarp lyčių (ANOVA, $p = 2,2e^{-16} < 0,05$), tarp sistemų (ANOVA, $p = 0,0286 < 0,05$), bei jų sąveikos (ANOVA, $p = 0,0018 < 0,05$). Tukey post-hoc analizė parodė, kad reikšmingas skirtumas yra tarp 3‰ ir 6‰ sistemų ($p = 0,02155 < 0,05$). Taip pat visų trijų sistemų patelių vidutinis svoris reikšmingai skyrėsi nuo patinų vidutinio svorio iš visų trijų sistemų ($p < 0,05$), reikšmingas skirtumas pastebėtas ir tarp patinų svorio 0‰ ir 6‰ sistemose ($p = 0,0008 < 0,05$).

Didžiausias vidutinis patinų svoris 2020 12 18 matavime nustatytas taip pat 0‰ sistemoje, mažiausias – 6‰ (19 pav.). Didžiausias vidutinis patelių svoris buvo 0‰ sistemoje, mažiausias – 3‰. Nustatytas statistiškai reikšmingas skirtumas tarp lyčių ir sistemų antrojo matavimo metu

(ANOVA, $p = 2,2e^{-16} < 0,05$ ir $p = 0,00359 < 0,05$ atitinkamai). Atlikus Tukey post-hoc testą nustatyta, kad reikšmingas skirtumas yra tarp 3‰ ir 6‰ sistemų ($p = 0,00316 < 0,05$). Taip pat visų trijų sistemų patelių vidutinis svoris reikšmingai skyrėsi nuo patinų vidutinio svorio iš visų trijų sistemų ($p < 0,05$).

Patinų svoris antrajame matavime buvo 1,5 karto didesnis nei pirmajame, o lyginant patelių svorį – 1,4 karto buvo didesnis patelių svoris antrajame matavime.

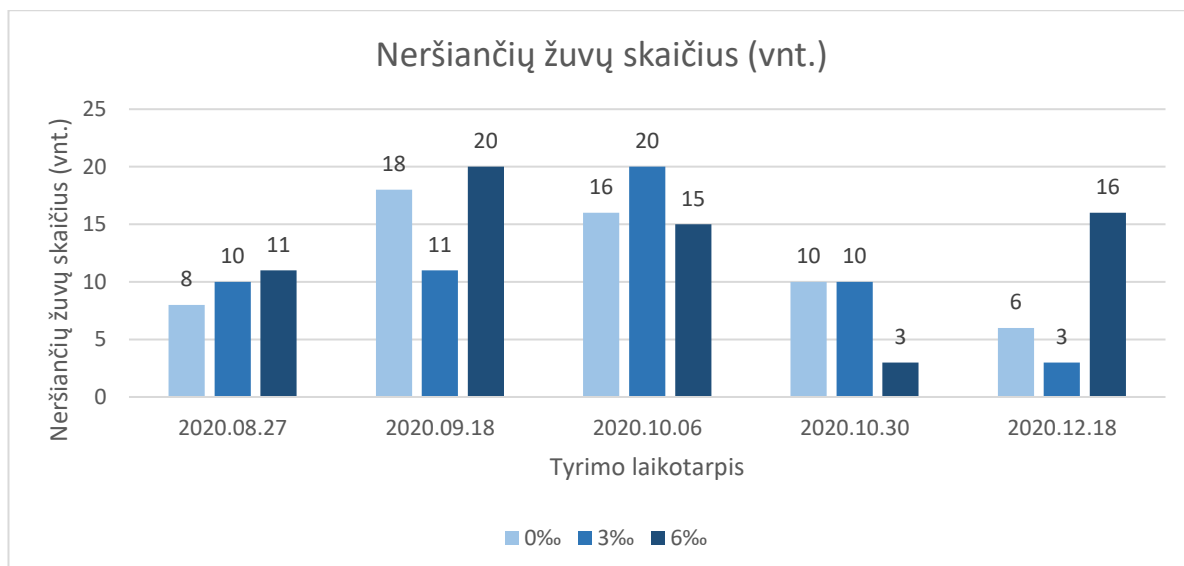
Patinų specifinis augimo greitis (SGR) buvo $0,79 \% d^{-1}$, patelių – $0,62 \% d^{-1}$. Specifinis augimo greitis statistiškai reikšmingai skyrėsi tarp lyčių (ANOVA, $p = 0,01124 < 0,05$), bei jų sąveikos su sistema (ANOVA, $p = 0,04146 < 0,05$). Atlikus Tukey post-hoc testą, nustatyta, kad statistiškai reikšmingai specifinis augimo greitis skyrėsi tarp 6‰ patinų ir 3‰ patelių ($p = 0,0342 < 0,05$).



19 pav. Nilo tilapijų patelių ir patinų vidutinis svoris (g) $\pm$ SD

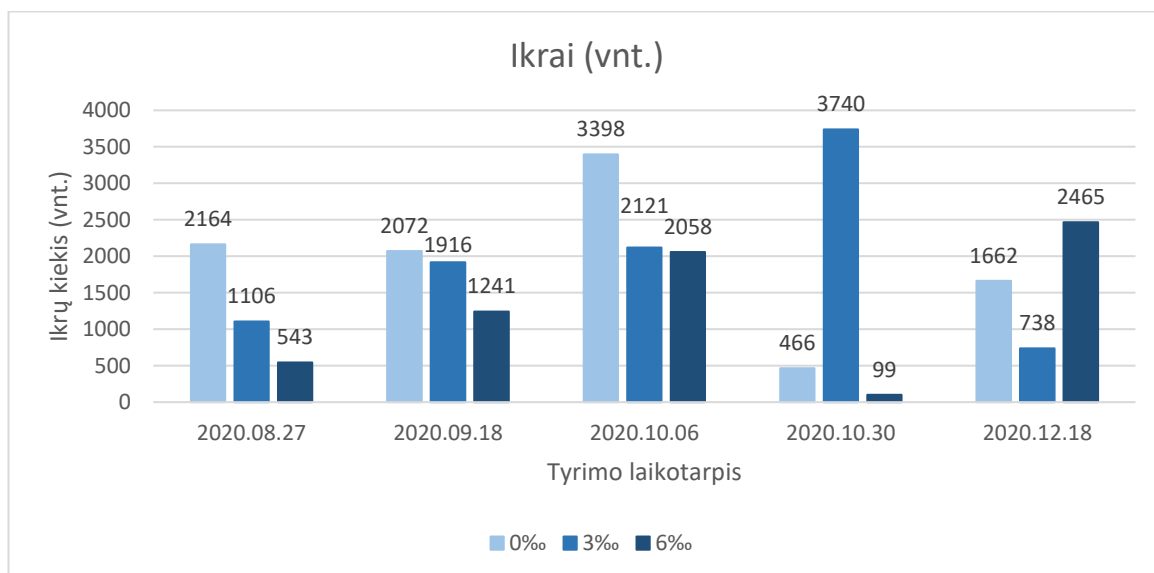
3.4. Reprodukcijos dinamika, intensyvumas ir jauniklių fiziologinis metabolizmas druskėto vandens sąlygomis

Daugiausiai neršiančių žuvų buvo pagauta 2020 10 06 matavimo metu (51 vnt.) (20 pav.). Mažiausiai – 2020 10 30 matavimo metu (23 vnt.). Per visą tyrimo laikotarpį, daugiausiai neršiančių žuvų buvo pagauta iš 6‰ sistemos (65 vnt.), mažiausiai – 54 vnt. – iš 3‰ sistemos. Statistiškai reikšmingo neršiančių žuvų skaičiaus skirtumo tarp sistemų nėra (ANOVA, $p = 0,84 > 0,05$), taip pat nėra skirtumo ir tarp matavimų (ANOVA, $p = 0,0604 > 0,05$).



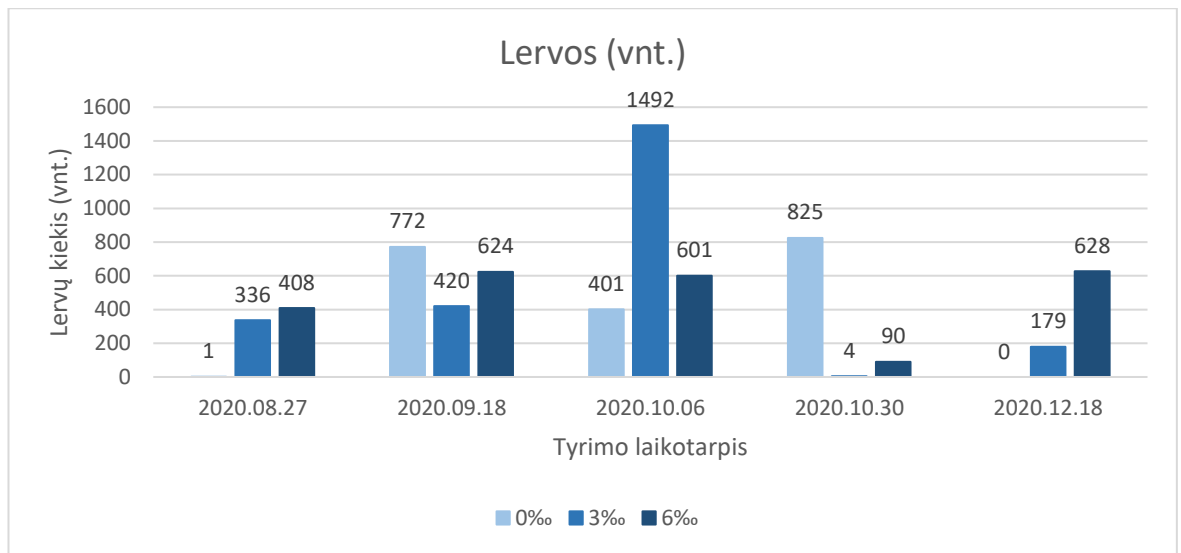
20 pav. Neršiančių žuvų skaičius (vnt.) sistemose tyrimo laikotarpiu.

Daugiausiai ikrų buvo rasta 2020 10 06 matavimo metu (7577 vnt.), mažiausiai – 2020 10 30 matavimo metu (4305 vnt.) (21 pav.). Per visą tyrimo laikotarpį, daugiausiai ikrų buvo iš 0‰ sistemos (9762 vnt.), mažiausiai – 6406 vnt. – iš 6‰ sistemos. Labai išsiskyrė ikrų skaičiumi 3‰ sistema 2020 10 30 matavimo metu, bei 0‰ sistema 2020 10 06 matavimo metu. Nustatytas reikšmingas ikrų kiekio skirtumas tarp sistemų (ANOVA, $p = 0,02405 < 0,05$), Tukey post-hoc testas parodė, kad ikrų skaičius reikšmingai skiriasi tarp 3‰ ir 6‰ sistemų ($p = 0,0046 < 0,05$).



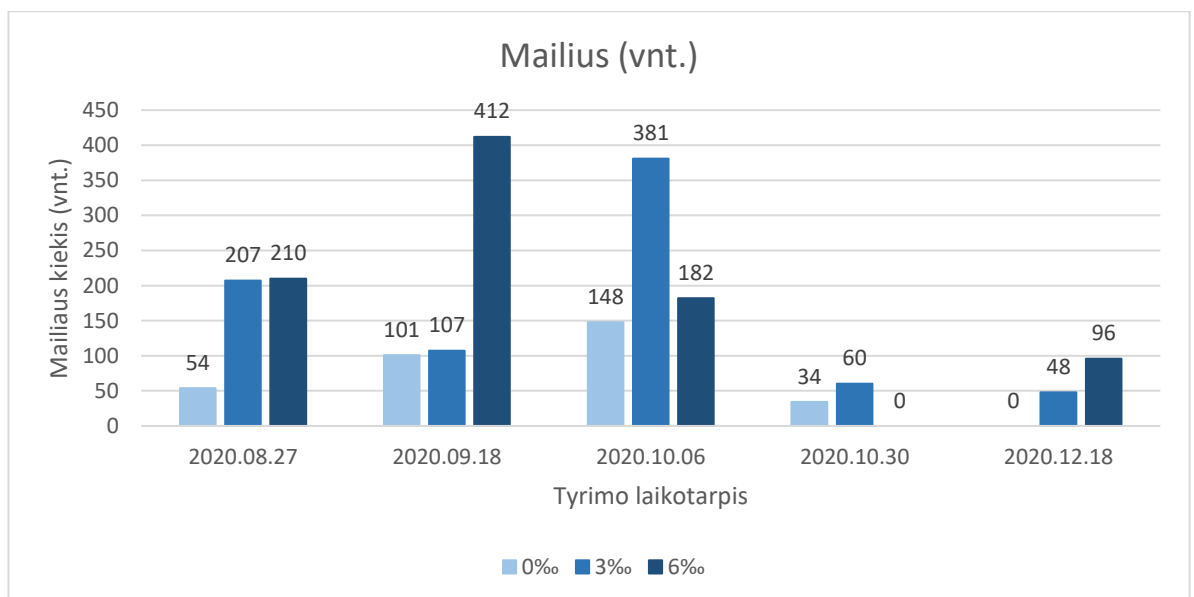
21 pav. Ikrų skaičius (vnt.) sistemose tyrimo laikotarpiu.

Daugiausiai lervų buvo taip pat 2020 10 06 matavimo metu (2494 vnt.), mažiausiai – 2020 08 27 matavimo metu (745 vnt.) (22 pav.). Per visą tyrimo laikotarpį, daugiausiai lervų buvo rasta imtyse iš 3‰ sistemos (4430 vnt.), mažiausiai – iš 0‰ sistemos (1999 vnt.). Labai išsiskyrė lervų skaičiumi 3‰ sistema 2020 10 06 matavimo metu. Statistiškai reikšmingų skirtumų nėra.



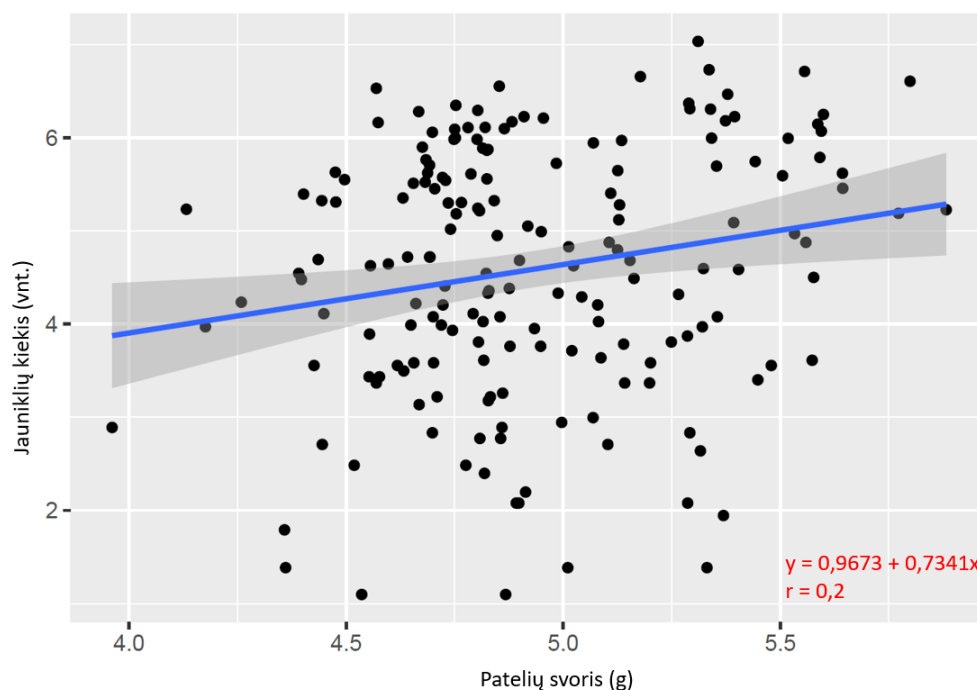
22 pav. Lervų skaičius (vnt.) sistemose tyrimo laikotarpiu.

Daugiausiai mailiaus buvo rasta 2020 10 06 matavimo metu (711 vnt.), mažiausiai – 2020 10 30 matavimo metu (94 vnt.) (23 pav.). Per visą tyrimo laikotarpį, daugiausiai mailiaus buvo iš 6‰ sistemos (900 vnt.), mažiausiai – iš 0‰ sistemos (337 vnt.). Mailiaus skaičiumi labai išsiskyrė 6‰ sistema 2020 09 18 matavimo metu, bei 3‰ sistema 2020 10 06 matavimo metu. Nėra statistiškai reikšmingų skirtumų.



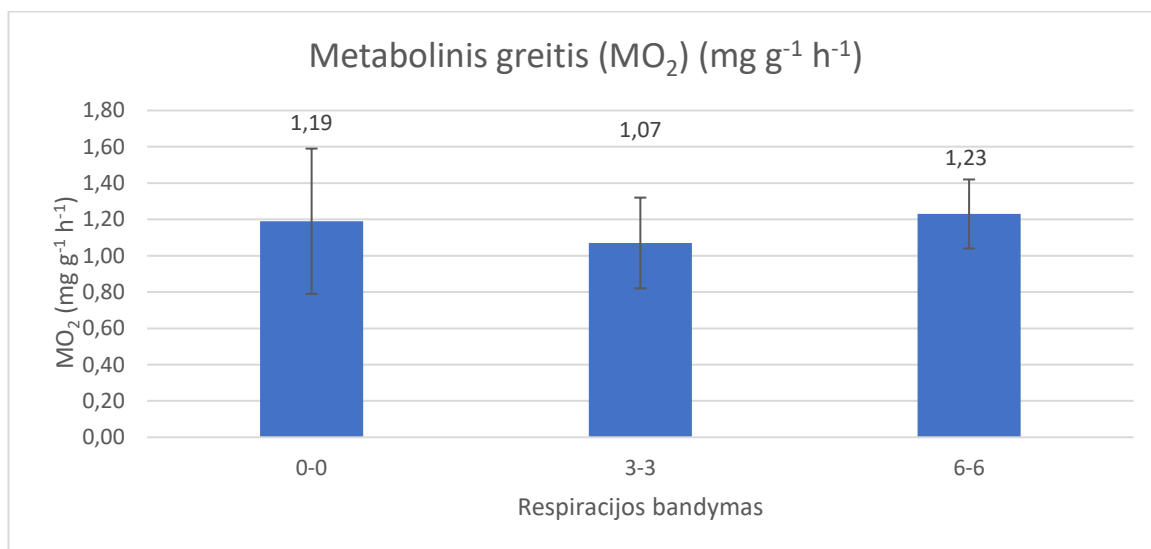
23 pav. Mailiaus skaičius (vnt.) sistemose tyrimo laikotarpiu.

Buvo atlikta koreliacinė analizė nustatyti ryšiui tarp Nilo tilapijų suaugusių patelių svorio ir jauniklių (ikrų, lervų ir mailiaus) kiekio. Abiem parametrams pritaikyta logaritminė transformacija. Nustatytas labai silpnas teigiamas ryšys ($r = 0,2$), ši koreliacija yra statistiškai reikšminga ($p = 0,00823 < 0,05$) (24 pav.).



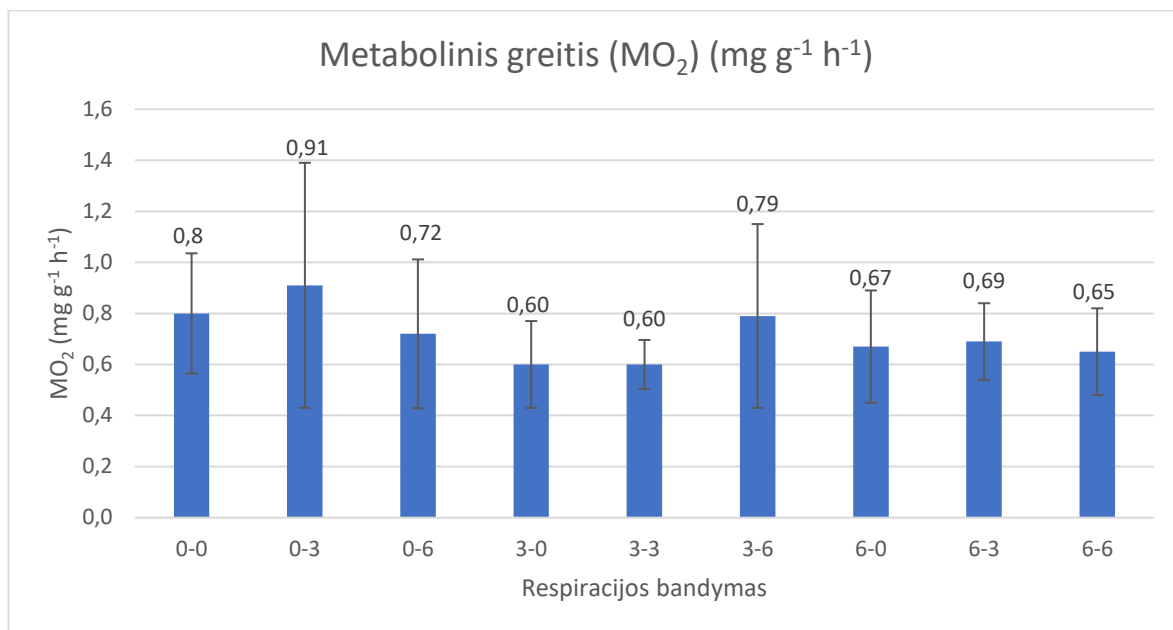
24 pav. Ryšys tarp suaugusių Nilo tilapijų patelių svorio (g) ir jauniklių kiekio (vnt.).

Pirmo etapo metu, didžiausias vidutinis metabolinis greitis buvo 6-6 respiracijos sistemoje, kurioje į 6‰ vandenį buvo įleisti iš 6‰ akvariumo paimti jaunikliai (25 pav.). Mažiausias vidutinis metabolinis greitis buvo 3-3 sistemoje – 3‰ vanduo su jaunikliais iš 3‰ akvariumo. Statistiškai reikšmingų skirtumų nebuvo nustatyta (ANOVA, $p = 0,785 > 0,05$).



25 pav. Metabolinis greitis (MO_2) ($mg\ g^{-1}\ h^{-1}$) $\pm$ SD pirmo etapo metu (vandens temperatūra – 22 °C).

Antrojo etapo metu, didžiausias vidutinis metabolinis greitis buvo 0-3 respiracijos sistemoje, kurioje į 0‰ vandenį buvo įleisti iš 3‰ akvariumo paimti jaunikliai (26 pav.). Mažiausias vidutinis metabolinis greitis buvo 3-0 ir 3-3 sistemose – 3‰ vanduo su jaunikliais, atitinkamai, iš 0‰ ir iš 3‰ akvariumo. Statistiškai reikšmingų skirtumų nebuvo nustatyta (ANOVA, $p = 0,882 > 0,05$).



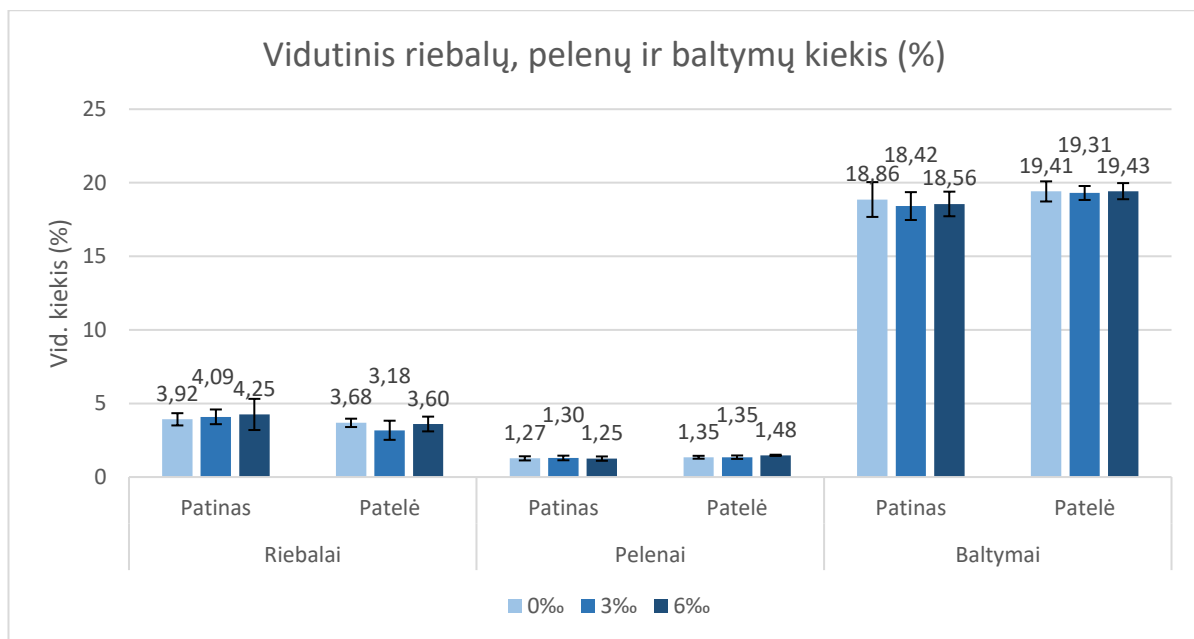
26 pav. Metabolinis greitis (MO₂) (mg g⁻¹ h⁻¹) ± SD antro etapo metu (vandens temperatūra – 23 °C). Respiracijos bandymo pavadinimo pirmas skaitmuo – vandens druskingumas, antras – sistema, iš kurios paimti jaunikliai.

3.5. Mėsos kokybė

Didžiausias vidutinis riebalų kiekis patinų mėginiuose buvo iš 6‰ sistemos, mažiausias – 0‰ sistemos, patelių didžiausias vidutinis riebalų kiekis buvo 3‰ sistemos mėginiuose, mažiausias – taip pat 0‰ sistemos (27 pav.). Didžiausias vidutinis riebalų kiekis tarp sistemų nustatytas mėginiuose iš 6‰ sistemos ($3,93 \pm 0,82\%$), mažiausias – 3‰ sistemos mėginiuose ($3,64 \pm 0,72\%$). Patinų mėginiuose, nepriklausomai nuo sistemos, riebalų kiekis buvo – $4,09 \pm 0,64\%$, patelių – $3,49 \pm 0,49\%$. Nebuvo nustatyta statistiškai reikšmingų skirtumų.

Pelenų didžiausias vidutinis kiekis buvo 3‰ sistemos patinų mėginiuose, mažiausias – 6‰ sistemos, nors kiekiai labai panašūs (27 pav.). Patelų didžiausias vidutinis pelenų kiekis buvo 6‰ sistemos mėginiuose, 0‰ ir 3‰ sistemų patelių mėginių pelenų kiekis nesiskyrė. Didžiausias vidutinis pelenų kiekis tarp sistemų nustatytas mėginiuose iš 6‰ sistemos ($1,36 \pm 0,16\%$), mažiausias – 0‰ sistemos mėginiuose ($1,31 \pm 0,11\%$). Vidutinis pelenų kiekis patinų mėginiuose buvo $1,27 \pm 0,13\%$, patelių – $1,39 \pm 0,1\%$. Statistiškai reikšmingų skirtumų nebuvo nustatyta.

Didžiausias vidutinis baltymų kiekis patinų mėginiuose buvo iš 0‰ sistemos, mažiausias – 3‰ sistemos, patelių didžiausias vidutinis riebalų kiekis buvo 6‰ sistemos mėginiuose, mažiausias – 3‰ sistemos (27 pav.). Didžiausias vidutinis baltymų kiekis tarp sistemų nustatytas mėginiuose iš 6‰ sistemos ($18,99 \pm 0,79\%$), mažiausias – 0‰ sistemos mėginiuose ($19,14 \pm 0,92\%$). Vidutinis pelenų kiekis patinų mėginiuose buvo $18,61 \pm 0,89\%$, patelių – $19,38 \pm 0,5\%$. Nėra statistiškai reikšmingų skirtumų nei tarp lyčių, nei tarp sistemų.

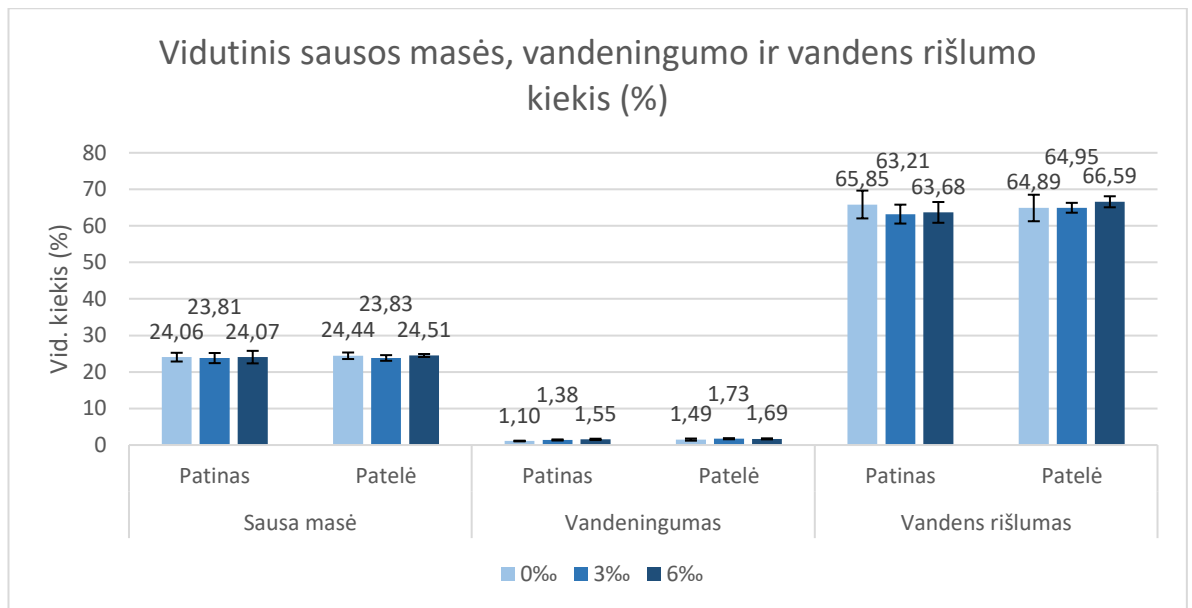


27 pav. Vidutinis patinų ir patelių riebalų, pelenų ir baltymų kiekis (%) $\pm$ SD sistemose.

Didžiausias vidutinis sausos masės kiekis patinų mėginiuose buvo iš 6‰ sistemos, mažiausias – 3‰ sistemos, patelių didžiausias vidutinis sausos masės kiekis buvo 6‰ sistemos mėginiuose, mažiausias – 3‰ sistemos (28 pav.). Didžiausias vidutinis baltymų tarp sistemų nustatytas mėginiuose iš 6‰ sistemos ($18,99 \pm 0,79\%$), mažiausias – 0‰ sistemos mėginiuose ($19,14 \pm 0,92\%$). Vidutinis pelenų kiekis patinų mėginiuose buvo $18,61 \pm 0,89\%$, patelių – $19,38 \pm 0,5\%$. Statistiškai reikšmingų skirtumų nėra.

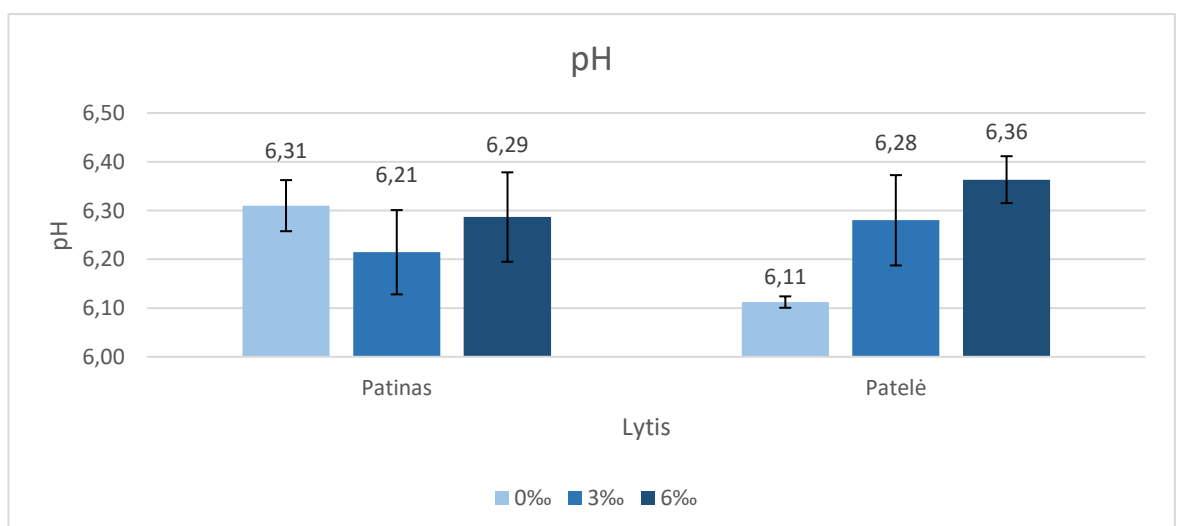
Didžiausias vidutinis vandeningumas patinų mėginiuose buvo iš 6‰ sistemos, mažiausias – 0‰ sistemos, patelių didžiausias vidutinis vandeningumas buvo 3‰ sistemos mėginiuose, mažiausias – 0‰ sistemos (28 pav.). Tarp sistemų, didžiausias vandeningumas buvo mėginiuose iš 6‰ sistemos ($1,62 \pm 0,16\%$), mažiausiai – 0‰ sistemos mėginiuose ($1,29 \pm 0,29\%$). Vidutinis vandeningumas patinų mėginiuose buvo $1,35 \pm 0,23\%$, patelių – $1,63 \pm 0,21\%$. Statistiškai reikšmingai skyrėsi vandeningumas tarp lyčių (ANOVA, $p = 0,005 < 0,05$) ir tarp sistemų (ANOVA, $p = 0,019 < 0,05$). Tukey post-hoc testas parodė, kad reikšmingas skirtumas yra tarp 0‰ ir 6‰ sistemų ($p = 0,021$), bei tarp 0‰ sistemos patinų mėginių ir patelių mėginių ir iš 3‰, ir iš 6‰ sistemų ($p = 0,0103 < 0,05$, $p = 0,016 < 0,05$ atitinkamai).

Didžiausias vidutinis vandens rišlumas patinų mėginiuose buvo iš 0‰ sistemos, mažiausias – 3‰ sistemos, patelių didžiausias vidutinis riebalų kiekis buvo 6‰ sistemos mėginiuose, mažiausias – 0‰ sistemos (28 pav.). Tarp sistemų didžiausias vandens rišlumas buvo nustatytas mėginiuose iš 0‰ sistemos ($65,37 \pm 3,37\%$), mažiausias – 3‰ sistemos mėginiuose ($64,08 \pm 2,08\%$). Vidutinis vandens rišlumas patinų mėginiuose buvo $64,25 \pm 2,97\%$, patelių – $65,48 \pm 2,24\%$. Nėra statistiškai reikšmingų skirtumų nei tarp lyčių, nei tarp sistemų.



28 pav. Vidutinis patinų ir patelių sausos masės, vandeningumo ir vandens rišumo (%) $\pm$ SD kiekis sistemose.

Didžiausias pH nustatytas 6‰ patelių mėginiuose, mažiausias – 0‰ patelių mėginiuose (29 pav.). Didžiausias vidutinis pH tarp sistemų nustatytas mėginiuose iš 6‰ sistemos ($6,33 \pm 0,08$), mažiausias – 0‰ sistemos mėginiuose ($6,21 \pm 0,11$). Tarp lyčių, nepriklausomai nuo sistemų, vidutinis pH beveik nesiskiria (patinai – $6,27 \pm 0,08$, patelės – $6,25 \pm 0,12$). pH statistiškai reikšmingai skiriasi tarp sistemų (ANOVA, $p = 0,044 < 0,05$) ir jų sąveikos su lytimi (ANOVA, $p = 0,008 < 0,05$). Atlikus Tukey post-hoc analizę, nustatyta, kad pH reikšmingai skiriasi tarp mėginių iš 0‰ ir 6‰ sistemų ($p = 0,0392$) bei patelių iš 0‰ mėginiai skyrėsi ir tarp 6‰ patelių mėginių ($p = 0,009 < 0,05$), ir tarp 0‰ patinų mėginių ($p = 0,043 < 0,05$).



29 pav. Vidutinis patinų ir patelių pH $\pm$ SD sistemose.

IV. Rezultatų aptarimas

Ištirpusio deguonies kiekis. Kadangi nėra informacijos apie optimalų ištirpusio deguonies procentinį kiekį Nilo tilapijoms, norint palyginti, perskaičiuotas tyrime naudotas ištirpusio deguonies kiekis iš procentų į mg L^{-1} (NRRI, 2015). Gauta, kad vidutinis kiekis 0‰ sistemoje yra $4,47 \text{ mg L}^{-1}$, 3‰ – $4,29 \text{ mg L}^{-1}$, o 6‰ – $5,07 \text{ mg L}^{-1}$. Aeracijos sistemos nepadėjo palaikyti optimalaus ištirpusio deguonies kiekio (Makori et al., 2017). Deguonies lygis eksperimento metu galėjo sumažėti dėl to, nes susikaupusios organinės medžiagos padidino nitrifikuojančių bei kitų bakterijų kvėpavimą ir išsekvojo deguonį (Losordo, 2014). Stabilizavus susikaupusių organinių medžiagų kiekį, padidėdavo ir ištirpusio deguonies lygis.

Temperatūra. Temperatūra vienas svarbiausių vandens kokybės kintamųjų, turintis įtakos daugeliui biologinių procesų žuvų kultūros sistemose, pavyzdžiui, tiesiogiai veikia ištirpusio deguonies kiekį (Lampert, Sommer, 2007). Rezultatai parodė, kad viso laikotarpio vidutinės sistemų vandens temperatūros (0‰ – $27,28 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 3‰ – $27,22 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 6‰ – $26,89 \text{ }^{\circ}\text{C}$) buvo optimali ($25\text{--}30 \text{ }^{\circ}\text{C}$) (El-Sherif, El-Feky, 2009). Nors temperatūra buvo kontroliuojama patalpą šildant šildytuvais, prasidėjus šaltajam sezonui nepavyko palaikyti optimalios temperatūros ir eksperimento pabaigoje ji buvo nukritusi iki $21,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 6‰ sistemoje.

pH. pH taip pat buvo rekomenduojamame diapazone (6,5–9,0) (Chervinski, 1982). Nors esant didesniai druskingumui, turėtų būti didesnis ir pH (Covington, Whitfield, 1988), tačiau tyrimo pradžioje, 6‰ sistemoje buvo sunku palaikyti optimalų pH lygį, papildomai į vandenį buvo dedama natrio karbonato (NaCO_3). pH galėjo mažėti dėl vandens rūgštėjimo nitrifikacijos metu arba dėl žuvų išskiriamo metabolinio CO_2 (Mota et al, 2018).

Azoto junginiai. Šiame tyrime nustatytas vidutinis amonio (NH_4) kiekis ($< 0,05$) buvo optimalus Nilo tilapijų augimui (Makori et al., 2017). Vidutiniai nitritų (NO_2) kiekiai buvo santykinai maži (0‰ sistemoje – $0,49 \pm 0,22 \text{ mg L}^{-1}$, 3‰ – $0,59 \pm 0,16 \text{ mg L}^{-1}$, 6‰ – $0,52 \pm 0,16 \text{ mg L}^{-1}$). Yanbo ir kitų (2006) tyrime 50% tilapijų mirtingumą po 96 valandų sukėlė $28,1 \text{ mg L}^{-1}$ nitritų, tačiau jau 2 mg L^{-1} yra pavojinga riba daugeliui žuvų rūšių. Šio tyrimo metu, nitritų koncentracija siekė beveik $1,2 \text{ mg L}^{-1}$. Pagal Monsees ir kitus (2017), didžiausias nitratų (NO_3) kiekis vandenyje turėtų neviršyti 500 mg L^{-1} . Šio tyrimo metu nitratų buvo beveik 2 kartus mažiau – 0‰ sistemoje vidutinis kiekis – $223,91 \pm 94,52 \text{ mg L}^{-1}$, 3‰ – $237,83 \pm 100,81 \text{ mg L}^{-1}$, 6‰ – $230 \pm 100,68 \text{ mg L}^{-1}$.

Augimas. Šio tyrimo pabaigoje, didžiausias vidutinis Nilo tilapijų svoris buvo 3‰ sistemoje ($414,88 \pm 139,04 \text{ g}$), taip pat didžiausias svorio prieaugis bei specifinis augimo greitis buvo 3‰ sistemoje (atitinkamai $333,42 \pm 26,03 \text{ g}$ ir $1,2 \pm 0,09 \text{ \% d}^{-1}$). Mažiausias vidutinis svoris tyrimo pabaigoje, svorio prieaugis bei specifinis augimo greitis buvo 6‰ sistemoje (atitinkamai $375,91 \pm 124,75 \text{ g}$, $291,87 \pm 6,35 \text{ g}$ ir $1,1 \pm 0,01 \text{ \% d}^{-1}$).

Šie rezultatai yra arti Naas ir Kloas (2019) meta-analizės metu nustatytos reikšmės, jog optimalus druskingumas gėlavandenėms žuvims yra 2,6‰, taip pat Lawson ir Alake (2011) pastebėjimui, kad gėlavandenės žuvis prastai auga esant virš 5‰ druskingumui. Tačiau šios išvados prieštarauja El-Sayed (2006) nurodytam optimaliam druskingumui (5-15‰) Nilo tilapijoms. Taip pat, Larumbe-Moran ir kitų (2010) tyrimui, kuriame nustatyta, kad šios žuvis gali gerai augti vandenyje, kurio druskingumas yra 25‰, jei jos su maistu gauna pakankamai baltymų arba Schofield ir kitų (2011) gautiems rezultatams, kur nustatyta, jog Nilo tilapijos gali gerai augti iki 30‰ vandenyje.

Mažesnis augimas 6‰ sistemoje taip pat galėjo būti ne tik dėl didesnio druskingumo, bet ir mažesnės, nei optimalios, vandens temperatūros, ypač eksperimento pabaigoje (Schofield et al., 2011).

Pašaro įsisavinimas. Thoa ir kiti (2016) nustatė FCR vertes gėlam ir jūriniam vandeniui – atitinkamai 1,08 ir 1,89. Šiame tyrime pašarų konversijos santykis buvo didžiausias 6‰ sistemoje (1,31), 0 ir 3‰ sistemose FCR buvo panašus (~1,2). Mažesnis pašaro konversijos santykis reiškia, kad žuviai užaugti iki 1 kg reikės mažiau pašaro, nei žuvims, kurių FCR didesnis. FCR laikoma priimtina, kai ji yra ne didesnė kaip 2, tačiau priimtinas santykis gali skirtis atsižvelgiant į pašaro kainą (Mengistu et al., 2019). FCR lemia ne tik individualus pašarų efektyvumas, bet ir išgyvenamumas, nes augimo laikotarpiu kritusios žuvis ėdė pašarus iki mirties. Šiame tyrime, skaičiuojant pašaro konversijos santykį, į galutinę biomasę buvo įtrauktos tyrimo metu kritusių žuvų svoris.

Žuvų gerovės indeksas pagal Fultoną suteikia informaciją apie žuvų fiziologinės būklės kitimą ir gali būti naudojamas populiacijoms, gyvenančioms tam tikromis aplinkos sąlygomis, palyginti (Ighwela et al., 2011). Šis indeksas gali būti naudojamas nustatant rūšies maitinimosi aktyvumą, siekiant nustatyti, ar ji tinkamai naudoja savo mitybos šaltinį. Šio tyrimo metu visose sistemose Fultono koeficientas buvo beveik vienodas – pradžioje ~1,8, o tyrimo pabaigoje 2,2-2,3. Galutinio koeficiento skirtumai buvo statistiškai reikšmingi. Koeficientas, didesnis nei 1,7 rodo, kad žuvis yra geros fiziologinės būklės (Zablon et al., 2020).

Uždara vandens apytakinė sistema. Dėl didelio žuvų tankio ir/arba padidėjusio amonio ir nitritų kiekio žuvis pradeda patirti stresą (Woo et al., 1995) Streso būsenoje, žuvis pro žiaunas arba su šlapimu ar išmatomis, į vandenį išskiria vieną iš streso rodiklių – steroidą kortizolį (Martins et al., 2011). Net tiesiogiai streso neveikiamos žuvis, jei dalinasi tuo pačiu vandeniu su stresą patiriančiomis žuvimis, gali įsisavinti vandenyje esantį kortizolį. Kortizolio padidėjimas siejamas su augimo ir pašarų suvartojimo sumažėjimu. Taip pat kortizolis bei kiti steroidiniai junginiai sukelia putojimą ir geltonai-rudą spalvą, sudrumsčia vandenį.

Nepašalinti junginiai ir kitokios dalelės gali užkšti biofiltrą, sukelti antrinę amonio produkciją, yra gera terpė bakterijoms bei kitiems mikroorganizmams sudaryti kolonijas bei daro įtaką auginamų

žuvų sveikatai (Espinal, Malulic, 2019). Dėl šių priežasčių, norint pašalinti organines medžiagas, kietąsias daleles ar kitus šalutinius produktus, uždaroms vandens apytakinėms sistemoms reikalingas išputintojas (skimeris).

Šio eksperimento metu naujai perdarytos uždaros vandens apytakinės sistemėlės skimerio neturėjo. Vanduo buvo tamsios spalvos, drumstas, šiek tiek putotas, plaukiojo kietosios dalelės (30 pav.). Tyrimo viduryje susidurta su per dideliu organinių medžiagų bei kietųjų dalelių kiekiu, kurio biofiltras ir mechaninis filtras nebepalaikė. Tai ypač paveikė 6‰ sistemą – vanduo tapo labai drumstas, putotas.



30 pav. Vandens kokybė a) 0‰ sistemoje, b) 3‰ sistemoje, c) 6‰ sistemoje (nuotraukos autorės).

Šis sistemos veikimo sutrikimas turėjo įtakos šio tyrimo rezultatams. Per 5 dienų laikotarpį, 6‰ sistemoje krito 39 žuvis, 3‰ sistemoje tuo laikotarpiu krito 4 tilapijos. Vandens kokybės pablogėjimas taip pat galėjo tapti prastesnio žuvų augimo priežastimi – siekiant grąžinti vandens kokybę į optimalią būklę, kelias dienas visai sustabdytas žuvų šėrimas, vėliau, iki pat tyrimo pabaigos, jis buvo smarkiai sumažintas – nuo 1,5-2% nuo kūno svorio prieš vandens kokybės pablogėjimą iki 0,5%. Taip pat, kaip minėta anksčiau, prasta vandens kokybė sukelia stresą, kurio metu žuvis gali visai nustoti maitintis. 6‰ sistemoje pavojinga vandens kokybės situacija liko iki pat tyrimo pabaigos, kas padarė įtaką išgyvenamumui, pašaro suvartojimo bei augimo rezultatams.

Lyčių augimo skirtumai. Nilo tilapių patelių ir patinų augimo skirtumai atsiranda prasidėjus lytiniam brendimui (Bhatta et al. 2012). Nustatyti kritiniai laikotarpiai, kurių metu augimas sulėtėja: patinams po spermiogenezės, jau praėjus lytiniam brendimui, o patelėms – stadijoje prieš susidarant trynio maišui (*angl. previtellogenesis*), lytinio brendimo metu. Patelių augimo greitis sumažėja anksčiau, todėl bendras dydis yra mažesnis nei patinų ir tai jiems leidžia augti greičiau. Taip pat, patelių oocitai vystosi asinchroniškai, jos neršia dažnai – maždaug kas 2–3 savaites. Neršto laikotarpiu, bei kol vyksta jauniklių inkubacija patelių burnoje, pašarų suvartojimas ženkliai sumažėja arba visiškai nutrūksta, kas taip pat daro įtaką patelių augimui. Taip pat patinai geriau prisitaikę ir efektyviau kompensuoja už periodą, kurio metu nebuvo šeriami, nei patelės (Barreto et al., 2003).

Lind ir kiti (2015) tyrė kelių *O. niloticus* štamų iš skirtingų veisimo programų, patinų ir patelių augimo skirtumus. Rezultatai parodė, kad patelių svoris buvo nuo 61 iki 84,7% patinų svorio. Šio

tyrimo metu 2020 10 30 matavime patelių vidutinis svoris buvo 59% patinų svorio, o 2020 12 18 matavime – 54% (31 pav.). Mažesnę patelių svorį galėjo lemti dažnas nerštas, kadangi tam buvo palankios aplinkos sąlygos, bei tai, jog smulkioms patelėms sunkiau konkuruoti dėl pašaro su stambesniais patiniais.



31 pav. Nilo tilapijų (*O. niloticus*) patelė (viršuje) ir patinas (apačioje) (nuotrauka autorės).

Reprodukcija. Burnoje patelės gali nešioti nuo 700 iki 2000 ikrelių (Peterson et al., 2004). Didžioji dauguma išgyvena iki mailiaus stadijos dėl to, nes patelės, apie dvi savaites nuo išsiritimo, agresyviai gina savo jauniklius. Ikrų kiekis dažniausiai didėja didėjant patelių kūno svoriui (Peters 1983, Peterson et al., 2004, Shoko et al., 2015). Šiame tyrime nustatytas labai silpnas ryšys neleidžia pritarti ankstesniems rezultatams. Tai galėjo lemti ne visada sėkmingas patelių paėmimas iš sistemos ir patalpinimas į atskiras talpyklas – dažnai patelės, pajutusios stresą, išspjaudavo dalį ar visus jauniklius iš burnos, nespėjus jų atskirti į kibirėlius. Šiame tyrime skaičiuoti tik tie jaunikliai, kurie buvo paimti jau po patalpinimo: iš kibirėlių arba išplauti iš patelių burnos.

Vandens druskingumas yra labai svarbus embriono vystymuisi, daro įtaką išsiritimo dažniui, lervų išgyvenamumui ir deformacijoms, lervų dydžiui (Rodriguez-Montes de Oca et al., 2015).

Watanabe ir kitų (1989) tyrime Nilo tilapijų hibridų nerštas vyko druskingumuose iki 36‰. Didžiausias ikrelių skaičius buvo gėlame vandenyje. Jauniklių kiekis vienam patelės svorio matui sumažėjo, kai druskingumas viršijo 18‰. Šio tyrimo metu neršiančių žuvų skaičius tarp druskingumų skyrėsi nedaug. Sumažėjusį neršiančių žuvų skaičių tyrimo pabaigoje būtų galima paaiškinti suprastėjusia vandens kokybe.

Reikšmingai skyrėsi tik ikrelių kiekis tarp sistemų, mažiausias jų kiekis buvo 6‰ sistemoje. Tam įtakos galėjo turėti slopinamasis druskingumo poveikis reprodukciniams savybėms – mažėjantis apvaisintų ikrelių skaičius, prastesnis išsiritimas bei išgyvenamumas didėjant druskingumui

(Watanabe et al., 1989). Bendras jaunikių kiekio sumažėjimas tyrimo pabaigoje priklausė nuo neršiančių patelių kiekio sumažėjimo.

Jaunikių metabolizmas. Keičiantis vandens aplinkai, pvz. pereinant iš gėlo vandens į jūrinį vandenį, žuvims reikia pritaikyti osmoreguliacijos procesus. El-Sayed (2006) nustatė, kad metabolinis greitis didėja, didėjant vandens druskingumui. Šio tyrimo metu, didžiausias metabolinis greitis buvo pirmo etapo metu 6‰ vandenyje, kas patvirtintų anksčiau minėtą išvadą, tačiau antro etapo metu didžiausi metaboliniai greičiai buvo jaunikių 0‰ vandenyje. Caxico Vieira ir kiti (2018) savo tyrime pažymėjo, kad Nilo tilapijų kraujo koncentracija yra 7‰. Tai galėtų paaiškinti gautus rezultatus, rodančius, jog 6‰ vandenyje nebuvo statistiškai reikšmingo metabolinio greičio, lyginant su gėlu ar 3‰ vandeniu – žuvis izo-osmosinėje terpėje sunaudoja mažiau energijos, patiria mažiau streso, dėl ko sumažėja deguonies poreikis (Martinez-Palacios, 1990).

Žuvų deguonies suvartojimas (MO_2) yra kintamas ir priklauso nuo daugelio veiksnių: temperatūra; kūno masė, šėrimo dažnis, maisto virškinimas, augimo greitis, stresas (Cabot et al., 2016, Rosewarne et al., 2016). Šie veiksniai gali padidinti arba sumažinti deguonies suvartojimą.

Mėsos kokybė. Sulieman ir James (2011) nustatė, kad tilapijas sudaro 25,96% sausos masės, 2,98% pelenų, 21,05% baltymų ir 7,32% riebalų. Tai iš dalies atitinka šio tyrimo rezultatus – sausos masės kiekis buvo labai panašus, baltymų ir pelenų 1-2% mažesnis. Didesnis skirtumas tarp riebalų (~3% mažiau šiame tyrime). Khalafalla ir kitų (2015) tyrime nustatytas Nilo tilapijų filė pH buvo 6,2. Jis labai panašus į šiame tyrime nustatytas reikšmes. Alemu ir kitų (2013) tyrime nustatyta, kad lytis neturėjo įtakos mėsos sudėčiai. Šiame tyrime tik vandeningumas reikšmingai skyrėsi tarp lyčių.

Vandens druskingumas gali turėti įtakos mėsos baltymų ir riebalų kiekiui – gėlavandenėse žuvyse jų yra daugiau, nei jūrinėse (Petricorena, 2015), tačiau šio tyrimo metu druskingumas šiems parametrams reikšmės neturėjo.

Nilo tilapijų cheminės mėsos sudėties skirtumus dažnai lemia pašaro tipas, suvartojamo pašaro kiekis bei žuvų dydis (El-Zaeem et al., 2012). Lipidų kiekis filė, yra tiesiogiai susijęs su riebalų kiekiu pašare. Padidėjus kitiems parametrams, tokiems kaip šėrimo greitis ir žuvų dydis, taip pat padidėja riebalų nusėdimas ir sumažėja vandens kiekis žuvų kūne. Baltymų kiekis daugiau priklauso nuo žuvies dydžio nei pašaro ar kitų aplinkos veiksnių (Santos et al., 2012).

Rekomendacijos. Šio tyrimo tikslas buvo išmėginti ir įvertinti Nilo tilapijų auginimo biotechnologiją druskėto vandens sąlygomis. Remiantis eksperimento rezultatais bei įgyta patirtimi, rekomenduojau:

- Palaikyti optimalią vandens temperatūrą, ypač žuvis auginant šaltuoju metu tam nepritaikytose patalpose, skirti papildomus šilumos šaltinius.
- Naudoti vandens išputintoją (skimerį) tinkamos vandens kokybės palaikymui, ypač druskėto vandens sistemose.

- Vengti žuvims stresą keliančių situacijų.
- Auginimui rinktis Nilo tilapijų patinų monokultūrą dėl ženkliai didesnio vidutinio svorio bei augimo greičio lyginant su patelėmis.
- Atlikti žuvų rūšiavimą, kurio metu didesnės žuvys būtų atskirtos nuo mažesnių taip išvengiant konkurencijos dėl pašaro, sudarant sąlygas vienodai augti.

Išvados

1. Vandens druskingumas turėjo statistiškai reikšmingą įtaką ištirpusio deguonies kiekio (%), vandens pH ir nitritų (NO_2) (mg L^{-1}) kiekiui vandenyje. Dėl druskėto vandens naudojimui nepritaikytos uždaros vandens apytakinės sistemos, tyrimo eigoje suprastėjo vandens kokybė, ypač 6‰ sistemoje – ištirpusio deguonies kiekis buvo žemiau optimalios ribos ($58,4 \pm 7,4\%$), iki $1,2 \text{ mg L}^{-1}$ padidėjo nitritų kiekis vandenyje.
2. Didžiausias galutinis Fultono koeficientas buvo statistiškai reikšmingai didesnis 6‰ sistemoje. Augimas ir pašaro konversijos santykis statistiškai reikšmingai nesiskyrė skirtingo druskingumo sąlygomis. Prasčiausias išgyvenamumas buvo 6‰ sistemoje dėl tyrimo metu pablogėjusios vandens kokybės, geriausias – 0‰ sistemoje.
3. Auginamų Nilo tilapijų lytis yra svarbi akvakultūros efektyvumui. Lytis turėjo statistiškai reikšmingos įtakos žuvų svoriui. Galutinis patinų svoris buvo 54% didesnis nei patelių.
4. Druskėto vandens sąlygos neturėjo reikšmingos įtakos Nilo tilapijų patelių nerštui, lervų ir mailiaus kiekiui. Statistiškai reikšmingų skirtumų nebuvo ir matuojant jaunikių metabolinį greitį. Nustatytas silpnas ryšys tarp Nilo tilapijų suaugusių patelių svorio ir jaunikių kiekio.
5. Lyginant mėsos kokybę tarp sistemų, statistiškai reikšmingai skyrėsi mėsos pH: mėginių iš 6‰ sistemos vidutinis pH ($6,33 \pm 0,08$) buvo didesnis už 0‰ ir 3‰ sistemų – $6,21 \pm 0,11$ ir $6,25 \pm 0,09$ atitinkamai. Tarp sistemų statistiškai reikšmingai skyrėsi ir mėsos vandeningumas (%) – 6‰ sistemos mėginiuose jis buvo 20% didesnis nei 0‰ sistemos. Vandeningumas taip pat statistiškai reikšmingai skyrėsi tarp lyčių – patelių mėginiuose vidutinis vandeningumas buvo 17,7% didesnis nei patinų mėginiuose.

Literatūros sąrašas

1. Abbas K. A., Mohamed A., Jamilah B. 2009 Fatty acids in fish and beef and their nutritional values: A review. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, vol. 7 (3,4), p. 37-42.
2. Abdelrhman A. M., Sharawy Z. Z., Goda A. M. A. S., Slater M. J. 2020 Adaptability of the Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* Juveniles to Water Salinity by Controlling Dietary Sodium Chloride Levels. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, vol. 24(2), p. 225-237.
3. Al-Amoudi M. M. 1987. Acclimation of Commercially Cultured *Oreochromis* Species to Sea Water - an Experimental Study. *Aquaculture*, vol. 65, p. 333-342.
4. Alemu L. A., Melese A. Y., Gulelat D. H. 2013. Effects of Endogenous Factors on proximate Composition of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Fillet from Lake Zeway. *American Journal of Research Communication*, vol. 1 (11), p. 405-410.
5. Anonimas. 1958. The Venice System for the Classification of Marine Waters According to Salinity. *Limnology and Oceanography*, vol. 3 (3), p. 346-347.
6. Arnesen A.M., Jorgensen E.H., Jobling M. 1993. Feed intake, growth and osmoregulation in Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (L.), transferred from freshwater to saltwater at 8°C during summer and winter. *Fish Physiology and Biochemistry*, vol. 12, No. 4, p. 281-292.
7. Barreto R. E., Moreira P. S. A., Carvalho R. F. 2003. Sex-specific compensatory growth in food-deprived Nile tilapia. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, vol. 36, p. 477-483.
8. Bhatta S., Iwai T., Miura T., Higuchi M., Maugars G., Miura C. 2012. Differences between male and female growth and sexual maturation in tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Kathmandu University Journal of Science, Engineering and Technology*, vol 8, No. II, p. 57-65.
9. Bregnballe J. 2015. A Guide to Recirculation Aquaculture. An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems. Copenhagen, Eurofish International Organisation, p. 1-95.
10. Boeuf G., Payan P. 2001. How should salinity influence fish growth? *Comparative Biochemistry and Physiology*, part C (130), p. 411-423.
11. Cakmak Y. S., Zengin G., Guler G. O., Aktymsek A., Ozparlak H. 2012. Fatty acid composition and $\Omega 3/\Omega 6$ ratios of the muscle lipids of six fish species in Sugla Lake, Turkey. *Archives of Biological Sciences*, vol. 64 (2), p. 471-477.
12. Caxico Vieira C. A. S., Vieira J. S., Bastos M. S., Zancanela V., Barbosa L. T., Gasparino E., Del Vesco A. P. 2018. Expression of genes related to antioxidant activity in Nile tilapia kept under salinity stress and fed diets containing different levels of vitamin C. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, vol. 81 (1-3), p. 20-30.

13. Chabot D., Steffensen J. F., Farrell A. P. 2016. The determination of standard metabolic rate in fishes. *Journal of Fish Biology*, vol. 88, p. 81–121.
14. Chervinski J. 1982. Environmental physiology of tilapias, p. 119-128. In R.S.V. Pullin and R.H. Lowe-McConnell (eds.) *The biology and culture of tilapias*. ICIJARM Conference Proceedings 7, 432 p. International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines.
15. Chow K. W., 1980. *Fish Feed Technology*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
16. Covington A. K., Whitfield M. 1988. Recommendations for the determination of pH in sea water and estuarine waters. *Pure and Applied Chemistry*, vol. 60, No. 6, p. 865-870.
17. Cuesta A., Meseguer J., Esteban M.A. 2019. Immune and Osmoregulatory System Interaction. In: Baldisserotto B., Mancera J.M., Kapoor, B.G. *Fish Osmoregulation*. CRC Press, p. 1-34.
18. Duston J., Astatkie T., Murray S. B. 2007. Effect of salinity at constant 10 °C on grow-out of anadromous Arctic charr from Labrador. *Aquaculture*, vol. 273, p. 679–686.
19. Ebeling J.M., Timmons M.B. 2012. Recirculating Aquaculture Systems. In: Tidwell J. H. (eds.), *Aquaculture Production Systems*. Wiley-Blackwell, p. 245-277.
20. Edwards S. L., Marshall W. S. 2013. Principles and Patterns of Osmoregulation and Euryhalinity in Fishes. In: McCormick S. D., Farrell A. P., Brauner C. J. (eds.) *Fish Physiology*. Euryhaline Fishes, vol 32, p. 1-44.
21. El-Sayed, A. F. M. 2006. *Tilapia Culture*. CABI Publishing, CAB International, Wallingford, Oxfordshire, UK, p. 1-277.
22. El-Sayed, A. F. M. 2006. Tilapia culture in salt water: Environmental requirements, nutritional implications and economic potentials. Eighth Symposium on Advances in Nutritional Aquaculture. November 15–17, Nuevo Leon, Mexico.
23. El-Sherif M. S., El-Feky A. M. I. 2009. Performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. II. Influence of different water temperatures. *International Journal of Agriculture and Biology*, vol 11, No. 3, p. 301-305.
24. El-Zaeem S. Y., Ahmed M. M. M., El-Sayed Salama M., El-Kader W. N. A. 2012. Flesh quality differentiation of wild and cultured Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) populations. *African Journal of Biotechnology*, vol. 11(17), p. 4086-4089.
25. Engstrom-Ost J., Lehtiniemi M., Jonasdottir S.H., Viitasalo M. 2005. Growth of pike larvae (*Esox lucius*) under different conditions of food quality and salinity. *Ecology of Freshwater Fish*, vol. 14, p. 385–393.

26. Espinal C. A., Matulic D. 2019. Recirculating Aquaculture Technologies. In Goddek S., Joyce A., Kotzen B., Burnell G. M. (eds.). *Aquaponics Food Production Systems*, Springer, p 35-76.
27. Evans T. G., Kültz D. 2020. The cellular stress response in fish exposed to salinity fluctuations. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology*, p. 1-15.
28. Fagbenro O.A., Adedire C.O., Owoseeni E.A., Ayotunde E.O. 1993. Studies on the biology and aquaculture potential of feral catfish *Heterobranchus bidorsalis* (Geoffroy St. Hilaire 1809) (*Clariidae*). *Tropical Zoology*, vol. 6, No. 1, p. 67-79.
29. FishBase. *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) Nile tilapia. Prieiga internetu: <http://fishbase.org/summary/Oreochromis-niloticus.html> [žiūrėta 2020 12 07].
30. Fitzsimmons, K. 2000. Tilapia the most important aquaculture species of the 21st century. In: 5th Int. symposium on tilapia aquaculture in the 21st century. Brazil, p. 3-8.
31. Food and Agriculture Organization. 2020. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action.
32. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2019. FAO yearbook. Fishery and Aquaculture Statistics 2017. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations, p. 1-108.
33. Food and Agriculture O. 2015. FAO statistical pocketbook 2015: World food and agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, p. 1-236.
34. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Cultured Aquatic Species Information Programme. *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758). Prieiga internetu: http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oreochromis_niloticus/en [žiūrėta 2021 02 05].
35. Gabbadon P., de Souza G., Titus A. 1998. Tilapia farming. A Manual for Commercial Tilapia Production in Trinidad and Tobago. Trinidad, The Institute of Marine Affairs, p. 1-17.
36. Gao Y., Wanga X., Lia J., Leeb C.T., Ongc P.Y., Zhanga Z., Li C. 2020. Effect of aquaculture salinity on nitrification and microbial community in moving bed bioreactors with immobilized microbial granules. *Bioresource Technology*, vol. 297.
37. Getchis T.L. 2014. Aquaculture Management guide. A manual for the identification and management of aquaculture production hazards. United states Department of agriculture, p. 143.
38. Gokoglu N., Yerlikaya P. 2015. Chemical composition of fish. In: Seafood Chilling, Refrigeration and Freezing: Science and Technology, p. 5-37.
39. Guerrero III R.D. 1982. Control of tilapia reproduction, p. 309-316. In R.S.V. Pullin and R.H. Lowe-McConnell (eds.) *The biology and culture of tilapias*. ICLARM Conference

- Proceedings 7, 432 p. International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines.
40. Gupta M.V., Acosta B.O. 2004. A review of global tilapia farming practices. *Aquaculture Asia*, vol. 9, No. 1, p. 7-16.
 41. Harianto, J., Carey, N., Byrne, M., 2019. respR - An R package for the manipulation and analysis of respirometry data. *Methods in Ecology and Evolution*.
 42. Hegazi M.A.M., Attia Z.I., Hegazi M.M. 2014. Salinity lessens the impact of high stocking densities and metabolic cost in white muscle and liver of Nile tilapia fingerlings. *Aquaculture Research*, vol. 45, p. 566–570.
 43. Holliday F. G. T. 1969. The Effects of Salinity on the Eggs and Larvae of Teleosts. *Fish Physiology*, vol. 1, p. 293-311.
 44. Hüpeden J., Wemheuer B., Indenbirken D., Schulz C., Spieck E. 2020. Taxonomic and functional profiling of nitrifying biofilms in freshwater, brackish and marine RAS biofilters. *Aquacultural Engineering*, vol. 90.
 45. Ighwela K. A., Ahmed A. B., Abol-Munafi A. B. 2011. Condition Factor as an Indicator of Growth and Feeding Intensity of Nile Tilapia Fingerlings (*Oreochromis niloticus*) Feed on Different Levels of Maltose. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science*, vol. 11 (4), p. 559-563.
 46. Iqbal K.J., Qureshi N.A., Ashraf M., Rehman M.H.U., Khan N., Javid A., Abbas F., Mushtaq M.M.H., Rasool F., Majeed H. 2012. Effect of Different Salinity Levels on Growth and Survival of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *The Journal of Animal & Plant Sciences*, vol. 22 (4), p. 919-922.
 47. Yanbo, W., Zhang, W., Li, W., Xu Zi. 2006. Acute toxicity of nitrite on tilapia (*Oreochromis niloticus*) at different external chloride concentrations. *Fish Physiology and Biochemistry*, vol. 32, p. 49-54.
 48. Jim F., Garamumhango P., Musara C. 2017. Comparative Analysis of Nutritional Value of *Oreochromis niloticus* (Linnaeus), Nile Tilapia, Meat from Three Different Ecosystems. *Journal of Food Quality*, vol. 2017, p. 1-8.
 49. Kang'ombe J., Brown J.A. 2008. Effect of Salinity on Growth, Feed Utilization, and Survival of *Tilapia rendalli* Under Laboratory Conditions. *Journal of Applied Aquaculture*, vol. 20, No. 4, p. 256-271.
 50. Khalafalla F. A., Ali F. H. M., Hassan A. R. H. A. 2015 Quality improvement and shelf-life extension of refrigerated Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillets using natural herbs. *Beni-Suff University Journal of Basic and Applied Sciences*, vol. 4, p. 33-40.

51. Kinyage, J. P. H., Pedersen, P. B., Pedersen, L. F. 2019. Effects of abrupt salinity increase on nitrification processes in a freshwater moving bed biofilter. *Aquacultural Engineering*, vol. 84, p. 91–98.
52. Kucuk S., Karul A., Yildirim S., Gamsiz K. 2013. Effects of salinity on growth and metabolism in blue tilapia (*Oreochromis aureus*). *African Journal of Biotechnology*, vol. 12(19), p. 2715-2721.
53. Kültz D. 2012. The Combinatorial Nature of Osmosensing in Fishes. *Physiology*, vol. 27 (4), p. 259-275.
54. Kültz D. 2013. Osmosensing. In: McCormick S. D., Farrell A. P., Brauner C. J. (eds.) *Fish Physiology. Euryhaline Fishes*, vol. 32, p. 45-68.
55. Kültz D. 2015. Physiological mechanisms used by fish to cope with salinity stress. *Journal of Experimental Biology*, vol. 218 (12), p. 1907-1914.
56. Larumbe-Moran E., Hernandez-Vergara M. P., Olvera-Novoa M. O., Rostro C. I. P. 2010. Protein requirements of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry cultured at different salinities. *Aquaculture Research*, vol. 41, p. 1150-1157.
57. Lawson E. O., Alake S.A. 2011. Salinity Adaptability and Tolerance of Hatchery Reared Comet Goldfish *Carassius auratus* (Linnaeus 1758). *International Journal of Zoological Research*, vol. 7 (1), p. 68-76.
58. Li G., Sinclair A. J., Li D. 2011. Comparison of Lipid Content and Fatty Acid Composition in the Edible Meat of Wild and Cultured Freshwater and Marine Fish and Shrimps from China. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 59, p. 1871–1881.
59. Lietuvos statistikos departamentas. Akvakultūros produkcija. Prieiga internetu: <https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize?theme=all#/> [žiūrėta 2021 04 06].
60. Likongwe J. S., Stecko T. D., Stauffer Jr. J. R., Carline R. F. 1996. Combined effects of water temperature and salinity on growth and feed utilization of juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus). *Aquaculture*, vol. 146, p. 37-46.
61. Lind C. E., Safari A., Agyakwah S. K., Attipoe F. Y. K., El-Naggar G. O., Hamzah A. , Hulata G., Ibrahim N. A., Khaw H. L., Nguyena N. H., Maluwa A. O., Zaid M., Zake T., Ponzoni R. W. 2015. Differences in sexual size dimorphism among farmed tilapia species and strains undergoing genetic improvement for body weight. *Aquaculture Reports*, vol. 1, p. 20–27
62. Losordo T. M. 2014. A look at unit processes in RAS systems. Prieiga internetu: <https://www.aquaculturealliance.org/advocate/look-at-unit-processes-in-ras-systems/> [žiūrėta 2021 04 29]

63. Ložys L. 2004. The growth of pikeperch (*Sander lucioperca* L.) and perch (*Perca fluviatilis* L.) under different water temperature and salinity conditions in the Curonian Lagoon and Lithuanian coastal waters of the Baltic Sea. *Hydrobiologia*, vol. 514, p. 105-113.
64. Lugert V., Thaller G., Tetens J., Schulz C., Krieter J. 2014. A review on fish growth calculation: multiple functions in fish production and their specific application. *Reviews in Aquaculture*, vol. 6, p. 1–13.
65. Luz R.K., dos Santos J.C.E. 2010. Effect of salt addition and feeding frequency on cascudo preto *Rhinelepis aspera* (Pisces: Loricariidae) larviculture. *Journal of Applied Ichthyology*, vol. 26, p. 453-455.
66. Makori A. J., Abuom P. O., Kapiyo R., Anyona D. N., Dida G. O. 2017. Effects of water physico-chemical parameters on tilapia (*Oreochromis niloticus*) growth in earthen ponds in Teso North Sub-County, Busia County. *Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 20:30.
67. Martinez-Palacios C.A., Ross L.G., Rosado-Vallado M. 1990. The effects of salinity on the survival and growth of juvenile *Cichlasoma urophthalmus*. *Aquaculture*, vol. 9 (1), p. 65-75.
68. Martins C. I. M., Eding E. H., Verreth J. A. J. 2011. Stressing fish in Recirculating Aquaculture Systems (RAS): does stress induced in one group of fish affect the feeding motivation of other fish sharing the same RAS? *Aquaculture Research*, vol. 42, p. 1378-1384.
69. Mattioli C.C., Takata R., Paes Leme F., Costa D.C., Filho R.M., de Souza e Silva W., Luz R.K. 2017. The effects of acute and chronic exposure to water salinity on juveniles of the carnivorous freshwater catfish *Lophiosilurus alexandri*. *Aquaculture*, vol. 481, p. 255-266.
70. Mengistu S. B., Mulder H. A., Benzie J. A. H., Komen H. 2019. A systematic literature review of the major factors causing yield gap by affecting growth, feed conversion ratio and survival in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Reviews in Aquaculture*, vol. 12 (2), p. 524-541.
71. Monsees H., Klatt L., Kloas W., Wuertz S. 2017. Chronic exposure to nitrate significantly reduces growth and affects the health status of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) in recirculating aquaculture systems. *Aquaculture Research*, vol. 47 (7), p. 3482-3492.
72. Morgan J.D., Iwana G.K. 1991. Effects of Salinity on Growth, Metabolism, and Ion Regulation in Juvenile Rainbow and Steelhead Trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Fall Chinook Salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquaculture Science*, vol. 46, p. 2083-2094.
73. Mota V. C., Hop J., Sampaio L. A., Heinsbroek L. T. N., Verdegem M. C. J., Eding E. H., Verreth J. A. J. 2018. The effect of low pH on physiology, stress status and growth performance of turbot (*Psetta maxima* L.) cultured in recirculating aquaculture systems. *Aquaculture Research*, vol. 49 (10), p. 3456-3467.

74. Naas C., Kloas W. 2019. Meta-analysis of Growth Performance of Freshwater Fishes Under Saline Environments in Aquaculture. In Aquaculture Europe 19 Abstracts, Berlin, p. 986.
29. Parry G. 1966. Osmotic Adaptation in Fishes. *Biological Reviews*, vol. 41, p. 392-444.
75. Nash R. D. M., Valencia A. H., Geffen A. J. 2006. The Origin of Fulton's Condition Factor – Setting the Record Straight. *Fisheries*, vol. 31 (5), p. 236-238.
76. Natural Resources Research Institute. 2015. Dissolved Oxygen Saturation Calculator. Prieiga internete: <https://www.waterontheweb.org/under/waterquality/dosatcalc.html> [žiūrėta 2021 04 22].
77. Peters, H. M. 1983. Fecundity, egg weight and oocyte development in tilapias (*Cichlidae*, *Teleostei*). *ICLARM Translations*, vol. 2, p. 1-28.
78. Peterson M. S., Slack W. T., Brown-Peterson N. J., McDonald J. L. 2004. Reproduction in Nonnative Environments: Establishment of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*, in Coastal Mississippi Watersheds. *Copeia*, vol. 4, p. 842–849.
79. Petricorena Z. C. 2015. Chemical Composition of Fish and Fishery Products. In: Cheung P. C. K., Meha B. M. (eds.) *Handbook of Food Chemistry*. Springer reference, p. 403-436.
80. Popma T., Masser M. 1999. Tilapia. Life History and Biology. Southern Regional Aquaculture Center, No. 283, p. 1-4.
81. Rodriguez-Montes de Oca G. A., Roman-Reyes J. C., Alaniz-Gonzalez A., Serna-Delval C. O., Munoz-Cordova G., Rodriguez-Gonzalez H. 2015. Effect of salinity on three tilapia (*Oreochromis* sp.) strains: hatching rate, length and yolk sac size. *International Journal of Aquatic Science*, vol. 6 (1), p. 96-105.
82. Rogers C.A. 1976. Effects of Temperature and Salinity on the Survival of Winter Flounder Embryos. *Fishery Bulletin*, vol. 74 (1), p. 52-58.
83. Rosewarne P. J., Wilson J. M., Svendsen J. C., Measuring maximum and standard metabolic rates using intermittent-flow respirometry: a student laboratory investigation of aerobic metabolic scope and environmental hypoxia in aquatic breathers. *Journal of Fish Biology*, vol. 88, p. 265–283.
84. Ruiz P., Vidal J. M., Sepulveda D., Torres C., Villouta G., Carrasco C., Aguilera F., Ruiz-Tagle N., Urrutia H. 2019. Overview and future perspectives of nitrifying bacteria on biofilters for recirculating aquaculture systems. *Reviews in Aquaculture*, vol. 12, p. 1–17.
85. Rurangwa E., Verdegem M. C. J. 2014. Microorganisms in recirculating aquaculture systems and their management. *Reviews in Aquaculture*, vol. 5, p. 1–14.
86. Sakamoto T., McCormick S. D. 2006 Prolactin and growth hormone in fish osmoregulation. *General and Comparative Endocrinology*, vol. 147, p. 24-30.

87. Sándor Z., Papp Z. G., Csengeri I., Jeney Z. 2011. Fish meat quality and safety. In: International 56th Meat Industry Conference Tara, Serbiya., p. 97-105.
88. Santos V. B., Martins T. R., Freitas R. T. F. 2012. Body Composition of Nile tilapias (*Oreochromis niloticus*) in Different Length Classes. *Brazilian Animal Science*, vol. 13 (4), p. 396-405.
89. Schofield P. J., Peterson M. S., Lowe M. R., Brown-Peterson N. J., Slack W. T. 2011. Survival, growth and reproduction of non-indigenous Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus 1758). I. Physiological capabilities in various temperatures and salinities. *Marine and Freshwater Research*, vol. 62(5), p. 439-449.
90. Shnel N., Barak Y., Ezer T., Dafni Z., Rijn J. 2002. Design and performance of a zero-discharge tilapia recirculating system. *Aquacultural Engineering*, vol. 26 (3), p. 191-203.
91. Shoko A. P., Limbu S. M., Mrosso H. D. J., Mgaya Y. D. 2015. Reproductive biology of female Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus) reared in monoculture and polyculture with African sharptooth catfish *Clarias gariepinus* (Burchell). *SpringerPlus*, vol. 4:275, p. 1-9.
92. Sulieman H. M. A., James G. K. 2011. A Comparative Studies on the Chemical and Physical Attributes of Wild Farmed Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Online Journal of Animal and Feed Research*, vol. 1 (6), p. 407-411.
93. Swanson C. 1996. Early development of milkfish: effects of salinity on embryonic and larval metabolism, yolk absorption and growth. *Journal of Fish Biology*, vol. 48, p. 405–421.
94. Tandler A., Anav F. A., Choshniak I. 1995. The effect of salinity on growth rate, survival and swimbladder inflation in gilthead seabream, *Sparus aurata*, larvae. *Aquaculture*, vol. 135, p. 343-353.
95. Thoa N. P., Ninh N. H., Knibb W., Nguyen N. H. 2016. Does selection in a challenging environment produce Nile tilapia genotypes that can thrive in a range of production systems? *Scientific Reports*, vol. 6.
96. Venugopal V., Shahidi F. 1996. Structure and composition of fish muscle. *Foods Reviews International*, vol. 12:2, p. 175-197.
97. Walsh, W.A., Swanson, C., Lee, C.S., 1991. Combined effects of temperature and salinity on embryonic development and hatching of striped mullet, *Mugil cephalus*. *Aquaculture*, vol. 97, p. 281-289.
98. Watanabe W. O., Burnet K. M., Olla B. L., Wicklund R. I. 1989. The Effects of Salinity on Reproductive Performance of Florida Red Tilapia. *Journal of the World Aquaculture Society*, vol. 20, No. 4, p. 223-229.
99. Williams W.D., Sherwood J. E. 1994. Definition and measurement of salinity in salt lakes. *International Journal of Salt Lake Research*, vol. 3, p. 53-63.

100. Woo N. Y. S, Kelly S. P. 1995. Effects of salinity and nutritional status on growth and metabolism of *Sparus sarba* in aclosed seawater system. *Aquaculture*, vol. 135, p. 229-238
101. Wood J. D., Richardson R. I., Nute G. R., Fisher A. V., Campo M. M., Kasapidou E., Shears P. R., Ensen M. 2003. Effects of fatty acids on meat queality: a review. *Meat Science*, vol. 66, p. 21-32.
102. Wurts W. A. 1998. Why can some fish live in freshwater, some in salt water and some in both? *World Aquaculture*, vol 29(1), p. 65.
103. Zablon W. O., Getabu A., Ogello E. O., Omweno J. O., Outa N. 2020. Condition Factor of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*, Fry Under the Influence of Different Protein Levels in a Biofloc System. *International Journal of Advanced Research*, vol. 8 (12), p. 25-34.