

Fisheries Science of Ukraine, 2026; 2(76): 148-170
DOI: <https://doi.org/10.61976/fsu2026.02.148>
UDC 639.371.52:597.42:591.3

Received: 16.04.2026
Received in revised form: 21.05.2026
Published: 30.06.2026

RESISTANCE OF THE BODY AND PRODUCTIVE PARAMETERS OF STERLET (*ACIPENSER RUTHENUS* LINNAEUS, 1758) JUVENILES UNDER THE ACTION OF LINSEED OIL IN THE DIET

Yu. Zabytivskiy, yurafish@ukr.net, ORCID ID 0000-0001-8300-0177, Institute of the Ecology of the Carpathians of the National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv

O. Vishchur, vishchur_oleg@ukr.net, ORCID ID 0000-0003-4503-3896, Institute of Animal Biology of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Lviv; Stepan Gzhyskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies of Lviv, Lviv

Ya. Tuchapskyi, yartuchapsky@ukr.net, ORCID ID 0000-0001-7444-119X, Institute of Fisheries of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kyiv

M. Simon, seemann.sm@gmail.com, ORCID ID 0000-0002-7295-8790, Institute of Fisheries of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kyiv

I. Solovodzinska, ira_solovodzinska@ukr.net, ORCID ID 0000-0001-9233-1488, Stepan Gzhyskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies of Lviv, Lviv

Purpose. To assess the effect of linseed oil, with which live feeds and commercial starter feed were enriched, on growth, survival, and T- and B-cell and humoral components of adaptive immunity in sterlet (*Acipenser ruthenus* Linnaeus, 1758) juveniles.

Methodology. The study was conducted in two stages lasting 28 and 50 days, respectively. In the first stage, 2 experimental and 1 control group of fish were involved, in the second stage – 1 experimental and 1 control group. At the first stage, sterlet larvae and fry were fed for 28 days with *Artemia salina* nauplii en-

ОПІРНІСТЬ ОРГАНІЗМУ ТА РИБНИЦЬКІ ПОКАЗНИКИ МОЛОДІ СТЕРЛЯДІ (*ACIPENSER RUTHENUS* LINNAEUS, 1758) ЗА ДІЇ ЛЛЯНОЇ ОЛІЇ В РАЦІОНІ

Ю. М. Забитівський, yurafish@ukr.net, ORCID ID 0000-0001-8300-0177, Інститут екології Карпат НАН України, м. Львів

О. І. Віщур, vishchur_oleg@ukr.net, ORCID ID 0000-0003-4503-3896, Інститут біології тварин НААН, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Ґжицького, м. Львів

Я. В. Тучапський, yartuchapsky@ukr.net, ORCID ID 0000-0001-7444-119X, Інститут рибного господарства Національної академії аграрних наук України, м. Київ

М. Ю. Симон, seemann.sm@gmail.com, ORCID ID 0000-0002-7295-8790, Інститут рибного господарства Національної академії аграрних наук України, м. Київ

І. Є. Соловодзінська, ira_solovodzinska@ukr.net, ORCID ID 0000-0001-9233-1488, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Ґжицького, м. Львів

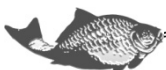
Мета. Оцінити вплив лляної олії, якою збагачували живі корми та комерційний стартовий комбікорм, на ріст, виживаність і показники Т- і В-клітинної та гуморальної ланок адаптивного імунітету молоді стерляді (*Acipenser ruthenus* Linnaeus, 1758).

Методика. Дослідження проводили у два етапи, тривалістю 28 та 50 днів відповідно. На першому етапі було задіяно 2 дослідні та 1 контрольну групу риб, на другому — 1 дослідну та 1 контрольну. На першому етапі личинок і мальків стерляді



© The Author(s). Open access. CC BY 4.0

How to cite this article: Zabytivskiy, Yu., Vishchur, O., Tuchapskyi, Ya., Simon, M., & Solovodzinska, I. (2026). Resistance of the body and productive parameters of sterlet (*Acipenser ruthenus* Linnaeus, 1758) juveniles under the action of linseed oil in the diet. *Fisheries Science of Ukraine*, 2, 148–170. <https://doi.org/10.61976/fsu2026.02.148>



riched with a liposomal preparation of linseed oil of our own production at concentrations of 0.5 and 1.0 ml/L. At the second stage, the juveniles were transferred to a starter feed, with the introduction of linseed oil in the amount of 0.1% of the weight of the feed fed. During the study, growth rates, survival rates, and T- and B-lymphocyte immune system indicators were determined. The liposomal preparation was prepared using vitamin E and lecithin in an ultrasonic disperser at a frequency of 35 Hz. All physicochemical conditions for fish farming met the regulatory values for recirculating aquaculture systems (RAS) with sterlet.

Findings. The use of linseed oil contributed to improved growth and survival of sterlet juveniles. After 28 days, the average weight of fish from the experimental groups exceeded the control by 10.7 and 27.7%, and their survival was higher by 71.7 and 76.2%. The addition of linseed oil did not cause significant changes in the total number of T and B lymphocytes, but contributed to an increase in the proportion of functionally active high-avidity T lymphocytes and a decrease in the number of cells with low receptor activity. The results obtained are consistent with modern ideas about the role of α -linolenic and linoleic acids in the formation of the structural and functional state of the membranes of immunocompetent cells, the regulation of the expression of membrane receptors and the maintenance of immune homeostasis.

Originality. The effect of a liposomal preparation of linseed oil on the growth, survival, and functional state of T- and B-cell and humoral components of specific immunity for sterlet juveniles was investigated for the first time.

Practical Value. The results can be used to optimize technologies for growing sturgeon juveniles and increase their viability in conditions of intensive aquaculture.

Keywords: sturgeon farming, aquaculture, fish feeding, recirculating aquaculture systems (RAS), sturgeon juveniles, juvenile survival.

впродовж 28 діб годували наупліями *Artemia salina*, збагаченими ліпосомальним препаратом лляної олії власного виготовлення, у концентраціях 0,5 та 1,0 мл/л. На другому етапі молодь переводили на стартовий комбікорм, із введенням до складу лляної олії в кількості 0,1% від маси згодовуваного корму. Впродовж експериментів визначали темпи росту, виживаність та показники T- і B-лімфоцитарної ланки імунітету. Ліпосомальний препарат готували з використанням вітаміну E та лецитину на ультразвуковому диспергаторі за частоти 35 Гц. Усі фізико-хімічні умови вирощування риб відповідали нормативним значенням для рециркуляційних аквакультурних систем (РАС) із стерляддю.

Результати. Встановлено, що застосування лляної олії сприяло покращенню росту та виживаності молоді стерляді. Через 28 діб середня маса риб із дослідних груп перевищувала показники контролю на 10,7 та 27,7%, а їхня виживаність була вищою на 71,7 та 76,2%. Додавання лляної олії не викликало суттєвих змін загальної кількості T- та B-лімфоцитів, проте сприяло збільшенню частки функціонально активних високоавідних T-лімфоцитів і зменшенню кількості клітин із низькою рецепторною активністю. Отримані результати узгоджуються із сучасними уявленнями про роль α -ліноленової та лінолевої кислот у формуванні структурно-функціонального стану мембран імуноткомпетентних клітин, регуляції експресії мембранних рецепторів та підтриманні імунного гомеостазу.

Наукова новизна. Вперше досліджено вплив ліпосомального препарату лляної олії на ріст, виживаність та функціональний стан T- і B-клітинної і гуморальної ланок специфічного імунітету молоді стерляді.

Практична значущість. Результати можуть бути використані для оптимізації технологій вирощування молоді осетрових риб та підвищення їх життєстійкості в умовах інтенсивної аквакультури.

Ключові слова: осетрівництво, аквакультура, годівля риб, рециркуляційні аквакультурні системи (РАС), молодь осетрів, виживаність молоді.



PROBLEM STATEMENT AND ANALYSIS OF LAST ACHIEVEMENTS AND PUBLICATIONS

The regulation of the country's large rivers in the last century has made it impossible for sturgeon (*Acipenseridae*) species to use the upper reaches for spawning, which has become one of the main reasons for the significant reduction in their populations in the wild. To maintain the abundances of these valuable anadromous fishes, technologies of artificial reproduction and raising of juveniles to viable stages are used [1–3]. Stress factors associated with intensive cultivation of sturgeon in artificial conditions significantly affect the development of the body's resistance at the initial stages of post-embryonic development and are often accompanied by increased morbidity and mortality [4–6]. In view of this, there is a need to develop technological measures to increase the resistance of the sturgeon body at the juvenile stages of development.

Unlike teleosts, the sturgeon body has specific metabolic mechanisms for stabilizing homeostasis, which are quite sensitive to the conditions of existence in the early stages of development. This is due to the long-term development of elements of the innate and adaptive immune system [7].

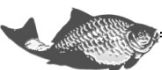
Scientific studies over the last decade shows that the use of auxiliary components that have a biological effect in the main diet can improve growth processes, reduce mortality, and improve the physiological and biochemical status of juvenile fish, in particular sturgeons [8–11]. It has been found that the quantity and ratio of essential fatty acids, especially polyunsaturated ones, are of great importance in the early ontogenesis of sturgeons [12, 13]. These needs were met by adding the necessary amount of fish oil to the feed. There is considerable scientific interest in the use

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ ТА АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Зарегулювання великих річок країни у минулому столітті призвело до унеможливлення використання осетровими (*Acipenseridae*) видами риб верхніх течій для нересту, що стало однією з головних причин суттєвого скорочення їх популяцій у дикій природі. Для підтримання чисельності цих цінних анадромних видів риб застосовують технології штучного відтворення і вирощування молоді до життєстійких стадій [1–3]. Стресові чинники, що пов'язані з інтенсивним вирощуванням осетрів у штучних умовах, суттєво впливають на формування опірності організму ще на початкових етапах постембріонального розвитку і часто супроводжуються підвищеним рівнем захворюваності та смертності [4–6]. З огляду на це, виникає потреба в розробці технологічних заходів із підвищення опірності організму осетрових риб на ювенальних стадіях розвитку.

На відміну від костистих, організм осетрових риб характеризується специфічними метаболічними механізмами стабілізації гомеостазу, які є досить чутливими до умов існування на ранніх етапах розвитку. Це пов'язано з тривалим у часі становленням елементів вродженої та адаптивної імунної системи [7].

Наукові дослідження останнього десятиліття показують, що застосування в основному раціоні допоміжних компонентів, які проявляють біологічну дію, дозволяє покращити процеси росту, знизити смертність, поліпшити фізіологічний та біохімічний статус організму молоді риб, зокрема осетрових [8–11]. З'ясовано, що в ранньому онтогенезі осетрових риб важливе значення мають кількість та співвідношення незамінних жирних кислот, особливо поліненаси-



of alternative vegetable oils not only as a substitute for expensive fish oil, but also as a factor in stabilizing lipid metabolism [13, 14].

The attention of scientists is attracted by linseed oil, which contains 50–60% of the polyunsaturated fatty acid alpha-linolenic acid (omega-3) and 15–20% of linoleic acid (omega-6). In the body of sturgeons, these acids, as a result of elongation and denaturation, are the basis for the synthesis of such essential polyunsaturated (omega-3) long-chain fatty acids as eicosapentaenoic (EPA; C20:5n3) and docosahexaenoic (DHA; C22:6n3) [15, 16].

Many scientists have conducted studies on dosage, methods of administration, and analysis of the effects of this oil on the metabolism of fish juveniles. It has been shown that the complete replacement of fish oil with linseed oil in the feeding of sturgeon hybrids (*Acipenser baeri* Brandt, 1869 × *A. schrenckii* Brandt, 1869) juveniles did not have a negative effect on growth, but led to adaptive metabolic changes in the liver and blood fatty acid profile [17]. Replacing up to 50% of linseed oil in the diet of mullet (*Mugil liza* Valenciennes, 1836) improved the body's antioxidant response in the muscles and liver, and also had a positive effect on the fatty acid composition of the muscles. This caused a quantitative redistribution of polyunsaturated fatty acids towards chain elongation [18].

The use of linseed meal in feeding previtelogenic female Siberian sturgeon (*Acipenser baeri* Brandt, 1869) led to accelerated oogenesis, positive changes in lipid metabolism and contributed to the restructuring of the hormonal profile of their body, affecting β -estradiol, testosterone, follicle-stimulating hormone [19]. The introduction of 1% linseed oil into the diet of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792) had a stimulating effect on the activity of natural defense fac-

чений [12, 13]. Ці потреби забезпечувалися введенням в корми необхідної кількості риб'ячого жиру. Значне наукове зацікавлення викликає застосування альтернативних рослинних олій не лише як замінників високовартісного риб'ячого жиру, але й як чинника стабілізації ліпідного обміну [13, 14].

Увагу науковців привертає лляна олія, до складу якої у обсязі 50–60% входить поліненасичена жирна альфа-ліноленова кислота (омега-3) та 15–20% — лінолева кислота (омега-6). В організмі осетрових риб ці кислоти, в результаті елонгації та десатурації, є основою для синтезу таких незамінних поліненасичених (омега-3) довголанцюгових жирних кислот, як ейкозапентаєнова (EPA; C20:5n3) та докозагексаєнова (DHA; C22:6n3) [15, 16].

Багатьма науковцями проведено дослідження щодо дозування, способів введення та аналізу впливу цієї олії на метаболізм молоді риб. Показано, що повна заміна лляною олією риб'ячого жиру в годівлі молоді гібрида осетра (*Acipenser baeri* Brandt, 1869 × *A. schrenckii* Brandt, 1869) не викликала негативного впливу на ріст, а привела до адаптивних метаболічних змін у печінці та в жирнокислотному профілі крові [17]. Заміна до 50% лляної олії в раціоні кефалі (*Mugil liza* Valenciennes, 1836) дозволило покращити антиоксидантну відповідь організму в м'язах та печінці, а також позитивно вплинуло на жирнокислотний склад м'язів. Це спричинило кількісний перерозподіл поліненасичених жирних кислот у бік видовження ланцюга [18].

Застосування лляного шроту в годівлі превітелогенічних самоць сибірського осетра (*Acipenser baeri* Brandt, 1869) приводило до пришвидшеного овогенезу, позитивних змін в ліпідному обміні та сприяло перебудові гормонального профілю їх організму, впливаючи на



tors, in particular phagocytic and lysozyme activities, and also contributed to an increase in the expression of cytokine genes [20]. Studies on sea bass (♀ *Epinephelus fuscoguttatus* $\times$ ♂ *Epinephelus lanceolatus*) have shown that a positive replacement of fish oil with vegetable oils in the diet can occur provided that the composition and amount of fatty acids included in the feed fats are taken into account. However, in excessive amounts, vegetable oils can contribute to damage to the histostructure of hepatocytes, while simultaneously reducing the expression of the transcription factor inducer Nrf2 and inducing the expression of anti-inflammatory factors in the kidneys [21].

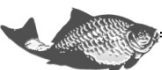
HIGHLIGHT OF THE EARLIER UNRESOLVED PARTS OF THE GENERAL PROBLEM. AIM OF THE STUDY

Studies into the standardized use of vegetable fats, including linseed oil, in the diet of sturgeon fish juveniles to strengthen their body's resistance is a pressing issue. Sturgeon juveniles grown in recirculating aquaculture systems (RAS) in the early stages of their post-embryonic development feed on *Artemia nauplii*, which at the same time can serve to transfer fats, in particular linseed oil, necessary for the full development of fish. Despite the relevance of the problem, detailed studies of the latter's impact on the body of sturgeon juveniles have not been conducted, and some works are fragmentary and do not fully reveal the metabolic reactions that underlie the growth and stabilization of homeostatic processes of the body. Thus,

β -естрадіол, тестостерон, фолікулоstimулювальний гормон [19]. Введення до раціону молоді райдужної форелі (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792) лляної олії в кількості 1% зумовило стимулювальний вплив на активність природних чинників захисту, зокрема фагоцитарну та лізоцимну активність, а також сприяло підвищенню експресії генів цитокінів [20]. Дослідженнями на морських окунях (♀ *Epinephelus fuscoguttatus* $\times$ ♂ *Epinephelus lanceolatus*) показано, що позитивна заміна рослинними оліями риб'ячого жиру у раціоні може відбуватися за умови врахування складу та кількості жирних кислот, які входять до складу кормових жирів. Проте, в надмірних кількостях рослинні олії можуть сприяти пошкодженню гістоструктури гепатоцитів, одночасно знижуючи експресію індуктора транскрипційного фактора Nrf2 та індуючи експресію протизапальних чинників у нирках [21].

ВИДІЛЕННЯ НЕВИРШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ. МЕТА РОБОТИ

Дослідження нормованого застосування рослинних жирів, у тому числі лляної олії, в раціоні молоді осетрових риб для зміцнення опірності їх організму є актуальним питанням. Молодь осетрових, яку вирощують в рециркуляційних аквакультурних системах (РАС), на ранніх етапах свого постембріонального розвитку живиться наупліями артемії, що водночас можуть слугувати для трансферу необхідних для повноцінного розвитку риб жирів, зокрема лляної олії. Попри актуальність проблеми, детальних досліджень впливу останньої на організм молоді осетрових риб не проведено, а окремі роботи є фрагментарними і не розкривають повною мірою метаболічних реакцій, які лежать в основі росту та стабілізації гомеоста-



an unresolved problem of modern sturgeon farming in general, and sturgeon feeding in particular, is the question of the feasibility of using linseed oil in the diet in order to increase the resistance of the fish body, which is achieved by appropriate changes in their metabolism.

The aim of the work was to determine the effect of linseed oil in the diet of sterlet (*Acipenser ruthenus* Linnaeus, 1758) juveniles on growth and survival, as well as the state of T- and B-cell mechanisms of specific defense, which significantly affects the body's resistance.

MATERIALS AND METHODS

The study was carried out using the material and technical base of the Institutes of Fisheries and Animal Biology of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, the Institute of Ecology of the Carpathians of the National Academy of Sciences of Ukraine, as well as the S. Z. Gzhytsky Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology.

The object of the study was sterlet larvae and fry. Accordingly, before the start of the study, the prelarvae of this sturgeon species were divided into three groups, 1000 individuals in each. Each of them was stocked for cultivation in tray tanks of a recirculating aquaculture system (RAS) of the Lviv Research Station of the Institute of Fisheries of the NAAS, with a stocking density of 800 ind./m².

The study was initiated at the 43rd stage of postembryonic development of sterlet and was carried out in 2 stages, lasting 28 and 50 days, respectively. At the first stage of cultivation, 2 experimental and 1 control group of fish were involved, at the second stage – 1 experimental and 1 control group.

At the first stage, sterlet larvae and fry were fed with *Artemia salina* nauplii enriched with a liposomal preparation of

тичних процесів організму. Таким чином, невирішеною проблемою сучасного осетрівництва загалом та годівлі осетрових зокрема є питання доцільності застосування лляної олії в раціоні з метою підвищення опірності організму риб, що досягається відповідними змінами у їх метаболізмі.

Мета роботи полягала у з'ясуванні впливу лляної олії у раціоні молоді стерляді (*Acipenser ruthenus* Linnaeus, 1758) на ріст і виживаність, а також стан Т- і В-клітинних механізмів специфічного захисту, що значною мірою впливає на опірність організму.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Дослідження здійснено з використанням матеріально-технічної бази Інституту рибного господарства Національної академії аграрних наук України, Інституту біології тварин Національної академії аграрних наук України, Інституту екології Карпат Національної академії наук України, а також Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького.

Об'єктом дослідження були личинки та мальки стерляді. Відповідно, перед початком дослідження передличинки цього виду осетрових риб були розділені на три групи, по 1000 екз. в кожній. Кожну з них було посаджено на вирощування у лоткові басейни рециркуляційної аквакультурної системи (РАС) Львівської дослідної станції Інституту рибного господарства НААН, зі щільністю (густотою) посадки 800 екз./м².

Дослідження було розпочато на 43 стадії постембріонального розвитку стерляді та здійснено у 2 етапи тривалістю 28 та 50 діб відповідно. На першому етапі вирощування було задіяно 2 дослідних та 1 контрольну групу риб, на другому етапі — 1 дослідну та 1 контрольну.



linseed oil at concentrations of 0.5 and 1.0 ml/L for 28 days. In the second stage, the juveniles were transferred to a commercial starter feed enriched with linseed oil and fed it for 50 days.

From the beginning of exogenous feeding of sterlet larvae, they were fed with *Artemia* nauplii, which were at the first and second stages of development. The latter were enriched with a liposomal preparation prepared by the authors of this study based on commercially produced linseed oil of standard composition. The formation of a liposomal emulsion for enrichment was carried out on an ultrasonic disperser at a frequency of 35 Hz [25].

Enrichment of *Artemia* nauplii with liposomal preparation was carried out in two concentrations – 0.5 ml/L (experiment 1) and 1.0 ml/L (experiment 2) of the incubation mixture. For the control group of fish, *Artemia* nauplii were prepared similarly to the experimental ones without adding linseed oil. One ml of the above-mentioned liposomal preparation contains 0.1 g of linseed oil. In addition, according to the technology of formation of this drug, 0.01 mg of vitamin E (α -tocopherol) was added as an antioxidant and 5 mg of lecithin to maintain the stability of liposomes. Feeding of sterlet larvae and fry was carried out six times during the day.

Enrichment of *Artemia* nauplii with linseed oil preparation lasted for 6 hours at a temperature of $7.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$. The conditions for growing sterlet corresponded to generally accepted standards for RAS systems in fish farming. The duration of the first stage of the experiment was 28 days.

Experimental feeding was initiated after the onset of swarming, which corresponds to the 43rd stage of prelarval development, when their olfactory buds were well developed and the distal sections of the intestine were freed from melanin residues.

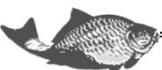
На першому етапі личинок і мальків стерляді впродовж 28 діб годували наупліями артемії (*Artemia salina*), збагаченими ліпосомальним препаратом лляної олії у концентраціях 0,5 та 1,0 мл/л. На другому етапі молодь переводили на комерційний стартовий комбікорм, збагачений лляною олією, та згодовували його 50 діб.

Від початку екзогенного живлення личинок стерляді годували наупліями артемії, які знаходилися на першій та другій стадіях розвитку. Останні збагачували ліпосомальним препаратом, виготовленим авторами даного дослідження на основі лляної олії комерційного виробництва стандартного складу. Утворення ліпосомальної емульсії для збагачення здійснювали на ультразвуковому диспергаторі за частоти 35 Гц [25].

Збагачення науплій артемії ліпосомальним препаратом проводили в двох концентраціях — 0,5 мл/л (дослід 1) та 1,0 мл/л (дослід 2) інкубаційної суміші. Для контрольної групи риб готували науплії артемії аналогічно дослідним без додавання лляної олії. В 1 мл вищезгаданого ліпосомального препарату міститься 0,1 г лляної олії. Окрім того, згідно із технологією утворення цього препарату, додавали 0,01 мг вітаміну Е (α -токоферол) як антиоксиданту та 5 мг лецитину з метою підтримання сталості ліпосом. Годівлю личинок та мальків стерляді здійснювали шестиразово впродовж доби.

Збагачення науплій артемії препаратом лляної олії тривало протягом 6 годин за температури $7,0 \pm 1,0^\circ\text{C}$. Умови вирощування стерляді відповідали загальноприйнятим у рибистві нормам для систем РАС. Тривалість першого етапу експерименту становила 28 діб.

Експериментальну годівлю було розпочато після настання роїння, що припадає на 43 стадію розвитку передличинок, коли у них добре розвинуті



During the process, the daily weight gain and survival rate were determined using the formulas below [8]:

$$DWG = \frac{LnWt - LnWo}{t} \times 100,$$

where: DWG – weight gain (%/day);

Wt – final weight (g);

Wo – initial weight (g);

t – period of time (day).

$$SR = \frac{Nt}{No} \times 100,$$

where: SR – survival (%);

Nt – final number of fish (individuals);

No – initial number of fish.

To study the number of T and B lymphocytes and determine their functional activity in the blood of sterlet juveniles, fish from experiment No. 2, which were fed with *Artemia* enriched with linseed oil, were transferred to dry commercial starter feed (CSF). It had a protein content of 54% and a fat content of 15%. It was enriched with linseed oil in the amount of 1 ml of liposomal preparation per 100 g of feed or 10 ml of preparation / 1 kg of feed, which was equal to a linseed oil content of 0.1% of the feed weight. This feed was prepared by applying a liposomal preparation to the surface of the granules, after which it was dried at room temperature and fed for 24 hours. Feeding lasted for 50 days. Fish from the control group received CSF without the addition of linseed oil.

Upon completion of the second stage of the experiment, blood taken from the tail vein of sterlet juveniles from all groups was stabilized with heparin and the total number of T-lymphocytes (E-RUL) and their populations and B-lymphocytes (EAS-RUL) were determined using the spontaneous rosette reaction described by us in the reference book [20, 21]. The functional activity

ньюхові пуп'янки та дистальні ділянки кишечника звільнилися від меланінових решток.

У процесі проведення визначали добовий темп росту та виживаність за нижченаведеними формулами [8]:

$$DWG = \frac{LnWt - LnWo}{t} \times 100,$$

де DWG — темп росту (%/добу);

Wt — кінцева маса (г);

Wo — початкова маса (г);

t — період часу (діб).

$$SR = \frac{Nt}{No} \times 100,$$

де SR — виживаність (%);

Nt — кінцева кількість риб (екз.);

No — початкова кількість риб.

Для дослідження кількості Т- і В-лімфоцитів та визначення їх функціональної активності у крові молоді стерляді риб із досліду № 2, яким згодовували артемію, збагачену лляною олією, було переведено на сухий комерційний стартовий корм (СК). У ньому вміст білка становив 54%, а вміст жиру — 15%. Його збагачували лляною олією в кількості 1 мл ліпосомального препарату на 100 г корму, або ж 10 мл препарату на 1 кг корму, що дорівнювало вмісту лляної олії на рівні 0,1% від маси корму. Приготування цього корму відбувалося шляхом нанесення ліпосомального препарату на поверхню гранул, після чого його висушували при кімнатній температурі і згодовували протягом доби. Годівля тривала впродовж 50 діб. Риби з контрольної групи отримували СК без додавання лляної олії.

Після завершення другого етапу експерименту у крові, яку відбирали з хвостової вени молоді стерляді обох груп, стабілізували гепарином, визначали загальну кількість Т-лімфоцитів (Е-РУЛ) та їхніх популяцій і В-лімфоцитів (ЕАС-РУЛ) за допомогою реакції



of the cell was assessed by the number of erythrocytes adsorbed on the surface of the lymphocyte. The relative number of total rosette-forming T-lymphocytes (TE-RFL) and active rosette-forming lymphocytes (TA-RFL) was determined. Lymphocytes were washed with buffered saline, pH 7.3. The mononuclear cell fraction was isolated from heparinized sterlet blood. The smears were dried, fixed with methanol and stained for 7 min according to Romanovsky-Giemsa [22]. Lymphocyte populations were distinguished by the number of attached erythrocytes as follows:

- 0 erythrocytes – “zero”, low-avidity lymphocytes with no surface receptors;
- 3–5 erythrocytes – poorly differentiated, low-avid lymphocytes, or cells with a low density of surface receptors;
- 6–10 erythrocytes – medium-avid lymphocytes;
- more than 10 erythrocytes (M – morula) – highly differentiated, highly avid lymphocytes.

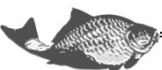
Theophylline-resistant helper lymphocytes are able to form rosettes after their incubation with theophylline. T-helpers were identified by the presence of receptors for class M immunoglobulins on their surface, and T-suppressors were identified by the presence of class G immunoglobulins on their surface. The relative number of B lymphocytes was determined by the method of identifying membrane immunoglobulin receptors that provide attachment of indicator cells to their surface [23]. The latter contain a complement-antigen complex (EAC-RFL) on their surface. Indicator cells were sheep erythrocytes sensitized with antibodies and complement.

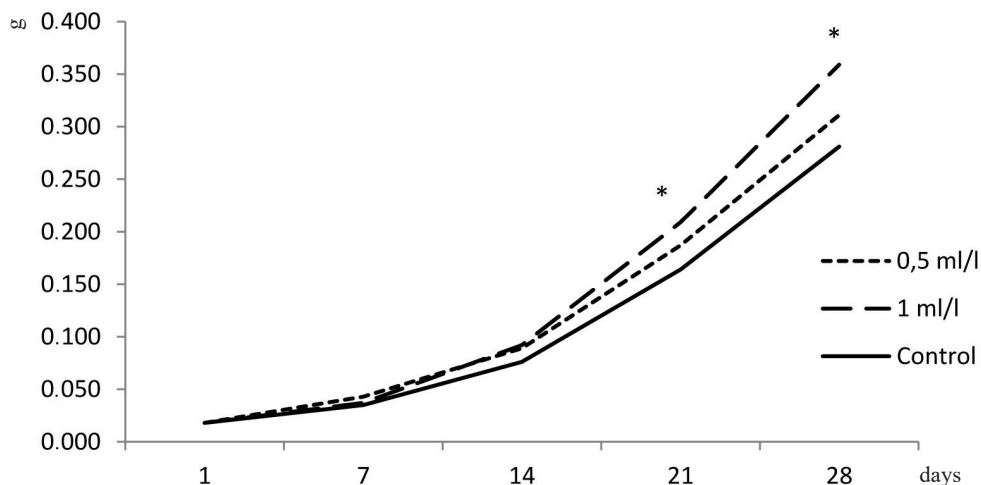
Obtained data was processed using variational statistics methods using Excel and Statistica 12.0 programs. The probability of differences in results was determined

спонтанного розеткоутворення, описаної нами у довіднику [23, 26]. За кількістю еритроцитів, адсорбованих на поверхні лімфоцита, оцінювали функціональну активність клітини. Визначали відносну кількість загальних розеткоутворювальних Т-лімфоцитів (ТЕ-РУЛ) й активних розеткоутворювальних лімфоцитів (ТА-РУЛ). Лімфоцити відмивали буферним фізіологічним розчином, показник рН якого становив 7,3. Мононуклеарну фракцію клітин виділяли з гепаринізованої крові стерляді. Мазки висушували, фіксували метанолом і фарбували 7 хв за Романовським — Гімзою [22]. Популяції лімфоцитів розрізняли за кількістю приєднаних еритроцитів наступним чином:

- 0 еритроцитів — «нульові», низькоавідні лімфоцити з відсутніми поверхневими рецепторами;
- 3–5 еритроцитів — малодиференційовані, низькоавідні лімфоцити або клітини з малою щільністю поверхневих рецепторів;
- 6–10 еритроцитів — середньоавідні лімфоцити;
- більше 10 еритроцитів (М — морула) — високодиференційовані, високоавідні лімфоцити.

Теофілінрезистентні лімфоцити-хелпери здатні утворювати розетки після їх інкубації з теофіліном. Т-хелпери визначали завдяки наявності на їх поверхні рецепторів до імуноглобулінів класу М, а Т-супресори — завдяки наявності на їхній поверхні імуноглобулінів класу G. Відносну кількість В-лімфоцитів визначали за методом ідентифікації мембранних імуноглобулінових рецепторів, що забезпечують приєднання до своєї поверхні індикаторних клітин [23]. Останні містять на своїй поверхні комплекс комплемент-антиген-комплекс (EAC-РУЛ). Індикаторними клітинами слугували еритроцити барана, сенсibilізовані антитілами і комплементом.





*Fig. 1. The effect of linseed oil on the growth dynamics of sterlet. * — significant difference with the control group at $p < 0.05$*

using one-way analysis of variance (ANOVA) using Tukey's test [24].

Цифровий матеріал опрацьовували методами варіаційної статистики з використанням програм «MS Excel» та «Statistica 12.0». Вірогідність відмінності результатів з'ясовували за допомогою однофакторного дисперсійного аналізу (ANOVA) із застосуванням критерію Тьюкі [24].

STUDY RESULTS AND THEIR DISCUSSION

Sterlet larvae and fry have a great growth potential in the first weeks of life, initially reaching 15 to 30% of body weight gain per day. The unfolding of this potential under the action of linseed oil is seen in Figure 1.

Feeding with artemia enriched with linseed oil helps improve growth processes. For example, after 14 days of experimental feeding, the average fish weight in experimental groups No. 1 and No. 2 was higher than in the control group by 17.1 and 21.1%, respectively. After 21 days, the same trend continued in the experimental groups — the average weight of sterlet fry was higher than the control by 14.0 and 27.4%, respectively. At the end of the

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

У личинок та мальків стерляді в перші тижні життя існує великий потенціал росту, який на початку сягає від 15 до 30% приросту маси тіла за добу. Розкриття цього потенціалу за дії лляної олії видно на рисунку 1.

Годівля артемією, збагаченою лляною олією, сприяє покращенню процесів росту. Так, через 14 діб експериментальної годівлі середня маса риб дослідних груп № 1 та № 2 була вищою відносно контрольної групи на 17,1 та 21,1% відповідно. Через 21 добу у дослідних групах продовжувалася та ж тенденція — середня маса мальків стерляді була вищою відносно контрольної відповідно на 14,0 і 27,4%. На час за-



first stage of the experiment on day 28, the average weight of sterlet of the first and second experimental groups was 0.311 ± 0.032 g and 0.359 ± 0.043 g and was 10.7 and 27.7% higher, respectively, compared to the control group. Feeding with live foods enriched with linseed oil promoted the effective functioning of the body's metabolic homeostasis and had a stimulatory effect on the sterlet weight gain.

The first seven days of experimental feeding with linseed oil were marked by a significant increase in daily weight gains in both experimental groups, with the effect of the lower concentration being more significant.

In experimental group No. 1, average daily gains were on average 30.6% higher compared to the control group (Fig. 2).

However, during the next 21 days of the experiment, no significant difference was recorded between the average daily weight gains of sturgeons from this and the control groups. Obviously, the final result of the experiment, which manifested itself in a likely higher average weight of sterlet in experiment No. 1, was due to the initial

вершення першого етапу експерименту, на 28 добу, середня маса стерляді першої та другої дослідних груп становила $0,311 \pm 0,032$ г та $0,359 \pm 0,043$ г і була відповідно на 10,7 та 27,7% вищою відносно контрольної. Встановлено, що годівля живими кормами, збагаченими лляною олією, сприяє ефективному функціонуванню метаболічного гомеостазу організму і зумовлює стимулювальний вплив на темпи росту стерляді.

Перші сім днів експериментальної годівлі лляною олією відзначилися вірогідним підвищенням добових темпів росту в обох дослідних групах, причому дія меншої концентрації проявилася більш суттєво.

У дослідній групі № 1 середньодобові прирости були в середньому на 30,6% вищими відносно контрольної групи (рис. 2).

Натомість, упродовж наступних 21 днів експерименту вірогідної різниці між показниками середньодобових приростів осетрових риб із цієї та контрольної груп не зафіксовано. Вочевидь, кінцевий результат експерименту, який про-

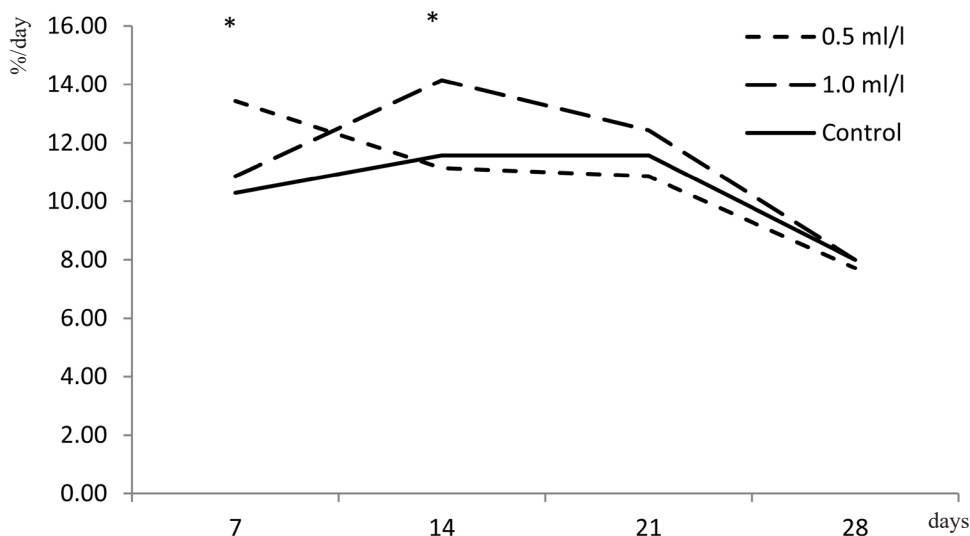
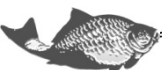


Fig. 2. The effect of the using of linseed oil in sterlet diet on the dynamics of average daily weight gain of sterlet (%/day). * — difference is significant at $p < 0.05$



intensive growth of the body during the first seven days of using linseed oil, which was confirmed by the analysis of the daily weight gain during this period.

In experimental group No. 2, where sterlet received linseed oil at a concentration of 1.0 ml/L along with food organisms, the body weight gain of fish after the first seven days increased by only 5.6% compared to the control group. It was found that the maximum effect of the supplement was manifested after 14 days, when the average daily gains exceeded the control group by 22.2%. After 21 days, no significant differences were found between the experimental group and the control group in terms of average daily weight gains.

The results of the analysis of the effect of linseed oil on the survival of sterlet larvae and fry are shown in the diagram (Fig. 3).

During the first 14 days, no significant differences were found in the survival rate between the experimental and control groups of sterlet larvae and fry. However, there is a noticeable trend towards increased mortality in the control group of fish. After 21 days, an increase in viability

явився у вірогідній більшій середній масі стерляді дослідів № 1, зумовлений стартовим інтенсивним ростом організму впродовж перших семи діб застосування лляної олії, що й підтверджується аналізом добового темпу росту у цей період.

У дослідній групі № 2, де стерлядь отримувала разом із кормовими організмами лляну олію в концентрації 1,0 мл/л, приріст маси тіла риб після перших семи діб зріс лише на 5,6% відносно контрольної групи. Встановлено, що максимальний ефект добавки проявився через 14 діб, коли середньодобові прирости перевищували показники контрольної групи на 22,2%. Після 21 доби щодо середньодобових приростів риб не було встановлено вірогідних відмінностей між дослідною групою стосовно контрольної.

Результати аналізу впливу лляної олії на виживаність личинок та мальків стерляді відображено на діаграмі (рис. 3).

Упродовж перших 14 діб не виявлено вірогідних відмінностей у величині виживаності між дослідними та кон-

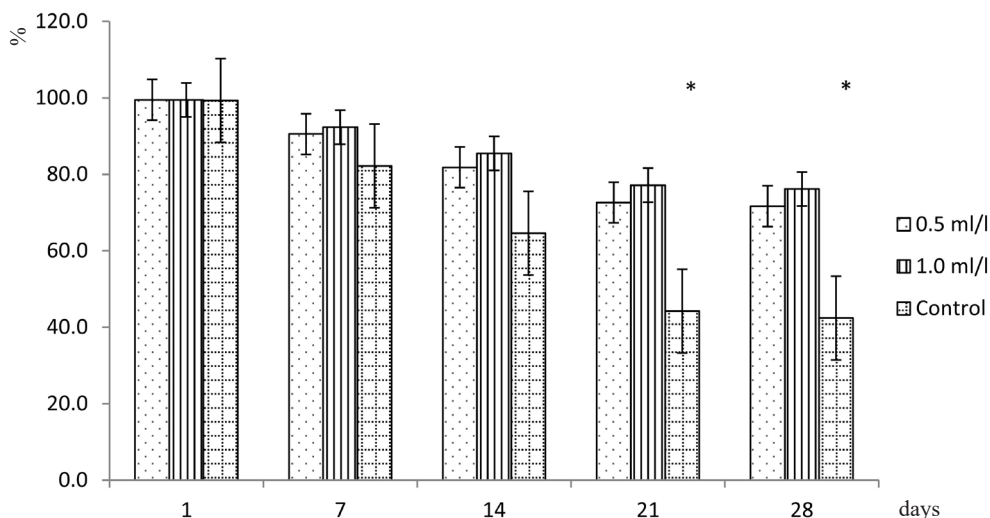


Fig. 3. The effect of linseed oil on the cumulative survival rate of juvenile sterlet, %. * — difference is significant at $p < 0.05$



ity was observed in the two experimental groups, by 26 and 32%, respectively, compared to the control. At the end of the first stage of the experiment, survival in the two experimental groups was higher than the control group by 71.7 and 76.2%.

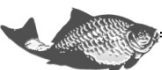
Apparently, the use of linseed oil in live feeds increases the body's resistance to stress caused by intensification of cultivation. Linolenic acid has membrane-protective, angioprotective, anti-atherosclerotic and immunomodulatory functions, and its metabolites participate in the hormonal regulation of the body. Its intake during the period of metabolic restructuring, when the fry stage is formed, contributes to the efficient functioning of metabolism to maintain homeostasis in the larval body [20].

These data are consistent with the results of studies of the effect of polyunsaturated fatty acids on the growth, morphology and metabolism of larvae and fry of Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii* Brandt & Ratzeburg, 1833). For example, its juveniles were fed with *Artemia nauplii* enriched with polyunsaturated fatty acids – eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA). After 22 days of using this product, the average body weight in the experimental group significantly increased by 23.1% compared to the control group, and body length also increased by 7.2% [5]. A similar increase in average body weight was observed in a study of the effect of fats with different contents of docosahexaenoic and eicosapentaenoic acids on the growth and survival of Persian sturgeon (*Acipenser persicus* Borodin, 1897) [27]. Among the fats studied were fish oils derived from sturgeon eggs, cod liver oil, and linseed oil. The authors showed that growth and survival depend on the ratio of polyunsaturated fatty acids (DHA/EPA) and linseed oil could provide the necessary amount, which leads to an increase in the dry matter content in

контрольними групами личинок та молоді стерляді. Однак помітна тенденція до збільшення смертності у контрольній групі риб. Через 21 добу спостерігається підвищення життєстійкості у двох дослідних групах відповідно на 26 та 32% відносно контролю. На завершення першого етапу експерименту виживаність у двох дослідних групах була вищою відносно контрольної на 71,7 та 76,2%.

Вочевидь, використання лляної олії в живих кормах підвищує опірність організму до стресу, викликаного інтенсифікацією вирощування. Ліноленова кислота має мембранопротекторну, ангіопротекторну, антиатеросклеротичну та імуномодуляторну функції, її метаболіти беруть участь у гормональній регуляції організму. Її надходження в період метаболічних перебудов, коли формується стадія малька, сприяє ефективній роботі метаболізму для підтримання гомеостазу в організмі личинок [20].

Ці дані узгоджуються з результатами досліджень впливу поліненасичених жирних кислот на ріст, морфологію та метаболізм личинок та мальків руського осетра (*Acipenser gueldenstaedtii* Brandt & Ratzeburg, 1833). Так, його молодь годували наупліями артемії, збагаченими поліненасиченими жирними кислотами — ейкозапентаєновою (EPA) та докозагексаєновою (DHA). Після 22 діб застосування цього препарату у дослідній групі вірогідно зросла середня маса тіла на 23,1% відносно контрольної групи, а також збільшилась довжина тіла на 7,2% [5]. Подібне зростання середньої маси тіла було констатовано в результаті дослідження впливу жирів з різним вмістом докозагексаєнової та ейкозапентаєнової кислот на ріст та виживаність перського осетра (*Acipenser persicus* Borodin, 1897) [27]. Серед досліджуваних жирів були риб'ячі жири,



the tissues. Similar conclusions regarding the positive effect of polyunsaturated fatty acids on growth processes and the physiological and biochemical status of the organism were reached by researchers who worked with fry of sharpnose sturgeon (*Acipenser oxyrinchus* Mitchell, 1815) and beluga (*Huso huso* Linnaeus, 1758) [28, 29].

To assess the effect of linseed oil on the state of the T- and B-cell link of specific immunity in juvenile sterlet, fish from experiment No. 2 were used, which showed better results and could more likely demonstrate a metabolic immunological picture. So, in sterlet from experimental group No. 2 and the control group, the number of T- and B-lymphocytes and their functional activity were determined. The number of total T-lymphocytes (TE-LYMP) and activated T-lymphocytes (TA-LYMP) is presented in Table 1.

No significant differences were recorded in the number of total and active T-lymphocytes in the control and experimental groups.

Analysis of active rosette-forming T-lymphocytes (A-RUL) showed that under the action of linseed oil, a tendency was observed to decrease the number of cells with few or no receptors on their surface, which prevents them from contacting

отримані з ікри осетрових, печінки тріски, та лляна олія. Авторами показано залежність росту та виживаності від співвідношення поліненасичених жирних кислот (ДНА/ЕРА), і лляна олія могла забезпечити необхідну їх кількість, що приводить до збільшення вмісту сухої речовини у тканинах. До подібних висновків щодо позитивного впливу поліненасичених жирних кислот на процеси росту та фізіолого-біохімічний статус організму дійшли дослідники, які працювали з мальками гостроного осетра (*Acipenser oxyrinchus* Mitchell, 1815) та білуги (*Huso huso* Linnaeus, 1758) [28, 29].

Для оцінки впливу лляної олії на стан Т- і В-клітинної ланки специфічного імунітету молоді стерляді було використано риб із досліду № 2, що виявили кращі результати та могли б із більшою вірогідністю продемонструвати метаболічну імунологічну картину. Отже, у стерляді з дослідної групи № 2 та контрольної групи визначали кількість Т- і В-лімфоцитів та їх функціональну активність. Кількість загальних Т-лімфоцитів (ТЕ-РУЛ) та активних Т-лімфоцитів (ТА-РУЛ) представлено у таблиці 1.

Суттєвих відмінностей у кількості загальних та активних Т-лімфоцитів контрольної та дослідної груп не зафік-

Table 1. Effect of linseed oil on the content of Active T lymphocytes and Total T lymphocytes in the serum of sterlet, % (n=5)

Parameters	Active T lymphocytes (A-RFC)					Total T lymphocytes (E-RFC)				
	0	3-5	6-10	M	%	0	3-5	6-10	M	%
1,0 ml/L										
M	67.40	20.80	9.80	2.00*	32.60	71.20	18.20	7.60	3.00	28.80
σ	4.72	4.97	2.68	1.00	4.72	2.59	2.39	1.14	1.00	2.59
m	2.11	2.22	1.20	0.45	2.11	1.16	1.07	0.51	0.45	1.16
Cv, %	3.13	10.69	12.24	22.36	6.48	1.63	5.87	6.71	14.91	4.02
Control										
M	68.00	21.20	9.40	1.60	32.00	71.60	18.40	7.40	2.60	28.40
σ	3.16	1.92	1.14	0.55	3.16	2.30	1.52	0.89	0.55	2.30
m	1.41	0.86	0.51	0.24	1.41	1.03	0.68	0.40	0.24	1.03
Cv, %	2.08	4.06	5.42	15.31	4.42	1.44	3.69	5.41	9.42	3.63

Note. The * mark indicates the probability of a significant difference at $p < 0.05$ relative to the control group.



the antigen. At the same time, the number of mature functionally active medium-avid lymphocyte populations with a higher density of receptors, which are capable of forming from 6 to 10 rosettes with indicator cells, increased. Instead, the number of highly avid A-RUL (M) in the experimental group of fish was higher ($p < 0.05$) than in the control group. This indicates a higher functional activity of T-active rosette-forming lymphocytes. Indirectly, we can conclude that polyunsaturated fatty acids in linseed oil have a positive effect on the expression of membrane receptors in active T-lymphocytes, which increases the level of immune potential in fish in the experimental group.

Polyunsaturated fatty acids affect the density of lymphocyte surface receptor expression. It is this mechanism that may explain the increase in the proportion of high-avid T-active lymphocytes and the simultaneous decrease in the number of "null" cells found in our study. The increase in the number of cells with high receptor density indicates improved functional maturity of lymphocytes and an increase in their ability to interact with antigens.

Modern studies indicate that the immunomodulatory effect of linseed oil is largely associated with the high content of α -linolenic (ALA, 18:3n-3) and linoleic (LA, 18:2n-6) acids, which are structural components of the membranes of immunocompetent cells. In fish, ALA is a precursor of long-chain ω -3 polyunsaturated fatty acids – eicosapentaenoic acid (EPA, 20:5n-3) and docosahexaenoic acid (DHA, 22:6n-3), which are involved in the regulation of immune responses, lymphocyte proliferation and cytokine synthesis [16, 20].

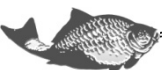
Analysis of the effect of experimental feeding on the subpopulation of T lymphocytes that are resistant to theophylline is presented in the table (Table 2).

совано.

Аналіз активних розеткоутворювальних Т-лімфоцитів (А-РУЛ) показав, що за дії лляної олії виявлено тенденцію до зменшення кількості клітин, на поверхні яких мало або взагалі відсутні рецептори, що не дозволяє їм контактувати з антигеном. Водночас, зростає кількість зрілих функціонально активних середньоавідних популяцій лімфоцитів з вищою щільністю рецепторів, які здатні утворювати від 6 до 10 розеток з індикаторними клітинами. Натомість, кількість високоавідних у функціональному сенсі А-РУЛ (М) у дослідній групі риб була вищою ($p < 0,05$), ніж у контрольній. Це свідчить про вищу функціональну активність Т-активних розеткоутворювальних лімфоцитів. Опосередковано можна робити висновки про позитивний вплив поліненасичених жирних кислот лляної олії на посилення експресії мембранних рецепторів у активних Т-лімфоцитів, що підвищує рівень імунного потенціалу у риб дослідної групи.

Поліненасичені жирні кислоти впливають на щільність експресії поверхневих рецепторів лімфоцитів. Саме цим механізмом може пояснюватися виявлене у нашому дослідженні збільшення частки високоавідних Т-активних лімфоцитів і одночасне зниження кількості «нульових» клітин. Зростання кількості клітин із високою рецепторною щільністю свідчить про покращення функціональної зрілості лімфоцитів та підвищення їх здатності до взаємодії з антигенами.

Сучасні дослідження свідчать, що імуномодулювальний вплив лляної олії значною мірою пов'язаний із високим вмістом α -ліноленової (ALA, 18:3n-3) та лінолевої (LA, 18:2n-6) кислот, які є структурними компонентами мембран імунокомпетентних клітин. У риб ALA є попередником довголанцюгових



T-helpers play an important role in regulating the immune response to foreign agents, activating other lymphocytes and stimulating B-lymphocytes to actively synthesize antibodies. Therefore, they enhance the defensive reactions of the surgeon body. As can be seen from Table 2, no significant differences were found between the analysed populations of rosette-forming T-helpers under the action of linseed oil, which was due to the lack of need to activate adaptive defense mechanisms. At the same time, an increase ($p < 0.05$) in the number of T-suppressors, which play a regulatory role in suppressing excessive immune responses, was detected in the blood of fish in the experimental group.

The immunoregulatory index (IRI) is most often used to assess the lymphocyte function of immunocompetent cells under normal or pathological conditions. It is defined as the ratio of T-helpers to T-suppressors. From the data in Table 2, we see that the IRI in the experimental group is 2.69, and in the control group – 3.97, which indicates a decrease in lymphocyte activity under the influence of linseed oil in the diet.

This situation may be caused by the ac-

ω-3 поліненасичених жирних кислот — ейкозапентаєнної (EPA, 20:5n-3) та докозагексаєнної (DHA, 22:6n-3), що беруть участь у регуляції імунних реакцій, проліферації лімфоцитів та синтезі цитокінів [16, 20].

Аналіз впливу експериментальної годівлі на субпопуляцію Т-лімфоцитів, які є стійкими до дії теофіліну, представлено в таблиці 2.

Т-хелпери відіграють важливу роль в регуляції імунної відповіді за дії чужорідних агентів, активуючи інші лімфоцити, та стимулюють В-лімфоцити до активного синтезу антитіл. Тому вони посилюють захисні реакції організму осетрів. Як бачимо з таблиці 2, за дії лляної олії не виявлено вірогідних суттєвих відмінностей між проаналізованими популяціями розеткоутворювальних Т-хелперів, що викликано відсутністю потреби задіювати механізми адаптивного захисту. Водночас, у крові риб дослідної групи виявлено збільшення ($p < 0,05$) кількості Т-супресорів, які відіграють регуляторну роль в пригніченні надмірної імунної реакції.

Імунорегуляторний індекс (IPI) у більшості випадків застосовується для

Table 2. The effect of linseed oil in the diet of juvenile sterlet on the content of theophylline-resistant lymphocytes and B-lymphocytes in the blood of sterlet fry, % (n=5)

Parameters	Theophylline-resistant E-RFC						B-RFC				
	T-helper cells					T-suppressor cells					
	0	3 – 5	6 – 10	M	%	%	0	3 – 5	6 – 10	M	%
1,0 ml/L											
M	79.00	14.80	5.60*	1.50	21.0*	7.80*	77.60	14.60	7.00	1.33	22.40
σ	2.35	1.92	1.52	0.71	2.35	0.84	3.51	1.52	2.00	0.58	3.51
m	1.05	0.86	0.68	0.50	1.05	0.37	1.57	0.68	0.89	0.33	1.57
Cv, %	1.33	5.81	12.11	33.33	4.99	4.80	2.02	4.65	12.78	25.00	7.00
Control											
M	77.80	14.40	7.40	1.00	23.00	5.80	77.80	14.20	7.80	1.00	22.20
σ	1.48	1.95	1.14	0.00	1.00	1.10	1.64	1.48	1.30	0.00	1.64
m	0.66	0.87	0.51	0.00	0.45	0.49	0.73	0.66	0.58	0.00	0.73
Cv, %	0.85	6.05	6.89	0.00	1.94	8.45	0.94	4.67	7.48	0.00	3.31

Note. * – the probability of the difference is significant at $p < 0.05$.



tion of α -linolenic acid, the use of which changes the ratio of regulatory and effector T lymphocytes, thereby limiting excessive inflammatory reactions and maintaining immune homeostasis [31].

Analysis of the B-lymphocyte component of humoral immunity showed no significant difference in cell subpopulations in the experimental and control groups of sterlet juveniles.

In general, the results of the studies showed that the use of linseed oil in an amount of 10.0 ml/kg did not cause significant changes in the total number of T-lymphocytes (total (E-RUL), active (A-RUL) and theophylline-resistant) and B-lymphocytes. Instead, its positive effect on the receptor apparatus of T-active blood lymphocytes was recorded, which indicated the regulatory effect of polyunsaturated fatty acids on the functional state of immunocompetent blood cells of juvenile sterlet.

Analysis of literature data showed that polyunsaturated fatty acids of plant origin, in particular α -linolenic (18:3n-3) and linoleic (18:2n-6), are able to influence not only energy metabolism, but also the functioning of the adaptive link of fish immunity. It has been established that the intake of α -linolenic acid with feed contributes to its inclusion in the phospholipids of lymphocyte cell membranes, changing their physicochemical properties, primarily membrane fluidity and the functional state of membrane receptors. Thus, the authors described the most likely effect, because it is α -linolenic acid that makes up to 55% of the entire linseed oil and exhibits proven properties on other organisms, including fish.

Of particular interest is the effect of polyunsaturated fatty acids on the receptor apparatus of immunocompetent cells. It has been established that the incorporation of α -linolenic acid and its metabolites into the lipid bilayer of membranes changes the organization of lipid rafts – specialized

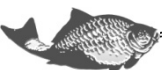
оцінки лімфоцитарної функції імуноткомпетентних клітин за норми чи патології; він визначається як відношення Т-хелперів до Т-супресорів. З даних таблиці 2 бачимо, що ІРІ у дослідній групі становить 2,69, а у контрольній групі — 3,97, що свідчить про зниження лімфоцитарної активності за дії лляної олії в раціоні.

Ця ситуація може викликатися дією α -ліноленової кислоти, застосування якої змінює співвідношення регуляторних та ефекторних Т-лімфоцитів, завдяки чому обмежується надмірна запальна реакція і підтримується імунний гомеостаз [31].

Аналіз В-лімфоцитарної ланки гуморального імунітету показав відсутність вірогідної різниці у субпопуляціях клітин у дослідній та контрольній групі молоді стерляді.

Загалом, результати проведених досліджень показали, що застосування лляної олії в кількості 10 мл/кг не спричиняє суттєвих змін у загальній кількості Т-лімфоцитів (загальних (Е-РУЛ), активних (А-РУЛ) та теофілін-резистентних) і В-лімфоцитів. Натомість, констатовано позитивний її вплив на рецепторний апарат Т-активних лімфоцитів крові, що свідчить про регуляторний вплив поліненасичених жирних кислот на функціональний стан імуноткомпетентних клітин крові молоді стерляді.

Аналіз даних літератури показав, що поліненасичені жирні кислоти рослинного походження, зокрема α -ліноленова (18:3n-3) та лінолева (18:2n-6), здатні впливати не лише на енергетичний обмін, але й на функціонування адаптивної ланки імунітету риб. Встановлено, що надходження α -ліноленової кислоти з кормом сприяє включенню її до складу фосфоліпідів клітинних мембран лімфоцитів, змінюючи їх фізико-хімічні властивості, насамперед плинність мембран та функціональний стан мемб-



membrane microdomains in which T-cell receptors (TCR), B-cell receptors (BCR), cytokine receptors and intracellular signaling molecules are localized. As a result, intercellular communication and antigen recognition efficiency are improved.

It has been proven that ω -3 polyunsaturated fatty acids are able to modulate the expression of pro-inflammatory and anti-inflammatory cytokine genes, in particular IL-1 β , IL-6, TNF- α , IFN- γ and TGF- β , ensuring the maintenance of a physiological balance between the activation of the immune response and the mechanisms of its limitation [32, 20]. In rainbow trout, the introduction of linseed oil into the diet was accompanied by increased cytokine gene expression, increased phagocytic activity, and activation of the body's natural resistance factors [20].

Linoleic acid (LA, 18:2n-6), which is also a component of linseed oil, participates in the synthesis of arachidonic acid and eicosanoids – prostaglandins, thromboxanes and leukotrienes, which perform a regulatory function in the processes of inflammation and adaptive immune response. The optimal ratio of ω -3 and ω -6 fatty acids ensures balanced functioning of T and B lymphocytes, maintains the stability of cell membranes, and preserves the ability of cells to adequately respond to antigenic load [21, 33].

Our results regarding the increase in the proportion of high-avidity T-active lymphocytes may indicate an improvement in the functional state of the receptor apparatus of these cells. It is known that the degree of rosette formation is directly related to the density and functional activity of lymphocyte surface receptors. Therefore, an increase in the number of high-avidity cells under the action of linseed oil may be a consequence of the structural reorganization of membranes and increased expression of receptor complexes that ensure the interaction of the cell with the antigen. The

ранних рецепторів. Таким чином, авторами описано найімовірніший вплив, тому що саме α -ліноленова кислота становить до 55% усієї лляної олії і виявляє перевірені властивості на інших організмах, в тому числі рибах.

Особливе зацікавлення становить вплив поліненасичених жирних кислот на рецепторний апарат імуокомпетентних клітин. Встановлено, що вбудовування α -ліноленової кислоти та її метаболітів у ліпідний бішар мембран змінює організацію ліпідних рафтів — спеціалізованих мембранних мікродомів, у яких локалізуються рецептори Т-клітин (TCR), В-клітин (BCR), рецептори цитокінів та молекули внутрішньоклітинної передачі сигналів. Унаслідок цього покращується міжклітинна комунікація та ефективність розпізнавання антигенів.

Доведено, що ω -3-поліненасичені жирні кислоти здатні модулювати експресію генів прозапальних та протизапальних цитокінів, зокрема IL-1 β , IL-6, TNF- α , IFN- γ та TGF- β , забезпечуючи підтримання фізіологічного балансу між активацією імунної відповіді та механізмами її обмеження [20, 32]. У райдужної форелі введення лляної олії до раціону супроводжувалося підвищенням експресії генів цитокінів, збільшенням фагоцитарної активності та активацією факторів природної резистентності організму [20].

Лінолева кислота (LA, 18:2n-6), яка також входить до складу лляної олії, бере участь у синтезі арахідонової кислоти та ейкозаноїдів — простагландинів, тромбоксанів і лейкотрієнів, які виконують регуляторну функцію в процесах запалення та адаптивної імунної відповіді. За оптимального співвідношення ω -3- та ω -6-жирних кислот забезпечується збалансоване функціонування Т- та В-лімфоцитів, підтримується стабільність клітинних мембран та збе-



decrease in IRI in the study group, caused by a decrease in the number of T-helpers, indicates that the use of linseed oil in feeding animals juveniles has a moderate immunoregulatory effect. This may be the result of the metabolism of α -linolenic fatty acid, which is able to inhibit the production of anti-inflammatory mediators and enhance regulatory mechanisms.

CONCLUSION AND PERSPECTIVES OF FURTHER DEVELOPMENT

The use of linseed oil to enrich the feed organisms *Artemia salina* had a positive effect on the growth and survival of sterlet juveniles. The maximum effect was established at a drug concentration of 1.0 ml/L, at which the average weight of fish exceeded the control by 27.7%, and survival by 76.2%.

The introduction of linseed oil into the diet did not cause significant changes in the total number of T and B lymphocytes in the blood, which indicates the absence of excessive activation of the adaptive immune system and the preservation of immune homeostasis.

Under the influence of linseed oil, there

рігається здатність клітин до адекватної відповіді на антигенне навантаження [21, 33].

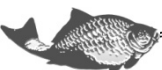
Отримані нами результати щодо збільшення частки високоавідних Т-активних лімфоцитів можуть свідчити про покращення функціонального стану рецепторного апарату цих клітин. Відомо, що ступінь розеткоутворення безпосередньо пов'язаний із щільністю та функціональною активністю поверхневих рецепторів лімфоцитів. Тому збільшення кількості високоавідних клітин за дії лляної олії може бути наслідком структурної перебудови мембран та підвищення експресії рецепторних комплексів, що забезпечують взаємодію клітини з антигеном. Зниження ІРІ у дослідній групі, викликане зменшенням кількості Т-хелперів, свідчить про те, що застосування лляної олії в годівлі молоді має помірний імунорегуляторний вплив. Це може бути результатом метаболізму α -ліноленової жирної кислоти, яка здатна інгібувати продукцію протизапальних медіаторів та посилювати регуляторні механізми.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО РОЗВИТКУ

Застосування лляної олії для збагачення кормових організмів *Artemia salina* позитивно впливає на ріст і виживаність молоді стерляді. Максимальний ефект встановлено за концентрації препарату на рівні 1,0 мл/л, за якого середня маса риб перевищувала контроль на 27,7%, а виживаність — на 76,2%.

Введення лляної олії до раціону не спричиняє суттєвих змін загальної кількості Т- та В-лімфоцитів крові, що свідчить про відсутність надмірної активації адаптивної імунної системи та збереження імунного гомеостазу.

Під впливом лляної олії відзначається тенденція до зростання частки функціонально активних високоавідних



is a tendency to increase the proportion of functionally active high-avidity T-lymphocytes and decrease the number of cells with low receptor activity, which indicates an improvement in the functional state of the receptor apparatus of immunocompetent cells.

The immunomodulatory effect of linseed oil is probably associated with the high content of α -linolenic and linoleic acids, which are involved in the formation of the phospholipid composition of lymphocyte membranes, the regulation of lipid raft organization, the expression of membrane receptors, and intracellular signal transduction.

The use of linseed oil in feeding sturgeon juveniles is a promising approach to increasing their resistance, viability, and efficiency of cultivation in intensive aquaculture conditions.

CONFLICT OF INTEREST

The authors confirm that there are no conflicts of interest in the materials and preparation of this research.

SOURCES OF FUNDING

The work was carried out thanks to the financial support of the National Academy of Agrarian Sciences for fundamental work in ichthyology and aquaculture, in particular the topic: "Development of biotechnological methods for increasing the viability of sturgeons in early ontogenesis".

Т-лімфоцитів та зменшення кількості клітин із низькою рецепторною активністю, що свідчить про покращення функціонального стану рецепторного апарату імунокомпетентних клітин.

Імуномодульовальна дія лляної олії, ймовірно, пов'язана з високим вмістом α -ліноленової та лінолевої кислот, які беруть участь у формуванні фосфоліпідного складу мембран лімфоцитів, регуляції організації ліпідних рафтів, експресії мембранних рецепторів та внутрішньоклітинної передачі сигналів.

Використання лляної олії у годівлі молоді осетрових риб є перспективним підходом до підвищення їх опірності, життєстійкості та ефективності вирощування в умовах інтенсивної аквакультури.

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ

Автори підтверджують відсутність конфліктів інтересів у матеріалах та підготованні даної статті.

ДЖЕРЕЛА ФІНАНСУВАННЯ

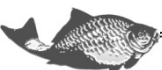
Робота виконана завдяки фінансовій підтримці Національної академії аграрних наук щодо фундаментальних робіт в іхтіології та рибництві, зокрема теми «Розроблення біотехнологічних методів підвищення життєстійкості осетрових риб у ранньому онтогенезі».

REFERENCES

1. Korniienko, V. O. (2004). Optimization of the main technological parameters when growing larvae of Russian sturgeon. *Candidate's thesis*. Kyiv. (in Ukrainian).
2. Hoseinifar, S. H., Mirvaghefi, A., & Merrifield, D. L. (2011). The effects of dietary inactive brewer's yeast *Saccharomyces cerevisiae* var. *ellipsoideus* on the growth, physiological responses and gut microbiota of juvenile beluga (*Huso huso*). *Aquaculture*, 318(1–2), 90–94.
3. Simon, M., Zabytivskyi, Yu., & Hrytsyniak, I. (2018). Influence of inactivated baker's yeast on growth potential of Russian sturgeon *Acipenser gueldenstaedtii* (Brandt) fingerling. *Fisheries Science of Ukraine*, 3, 103–111. <https://doi.org/10.15407/fsu2018.03.103>
4. Hoseinifar, S. H., Ringoe, E., Masouleh, A., & Esteban, M. (2014). Probiotic, prebiotic



- ic and synbiotic supplements in sturgeon aquaculture: a review. *Reviews in Aquaculture*, 6, 1–14.
5. Kamaszewski, M., Ostaszewska, T., Prusinska, M., Kolman, R., Chojanacki, M., Zabytivskij, J., Jankowska, B., & Kasprzak, R. (2014). Effects of *Artemia* sp. with Essential Fatty Acids on Functional and Morphological Aspects of the Digestive System in *Acipenser gueldenstaedtii* Larvae. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 14, 929–938. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v14_4_12
6. Matvienko, N., Montvydiene, D., & Zabytivskiy, Yu. (2023). Use of Levamisole for growing of the juvenile sturgeons. *Proceedings of Aquaculture Europe 2023 Conference: Balanced Diversity in Aquaculture Development*, 18–21 September 2023, Vienna, Austria, 886–887.
7. Höhne, C., Prokopov, D., Kuhl, H., Du, K., Klopp, C., Wuertz, S., Trifonov, V., & Stöck, M. (2021). The immune system of sturgeon and paddlefish (*Acipenseriformes*): a review with new data from a chromosome-scale sturgeon genome. *Review in Aquaculture*, 13, 1709–1729. <https://doi.org/10.1111/raq.12542>
8. Zabytivskiy, Yu., Koryliak, M., Bobeliak, L., & Kachai, H. (2025). Effect of shiitake (*Lentinula edodes*) mushroom extract on the growth and resistance of the Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii* Brandt, 1856) juveniles. *Fisheries Science of Ukraine*, 2(72), 173–191. <https://doi.org/10.61976/fsu2025.02.173>
9. Jarmolowicz, S., Prusinska, M., Wiszniewski, G., Schilz, P., Kamaszewski, M., Szudrowicz, H., Wiechetek, W., Kawalski, K., Duda, A., Sikorska, J., & Kapusta, A. (2024). Effect of selenomethionine on the growth, oxidative potential, digestive enzyme activity, and immune status of juvenile sterlet (*Acipenser ruthenus*). *Fisheries & Aquatic life*, 32(2), 89–101. <https://doi.org/10.2478/aopf-2024-0008>
10. Liu, G., Zhu, L., Wu, Y., Wang, C., Wang, Y., Zheng, Q., Tian, M., Wang, H., & Chen, Y.-H. (2023). Herbal active small molecule as an immunomodulator for potential application on resistance of common carp against SVCV infection. *Fish and Shellfish Immunology*, 137, 108782. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2023.108782>
11. Zabytivskiy, Y., Koryliak, M., Bernakevych, O., Vishchur, O., Solovodzinska, I., Symon, M., Momut, V., & Savchuk, L. (2025). The effect of Sviteco PWC probiotic product on growth, physiological and biochemical status and nonspecific resistance of sturgeon fish juveniles. *AACL Bioflux*, 18(1), 466–476. [bioflux.com.ro](https://doi.org/10.1016/j.aabl.2025.466-476) Retrieved from: <https://bioflux.com.ro/docs/2025.466-476.pdf>
12. Tocher, D. (2010). Fatty acid requirements in ontogeny of marine and freshwater fish. *Aquaculture Research*, 41(5), 717–732.
13. Turchini, G. M., Torstensen, B. E., & Ng, W.-K. (2009). Fish oil replacement in finfish nutrition. *Review in Aquaculture*, 1, 10–57. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2008.01001.x>
14. Cleveland, B. J., Francis, D. S., & Turchini, G. M. (2012). Echium oil provides no benefit over linseed oil for (n-3) long-chain PUFA biosynthesis in rainbow trout. *The Journal of Nutrition*, 142(8), 1449–1455. <https://doi.org/10.3945/jn.112.161497>
15. Wang, X., Li, Q., Wang, J., Li, E., Qin, J. G., & Chen, L. (2018). Effect of dietary alpha-linolenic acids on growth performance, lipid metabolism and antioxidant responses of juvenile Russian sturgeon *Acipenser gueldenstaedtii*. *Aquaculture Nutrition*, 25(1), 184–193. <https://doi.org/10.1111/anu.12842>
16. Yoon, G. R., Amjad, H., Weinrauch, A. M., Laluk, A., Suh, M., & Anderson, W. G. (2022). Long-term effects of EPA and DHA enriched diets on digestive enzyme activity, aerobic scope, growth and survival in age-0 Lake Sturgeon (*Acipenser fulvescens*). *Aquaculture*, 552, 737972. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.737972>
17. Liu, C., Wang, J., Ma, Z., Li, T., Xing, W., Jiang, N., Li, W., Li, C., & Luo, L. (2017). Effects of totally replacing dietary fish oil by linseed oil or soybean oil on



- juvenile hybrid sturgeon, *Acipenser baeri* Brandt $\times$ *A. schrenckii* Brandt. *Aquaculture Nutrition*, 24(1), 184–194. <https://doi.org/10.1111/anu.12546>
18. Rosas, V. T., Monserrat, J. M., Bessonat, M., Magnone, L., Romano, L. A., & Tesser, M. B. (2019). Fish oil and meal replacement in mullet (*Mugil liza*) diet with Spirulina (*Arthrospira platensis*) and linseed oil. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part C: Toxicology & Pharmacology*, 218, 46–54. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2018.12.009>
 19. Ghiasi, S., Falahatkar, B., & Sajjadi, M. (2023). Effect of dietary flaxseed meal on growth, blood biochemistry, reproductive hormones and oocyte development in pre-vitellogenic Siberian sturgeon (*Acipenser baerii* Brandt, 1869). *Animal Feed Science and Technology*, 295, 115546. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115546>
 20. Salem, M. O. A., Taştan, Y., Bilen, S., Terzi, E., Sönmez, A. Y. (2023). Dietary flaxseed (*Linum usitatissimum*) oil supplementation affects growth, oxidative stress, immune response and diseases resistance in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fish & Shellfish Immunology*, 138, 108798. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2023.108798>
 21. Yan, X., Dong, X., Tan, B., Zhang, S., Chi, S., Yang, Q., Liu, H., & Yang, Y. (2020). Influence of different oil sources on growth, disease resistance, immune response and immune-related gene expression on the hybrid grouper (♀ *Epinephelus fuscoguttatus* $\times$ ♂ *E. lanceolatus*), to *Vibrio parahaemolyticus* challenge. *Fish and Shellfish Immunology*, 99, 310–321. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.02.025>
 22. Horalskyi, L. P. (2005). *Fundamentals of histological techniques and morpho-functional methods of studies in norm and pathology*. Zhytomyr: Polissia (in Ukrainian).
 23. Vlizlo, V. V., Fedoruk, R. S., Ratych, I. B., Vishchur, O. I., & Sharan, M. M., et al. (2012). *Laboratory research methods in biology, animal husbandry and veterinary medicine: Handbook*. Lviv: SPOLOM.
 24. Kaminskyi, V. F., & Buslaieva, N. H. (2011). *Basics of applied mathematical analysis in agricultural research. Guidelines*. Kyiv. (in Ukrainian).
 25. Zabytivskyi, Yu., Yurchak, S., Bobyliak, L., & Hevkan, I. (2014). Effect of a liposomal preparation of vitamins A, E and organic compounds of trace elements of Zn, Se, I on the physiological state of brood carp (*Cyprinus carpio*) during prespawning period. *Fisheries Science of Ukraine*, 4, 86–94. (in Ukrainian). <https://doi.org/10.15407/fsu2014.04.086>
 26. Romanovych, L. V., Kurtyak, B. M., & Vishchur, O. I. (2020). Influence of vitamins E and C on the quantity and functional activity of τ -1 β -lymphocytes of blood-chicken broilers. *Ukrainian Journal of Veterinary Sciences*, 11(1), 59–69. (in Ukrainian). <https://doi.org/10.31548/ujvs2020.01.007>
 27. Hafezieh, M., Kamarudin, M. S., Salleh, M., & Agh, N. (2009). Effect of enriched *Artemia urmiana* on growth, survival and composition of larval Persian sturgeon. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 9, 201–208. <https://doi.org/10.4194/trjfas.2009.0212>
 28. Kamaszewski, M., Wojcik, M., Ostaszewska, T., Kasprzak, R., Kolman, R., & Prusińska, M. (2014). The effect of essential fatty acid (EFA) enrichment of *Artemia* sp. nauplii on the enzymatic activity of Atlantic sturgeon (*Acipenser oxyrinchus* Mitchell, 1815) larvae—preliminary study. *Journal of Applied Ichthyology*, 30(6), 1256–1258. <https://doi.org/10.1111/jai.12561>
 29. Jalali, M. A., Hosseini, S. A., & Imanpour, M. R. (2008) Effect of vitamin E and highly unsaturated fatty acid-enriched *Artemia urmiana* on growth performance, survival and stress resistance of Beluga (*Huso huso*) larvae. *Aquaculture Research*, 39, 1286–1291. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.01992.x>
 30. Soyland, E., Nenseter, M. S., Braathen, L., & Dreven, C. A. (1993). Very long chain n-3 and n6 polyunsaturated fatty acids inhibit proliferation of human T-lym-



- phocytes *in vitro*. *European Journal of Clinical Investigation*, 23(2), 112–121. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2362.1993.tb00750.x>
31. Collison, L. W., Collison, R. E., Murphy, E. J., & Jolly, C. A. (2005). Dietary n-3 polyunsaturated fatty acids increase T-lymphocyte phospholipid mass and acyl-CoA binding protein expression. *Lipids*, 40(1), 81–87. <https://doi.org/10.1007/s11745-005-1362-8>
32. Cao, J., Xu, H., Yu, Y., & Xu, Z. (2023). Regulatory roles of cytokines in T and B lymphocytes-mediated immunity in teleost fish. *Developmental and Comparative Immunology*, 144, 104621. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2022.104621>
33. Patted, P., Masareddy, R., Patil, A., Kanabargi, R., & Bhat, C. T. (2024). Omega-3 fatty acids: a comprehensive scientific review of their sources, functions and health benefits. *Future Journal of Pharmaceutical Sciences*, 10, 94. <https://doi.org/10.1186/s43094-024-00667-5>

