

SELECTION, GENETICS AND BIOTECHNOLOGY / СЕЛЕКЦІЯ, ГЕНЕТИКА ТА БІОТЕХНОЛОГІЇ

Ribogospod. nauka Ukr., 2025; 4(74): 207-236
DOI: <https://doi.org/10.61976/fsu2025.04.207>
UDC 597-115:[639.371.2:639.3.06]

Received: 14.10.2025
Received in revised form: 25.11.2025
Accepted: 03.12.2025

CYTOGENETIC ASSESSMENT OF THE STURGEON (ACIPENSERIDAE) HYBRID BESTER ON THE FIRST YEAR OF CULTIVATION USING WARM WASTEWATER FROM A POWER PLANT

Yu. Glushko, niko-yulia@ukr.net, ORCID ID 0000-0002-1479-2948, Institute of Fisheries of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kyiv
O. Tretiak, veslonos-ua@ukr.net, ORCID ID 0000-0003-2300-9115, Institute of Fisheries of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kyiv
Yu. Onyshchuk, koropec@gmail.com, ORCID ID 0009-0008-3445-0436, Institute of Fisheries of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kyiv
O. Kolos, kolos-en@ukr.net, ORCID ID 0009-0008-9312-1368, Institute of Fisheries of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kyiv

Purpose. Assessment of cytogenetic indicators of the sturgeon (*Acipenseridae*) hybrid bester in the first year of cultivation under conditions of increased heat load with the introduction of the probiotic "Subalin" into the diet.

Methodology. The study was carried out in 2025 in the conditions of the Biosila LLC farm, in the technological cycle of which warm waste water from the power plant is used. Age-0+ were grown in tanks with feeding them with a commercial compound feed with additional introduction to the diet of the drug "Subalin" – a probiotic based on *Bacillus subtilis*. The assessment of fish productive parameters and physicochemical factors of the environment was carried out us-

ЦИТОГЕНЕТИЧНА ОЦІНКА ГІБРИДА ОСЕТРОВИХ (ACIPENSERIDAE) БЕСТЕРА ПЕРШОГО РОКУ ВИРОЩУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕПЛОЇ СКИДНОЇ ВОДИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

Ю. М. Глушко, niko-yulia@ukr.net, ORCID ID 0000-0002-1479-2948, Інститут рибного господарства Національної академії аграрних наук України, м. Київ
О. М. Третяк, veslonos-ua@ukr.net, ORCID ID 0000-0003-2300-9115, Інститут рибного господарства Національної академії аграрних наук України, м. Київ
Ю. В. Оницьук, koropec@gmail.com, ORCID ID 0009-0008-3445-0436, Інститут рибного господарства Національної академії аграрних наук України, м. Київ
О. М. Колос, kolos-en@ukr.net, ORCID ID 0009-0008-9312-1368, Інститут рибного господарства Національної академії аграрних наук України, м. Київ

Мета. Оцінка цитогенетичних показників гібрида осетрових (*Acipenseridae*) бестера на першому році вирощування в умовах підвищеного теплового навантаження із введенням до раціону пробіотику «Субалін».

Методика. Дослідження здійснено у 2025 р. в умовах господарства ТОВ «Біосила», у технологічному циклі якого використовується тепла скидна вода енергетичної установи. Бестера вікової групи 0+ вирощували в басейнах з годівлею комерційними комбікормами із додатковим введенням до раціону препарату «Субалін» — пробіотику на основі *Bacillus subtilis*. Оцінку рибницьких показників та фізико-хімічних чинників середовища



ing common methods. Cytogenetic studies with micronucleus testing in peripheral blood cells of bester were performed based on the count of erythrocytes with micronuclei, lymphocytes with micronuclei, binuclear lymphocytes and apoptosis in at least of 1000 cells. Blood smears were examined using a Primo Star binocular microscope (Carl Zeiss Jena) with a magnification of 100×/1.25 with immersion. The obtained values of cytogenetic abnormalities were expressed in ppm (‰).

Findings. At the final stage of growing bester, the water temperature for 33 days ranged from 28.1 to 31.3°C (on average, it was 30.1°C), which significantly exceeds the recommended values (no more than 25–26°C). The hydrochemical parameters of the tank environment were suitable for sturgeon aquaculture with a slight excess of individual regulatory values. In the experimental group of fish (n=15) with the introduction of the probiotic "Subalin" into the diet, the average weight of the bester was 128.80±3.42 g (Cv=10.29%). In the control group of fish (n=15), grown without adding probiotic to the diet, the average weight was 110.73±2.86 g (Cv=9.99%). The studied bester groups had a relatively low average level of the count of erythrocytes with micronuclei (from 4.1±0.2 to 4.4±0.3‰). No statistically significant intergroup differences were found in the count of lymphocytes with micronuclei, with slightly lower values in the experimental group of fish (1.2±0.2‰ versus 1.5±0.2‰ in the control). At the same time, a comparative analysis of the level of detected binuclear lymphocytes showed that the experimental group of bester had statistically significantly lower values of this parameter (2.0±0.2‰ versus 3.1±0.2‰ in the control). This may indicate a more stable genetic apparatus of the experimental group of fish, whose diet was supplemented with the probiotic "Subalin".

Originality. For the first time in sturgeon aquaculture in Ukraine, the feasibility of performing cytogenetic assessment of bester juveniles based on analysis of the level of destabilization of the chromosomal apparatus of fish has been substantiated.

Practical Value. The results of the study can be used to improve technological schemes for intensive sturgeon farming and develop a system for controlling the genetic structure of breeding sturgeon stocks, which is critically important for preserving their gene pool.

проводили за поширеними методиками. Цитогенетичні дослідження з виконанням мікроядерного тесту в клітинах периферичної крові бестера здійснювали за кількістю еритроцитів з мікроядрами, лімфоцитів з мікроядрами, двоядерних лімфоцитів та апоптозів не менше ніж у 1000 клітинах. Дослідження мазків крові проводили за допомогою бінокулярного мікроскопа «Primo Star» («Carl Zeiss Jena») зі збільшенням 100×/1,25 з імєрсією. Отримані значення цитогенетичних порушень виражали у проміле (‰).

Результати. На завершальному етапі вирощування бестера температура води впродовж 33 днів коливалась у межах 28,1–31,3°C (в середньому становила 30,1°C), що істотно перевищує рекомендовані значення (не більше 25–26°C). Гідрохімічні показники середовища басейнів були придатними для аквакультури осетрових риб, за незначного перевищення окремих нормативних значень. У дослідній групі риб (n=15) із введенням до раціону пробіотика «Субалін» середня маса бестера становила 128,80±3,42 г (Cv=10,29%). У контрольній групі риб (n=15), вирощеній без додавання до раціону пробіотика, середня маса становила 110,73±2,86 г (Cv=9,99%). Досліджені групи бестера мали відносно невисокий середній рівень кількості еритроцитів з мікроядрами (від 4,1±0,2 до 4,4±0,3‰). За кількістю лімфоцитів з мікроядрами не виявлено статистично достовірних міжгрупових відмінностей, з децю нижчими значеннями у дослідній групі риб (1,2±0,2‰ проти 1,5±0,2‰ у контролі). Водночас, порівняльний аналіз рівня виявлених двоядерних лімфоцитів показав, що дослідна група бестера статистично достовірно мала нижчі значення цього показника (2,0±0,2‰ проти 3,1±0,2‰ у контролі). Це може вказувати на стабільніший генетичний апарат дослідної групи риб, до раціону якої вводили пробіотик «Субалін».

Наукова новизна. Вперше в аквакультури осетрових риб в Україні обґрунтовано доцільність виконання цитогенетичної оцінки молоді бестера на основі аналізу рівня дестабілізації хромосомного апарату риб.

Практична значущість. Результати досліджень можуть використовуватись для удосконалення технологічних схем інтенсивного осетрівництва та розроблення системи контролю генетичної структури племінних стад осетрових риб, що є критично важливим для збереження їхнього генофонду.



Keywords: sturgeon aquaculture, bester juvenile, intensive cultivation, heat stress, probiotic "Subalin", micronucleus test, cytogenetic disorders.

Ключові слова: осетрова аквакультура, молодь бестера, інтенсивне вирощування, теплове навантаження, пробіотик «Субалін», мікроядерний тест, цитогенетичні порушення.

PROBLEM STATEMENT AND ANALYSIS OF LAST ACHIEVEMENTS AND PUBLICATIONS

As a result of the negative impact of a complex of anthropogenic factors, which led to critical changes in the conditions of existence of sturgeons, there was a catastrophic decrease in their natural stocks, some of the most valuable species of the world's ichthyofauna. Therefore, for a long time now, the main source of production in Ukraine of its own sturgeon products has been commercial aquaculture [1–3].

At the same time, in the process of developing commercial sturgeon farming technologies, a common method of increasing the efficiency of sturgeon aquaculture has become the cultivation of their industrial hybrids with the most important properties for economic use. Among them, the following should be highlighted: increased growth and viability, high fecundity, accelerated sexual maturation, advantages in artificial reproduction and the best adaptability to technological processes of producing raw materials for the production of the most valuable type of sturgeon product – caviar [1, 2]. One of the most promising are various hybrid forms obtained through artificial hybridization of beluga (*Huso huso*) with sterlet (*Acipenser ruthenus*) with the breeding of highly productive hybrids with the well-known name bester. In particular, hybrids bred by reciprocal crossing of bester with one of the parent sturgeon species are of considerable interest [2, 4].

Among the key aspects of scientific research aimed at improving the results of sturgeon aquaculture, it is necessary

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ ТА АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Внаслідок негативного впливу комплексу антропогенних чинників, що призвели до критичних змін умов існування осетрових риб, відбулось катастрофічне зменшення природних запасів цих одних із найцінніших представників світової іхтіофауни. Тому вже тривалий час основним джерелом виробництва в Україні власної осетрової продукції є товарне осетрівництво [1–3].

Водночас, у процесі розвитку технологій товарного осетрівництва розповсюдженим методом підвищення ефективності аквакультури осетрових риб стало вирощування їх промислових гібридів із найважливішими для господарського використання властивостями. Серед них насамперед слід виділити підвищені прирости і життєздатність, високу плодючість, прискорене статеве дозрівання, переваги у заводському відтворюванні та найкращу пристосованість до технологічних процесів продукування сировини для виробництва найціннішого виду осетрової продукції — чорної харчової ікри [1, 2]. Одними з найперспективніших є різноманітні гібридні форми, отримані завдяки штучній гібридизації білуги (*Huso huso*) зі стерляддю (*Acipenser ruthenus*), з виведенням високопродуктивних гібридів із загальновідомою назвою бестер. Зокрема, значний інтерес викликають гібриди, виведені шляхом реципрокного схрещування бестера з одним із батьківських видів осетрових [2, 4].

Серед ключових аспектів наукових досліджень, спрямованих на поліпшен-



to separately highlight the improvement of the composition of artificial diets and methods of feeding sturgeon juveniles in order to mitigate the impact of stressful factors in the process of intensive fish farming [5–11].

Comprehensive genetic studies of artificially formed breeding groups of *Acipenseriformes* using DNA markers, protein systems and cytogenetic indicators are also of priority for the further effective development of sturgeon farming [12–17]. Recently, use of a micronucleus test showed that separate broodstocks of American paddlefish (*Polyodon spathula*), sterlet, and Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) created in Ukraine were characterized by a relatively low level of cytogenetic disorders. In general, this indicates the stability of the genetic apparatus of fish and the absence of a significant exogenous load on their immune system under acceptable growing conditions [12, 16, 17].

Therefore, among the current problems of scientific support for modern sturgeon aquaculture in Ukraine, one can name the cytogenetic assessment of individual age groups of the main objects of commercial sturgeon farming, considering the technological features of their cultivation in specific environmental conditions of various industrial-type farms. The feasibility of using cytogenetic testing methods is primarily justified by the need to identify the possible impact on fish of a complex of genotoxic factors of various origins.

Since the hematopoietic system of fish is very sensitive to changes in the environmental conditions, the micronucleus test in peripheral blood cells can be an effective method that allows determining the total effect of adverse factors on the hereditary apparatus both in a specific individual and in the studied sample of fish as a whole. The fish micronucleus test as an express biotesting method is quite often used by researchers from different countries [18–20].

ня результатів ведення аквакультури осетрових риб, слід окремо виділити удосконалення складу штучних раціонів та методів годівлі осетрової молоді з метою пом'якшення впливу стресувальних чинників у процесі інтенсивного вирощування риб [5–11].

Пріоритетне значення для подальшого ефективного розвитку осетрівництва мають також комплексні генетичні дослідження сформованих у штучних умовах племінних груп представників *Acipenseriformes* із використанням ДНК-маркерів, білкових систем та цитогенетичних показників [12–17]. Останнім часом із застосуванням мікроядерного тесту встановлено, що сформовані в Україні окремі племінні стада американського веслоноса (*Polyodon spathula*), стерляді та сибірського осетра (*Acipenser baerii*) характеризуються відносно невисоким рівнем цитогенетичних порушень. Загалом це вказує на стабільність генетичного апарату риб та відсутність значного екзогенного навантаження на їхню імунну систему за прийнятних умов вирощування [12, 16, 17].

Отже, серед актуальних проблем наукового забезпечення сучасної аквакультури осетрових риб в Україні можна назвати цитогенетичну оцінку окремих вікових груп основних об'єктів товарного осетрівництва з урахуванням технологічних особливостей їх вирощування у специфічних умовах середовища різних господарств індустріального типу. Доцільність застосування методів цитогенетичного тестування насамперед обґрунтовується необхідністю виявлення можливого впливу на риб комплексу генотоксичних чинників різного походження.

Оскільки кровотворна система риб дуже чутлива до змін стану навколишнього середовища, саме мікроядерний тест у клітинах периферичної крові може бути ефективним методом, який



Nuclear aberrations can be induced not only by stressful factors that disrupt cell homeostasis during mitosis but also be formed naturally during cellular metabolism and aging. The literature describes several factors that can cause the formation of micronuclei. Therefore, the presence of micronuclei in the cellular structures of active tissues can be a reliable tool for assessing the impact of genotoxic agents and physical environmental factors [21–24].

дає змогу визначати сумарну дію несприятливих чинників на спадковий апарат як у конкретної особини, так і в досліджуваній вибірці риб загалом. Мікроядерний тест на рибах як експрес-метод біотестування досить часто використовується дослідниками різних країн [18–20].

Ядерні аберації можуть бути індуковані не лише стресувальними чинниками, що порушують гомеостаз клітин під час мітозу, але й утворюватися природним шляхом у процесі клітинного метаболізму та старіння. У літературних джерелах описано низку факторів, що здатні викликати утворення мікроядер. Тому наявність мікроядер у клітинних структурах активних тканин може бути надійним інструментом для оцінки впливу генотоксичних агентів та фізичних чинників навколишнього середовища [21–24].

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

Cytogenetic studies in sturgeon aquaculture may be of significant importance for industrial fish farms created using warm waste water from power plants. In the conditions of such enterprises, the cultivation of different age groups of sturgeon fish is carried out using intensive technologies with increased exposure to various stressful situations inherent in industrial fish farming methods. This primarily characterizes the stage of growing sturgeon fry, which are not yet sufficiently adapted to intensive feeding with artificial feeds at high stocking densities in the limited space of fish ponds. A specific factor complicating the conditions for growing sturgeon fry on the basis of sturgeon farms of this type is the excessive heat load on the fish in the summer period. This occurs both through the use of warm waste water that

ВИДІЛЕННЯ НЕВИРШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ. МЕТА РОБОТИ

Істотного значення цитогенетичні дослідження в осетровій аквакультурі можуть набувати для індустріальних рибних господарств, створених із використанням теплої скидної води енергетичних установок. В умовах таких підприємств вирощування різних вікових груп осетрових риб здійснюється із застосуванням інтенсивних технологій за посиленого впливу на риб різноманітних стресових ситуацій, властивих індустріальним методам рибництва. Насамперед цим характеризується етап вирощування осетрової молоді, ще недостатньо адаптованої до інтенсивної годівлі штучними кормами за високої густоти посадок в обмеженому просторі рибницьких басейнів. Специфічним чинником, що ускладнює умови вирощування осетрової молоді на базі осетрових господарств цього типу, є



has passed through the cooling system of the power generation plant, and as a result of the additional impact of global warming processes [4, 25].

At the current stage of sturgeon aquaculture development in Ukraine, studies of cytogenetic indicators of sturgeon in industrial-type farms were fragmentary and were devoted, in particular, to assessing the level of cytogenetic anomalies in Siberian sturgeon individuals during the formation of broodstocks in floating cages under the natural temperature regime of the aquatic environment [17].

Insufficient attention has been paid to comprehensive studies of hybrid forms of sturgeon fish available in Ukrainian aquaculture, in particular the bester. At the same time, during 2023–2024, the effect of feeding the probiotic “Subalin” on the productive parameters of bester in the first year of cultivation under conditions of increased heat load was studied. As a result, an increase in body weight gain was noted in the experimental groups of fish [4]. However, the cytogenetic indicators of this sturgeon hybrid, grown using a tested feeding method in specific conditions of fish ponds using warm waste water from a power plant with increased thermal load on the fish, remained unclear.

Therefore, the main goal of our study in 2025 was to assess the cytogenetic indicators of bester in the first year of cultivation under conditions of increased heat load with the introduction of the probiotic “Subalin” into the diet.

надмірне теплове навантаження на організм риб у літній період. Це відбувається як через використання теплої скидної води, що пройшла через систему охолодження енергогенерувальної установки, так і внаслідок додаткового впливу процесів глобального потепління [4, 25].

На сучасному етапі розвитку аквакультури осетрових риб в Україні дослідження цитогенетичних показників осетрових риб в умовах господарств індустріального типу мали фрагментарний характер та присвячувались зокрема оцінці рівня цитогенетичних аномалій у особин сибірського осетра під час формування племінних стад у плавучих садках за природного температурного режиму водного середовища [17].

Недостатня увага приділялась комплексним дослідженням наявних в аквакультурі України гібридних форм осетрових риб, зокрема бестера. Водночас, упродовж 2023–2024 рр. досліджувався вплив згодовування пробіотика «Субалін» на продуктивні показники бестера на першому році вирощування в умовах підвищеного теплового навантаження. В результаті відмічене збільшення приростів маси тіла у дослідних групах риб [4]. Проте, залишилися нез’ясованими цитогенетичні показники цього осетрового гібрида, вирощеного за випробуваного способу годівлі у специфічних умовах рибницьких басейнів із використанням теплої скидної води енергетичної установки за підвищеного теплового навантаження на організм риб.

Отже, основною метою наших досліджень у 2025 р. стала оцінка цитогенетичних показників бестера на першому році вирощування в умовах підвищеного теплового навантаження із введенням до раціону пробіотика «Субалін».



MATERIALS AND METHODS

The study was conducted in 2025 in the conditions of an industrial-type sturgeon farm – the limited liability company “Biosila” established in the territory of the Kyiv region using warm waste water from a thermal power plant. The enterprise’s production cycle uses a combined water supply system. In the process of growing sturgeon broodstock and fish seeds in reinforced concrete tanks, water is supplied directly from the warm discharge water channel of the power plant without the use of thermoregulation devices. At the same time, in the experiments of 2025, during the artificial reproduction of the sturgeon hybrid, the cultivation of its juveniles to viable stages and at the next stage of growing fish to an average weight of 24.21–26.46 g, the water supply of the fish tanks was carried out using a recirculating aqua system with means of environmental thermoregulation. Instead, at the final stage of growing the bester seeds to an average weight of 110.73–128.80 g, after which biological material was selected for cytogenetic studies, the water supply to the tanks was carried out in the absence of thermoregulation using warm waste water from the power plant.

The material for the study was a hybrid form of sturgeon obtained from the reciprocal crossing of the bester (*Huso huso* × *Acipenser ruthenus*) with the beluga.

Regardless of the cytogenetic studies, in the spring of 2025, we determined the main fish productive parameters based on the results of artificial reproduction of bester using sturgeon broodstock grown in the conditions of the “Biosyla” farm’s tanks [26]. The descendants of these sturgeon broodstock were subsequently used for cytogenetic studies. Reproduction of the sturgeon hybrid and rearing of its fry to viable stages was carried out in artificial conditions using common methods of industrial sturgeon aquaculture [1].

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Дослідження проводили у 2025 р. в умовах осетрового господарства індустріального типу — Товариства з обмеженою відповідальністю «Біосила», створеного на території Київської області з використанням теплої скидної води теплоенергетичної установки. У виробничому циклі підприємства використовується комбінована система водопостачання. У процесі вирощування плідників та посадкового матеріалу осетрових риб у залізобетонних басейнах застосовується водопостачання безпосередньо з каналу теплої скидної води електростанції без використання засобів терморегуляції. Водночас, в експериментах 2025 р. під час штучного відтворення осетрового гібрида, вирощування його молоді до життєстійких стадій та на наступному етапі вирощування риб до середньої маси 24,21–26,46 г водопостачання рибницьких ємностей здійснювалось із застосуванням рециркуляційної аквасистеми із засобами терморегуляції середовища. Натомість, на завершальному етапі вирощування посадкового матеріалу бестера до середньої маси 110,73–128,80 г, після якого було відібрано біологічний матеріал для цитогенетичних досліджень, водопостачання басейнів відбувалось за відсутності терморегуляції з використанням теплої скидної води енергетичної установки.

Матеріалом для досліджень була гібридна форма осетрових, отримана від реципрокного схрещування бестера (*Huso huso* × *Acipenser ruthenus*) з білугою.

Незалежно від виконання цитогенетичних досліджень, у весняний період 2025 р. нами визначено основні рибницькі показники за результатами штучного відтворення бестера з використанням осетрових плідників, вирощених в умовах басейнів господарства



After the bester juveniles reached an average weight of 2.38 g at the end of May, the hybrid was grown with feeding with commercial mixed feeds of Western European production with the additional introduction of the probiotic preparation "Subalin" of Ukrainian production developed on the basis of *Bacillus subtilis* bacteria into the diet. In the control version of fish farming, the same compound feed was used without the tested probiotic. The dosage of "Subalin" for introduction into the fish diet was selected based on the manufacturer's recommendations but with appropriate adjustments for the purpose of the aquaculture studies [4, 26].

The survival of different groups of bester during the study period was determined by the results of individual accounting of the total number of grown fish. The reproductive performance of the female bester used in fish farming was determined by the ratio of the weight of the selected ovulated eggs to the body weight of the fish and by the level of embryo development at different stages of embryogenesis. The productive performance of the hybrid juveniles was assessed based on measurements of the body weight of the fish. During the study, common techniques in ichthyology and fish farming were used [27, 28].

Study and assessment of hydrochemical parameters regarding their compliance with the requirements of sturgeon aquaculture were carried out according to generally accepted methods described by O. Alyokin (1970, 1973) and other authors, comparing the obtained data with the regulatory values for fish farms existing in Ukraine [29–31]. Monitoring of water temperature and dissolved oxygen concentration was carried out using an OxyGuard® thermo-oximeter (Polaris C).

To assess the indicators of detected cytogenetic abnormalities in peripheral blood cells of the bester, two groups of this

«Біосила» [26]. Нащадків саме цих осетрових плідників у подальшому було використано для проведення цитогенетичних досліджень. Відтворення осетрового гібрида та вирощування його молоді до життєстійких стадій здійснювали у заводських умовах із застосуванням поширених методів індустріальної аквакультури осетрових риб [1].

Після досягнення молоддю бестера наприкінці травня середньої маси 2,38 г, вирощування гібрида здійснювали з годівлею комерційними комбікормами західноєвропейського виробництва із додатковим введенням до раціону створеного на основі бактерій *Bacillus subtilis* препарату пробіотичної дії «Субалін» українського виробництва. У контрольному варіанті вирощування риби отримували однаковий комбікорм без випробуваного пробіотика. Дозування препарату «Субалін» для введення до раціону риб обирали, спираючись на рекомендації виробника, однак із відповідними коригуваннями щодо мети рибницьких досліджень [4, 26].

Вживаність різних груп бестера у період досліджень визначали за результатами індивідуального обліку всієї кількості вирощених риб. Репродуктивні показники використаної у рибницьких роботах самиці бестера визначали за відношенням маси відібраної овульованої ікри до маси тіла риби та за рівнем розвитку зародків на різних стадіях ембріогенезу. Продуктивні показники молоді гібрида оцінювали на підставі вимірювань маси тіла риб. Під час виконання рибницьких досліджень застосовували поширені в іхтіології та рибництві методики [27, 28].

Дослідження та оцінку гідрохімічних показників щодо їх відповідності вимогам аквакультури осетрових риб проводили за загальноприйнятими методиками, описаними О. О. Альокінін (1970, 1973) та іншими авторами, по-



sturgeon hybrid were studied, which have a common origin and were grown under identical abiotic environmental factors and at the same stocking density in the tanks of the “Biosyla” farm. Selection of bester individuals for cytogenetic studies at the end of the entire growing cycle was carried out randomly in the period from 18.09.2025 from two tanks. In one of them, fish were grown with the additional introduction of the probiotic preparation “Subalin” to the diet in an amount of 0.03% of the weight of the main feed (experiment), and in the other (control), the bester was grown without adding this probiotic to the diet. From each group of fish, 15 individuals of bester were used for cytogenetic evaluation.

Blood samples from bester juvenile for cytogenetic studies were taken in a standard manner from the caudal vein with a sterile syringe. During all technological manipulations, the rules of asepsis and antiseptics were followed. In the process of cytogenetic evaluation of bester juvenile, a micronucleus test was used based on the results of counting peripheral blood cells with abnormalities in the nuclear structure. The preparations were prepared using the crushed drop method (two drops of saline (0.6%) and a drop of blood were applied to degreased slides). Samples were dried in the field, fixed with methyl alcohol (30 min) and stained according to the Romanovsky method with standard Giemsa stain (3–4 h). During cytogenetic analysis, the frequency of micronucleated erythrocytes (MNE) was determined, the number of micronucleated lymphocytes (MNL), binucleated lymphocytes (BL) and apoptosis were counted in at least 1000 cells. Blood cell studies were performed using a Primo Star binocular microscope (Carl Zeiss Jena) with a magnification of 100×/1.25 with immersion. The obtained values of cytogenetic abnormalities were expressed in ppm (%) [32]. The detected cytogenetic abnormalities were photographed using

рівнюючи отримані дані з наявними в Україні нормативними значеннями для рибогосподарських підприємств [29–31]. Контроль показників температури води та концентрації розчиненого у воді кисню здійснювали з використанням термооксиметра «ОхуGuard®» («Polaris C»).

Для оцінки показників виявлених цитогенетичних аномалій у клітинах периферичної крові бестера досліджували дві групи цього осетрового гібрида, що мають спільне походження та вирощувалися за ідентичних абіотичних чинників середовища та однакової густоти посадки в басейнах господарства «Біосила». Відбір особин бестера для цитогенетичних досліджень наприкінці всього циклу вирощування здійснювали випадково 18.09.2025 р. із двох басейнів. В одному з них риб вирощували із додатковим введенням до раціону препарату пробіотичної дії «Субалін» в кількості 0,03% від маси основного корму (дослід), а в іншому (контроль) бестера вирощували без додавання цього пробіотика до раціону. З кожної групи риб для цитогенетичної оцінки використано по 15 особин бестера.

Відбір зразків крові у молоді бестера для цитогенетичних досліджень здійснювали стандартним способом із хвостової вени стерильним шприцом. У процесі виконання усіх технологічних маніпуляцій дотримувались правил асептики та антисептики. У процесі цитогенетичної оцінки молоді бестера використовували мікроядерний тест за результатами підрахунку клітин периферичної крові з порушеннями структури ядра. Препарати готували методом роздавленої краплі (на знежирені предметні скельця наносили дві краплі фізрозчину (0,6%) і краплю крові). Зразки в польових умовах підсушували, фіксували метиловим спиртом (30 хв) та фарбували за методом Романовського стан-



a digital camera “Canon” (Powershot G6, Great Britain). The statistical significance of differences between groups of fish regarding detected cytogenetic abnormalities was assessed using the Student’s t-test [33].

The processing of hydrochemical and cytogenetic samples was carried out using the equipment of the laboratories of ecological and molecular genetic research of the Institute of Fisheries of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine.

During the study, the rules and regulations of bioethics were observed [34, 35].

STUDY RESULTS AND THEIR DISCUSSION

A comprehensive approach to clarifying the impact of certain technological methods of their cultivation on aquatic organisms primarily requires an analysis of the chemical composition of the water used in the process of reproduction and cultivation of the studied aquaculture objects. Therefore, the main chemical parameters of the water entering the “Biosyla” farm tanks from the power plant discharge channel did not significantly deviate from the regulatory requirements for sturgeon farms without the use of recirculating aqua systems in Ukraine during the entire

дартним барвником Гімза (3–4 год). Під час цитогенетичного аналізу визначали частоту виникнення еритроцитів з мікроядрами (ЕМЯ), підраховували кількість лімфоцитів з мікроядрами (ЛМЯ), двоядерних лімфоцитів (ДЛ) та апоптозів не менше ніж у 1000 клітинах. Дослідження клітин крові проводили за допомогою бінокулярного мікроскопа «Primo Star» («Carl Zeiss Jena») зі збільшенням 100×/1,25 з імерсією. Отримані значення цитогенетичних порушень виражали у проміле (‰) [32]. Виявлені цитогенетичні аномалії фотографували за допомогою цифрового фотоапарата «Canon» (Powershot G6, Great Britain). Статистичну достовірність відмінностей між групами риб щодо виявлених цитогенетичних аномалій оцінювали за критерієм Ст’юдента (t_{st}) [33].

Опрацювання гідрохімічних і цитогенетичних проб проводили із використанням приладної бази лабораторії екологічних та молекулярно-генетичних досліджень Інституту рибного господарства Національної академії аграрних наук України.

Під час виконання досліджень були дотримані правила і норми біоетики [34, 35].

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Комплексний підхід щодо з’ясування впливу на гідробіонтів певних технологічних прийомів їх культивування насамперед потребує аналізу хімічного складу води, яка використовується у процесі відтворення та вирощування досліджуваних об’єктів аквакультури. Отже, основні хімічні показники води, що надходила у басейни господарства «Біосила» зі скидного каналу енергетичної установки, впродовж всього періоду досліджень істотно не відхилялись від чинних в Україні нормативних вимог для осетрових господарств без



study period [26, 31]. The pH did not exceed 8.3 and was mostly within the range of 7.8–8.1. Sometimes a slight excess of the standards was recorded for the permanganate oxidation of water (no more than 18.5 mg O/dm³ with a standard value of up to 15.0 mg O/dm³). The content of free ammonia in the water was up to 0.04 mg N/dm³ and was within the regulatory values. Occasionally, a slight increase in the concentration of ammonium nitrogen was noted (up to 0.78–1.16 mg N/dm³, compared to the existing norm of up to 0.5 mg N/dm³). The maximum content of nitrites and nitrates in water was at the level of 0.07 and 2.21 mg N/dm³, respectively, which can be considered satisfactory values. The concentration of mineral phosphorus and total iron did not exceed 0.30 mg P/dm³ and 1.21 mg Fe/dm³, which is close to the regulatory values. The water had an average level of mineralization with the sum of ions up to 407.0 mg/dm³ and, according to the classification of O. Alyokin, belonged to the hydrocarbonate class of the calcium group.

During the reproduction of bester in artificial conditions and the subsequent growing of its juveniles to viable stages using a recirculating aqua system, the chemical composition of the water was typical of fish farming water supply systems of this type. The content of ammonium nitrogen in water was within the range of 0.05–1.02 mg N/dm³. The concentration of free ammonia did not increase beyond 0.04 mg N/dm³. The content of nitrites and nitrates in the water, depending on the operating mode of the recirculation water purification system, was 0.05–0.10 mg N/dm³ and 2.9–25.0 mg N/dm³, respectively. The value of the total hardness of water ranged from 5.4 to 7.0 mg-eq./dm³. The concentration of dissolved oxygen in water was maintained at a level not lower than 6.8–7.0 mg O₂/dm³ [26].

Overall, the results of the general hy-

застосування рециркуляційних аквасистем [26, 31]. Водневий показник (рН) не перевищував 8,3 і здебільшого перебував у межах 7,8–8,1. Іноді реєстрували незначне перевищення нормативів за показником перманганатної окиснюваності води (не більше ніж 18,5 мг О/дм³ за нормативної величини до 15,0 мг О/дм³). Вміст у воді вільного аміаку становив до 0,04 мг N/дм³ і був у межах нормативних значень. Зрідка відмічали деяке підвищення концентрації амонійного азоту (до 0,78–1,16 мг N/дм³ за існуючої норми — до 0,5 мг N/дм³). Максимальний вміст у воді нітритів і нітратів перебував на рівні відповідно 0,07 та 2,21 мг N/дм³, що можна вважати задовільними значеннями. Концентрація мінерального фосфору і загального заліза не перевищувала 0,30 мг P/дм³ та 1,21 мг Fe/дм³, що наближається до нормативних значень. Вода мала середній рівень мінералізації із сумою йонів до 407,0 мг/дм³, і за класифікацією О. О. Альокіна належала до гідрокарбонатного класу групи кальцію.

Під час відтворення бестера в заводських умовах та подальшого вирощування його молоді до життєстійких стадій із використанням рециркуляційної аквасистеми хімічний склад води був характерним для рибницьких систем водопостачання цього типу. Вміст у воді амонійного азоту перебував у межах 0,05–1,02 мг N/дм³. Концентрація вільного аміаку не підвищувалась за межі 0,04 мг N/дм³. Вміст у воді нітритів і нітратів, в залежності від режиму роботи системи очищення рециркуляційної води, становив відповідно 0,05–0,10 мг N/дм³ та 2,9–25,0 мг N/дм³. Величина загальної твердості води коливалась у межах 5,4–7,0 мг-екв./дм³. Концентрацію розчиненого у воді кисню підтримували на рівні не нижче ніж 6,8–7,0 мг O₂/дм³ [26].

Загалом, результати загального гід-



drochemical analysis indicate a satisfactory quality of the environment, which was suitable for sturgeon aquaculture.

We previously established that in the tanks with brood sturgeons in the “Biosyla” fish farm, an increase in water temperature to 28.5–33.7°C was observed from July to September 2022–2024. The recorded values significantly exceeded the favourable values for sturgeon, which are usually considered to be a level not higher than 25–26°C. The indicated periods with maximum water temperature values were accompanied by a decrease in the content of dissolved oxygen in water to 3.5–4.9 mg O₂/dm³, which is below favorable values for sturgeon fish [4, 25]. That is, in general, the aforementioned abiotic environmental factors could have a negative impact on the processes of fish development and growth, in particular on the development of the reproductive system of sturgeon broodstock used in the studies during artificial reproduction.

Our previously published study showed that the body weight of an age-13 female bester selected for reproduction was 22.12 kg. Two age-15 and age-17 beluga males used for artificial reproduction weighed 31.07 and 42.73 kg, respectively. Despite the above-mentioned adverse environmental factors, the broodstock used in conditions of recirculating water supply demonstrated high reproductive capacity. The amount of mature eggs obtained was 4.68 kg with a ratio of the weight of the selected ovulated eggs to the body weight of the female bester of 21.2%. By the late gastrula stage, the average embryo development rate in the bester eggs divided into different incubation devices was 96.5%. The average yield of prelarvae (postembryos) was 89.8%. Bester juveniles were characterized by high average yield at all stages of cultivation. After the fish reached an average weight of 2.07 g, this value was 72.1% and it increased to 92.8–94.6%

рохімічного аналізу вказують на задовільну якість середовища, яке було придатним для аквакультури осетрових риб.

Раніше нами було встановлено, що у басейнах із племінним матеріалом осетрових риб господарства «Біосила» у період з липня до вересня 2022–2024 рр. спостерігалось підвищення температури води до 28,5–33,7°C. Зареєстровані значення істотно перевищували сприятливі показники для осетрових риб, якими зазвичай прийнято вважати рівень не вище 25–26°C. Зазначені періоди з максимальними значеннями температури води супроводжувались зниженням вмісту розчиненого у воді кисню до 3,5–4,9 мг O₂/дм³, що нижче сприятливих величин для осетрових риб [4, 25]. Тобто, загалом зазначені абіотичні чинники середовища могли негативно впливати на процеси розвитку і росту риб, зокрема на формування репродуктивної системи використаних у дослідженнях під час заводського відтворення плідників осетрових риб.

У раніше опублікованих нами матеріалах досліджень рибницького спрямування повідомлялось, що маса тіла відібраної з метою відтворення 13-річної самиці бестера становила 22,12 кг. Використані для робіт зі штучного відтворення два самці білуги 15- та 17-річного віку мали масу відповідно 31,07 та 42,73 кг. Незважаючи на відмічені вище несприятливі чинники середовища, використані плідники в умовах рециркуляційного водопостачання продемонстрували високу репродуктивну здатність. Кількість отриманих зрілих статевих продуктів становила 4,68 кг, за показника відношення маси відібраної овульованої ікри до маси тіла самиці бестера 21,2%. До стадії пізньої гастрული в розділеній на різні інкубаційні апарати ікри бестера середній показник розвитку ембріонів перебував на рівні



in fish with an average weight of 24.21–26.46 g. In the conditions of a recirculating aquatic system in the experimental feeding variant with the addition of the probiotic drug “Subalin” to the fish diet, the final weight of the bester juvenile exceeded the control values by an average of 8.0% [26].

At the final stage of the study, from the first decade of July to the second decade of September, the cultivation of bester yearlings occurred in the absence of environmental thermoregulation with water supply to the tanks directly from the discharge channel of the power plant. Almost half of this final period of growing of juvenile bester, which lasted a total of 77 days, was characterized by an increase in water temperature to 28.1–31.3°C with an average value of 30.1°C.

Together with testing the results of introducing the probiotic “Subalin” into the diet of the bester, the registered significant increase in the heat load on the fish’s body was the main reason for conducting cytogenetic studies at the end of the entire cycle of growing the sturgeon hybrid seeds.

The experimental group of fish used for cytogenetic evaluation grown with the introduction of the probiotic “Subalin” into the diet consisted of 15 individuals of bester weighing 107–151 g (average 128.80±3.42 g, Cv=10.29%). In the control group of fish grown without the introduction of the tested probiotic into the diet, 15 specimens of bester with a body weight of 93–132 g (average 110.73±2.86 g, Cv=9.99%) were also used for cytogenetic studies. The fish hatch rate at this stage of rearing in both groups was 100%.

To assess the impact of the complex of environmental factors on the genetic apparatus of the two studied groups of bester juvenile, a micronucleus test and analysis of the frequency of apoptosis in peripheral blood cells of fish were performed. The results of the cytogenetic studies showed that the nuclear erythrocytes in the blood

96,5%. Середній вихід передличинки (постембріонів) становив 89,8%. Високими середніми показниками виходу характеризувалась молодь бестера на всіх етапах вирощування. Після досягнення рибами середньої маси 2,07 г цей показник становив 72,1%, а у риб із середньою масою 24,21–26,46 г він підвищувався до 92,8–94,6%. В умовах рециркуляційної аквасистеми у дослідному варіанті годівлі із додаванням до раціону риб препарату пробіотичної дії «Субалін» кінцева маса молоді бестера перевищувала показники у контролі в середньому на 8,0% [26].

На заключному етапі досліджень, у період з першої декади липня до другої декади вересня, вирощування цьоголіток бестера відбувалось за відсутності терморегуляції середовища із водопостачанням басейнів безпосередньо зі скидного каналу енергетичної установки. Майже половина цього завершального періоду вирощування молоді бестера, який загалом тривав 77 днів, характеризувалась підвищенням температури води до 28,1–31,3°C за середнього значення 30,1°C.

Тестування результатів введення до раціону бестера пробіотика «Субалін» разом із зареєстрованим істотним підвищенням теплового навантаження на організм риб були основною підставою для проведення цитогенетичних досліджень наприкінці всього циклу вирощування посадкового матеріалу осетрового гібрида.

Використана для цитогенетичної оцінки дослідна група риб, вирощена із введенням до раціону пробіотика «Субалін», складалась із 15 особин бестера масою 107–151 г (в середньому 128,80±3,42 г, Cv=10,29%). У контрольній групі риб, вирощених без введення до раціону випробуваного пробіотика, для цитогенетичних досліджень теж використано 15 екз. бестера з масою тіла 93–132 г (в середньому 110,73±2,86 г, Cv=9,99%).



cells of the bester were oval in shape with dense clearly defined nuclei (Fig. 1). This made it possible to easily differentiate them from lymphocytes and count each type of micronucleated cell separately.

It is known that the development of micronuclei in the cytoplasm of erythrocytes is induced by clastogenic and aneugenic genotoxic agents. Accordingly, an increased frequency of cells with micronuclei is a biomarker of genotoxic effects that may arise as a result of the combined action of these mutagens [36]. In our opinion, in some of the examined individuals of the bester, micronuclei developed under the action of clastogenic agents were detected, as indicated by their relatively small size (Fig. 2).

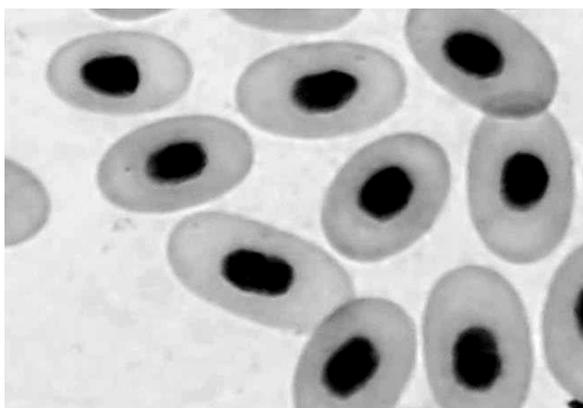


Fig. 1. Normal erythrocytes of bester (© Glushko, Yu.)

The previously cited literature data indicates that this phenomenon may occur as a result of damage to the primary DNA structure in chromosomes. This leads to the development of acentric chromosome fragments, which subsequently form accompanying micronuclei in the cytoplasm of the cell. These nuclei are much smaller in size compared to the main nucleus, which is noticeable in the photo (see Fig. 2).

It should be noted that in the erythrocytes of both studied bester groups, isolated cases of the development of binucleated

Рівень виходу риб на цьому етапі вирощування в обох групах становив 100%.

Для оцінки впливу комплексу екологічних чинників середовища на генетичний апарат двох досліджуваних груп молоді бестера було виконано мікроядерний тест та аналіз частоти апоптозу в клітинах периферичної крові риб. Результати проведених цитогенетичних досліджень показали, що в клітинах крові бестера ядерні еритроцити були овальної форми зі щільними, чітко вираженими ядрами (рис. 1). Це давало можливість легко їх диференціювати з лімфоцитами та підраховувати кожен тип клітин з мікроядрами окремо.

Відомо, що формування мікроядер в цитоплазмі еритроцитів індукують

кластогенні та анеугенні генотоксичні агенти. Відповідно, підвищена частота клітин з мікроядрами є біомаркером генотоксичних ефектів, які можуть виникати в результаті сумарної дії цих мутагенів [36]. На нашу думку, в окремих із обстежених особин бестера виявлені мікроядра сформовані під дією кластогенних агентів, на що вказують їх відносно невеликі розміри (рис. 2).

У попередньо наведених літературних даних зазначається, що це явище може відбуватися внаслідок пошкодження первинної структури ДНК в хромосомах. Це



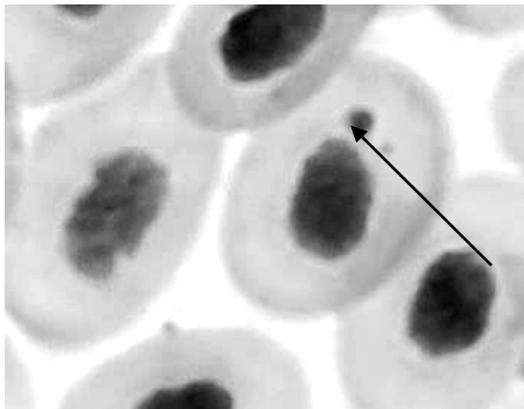


Fig. 2. Erythrocyte with a micronucleus (© Glushko, Yu.)

erythrocytes were observed (Fig. 3).

According to other researchers, it is known that the mechanism of development of cells with micronuclei can differ significantly in different cell populations. The white blood cells of sturgeons are lymphoid in nature [37]. Therefore, for a comprehensive assessment of the destabilization level of the chromosomal apparatus of these fish, in addition to disorders in erythrocytes, we took into account the count of abnormal lymphocytes. The process of micronucleus development in lymphocytes is complex in nature. On the one hand, this may be the result of chromosomal aberrations and chromosome lagging during mitotic division, on the other hand, it may be the result of spindle dis-

призводить до утворення ацентричних фрагментів хромосом, які в подальшому формують супутні мікроядра в цитоплазмі клітини. Ці ядра бувають значно меншого розміру порівняно з основним ядром, що помітно на фото (рис. 2).

Слід зазначити, що в еритроцитах обох досліджуваних груп бестера спостерігали поодинокі випадки формування двоядерних еритроцитів (рис. 3).

З даних інших дослідників відомо, що механізм утворення клітин із мікроядрами може істотно відрізнятися в різних клітинних популяціях. Клітини білої крові осетрових риб мають лімфоїдний характер [37]. Тому для комплексної оцінки рівня дестабілізації хромосомного апарату цих риб,

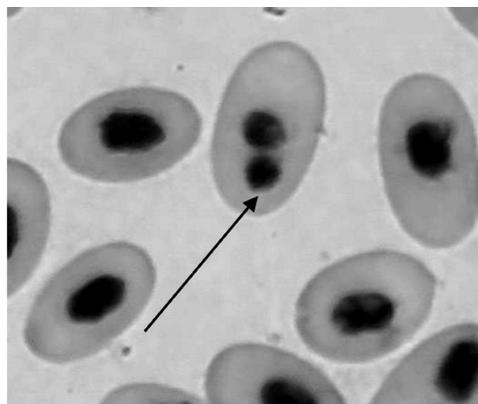
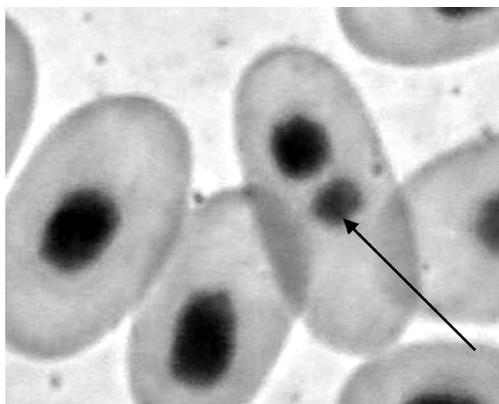


Fig. 3. Erythrocytes with two nuclei (© Glushko, Yu.)



ruption and multipolar mitoses [38]. Lymphocytes, as cells of the immune system, belong to the agranulocyte group of leukocytes, which provide humoral and cellular immunity and regulate the activity of other types of cells. Lymphocytes, unlike other shaped blood cells, such as erythrocytes, can divide in various lymphoid organs – thymus, spleen, lymphatic organ, etc. [39]. This gave us the opportunity to more objectively assess the impact of the growing conditions of two groups of bester juvenile on the background of the use of the probiotic preparation “Subalin” in the feeding of one of the groups of the hybrid. The nucleus initially forms a lobe, which exfoliates, forming a micronucleus in the cell’s cytoplasm (Fig. 4a).

The count of binuclear lymphocytes was also taken into account (Fig. 4b). This phenomenon in bester peripheral blood cells reflects a disturbance in the final stage of mitotic division – cytokinesis. It should be noted that the development of micronuclei may be due to the disruption of various cellular mechanisms. Increased numbers of cells with micronuclei are a biomarker of genotoxic effects that can occur as a result of exposure to both clastogenic and aneugenic agents [40].

At the same time, in addition to the micronucleus test, our studies also included a comparative analysis of the number of ap-

окрім порушень в еритроцитах, нами було враховано кількість аномальних лімфоцитів. Процес утворення мікроядер в лімфоцитах має складну природу. З одного боку, це може бути результат хромосомних аберацій і відставання хромосом в процесі мітотичного поділу, з іншого боку – результат порушення веретена поділу та багатополосних мітозів [38]. Лімфоцити, як клітини імунної системи, належать до лейкоцитів групи агранулоцитів, які забезпечують гуморальний та клітинний імунітет, регулюють діяльність клітин інших типів. Лімфоцити, на відміну від інших формених тілець крові, наприклад, еритроцитів, можуть ділитися в різних лімфоїдних органах – тимусі, селезінці, лімфатичному органі тощо [39]. Це дало нам можливість об’єктивніше оцінити вплив умов вирощування двох груп молоді бестера на фоні застосування препарату пробіотичної дії «Субалін» у годівлі однієї з груп гібрида. Ядро спочатку формує лопать, яка відшаровується, утворюючи мікроядро в цитоплазмі клітини (рис. 4а).

Також враховували кількість двоядерних лімфоцитів (рис. 4б). Це явище у клітинах периферичної крові бестера відображає порушення в проходженні кінцевої стадії мітотичного поділу – цитокінезу. Слід звернути увагу на те,

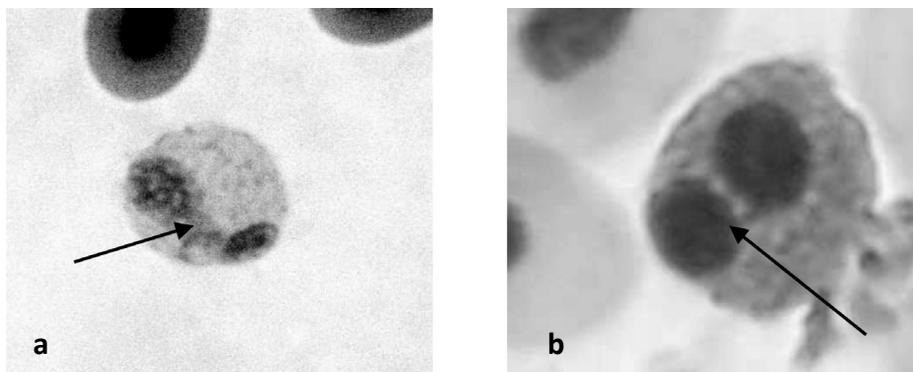


Fig. 4. Lymphocytes: (a) lymphocyte with micronucleus, (b) binucleate lymphocyte (© Glushko, Yu.)



optosis, one of the main functions of which is the destruction of defective (damaged, mutant) cells. In the fish body, apoptosis plays an extremely important role in maintaining cellular homeostasis and ensuring the development and functioning of the immune system (Fig. 5).

Due to the increased influence of external factors on the environment for growing juvenile bester in conditions of increased thermal stress, the micronucleus test was used as an integral indicator of destabilization of the chromosomal apparatus of fish, which reflects the total effect of endogenous and exogenous factors on the hereditary apparatus. According to the results of the studies, no bester individuals were identified that would be characterized by high values of micronucleated erythro-

що формування мікроядер може бути зумовлено порушенням різних клітинних механізмів. Підвищена кількість клітин із мікроядрами є біомаркером генотоксичних ефектів, які можуть виникати внаслідок впливу як кластогенних, так і анеугенних агентів [40].

Водночас, крім мікроядерного тесту в наших дослідженнях був здійснений порівняльний аналіз кількості апоптозів, однією з основних функцій яких є знищення дефектних (пошкоджених, мутантних) клітин. В організмі риб апоптоз відіграє надзвичайно важливу роль у підтриманні клітинного гомеостазу і забезпеченні розвитку та функціонування імунної системи (рис. 5).

У зв'язку зі збільшенням впливу зовнішніх чинників на середовище вирощу-



Fig. 5. Apoptosis in a bester from the control group of fish (© Glushko, Yu.)

cytes (MNE), micronucleated lymphocytes (MNL), and binuclear lymphocytes (BL) at the individual level (Table)

Based on the calculation of the individual level of cytogenetic indicators, the average values for each bester group were established, which are shown in Fig. 6. However, despite the fact that both groups of besters were kept under identical conditions, intergroup differences were found.

The results of the micronucleus test of the experimental and control groups

вання молоді бестера в умовах підвищеного теплового навантаження, мікроядерний тест був використаний як інтегральний показник дестабілізації хромосомного апарату риб, який відображає сумарну дію ендогенних та екзогенних чинників на спадковий апарат. За результатами досліджень, не виявлено особин бестера, які б характеризувались високими значеннями еритроцитів із мікроядрами (ЕМЯ), лімфоцитів із мікроядрами (ЛІМЯ) та двоядерних лімфоцитів (ДЛ) на індивідуальному рівні (таблиця).



Table. Cytogenetic parameters in peripheral blood cells of bester juveniles, ‰

No	MNE		MNL		BL		Apoptosis	
	experiment*	control	experiment	control	experiment	control	experiment	control
1	5	4	1	2	3	3	3	3
2	4	3	1	1	2	3	3	2
3	4	4	1	2	3	4	2	4
4	3	3	0	1	3	2	3	3
5	4	4	1	2	1	3	2	4
6	4	3	1	3	3	3	4	4
7	5	6	2	1	1	4	3	3
8	4	4	1	1	2	3	3	5
9	5	5	2	1	2	4	3	4
10	4	5	1	1	3	3	4	4
11	6	4	2	2	2	3	3	3
12	4	3	1	1	2	4	3	3
13	5	5	1	2	1	3	4	4
14	5	4	1	1	2	2	3	5
15	4	5	2	2	3	3	4	3
M±m	4.4±0.3	4.1±0.2	1.2±0.2	1.5±0.2	2.0±0.2	3.1±0.2	3.1±0.2	3.6±0.2

Note. * The experiment is a group of fish with the introduction of the drug "Subalin" into the diet; the control is a group of fish grown without the introduction of the drug "Subalin" into the diet.

of bester showed that in both cases the fish were characterized by relatively low values of erythrocytes with micronuclei. Comparative analysis showed that the experimental group of fish demonstrated slightly higher values of erythrocytes with micronuclei ($4.4 \pm 0.3\%$) compared to the control ($4.1 \pm 0.3\%$). However, these dif-

На основі підрахунку індивідуального рівня цитогенетичних показників було встановлено середні значення для кожної групи бестера, які наведено на рисунку 6. Проте, незважаючи на той факт, що обидві групи бестера утримувались в ідентичних умовах, було виявлено міжгрупові відмінності.

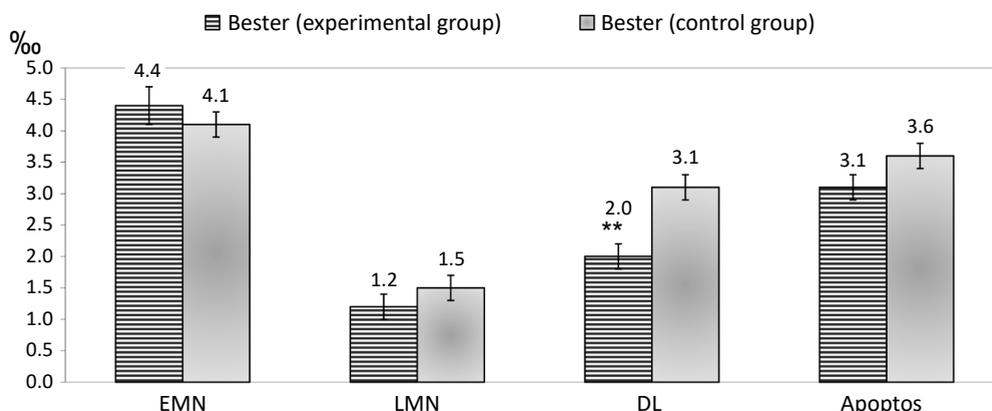


Fig. 6. Comparative analysis of cytogenetic indicators for two groups of bester juveniles (LLC "Biosyla")



ferences were insignificant and not statistically significant.

According to literature data, in studies of other sturgeon species, in particular Russian sturgeon and sterlet, the level of erythrocytes with micronuclei was on average 3.2‰ and 5.3‰, respectively, which, according to the authors' conclusions, indicates a low probability of mutagenesis and genotoxicity of the fish habitat [41]. At the same time, some literature sources indicate that the level of erythrocytes with micronuclei directly depends on the ecological state of water bodies [19].

According to the results of our studies, the relative count of erythrocytes with micronuclei in the blood of both groups of besters was within the background reference values, and a slight increase in this parameter can be primarily explained by active erythropoiesis in besters juveniles, which were characterized by a high growth rate. This phenomenon can also be partially attributed to an increase in water temperature beyond favorable values, which could have caused a stress reaction in fish. This assumption is supported by well-known data that nuclear aberrations (micronuclei) can be induced not only by stressful factors that disrupt cellular homeostasis during mitosis but also be developed naturally in the process of active cellular metabolism during active growth and development of the organism.

No statistically significant intergroup differences were observed in the count of lymphocytes with micronuclei. However, it should be noted that the experimental group of fish is characterized by lower average values of the parameter ($1.2 \pm 0.2\%$).

Comparative analysis of the level of binuclear lymphocytes shows that the bester experimental group is characterized by statistically significant lower values of this cytogenetic abnormality ($P < 0.01$; $t_{st} = 2.8$). This indicates a more stable genetic apparatus of fish fed the probiotic drug "Suba-

За результатами мікроядерного тесту дослідної та контрольної груп бестера було встановлено, що в обох випадках риби характеризувалися відносно невисокими значеннями еритроцитів з мікроядрами. Порівняльний аналіз показав, що дослідна група риб демонструвала дещо вищі значення еритроцитів з мікроядрами ($4,4 \pm 0,3\%$) у порівнянні з контролем ($4,1 \pm 0,3\%$). Проте, ці відмінності є незначними і не мають статистично достовірного значення.

Згідно з літературними даними, у дослідженнях інших представників осетрових риб, зокрема руського осетра та стерляді, рівень еритроцитів із мікроядрами в середньому становив 3,2 та 5,3‰ відповідно, що, за висновками авторів, свідчить про низьку вірогідність мутагенезу та генотоксичності середовища існування риб [41]. Водночас, у деяких літературних джерелах зазначається, що рівень еритроцитів з мікроядрами безпосередньо залежить від екологічного стану водойм [19].

За результатами наших досліджень, відносна кількість еритроцитів з мікроядрами в крові обох груп бестера була в межах фонових референтних значень, а незначне підвищення цього показника в першу чергу можна пояснити активним еритропоезом у молоді бестера, яка характеризувалась високим темпом росту. Це явище також частково можна пов'язати з підвищенням температури води за межі сприятливих величин, що могло викликати стресову реакцію риб. Таке припущення підтверджується загальновідомими даними стосовно того, що ядерні аберації (мікроядра) можуть бути індуковані не лише стресувальними чинниками, що порушують клітинний гомеостаз під час мітозу, але й утворюватися природним шляхом у процесі активного клітинного метаболізму під час активного росту і розвитку організму.



lin". The average values of this parameter in the experimental group of the hybrid were $2.0 \pm 0.2\%$ versus $3.1 \pm 0.2\%$ in the control. Since both groups of fish were in identical rearing conditions, in our opinion, this phenomenon may to some extent be a consequence of the improvement of the immune status and increased resistance of the experimental group of bester to the action of stressful factors of various nature.

The control group of bester also had higher values in terms of the number of apoptosis ($3.6 \pm 0.2\%$), which may be the result of greater elimination of genetically defective cells through programmed cell death.

Therefore, in order to obtain objective and operational information about the state of the chromosomal apparatus of sturgeons, it is advisable to use cytogenetic indicators based on the micronucleus test in both erythrocytes and lymphocytes of the blood of fish. At the same time, it is necessary to expand research on determining the impact of external factors complex with various origins on the ecological state of water bodies used for the sturgeon aquaculture development under conditions of increased anthropogenic load.

За кількістю лімфоцитів з мікроядрами також не спостерігали статистично достовірних міжгрупових відмінностей. Проте, слід зазначити, що дослідна група риб характеризувалася нижчими середніми значеннями показника ($1,2 \pm 0,2\%$).

Порівняльний аналіз рівня двоядерних лімфоцитів показує, що для дослідної групи бестера є характерними статистично достовірні нижчі значення цієї цитогенетичної аномалії ($P < 0,01$; $t_{st} = 2,8$). Це вказує на стабільніший генетичний апарат риб, до раціону яких вводили пробіотичний препарат «Субалін». Середні значення цього показника в дослідній групі гібрида становили $2,0 \pm 0,2\%$ проти $3,1 \pm 0,2\%$ у контролі. Оскільки обидві групи риб перебували в ідентичних умовах вирощування, на нашу думку, це явище певною мірою може бути наслідком покращення імунного статусу та підвищення резистентності дослідної групи бестера до дії стресувальних чинників різної природи.

За кількістю апоптозів вищими значеннями характеризувалася також контрольна група бестера ($3,6 \pm 0,2\%$), що може бути результатом більшої елімінації генетично дефектних клітин шляхом програмованої клітинної загибелі.

Отже, з метою отримання об'єктивної і оперативної інформації щодо стану хромосомного апарату осетрових риб доцільно використовувати цитогенетичні показники на основі мікроядерного тесту як в еритроцитах, так лімфоцитах крові риб. Водночас, необхідно розширити дослідження щодо визначення впливу комплексу зовнішніх чинників різного походження на екологічний стан водних об'єктів, що використовуються для розвитку аквакультури осетрових риб в умовах посиленого антропогенного навантаження.



CONCLUSION AND PERSPECTIVES OF FURTHER DEVELOPMENT

For the first time, cytogenetic indicators of age-0+ hybrid sturgeon bester grown in specific conditions of the industrial-type sturgeon farm tanks of “Biosila LLC” using warm waste water from a power plant were assessed.

The bester juveniles used for the evaluation of cytogenetic indicators are the descendants of breeders, the cultivation of which took place under periodic significant excess of the normative values of water temperature. At the same time, it was established that the increased heat load on the organism of broodstock during certain periods of the development of the reproductive system of fish did not cause a noticeable negative impact on reproductive performance. The ratio of the weight for the selected ovulated eggs to the body weight of the female bester used for the purpose of artificial reproduction was 21.2% with an average rate of post-embryo release from incubation devices of 89.8%, which are high values.

High growth and yield rates at all stages of cultivation in tanks were demonstrated by the bester juveniles used for cytogenetic studies with a final average body weight of 110.7–128.8 g. The hydrochemical parameters of the environment of the tanks with hybrid juveniles were suitable for growing sturgeons, slightly exceeding the existing regulatory values. At the final stage of the study, during 33 days of observations, the water temperature increased to 28.1–31.3°C (on average 30.1°C), which significantly exceeds the recommended values for sturgeons (no more than 25–26°C).

The introduction of the probiotic preparation “Subalin” into the diet of bester juveniles in the amount of 0.03% of the weight of the main feed had a positive effect on the growth and viability of the fish.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО РОЗВИТКУ

Вперше здійснено оцінку цитогенетичних показників цього літоку гібрида осетрових бестера, вирощених у специфічних умовах басейнів осетрового господарства індустріального типу ТОВ «Біосила» із використанням теплої скидної води енергетичної установки.

Використана для оцінки цитогенетичних показників молодь бестера є нащадками плідників, вирощування яких відбувалося за періодичного значного перевищення нормативних значень температури води. Водночас, встановлено, що підвищене теплове навантаження на організм плідників в окремі періоди формування відтворювальної системи риб не спричинило помітного негативного впливу на репродуктивні показники. Відношення маси відібраної овульованої ікри до маси тіла у використаній з метою заводського відтворення самиці бестера становило 21,2% за середнього показника виходу постембріонів з інкубаційних апаратів на рівні 89,8%, що є високими значеннями.

Високі показники росту і виходу на всіх етапах вирощування в басейнах демонструвала використана для цитогенетичних досліджень молодь бестера за кінцевої середньої маси тіла 110,7–128,8 г. Гідрохімічні показники середовища басейнів з молоддю гібрида були придатними для вирощування осетрових риб за незначного перевищення чинних нормативних значень. На завершальному етапі досліджень упродовж 33 днів спостережень відбувалось підвищення температури води до 28,1–31,3°C (в середньому 30,1°C), що істотно перевищує рекомендовані значення для осетрових риб (не більше ніж 25–26°C).

Введення препарату пробіотичної дії «Субалін» до раціону молоді бестера в кількості 0,03% від маси основного корму позитивно вплинуло на прирости та



In general, the results of the assessment of cytogenetic indicators in the experimental and control groups of bester, respectively with the addition of the drug "Subalin" to the diet and without its introduction into the diet, indicate a satisfactory state of the chromosomal apparatus of the fish. The relative number of erythrocytes with micronuclei was characterized by relatively low values with a slight increase to the level of $4.4 \pm 0.3\%$ in fish of the experimental group. The identified intergroup differences in this indicator were not statistically significant. In terms of the count of lymphocytes with micronuclei, no statistically significant intergroup differences were found with low average values both in the experiment ($1.2 \pm 0.2\%$) and the control ($1.5 \pm 0.2\%$). At the same time, a comparative analysis of the level of detected binuclear lymphocytes showed that the experimental group of bester had statistically significantly lower values, namely $2.0 \pm 0.2\%$ versus $3.1 \pm 0.2\%$ in the control ($P < 0.01$; $t_{st} = 2.8$). This may indicate a more stable genetic apparatus and improved immune status of the experimental group of besters, whose diet was supplemented with the probiotic drug "Subalin".

The obtained results generally showed that in order to form objective information about the state of the chromosomal apparatus of bester juvenile, it is advisable to use a complex of cytogenetic indicators based on the micronucleus test in erythrocytes and lymphocytes of blood cells of this sturgeon hybrid.

Ultimately, cytogenetic control of the chromosomal apparatus of aquaculture facilities should become an integral part of the genetic examination of sturgeon breeding resources, since the introduction of cytogenetic tests into sturgeon breeding will allow for the rapid detection of signs and levels of somatic mutagenesis and the determination of the negative impact of a complex of adverse factors on the genome

життєздатність риб.

Загалом, результати оцінювання цитогенетичних показників дослідної і контрольної груп бестера, відповідно, із додаванням до раціону препарату «Субалін» та без його введення до раціону, вказують на задовільний стан хромосомного апарату риб. Відносна кількість еритроцитів з мікроядрами характеризувалася порівняно невисокими значеннями із незначним підвищенням до рівня $4,4 \pm 0,3\%$ у риб дослідної групи. Виявлені міжгрупові відмінності за цим показником не мали статистично достовірного значення. За кількістю лімфоцитів з мікроядрами теж не виявлено статистично достовірних міжгрупових відмінностей за низьких середніх значень як у досліді ($1,2 \pm 0,2\%$), так і у контролі ($1,5 \pm 0,2\%$). Водночас, порівняльний аналіз рівня виявлених двоядерних лімфоцитів показав, що дослідна група бестера статистично достовірно мала нижчі значення показника, а саме $2,0 \pm 0,2\%$ проти $3,1 \pm 0,2\%$ у контролі ($P < 0,01$; $t_{st} = 2,8$). Це може вказувати на стабільніший генетичний апарат та покращення імунного статусу дослідної групи бестера, до раціону якої вводили пробіотичний препарат «Субалін».

Отримані результати досліджень загалом засвідчили, що з метою формування об'єктивної інформації щодо стану хромосомного апарату молоді бестера доцільно використовувати комплекс цитогенетичних показників на основі мікроядерного тесту в еритроцитах та лімфоцитах клітин крові цього осетрового гібрида.

Зрештою, цитогенетичний контроль хромосомного апарату об'єктів аквакультури має стати невід'ємною частиною генетичної експертизи племінних ресурсів осетрових риб, оскільки запровадження у племінне осетрівництво цитогенетичних тестів дасть змогу швид-



of fish grown using intensive industrial fish farming technologies. Therefore, cytogenetic indicators of somatic mutagenesis can serve as operational biomarkers for monitoring stress load and assessing the adaptive potential of sturgeon fish in conditions of intensive aquaculture. The use of such methodological approaches makes it possible not only to improve technological schemes for the use of warm waste water from power plants for the needs of sturgeon aquaculture, but also to effectively control the genetic structure and health status of established breeding sturgeon stocks. As a result, these opportunities are critically important for preserving the gene pool of sturgeon in aquaculture and increasing the economic efficiency of farms.

In order to more effectively clarify the patterns of occurrence and level of somatic mutagenesis due to the influence of a complex of abiotic environmental factors on the genetic apparatus of sturgeon fish, it is possible to recommend further expansion of comprehensive ecological studies aimed at assessing the peculiarities of water pollution by toxicants of various origins capable of causing genotoxic effects.

Studies into the specifics of using warm waste water from power generation plants for fish farming needs, including an assessment of the level of cytogenetic disorders in the body of sturgeon fish in the general list of analyzed indicators, may contribute to the development of technological methods for sturgeon aquaculture in conditions of climate change.

ко виявляти ознаки і рівень соматичного мутагенезу та визначати негативний вплив дії комплексу несприятливих чинників на геном риб, вирощених за інтенсивних технологій індустріального рибництва. Отже, цитогенетичні показники за рівнем соматичного мутагенезу можуть слугувати оперативними біомаркерами для моніторингу стресового навантаження та оцінки адаптаційного потенціалу осетрових риб в умовах інтенсивної аквакультури. Застосування таких методичних підходів дає змогу не лише удосконалити технологічні схеми використання теплої скидної води енергетичних установок для потреб осетрової аквакультури, але й здійснювати ефективний контроль генетичної структури та стану здоров'я сформованих племінних стад осетрових риб. У підсумку, зазначені можливості є критично важливими для збереження генофонду осетрових риб в аквакультурі та підвищення економічної ефективності господарств.

З метою ефективнішого з'ясування закономірностей виникнення та рівня соматичного мутагенезу внаслідок впливу комплексу абіотичних чинників середовища на генетичний апарат осетрових риб можна рекомендувати подальше розширення комплексних досліджень екологічного характеру, спрямованих на оцінку особливостей забруднення водою токсикантами різного походження, здатними спричиняти генотоксичний вплив.

Дослідження особливостей використання теплої скидної води енергогенерувальних установок для потреб рибництва із включенням до загального переліку проаналізованих показників оцінки рівня цитогенетичних порушень в організмі осетрових риб може сприяти відпрацюванню технологічних прийомів осетрової аквакультури в умовах зміни клімату.



CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that there is no conflict of interest in this work.

SOURCES OF FUNDING

The work was carried out within the framework of budget funding under the thematic task of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine.

REFERENCES

1. Tretiak, O. M., Hrytsyniak, I. I., Kotsiuba, V. M., & Hankevych, B. O. (2008). Biologichna kharakterystyka ta tekhnologichni pryjomy kulyvuvannia dodatkovykh i netradytsiinykh ob'ektiv rybnystva. *Fermerske rybnystvo*. Kyiv: Herb, 333-361.
2. Tretiak, O. M., Hankevych, B. O., Kolos, O. M., & Yakovleva, T. V. (2010). Stan zapasiv osetrovykh ryb ta rozvytok osetrovoji akvakultury v Ukraini. *Rybohospodarska nauka Ukrainy*, 4, 4-22.
3. Bondarchuk, M. Ye., & Khartii, M. V. (2022). Svitovi tendentsii rozvytku rynku ikrianykh tovariv. *Efektivna ekonomika*, 2. www.economy.nayka.com.ua. Retrieved from : <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=10014>. <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2022.2.77>.
4. Onyshchuk, Yu., Tretiak, O., & Kolos, O. (2025). Effect of probiotic “Subalin” on the productive parameters of age-0+ sturgeon hybrid (Acipenseridae) — bester under conditions of thermal load. *Fisheries Science of Ukraine*, 2(72), 136-153. <https://doi.org/10.61976/fsu2025.02.136>.
5. Zaloilo, I. A., Zaloilo, O. V., Rud, Yu. P. & Hrytsyniak, I. I. (2021). Zastosuvannia probiotyktiv u akvakulturi. *Rybohospodarska nauka Ukrainy*, 2, 59-81. <https://doi.org/10.15407/fsu2021.02.059>.
6. Zarantoniello, M., Randazzo, B., & Nozzi, V., et al. (2021). Physiological responses of Siberian sturgeon (*Acip-*

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ

Автори стверджують, що у даній роботі конфлікт інтересів відсутній.

ДЖЕРЕЛА ФІНАНСУВАННЯ

Робота виконана в межах бюджетного фінансування за тематичним завданням Національної академії аграрних наук України.

ЛІТЕРАТУРА

1. Біологічна характеристика та технологічні прийоми культивування додаткових і нетрадиційних об'єктів рибництва / Третяк О. М. та ін. // Фермерське рибництво. Київ : Герб, 2008. С. 333—361.
2. Стан запасів осетрових риб та розвиток осетрової аквакультури в Україні / Третяк О. М. та ін. // Рибогосподарська наука України. 2010. № 4. С. 4—22.
3. Бондарчук М. Є., Хартій М. В. Світові тенденції розвитку ринку ікрянних товарів // Ефективна економіка. 2022. № 2. URL : <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=10014> (дата звернення : 26.10.2023). <http://doi.org/10.32702/2307-2105-2022.2.77>.
4. Onyshchuk Yu., Tretiak O., Kolos O. Effect of probiotic “Subalin” on the productive parameters of age-0+ sturgeon hybrid (Acipenseridae) — bester under conditions of thermal load // *Fisheries Science of Ukraine*. 2025. № 2(72) P. 136—153. <https://doi.org/10.61976/fsu2025.02.136>.
5. Застосування пробіотиків у аквакультурі (огляд) / Zaloilo I. A. та ін. // Рибогосподарська наука України. 2021. № 2. С. 59—81. <https://doi.org/10.15407/fsu2021.02.059>.
6. Physiological responses of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) juveniles fed on full-fat insect-based diet in an aquaponic system / Zarantoniello M. et al.



- enser baerii*) juveniles fed on full-fat insect-based diet in an aquaponic system. *Scientific Reports*, 11, 1057. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80379-x>.
7. Dobryanska, O., Deren, O., Simon, M., & Kolesnik, R. (2022). Use of prebiotic “Actigen” in fish feeding (a review). *Fisheries Science of Ukraine*, 3, 53-70.
 8. Deák, G., Burlacu, L., Lumânăroiu, L., Jawdhari, A., Gheorghe, P. I., Raischi, M., Holban, E., & Zakarya, I. A. (2023). Captive growth analysis of Siberian sturgeon juveniles (*Acipenser baerii* J. F. Brandt, 1869) fed on a commercial fodder and its importance to a sustainable development of the aquaculture sector. *IOP Conference Series. Earth and Environmental Science*, 1216(1), 012021. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1216/1/012021>.
 9. Zabytivskyi, Yu., Boretska, I., Kachai, H., Yurchak, S., & Tretiakova, T. (2023). Biologichni osoblyvosti orhanizmu molodi osetrovkyh (*Acipenseridae* Bonaparte, 1831) ryb za dii syntetychnoho ta orhanichnoho imunostymuliatoriv. *Rybohospodarska nauka Ukrainy*, 2, 109-128. <https://doi.org/10.15407/fsu2023.02.109>.
 10. Zabytivskyi, Yu. M., Tuchapskyi, Ya. V., Dobryanska, O. P., Boretska, I. M., & Vishchur O. I. (2024). Vplyv kompleksu probiotychnykh mikroorhanizmiv rodu *Bacillus* na rist, histolohichnu strukturu kyshechnyky ta opirnist orhanizmu molodi hibryda osetra. *Rybohospodarska nauka Ukrainy*, 3(69), 130-146. <https://doi.org/10.61976/fsu2024.03.130>.
 11. Pourmoradkhani, F., Moghanlou, K. S., Sohrabi, T., Imani, A., Gholizadeh, V., & Anzabi, M. P. (2024). Supplementation of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) diet with different zinc sources: Effects on growth performance, digestive enzymes activity, hemato-biochemical parameters, antioxidant response and liver // Scientific Reports. 2021. Vol. 11(1). P. 1057—1113. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80379-x>.
 7. Use of prebiotic “Actigen” in fish feeding (a review) / Dobryanska O. et al. // Fisheries Science of Ukraine. 2022. № 3. P. 53—70.
 8. Captive growth analysis of Siberian sturgeon juveniles (*Acipenser baerii* J. F. Brandt, 1869) fed on a commercial fodder and its importance to a sustainable development of the aquaculture sector / Deák G. et al. // IOP Conference Series. Earth and Environmental Science. 2023. Vol. 1216(1). 012021. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1216/1/012021>.
 9. 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. С. 109—128. <https://doi.org/10.15407/fsu2023.02.109>.
 10. Вплив комплексу пробіотичних мікроорганізмів роду *Bacillus* на ріст, гістологічну структуру кишечника та опірність організму молоді гібрида осетра / Забитівський Ю. М. та ін. // Рибогосподарська наука України. 2024. № 3(69). С. 130—146. <https://doi.org/10.61976/fsu2024.03.130>.
 11. Supplementation of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) diet with different zinc sources: Effects on growth performance, digestive enzymes activity, hemato-biochemical parameters, anti-oxidant response and liver histology / Pourmoradkhani F. et al. // Veterinary Research Communications. 2024. Vol. 48(2). P. 797—810. <https://doi.org/10.1007/s11259-023-10252-5>.
 12. Третяк О. М., Глушко Ю. М., Тарасюк С. І. Сезонна мінливість цитогенетичних характеристик у веслоноса



- histology. *Veterinary Research Communications*, 48(2), 797-810. <https://doi.org/10.1007/s11259-023-10252-5>.
12. Tretiak, O. M., Hlushko, Yu. M., & Tarasiuk, S. I. (2010). Sezonna minlyvist tsytohenetychnykh kharakterystyk u veslo nosa. *Rybohospodarska nauka Ukrainy*, 3, 25-31. *fsu.ua*. Retrieved from: https://fsu.ua/images/jurnal/2010-03/2010-03_025-31Tretiyak.pdf.
 13. Bestin, A., Brunel, O., Malledant, A., Debeuf, B., Benoit, P., Mahla, R., Chapuis, H., Guémené, D., Vandeputte, M., & Haffray, P. (2021). Genetic parameters of caviar yield, color, size and firmness using parentage assignment in an octoploid fish species, the Siberian sturgeon *Acipenser baeri*. *Aquaculture*, 540, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736725>.
 14. Belikova, O. Yu., Mariutsa, A. E., & Tretiak O. M. (2022). Analiz spetsyfyki henetychnoi struktury veslonosa (*Polyodon spathula* (Walbaum, 1792)) iz zastosuvanniam ISSR-markerv. *Rozvedennia i henetyka tvaryn*, 63, 153-160. <https://doi.org/10.31073/abg.63.14>.
 15. Mariutsa, A. E., Pashko, S. M., & Tretiak, O. M. (2023). Henetychna struktura sybirs'koho osetra (*Acipenser baerii* Brandt, 1869) za vykorystannia mizhmikrosatelitnoho analizu. Suchasni problemy ratsionalnoho vykorystannia vodnykh bioresursiv: V Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia. Kyiv: PRO FORMAT, 155-159. *if.org.ua*. Retrieved from: <https://if.org.ua/images/konf/2023kiev/2023kyiv.pdf>.
 16. Glushko, Y., Nahorniuk, T., & Tretiak, O. (2023). Genetic variability of paddlefish (*Polyodon spathula* (Walbaum, 1972)) brood stocks in aquaculture of Ukraine. SOFAS 2023: International Symposium on Fisheries and Aquatic Sciences, 24-26 October, 2023, Trabzon, Turkey: proceed. Trabzon, 40. *drive.google.com*. https://drive.google.com/file/d/1-p1LeDY8Ph35LzvNen0Z9GShx4f5k2-O/view?usp=drive_link (accessed : 23.03.2025).
 17. Глушко Ю. М., Третяк О. М., Пашко С. М. Цитогенетична оцінка си-
// Рыбогосподарська наука України. 2010. № 3. С. 25—31. URL : https://fsu.ua/images/jurnal/2010-03/2010-03_025-31Tretiyak.pdf (дата звернення : 23.03.2025).
 13. Genetic parameters of caviar yield, color, size and firmness using parentage assignment in an octoploid fish species, the Siberian sturgeon *Acipenser baeri* / Bestin A. et al. // *Aquaculture*. 2021. Vol. 540. P. 1—7. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736725>.
 14. Белікова О. Ю., Маріуца А. Е., Третяк О. М. Аналіз специфіки генетичної структури веслоноса (*Polyodon spathula* (Walbaum, 1792)) із застосуванням ISSR-маркерів // Розведення і генетика тварин. 2022. Вип. 63. С. 153—160. <https://doi.org/10.31073/abg.63.14>.
 15. Маріуца А. Е., Пашко С. М., Третяк О. М. Генетична структура сибірського осетра (*Acipenser baerii* Brandt, 1869) за використання міжмікросателітного аналізу // Сучасні проблеми раціонального використання водних біоресурсів : V Міжнар. наук.-практ. конф. : матер. Київ : ПРО ФОРМАТ, 2023. С. 155—159. URL : <https://if.org.ua/images/konf/2023kiev/2023kyiv.pdf> (дата звернення : 23.03.2025).
 16. Glushko Y., Nagorniuk T., Tretiak O. Genetic variability of paddlefish (*Polyodon spathula* (Walbaum, 1972)) brood stocks in aquaculture of Ukraine // SOFAS 2023 : International Symposium on Fisheries and Aquatic Sciences, 24-26 October, 2023, Trabzon, Turkey : proceed. Trabzon, 2023. P. 40. URL : https://drive.google.com/file/d/1-p1LeDY8Ph35LzvNen0Z9GShx4f5k2-O/view?usp=drive_link (accessed : 23.03.2025).
 17. Глушко Ю. М., Третяк О. М., Пашко С. М. Цитогенетична оцінка си-



- Retrieved from: https://drive.google.com/file/d/1-p1LeDY8Ph35LzvNen-0Z9GShx4f5k2-O/view?usp=drive_link.
17. Hlushko, Yu. M., Tretiak, O. M., & Pashko, S. M. (2024). Tsytohenetychna otsinka sybirskoho osetra (*Acipenser baerii* Brandt, 1869). Suchasni problemy ratsionalnoho vykorystannia vodnykh bioresursiv: VI Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia. Kyiv: PRO FORMAT, 177-178. *if.org.ua*. Retrieved from: <https://if.org.ua/images/konf/2024kiev/2024kyiv.pdf>.
 18. Moraes de Andrade, V., Silva, J., Rabaioli Da Silva, F., & Heuser, V. (2004). Fish as bioindicators to assess the effects of pollution in two southern Brazilian rivers using the Comet assay and micronucleus test *Environ. Mol. Mutagen*, 44, 459-468.
 19. Hussain, B., Sultana, T., Sultana, S., Masoud, M., Ahmed, Z., & Mahboob S. (2018). Fish ecogenotoxicology: Comet and micronucleus assay in fish erythrocytes as in situ biomarker of freshwater pollution. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25(2), 393-398. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.11.048>.
 20. Battistelli, V., Brustenga, L., La Porta, G., Baccianella, M., & Lucentini, L. (2025). Erythrocyte Micronuclei and Nuclear Abnormalities in Three Species of Fish from Lake Piediluco (Central Italy). *Limnol. Rev.*, 25, 19. <https://doi.org/10.3390/limnolrev25020019>.
 21. Machado Da Rocha, C., Alves Dos Santos, R., De Oliveira Bahia, M., & Araujo Da Cunha, L., Ribeiro, H., Mario Rodr, R., et al. (2009). The Micronucleus Assay in Fish Species as an Important Tool for Xenobiotic Exposure Risk Assessment. *Reviews in Fisheries Science*, 17, 478-484.
 22. Bavi, Z., Zakeri, M., Mousavi, S. M., & Yavari, V. (2022). Effects of dietary taurine on growth, body composition, бірського осетра (*Acipenser baerii* Brandt, 1869) // Сучасні проблеми раціонального використання водних біоресурсів : VI Міжнар. наук.-практ. конф. : матер. Київ : ПРО ФОРМАТ, 2024. С. 177—178. URL : <https://if.org.ua/images/konf/2024kiev/2024kyiv.pdf> (дата звернення : 23.03.2025).
 18. Fish as bioindicators to assess the effects of pollution in two southern Brazilian rivers using the Comet assay and micronucleus test / Moraes de Andrade V. et al. // *Environ. Mol. Mutagen*. 2004. Vol. 44. P. 459—468.
 19. Fish ecogenotoxicology: Comet and micronucleus assay in fish erythrocytes as in situ biomarker of freshwater pollution / Hussain B. et al. // *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2018. Vol. 25(2). P. 393—398. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.11.048>.
 20. Erythrocyte Micronuclei and Nuclear Abnormalities in Three Species of Fish from Lake Piediluco (Central Italy) / Battistelli V. et al. // *Limnol. Rev.* 2025. Vol. 25. 19. <https://doi.org/10.3390/limnolrev25020019>.
 21. The Micronucleus Assay in Fish Species as an Important Tool for Xenobiotic Exposure Risk Assessment / Machado Da Rocha C. et al. // *Reviews in Fisheries Science*. 2009. Vol. 17, № 4. P. 478—484.
 22. Effects of dietary taurine on growth, body composition, blood parameters, and enzyme activities of juvenile sterlet (*Acipenser ruthenus*) / Bavi Z. et al. // *Aquaculture nutrition*. 2022. Vol. 1. 1713687. <https://doi.org/10.1155/2022/1713687>.
 23. Ancient sturgeons possess effective DNA repair mechanisms: influence of model genotoxicants on embryo development of sterlet, *Acipenser ruthenus* / Gazo I. et al. // *International journal of molecular*



- blood parameters, and enzyme activities of juvenile sterlet (*Acipenser ruthenus*). *Aquaculture Nutrition*, 1, 1713687. <https://doi.org/10.1155/2022/1713687>.
23. Gazo, I., Franěk, R., Šindelka, R., Lebeda, I., Sahana, S., Pšenička, M., & Steinbach C. (2021). Ancient sturgeons possess effective DNA repair mechanisms: influence of model genotoxicants on embryo development of sterlet, *Acipenser ruthenus*. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(1), 1-6. <https://doi.org/10.3390/ijms22010006>.
24. Obiakor, M. O., Okonkwo, J. C., Nnabude, P., & Ezeonyejaku, C. D. (2012). Eco-genotoxicology: micronucleus assay in fish erythrocytes as in situ Aquatic Pollution Biomarker. *Journal of Animal Science Advances*, 2(1), 123-133.
25. Tretiak, O., Onyshchuk, Yu., Kolos, O., Hankevych, B., & Pashko, S. (2024). Ecological aspects of using heat waste water of energy facilities for sturgeon (Acipenseridae) aquaculture. *Fisheries Science of Ukraine*, 3(69), 42-62. <https://doi.org/10.61976/fsu2024.03.042>.
26. Tretiak, O. M., Onyshchuk, Yu. V., & Kolos, O. M. (2025). Rezultaty vidtvorennia ta vyroshchuvannia molodi bestera za industrialnykh tekhnolohii osetrivnytstva z kombinovanoiu systemoiu vodopostachannia. *Suchasni problemy ratsionalnoho vykorystannia vodnykh bioresursiv: VII Mizhnar. Naukovo-praktychna konferentsiia*: Kyiv: PRO FORMAT, 203-207.
27. Pylypenko, Yu. V., Shevchenko, P. H., & Tsedyk, V. V. (2017). *Metody ikhtiolohichnykh doslidzhen*. Kherson: Oldi-Plus.
28. Ievtushenko, M. Yu. (2013). *Metodyka doslidzhen u rybnystvi*. Kyiv.
29. Nabyvanets, B. Y., Osadchyi, V. I., Osadcha, N. M., & Nabyvanets, Yu. B. (2007). *Analychna khimiiia poverkhnelykh vod*. Kyiv: Naukova dumka.
- sciences. 2021. Vol. 22, No. 1. 6. <https://doi.org/10.3390/ijms22010006>.
24. Eco-genotoxicology: micronucleus assay in fish erythrocytes as *In situ* Aquatic Pollution Biomarker / Obiakor M. O. et al. // *J Anim Sci Adv*. 2012. Vol. 2(1). P. 123—133.
25. Ecological aspects of using heat waste water of energy facilities for sturgeon (Acipenseridae) aquaculture / Tretiak O. et al. // *Fisheries Science of Ukraine*. 2024. № 3(69). P. 42—62. <https://doi.org/10.61976/fsu2024.03.042>.
26. Третяк О. М., Онищук Ю. В., Колос О. М. Результати відтворення та вирощування молоді бестера за індустріальних технологій осетрівництва з комбінованою системою водопостачання // *Сучасні проблеми раціонального використання водних біоресурсів : VII Міжнар. наук.-практ. конф. : матер. Київ : ПРО ФОРМАТ, 2025. С. 203—207.*
27. Методи іхтіологічних досліджень / Пилипенко Ю. В. та ін. Херсон : Олді-Плюс, 2017. 431 с.
28. Євтушенко М. Ю. Методика досліджень у рибництві. Київ, 2013. 130 с.
29. Аналітична хімія поверхневих вод / Набиванець Б. Й. та ін. Київ : Наукова думка, 2007. 456 с.
30. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / Арсан О. М. та ін. Київ : Логос, 2006. 408 с.
31. СОУ – 05.01.-37-385:2006. Вода рибогосподарських підприємств. Загальні вимоги та норми. Київ : Міністерство аграрної політики України, 2013. 15 с. (Стандарт Мінагрополітики України).
32. Стойка Ю. О., Гаранько Н. М., Архипчук В. В. Розробка прижиттєвого мікроядерного тесту на рибах // *Наукові записки Тернопільського державного педагогічного університету ім. В. Гнатюка*. 2001. Вип. 4(15). С.



30. Arsan, O. M., Davydov, O. Ya., Diachenko, T. M., et al. (2006). *Metody hidroekologichnykh doslidzhen poverkhnevyykh vod*. Kyiv: Lohos.
31. Voda rybohospodarskykh pidpriemstv. Zahalni vymohy ta normy. (2006). *SOU-05.01.-37-385:2006*. Standart minahropolityky Ukrainy. Kyiv: Ministerstvo ahrarnoi polityky Ukrainy.
32. Stoika, Yu. O., Haranko, N. M., & Arkhynchuk, V. V. (2001). Rozrobka pryzhyttievoho mikroiadernoho testu na rybakh. *Naukovi zapysky Ternopilskoho derzhavnogo pedahohichnogo universytetu im. V. Hnatiuka*, 4 (15), 157-159.
33. Petrovska, I., Salyha, Yu., & Vudmaska, I. (2022). *Statystychni metody v biolohichnykh doslidzhenniakh: navchalno-metodychnyi posibnyk*. Kyiv: Ahrarna nauka.
34. Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes. (2010). *Official Journal*. L. 276:0033-0079.
35. Porjadok provedennia naukovymy ustanovamy doslidiv, eksperymentiv na tvarynakh: Nakaz Ministerstva osvity i nauky, molodi ta sportu Ukrainy vid 01.03.2012 r. № 249 r. (2012). Ofitsiinyi visnyk Ukrainy, 06 kvitnia, 82, st. 942, kod aktu 60909/2012. *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0416-12#Text>.
36. Al-Sabti, K., & Metcalfe, C. D. (1995). Fish micronuclei for assessing genotoxicity in water. *Mutat. Researches*, 343, 2-3, 121-135.
37. Kozii, M. S., Sherman, I. M., & Lianzberh, O. V., et al. (2011). *Atlas histolohii ta embriolohii promyslovykh ryb: Navch. posib*. Kherson.
38. Harding, S. M. Benci, J. L., Irianto, J., Discher, D., Minn, A. J., & Greenberg, R. A. (2017). Mitotic progression following DNA damage enables pattern
- 157—159. (Серія : Біологія).
33. Петровська І., Салига Ю., Вудмаска І. Статистичні методи в біологічних дослідженнях: навчально-методичний посібник. Київ : Аграрна наука, 2022. 172 с.
34. Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes // *Official Journal*. 2010. L. 276:0033-0079.
35. Порядок проведення науковими установами дослідів, експериментів на тваринах : Наказ Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України від 01.03.2012 р. № 249 р. // *Офіційний вісник України*. 2012. 06 квітня. С. 82, ст. 942, код акту 60909/2012. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0416-12#Text> (дата звернення : 30.04.2025).
36. Al-Sabti K., Metcalfe C. D. Fish micronuclei for assessing genotoxicity in water // *Mutat. Researches*. 1995. Vol. 343, № 2–3. P. 121—135.
37. Атлас гістології та ембріології промислових риб : навч. посіб. / Козій М. С. та ін. Херсон : Гринь Д. С., 2011. 403 с.
38. Mitotic progression following DNA damage enables pattern recognition within micronuclei / Harding S. M. et al. // *Nature*. 2017. Vol. 548. P. 466—470. <https://doi.org/10.1038/nature23470>.
39. Zapata A. G. Lympho-Hematopoietic Microenvironments and Fish Immune System // *Biology*. 2022. Vol. 11. 747. <https://doi.org/10.3390/biology11050747>.
40. Kamel Ahmad, Jaber Salehl. Clastogenic studies on Tandaha Dam water in Asser // *Mediterranean Environment*. 2010. Vol. 16, № 1. P. 33—42.
41. Acute and genotoxic effects of Baku harbor sediment on Russian sturgeon,



- recognition within micronuclei. *Nature*, 548, 466-470. <https://doi.org/10.1038/nature23470>.
39. Zapata, A. G. (2022). Lympho-hematopoietic microenvironments and fish immune system. *Biology*, 11, 747. <https://doi.org/10.3390/biology11050747>.
40. Kamel Ahmad, & Jaber Salehl (2010). Clastogenic studies on tandaha dam water in asser. *Mediterranean Environment*, 16, 1, 33-42.
41. Bickham, J. W. Rowe, G. T., Palatnikov, G., Mekhtiev, A., Mekhtiev, M., Kasimov, R. Y., Hauschultz, D. W., Wickliffe, J. K., & Rogers, W. J. (1998). Acute and genotoxic effects of Baku harbor sediment on Russian sturgeon, *Acipenser guildensteidti*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 61, 512-518. <https://doi.org/10.1007/s001289900792>.
- Acipenser guildensteidti* / Bickham J. W. et al. // Bulletin of environmental contamination and toxicology. 1998. Vol. 61. P. 512—518. <https://doi.org/10.1007/s001289900792>.

