

УДК 639.3.09:639.3.043:577.175.3:577.15
DOI <https://doi.org/10.32782/wba.2025.2.6>

ВПЛИВ ЕКСТРАКТУ ГРИБА ШИЇТАКЕ (*LENTINULA EDODES*) НА АНТИОКСИДАНТНИЙ ЗАХИСТ ТА ГОРМОНАЛЬНИЙ ПРОФІЛЬ У МОЛОДІ РУСЬКОГО ОСЕТРА (*ACIPENSER GUELLENSTAEDTII* BRANDT, 1856)

¹Солопова Х.Я. – к. вет. н.

orcid.org/0000-0002-9772-7745

²Бернакевич О.М. – к. с.-г. н., с.н.с.

orcid.org/0000-0002-9144-8534

²Кориляк М.З. – к. с.-г. наук

orcid.org/0000-0001-8235-5400

^{3,4}Віщур О.І. – д. вет. н., професор

orcid.org/0000-0003-4503-3896

¹Інститут рибного господарства Національної академії аграрних наук України

²Львівська дослідна станція Інституту рибного господарства

Національної академії аграрних наук України

³Інститут біології тварин Національної академії аграрних наук України

⁴Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій
ім. С.З. Гжицького

khrystyna.solopova@gmail.com

У статті представлено результати експериментальних досліджень, щодо впливу препарату під комерційною назвою «Шіїтаке екстракт *Fungipapa Lentinula edodes*» на активність системи антиоксидантного захисту та гормональний профіль в молоді руського осетра (*Acipenser gueldenstaedtii* Brandt, 1856) за умов вирощування в РАС. Окрім переваг вирощування осетрів в РАС має і низку недоліків, котрі призводять до виникнення стресу, зниження темпів росту й опірності осетрів (Zhang et al., 2025).

З огляду на це, заслуговує на увагу екстракт гриба шіїтаке, який містить низку біологічно активних речовин, ключовою серед яких є полісахарид лентинан (близько 30 % загальної маси плодового тіла).

Для досліджень використовували молодь руського осетра з початковою масою $140,8 \pm 1,2$ г. У два акваріуми, об'ємом $0,5 \text{ м}^3$ кожний, було посаджено по 7 екземплярів руського осетра (контрольна і дослідна групи). Щільність посадки риби відповідала існуючим нормам. Риби обох груп отримували сухий корм Alltech Supreme – 15 у відповідності з нормами годівлі. Особи дослідної групи додатково до вказаного корму додавали досліджуваний екстракт гриба шіїтаке у кількості 0,1 %. Для цього готовий сухий екстракт розмішували з водою та рівномірно наносили на поверхню сухого корму спреєм, висушували і проводили годівлю відповідно до їхнього віку та вагових показників. Тривалість експерименту

становила 28 діб. Після завершення дослід у сироватці крові риб визначали вміст кортизолу та трийодтироніну, а в тканинах печінки – активність СОД та каталази, а також вміст дієнових кон'югатів та ТБК-активних продуктів.

Проведені дослідження показали, що додавання до корму осетрів екстракту гриба шиїтаке спричиняє інгібуючий вплив на інтенсивність процесів перекисного окиснення ліпідів, про що свідчить вірогідно менший вміст ТБК-активних продуктів у тканинах печінки осетрів на тлі зниження супероксиддисмутазної активності. За дії чинників екстракту гриба шиїтаке у крові осетрів констатовано зростання вмісту трийодтироніну та вірогідне зменшення рівня кортизолу, що вказує на зниження стресової реакції та стабілізацію метаболічного гомеостазу організму осетрів за умов вирощування у РАС.

Ключові слова: осетри, шиїтаке, лентинан, кортизол, трийодтиронін, АОС, РАС.

Постановка проблеми. Рециркуляційні аквакультурні системи (РАС) – це сучасна технологія для вирощування осетрів, яка має багато переваг, зокрема: повністю контрольоване людиною середовище (контроль температури, рН, концентрації розчиненого кисню); замкнута система мінімізує контакт з інфекційними та інвазійними агентами; інтенсивне та цілорічне вирощування [10, 11]. Незважаючи на низку переваг наявні й певні недоліки. Так, окрім високих капітальних та операційних витрат є вразливість до технічних збоїв та стрес у риб через акустичний шум, різкі зміни температури або щільності посадки. Як відомо, акустичний шум, котрий виникає внаслідок роботи насосів та фільтрів у РАС, безпосередньо впливає на рівень кортизолу та антиоксидантних ферментів у крові риб [30].

З метою зменшення негативного впливу на організм осетрів при вирощуванні їх у РАС використовують біологічні методи для забезпечення метаболічного гомеостазу. Зокрема застосовують вітаміни та мінерали, пре-, про- та синбіотики, біологічно активні речовини та фітобіологічні добавки, додаючи їх у корми [11]. Однією із таких біологічно активних речовин є лентинан – це природний полісахарид (β -глюкан), що міститься в кількості близько 30% в грибах шиїтаке (*Lentinula edodes*) і є основною його активною сполукою. Окрім лентинану у грибах шиїтаке містяться вітаміни (особливо групи В та D), мінерали (калій, магній, залізо, цинк, селен), амінокислоти та клітковина [23]. Лентинан, як β -глюкан, вважається ефективним імуностимулятором завдяки своїй здатності зв'язуватися з різними рецепторами на лейкоцитах, що призводить до стимуляції імунних реакцій, включаючи бактерицидну активність, продукцію цитокінів та здатність до виживання на клітинному рівні [27]. В окремих дослідженнях показано, що він може взаємодіяти з певними рецепторами на макрофагах, продукуючи різні цитокіни та відповідно опосередковано активувати інші імунні клітини, враховуючи Т- та В-лімфоцити [23].

Разом з цим відомо, що лентинан проявляє антиоксидантні властивості, захищаючи організм осетрових від шкідливого впливу вільних радикалів, які можуть викликати окиснювальний стрес та пошкоджувати клітини [5].

З огляду на взаємозв'язок імунної й антиоксидантної систем захисту, а також враховуючи наші попередні дослідження, де встановлено, що застосування даного екстракту в процесі вирощування руського осетра від личинок до життестійких стадій протягом 28-ми діб привело до пришвидшення темпу середньодобового росту протягом останнього тижня в 1,6 раза, зумовлюючи збільшення середньої маси тіла в кінці експерименту на 27,4 % відносно контрольної групи. Також встановлено, що кумулятивне виживання протягом 28-ми діб експерименту становило у контрольній групі 31,7%, у першій дослідній групі – 47,3 % та у другій дослідній – 85 % [31]. Оскільки, застосування досліджуваного екстракту є доцільним з огляду на біологічний та економічний ефект, подальші дослідження були спрямовані на вивчення його впливу на маркери стресу, тиреоїдну ланку та активність антиоксидантних ензимів і вміст продуктів ПОЛ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо, що кортизол та трийодтиронін (Т3) у риб це основні гормони які впливають на метаболізм, розвиток та стресові реакції, а їхній взаємозв'язок в основному проявляється через стрес-метаболічний баланс. Тобто при підвищенні кортизолу відбувається зниження Т3, зокрема через стрес та адаптацію до умов середовища існування. При відсутності стресу тиреоїдні гормони підтримують ріст і розвиток, а кортизол відповідає за регуляцію іонного гомеостазу, обмін речовин, енергетичний баланс. Отже, за дії стрес-факторів підвищується кортизол, який може впливати на тиреоїдну систему. Є дані, що під час стресової відповіді в риб взаємодіють гіпофізарна, кортизолова та тиреоїдна системи [13].

За технології вирощування японського осетра (*Acipenser schrenckii*, Brandt, 1869) у РАС, при збільшенні щільності посадки спостерігалось значне підвищення рівня кортизолу в крові, натомість рівні трийодтироніну і вільного трийодтироніну знижувались, тоді як тироксин (Т4) залишався стабільним [12]. Ці дані підтверджують деструктивний вплив недотримання оптимальних норм щільності посадки на метаболізм осетрів. Це адаптивна відповідь організму риб на хронічний стрес, що пригнічує метаболізм і ріст при дефіциті ресурсів. Також досліджено, що за дії високих доз кортизолу, зокрема, введення його дорослим самкам білуги (*Huso huso*, Linnaeus, 1758) для моделювання стресу, рівні Т3 та Т4 в сироватці крові значно зросли, також спостерігалось підвищення глюкози, ліпідів, холестерину. Тобто кортизол модифікує метаболічні показники. Отже, в даному

випадку за хронічного підвищення кортизолу відбувається не пригнічення, а підвищення тиреоїдної активності [14].

У літературі наявні дослідження стосовно впливу стресу, спричиненого дією певних препаратів на активність СОД, каталази та кортизолу у мальків севрюги (*Acipenser stella Pallas, 1771*) [16]. Констатовано також зростання рівня кортизолу у крові риб за умов транспортування [17].

Кортизол через мембранні та внутрішньоклітинні шляхи рецепторів може стимулювати утворення АФК, та активувати сигнальні каскади, що пов'язані з енергетичним метаболізмом і мітохондріальною активністю [15]. Гормон кортизол є важливим регулятором нейроендокринних стресових реакцій у кісткових риб [12,14,15]. Він переважно впливає на тканини-мішені через геномний шлях, який включає взаємодію з цитоплазматичними глюкокортикоїдними рецепторами, і тим самим модулюючи експресію генів стресової реакції. Кортизол також може забезпечувати швидкий ефект через негеномні шляхи, які не включають транскрипцію генів. Хоча кортизол-опосередковані геномні шляхи добре описані у кісткових риб, негеномні шляхи до кінця не вивчені [15].

В умовах аквакультури епізоди масової смертності личинок часто пов'язані з періодами переходу до іншого раціону живлення [19, 20]. Гормони щитоподібної залози відіграють вирішальну роль у розвитку та метаморфозі личинок, включаючи перехід від ендогенного до екзогенного живлення, і тому використовуються в аквакультурі для стимулювання викльову з ікри, росту та виживаності багатьох видів риб. Наприклад, екзогенне введення трийодтироніну озерному осетру (*Acipenser fulvescens Rafinesque, 1817*) покращує виживаність та темпи росту на ранніх критичних етапах переходу живлення [19].

Встановлено, що кортизол регулює локальну біодоступність Т3 у синегальської камбали (*Solea senegalensis Kaup, 1858*) через дейодування зовнішнього кільця (outer ring deiodination – ORD) при якому з тироксину видаляється один атом йоду із зовнішнього кільця тирозинового скелета, що перетворює його на активніший гормон трийодтиронін органоспецифічним способом [18].

Лентинан добре відомий як імуностимулятор, але дослідження його потенційної користі для риб недостатні. Наявні результати дослідження застосування добавки лентинану у великоротого окуня (*Micropterus salmoides Lacepède, 1802*) показали, що добавка може сприяти росту, підвищувати активність антиоксидантних ферментів у крові та печінці, зміцнювати імунну систему та підвищувати стійкість до хвороб [21].

Додавання лентинану до раціону азіатського морського окуня (*Lates calcarifer Bloch, 1790*) покращило ріст, гематобіохімічні параметри, стійкість до хвороб спричинених *S. Agalactiae* та експресію генів росту й імунітету.

Дослідженнями встановлено, що багаторазові ін'єкції β -глюкану, отриманого з ячменю, можуть покращити імунну відповідь та стійкість до захворювань у молоді *L. Rohita* проти інфекцій, спричинених умовно-патогенними мікроорганізмами *A. Hydrophila* та *E. Tarda* [24]. β -глюкани – це глюкозні полімери, присутні в клітинних стінках рослин, грибів та бактерій, які мають імуностимулювальну дію у риб [25]. Оскільки вони подібні з грибковими або бактеріальними грамнегативними полісахаридами, риби розпізнають ці полісахариди як чужорідні агенти. Після їх дії імунна система риб розвиває запальну реакцію, подібну до реакції на хворобу, забезпечуючи захист від умовно-патогенних інфекцій [26].

В свою чергу антиоксидантна система в осетрових риб є складним та ефективним механізмом, що дозволяє їм адаптуватися до мінливих умов зовнішнього середовища [5].

Постановка завдання. Представники родини *Acipenseridae*, в тому числі й молодь руського осетра (*Acipenser gueldenstaedtii*), демонструють високу чутливість до стрес-факторів, що в свою чергу проявляється змінами в ендокринній регуляції. Біологічно активні речовини лентинану, володіють метаболічними, імуностимулювальними й антиоксидантними властивостями, проте їхній вплив на гормонально-антиоксидантний баланс осетрових риб досліджено недостатньо. Аналіз даних літератури показав, що проведені дослідження у цьому напрямі є фрагментарні і потребують детального вивчення. У попередніх наших дослідженнях було показано позитивний вплив екстракту гриба шиїтаке на темпи росту і виживаність руського осетра в процесі вирощування від личинок до життєстійких стадій [31].

З огляду на це, завданням дослідження було з'ясувати вплив екстракту гриба шиїтаке на рівень біомаркерів стресових станів у осетрів, зокрема кортизолу і трийодтироніну та систему антиоксидантного захисту. Це дозволить оцінити можливість використання вказаного препарату для підвищення стійкості риб до стресових чинників при вирощуванні у РАС. Разом з цим, отримані результати сприятимуть удосконаленню технології вирощування молоді осетрових риб.

Матеріали і методи дослідження. Дослідження проведено із забезпеченням оптимальних параметрів утримання осетрів та дотриманням загальноприйнятих методик проведення експериментів у рибництві [20]. Об'єктом дослідження була молодь руського осетра (*Acipenser gueldenstaedtii* Brandt, 1856), яку отримали із заплідненої ікри в рециркуляційній аквакультурній системі (РАС) Львівської дослідної станції Інституту рибного господарства НААН. У даному експерименті використовували молодь руського осетра з початковою масою $140,8 \pm 1,2$ г. У два акваріуми, об'ємом $0,5 \text{ м}^3$ кожний, було посаджено по 7 екземп-

лярів руського осетра (контрольна і дослідна групи). Щільність посадки риб відповідала існуючим нормам. Риби обох груп отримували сухий корм Alltech Corpens Suprime – 15 у відповідності з існуючими нормами годівлі. Особи дослідної групи додатково до вказаного корму додавали досліджуваний екстракт гриба шиїтаке у кількості 0,1 %. Для цього готовий сухий екстракт, розмішували з водою і рівномірно наносили на поверхню сухого корму спреєм, висушували і проводили годівлю відповідно до їхнього віку та вагових показників. Тривалість експерименту – 28 діб. Температурний режим підтримували на рівні $20,0 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$. Гідрохімічний режим відповідав необхідним вимогам для вирощування осетрових риб.

Після завершення дослідів у сироватці крові риб визначали вміст кортизолу та трийодтироніну, а в тканинах печінки – активність антиоксидантних ензимів: СОД та каталази, а також вміст дієнових кон'югатів та ТБК-активних продуктів.

Концентрацію дієнових кон'югатів визначали за методом, що ґрунтується на реакції оптичної густини гептанізопропанольного екстракту ліпідів. Визначення концентрації ТБК-активних продуктів проводили спектрофотометрично за кольоровою реакцією між малоновим діальдегідом і тіобарбітуровою кислотою, яка протікає в кислому середовищі та при дії високої температури, утворюючи триметилловий комплекс (Коробейникова, 1989). Активність супероксиддисмутази (СОД) визначали за методом, що базується на відновленні нітротетразолію синього супероксидними радикалами, які утворюються у результаті реакції між феназинметасульфатом і відновленою формою нікотинаміддинуклеотиду (Дубиніна, 1983). Визначення активності каталази проводили, використовуючи метод, що ґрунтується на утворенні стійкої кольорової комплексної сполуки за реакції пероксиду водню з солями амоній молібдату (Корольок, 1988). Визначення вказаних показників у біологічному матеріалі риб проводили згідно зазначених методик, які описані у довіднику [29]. Визначення вмісту білка проводили за методом Бредфорда [32].

Визначення вмісту кортизолу і вільного трийодтироніну у сироватці крові проводили методом імуноферментного аналізу на апараті Labline 100, використовуючи набори для визначення фірми Astra biotech (Cortisol kit, Free T3 kit).

Одержані цифрові дані опрацьовували методами варіаційної статистики, використовуючи стандартний пакет статистичних програм Microsoft Excel. Визначали середні арифметичні величини (M), середню квадратичну помилку (m) і вірогідність різниць (P) між досліджуваними середньоарифметичними величинами. Статистично вірогідну різницю отриманих показників оцінювали за t -критерієм Стьюдента [2]

Результати досліджень та їх обговорення. Стан системи антиоксидантного захисту (САЗ) у досліджуваних осетрів за впливу екстракту гриба шийтаке оцінювали за активністю ензимної ланки й інтенсивністю процесів пер оксидного окиснення ліпідів (ПОЛ) у тканинах печінки риб. У даному випадку ензимна ланка АОС представлена супероксиддисмутазою (СОД) і каталазою; продукти ПОЛ – дієновими кон'югатами і ТБК-активними продуктами.

Як відомо, під впливом низки факторів, зокрема і стресових чинників, порушується баланс процесів ПОЛ-САЗ. Інтенсифікація процесів ПОЛ призводить до утворенням високоактивних ліпідних радикалів. А також порушення в системі САЗ та ПОЛ можуть бути спричинені гіперпродукцією речовин, які виконують функцію антиокисників і захищають клітини від надлишкового утворення продуктів ПОЛ. ТБК-активні продукти є кінцевими продуктами пероксидного окиснення ліпідів й індикатором окисного стресу в організмі, тоді як СОД є репрезентативним маркером антиоксидантної системи.

Результати проведених досліджень показали, що застосування у раціоні осетрів дослідної групи екстракту гриба шийтаке спричиняє інгібуючий вплив на інтенсивність процесів пероксидного окиснення ліпідів у тканинах печінки, і особливо їх кінцевих продуктів (таблиця 1).

Таблиця 1. Активність СОД і каталази та вміст дієнових кон'югатів і ТБК-активних продуктів у тканинах печінки молоді руського осетра за застосування у їх раціоні екстракту гриба шийтаке ($M \pm m, n=3$)

Досліджувані показники	Контроль	Дослід
СОД, Ум. Од/хв. мг Б	1,94 $\pm$ 0,13	1,34 $\pm$ 0,08**
Каталаза, Мкмоль Н ₂ О ₂ /хв. х мг білка	49,41 $\pm$ 0,320	49,96 $\pm$ 0,147
Дієнові кон'югати, С (нмоль /мг білка)	2,35 $\pm$ 0,14	2,30 $\pm$ 0,14
ТБК-активні продукти, (нмоль /мг білка)	1,82 $\pm$ 0,25	0,95 $\pm$ 0,32*

Так, вміст ТБК-активних продуктів у тканинах печінки осетрів дослідної групи був в 1,9 раза менший, ніж у контрольній. Зниження вмісту продуктів ПОЛ, і особливо ТБК-активних продуктів у тканинах печінки осетрів дослідної групи можна пояснити зниженням ферментативної активності досліджуваних ензимів. Більшою мірою це виражено за дослідження супероксиддисмутазної активності, ключового ензиму САЗ. Так, у печінці осетрів цієї групи стосовно контрольної виявлено нижчу на 30,9 % супероксиддисмутазну активність. Вірогідних змін щодо активності каталази у печінці осетрів контрольної і дослідної груп нами не зафіксовано.

Таким чином, отримані дані свідчать про інгібуючий вплив екстракту гриба шиїтаке на інтенсивність процесів пероксидного окиснення ліпідів у тканинах печінки осетрів, що ймовірно зумовлено комплексною дією чинників досліджуваного екстракту на активність ключового ензиму системи антиоксидантного захисту.

Одержані нами результати досліджень вмісту рівня кортизолу та ТЗ представлені у таблиці 2. З даних таблиці бачимо, що застосування у раціоні осетрів екстракту з гриба шиїтаке спричиняло зниження вмісту кортизолу у сироватці крові, його рівень вірогідно зменшився на 38,8 % стосовно контрольної групи. При цьому вміст трийодтироніну в осетрів дослідної групи зріс на 28,8 %. Можемо припустити, що підвищення метаболічно активного гормону щитоподібної залози ймовірно також впливатиме на обмінні процеси в організмі руського осетра, спричиняючи стимулювальну дію. Однак ці дані потребують подальшого детального вивчення.

Таблиця 2. Вміст кортизолу та трийодтироніну у сироватці крові молоді руського осетра за застосування у їх раціоні екстракту гриба шиїтаке ($M \pm m, n=3$)

Досліджувані гормони	Контроль	Дослід
Трийодтиронін (ТЗ), пмоль/л	2,60± 0,43	3,34±0,44
Кортизол, нмоль/л	857,82±127,08	525,41±7,92***

Одержані результати досліджень мають також і практичне значення, адже підтверджують, що додавання екстракту гриба шиїтаке, який містить близько 30 % лентинану до корму осетрових риб може підвищувати їхню стійкість до стресу при вирощуванні в РАС, а зростання рівня ТЗ може свідчити про активізацію метаболізму та ростових процесів.

Висновки. Додавання до корму осетрів екстракту гриба шиїтаке спричиняє інгібуючий вплив на інтенсивність процесів пероксидного окиснення ліпідів, про що свідчить вірогідно менший вміст ТБК-активних продуктів у тканинах печінки осетрів на тлі зниження супероксиддисмутазної активності. За дії чинників екстракту гриба шиїтаке у крові осетрів констатовано зростання вмісту трийодтироніну та вірогідне зменшення рівня кортизолу, що вказує на зниження стресової реакції та стабілізацію метаболічного гомеостазу організму осетрів за умов вирощування у РАС.

Подяки. Немає.

Фінансування. Отримані результати є складовою програми фундаментальних наукових досліджень НААН на 2021–2025 рр.:

32.«Система комплексного наукового забезпечення рибного господарства на внутрішніх водоймах України» («Рибництво та рибальство») за

завданням 32.00.00.05. Ф «Розроблення біотехнологічних методів підвищення життєстійкості осетрових риб у ранньому онтогенезі» (№ держреєстрації 0121U108908).

Конфлікт інтересів. У цій роботі конфлікт інтересів авторів відсутній.

EFFECT OF SHIITAKE (*LENTINULA EDODES*) MUSHROOM EXTRACT ON THE STATUS OF ANTIOXIDANT PROTECTION SYSTEM AND THE HORMONAL PROFILE OF THE RUSSIAN STURGEON (*ACIPENSER GUELLENSTAEDTII* BRANDT, 1856) JUVENILES

¹ *Solopova K. Ya. – Candidate of Veterinary Sciences
orcid.org/0000-0002-9772-7745*

² *Bernakevych O.M. – Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher
orcid.org/0000-0002-9144-8534*

² *Koryliak M.Z. – Candidate of Agricultural Sciences
orcid.org/0000-0001-8235-5400*

^{3,4} *Vishchur O.I. – Doctor of veterinary sciences, Professor
orcid.org/0000-0003-4503-3896*

¹ *Institute of Fisheries of National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine*

² *Lviv Experimental Station of the Institute of Fisheries of National Academy
of Agrarian Sciences of Ukraine*

³ *Institute of animal biology of National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine*

⁴ *Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies
khrystyna.solopova@gmail.com*

The article presents the results of experimental studies on the effect of the drug under the commercial name “Shiitake extract Fungipapa *Lentinula edodes*” on the activity of the antioxidant defense system and hormonal profile in young Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii* Brandt, 1856) under conditions of cultivation in a recirculating aquaculture system (RAS). In addition to the advantages of growing sturgeon in RAS, there are a number of disadvantages that lead to stress, reduced growth rates, and reduced resistance in sturgeon (Zhang et al., 2025).

For the study, young Russian sturgeon with an initial weight of 140.8 ± 1.2 g were used. Seven Russian sturgeon were placed in each of two aquariums, each with a volume of 0.5 m³ (control and experimental groups). The stocking density of the fish complied with existing standards. Fish from both groups were fed Alltech Coppens Suprime – 15 dry feed in accordance with feeding standards. In addition to the specified feed, the experimental group was given 0.1% of the studied shiitake mushroom extract. To do this, the prepared dry extract was mixed with water and evenly sprayed onto the surface of the dry feed, dried, and fed according to their age and weight. The experiment lasted 28 days. After completion of the experiment, the content of cortisol

and triiodothyronine was determined in the blood serum of fish, and the activity of SOD and catalase, as well as the content of diene conjugates and TBC-active products, was determined in liver tissues.

The studies showed that adding shiitake mushroom extract to sturgeon feed has an inhibitory effect on the intensity of lipid peroxidation processes, as evidenced by a significantly lower content of TBA-active products in the liver tissues of sturgeons against the background of a decrease in superoxide dismutase activity. Under the influence of shiitake mushroom extract, an increase in triiodothyronine content and a probable decrease in cortisol levels were observed in sturgeon blood, indicating a reduction in stress response and stabilization of metabolic homeostasis in sturgeon under conditions of cultivation in a recirculating aquaculture system.

Key words: sturgeons, shiitake, lentinan, cortisol, triiodothyronine, AOS, RAS.

ЛІТЕРАТУРА

1. Желтов Ю. О. Методичні вказівки з проведення дослідів по годівлі риб. *Рибне господарство*. 2003. Вип. 62. С. 23–28.
2. Камінський В. Ф., Буслаєва Н. Г. Основи прикладного математичного аналізу в сільськогосподарських дослідженнях. Методичні рекомендації. Київ, 2011. 28 с.
3. Posner L. P., Harms C. A., Smith S. A. Sedation, anesthesia, analgesia and euthanasia. *Fish diseases and medicine*. 2019. P. 283-304.
4. Thyroid hormone regulates mitochondrial respiration as well as antioxidant defense in teleosts too / Oommen, O. V. et al. *Endocrinology Reproductive*. 2006. № 10, P. 96-105.
5. Effect of crowding stress on growth performance, the antioxidant system and humoral immunity in hybrid sturgeon / Bi B. et. all. *Aquaculture Reports*. 2023. Vol. 28. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101468>
6. Dawood M.A.O., Noreldin A.E. Sewilam H. Blood biochemical variables, antioxidative status, and histological features of intestinal, gill, and liver tissues of African catfish (*Clarias gariepinus*) exposed to high salinity and high-temperature stress. *Environ Sci Pollut Res*. 2022. Vol. 29. P. 56357–56369 <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19702-0>
7. Oxidative Stress and Neurotoxicity Biomarkers in Fish Toxicology / Formicki G., et.al. *Antioxidants*. 2025. Vol.14(8). P. 939. <https://doi.org/10.3390/antiox14080939>
8. Oxidative stress and endocrine endpoints in white sucker (*Catostomus commersoni*) from a river impacted by agricultural chemicals / Dorval. J. et. all. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2005. Vol. 24(5). P. 1273-1280. <https://doi.org/10.1897/03-523.1>
9. Relationship between cortisol and glucose as physiological stress indicators during growth season in juvenile Siberian sturgeon *Acipenser baerii* / Eagderi, S., et. all. *Journal of Fisheries*. 2020. Vol. 8(3). P. 873-877. <https://doi.org/10.17017/j.fish.191>

10. Інструменти формування пропозиції при виробництві руського осетра в системі розвитку глобального економічного середовища / Шарило, Ю. Є. та ін. Посібник. Київ, 2023. 99 с.
11. Андрищенко А. І., Вовк Н. І., Кондратюк В. М. (2018). Осетрівництво. Ставе осетрівництво: підручник. Том II. Київ, 2018. 612 с.
12. Li D., Liu Z., Xie C. Effect of stocking density on growth and serum concentrations of thyroid hormones and cortisol in Amur sturgeon, *Acipenser schrenckii*. *Fish physiology and biochemistry*. 2012. Vol. 38(2). P. 511-520.
13. Peter M. S. The role of thyroid hormones in stress response of fish. *General and Comparative Endocrinology*. 2011. Vol. 172(2). P. 198-210. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2011.02.023>
14. Poursaeid S., Falahatkar B., Van Der Kraak, G. Short-term effects of cortisol implantation on blood biochemistry and thyroid hormones in previtellogenic great sturgeon *Huso huso*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*. 2015. Vol.179. P. 197-203. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2014.09.039>
15. Cortisol induces reactive oxygen species through a membrane glucocorticoid receptor in rainbow trout myotubes / Espinoza, M. B. et. all. *Journal of Cellular Biochemistry*. 2017. Vol. 118(4). P. 718-725. <https://doi.org/10.1002/jcb.25676>
16. Protective effects of HSP Inducer on diazinon-exposed stellate sturgeon (*Acipenser stellatus*) fry: Insights on HSP70 gene expression, immune response, and enzyme indices / Vahdatirad L. et. all. *Plos one*. 2023. Vol. 18(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0294188>
17. Refaey M. M., Li D. Transport stress changes blood biochemistry, antioxidant defense system, and hepatic HSPs mRNA expressions of channel catfish *Ictalurus punctatus*. *Frontiers in Physiology*. 2018. Vol. 9. P. 1628. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01628>
18. Effects of cortisol and thyroid hormone on peripheral outer ring deiodination and osmoregulatory parameters in the Senegalese sole (*Solea senegalensis*) / Arjona F. J., et. all. *Journal of Endocrinology*. 2011. Vol. 208 (3). P. 323-330. <https://doi.org/10.1530/JOE-10-0416>
19. Weinrauch A. M., Bouyoucos I. A., Anderson W. G. Exogenous triiodothyronine application increases survivorship in larval lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*): molecular and endocrine regulation of appetite, growth, and stress axes. *Aquaculture*. 2023. Vol. 571. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739454>
20. Endogenous cortisol production and its relationship with feeding transitions in larval lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*) / Earhart M. L., et.all. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*. 2020. Vol. 249. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2020.110777>

21. Effects of dietary lentinan on growth performance, nonspecific immunity and disease resistance to *Aeromonas hydrophila* in largemouth bass (*Micropterus salmoides*) / Wang Y., et. all. *Aquaculture Reports*. 2023. Vol. 32. P. 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101696>
22. Dietary lentinan improves growth, haemato-biochemical indices, resistance to *Streptococcus agalactiae* infection and expression of immune genes in Asian seabass, *Lates calcarifer* / Pathinathan P., et all. *Aquaculture*. 2024. Vol. 580(1). <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740299>
23. Bioactive polysaccharides from medicinal mushrooms: A review on their isolation, structural characteristics and antitumor activity / Garcia J., et. all. *Food Bioscience*. 2022. Vol.49. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101955>
24. Semwal A., Kumar A., Kumar N. A review on pathogenicity of *Aeromonas hydrophila* and their mitigation through medicinal herbs in aquaculture. *Heliyon*.2023.Vol. 9(3).<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14088>
25. Effects of single and multi-strain probiotics on the growth, hemato-immunological, enzymatic activity, gut morphology and disease resistance in Rohu, *Labeo rohita* / Saravanan K., et. all. *Aquaculture*. 2021. Vol. 540. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736749>
26. The immunomodulatory effect of laminaran [β (1, 3) D glucan] on Atlantic salmon, *Salmo salar* L., anterior kidney leucocytes after intraperitoneal, peroral and peranal administration / Dalmo R. A., et. all. *Journal of fish diseases*. 1996. Vol. 19(6). P. 449-457. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2761.1996.d01-97.x>
27. β -Glucan: mode of action and its uses in fish immunomodulation / Hadiuzzaman M., et. all. *Frontiers in Marine Science*. 2022. Vol. 9. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.905986>
28. Cortisol levels reveal species-specific stress condition in fish from PFAS polluted rivers / Schumann S., et. all. *Chemosphere*. 2024. Vol. 363. <https://doi.org/10.3390/ijerph20136237>.
29. Лабораторна діагностика у ветеринарній медицині / В. В. Влізло та ін. Довідник. 2-ге видання. Львів, 2014. 152 с.
30. Underwater noise impairs the health of juvenile hybrid sturgeon based on blood parameters / Pan Y., et. all. *Aquatic Ecology*. 2025. Vol. 59. P. 725-740. <https://doi.org/10.1007/s10452-025-10191-0>
31. Вплив екстракту гриба шіітаке (*Lentinula edodes*) на ріст та опірність організму молоді руського осетра (*Acipenser gueldenstaedtii* Brandt, 1856) / Ю. М. Забитівський та ін. *Рибогосподарська наука України*. 2025. № 2. С. 173–191. <https://doi.org/10.61976/fsu2025.02.173>
32. Bradford M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytic Biochemistry*. 1976. Vol. 72. P. 248–254.

REFERENCES

1. Zheltov Yu. O. (. 2003) Metodychni vkazivky z provedennia doslidiv po hodivli ryb. [Methodological guidelines for conducting experiments on fish feeding.]. Rybne hospodarstvo. Vol. 62. 23–28. [in Ukrainian].
2. Kaminskyi V. F., Buslaieva N. H. (2011) Osnovy prykladnoho matematychnoho analizu v silskohospodarskykh doslidzhenniakh. Metodychni rekomendatsii. [Fundamentals of applied mathematical analysis in agricultural research. Methodological recommendations]. Kyiv. 28. [in Ukrainian].
3. Posner L. P., Harms C. A., Smith S. A. (2019). Sedation, anesthesia, analgesia and euthanasia. In *Fish diseases and medicine*. CRC Press. 283-304.
4. Oommen O. V., Sreejith P., Beyo R. S., Divya L., Vijayasree A. S., Manju M. (2006). Thyroid hormone regulates mitochondrial respiration as well as antioxidant defense in teleosts too. *J Endocrinol Reprod*. Vol. 10, 96-105.
5. Bi B., Yuan Y., Zhao Y., He M., Song H., Kong L., Gao Y. (2023). Effect of crowding stress on growth performance, the antioxidant system and humoral immunity in hybrid sturgeon. *Aquaculture Reports*. Vol. 28. 101468. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101468>
6. Dawood M.A.O., Noreldin A.E. Sewilam H. (2002) Blood biochemical variables, antioxidative status, and histological features of intestinal, gill, and liver tissues of African catfish (*Clarias gariepinus*) exposed to high salinity and high-temperature stress. *Environ Sci Pollut Res*. Vol. 29, 56357–56369 <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19702-0>
7. Formicki G., Goc Z., Bojarski B., Witeska M. (2025). Oxidative Stress and Neurotoxicity Biomarkers in Fish Toxicology. *Antioxidants*. Vol. 14(8). 939. <https://doi.org/10.3390/antiox14080939>
8. Dorval J., Leblond V., Deblois C., Hontela A. (2005). Oxidative stress and endocrine endpoints in white sucker (*Catostomus commersoni*) from a river impacted by agricultural chemicals. *Environmental Toxicology and Chemistry*. Vol. 24(5). 1273-1280. <https://doi.org/10.1897/03-523.1>
9. Eagderi S., Poorbagher H., Hasanlipour A., Çiçek E. (2020). Relationship between cortisol and glucose as physiological stress indicators during growth season in juvenile Siberian sturgeon *Acipenser baerii*. *Journal of Fisheries*. Vol. 8(3). 873-877. <https://doi.org/10.17017/j.fish.191>
10. Vdovenko N. M., Sharylo Yu. Ye., Dmytryshyn R. A., Medvedenko L. K., Herasymchuk, V. V., Fedorenko M. O. (2023). Instrumenty formuvannia propozytsii pry vyrobnytstvi ruskoho osetra v systemi rozvytku hlobalnoho ekonomichnoho seredovyshcha. [Tools for forming supply in the production of Russian sturgeon in the system of development of the global economic environment. Manual]. Kyiv. 99. [in Ukrainian].

11. Andriushchenko A. I., Vovk N. I., Kondratiuk V. M. (2018). Osetrivnytstvo. Stavove osetrivnytstvo: pidruchnyk. [Sturgeon farming. Pond sturgeon farming: a textbook] Tom II. Kyiv: Oberih. 612. [in Ukrainian].
12. Li D., Liu Z., Xie C. (2012). Effect of stocking density on growth and serum concentrations of thyroid hormones and cortisol in Amur sturgeon, *Acipenser schrenckii*. *Fish physiology and biochemistry*. Vol. 38(2). 511-520.
13. Peter M. S. (2011). The role of thyroid hormones in stress response of fish. *General and Comparative Endocrinology*. Vol. 172(2). 198-210. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2011.02.023>
14. Poursaeid S., Falahatkar B., Van Der Kraak G. (2015). Short-term effects of cortisol implantation on blood biochemistry and thyroid hormones in previtellogenic great sturgeon *Huso huso*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*. Vol. 179. 197-203. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2014.09.039>
15. Espinoza M. B., Aedo J. E., Zuloaga R., Valenzuela C., Molina A., Valdés J. A. (2017). Cortisol induces reactive oxygen species through a membrane glucocorticoid receptor in rainbow trout myotubes. *Journal of Cellular Biochemistry*. Vol. 118(4). 718-725. <https://doi.org/10.1002/jcb.25676>
16. Vahdatiraad L., Heidari B., Zarei S., Sohrabi T., Ghafouri H. (2023). Protective effects of HSP Inducer on diazinon-exposed stellate sturgeon (*Acipenser stellatus*) fry: Insights on HSP70 gene expression, immune response, and enzyme indices. *Plos one*. Vol. 18(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0294188>
17. Refaey M. M., Li D. (2018). Transport stress changes blood biochemistry, antioxidant defense system, and hepatic HSPs mRNA expressions of channel catfish *Ictalurus punctatus*. *Frontiers in Physiology*. Vol. 9. 1628. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01628>
18. Arjona F. J., Vargas-Chacoff L., Martin del Rio M. P., Flik G., Mancera J. M., Klaren P. H. (2011). Effects of cortisol and thyroid hormone on peripheral outer ring deiodination and osmoregulatory parameters in the Senegalese sole (*Solea senegalensis*). *Journal of Endocrinology*. Vol. 208(3). 323-330. <https://doi.org/10.1530/JOE-10-0416>
19. Weinrauch A. M., Bouyoucos I. A., Anderson W. G. (2023). Exogenous triiodothyronine application increases survivorship in larval lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*): molecular and endocrine regulation of appetite, growth, and stress axes. *Aquaculture*. Vol. 571. 739454. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739454>
20. Earhart M. L., Ali J. L., Bugg W. S., Jeffries K. M., Anderson W. G. (2020). Endogenous cortisol production and its relationship with feeding transitions in larval lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*). *Comparative Biochemistry*

- and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology. Vol. 249. 110777. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2020.110777>
21. Wang Y., Liu W., Li X., Xin Y., Tang Y., Xiao H., Li S. (2023). Effects of dietary lentinan on growth performance, nonspecific immunity and disease resistance to *Aeromonas hydrophila* in largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Aquaculture Reports*. Vol. 32. 101696. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101696>
 22. Pathinathan P., Arumugam U., Elangovan P., Nathan F., Baboonsundaram A., Antony C. (2024). Dietary lentinan improves growth, haemato-biochemical indices, resistance to *Streptococcus agalactiae* infection and expression of immune genes in Asian seabass, *Lates calcarifer*. *Aquaculture*. Vol. 580. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740299>
 23. Garcia J., Rodrigues F., Saavedra M. J., Nunes F. M., Marques G. (2022). Bioactive polysaccharides from medicinal mushrooms: A review on their isolation, structural characteristics and antitumor activity. *Food Bioscience*. Vol. 49. 101955. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101955>
 24. Semwal A., Kumar A., Kumar N. (2023). A review on pathogenicity of *Aeromonas hydrophila* and their mitigation through medicinal herbs in aquaculture. *Heliyon*. Vol.9(3). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14088>
 25. Saravanan K., Sivaramakrishnan T., Praveenraj J., Kiruba-Sankar R., Haridas H., Kumar S., Varghese B. (2021). Effects of single and multi-strain probiotics on the growth, hemato-immunological, enzymatic activity, gut morphology and disease resistance in Rohu, *Labeo rohita*. *Aquaculture*. Vol. 540. 736749. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736749>
 26. Dalmo R. A., Bogwald J., Ingebrigtsen K., Seljelid R. (1996). The immunomodulatory effect of laminaran [β (1, 3)-D-glucan] on Atlantic salmon, *Salmo salar* L., anterior kidney leucocytes after intraperitoneal, peroral and peranal administration. *Journal of fish diseases*. Vol. 19(6). 449-457. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2761.1996.d01-97.x>
 27. Hadiuzzaman M., Moniruzzaman M., Shahjahan M., Bai S. C., Min T., Hossain Z. (2022). β -Glucan: mode of action and its uses in fish immunomodulation. *Frontiers in Marine Science*. Vol. 9. 905986. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.905986>
 28. Schumann S., Negrato E., Piva E., Pietropoli E., Bonato M., Irato P., Bertotto D. (2024). Cortisol levels reveal species-specific stress condition in fish from PFAS polluted rivers. *Chemosphere*. Vol. 363. 142925. <https://doi.org/10.3390/ijerph20136237>
 29. Vlizlo V. V., Slivinska S.H., Maksymovych I. A., Leno M. I., Halias V. L. (2014) Laboratorna diahnozyka u veterynarnii medytsyni. [Laboratory diagnostics in veterinary medicine]. Lviv. 152 s. [in Ukrainian].

30. Pan Y., Gao Y., Shi Y., Xu J., Fan H., Khan F. U., Hu M. (2025). Underwater noise impairs the health of juvenile hybrid sturgeon based on blood parameters. *Aquatic Ecology*. Vol. 59. 1-16. <https://doi.org/10.1007/s10452-025-10191-0>
31. Zabytivskiy Yu. M., Koryliak M. Z., Bobeliak L. Y., Kachai H. V. (2025) Vplyv ekstraktu hryba shyitake (*Lentinula edodes*) na rist ta opirnist orhanizmu molodi ruskoho osetra (*Acipenser gueldenstaedtii* Brandt, 1856). [Effect of shiitake mushroom extract (*Lentinula edodes*) on growth and resistance of juvenile Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii* Brandt, 1856)]. *Rybohospodarska nauka Ukrainy*. Vol. 2. 173–191. <https://doi.org/10.61976/fsu2025.02.173> [in Ukrainian].
32. Bradford M. M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analitic Biochemistry*. Vol. 72. 248–254.

Дата першого надходження рукопису до видання: 28.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 28.11.2025

Дата публікації: 31.12.2025