Ribogospod. nauka Ukr., 2025; 2(72): 173-191
DOI: https://doi.org/10.61976/fsu2025.02.173
UDC 639.371.52:597.42:591.3

Received: 04.04.2025
Received in revised form: 25.05.2025
Accepted: 11.06.2025

# EFFECT OF SHIITAKE (*LENTINULA EDODES*) MUSHROOM EXTRACT ON THE GROWTH AND RESISTANCE OF THE RUSSIAN STURGEON (*ACIPENSER GUELDENSTAEDTII* BRANDT, 1856) JUVENILES

**Yu. Zabytivskyi**, 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
**M. Koryliak**, stasiv8@gmail.com, ORCID ID 0000-0001-8235-5400, Lviv Research Station of the Institute of Fisheries of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Velykyj Lubin
**L. Bobeliak**, lesabobelak2@gmail.com, ORCID ID 0009-0002-8173-6978, Lviv Research Station of the Institute of Fisheries of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Velykyj Lubin
**H. Kachai**, galakacaj@gmail.com, ORCID ID 0009-0000-8562-9665, Lviv Research Station of the Institute of Fisheries of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Velykyj Lubin

***Purpose.*** *The aim of this study was to assess the effect of a preparation of shiitake (Lentinula edodes) mushroom on the early stages of development of Russian sturgeon in terms of growth rate, survival and activity of enzymes that play an important role in the development of the overall resistance.*

***Methodology.*** *The object of the study was Russian sturgeon (Acipenser gueldenstaedtii Brandt, 1856) juveniles, which were grown for 28 days in tanks at a stocking density of 800 ind./m$^2$. Enrichment of nauplii for feeding two experimental groups was carried out at the rate of 5 mg/g and 35 mg/g, respectively. For the control group – no enrichment was done. The daily growth rate and cumulative survival rate of sturgeons were*

# ВПЛИВ ЕКСТРАКТУ ГРИБА ШИЇТАКЕ (*LENTINULA EDODES*) НА РІСТ ТА ОПІРНІСТЬ ОРГАНІЗМУ МОЛОДІ РУСЬКОГО ОСЕТРА (*ACIPENSER GUELDENSTAEDTII* BRANDT, 1856)

**Ю. М. Забитівський,** yurafish@ukr.net, ORCID ID 0000-0001-8300-0177, Інститут екології Карпат НАН України, м. Львів
**М. З. Кориляк,** stasiv8@gmail.com, ORCID ID 0000-0001-8235-5400, Львівська дослідна станція Інституту рибного господарства Національної академії аграрних наук України, смт Великий Любінь
**Л. Й. Бобеляк,** lesabobelak2@gmail.com, ORCID ID 0009-0002-8173-6978, Львівська дослідна станція Інституту рибного господарства Національної академії аграрних наук України, смт Великий Любінь
**Г. В. Качай,** galakacaj@gmail.com, ORCID ID 0009-0000-8562-9665, Львівська дослідна станція Інституту рибного господарства Національної академії аграрних наук України, смт Великий Любінь

***Мета.*** *Оцінити вплив препарату з гриба шиїтаке (Lentinula edodes) на ранні етапи розвитку руського осетра за швидкістю росту, виживаністю та активністю ензимів, які відіграють важливу роль у формуванні загальної опірності організму.*

***Методика.*** *Об'єктом дослідження була молодь руського осетра (Acipenser gueldenstaedtii Brandt, 1856), яка вирощувалася 28 діб у басейнах зі щільністю 800 екз./м$^2$.*

*Збагачення науплій для годівлі особин двох дослідних груп здійснювалось із розрахунку 5 та 35 мг/г відповідно. Для контрольної групи збагачення не проводилось. Вивчали добовий темп росту та кумулятивну виживаність осетрів. Активність ензимів визна-*

*studied. Enzyme activity was determined in the supernatant of intestinal homogenate. α-Amylase activity was determined by the Caraway method. Alanine aminotransferase activity was determined by the Reitman-Frenkel method. Alkaline phosphatase activity was determined by reaction with phenylphosphate. Numerical material was processed using variational statistics methods using MS Excel and Statistica 12.0.*

***Findings.*** *The use of a Lentinula edodes preparation led to an increase in the average body weight of Russian sturgeon at the end of the experiment by 27.4%. In the last week of the experiment, the growth rate in the first and second experimental groups was 1.5 and 1.6 times higher than the control, respectively. Cumulative survival rate over 28 days of the experiment was 31.7%, 47.3%, and 85.0% in the control, first, and second experimental groups, respectively. After 28 days of the experiment, alkaline phosphatase (ALP) activity in intestinal tissues was higher in both experimental groups by 2.13 and 4.53 times, respectively ($p < 0.05$). Probable changes in alanine aminotransferase (ALT) activity were observed in the first and fourth weeks of the experiment. Transamination activity in experimental groups No. 1 and No. 2 was 16.5% and 36.5% higher, respectively, compared to the control group. After 28 days, an increase in the activity of hydrolytic processes was observed in both experimental groups, exceeding the values in the control group by 2.6 times and 9.6 times, respectively. These values coincide with the processes of active growth of the sturgeon body. As a result of using the shiitake preparation for 28 days, homeostasis maintenance becomes more stable due to replenishment of the energy pool of sugars, as well as activation of transferases, which increases the body's stress resistance.*

***Originality.*** *For the first time, the impact of shiitake mushroom on growth rates, survival, and activity of enzymes – transferases and hydrolases, which play an important role in the formation of the overall resistance of the Russian sturgeon body in the early stages of its development was assessed.*

***Practical Value.*** *The results obtained contribute to the improvement of the technology of growing sturgeon fish juveniles. The use of this data will allow increasing the productivity of cultivation and obtain high-quality, healthy sturgeon stock.*

***Keywords:*** *shiitake, sturgeon, RAS, cultivation productivity, resistance, transferases.*

*чали в супернатанті гомогенату кишечника. Активність α-амілази виявляли методом Каравея, аланінамінотрансферази — методом Райтмана-Френкеля. Активність лужної фосфатази досліджували за реакцією з фенілфосфатом. Цифровий матеріал опрацьовували методами варіаційної статистики з використанням програм «MS Excel» та «Statistica 12.0».*

***Результати.*** *Застосування препарату з гриба Lentinula edodes привело до збільшення середньої маси тіла руського осетра в кінці експерименту на 27,4%. В останній тиждень досліду темп росту у першій та другій дослідних групах був вищим відносно контролю в 1,5 і в 1,6 раза відповідно. Кумулятивне виживання протягом 28 діб експерименту становило у контрольній, першій та другій дослідних групах 31,7; 47,3 та 85,0% відповідно. Після 28 діб експерименту активність лужної фосфатази (ALP) у тканинах кишечника була вищою в обох дослідних групах у 2,13 та 4,53 раза відповідно ($p < 0,05$). Вірогідні зміни в активності аланінамінотрансферази (ALT) помітно в перший та четвертий тиждень досліду. Активність трансамінування в дослідних групах № 1 та № 2 виявилася вищою на 16,5 та 36,5% відносно контрольної групи. Після 28 діб спостерігалося зростання показників активності гідролітичних процесів у обох дослідних групах, що перевищують значення в контрольній групі у 2,6 та у 9,6 раза відповідно. Ці показники відповідають процесам активного росту організму осетра. В результаті застосування препарату з гриба шиїтаке протягом 28 діб підтримання гомеостазу стає стабільнішим за рахунок поповнення енергетичного пулу цукрів, а також активізації трансфераз, що підвищує стресостійкість організму.*

***Наукова новизна.*** *Вперше проведено оцінку впливу гриба шиїтаке (Lentinula edodes) на показники росту, виживаність та активність ензимів — трансфераз та гідролаз, які відіграють важливу роль у формуванні загальної опірності організму руського осетра на ранніх етапах його розвитку.*

***Практична значимість.*** *Отримані результати сприяють удосконаленню технології вирощування молоді осетрових риб. Застосування цих даних дозволить підвищити продуктивність вирощування та отримати якісний, здоровий зарибок осетрових риб.*

***Ключові слова:*** *шиїтаке, осетри, РАС, продуктивність вирощування, опірність, трансферази.*

## PROBLEM STATEMENT AND ANALYSIS OF LAST ACHIEVEMENTS AND PUBLICATIONS

Growing sturgeon juvenile using modern technological approaches is accompanied by stress, which negatively affects the overall physical condition, which is accompanied by a number of diseases and increased mortality [1–4]. Among the main stress factors are high stocking densities, the use of feeds with components that are not traditional for sturgeons, numerous manipulations during the growing process, etc. In this regard, constant scientific efforts are aimed at finding ways to strengthen the homeostasis of the sturgeon juveniles and increase their innate resistance potential [5, 6].

The use of biologically active preparations especially, at an early age, promotes the growth of the body and increases the viability of sturgeons juveniles due to the normalization of metabolic processes [7, 8]. In order to strengthen the nonspecific immunity of fish, β-glucans, which are part of the cell walls of some plants, bacteria, algae, yeasts and higher fungi, are used in aquaculture [9, 10]. Due to their wide spectrum of biological activity, β-glucans of higher fungi are the most versatile metabolites and are considered as stimulators of cellular immunity and anti-stress drugs [11]. Among the latter, the immunomodulatory and antitumor functions of lentinan, D-fraction and schizophyllin, which are obtained from the mushrooms *Lentinula edodes, Grifola fromdosa* and *Schizophyllum commune*, respectively, have been confirmed [12, 13]. Polysaccharides extracted from the fruit bodies of the mushroom *Paxillus involutus* exhibit significant antioxidant activity against hydroxyl and superoxide radicals, enhance the release of tumor necrosis factor TNF-α and interleukin IL-6 in immunocompetent cells [14]. The use of β-glucans in intensive feeding

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ ТА АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Вирощування молоді осетрових риб із застосуванням сучасних технологічних підходів супроводжується стресом, який негативно позначається на загальному фізичному стані організму, що супроводжується низкою хвороб та підвищеною смертністю [1–4]. Серед головних чинників стресу є високі щільності посадки, застосування кормів із нетрадиційними для осетрів компонентами, численні маніпуляції в процесі вирощування тощо. У зв'язку з цим, постійні наукові зусилля спрямовані на пошук шляхів підтримання гомеостазу організму молоді осетра та підвищення його вродженого опірного потенціалу [5, 6].

Встановлено, що застосування, особливо в ранньому віці, біологічно-активних препаратів сприяє росту організму та підвищує життєстійкість молоді осетрових риб завдяки нормалізації обмінних процесів [7, 8]. З метою посилення неспецифічної ланки імунітету риб в аквакультурі застосовуються β-глюкани, що входять до складу клітинних стінок деяких рослин, бактерій, водоростей, дріжджів та вищих грибів [9, 10]. Завдяки широкому спектру біологічної активності β-глюкани вищих грибів є найуніверсальнішими метаболітами і розглядаються як стимулятори клітинного імунітету та антистресові препарати [11]. Серед останніх підтверджені імуномодулювальні та протипухлинні функції лентинану, Д-фракції та шизофіліну, які отримують з грибів *Lentinula edodes, Grifola fromdosa* та *Schizophyllum commune* відповідно [12, 13]. Полісахариди, екстраговані з плодових тіл гриба *Paxillus involutus,* виявляють значну антиоксидантну активність проти гідроксильних та супероксидних радикалів, посилюють вивільнення фактора некрозу пухлин

of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758) showed positive results in strengthening nonspecific resistance [15]. The use of lentinan as a feed additive for taimen (*Hucho taimen* Pallas, 1773) allowed significantly increasing the antioxidant and anti-inflammatory response of the intestine by activating key enzymes – superoxide dismutase, catalase, glutathione peroxidase, as well as stimulating its innate immune system [16].

Studies in this area have great potential for expansion, as it underpins preventive measures and has an economic rationale.

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

Despite numerous studies of the effects of polysaccharides and other macromolecules on the state of the fish grown in intensive aquaculture conditions, there are few works related to the use of extract from the fruit bodies of the shiitake mushroom (*Lentinula edodes*). A number of properties of the latter are interesting given the importance of studying the mechanisms and principles of activating growth processes and increasing nonspecific resistance of sturgeons. Such scientific developments are especially relevant during the early ontogenesis of these fish, when their body is under stress as a result of metamorphic changes during maturation.

The aim of this work was to evaluate the effect of a preparation of the shiitake mushroom on the growth parameters of Russian sturgeon juvenile's survival and activity of enzymes that play an important role in the development of the general resistance of the Russian sturgeon in the early stages of development.

TNF-α та інтерлейкіну IL-6 в імунокомпетентних клітинах [14]. Застосування β-глюканів в інтенсивній годівлі нільської тиляпії (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758) показало позитивні результати в напрямку зміцнення неспецифічної резистентності [15]. Використання лентинану як добавки до корму тайменя (*Hucho taimen* Pallas, 1773) дозволило помітно збільшити антиоксидантну та протизапальну відповіді кишечника шляхом активації ключових ензимів — супероксиддисмутази, каталази, глутатіонпероксидази, а також стимулювати його вроджену імунну систему [16].

Дослідження у цьому напрямку мають великий потенціал для розширення, оскільки лежать в основі профілактичних заходів і мають економічне підґрунтя.

## ВИДІЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ. МЕТА РОБОТИ

Попри численні дослідження впливу полісахаридів та інших макромолекул на стан організму риб, які вирощуються в умовах інтенсивної аквакультури, існує небагато робіт, пов'язаних із застосуванням екстракту з плодових тіл гриба шиїтаке (*Lentinula edodes*). Низка властивостей останнього є цікавою з огляду на важливість вивчення механізмів та принципів активізації ростових процесів та підвищення неспецифічної резистентності осетрів. Особливо актуальними є такі наукові розробки в період раннього онтогенезу цих риб, коли їхній організм зазнає стресу в результаті метаморфозних змін в процесі дозрівання.

Метою цієї роботи була оцінка впливу препарату з гриба шиїтаке на показники росту молоді руського осетра, виживаність та активність ензимів, які відіграють важливу роль у формуванні загальної опірності організму руського осетра на ранніх етапах розвитку.

## MATERIALS AND METHODS

The object of the study was Russian sturgeon juveniles (*Acipenser gueldenstaedtii* Brandt, 1856), which were obtained from fertilized eggs in the recirculating aquaculture system (RAS) of the Lviv Research Station of the Institute of Fisheries of the NAAS. Three groups of pre-larval fish were formed, 1000 individuals each, which were stocked for cultivation in separate tanks with a stocking density of 800 ind./m$^2$.

The subject of the study were the productive and biochemical parameters of the Russian sturgeon juveniles grown in a RAS with the addition of dried fruit bodies of shiitake mushrooms to the diet. The latter contain a number of biologically active substances, the key among which is the polysaccharide lentinan, which makes up about 30% of the total weight of the fruit body.

For cultivation, exclusively live food was used – brine shrimp (*Artemia salina*) nauplii, which were in the first and second stages of development. Feeding was done six times a day. Live feed enrichment was carried out using the same method used to create concentrate and enrich rotifers and nauplii, with our modification [17, 18]. Pre-dried and crushed fruit bodies of shiitake mushroom (*Lentinula edodes*) were ground to a flour-like state and added to the enrichment solution. Prey organisms for the first experimental group were cultivated in a solution prepared at the rate of 5 mg of dry mushroom preparation per 1 g of artemia (experiment 1). For experimental group No. 2 (experiment 2), an enrichment substrate was prepared similarly at the rate of 35 mg of the preparation per 1 g of Artemia nauplii. The control group (control) consumed Artemia nauplii that were cultured without the addition of the test preparation. The duration of enrichment was 6 hours at a temperature of 7.0±1.0°C. The experiment was conducted for 28 days. The temperature regime was maintained

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Об'єктом дослідження була молодь руського осетра (*Acipenser gueldenstaedtii* Brandt, 1856), яку отримали із запліднених ікри в рециркуляційній аквакультурній системі (РАС) Львівської дослідної станції ІРГ НААН. Було сформовано три групи з передличинок риб (по 1000 екз. в кожній), посаджених на вирощування у окремі басейни зі щільністю 800 екз./м$^2$.

Предметом для досліджень стали рибницькі та біохімічні показники організму молоді руського осетра, яку вирощували в РАС із додаванням до раціону висушених плодових тіл гриба шиїтаке. Останні містять низку біологічно активних речовин, ключовою серед яких є полісахарид лентинан, який становить близько 30% загальної маси плодового тіла.

Для вирощування застосовували виключно живий корм — науплії артемії (*Artemia salina*), які знаходилися на першій та другій стадіях розвитку. Годівлю здійснювали шість разів на добу. Збагачення живих кормів відбувалося за методикою, що застосовувалася для створення концентрату і збагачення коловерток та науплій, з нашою модифікацією [17, 18]. Попередньо висушені і подрібнені плодові тіла гриба шиїтаке перетирали до борошноподібного стану і вводили до розчину для збагачення. Кормові організми для першої дослідної групи культивували в розчині, який готували з розрахунку 5 мг сухого препарату гриба на 1 г артемії (дослід 1). Для дослідної групи № 2 (дослід 2) аналогічно готували збагачувальний субстрат з розрахунку 35 мг препарату на 1 г науплій артемії. Контрольна група (контроль) споживала науплії артемії, яких культивували без додавання дослідного препарату. Тривалість збагачення становила 6 год при температурі 7,0±1,0°C. Експеримент тривав 28 діб.

at 17.0±1.5°C. The hydrochemical regime met the necessary requirements for growing sturgeons.

During cultivation, productive parameters such as daily growth rate and survival were studied. They were calculated using the formulas below:

$$SGR = \frac{LnW_t - LnW_o}{t} \times 100,$$

where SGR – growth rate (%/day),$W_t$ – final weight (g); $W_0$ – initial weight (g); t – period of time (day).

$$SR = \frac{N_t}{N_0} \times 100,$$

where SR – survival rate (%), $N_t$ – final number of fish (specimens); $N_0$ – initial number of fish.

After the intestines of larvae and fry were collected, the samples were frozen in liquid nitrogen. After defrosting, the tissue was homogenized in Ringer's solution for cold-blooded animals and centrifuged at 10g for 15 min. Enzyme activity was determined in the homogenate supernatant. α-Amylase activity was determined by the Caraway method [19]. Alanine aminotransferase activity was determined by the Reitman-Frenkel method [20]. Alkaline phosphatase activity was determined by reaction with phenylphosphate [21].

Numerical material was processed using variational statistics methods using MS Excel and Statistica 12.0. The probability of differences in results was determined using one-way analysis of variance (ANOVA) using Tukey's test. The normality of the data distribution was determined using the Kolmogorov-Smirnov and Shapiro-Wilk criteria.

## STUDY RESULTS AND THEIR DISCUSSION

The results of the growth dynamics of the average weight of sturgeon juveniles under the action of the shiitake mushroom preparation are presented in Figure 1.

During three weeks of exogenous

Температурний режим підтримували на рівні 17,0±1,5°C. Гідрохімічний режим відповідав необхідним вимогам для вирощування осетрових риб.

Протягом вирощування вивчали такі рибницькі показники, як добовий темп росту та виживаність. Їх вираховували за формулами, наведеними нижче:

$$SGR = \frac{LnW_t - LnW_o}{t} \times 100,$$

де SGR — темп росту (%/добу), $W_t$ — кінцева маса (г); $W_0$ — початкова маса (г); t — період часу (діб).

$$SR = \frac{N_t}{N_0} \times 100,$$

де SR — виживаність (%), $N_t$ — кінцева кількість риб (екз.); $N_0$ — початкова кількість риб (екз.).

Після відбору кишечників личинок та мальків, проби підлягали замороженню в рідкому азоті. Після дефростації тканину гомогенізували в розчині Рінгера для холоднокровних та центрифугували зі швидкістю 10g протягом 15 хв. Активність ензимів визначали в супернатанті гомогенату. Активність α-амілази виявляли методом Каравея [19], аланінамінотрансферази — методом Райтмана-Френкеля [20]. Активність лужної фосфатази досліджували за реакцією з фенілфосфатом [21].

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. Нормальність розподілу даних визначали за допомогою критеріїв Колмогорова-Смірнова та Шапіро-Уілка.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Результати динаміки росту середньої маси молоді осетра за дії препарату з гриба шиїтаке представлено на рисунку 1.

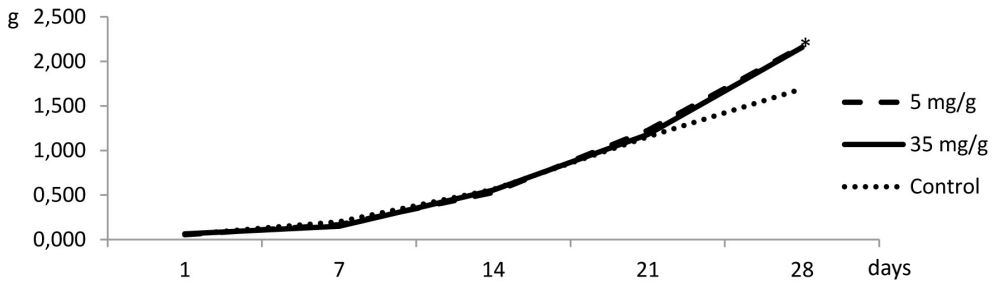



*Fig. 1.* **The dynamics of Russian sturgeon weight gain when using the shiitake mushroom *Lentinula edodes* preparation in their diet, g**

Note. * – the difference is significant at $p < 0,05$.

feeding, there was no significant difference between the average weights of two experimental and control groups of fish. However, after 21 days, the growth rate of fish in both experimental groups increased, leading to an increase in their average body weight at the end of the experiment by 27.4%. No significant difference was found between the average weights of fish in the two experimental groups. A graphical representation of the dynamics of the growth rate of Russian sturgeon juveniles under the effect of the shiitake mushroom preparation is shown in Figure 2. In the first week of exogenous feeding, a decrease in growth rates was observed in both experimental groups, and there was a tendency to a decrease in the growth rates of sturgeon in the first seven days of experimental feeding with an increase in the concentration of the experimental preparation. For example, the average daily gain per week in experimental group No. 1 was 20.4%/day, in experimental group No. 2 – 15.08%/day, while in the control group it was 23.5%/day. Lower values of this parameter in the experimental groups during this period may be associated with lower search activity and capture of prey organisms.

The latter, after enrichment, received a new specific taste and smell, typical for the mushroom. Apparently, the duration

Протягом трьох тижнів екзогенного живлення не виявлено вірогідної різниці між середніми масами з двох дослідних і контрольної групи риб. Проте, після 21 доби темпи росту риб в обох дослідних групах зросли, що привело до збільшення середньої маси їх тіла наприкінці експерименту на 27,4%. Вірогідної відмінності між значеннями середньої маси риб двох дослідних груп не виявлено.

Графічне зображення динаміки темпу росту мальків руського осетра під дією препарату гриба шиїтаке показано на рисунку 2. В перший тиждень екзогенного живлення прослідковувалося зниження темпів росту в обох дослідних групах, причому спостерігалася тенденція до зниження темпів росту осетра в перші сім діб експериментальної годівлі з підвищенням концентрації дослідного препарату. Так, середньодобовий приріст за тиждень в дослідній групі № 1 становив 20,4%/добу, в дослідній групі № 2 — 15,08%/добу, у той час як в контрольній групі він складав 23,5%/добу. Нижчі значення даного показника в дослідних групах у цей період можуть бути пов'язані з нижчою пошуковою активністю і захопленням кормових організмів.

Останні після збагачення отримували нові специфічні смак та запах, харак-

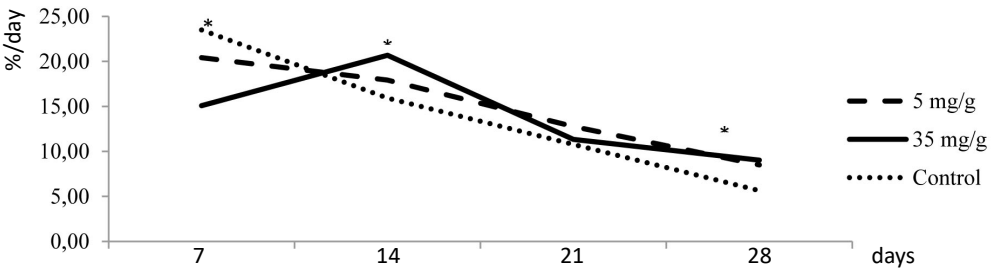



*Fig.2.* **The dynamics of average daily growth rates of Russian sturgeon when using the shiitake mushroom *Lentinula edodes* preparation in their diet (%/day)**

Note. * – the difference is significant at $p < 0,05$.

of habituation was limited to seven days, since in the next week of the experiment, the growth rate in the experimental groups began to increase. A significant increase in growth rates was observed in both experimental groups, and this value was 1.1 times higher in the experimental group 1 than in the control group, and in the second group – 1.3 times higher ($p < 0.05$). In the third week of exogenous experimental feeding, the growth rate of fish in the experimental groups practically equalized with that in the control group. However, in the last fourth week of the experiment, the growth rate in the first and second experimental groups was 1.5 and 1.6 times higher than the control, respectively.

Thus, it can be stated that the use of a shiitake mushroom preparation at an amount of 35 mg/g for 28 days contributed to the efficiency of feed absorption, which positively affected the growth rate and increase in the average weight of fish in both experimental groups.

Cumulative survival rate over 28 days of the experiment was 31.7% in the control group, 47.3% in the first experimental group, and 85% in the second experimental group. In this experiment, a dose-dependent increase in the viability of sturgeon juveniles was observed depending on the content of the preparation in its diet. Apparently, biologically active substances, in particular lentinan, contribute to the

терні для гриба. Очевидно, тривалість звикання обмежувалась сімома добами, оскільки в наступний тиждень експерименту швидкість росту в дослідних групах почала зростати. Вірогідне зростання темпів росту прослідковувалось в обох дослідних групах, причому в дослідній групі № 1 ця величина є більшою відносно контрольної в 1,1 раза, а в другій — в 1,3 раза ($p < 0,05$). На третій тиждень екзогенної експериментальної годівлі інтенсивність росту риб у дослідних групах практично вирівнялась з такою в контрольній групі. Проте, в останній, четвертий тиждень експерименту темп росту у першій та другій дослідних групах виявився вищим відносно контролю в 1,5 і в 1,6 раза відповідно.

Таким чином, можна стверджувати, що застосування препарату з гриба шиїтаке в кількості 35 мг/г протягом 28 діб сприяло ефективності засвоєння кормів, що позитивно впливало на темп росту та збільшення середньої маси риб обох дослідних груп.

Кумулятивне виживання протягом 28 діб експерименту становило у контрольній групі 31,7%, у першій дослідній групі — 47,3% та у другій дослідній групі — 85%. У цьому експерименті спостерігалася залежність зростання життєстійкості організму молоді осетра від вмісту препарату у його раціоні.

strengthening of the stabilization of the homeostatic processes in the body, which allow better coping with the stress caused by the intensification of cultivation. These findings are consistent with the results of studies of this preparation on other fish species. In particular, its use as a feed additive in the amount of 100 μg/cm$^3$ when growing juvenile taimen increased the antioxidant and anti-inflammatory capacity of the intestine, enhanced the activity of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), glutathione peroxidase (GPO), and suppressed lipid peroxidation, which as a result increased their survival [16].

Analysis of the activity of enzymes involved in phosphorus transport helps to better understand the processes of activating the body's nonspecific defences to stabilize homeostasis. These processes are controlled by alkaline phosphatase (ALP), which plays an important role in fish skeleton mineralization and membrane transport activity. The dynamics of the activity of this enzyme during the experimental period is shown in Fig. 3.

Alkaline ALP activity is a marker of phagocyte activation, as it is actively produced by monocytes, macrophages, and neutrophils [22]. Using an example of zebrafish (*Danio rerio* Hamilton, 1822), the dependence of alkaline phosphatase expression on the development of the intestinal microbiome was shown, since it participates in the detoxification of the toxic endogenous component of lipopolysaccharides of microorganisms that settle on the intestinal brush border [23]. Therefore, its activity indirectly indicates the effectiveness of the process of microbiome development, the functioning of which determines the overall resistance of the fish body. As can be seen from the figure, after seven days of experimental feeding, alkaline phosphatase activity increases in the tissues of sturgeon larvae from the first experimental group. Obviously, increased

Очевидно, біологічно активні речовини, зокрема лентинан, сприяють стабілізації гомеостатичних процесів організму, які дозволяють краще долати стрес, викликаний інтенсифікацією вирощування. Ці висновки узгоджуються з результатами досліджень даного препарату на інших видах риб. Зокрема, його застосування як кормової добавки в кількості 100 μг/см$^3$ при вирощуванні молоді тайменя (*Hucho taimen* Pallas 1773) підвищувало антиоксидантну, антизапальну здатність кишечника, підсилювало активність супероксиддисмутази (СОД), каталази (КАТ), глутатіонпероксидази (ГПО), а також пригнічувало перекисне окиснення ліпідів, що в результаті збільшувало виживаність риб [16].

Аналіз активності ензимів, які беруть участь у транспорті фосфору, допомагає краще зрозуміти процеси активізації неспецифічного захисту організму для стабілізації гомеостазу. За ці процеси відповідає лужна фосфатаза (ALP), яка відіграє важливу роль у мінералізації скелету риб та мембрано-транспортній активності. Динаміка активності цього ензиму протягом експериментального періоду показано на рисунку 3.

Активність ALP є маркером активації фагоцитів, через те що вона активно продукується моноцитами, макрофагами та нейтрофілами [22]. На прикладі даніо (*Danio rerio* Hamilton, 1822), було показано залежність експресії лужної фосфатази від формування мікробіому кишечника, оскільки вона бере участь в детоксикації токсичного ендогенного компоненту ліпополісахаридів мікроорганізмів, що поселяються на щітковій облямівці кишечника [23].

З цієї причини, її активність опосередковано свідчить про ефективність процесу формування мікробіому, від функціонування якого залежить загальна опірність організму риб. Як видно з рисунка, після семи діб експериментальної

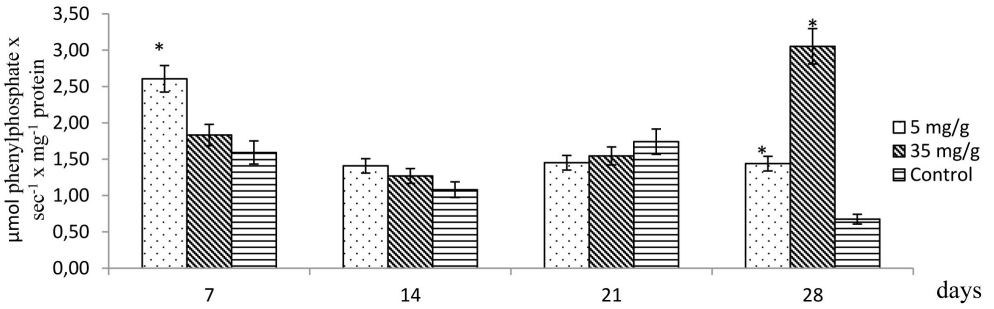



*Fig. 3.* **The Alkaline phosphatase activity of digestive system tissues of larvae and fingerling of Russian sturgeon under the effect of the shiitake mushroom *Lentinula edodes* preparation**

Note. * – significantly difference from the control group at $p < 0,05$.

activity may indicate activation of phagocytosis, as one of the key mechanisms of innate immunity.

After 28 days of the experiment, the activity of this enzyme in the tissues of the digestive tract increased in both experimental groups by 2.13 and 4.53 times, respectively ($p < 0.05$), which indicated active metabolic changes in the body aimed at maintaining homeostasis. Although, at first glance, the picture may resemble a toxicological effect, the mechanism of the latter is reflected in a much larger amplitude of changes in enzyme activity, as shown by the example of the toxic effect of the herbicides Paraquat and Cypermethrin on African sharptooth catfish (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822). There, ALP activity increased more than 50-fold, which was a diagnostic sign of toxic effects on fish [24, 25]. However, under normal conditions of existence, ALP activity increases during active fish growth and during gonadal maturation, as has been observed in Atlantic salmon (*Salmo salar* Linnaeus, 1758) [26].

Therefore, there is reason to consider the increase in LF activity on the 28th day of the experiment as a sign of the positive effect of the experimental supplement on fish, as a result of which metabolic processes were activated. This is also evidenced by the active growth rate and increase in

годівлі збільшується активність лужної фосфатази в тканинах личинок осетрів з першої дослідної групи. Вочевидь, підвищена активність може свідчити про активізацію фагоцитозу як одного з ключових механізмів вродженого імунітету.

Після 28 діб експерименту активність цього ензиму у тканинах травного тракту зросла в обох дослідних групах у 2,13 та 4,53 раза відповідно ($p < 0,05$), що свідчило про активні метаболічні зміни в організмі, спрямовані на збереження гомеостазу. Хоча, на перший погляд, картина може нагадувати токсикологічний ефект, проте механізм останнього відображається у значно більшій амплітуді зміни активності фермента, як це показано на прикладі токсичної дії гербіцидів Параквату та Циперметрину на організм кларієвого сома (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822). Там активність ALP зростала в більш ніж 50 разів, що було діагностичною ознакою токсичного впливу [24, 25]. Проте, в нормальних умовах існування активність ALP зростає в процесі активного росту організму та за дозрівання гонад, так як це було спостережено на атлантичному лососі (*Salmo salar* Linnaeus, 1758) [26].

Отже, є підстави вважати зростання активності ALP на 28-му добу експе-

average weight during this period, which will never happen during toxicosis, during which the appetite and growth rate of fish decrease.

A similar situation, as in the case of ALP, is observed in the activity of alanine aminotransferase (ALT) is shown in Fig. 4. Probable changes in the activity of this enzyme are noticeable after the first seven days of experimental feeding of sturgeons as well as after 28 days. Transamination activity in experimental groups No. 1 and No. 2 was higher by 16.5% and 36.5%, respectively, compared to the control group. These values coincide with the processes of active growth of the sturgeon body.

Transamination processes are an important part of protein metabolism, which is especially intense in sturgeon larvae and fry at the initial stages of exogenous nutrition. These processes allow for the interconversion between carbohydrate and protein metabolism during stressful conditions to meet the body's high energy needs [27]. As in the case of ALP, ALT activity increase in two experimental groups after 28 days of experimental feeding of sturgeons with the shiitake mushroom preparation that confirm the presence of metabolic restructuring towards the activation of transmembrane processes and intensive protein metabolism, which takes place unрименту ознакою позитивного впливу експериментальної добавки на організм, в результаті чого активізувалися метаболічні процеси. Про це також свідчить активний темп росту та зростання середньої маси у цей період, чого ніколи не відбудеться в процесі токсикозу, за якого апетит та темпи росту риб знижуються.

Аналогічна ситуація, як і у випадку з ALP, прослідковується в активності аланінамінотрансферази (ALT) показано на рисунку 4. Вірогідні зміни в активності цього ензиму помітні після перших семи діб експериментальної годівлі осетра, а також після 28-ї доби. Активність трансамінування в дослідних групах № 1 та № 2 була вищою на 16,5 та 36,5% відносно контрольної групи. Ці показники відповідають процесам активного росту організму осетра.

Процеси трансамінування є важливою ланкою білкового метаболізму, який є особливо інтенсивним у личинок та мальків осетрових риб на початкових етапах екзогенного живлення. Завдяки цим процесам відбувається взаємоперетворення між вуглеводневим та білковим обміном речовин під час стресових умов для задоволення високих енергетичних потреб організму [27]. Як і у випадку з ALP, показники активності ALT зростають у двох дослідних групах

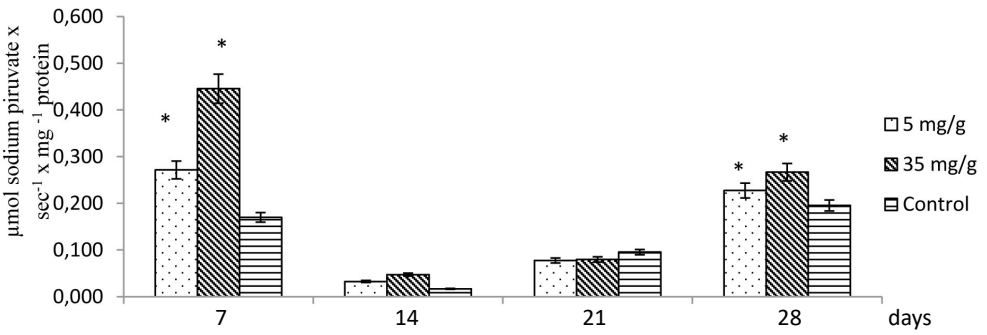



*Fig. 4.* **The alanineaminotransferase activity of digestive system tissues of larvae and fingerling of Russian sturgeon under the effect of the mushroom preparation *Lentinula edodes***

Note. * – significantly difference with the control group at $p < 0,05$.

der conditions of active growth. Appropriate changes allow maintaining the proper level of homeostasis of Russian sturgeon juveniles under conditions of their intensive cultivation.

Analysis of α-amylase activity allows assessing the dynamics of hydrolytic processes in the intestine under the effect of shiitake mushroom preparation. In this case, we monitor the activity not only of carbohydrases, which are synthesized by the pancreas and adsorbed on the surface of the glycocalyx, but also of enzymes of bacterial origin, which play an important role in the general hydrolysis of hydrocarbons. The dynamics of α-amylase activity is shown in Figure 5.

It was shown that after the first week of using the shiitake mushroom preparation at a concentration of 35 mg/g of artemia, the hydrolytic activity increased by 27.03% ($p < 0.05$), however, the use of a lower concentration of the experimental preparation did not show a significant difference in this parameter from the control group of fish. It is noticeable that in experimental group No. 1 after 14 and 21 days of experimental feeding, no significant deviations in the activity of this enzyme were observed compared to the control group, but they were present in individuals from experimental group No. 2. After 28 days of the experiment, an increase in the activity of

після 28-ми діб експериментальної годівлі осетрів препаратом з гриба шиїтаке, підтверджуючи наявність перебудови метаболізму в напрямку активізації трансмембранних процесів та інтенсивного білкового обміну, який спостерігається за умов активного росту. Відповідні зміни дозволяють підтримувати належний рівень гомеостазу в організмі молоді руського осетра за умов її інтенсивного вирощування.

Аналіз активності α-амілази дозволяє оцінити динаміку гідролітичних процесів в кишечнику за дії препарату гриба шиїтаке. У цьому випадку ми прослідковуємо активність не лише карбогідраз, які синтезуються підшлунковою залозою і адсорбуються на поверхні глікокаліксу, а також і ензимів бактеріального походження, що відіграють важливу роль в загальному гідролізі вуглеводнів. Динаміку активності α-амілази видно на рисунку 5.

Показано, що після першого тижня застосування препарату гриба шиїтаке в концентрації на рівні 35 мг/г артемії, гідролітична активність збільшувалася на 27,03% ($p < 0,05$), однак застосування нижчого вмісту дослідного препарату не показало вірогідної різниці цього показника з контрольною групою риб. Помітно, що у дослідній групі № 1 після 14-ти та 21-ї доби експеримента-

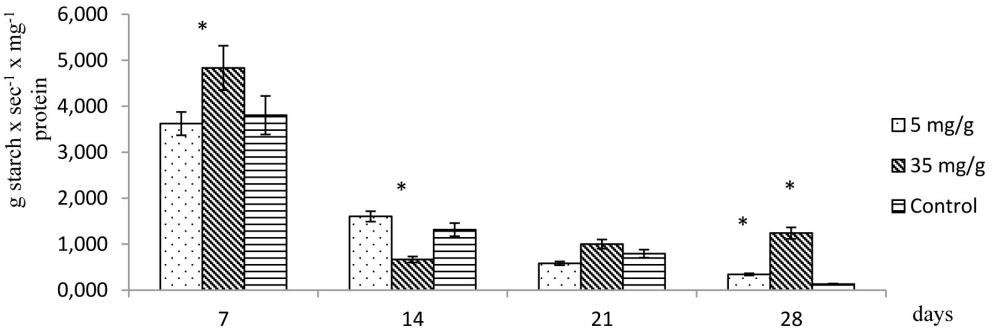



*Fig. 5.* **The α-amilase activity of digestive system tissues of larvae and fry of Russian sturgeon under the effect of the mushroom preparation *Lentinula edodes***

Note. * – significantly difference with the control group at $p < 0,05$.

hydrolytic processes was observed in both experimental groups, exceeding the values in the control group by 2.6 times and 9.6 times, respectively. A similar situation with amylase was observed in sturgeons during the same period of action of immunostimulants – levamisole and chitosan [8]. It is reasonable to assume that the biologically active substances of shiitake mushroom, in particular lentinan, affect the development of the intestinal microbiome, the components of which stimulate, and also actively carry out the expression of carbohydrases in the intestinal lumen. This facilitates the mechanism of digestion and transport of nutrients into the blood, and, accordingly, facilitates the regulation of sugar metabolism – the main energy substrate of the fish body. As a result of using the shiitake mushroom preparation for 28 days, homeostasis maintenance becomes more stable due to replenishment of the energy pool of sugars, as well as activation of transferases, which allows more effectively tolerating stressful situations.

## CONCLUSION AND PERSPECTIVES OF FURTHER DEVELOPMENT

The use of shiitake mushroom as a feed additive in the process of growing Russian sturgeon from larval to viable stages is advisable in view of the biological and economic effect. It was shown that the use of this preparation at a concentration of 35 mg/g of Artemia for 28 days led to an acceleration of the average daily growth rate during the last week by 1.6 times, which caused an increase in the average body weight at the end of the experiment by 27.4% compared to the control group of fish. Cumulative survival during the 28 days of the experiment was 31.7% in

ної годівлі не спостерігалося вірогідних відхилень активності цього ензиму відносно контрольної групи, проте вони були присутні у особин із дослідної групи № 2. Після 28-ми діб експерименту зафіксовано збільшення показників активності гідролітичних процесів в обох дослідних групах, що перевищують значення в контрольній групі у 2,6 та у 9,6 раза відповідно. Подібна ситуація з амілазою прослідковувалась у осетрів за такого ж періоду дії імуностимуляторів — левамізолу та хітозану [8]. Доцільно припустити, що біологічно активні речовини гриба шиїтаке, зокрема лентинан, впливає на формування мікробіому кишечника, компоненти якого стимулюють, а також самі активно здійснюють експресію карбогідраз у просвіт кишечника. Це полегшує механізм травлення та транспорту нутрієнтів в кров, і, відповідно, полегшує регуляцію обміну цукрів — головного енергетичного субстрату організму. В результаті застосування препарату з гриба шиїтаке протягом 28 діб підтримання гомеостазу стає стабільнішим за рахунок поповнення енергетичного пулу цукрів, а також активізації трансфераз, що дозволяє ефективніше витримувати стресові ситуації.

## ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО РОЗВИТКУ

Застосування препарату гриба шиїтаке як кормової добавки в процесі вирощування руського осетра від личинок до життєстійких стадій є доцільним з огляду на біологічний та економічний ефект. Показано, що застосування даного препарату в концентрації на рівні 35 мг/г артемії протягом 28-ми діб привело до пришвидшення темпу середньодобового росту протягом останнього тижня в 1,6 раза, зумовлюючи збільшення середньої маси тіла в кінці експерименту на 27,4% відносно контрольної групи

the control group, 47.3% in the first experimental group, and 85% in the second experimental group, which confirms the effectiveness of the use of the shiitake mushroom preparation for strengthening nonspecific resistance.

Biologically active substances of shiitake mushroom, in particular lentinan, have a positive effect on the development of the intestinal microbiome, the components of which stimulate, and also themselves actively carry out the expression of carbohydrases in the intestinal lumen, as a result of which an increase in the activity of hydrolytic processes was observed in both experimental groups, exceeding the values in the control group by 2.6 times and 9.6 times, respectively. The activity of transferases, in particular alkaline phosphatase and alanine aminotransferase, increased in two experimental groups after 28 days of experimental feeding, confirming the presence of metabolic restructuring towards the activation of transmembrane processes and intensive protein metabolism, which takes place under conditions of active growth of the Russian sturgeon body.

Analysis of the results allows us to predict the prospects of further studies into the use of biologically active substances to strengthen the nonspecific resistance of sturgeon juveniles.

## CONFLICT OF INTEREST

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

## SOURCES OF FUNDING

The work was carried out thanks to the financial support of the National Academy of Agricultural 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.”

риб. Кумулятивне виживання протягом 28-ми діб експерименту становило у контрольній групі 31,7%, у першій дослідній групі — 47,3% та у другій дослідній — 85%, що підтверджує ефективність застосування препарату гриба шиїтаке для зміцнення неспецифічної резистентності.

Біологічно активні речовини гриба шиїтаке, зокрема лентинан, позитивно впливають на формування мікробіому кишечника, компоненти якого стимулюють, а також самі активно здійснюють експресію карбогідраз у просвіт кишечника, в результаті чого спостерігається зростання активності гідролітичних процесів в обох дослідних групах, що перевищують значення в контрольній групі у 2,6 та у 9,6 раза відповідно. Активність трансфераз, зокрема лужної фосфатази та аланінамінотрансферази, зростає у двох дослідних групах після 28-ми діб експериментальної годівлі, підтверджуючи наявність перебудови метаболізму в напрямку активізації трансмембранних процесів та інтенсивного білкового обміну, який відбувається за умов активного росту організму руського осетра.

Аналіз результатів дозволяє спрогнозувати перспективність подальших досліджень застосування біологічно активних речовин для зміцнення неспецифічної резистентності молоді осетрів.

## КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ

У цій роботі конфлікт інтересів авторів відсутній.

## 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

## REFERENCES


1. Zabytivskyi, 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.* Retrieved from: https://bioflux.com.ro/docs/2025.466-476.pdf.
2. Zarantoniello, M., Bortoletti, M., Olivotto, I., Ratti, S., Poltronieri, C., Negrato, E., Caberlotto, S., Radaelli, G., & Bertotto, D. (2021). Salinity, temperature and ammonia acute stress response in seabream (*Sparus aurata*) juveniles: A Multidisciplinary study. *Animals, 11,* 97. https://doi.org/10.3390/ani11010097.
3. Long, L., Zhang, H., Ni, Q., Liu, H., Wu, F., & Wang, X. (2019). Effects of stocking density on growth, stress, and immune responses of juvenile Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) in recirculating aquaculture system. *Comparative Biochemistry and Physiology*. *Part C, 219,* 25-34. https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2019.02.002.
4. Daskalova, A. (2019) Farmed fish welfare: stress, post-mortem muscle metabolism, and stress-related meat quality changes. *International Aquatic Research, 11,* 113-124. https://doi.org/10.1007/s40071-019-0230-0.
5. Dev, A. K, Thakur, R., & Yadav, S. (2024). Deciphering the importance of herbal immunostimulants in aquaculture, using citation network analysis: A futuristic sustainable approach. *Comparative Immunology Reports, 6,* 200129. https://doi.org/10.1016/j.cirep.2023.200129.
6. Magnadottir, B. (2006). Innate immunity of fish (overview). *Fish & Shellfish immunology, 20,* 137-151. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2004.09.006.
7. Kamaszewski, M., Ostaszewska, T.,


риб у ранньому онтогенезі».

## ЛІТЕРАТУРА


1. The effect of Sviteco PWC probiotic product on growth, physiological and biochemical status and nonspecific resistance of sturgeon fish juveniles / Zabytivskyi Y. et al. // AACL Bioflux. 2025. Vol. 18(1). P. 466—476. URL : https://bioflux.com.ro/docs/2025.466-476.pdf (accessed : 07.04.2025).
2. Salinity, temperature and ammonia acute stress response in seabream (*Sparus aurata*) juveniles: A Multidisciplinary study / Zarantoniello M. et al. // Animals. 2021. Vol. 11. P. 97. https://doi.org/10.3390/ani11010097.
3. Effects of stocking density on growth, stress, and immune responses of juvenile Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) in recirculating aquaculture system / Long L. et al. // Comparative Biochemistry and Physiology. Part C. 2019. Vol. 219. P. 25—34. https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2019.02.002.
4. Daskalova A. Farmed fish welfare: stress, post-mortem muscle metabolism, and stress-related meat quality changes // International Aquatic Research. 2019. Vol. (11). P. 113—124. https://doi.org/10.1007/s40071-019-0230-0.
5. Dev A. K, Thakur R., Yadav S. Deciphering the importance of herbal immunostimulants in aquaculture, using citation network analysis: A futuristic sustainable approach // Comparative Immunology Reports. 2024. Vol. 6. 200129. https://doi.org/10.1016/j.cirep.2023.200129.
6. Magnadottir B. Innate immunity of fish (overview) // Fish&Shellfish Immunology. 2006. Vol. 20. P. 137—151. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2004.09.006.
7. Effects of *Artemia* sp. with Essential Fatty Acids on Functional and Morpholog-

Prusinska, M., Kolman, R., Chojanacki, M., Zabytivskij, Y., 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,* 1-2. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v14_4_12.

8. Zabytivskyi, Yu., Borecka, I., Kachay, H., Yurchak, S., & Tretyakova, T. (2023). Biolohichni osoblyvosti orhanismu molodi osetrovych (Acipenseridae Bonaparte, 1831) ryb za diyi syntetychnoho ta orhanichnoho imunostymulyatoriv. *Rybohospodars`ka nauka Ukrainy, 2 (64),* 109-128. https://doi.org/10.15407/fsu2023.02.109.
9. Chirapongsatonkul, N., Mueangkan, N., Wattitum, S., & U-taynapum, Kittichon. (2019). Comparative evaluation of the immune responses and disease resistance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) induced by yeast β-glucan and crude glucan derived from mycelium in the spent mushroom substrate of *Schizophyllum commune*. *Aquaculture Reports, 15,* 100205. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2019.100205.
10. Mohan, K., Ravichandran, S., Muralisankar, T., Utayakumar, V., Chandirasekar, R., Seedevi, P., & Rajan, D. (2019). Potential uses of fungal polysaccharides as immunostimulants in fish and shrimp aquaculture: A review. *Aquaculture, 500,* 250-263. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.10.023.
11. Shahbazi, S., & Bolhassani, A. (2016). Immunostimulants: Types and Function (Mini review). *Journal of Medical Microbiology and Infectious Diseases, 4 (3-4),* 45-51. *jommid.pasteur.ac.ir.* Retrieved from: https://jommid.pasteur.ac.ir/article-1-131-en.html.
12. Enshasy, H., & Hatti-Kaul, R. (2013). Mushroom immunomodulators: unique ical Aspects of the Digestive System in *Acipenser gueldenstaedtii* Larvae / Kamaszewski M. et al. // Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 2014. Vol. 14. P. 1—2. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v14_4_12.
8. Біологічні особливості організму молоді осетрових (Acipenseridae Bonaparte, 1831) риб за дії синтетичного та органічного імуностимуляторів / Забитівський Ю. М. та ін. // Рибогосподарська наука України. 2023. № 2 (64). С. 109—128. https://doi.org/10.15407/fsu2023.02.109.
9. Comparative evaluation of the immune responses and disease resistance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) induced by yeast β-glucan and crude glucan derived from mycelium in the spent mushroom substrate of *Schizophyllum commune* / Chirapongsatonkul N. et al. // Aquaculture Reports. 2019. Vol. 15. 100205. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2019.100205.
10. Potential uses of fungal polysaccharides as immunostimulants in fish and shrimp aquaculture: A review / Mohan K. et al. //Aquaculture. 2019. №500. P.250–263. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.10.023.
11. Shahbazi S., Bolhassani A. Immunostimulants: Types and Function (Mini review) // Journal of Medical Microbiology and Infectious Diseases. 2016. Vol. 4 (3–4). P. 45—51. URL : https://jommid.pasteur.ac.ir/article-1-131-en.html (accessed : 07.04.2025).
12. Enshasy H., Hatti-Kaul R. Mushroom immunomodulators: unique molecules with unlimited applications // Trends in Biotechnology. 2013. Vol. 31, № 12. P. 668—677. http://dx.doi.org/10.1016/j.tibtech.2013.09.
13. Bioactive polysaccharides from medici-

molecules with unlimited applications. *Trends in Biotechnology, 31(12),* 668-677. http://dx.doi.org/10.1016/j.tibtech.2013.09.

13. Garcia, J., Rodrigues, F., Saavedra, M., Nunes, F., & Marques, G. (2022). Bioactive polysaccharides from medicinal mushrooms: A review on their isolation, structural characteristics and antitumor activity. *Food Bioscience, 49,* 101955. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101955.
14. Liu, Y., Zhou, Y., Liu, M., Wang, Q., & Li, Y. (2018). Extraction optimization, characterization, antioxidant and immunomodulatory activities of a novel polysaccharidae from the wild mushroom *Paxillus involutus. International Journal of Biological Macromolecules, 112,* 326-332. http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.01.132.
15. Sherif, A., & Mahfouz, M. (2019). Immune status of *Oreochromis niloticus* experimentally infected with *Aeromonas hydrophila* following feeding with 1,3 β-glucan and levamisole immunostimulants. *Aquaculture, 509,* 40-46. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.05.016.
16. Vijayaram, S., Sun, Y., Zuorro, A., Chafarifarsani, H., Don, H., & Hoseinifar, S. (2022). Bioactive immunostimulants as health-promoting feed additives in aquaculture: A review. *Fish and Shellfish Immunology, 130,* 294-308. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2022.09.011.
17. Watanabe, T., Tomiyama, T., Oka, A., Hirata, M., Kitajima, C., & Fujita, S. (1983). Improvement of dietary value of live foods for fish larvae by feeding them on 52-3 highly unsaturated fatty acids and fat-soluble vitamins. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 49,* 471-479.
18. Reitan, K. I. Rainuzzo, J. R., & Olsen, Y. (1994). Effect of nutrient limitation on fatty acid and lipid content of marine microalgae. *Journal of Phycology, 30,* nal mushrooms: A review on their isolation, structural characteristics and antitumor activity / Garcia J. et al. // Food Bioscience. 2022. Vol. 49. 101955. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101955.
14. Extraction optimization, characterization, antioxidant and immunomodulatory activities of a novel polysaccharidae from the wild mushroom *Paxillus involutus* / Liu Y. et al. // International Journal of Biological Macromolecules. 2018. Vol. 112. P. 326—332. http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.01.132.
15. Sherif A., Mahfouz M. Immune status of *Oreochromis niloticus* experimentally infected with *Aeromonas hydrophila* following feeding with 1,3 β-glucan and levamisole immunostimulants // Aquaculture. 2019. Vol. 509. P. 40—46. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.05.016.
16. Bioactive immunostimulants as health-promoting feed additives in aquaculture: A review / Vijayaram S. et al. // Fish and Shellfish Immunology. 2022. Vol. 130. P. 294—308. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2022.09.011.
17. Improvement of dietary value of live foods for fish larvae by feeding them on 52-3 highly unsaturated fatty acids and fat-soluble vitamins / Watanabe et al. // T. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish. 1983. Vol. 49. P. 471—479.
18. Reitan K. I., Rainuzzo J. R., Olsen Y. Effect of nutrient limitation on fatty acid and lipid content of marine microalgae // Journal of Phycology. 1994. Vol. 30, iss. 6. P. 972—979.
19. ТУ У 24.4-13433137-050:2006. Інструкція до набору реактивів для визначення активності α-амілази (діастази) амілокластичним методом Каравея «альфа-амілаза». ДВ050 від 31.03.2016.

*6,* 972-979.

19. Instrukciya do naboru reaktyviv dlya vyznachennya aktyvnosti α-amilasy (diastazy) amiloklastychnym metodom Karaveya «alpha-amilaza». (2006). *TU U 24.4-13433137-050:2006.* DV050 vid 31.03.2016.
20. Instrukciya do naboru reaktyviv dlya vyznachennya aktyvnosti alaninaminotransferazy metodom Raytmana-Frenkelya «AlAT». (2003). *TU U 24.4-13433137-047-2003.* DV047 vid 30.06.2016.
21. Instrukciya do naboru reaktyviv dlya vyznachennya aktyvnosti luzhnoi phosfatazy za reakciyeyu z phenilphosfatom (po kinceviy tochci) «Luzhna phosfataza». (2003). *TU U 24.4-13433137-047-2003.* DV 047 vid 30.06.2016.
22. Cai, Y., Yin, Y., Wang, L., Leng, D., & Ge, C. (2018). Effect on serum parameters and immune responses of *Carassius auratus gibelio* esposed to dietary lead and *Bacillus subtilis. Biological trace element research*. https://doi.org/10.1007/s12011-018-1544-2.
23. Bates, J., Akerlund, J., Mittge, E., & Guillemin, K. (2007). Intestinal alkaline phosphatase detoxifies lipopolysaccharide and prevents inflammation in zebrafish in response to the gut microbiota. *Cell Host Microbe, 2(6),* 371-382. https://doi:10.1016/j.chom.2007.10.010.
24. Wala, C., Bawa-Allah A., & Adams A. (2014). Alkaline phosphatase (ALP) activity in selected tissues & organs of *Clarias gariepinus* exposed to different levels of paraquat. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare, 4, 21,* 8-10.
25. Obiezue, R., Okoye, I., Ikele, B., & Obi I. (2011). Evaluation of biochemical parameters of *Clarias gariepinus* exposed to sublethal concentracion of cypermethrin. *Animal Research International, 8(3),* 1480-1484.
26. Johnston, C. E., Horney, B. S., & Deluca, S., et al. (1994). Changes in alkaline

20. ТУ У 24.4-13433137-047-2003. Інструкція до набору реактивів для визначення активності аланінамінотрансферази методом Райтмана-Френкеля «АлАТ». ДВ047 від 30.06.2016.
21. ТУ У 24.4-13433137-047-2003. Інструкція до набору реактивів для визначення активності лужної фосфатази за реакцією з фенілфосфатом (по кінцевій точці) «Лужна фосфатаза». ДВ 047 від 30.06.2016.
22. Effect on serum parameters and immune responses of *Carassius auratus gibelio* esposed to dietary lead and *Bacillus subtilis* / Cai Y. et al. // Biological trace element research. 2018. https://doi.org/10.1007/s12011-018-1544-2.
23. Intestinal alkaline phosphatase detoxifies lipopolysaccharide and prevents inflammation in zebrafish in response to the gut microbiota / Bates J. et al. // Cell Host Microbe. 2007. Vol. 2(6). P. 371—382. https://doi:10.1016/j.chom.2007.10.010.
24. Wala C., Bawa-Allah A., Adams A. Alkaline phosphatase (ALP) activity in selected tissues & organs of *Clarias gariepinus* exposed to different levels of paraquat // Journal of Biology, Agriculture and Healthcare. 2014. Vol. 4, No. 21. P. 8—10.
25. Evaluation of biochemical parameters of *Clarias gariepinus* exposed to sublethal concentracion of cypermethrin / Obiezue R. et al. //Animal Research International. 2011. Vol. 8(3). P. 1480—1484.
26. Changes in alkaline phosphatase isoenzyme activity in tissues and plasma of Atlantic salmon (*Salmo salar*) before and during smoltification and gonadal maturation / Johnston C. E. et al. // Fish Physiology and Biochemistry. 1994. Vol. 12. P. 485—497. https://doi.org/10.1007/BF00004451.

phosphatase isoenzyme activity in tissues and plasma of Atlantic salmon (*Salmo salar*) before and during smoltification and gonadal maturation. *Fish Physiology and Biochemistry, 12,* 485-497. https://doi.org/10.1007/BF00004451.

27. Samanta, P., Pal, S., Mukherjee, A., & Ghosh, A. (2014). Evaluation of metabolic enzymes in response to Excel Mera 71, a Glyphosate-based herbicide, and recovery pattern in freshwater teleostean fishes. *BioMed Research International, 425159,* 1-6. http://dx.doi.org/10.1155/2014/425159.

27. Evaluation of metabolic enzymes in response to Excel Mera 71, a Glyphosate-based herbicide, and recovery pattern in freshwater teleostean fishes / Samanta P. et al. // BioMed Research International. 2014. ID 425159. P. 1—6. http://dx.doi.org/10.1155/2014/425159.