

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет тваринництва та водних біоресурсів

ПОГОДЖЕНО

Декан факультету
тваринництва та водних біоресурсів
_____ Руслан КОНОНЕНКО
«__» _____ 2025 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувачка кафедри
гідробіології та іхтіології
д.б.н., доцент
_____ Наталія РУДИК-ЛЕУСЬКА
«__» _____ 2025 р.

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему: «РОЗВЕДЕННЯ МАРМУРОВОГО РАКА В RAS СИСТЕМАХ»**

Спеціальність _____ 207 «Водні біоресурси та аквакультура» _____
(код і назва)

Освітня програма _____ Водні біоресурси та аквакультура _____
(назва)

Орієнтація освітньої програми _____ освітньо-професійна _____
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

Д.б.н доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Наталія РУДИК-ЛЕУСЬКА
(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

к.вет.н, доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Руслан КОНОНЕНКО
(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Дмитро ДОВГИЙ
(ПІБ студента)

КИЇВ – 2025

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет тваринництва та водних біоресурсів

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувачка кафедри
гідробіології та іхтіології
д.б.н., доцент
Наталія РУДИК-ЛЕУСЬКА
«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ЗДОБУВАЧУ

ДОВГОМУ ДМИТРУ СЕРГІЙОВИЧУ

Спеціальність _____ 207 «Водні біоресурси та аквакультура»
(код і назва)

Освітня програма _____ Водні біоресурси та аквакультура
(назва)

Орієнтація освітньої програми _____ освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: «Розведення мармурового рака в RAS системах»

затверджена наказом ректора НУБіП України від 25.10.2024. №1915С

Термін подання завершеної роботи на кафедру: 2025.11.14.
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи: дослідження вирощування та розведення мармурового рака на базі підприємства ТОВ «Ханако».

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Провести огляд літератури щодо результатів вирощування мармурового рака в RAS системах.

2. Розробити необхідні розрахунки потреб господарства у біологічному матеріалі об'єктів вирощування, матеріально-технічних засобів.

3. Провести розрахункову оцінку при розведенні мармурового рака.

Дата видачі завдання _____ 15.11.2025 р.

**Керівник магістерської
кваліфікаційної роботи**

(підпис)

Руслан КОНОНЕНКО
(ім'я та прізвище)

Завдання прийняв до виконання

Дмитро ДОВГИЙ

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ МАРМУРОВОГО РАКА ТА ОСНОВИ ФУНКЦІОНУВАННЯ RAS СИСТЕМ.....	6
1.1. Загальна характеристика мармурового рака.....	6
1.2. Біологічна характеристика мармурового рака.....	8
1.3. Умови для належного утримання і подальшого розмноження мармурового рака(<i>Procambarus virginalis</i>).....	14
1.4. Мармуровий рак як інвазивний вид та його вплив на водні екосистеми України	18
1.5. Порівняльна характеристика мармурового рака з іншими видами роду <i>Cherax</i> та <i>Procambarus</i>	21
1.6. Принципи функціонування рециркуляційних аквакультурних систем (RAS)	24
1.7. Розвиток аквакультури мармурового рака в Україні та світі.....	30
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	32
РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЯ РОЗВЕДЕННЯ МАРМУРОВОГО РАКА В УМОВАХ RAS СИСТЕМ.....	34
3.1. Проектування RAS системи.....	34
3.2. Запуск та налагодження RAS -системи	37
3.3. Технологія вирощування мармурового рака.....	39
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ВИРОЩУВАННЯ МАРМУРОВОГО РАКА.....	46
4.1. Економічна ефективність виробництва.....	46
4.2. Проблеми при розведенні та шляхи їх вирішення.....	47
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ	50
ВИСНОВКИ	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	59

ВСТУП

Сучасна аквакультура в Україні та світі активно розвивається в умовах обмежених природних ресурсів, кліматичних змін та зростаючого попиту на якісну білкову продукцію. Традиційні об'єкти рибництва, як-от короп чи форель, поступово доповнюються новими видами гідробіонтів, які мають високий біотехнологічний потенціал і здатні забезпечити конкурентоспроможність аквакультурного виробництва. Одним із таких перспективних видів є мармуровий рак (*Procambarus virginialis*) – прісноводний ракоподібний, який відзначається не лише незвичайною зовнішністю, а й унікальними біологічними особливостями.

Мармуровий рак є об'єктом, що розмножується шляхом партеногенезу, тобто без участі самців. Усі особини виду - це генетично ідентичні самки, які здатні розмножуватись самотійно, що забезпечує стабільне і передбачуване поповнення популяції без необхідності створення пар або контролю співвідношення статей. Це, своєю чергою, значно спрощує технологічний процес вирощування і робить вид особливо привабливим для промислової аквакультури.

З огляду на обмеженість водних ресурсів та екологічні ризики, з якими стикається традиційне ставкове рибництво, дедалі більшої популярності набувають рециркуляційні аквакультурні системи (RAS – промислові аквакультурні комплекси). Ці технології базуються на принципах багаторазового використання води, очищення її від продуктів життєдіяльності організмів за допомогою фільтраційних установок і контролю параметрів середовища. Завдяки цьому RAS-системи дозволяють ефективно використовувати ресурси, мінімізувати шкідливий вплив на довкілля та створювати стабільні умови вирощування незалежно від кліматичних умов

Актуальність теми:

Зростаючий попит на аквакультуру та альтернативні види ракоподібних.

Переваги мармурового рака (швидке зростання, всеїдність, самостійне розмноження).

Проблеми традиційного розведення (велика площа, контроль параметрів, ризик захворювань).

Перспективи RAS (*Plug-and-play Aquaculture Container*) систем для інтенсивного вирощування.

Мета роботи: Дослідити та систематизувати знання про розведення мармурового рака в RAS системах, включаючи технологічні аспекти, економічну доцільність та перспективи.

Завдання роботи:

1. Проаналізувати біологічні особливості мармурового рака.
2. Дослідити принципи функціонування та переваги RAS систем.
3. Розглянути вимоги до створення оптимальних умов для розведення мармурового рака в RAS системах.
4. Описати основні етапи технологічного процесу розведення (від підготовки до збору врожаю).
5. Проаналізувати можливі проблеми та шляхи їх вирішення при розведенні рака в RAS системах.
6. Оцінити економічну ефективність та перспективи розвитку даного напрямку.

Об'єкт дослідження: Процес розведення мармурового рака.

Предмет дослідження: Технологічні та економічні аспекти розведення мармурового рака в RAS системах.

Структура роботи: вступ, 3 розділи, висновки, список використаних джерел, додатки.

РОЗДІЛ 1.

БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ МАРМУРОВОГО РАКА ТА ОСНОВИ ФУНКЦІОНУВАННЯ RAS СИСТЕМ

1.1 Загальна характеристика мармурового рака.

Рід *Procambarus* (родина *Cambaridae*) представлений прісноводними раками, природний ареал яких охоплює Північну та Центральну Америку, переважно території від південних штатів США до півночі Гватемали. Представники роду трапляються у річках, озерах, ставках, каналах і заболочених ділянках, демонструючи високу екологічну пластичність та здатність адаптуватися до різних типів водних екосистем.

На сьогодні описано понад 160 видів роду *Procambarus*, що робить його одним із найбільш різноманітних серед десятиногих ракоподібних Нового Світу. Упродовж останніх десятиліть виявлено низку нових форм, серед яких особливу наукову та практичну увагу привертає мармуровий рак (*Procambarus virginalis*), який був описаний як окремий вид у 2018 році.

Біологічна класифікація *Procambarus virginalis*:

- Домен: *Eukaryota* (Еукаріоти)
- Царство: *Animalia* (Тварини)
- Тип: *Arthropoda* (Членистоногі)
- Підтип: *Crustacea* (Ракоподібні)
- Клас: *Malacostraca* (Вищі ракоподібні)
- Ряд: *Decapoda* (Десятиногі)
- Інфраряд: *Astacidea* (Раки)
- Родина: *Cambaridae*
- Рід: *Procambarus*
- Вид: *Procambarus virginalis* (Lyko, 2018)

Рід *Procambarus* є найбільшим за кількістю видів серед родини *Cambaridae*, до якої належать усі північноамериканські раки. На відміну від австралійських родів *Cherax* і *Euastacus*, представники *Procambarus*

демонструють високу інвазійну здатність та успішно акліматизуються за межами природного ареалу [4].

Особливо цікавим є мармуровий рак (*P. virginalis*), який відрізняється унікальною формою розмноження – партеногенезом, тобто здатністю відтворювати потомство без участі самців. Ця риса робить його єдиним відомим облігатно партеногенетичним видом серед десятиногих ракоподібних, що має значний еволюційний і біотехнологічний інтерес. Одна самка здатна кілька разів на рік виношувати під черевцем велику кількість ікринок, з яких виводяться генетично ідентичні їй нащадки. Умови для інкубації не потребують спеціальних маніпуляцій, що особливо цінно для інтенсивних систем вирощування.

Поширення мармурового рака має антропогенний характер: первинне походження виду пов'язують із штучною мутацією у лабораторних або акваріумних популяціях *Procambarus fallax* у Німеччині наприкінці 1990-х років. Звідти він швидко поширився через торгівлю декоративними видами та нині зустрічається у водоймах Європи, Азії та Африки, утворюючи стабільні популяції у природних умовах [5]. Також новоутворена форма стала активно розмножуватись в умовах акваріумного утримання, після чого була розповсюджена в різних країнах світу, зокрема й у Європі. Завдяки своїй невибагливості до умов існування, швидкому росту та високій плодючості мармуровий рак почав розглядатися як перспективний об'єкт для вирощування в закритих системах RAS.

Мармуровий рак демонструє високу екологічну пластичність. Він може виживати при досить широкому діапазоні температур – від 10 до 28°C, витримує зміни кислотності води в межах рН 6,5–8,0, добре росте як у м'якій, так і в жорсткій воді, а також переносить тимчасове зниження концентрації розчиненого кисню. Завдяки таким характеристикам він ідеально підходить для розведення в рециркуляційних системах, де параметри середовища можуть змінюватися в межах, визначених технологічними умовами.



Рис. 1.1.1 Мармуровий рак (*Procambarus fallax f. Virginalis*)

Procambarus fallax f. virginalis є не лише цікавим з біологічного погляду видом, а й практично цінним об'єктом аквакультури. Його автономне розмноження, невибагливість та здатність адаптуватися до штучних умов утримання роблять його придатним для вирощування в інноваційних системах типу RAS, де можливо забезпечити стабільне виробництво з мінімальним залученням ресурсів.

1.2 Біологічна характеристика мармурового рака (*Procambarus virginalis*).

Мармуровий рак (*Procambarus virginalis*), відомий також під назвами *Marmorcrebs* або *marbled crayfish*, є середнім за розмірами представником родини *Cambaridae*. Мармуровий рак має типовий для представників ряду десятиногих ракоподібних зовнішній вигляд, який включає поділ тіла на головогруді та черевце. Головогруді вкриті міцним хітиновим карапаксом, що виконує як захисну, так і структурну функцію. На передній частині головогрудей розміщені очі на рухомих стебельцях, які забезпечують широкий кут зору, а також дві пари антен – короткі та довгі, що відповідають за дотик і хімічне сприйняття середовища. Довжина дорослих особин

зазвичай становить 8–12 см, маса – 25–60 г, хоча в умовах аквакультури може сягати 80–100 г [6].

Вважається похідним від *Procambarus fallax* - північноамериканського виду, що мешкає у природних водоймах південних штатів США (Флорида, Джорджія). Саме цей вид послужив генетичною основою для виникнення *P. virginalis*, який утворився у результаті спонтанної мутації та переходу до партеногенетичної форми розмноження. Вперше мармурового рака було виявлено в акваріумах Німеччини у 1990-х роках, після чого він почав активно поширюватися у Європі, Азії та Африці [8].

На відміну від більшості видів роду *Procambarus*, які мають роздільностатеве розмноження, *P. virginalis* є триплоїдним видом, що розмножується без участі самців. Усі особини цього виду є самками, здатними самотійно продукувати генетично ідентичне потомство без участі самців. Така форма відтворення забезпечує швидке збільшення чисельності популяцій, але знижує генетичну мінливість виду. У природних умовах *P. fallax* має дві статі, здійснює сезонне розмноження і залежить від температури води, тоді як мармуровий рак може розмножуватися цілий рік при стабільних умовах акваріумного або ставкового утримання.

Морфологічно мармуровий рак подібний до *P. fallax*: обидва мають подовжене тіло з добре розвиненими клешнями та мармуровий малюнок на панцирі. Проте *P. virginalis* зазвичай трохи більший (до 12 см проти 8–9 см у *P. fallax*), має масивніші клешні та більш насичене забарвлення. Крім того, у мармурового рака відсутній статевий диморфізм, тоді як у *P. fallax* він добре виражений [10].

Екологічно *P. virginalis* відзначається вищою стійкістю до несприятливих факторів середовища. Він здатен жити у воді з низьким рівнем кисню, переносить значні коливання температури (від 15 до 30°C), а також короткочасну засоленість. Це робить його конкурентоспроможним і потенційно небезпечним видом для місцевих екосистем. Натомість природні

популяції *P. fallax* обмежені ареалом південного сходу США та не проявляють інвазійних властивостей [9].

Сьогодні *Procambarus virginalis* активно поширюється в європейських водоймах, включаючи Україну, де відзначено формування стійких природних популяцій. Його висока плодючість і відсутність природних ворогів у нових середовищах сприяють витісненню аборигенних видів, таких як *Astacus astacus* та *Pontastacus leptodactylus*. Тому у більшості країн Європи мармуровий рак внесений до переліку інвазійних видів, поширення яких підлягає контролю.

Характерною ознакою виду є мраморний візерунок на панцирі, що складається з поєднання світлих і темних плям різної інтенсивності, який індивідуально варіює в кожній особини. Карапакс гладкий, з добре вираженим рострумом трикутної форми. Клепні відносно довгі, тонкі, із слабо вираженою зернистістю [17].

Тіло мармурового рака складається з головогрудей та черевця, вкрите міцним хітиновим панциром із зеленувато-коричневим відтінком і характерним мармуровим візерунком, який надає виду його назву.



Рис.1.2.1 *Procambarus virginalis*

Забарвлення може змінюватися залежно від умов утримання, кормової бази та освітлення: від оливково-зеленого до коричнево-бурого з темними

плямами. Така варіабельність кольору зумовлена впливом довкілля, рівня пігментів у кормі та якості води.

Середня довжина тіла становить 8–10 см, іноді досягаючи 12 см, маса - близько 20–25 г. Самці у цього виду відсутні, тому статевий диморфізм не виражений.

Мармурові раки мають п'ять пар ходильних ніг, перша пара утворює клешні, що використовуються для захоплення їжі та захисту.

Анатомічно тіло мармурового рака має складну внутрішню організацію. Травна система починається з ротового отвору та проходить через складно влаштований шлунок, поділений на дві камери: жувальну й фільтраційну. Вони забезпечують механічне подрібнення корму й відокремлення дрібних частинок для подальшого засвоєння. Печінка, або так званий гепатопанкреас, виконує функції травлення, обміну речовин та накопичення енергетичних запасів.

Дихальна система складається із зябер, які розміщені в спеціальній зябровій порожнині під карапаксом. Рух води крізь зябра забезпечується ритмічними рухами пластинчастих виростів. Зябра забезпечують поглинання кисню та видалення вуглекислого газу, а також частково беруть участь у регуляції іонного балансу. Кровоносна система у рака є відкритого типу. Гемолімфа, яка виконує роль крові, циркулює з допомогою серця через систему артерій, після чого виливається в порожнини тіла й постачає тканини поживними речовинами та киснем. Очі складні, на стебельцях, забезпечують широкий огляд навколишнього середовища. Вид має високу рухливість і пристосованість до різних умов.

Живлення мармурового рака є всеїдним. У природних та штучних водоймах він споживає водорості, детрит, залишки рослинності, дрібних безхребетних, личинок комах, а також продукти розкладу органічних решток. Завдяки невибагливості до їжі та швидкому росту цей вид часто використовується в акваріумістиці та дрібному аквакультурному

виробництві. У неволі охоче споживає сухі та заморожені корми, рибу, овочі й комбікорми для креветок.

Вид демонструє високу екологічну толерантність - витримує широкий діапазон температур від 10 до 30°C, оптимум росту становить 22–26°C. Рак може виживати при короткочасному зниженні температури до 8°C і підвищенні до 32°C. Також він переносить середній рівень мінералізації води (до 5‰) і тимчасові коливання рН у межах 6,5–8,5 [12].

Завдяки партеногенетичному розмноженню, усі особини *P. virginialis* — самки, які здатні розмножуватися протягом усього року. Статева зрілість настає у віці 5–8 місяців, а кладка налічує 50–400 ікринок, що прикріплюються до черевних ніжок. Інкубація триває 3–4 тижні залежно від температури. Молодь є копією материнського організму, що сприяє високій стабільності популяції [13,14].

Фізіологічні процеси мармурового рака тісно пов'язані з його періодичними линьками, під час яких відбувається зміна старого хітинового покриву на новий. У цей період рак є особливо вразливим, оскільки новий панцир ще не затвердів. Линька є не лише необхідною умовою росту, а й важливим показником фізіологічного стану особини. Частота линьок залежить від віку, температури води, якості годівлі та загального стану середовища.

Мармурові раки активні переважно в сутінках і вночі, вдень ховаються у сховищах або під камінням. Їх поведінка територіальна, особливо при високій щільності, тому для акваріумного утримання потрібна наявність укриттів (рис. 1.2.2).



Рис. 1.2.2 басейн обладнений укриттями для розведення *Procambarus virginalis*

Вид вважається потенційно інвазивним, оскільки швидко утворює великі популяції, що можуть витіснити аборигенні види. У Європі *Procambarus virginalis* офіційно внесений до Переліку інвазивних видів, що становлять загрозу для біорізноманіття ЄС (*Regulation (EU) 2016/1141*).

Таким чином, морфологія, анатомія та фізіологія мармурового рака свідчать про високу ступінь пристосованості цього виду до життя в прісноводному середовищі. Його будова забезпечує ефективне живлення, дихання, захист і розмноження навіть у змінних умовах, що робить його перспективним об'єктом для інтенсивного вирощування в замкнених водних системах.

Мармуровий рак активно використовується в наукових дослідженнях, зокрема в генетичних, токсикологічних і біомедичних експериментах, а також у декоративній аквакультурі завдяки невибагливості, швидкому росту та цікавому забарвленню.

1.3 Умови для належного утримання і подальшого розмноження мармурового рака (*Procambarus virginalis*).

Для утримання та розведення мармурових раків (*Procambarus virginalis*) необхідно створити стабільні умови середовища, що відповідають їхнім біологічним потребам. Цей вид веде переважно донний спосіб життя, тому головним параметром акваріумної системи є площа дна. Мінімальний об'єм акваріума для однієї дорослої особини має становити не менше 40–50 літрів, а для групового утримання – від 100 літрів і більше [14].

Мармурові раки схильні до територіальної поведінки, особливо під час линяння або браку корму, тому наявність укриттів є обов'язковою умовою. Як укриття використовують камені, керамічні труби, шматки корчів або штучні пластикові конструкції. Їх кількість має перевищувати кількість особин, що дозволяє уникати внутрішньовидових конфліктів і забезпечує безпечне линяння [15].

Параметри води повинні бути стабільними: температура – у межах 20–26°C, рН – 6,0–8,0. Рівень розчиненого кисню має перевищувати 3 мг/л. Мармурові раки не здатні дихати атмосферним повітрям, тому зниження концентрації кисню спричиняє спроби втечі з акваріума. Для запобігання цьому необхідна постійна аерація, ефективна фільтрація та регулярна заміна 20–30 % об'єму води щотижня.

Освітлення має бути помірним і розсіяним. Надмірна яскравість призводить до стресу й зниження активності раків, тоді як надто слабе освітлення погіршує орієнтацію в просторі. Оптимальним є 8–10 годин світлового дня з використанням світлодіодних ламп середньої потужності.

Субстрат відіграє важливу роль у комфорті утримання мармурових раків. Найкраще підходить галька або дрібні камінці діаметром 3–5 мм. Використання піску небажане, оскільки він піднімається у воду під час руху раків, що призводить до помутніння середовища. Рослинний компонент можна обмежити міцними видами з добре розвинутою кореневою системою -

Anubias, Vallisneria, Cryptocoryne, Microsorium pteropus. М'яколисті рослини часто поїдаються або вириваються під час активності тварин [17].

Особливу увагу слід приділяти періоду линяння, який є критичним для росту мармурових раків. У цей час особини вразливі до нападів з боку інших, тому кількість укриттів має бути максимальною. Частота линяння залежить від віку та умов утримання: молодь линяє приблизно раз на 2–3 тижні, дорослі – раз на 1,5–2 місяці. Нестача кальцію або погіршення якості води можуть викликати проблеми з утворенням нового панцира та втрату особин [27].

Мармурові раки є всеїдними і характеризуються широким спектром харчових уподобань. У природі вони споживають залишки рослин, водорості, дрібних безхребетних, личинок комах і детрит. У штучних умовах їх годують спеціалізованими кормами для раків або креветок (наприклад, *Tropical Crusta Sticks, JBL NovoCrabs, Dennerle Crayfish Menu, Alltech Coppens*), які містять оптимальний баланс білків, ліпідів і мінералів.

Доцільно поєднувати сухі комбікорми з натуральними продуктами: ошпареним шпинатом, кабачком, листям салату, морквою, а також білковими добавками – шматочками риби, креветок або артемії.

Перегодовування неприпустиме, адже надлишки корму швидко погіршують якість води. Годування проводять один раз на день або через день, бажано у вечірній час, коли активність раків зростає [21].

Молодь потребує корму з підвищеним умістом білка (до 40–45 %), що забезпечує швидкий ріст та формування екзоскелета. Для дорослих особин оптимальний рівень білка становить 25–30 %, ліпідів – 7–8 %, вуглеводів – близько 20 %. Кальцій є обов'язковим елементом раціону, оскільки бере участь у формуванні панцира. Його нестача призводить до м'якого екзоскелета, затримки росту та підвищення смертності після линяння [22].

Як додаткове джерело органіки рекомендується використовувати сухе листя червоного дуба або індійського мигдалю (*Terminalia catappa*), яке поступово розкладається, виділяючи дубильні речовини й сприяючи

розвитку сапротрофної мікрофлори. Це покращує якість води і зменшує ризик бактеріальних інфекцій.

Розмноження відбувається за класичною для членистоногих схемою, але без запліднення. Мармуровий рак є унікальним серед ракоподібних тим, що його розмноження відбувається виключно партеногенетичним шляхом: запліднення не потребує участі самця, а всі нащадки є клонами материнської особини. Після спарювання, точніше – після відкладання яєць, адже самка періодично формує ікру, яку вона відкладає під черевце і прикріплює до спеціалізованих виростів – плевроподій.

Інкубація ікри триває від 2 до 5 тижнів залежно від температури води, а протягом цього часу самка активно захищає кладку та підтримує її у належному стані, забезпечуючи доступ кисню завдяки хвилеподібним рухам черевних кінцівок.

Після вилуплення личинки залишаються прикріпленими до матері ще декілька днів або навіть тижнів, проходячи початкові стадії розвитку в її безпосередній близькості. Личинки мармурового рака за зовнішнім виглядом майже не відрізняються від дорослих особин, проте мають значно менші розміри, м'якший панцир і підвищену чутливість до змін параметрів водного середовища [6].

З часом молодь відокремлюється від самки й переходить до самостійного способу життя. Молодь з'являється повністю сформованою, відразу здатною до самостійного життя. Статевої зрілості раки досягають через 5–8 місяців. При сприятливих умовах (20–25°C, рН 7.0–8.0) кладка налічує 50–400 ікринок, що прикріплюються до черевних ніжок. Інкубація триває 3–4 тижні залежно від температури.

Завдяки партеногенетичному розмноженню, усі особини *P. virginalis* – самки, які здатні розмножуватися протягом усього року.

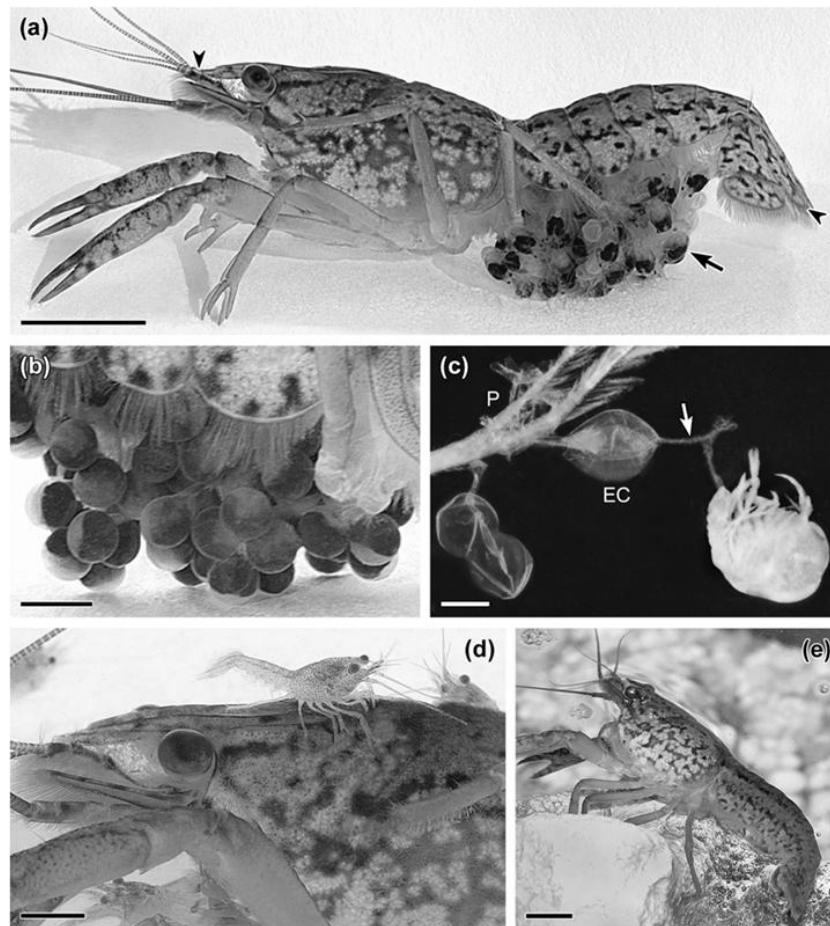


Рис.1.3.8 Процес скидання молоді Мармурового рака

Такий спосіб розмноження є результатом природної мутації, що призвела до триплоїдності геному, що, у свою чергу, унеможливило статеве розмноження і забезпечило повну генетичну однорідність популяції.

Життєвий цикл мармурового рака складається з кількох фаз: від ембріонального розвитку, личинкових стадій, періоду активного росту з регулярними линьками, до статевого дозрівання, яке настає вже через 3–5 місяців після народження, залежно від температури води та умов годівлі. Цикл линьки відіграє ключову роль у процесі росту та оновлення зовнішнього покриву. У молодих особин линька відбувається частіше, з поступовим її уповільненням у дорослому віці [31].

Рак може продукувати декілька поколінь потомства протягом року, що забезпечує стрімке зростання чисельності в популяції навіть за відносно обмежених ресурсів. Така висока репродуктивна здатність, поєднана з відсутністю необхідності у партнерах, значно спрощує процес культивування

в умовах аквакультурних систем, оскільки дозволяє уникнути контролю за співвідношенням статей і ризику незаплідненості ікри [7].

Мармурові раки можуть утримуватися як у моно-, так і в полікультурі. Їхня сумісність з іншими гідробіонтами визначається рівнем забезпеченості кормом і кількістю укриттів. Найкраще співіснують із дрібними мирними рибами, такими як *Poecilia reticulata*, *Danio rerio*, *Neon tetra*, які тримаються у верхніх шарах води. Недоцільним є спільне утримання з великими або агресивними видами риб (цихлідами, барбусами, астронотусами), які можуть травмувати раків або бути ними поїденими [29].

Сумісність із молюсками часткова: великі равлики (*Pomacea*, *Marisa*) часто поїдаються, тоді як дрібні види (*Melanoides*, *Physa*, *Planorbarius*) здатні співіснувати, виконуючи санітарну функцію.

Ефективне утримання та розмноження мармурових раків можливе лише за умов підтримання стабільних параметрів водного середовища, достатньої кількості укриттів і збалансованої годівлі. Раціональна організація акваріумної системи забезпечує високу виживаність молоді, швидкі темпи росту й стабільне відтворення популяції [30].

1.4. Мармуровий рак як інвазивний вид та його вплив на водні екосистеми України.

В Україні цей вид уперше було офіційно виявлено у 2015–2016 роках у водоймах Київської, Полтавської, Волинської та Черкаської областей. З огляду на високу здатність до адаптації, мармуровий рак нині зустрічається у ставках, кар'єрах, озерах і навіть у малих річках різних регіонів. Відомі випадки його появи у дніпровських водосховищах, що становить потенційну загрозу для місцевої гідробіоти.

Біологічні особливості, що сприяють інвазії

Мармуровий рак має низку біологічних рис, які забезпечують йому конкурентні переваги над аборигенними видами раків (*Astacus astacus*, *Astacus leptodactylus*). Серед них:

Партеногенетичне розмноження: кожна особина може продукувати потомство без запліднення, утворюючи 200-700 яєць за цикл. За рік можливе кількаразове розмноження, що призводить до експоненціального зростання чисельності.

Висока екологічна пластичність: вид може виживати в широкому діапазоні температур (від 10 до 30°C), переносить короточасне зниження рівня кисню у воді та різні значення рН [4].

Швидке дозрівання: статева зрілість досягається вже через 4–6 місяців після вилуплення.

Невибагливість до корму: мармурові раки є всеїдними – вони споживають детрит, водорості, безхребетних, рослинні рештки, а за відсутності корму можуть переходити до канібалізму.

Ці характеристики роблять вид надзвичайно конкурентоспроможним, а також стійким до несприятливих екологічних факторів і антропогенного тиску [33].

Екологічні наслідки інвазії в Україні

Поява мармурового рака в природних водоймах України має комплексні негативні наслідки для місцевих екосистем. Основні з них такі:

Витіснення аборигенних видів раків. Завдяки швидкому розмноженню та агресивній поведінці мармурові раки поступово заміщують європейських річкових раків, які мають нижчу репродуктивну здатність і вузький діапазон екологічної толерантності. Особливо вразливими є популяції широкопалого рака (*Astacus astacus*), який внесений до Червоної книги України [36].

Порушення харчових ланцюгів. Унаслідок надмірної чисельності мармурові раки активно споживають безхребетних, личинок риб, ікру, а також органічні рештки, змінюючи структуру донних угруповань. Це призводить до дисбалансу в екосистемах і зниження біорізноманіття.

Погіршення якості води. Велика біомаса раків сприяє підвищенню вмісту органічних речовин і біогенних елементів у воді через продукти життєдіяльності, що стимулює розвиток евтрофікації та “цвітіння” води.

Потенційне поширення хвороб. Мармурові раки можуть бути переносниками небезпечного грибка *Aphanomyces astaci* – збудника “рачої чуми”, що смертельна для європейських раків, але не шкодить самим мармуровим. Таким чином, цей вид становить біологічну загрозу для автохтонних популяцій [25].

Правовий статус та контроль чисельності

У багатьох країнах Європейського Союзу *Procambarus virginialis* офіційно внесений до списку інвазивних чужорідних видів, що становлять загрозу для біорізноманіття (Регламент ЄС №1143/2014). Це означає, що його розведення, транспортування, продаж та випуск у природне середовище суворо заборонені.

В Україні мармуровий рак наразі не має окремого правового статусу на рівні законодавства, однак фахівці Іхтіологічної асоціації України та Інституту гідробіології НАН України неодноразово закликали внести його до списку заборонених для інтродукції видів. Основна причина – ризик деградації природних водойм і втрати місцевих популяцій аборигенних раків.

Контроль чисельності інвазивних популяцій є надзвичайно складним завданням. У природних умовах повне знищення виду практично неможливе через високу швидкість розмноження та здатність виживати в ізольованих ділянках водойм. Тому головним засобом боротьби є профілактика подальшого поширення, інформування населення та акваріумістів про екологічну небезпеку виду, а також моніторинг нових осередків інвазії.

Перспективи використання та ризику

Попри потенційну екологічну загрозу, мармуровий рак має певну господарську цінність. Його розводять у контрольованих умовах – у замкнених рециркуляційних аквакультурних системах (RAS) для наукових досліджень, декоративних цілей або як об’єкт аквакультури з метою отримання біомаси. У таких умовах можливо забезпечити повний контроль за розмноженням і не допустити потрапляння особин у природне середовище.

Однак використання цього виду в господарських цілях потребує дотримання суворих біобезпекових заходів – герметичних систем, механічних фільтрів, відсутності стоків у відкриті водойми та утилізації відходів лише після дезінфекції. Лише за таких умов можливе безпечне поєднання економічної вигоди з екологічною відповідальністю.

Мармуровий рак (*Procambarus virginalis*) є типовим інвазивним видом, який завдяки унікальним біологічним властивостям швидко поширився в екосистемах України. Його присутність становить реальну загрозу для аборигенних ракоподібних, порушує екологічну рівновагу водойм та сприяє деградації біорізноманіття [37].

У зв'язку з цим актуальним завданням є проведення систематичного моніторингу поширення виду, запровадження нормативних обмежень на його розведення у відкритих системах та підвищення рівня екологічної обізнаності серед населення. Контроль і вивчення мармурового рака є необхідною умовою для збереження природних водних екосистем України [35].

1.5 Порівняльна характеристика мармурового рака з іншими видами роду *Cherax* та *Procambarus*.

Мармуровий рак (*Procambarus virginalis*) належить до роду *Procambarus*, який об'єднує понад півтори сотні видів прісноводних ракоподібних, поширених переважно у водоймах Північної та Центральної Америки. Представники цього роду характеризуються значною екологічною пластичністю, різноманітністю морфологічних форм і високою пристосованістю до змін умов середовища. Інший споріднений рід – *Cherax* – представлений у водоймах Австралії, Нової Гвінеї та Індонезії, і є одним із найважливіших об'єктів аквакультури у південній півкулі. Незважаючи на спільні риси будови, представники цих родів мають низку морфологічних, фізіологічних і поведінкових відмінностей, що визначають їхні екологічні стратегії та господарське значення [34].

Мармуровий рак відрізняється від інших видів роду *Procambarus* насамперед характерним мармуровим візерунком панцира, який має декоративне значення й робить цей вид популярним серед акваріумістів. Його тіло менше за розміром, ніж у більшості видів *Cherax*, і зазвичай досягає 10–12 см довжини. Клепні мармурового рака відносно тонкі, з округлими сегментами, тоді як у *Cherax destructor* або *Cherax quadricarinatus* вони масивні та асиметричні, пристосовані до копання у ґрунті. Крім того, у представників *Cherax* карапакс ширший і щільніший, що зумовлює більшу частку м'язової тканини, придатної для споживання, тоді як у *Procambarus virginalis* панцир легший, що забезпечує більшу рухливість [40].

Особливою біологічною ознакою мармурового рака є його унікальна здатність до партеногенетичного розмноження – усі особини є самками і здатні продукувати потомство без участі самця. Це явище є унікальним серед десятиногих ракоподібних і забезпечує надзвичайно швидке розмноження популяцій. На відміну від нього, *Procambarus clarkii* і *Cherax destructor* розмножуються статевим шляхом, потребуючи певних умов для спаровування та інкубації ікри. Партеногенез дозволяє *Procambarus virginalis* відтворювати потомство декілька разів на рік, що суттєво підвищує його конкурентоспроможність, але водночас створює серйозні екологічні ризики при потраплянні до природних водойм [39].

За екологічною толерантністю мармуровий рак демонструє надзвичайну витривалість. Він може існувати при значних коливаннях температури – від 10 до 30°C, витримує зміни рН у межах 6,5–8,5 і навіть низьку концентрацію кисню у воді. Така пластичність забезпечує успішне виживання виду в різних кліматичних зонах і пояснює його стрімке поширення у водоймах Європи, включно з Україною. У цьому аспекті *Procambarus virginalis* є типовим інвазивним видом, здатним витіснити аборигенних представників фауни, таких як річковий рак (*Astacus astacus*) або довгопалий рак (*Pontastacus leptodactylus*). Завдяки високій репродуктивній здатності та стійкості до зовнішніх факторів він швидко

формує стабільні популяції, що змінюють структуру донних біоценозів і порушують природний баланс екосистем [36].

У поведінковому плані *Procambarus virginalis* менш агресивний, ніж більшість його споріднених видів. На відміну від *Procambarus clarkii*, який активно захищає свою територію, мармуровий рак миролюбний і здатний до групового утримання за наявності достатньої кількості схованок. Це робить його зручним об'єктом для декоративного розведення, досліджень у лабораторних умовах і навчальних цілей. *Cherax destructor* та інші австралійські види мають схильність до риття нір і ведуть осілий спосіб життя, тоді як *Procambarus virginalis* активніше переміщується дном і здатний освоювати нові ділянки водойми [38].

З господарської точки зору представники роду *Cherax* мають значно більшу комерційну цінність, оскільки швидко ростуть і досягають ваги, придатної для промислового вилову. Їх м'ясо відзначається високими смаковими якостями, а самі раки є популярними об'єктами фермерського розведення в Австралії та Південно-Східній Азії. Натомість мармуровий рак не має харчового значення через дрібні розміри, однак використовується як модельний об'єкт у наукових дослідженнях і як декоративна тварина. Його здатність розмножуватися без самців дає можливість ефективно вивчати генетичну стабільність, мутації, процеси росту і вплив зовнішніх факторів у замкнених рециркуляційних системах (RAS) [37].

Порівняльний аналіз свідчить, що мармуровий рак суттєво поступається видам роду *Cherax* за темпами росту, довговічністю та господарською продуктивністю, однак перевершує їх за репродуктивною здатністю та екологічною стійкістю (таблиця 1.6.1).

Порівняння мармурового рака з іншими видами роду *Cherax* та *Procambarus*

Показник	<i>Procambarus virginalis</i>	<i>Procambarus clarkii</i>	<i>Cherax destructor</i>
Розмноження	Партогенез	Статеве	Статеве
Середня довжина, см	10–12	12–15	15–25
Кількість яєць за цикл	300–700	200–500	200–400
Температура оптимуму, °С	20–26	18–28	22–28
Тривалість життя, років	2–3	4–5	6–8
Агресивність	Низька	Висока	Помірна
Господарське використання	Декоративне, лабораторне, харчове	Харчове, біомеліорація	Харчове, промислове
Екологічний статус в Україні	Інвазивний	Потенційно інвазивний	Відсутній у природі

У природних умовах така комбінація властивостей робить його небезпечним інвазивним видом, тоді як у контрольованих умовах вона відкриває широкі можливості для використання у декоративній та дослідницькій аквакультурі. Таким чином, *Procambarus virginalis* є унікальним представником свого роду, який поєднує у собі біологічну простоту, високу адаптивність і наукову цінність, але потребує суворого контролю при культивуванні, аби запобігти негативному впливу на природні водні екосистеми України [24].

1.6 Принципи функціонування рециркуляційних аквакультурних систем (RAS).

У контексті сучасної аквакультури все більшої актуальності набувають технології замкненого водопостачання, зокрема рециркуляційні аквакультурні системи (RAS, від англ. *Recirculating Aquaculture Systems* –

RAS). Ці системи базуються на принципі багаторазового використання води в умовах контрольованого середовища, де біологічне навантаження регулюється за допомогою фільтраційного обладнання, а параметри води підтримуються в межах, оптимальних для життєдіяльності гідробіонтів. Основною ідеєю *RAS*-систем є мінімізація втрат води та створення стабільного середовища для культивування водних організмів у закритому або напівзакритому циклі [32].

На відміну від традиційних форм вирощування, таких як ставкові або проточні господарства, рециркуляційні системи дозволяють здійснювати інтенсивне вирощування незалежно від погодних умов, сезонності та регіональних обмежень. Вони дають змогу точково контролювати фізико-хімічні показники води, такі як температура, рівень кисню, рН, концентрація амонію та нітритів, що вкрай важливо для підтримання здоров'я чутливих видів гідробіонтів [8].

Ефективне функціонування рециркуляційної аквакультурної системи залежить від узгодженої роботи її основних складових, кожна з яких виконує чітко визначену роль у підтриманні стабільної якості води, забезпеченні життєдіяльності гідробіонтів та оптимізації загального процесу вирощування. Усі компоненти *RAS*-системи тісно пов'язані між собою та створюють замкнений цикл, у якому вода циркулює багаторазово, проходячи кілька стадій очищення й регуляції параметрів [23].

Першим етапом очищення зазвичай є механічна фільтрація. Вона спрямована на видалення з води твердих залишків, таких як кормові залишки, екскременти тварин та інші частки, що знижують прозорість води й можуть сприяти накопиченню токсичних речовин. Для цього використовуються сита, барабанні або гравітаційні фільтри, які затримують грубі домішки та полегшують подальшу обробку води на наступних етапах [11].

Після механічного очищення вода надходить у біофільтр, який виконує ключову роль у біологічному розкладанні органічних сполук. Саме тут

відбуваються процеси нітрифікації, під час яких спеціалізовані колонії нітрифікуючих бактерій перетворюють токсичний амоній, що виділяється у процесі життєдіяльності гідробіонтів, у менш шкідливі нітрити, а згодом – у нітрати. Біофільтрація забезпечує зниження біологічного навантаження у системі й запобігає отруєнню водних організмів. Як наповнювач біофільтра можуть використовуватись матеріали з великою питомою поверхнею, які сприяють закріпленню бактерій [12].

Одним із важливих елементів сучасної RAS-системи є ультрафіолетовий стерилізатор. Його функція полягає в знезараженні води шляхом знищення патогенних мікроорганізмів, вірусів, грибків та водоростей. УФ-опромінення не змінює хімічний склад води, але ефективно знижує ризик розвитку інфекцій, що особливо важливо у високощільних умовах вирощування.

Аерація та оксигенація - це ще одна критично важлива ланка системи. Рівень розчиненого кисню у воді є одним з найчутливіших параметрів для більшості водних організмів. Тому застосовуються компресори, розпилювачі повітря або спеціальні інжекторні системи, які забезпечують стабільне постачання кисню в усі резервуари. У деяких випадках, залежно від виду гідробіонтів і температури, додатково використовують генератори чистого кисню або системи регулювання надлишкового вуглекислого газу [13].

Температурний режим у RAS-системах регулюється за допомогою нагрівальних або охолоджувальних елементів, зокрема терморегуляторів, обігрівачів або чілерів. Вибір і потреба у таких пристроях залежить від біологічних особливостей виду, що розводиться, а також від регіональних кліматичних умов і цілорічного режиму роботи комплексу.

Не менш важливу роль відіграють насосні станції та система трубопроводів, що забезпечують циркуляцію води між резервуарами, фільтраційними модулями та допоміжними ємностями. Вони повинні функціонувати безперебійно, з достатньою потужністю для подолання

гідралічного опору, і бути розрахованими на безпечне перенесення об'єму води відповідно до масштабів господарства [3].

Завершальною складовою є система моніторингу та контролю параметрів водного середовища. Це можуть бути як автоматизовані прилади, що безперервно вимірюють температуру, рН, вміст кисню, амонію та інших речовин, так і ручні тести для періодичного контролю. Дані показники дозволяють оперативно реагувати на будь-які відхилення та вчасно вносити корективи у роботу системи.

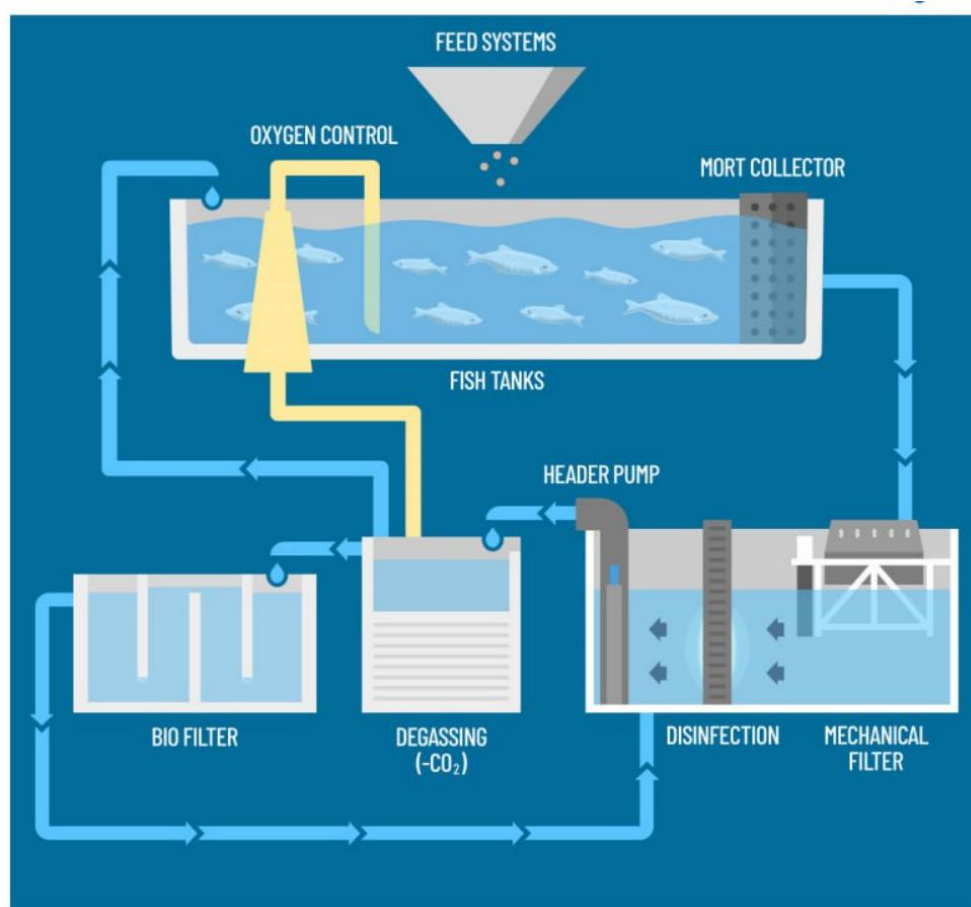


Рис.1.7.1 Принцип функціонування рециркуляційних аквакультурних систем (RAS)

Рециркуляційна система є комплексом взаємопов'язаних елементів, кожен з яких виконує спеціалізовану функцію, але в сукупності забезпечує головну мету – створення стабільного, контрольованого й екологічно безпечного середовища для інтенсивного вирощування гідробіонтів. У разі грамотного проектування та технічного супроводу така система здатна функціонувати ефективно, економно й довготривало.

Параметри якості води та їх значення для гідробіонтів:

Якість води є ключовим фактором, що визначає ефективність вирощування гідробіонтів у рециркуляційних системах. У порівнянні з відкритими водоймами, де умови змінюються природним чином, у RAS –системах усі параметри водного середовища повинні підтримуватись у суворо контрольованих межах, адже навіть незначні відхилення можуть негативно впливати на фізіологічний стан, ріст, розмноження і виживаність аквакультурних об'єктів [2].

Одним із найважливіших показників є температура води. Вона безпосередньо впливає на інтенсивність обміну речовин, швидкість росту, активність травлення, дихання та процеси розмноження. Для більшості тропічних і субтропічних видів, зокрема мармурового рака, оптимальний температурний діапазон становить 22–28°C. При зниженні температури до критичних меж уповільнюються метаболічні процеси, а за підвищення понад допустимі значення зростає ризик гіпоксії та смертності.

Рівень розчиненого кисню у воді є не менш важливим. Його нестача може призводити до пригнічення дихання, стресу та масової загибелі організмів. У рециркуляційних умовах слід забезпечувати насичення води киснем на рівні не нижче 5–6 мг/л. Це досягається за допомогою систем аерації, оксигенації або навіть застосуванням чистого кисню в умовах високої щільності посадки.

Реакція середовища, або показник рН, також має значення для підтримання фізіологічної рівноваги. Більшість гідробіонтів комфортно почуваються при рН у межах 6,5–8,0. Зниження цього показника може спричинити порушення іонного балансу, подразнення зябер і зменшення ефективності нітрифікації. Занадто високий рН, своєю чергою, може посилити токсичність аміаку, що особливо небезпечно в умовах інтенсивного вирощування.

Важливими є також концентрації азотистих сполук – амонію ($\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$), нітритів (NO_2^-) та нітратів (NO_3^-). Амоній утворюється внаслідок

розкладу органічних речовин і виділяється з продуктами життєдіяльності. У воді він частково перетворюється в аміак, який у високих концентраціях є токсичним. Нітрити, як проміжний продукт нітрифікації, також становлять загрозу для здоров'я гідробіонтів, порушуючи процес транспорту кисню в організмі. Нітрати менш токсичні, проте їх накопичення свідчить про перевантаження біофільтра або погану циркуляцію. Контроль цих параметрів здійснюється регулярно, а в разі потреби вживаються заходи для корекції - зокрема покращення біофільтрації, підміна води або зниження навантаження на систему [14].

Жорсткість води, зумовлена концентрацією кальцію й магнію, відіграє значну роль у процесах формування хітинового покриву в ракоподібних. Надто м'яка вода може ускладнювати процес линьки, спричиняти деформації панцира та збільшувати ризик летальних наслідків під час оновлення покриву. Для мармурового рака бажаним є рівень загальної жорсткості не нижче 6–8°dH.

Якість води також залежить від прозорості, наявності зважених частинок і біологічного навантаження. Залишки кормів, продукти метаболізму й мікробна активність впливають на загальний санітарний стан середовища, тому необхідне регулярне очищення дна резервуарів і підтримка ефективної механічної фільтрації.

Отже, підтримання стабільних і оптимальних параметрів водного середовища в RAS-системах є обов'язковою умовою для успішного вирощування гідробіонтів. Точний моніторинг та вчасна корекція будь-яких відхилень дозволяють мінімізувати стрес, знизити ризики захворюваності й досягти високих показників росту та відтворення вирощуваних організмів [1].

1.7. Розвиток аквакультури мармурового рака в Україні та світі

Аквакультура мармурового рака стрімко розвивається у багатьох країнах світу завдяки його біологічним особливостям і невибагливості до

умов вирощування. Однією з головних переваг цього виду є партеногенетичне розмноження, що дає змогу отримувати стабільні популяції без додаткових витрат на підтримку самців або проведення складної селекційної роботи. Завдяки цьому технологічний процес стає простішим, а виробничі витрати – нижчими, що робить мармурового рака зручним об'єктом для комерційного розведення [19].

У світі цей вид найчастіше вирощується для декоративних цілей, оскільки він має привабливий зовнішній вигляд і користується попитом серед акваріумістів. Крім того, мармурового рака використовують як корм для хижих риб у інтегрованих системах аквакультури, а також у наукових дослідженнях, пов'язаних із генетикою та біологією ракоподібних. У країнах Європи та Азії створюються невеликі ферми, що поєднують функції декоративного розведення з виробництвом живого корму, а також експериментальні господарства, які вдосконалюють технології його вирощування.

В Україні розведення мармурового рака перебуває на етапі становлення, однак має великий потенціал розвитку. Низька конкуренція, простота технології та зростаючий інтерес до екзотичних видів аквакультури створюють умови для організації малих і середніх господарств, орієнтованих на внутрішній ринок. Додатковою перевагою є екологічність виробництва, оскільки рециркуляційні системи мінімізують використання природних ресурсів і зменшують вплив на довкілля [20].

Подальший розвиток аквакультури мармурового рака пов'язаний із впровадженням інноваційних технологій. Серед перспективних рішень можна відзначити автоматизацію контролю параметрів води, удосконалення систем фільтрації та аерації, застосування біологічних препаратів для стабілізації мікрофлори, а також використання спеціалізованих комбікормів для оптимізації росту. Такі підходи дають можливість підвищити продуктивність, знизити ризики та забезпечити стабільну якість продукції [21].

Мармуровий рак має значний потенціал як у світовій, так і в українській аквакультурі. Його розведення може стати прибутковим напрямом за умови правильного вибору ринку збуту, впровадження сучасних технологій та дотримання екологічних вимог.

РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для практичної роботи використовували один басейн об'ємом 1000л. Проводили спостереження за поведінкою, годівлею та темпами росту 20 дорослих особин мармурового рака *P. virginalis* і 200 молодих рачат віком 0-1 тижня.

В роботі використані загальноприйняті іхтіологічні, гідрохімічні, гідробіологічні, паразитологічні методи досліджень [15, 18, 19, 23, 24].

Відповідно до загальноприйнятих іхтіологічних методик усіх особин раків 1 раз на місяць піддавали вимірюванню (довжини тіла l) [24]. Під час вимірювання візуально оцінювали стан панцира, відсутність ектопаразитів та шкірних хвороб. Для лікування *P. virginalis* використовували наступні медикаменти: празиквантел, метранідазол, фуразолідон.

Періодично (щотижнево) здійснювали гідрохімічний аналіз водного середовища у відповідності до методик експрес-аналізу (з використанням тестів фірми Ptero, JBL). Також для стабільності бактеріального фону, у воду додавалося листя червоного дуба.

Результати досліджень фіксували в робочому журналі, в якому детально відмічали: вік, кількість особин, перебіг лікування, кількість загиблих особин (відхід), результати проведення гідрохімічного аналізу води.

Годівлю раків здійснювали сухими кормами Coppens Vital. Для зважування кормів використовували електронні ваги «Electronic Compact Scale SF – 400 C» (точність до $0,1 \pm 0,01$ г). Також, до раціону щодня додавали живий корм (трубчастий черв'як та морожені мідії та салака).

Для забезпечення технологічного процесу утримання басейну та аквасистеми використовували обігрівач Resun SUNLIKE (на 300 Вт), помпи Resun B-2000 (2000 л/год.), Atman AT-F 203 (3600 л/год.), а також систему фільтрації води (САМП).

Математичну обробку отриманих даних проводили у відповідності до загальноприйнятих наукових праць [32, 36]. Обробку, аналіз та узагальнення отриманих результатів здійснювали на підприємстві ТОВ «Ханако».

РОЗДІЛ 3.

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РОЗВЕДЕННЯ МАРМУРОВОГО РАКА В УМОВАХ RAS СИСТЕМ

3.1 Проектування RAS системи

Організація ефективного розведення мармурового рака в умовах рециркуляційної аквакультурної системи передбачає комплексне планування, що охоплює вибір місця розташування установки, інженерне проектування системи та підбір необхідного обладнання з урахуванням біологічних потреб виду та економічної доцільності.

Вибір місця та приміщення. Для розміщення RAS-системи обрано утеплене приміщення площею 30 м² з підключенням до електромережі (220 В), водопроводу та каналізації. Важливою вимогою є наявність вентиляції, можливість підтримки стабільної температури повітря (18–26 °С), а також легкий доступ до системи для її обслуговування. У зв'язку з тим, що мармуровий рак є теплолюбним видом, перевагу надається приміщенням із мінімальними тепловтратами – наприклад, цокольним поверхам або утепленим ангарним приміщенням.

Розрахунок об'єму вирощувальної системи. Виходячи з цілі вирощування близько 2000 особин мармурового рака до товарної маси (20–30 г за 4–5 місяців), проектування системи базується на допустимій щільності посадки, що становить орієнтовно 200 особин/м² поверхні дна при наявності укриттів. З урахуванням трьох рівнів вирощувальних лотків (багаторівневе розміщення).

Для підтримання якості води за рекомендованої водообміну 5–10 об'ємів на добу, обсяг робочої води в системі має становити не менше 3 м³ (3000 літрів). Цього об'єму достатньо для забезпечення нормального гідродинамічного режиму, ефективної роботи фільтрів і підтримання стабільного середовища.

Розрахунок об'єму RAS -системи:

Робочий об'єм вирощувальних ємностей – $1 \times 1000 \text{ л} = 1000 \text{ л}$

Об'єм біофільтра й механічного фільтра – 40 л

Буферні резервуари та технічна вода – 500 л

Загальний об'єм системи - приблизно 1500 л

Підбір обладнання. Згідно з вимогами до системи, обирається насос продуктивністю не менше 1800 л/год (*Atman 203*) з можливістю регулювання потоку. Механічне очищення забезпечує барабанний або губчастий фільтр із сіткою 150-200 мкм. Біофільтр заповнюється пластиковим завантаженням типу K1 або біошарами з питомою поверхнею понад $500 \text{ м}^2/\text{м}^3$ для ефективного закріплення нітрифікуючих бактерій. Для знезараження використовується ультрафіолетовий стерилізатор потужністю 110 Вт.

Аерацію води забезпечує мембранний компресор із продуктивністю 65-100 л/хв, до якого підключені декілька розпилювачів в резервуарі. Додатково передбачено обігрівач на 500 Вт для підтримання температури 20–24°C, а також градусники, рН-метри та тести на амоній, нітрити та нітрати для щоденного моніторингу.

Орієнтовний кошторис базової RAS-системи на 1000л води (в умовах навчальної лабораторії або малого господарства):

Біофільтр + завантаження -5 000 грн

Механічний фільтр – 1200 грн

УФ-стерилізатор – 12 000 грн

Компресор і система аерації – 7000 грн

Обігрівач – 1500 грн

Датчики, труби, фітинги – 4000 грн

Ємності (лотки, буфери, кріплення) – 9300 грн

Разом: ~37 000 – 40 000 грн

Проектування RAS-системи з урахуванням біологічних особливостей мармурового рака, а також просторових та фінансових можливостей, дозволяє забезпечити стабільну й керовану технологічну платформу для подальшого вирощування та аналізу продуктивності об'єкта дослідження.

Однією з основних переваг RAS-систем є значне зниження водоспоживання. Завдяки безперервній фільтрації та очищенню вода не вимагає постійного поновлення, що дозволяє суттєво скоротити витрати на водопостачання й водовідведення. Крім того, компактність таких установок відкриває можливість розміщення їх у промислових зонах, на складах або в закритих приміщеннях, де можна цілорічно вирощувати продукцію без залежності від природних водойм.

RAS -системи також сприяють зменшенню ризику занесення хвороб, паразитів та забруднюючих речовин, що є типовими для відкритих водойм. Завдяки фільтраційним елементам, включаючи механічну, біологічну та ультрафіолетову очистку, система самостійно підтримує належну якість води, що, своєю чергою, позитивно впливає на ріст і виживаність вирощуваних організмів.

Ще одним важливим аспектом є екологічна безпека RAS-технологій. Оскільки в процесі функціонування практично не відбувається скиду відпрацьованої води у природні водойми, зменшується антропогенний вплив на довкілля. Це робить систему привабливою не лише з погляду ефективного виробництва, але й у контексті сталого природокористування.

Поряд із численними перевагами рециркуляційні системи мають і певні недоліки. Найбільш суттєвим серед них є висока вартість початкових інвестицій на проєктування, будівництво та оснащення обладнанням. Крім того, такі системи потребують постійного технічного обслуговування та кваліфікованого персоналу, здатного оперативно реагувати на зміну параметрів водного середовища. У разі відмови окремих компонентів (наприклад, насоса або системи аерації) можливе швидке погіршення умов, що ставить під загрозу весь біологічний об'єкт.

Проте, враховуючи загальні тенденції розвитку аквакультури, обмеженість природних водних ресурсів та необхідність екологічної відповідальності, RAS-системи мають беззаперечну перевагу як інструмент інтенсивного та сталого вирощування водних організмів. Саме ці переваги

зумовлюють зростання інтересу до їхнього впровадження, особливо у випадках розведення нових або чутливих видів, таких як мармуровий рак.

3.2 Запуск та налагодження RAS-системи

Після завершення етапу проектування та монтажу RAS-системи необхідно здійснити її грамотний запуск, який передбачає підготовку водного середовища, активацію фільтраційного обладнання та стабілізацію параметрів до початку посадки гідробіонтів. Цей процес триває від 14 до 30 днів і є критичним для подальшого успішного функціонування всієї установки.

Підготовка води. Перед наповненням системи проводиться ретельне промивання всіх елементів: трубопроводів, ємностей, біофільтра, фільтрувальних блоків. Для наповнення системи використовується водопровідна або артезіанська вода, яка попередньо знезаражується від залишкового хлору. У разі застосування водопровідної води її відстоюють протягом 24–48 годин або обробляють активованим цеолітом чи спеціальними дехлоруючими препаратами (наприклад, тіосульфатом натрію). Оптимальні початкові параметри води мають відповідати таким значенням: температура 24–26°C, рН – 7,2–7,6, концентрація розчиненого кисню - не нижче 6 мг/л.

Мінералізація та корекція параметрів. Якщо вихідна вода має низьку жорсткість або мінеральний склад, до неї додаються мінеральні суміші на основі солей кальцію та магнію для забезпечення нормального формування екзоскелету ракоподібних. Визначення дози проводиться за результатами аналізу загальної твердої фази (TDS) або жорсткості. Наприклад, для досягнення жорсткості 8°dH в об'ємі 1000 літрів додається близько 2–3 г CaCl₂ на 10 літрів води.

Запуск біофільтра. Біофільтр – це серце RAS-системи, яке відповідає за утилізацію амонію та нітритів шляхом біохімічного розкладання. Для ефективної роботи необхідне формування колоній нітрифікуючих бактерій

(*Nitrosomonas* і *Nitrobacter*), які заселяють біонаповнювачі. Запуск біофільтра триває 2–3 тижні й передбачає додавання джерела амонію - наприклад, у вигляді карбаміду (сечовини) або спеціального корму. Концентрацію амонію підтримують у межах 2-3 мг/л, контролюючи при цьому рівні нітритів та нітратів. Можливе також використання стартових бактеріальних препаратів (біостартерів), які прискорюють колонізацію біофільтра. Увесь цей період вода не підлягає заміні, але повинна активно циркулювати й аеруватися [16].

Стабілізація системи. Кінцем фази запуску вважається момент, коли концентрація амонію та нітритів падає до безпечних рівнів (менше 0,5 мг/л), а нітрати починають накопичуватись. Це свідчить про завершення циклу нітрифікації. У цей час параметри температури, рН, розчиненого кисню, а також жорсткість мають бути стабільними. Якщо спостерігається підвищене піноутворення або мутність, проводиться корекція циркуляції, промивка механічного фільтра та, за потребою, часткова підміна води.

Контрольні вимірювання. Перед запуском гідробіонтів обов'язково проводять аналіз ключових показників:

Температура: 24–26 °С

рН: 7,2–7,6

Розчинений кисень: >6 мг/л

Амоній ($\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$): <0,2 мг/л

Нітрити (NO_2^-): <0,1 мг/л

Нітрати (NO_3^-): <40 мг/л

Жорсткість: 6-10 °dH

Тестовий запуск. За 2–3 дні до внесення основного поголів'я здійснюється тестова посадка кількох особин мармурового рака. Це дозволяє перевірити реакцію біоти на середовище, виявити можливі приховані проблеми - наприклад, залишки хімікатів або нестабільну роботу фільтра. Якщо за цей час не спостерігається негативних симптомів (апатії, линьки з летальним результатом, агресії), проводиться поступова інтродукція основної популяції.

Таким чином, правильний запуск RAS-системи дозволяє створити біологічно стабільне та безпечне середовище для мармурового рака. Це запобігає проблемам на етапах вирощування, скорочує втрати та підвищує загальну ефективність усієї технології.

3.3. Культивування мармурового рака в господарстві.

Організація ефективного вирощування мармурового рака (*Procambarus fallax f. virginalis*) у RAS-системах ґрунтується на комплексному підході до всіх етапів – від підбору стартового поголів'я до контролю росту, годівлі, умов утримання та запобігання стресовим факторам. В умовах замкнутої системи найменші порушення технології можуть призвести до масових втрат, тому процес потребує суворого дотримання технологічного регламенту.

Підбір стартового поголів'я. Для ініціалізації розведення обираються здорові особини віком не менше 3 місяців, які досягли маси 3–5 г. Оскільки мармуровий рак є партеногенетичним видом, для формування продуктивного стада достатньо однієї генетично сталої лінії. Стартова кількість становить близько 200 особин на систему об'ємом 1 м², що забезпечує щільність 200 особин/м² при триповерховому розміщенні укриттів.

Умови утримання. Оптимальна температура води підтримується в межах 18–20 °С, рН – 7,2–7,6, розчинений кисень – не менше 6 мг/л. У кожному вирощувальному резервуарі обов'язково встановлюються укриття - пластикові трубки, фрагменти сітки або плитки - з розрахунку мінімум одне укриття на одну особину (рис.3.3.1.). Це дозволяє зменшити канібалізм під час линьки та підвищити виживаність.



Рис.3.3.1 Сухе листя червоного дуба, як додаткове джерело органіки при утриманні мармурового рака.

Годівля. У системі застосовується комбінований тип живлення - поєднання готових високопротеїнових кормів (для ракоподібних або хижих риб) та натуральних добавок (відварені овочі, листя салату, заморожені корма).



Рис.3.3.2 Заморожені білкові добавки харчування у вигляді риби (Салака)



Рис.3.3.3 Заморожені білкові добавки харчування у вигляді мідій.

Основна вимога – висока якість корму, відсутність пилу та стабільність при тривалому перебуванні у воді. Добова норма корму становить 2–3% від загальної біомаси, поділена на 2–3 прийоми. При середній масі однієї особини 10 г і загальній кількості 400 особин на один басейн добова потреба в кормі становитиме приблизно:

$$400 \text{ осіб} \times 10 \text{ г} = 4000 \text{ г} = 4 \text{ кг загальної біомаси}$$

$$4 \text{ кг} \times 2\% = 80 \text{ г корму/день}$$

У періоди активного росту й перед линькою норма може підвищуватись до 4%. Годівля проводиться вручну або через кормові платформи, що дозволяє візуально оцінювати залишки й регулювати дозування (рис.3.3.4.). Якщо є надлишок корму, то його варто видалити через 3-4 години, або ж підселити інші гідробіонти, які будуть поїдати надлишок та підтримувати біобаланс. Для цієї мети були використані гупії та расбору (рис.3.3.6.).



Рис.3.3.4. Годівля мармурового рака спеціалізованим кормом *Alltech Coppens*

Розмноження. Оскільки вид є партеногенетичним, статеве розмноження відсутнє. Кожна особина потенційно фертильна. Ікра прикріплюється до черевних ніжок, інкубація триває до 30 днів залежно від температури.

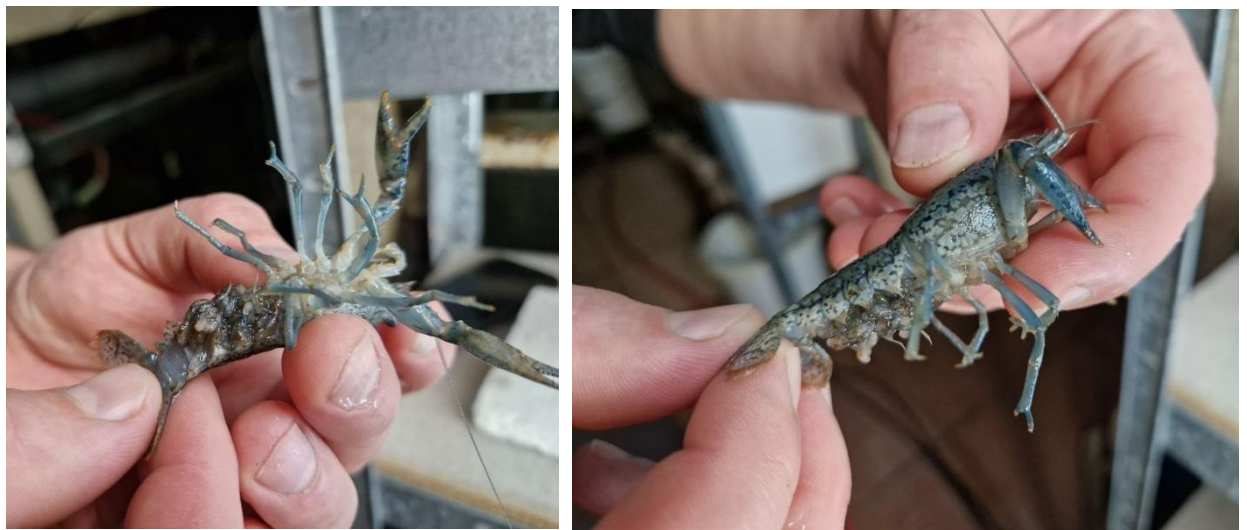


Рис. 3.3.5 Личинки рака прикріплені до самки

Плодючість – 40–100 ікринок на особину. Молодь після виходу має розмір 3–4 мм і проходить кілька личинних стадій, після чого стає незалежною.

Вирощування молоді. Після появи з ікри молоді (ювенільні особини) пересаджують у окремі ємності з підвищеною кількістю укриттів. Щільність посадки не повинна перевищувати 1000 осіб/м² на першому етапі, після чого зменшується в міру росту. Молодь росте нерівномірно, тому кожні 2–3 тижні проводиться сортування за розмірами, аби уникнути канібалізму.

Контроль росту та линьки. Ростові параметри вимірюються щотижня на вибірці 10–20% поголів'я. Особливу увагу приділяють періодам линьки – у цей час рак особливо вразливий. Зниження жорсткості води або нестача кальцію можуть призводити до незавершеної линьки та загибелі. У разі потреби вносять препарати кальцію або проводять часткову підміну води для стабілізації мінерального складу.

Управління щільністю посадки. Висока щільність допустима лише за умов ефективної фільтрації та великої кількості укриттів. При досягненні розмірів понад 5–6 см чисельність у басейні регулюється до 200 осіб/м². Перенаселення призводить до зростання агресії, конкуренції за корм і зниження приростів.

Також, дослідження показують, що мармурові раки можуть утримуватися як у моно-, так і в полікультурі. Їхня сумісність з іншими гідробіонтами визначається рівнем забезпеченості кормом і кількістю укриттів. Найкраще співіснують із дрібними мирними рибами, такими як *Poecilia reticulata*, *Danio rerio*, *Neon tetra* (рис.3.3.6.).



Рис. 3.3.6. Сумісність з іншими гідробіонтами.

Виробничий цикл. За оптимальних умов вирощування мармуровий рак досягає товарної маси 50–60 г за 4–5 місяців. Після цього частина поголів'я відбирається на реалізацію, інша - на подальше розмноження. Таким чином, можлива організація до 2–3 циклів на рік в одному приміщенні.

Отже, проведене проектування RAS-системи дозволило обґрунтувати вибір технічних компонентів, визначити об'єм води, кількість вирощувальних ємностей, потужність обладнання та орієнтовний кошторис на один виробничий модуль. Розрахунки підтвердили, що для утримання близько 300 особин мармурового рака необхідна система загальним об'ємом до 1000л із підтримкою оптимальних параметрів водного середовища.

Було детально описано процедуру запуску та налагодження RAS-системи, яка включає підготовку води, запуск біофільтра, мінералізацію, контроль параметрів якості води та тестову посадку гідробіонтів. Правильна послідовність цих дій забезпечує стабільність умов вирощування і сприяє зменшенню ризиків на ранніх етапах виробництва.

Технологія вирощування мармурового рака була адаптована під специфіку виду – його партеногенетичне розмноження, чутливість до змін середовища та потребу в укриттях. Описані режими годівлі, сортування,

управління щільністю посадки, а також особливості утримання молоді на різних стадіях. Було зроблено акцент на важливості профілактики канібалізму та контролю росту під час критичних фаз – зокрема, линьки.

Загалом, дослідження підтверджує практичну доцільність використання RAS-систем для культивування мармурового рака в умовах малого або середнього господарства. Запропонована технологія є адаптивною, відносно недорогою, а також має потенціал для масштабування та подальшої оптимізації.

РОЗДІЛ 4.
ЕКОНОМІЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ВИРОЩУВАННЯ
МАРМУРОВОГО РАКА

4.1 Економічна ефективність виробництва

Аналіз економічної ефективності вирощування мармурового рака в умовах RAS-системи дозволяє оцінити рентабельність виробництва, розрахувати собівартість, визначити обсяг інвестицій та спрогнозувати потенційний прибуток. Нижче наведено узагальнені розрахунки для однієї замкнутої системи з об'ємом 1000л, розрахованої на утримання до 300 особин.

Таблиця 3.1.1

Початкові витрати на RAS-систему

№	Найменування обладнання	Кількість	Вартість за одиницю (грн)	Загальна вартість (грн)
1	Ємності для вирощування	1 шт.	2 500	2 500
2	Біофільтр із завантаженням	1 компл.	5 000	5 000
3	Механічний фільтр	1 компл.	3 000	3 000
4	Насос циркуляційний	1 шт.	2 500	2 500
5	УФ-стерилізатор	1 шт.	2 000	2 000
6	Компресор + система аерації	1 компл.	2 500	2 500
7	Труби, фітинги, з'єднання	–	–	3 500
8	Нагрівач (за потребою)	1 шт.	2 000	2 000

Таблиця 3.1.2

Витрати на 1 цикл вирощування (≈ 5 місяців)

№	Стаття витрат	Орієнтовна сума (грн)
1	Корми (12 кг × 240 грн/кг)	2 880
2	Електроенергія	2 900
3	Мінерали, реагенти	400
4	Заміна УФ-ламп, тест-системи	500
5	Вода та утримання	5 000
6	Амортизація обладнання (20%)	5 600 / 2 = 2 800
	Разом	14 880 грн

Якщо з кожного басейну ми отримали по 300 екз раків, середньою наважкою 60 г, то на виході ми маємо 18 кг готової продукції. Середня, оптова ціна на ринку, коливається від 1800–2000 грн за 1 кг. Реалізувавши нашу продукцію ми отримуємо 360 000грн. Отже, розрахунки свідчать, що основним фактором економічної ефективності є ринкова стратегія збуту. Продаж мармурового рака як декоративного виду забезпечує високу рентабельність та окупність інвестицій вже протягом першого циклу. Собівартість та рентабельність див. таблиця 3.1.3.

Таблиця 3.1.3

Собівартість та рентабельність

Показник	При гуртовому продажі	При декоративному продажі
Витрати на цикл	14 880 грн	14 880 грн
Дохід	360 000 грн	60 000 грн
Чистий прибуток	345 120 грн	45 120 грн
Собівартість 1 кг продукції	≈ 2000 грн/кг	≈ 20 грн/особина
Окупність капітальних витрат	< 1 цикл	< 1 цикл

Але складно продати одночасно велику кількість декоративного виду. Водночас вирощування для харчової або кормової мети при малих об'ємах виробництва є економічно вигідним, так як за раз можна продати великий об'єм продукції.

Таким чином, RAS-система для мармурового рака є перспективною інвестицією за умови правильно обраного каналу реалізації - при невеликій масі готової продукції та за рахунок підняття ціни і попиту на ринку, вирощування мармурового рака для харчової мети є більш рентабельним.

4.2 Проблеми при розведенні та шляхи їх вирішення

У процесі розведення мармурового рака в замкнених рециркуляційних системах можуть виникати численні труднощі, пов'язані як із біологічними

факторами, так і з технічними аспектами. Вчасне виявлення та усунення таких проблем є запорукою стабільної продуктивності господарства. У таблиці 3.2.1. узагальнено основні групи проблем.

Таблиця 3.2.1

Основні проблеми при розведенні мармурового рака та шляхи їх усунення

Проблема	Причини	Наслідки	Шляхи вирішення	Орієнтовні витрати (грн/цикл)
Хвороби та летальність	Стрес, погані умови, патогени	Загибель особин, зниження приростів	Карантин, біофільтрація, пробіотики, обробка	500–1 000
Погіршення якості води	Перенаселення, погана фільтрація	Амонійна інтоксикація, зупинка росту	Підміна води, посилена аерація, очищення	300–700
Канібалізм	Відсутність укриттів, висока щільність	Втрати молоді, зменшення виходу товару	Укриття, регулярне сортування особин	200–500
Збої в роботі обладнання	Вихід з ладу насосів, компресорів	Зниження кисню, масова загибель	Резервне обладнання, сигналізація, UPS	1 000–2 000
Порушення линьки	Нестача мінералів у воді	Деформації, загибель під час линьки	Мінералізація, контроль жорсткості	200–400
Агресивна поведінка	Стрес, дефіцит корму	Травмування, втрати	Збалансована годівля, корекція раціону	300
Забруднення кормом	Надлишкове годування	Погіршення води, розмноження бактерій	Видалення залишків, корекція дозування	0–100

Комплексний аналіз економічних, практичних та інфраструктурних аспектів розведення мармурового рака в умовах рециркуляційної аквакультури показав, що RAS-системи є перспективною технологією для вирощування цього виду, особливо за умов орієнтації на високорентабельні ринки збуту.

Також здійснено розрахунок капітальних і поточних витрат, а також визначено собівартість продукції при різних підходах до реалізації. Найвища рентабельність спостерігається при продажу мармурового рака як харчового

гідробіонта, коли прибуток може окупити всі вкладення вже протягом першого виробничого циклу.

Загалом, аналіз показав, що мармуровий рак є привабливим об'єктом аквакультури, що поєднує у собі біологічну простоту розведення (завдяки партеногенезу) та високий економічний потенціал. Подальший розвиток технологій, вдосконалення моніторингу, автоматизація процесів та розширення ринку збуту сприятимуть зростанню ефективності розведення цього виду як в Україні, так і за її межами.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці на виробництві починається з організації управління охороною праці.

Роботодавець зобов'язаний створити в кожному структурному підрозділі і на робочому місці умови праці відповідно до нормативно-правових актів, а також забезпечити додержання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці [46].

З цією метою роботодавець забезпечує функціонування системи управління охороною праці, для чого:

- створює відповідні служби і призначає посадових осіб, які забезпечують вирішення конкретних питань охорони праці, затверджує інструкції про їх обов'язки, права та відповідальність за виконання покладених на них функцій, а також контролює їх дотримання;

- розробляє за участю сторін колективного договору і реалізує комплексні заходи для досягнення встановлених нормативів та підвищення існуючого рівня охорони праці;

- впроваджує прогресивні технології, досягнення науки і техніки, засоби механізації та автоматизації виробництва, вимоги ергономіки, позитивний досвід з охорони праці тощо;

- забезпечує усунення причин, що призводять до нещасних випадків, професійних захворювань, та здійснення профілактичних заходів, визначених комісіями за підсумками розслідування цих причин;

- організує проведення аудиту охорони праці, лабораторних досліджень умов праці, атестації робочих місць на відповідність нормативним актам про охорону праці в порядку і строки, що встановлюються законодавством;

- вживає за їх підсумками заходів щодо усунення небезпечних і шкідливих для здоров'я виробничих факторів;

- розробляє і затверджує положення, інструкції, інші нормативні акти про охорону праці, що діють у межах підприємства, та встановлюють

правила виконання робіт і поведінки працівників на території підприємства, у виробничих приміщеннях, на будівельних майданчиках, робочих місцях відповідно до державних міжгалузевих і галузевих нормативно-правових актів про охорону праці, забезпечує безплатно працівників нормативно-правовими актами про охорону праці;

- здійснює постійний контроль за дотриманням працівником технологічних процесів, правил поводження з машинами, механізмами, устаткуванням та іншими засобами виробництва, використанням засобів колективного та індивідуального захисту, виконанням робіт відповідно до вимог з охорони праці;

- організує пропаганду безпечних методів праці та співробітництво з працівниками у галузі охорони праці;

- вживає термінових заходів для допомоги потерпілим, залучає за необхідності професійні аварійно-рятувальні формування у разі виникнення на підприємстві аварій та нещасних випадків. Роботодавець несе безпосередню відповідальність за порушення зазначених вимог [44].

Загальні вимоги з охорони праці.

До роботи з виробництва мармурового рака допускаються особи, які досягли 18-річного віку, які пройшли:

- медичний огляд і не мають медичних протипоказань;
- вступний і первинний інструктаж з охорони праці, інструктаж з пожежної та електробезпеки;
- стажування і перевірку знань з питань охорони праці.

Далі працівник зобов'язаний:

- дотримуватися режиму праці та відпочинку, встановлений законодавством, правилами внутрішнього трудового розпорядку організації, трудову дисципліну, виконувати вимоги охорони праці, правила особистої гігієни;

- дотримуватися вимог пожежної безпеки, знати порядок дій при пожежі, вміти застосовувати первинні засоби пожежогасіння. Курити допускається тільки в спеціально призначених для куріння місцях;

- при проведенні робіт вживати заходів щодо попередження попадання сторонніх предметів в сировину і готову продукцію;

- інструмент, запасні частини зберігати в спеціально відведених для цього місцях;

- працювати тільки на справному обладнанні;

- не допускати сторонніх осіб на своє робоче місце;

- утримувати робоче місце в чистоті, не захаращувати його;

- про несправності устаткування, засобів механізації та інших зауваженнях, виявлених в процесі роботи, повідомляти керівництву підприємства, іншим посадовим особам [45].

Працівник повинен бути забезпечений спеціальним одягом, взуттям та іншими засобами індивідуального захисту (далі – ЗІЗ).

Робітникамі заборонено появу на робочому місці в стані алкогольного, наркотичного та токсичного сп'яніння, а також розпивання спиртних напоїв, вживання наркотичних, токсичних і психотропних речовин в робочий час і за місцем роботи.

Робочий повинен виконувати тільки ту роботу, яка передбачена його обов'язками або яку йому доручив його безпосередній керівник, не допускати сторонніх осіб на своє робоче місце.

У процесі роботи на робочих можуть впливати наступні небезпечні і шкідливі виробничі фактори:

фізичні:

- підвищена або знижена температура поверхонь обладнання, сировини і матеріалів;

- підвищена або знижена температура повітря робочої зони;

- підвищена або знижена вологість повітря робочої зони;

- підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може відбутися через тіло людини;

- підвищений рівень шуму на робочому місці;

- підвищений рівень загальної та локальної вібрації;

- недостатня освітленість робочої зони;

- гострі кромки, на басейнах чи обладнанні;

хімічних:

- дратівливі (хлор, аміак, сірчаний газ та інші);

- сенсибілізуючі (формальдегід, розчинники та інші);

біологічних:

- органічні речовини рослинного і тваринного походження;

- біологічно активні кормові добавки;

- вітаміни;

психофізіологічних факторів:

- фізичні перевантаження;

- нервово-психічні перевантаження (монотонність праці).

Норма підйому тяжкості для жінок старше 18 років – 10 кг (підйом і переміщення вантажів при чергуванні з іншою роботою), для чоловіків старше 18 років – 50 кг. Підйом і переміщення вантажів понад 50 кг повинен здійснюватися вдвох, втрьох або механізовано.

У разі виявлення несправності обладнання, пристосувань, інструментів, порушень технологічного процесу, а також виявлення порушень норм і правил охорони праці, пожежі, аварії або травмування працівника слід негайно зупинити роботу і повідомити про це безпосереднього керівника.

Робітник повинен вміти надавати першу (долікарську) допомогу потерпілому при нещасному випадку; знати, де знаходиться аптечка, і при необхідності забезпечити супровід потерпілого до лікувального закладу.

Працівник зобов'язаний сприяти і співпрацювати з наймачем у справі забезпечення здорових і безпечних умов праці, негайно сповіщати свого безпосереднього керівника або іншу посадову особу наймача про

несправності устаткування, інструменту, пристосувань, транспортних засобів, засобів захисту, про погіршення стану свого здоров'я.

За невиконання даної інструкції робітник несе відповідальність відповідно до законодавства України [42].

Вимоги з охорони праці перед початком роботи

Працівник повинен оглянути і одягнути спецодяг. Застебнути її на всі гудзики (зав'язати на всі зав'язки), не допускаючи звисаючих кінців одягу. Заколювати одяг шпильками, голками, тримати в кишенях одягу гострі, предмети, що б'ються забороняється.

Працівник повинен підготувати робочу зону для безпечної роботи:

- забезпечити наявність вільних проходів;
- перевірити стійкість виробничого столу, стелажа, міцність кріплення обладнання до фундаментів і підставок;
- надійно встановити (закріпити) пересувне (переносне) обладнання та інвентар на робочому столі, підставці, пересувному візку;
- зручно і стійко розмістити запаси сировини, продуктів, інструмент, пристосування відповідно до частоти використання і витрачання;
- перевірити зовнішнім оглядом: достатність освітлення робочої поверхні; відсутність звисають, оголених кінців електропроводки; надійність закриття всіх струмоведучих і пускових пристроїв обладнання; наявність і надійність заземлюючих з'єднань (відсутність обривів, міцність контакту між металевими нетоковедущими частинами обладнання і заземлюючим проводом); наявність, справність, правильну установку і надійне кріплення огороження, захисних кожухів і екранів рухомих частин обладнання, нагрівальних поверхонь; відсутність сторонніх предметів всередині і навколо обладнання; наявність і справність приладів безпеки, регулювання та автоматики (наявність клейма або пломби; терміни таврування приладів; дати огляду посудин, що працюють під тиском; знаходження стрілки манометра на допустимій позначки; цілісність скла; відсутність пошкоджень, що впливають на показання контрольних-вимірювальних приладів);

відсутність тріщин, сколів, значних потовщень стінок судин, пропусків в зварювальних швах, течі в клепаках і болтових з'єднаннях, розривів прокладки і тому подібного в варочному і водогрійному обладнанні; стан підлог (відсутність вибоїн, нерівностей, пролитих рідин); справність застосовуваного інвентаря, пристроїв та інструменту (поверхня тари, ручки совків, лопаток і тому подібного повинні бути чистими, гладкими, без відколів, тріщин і задирок; рукоятки ножів повинні бути щільно насадженими, неслизькими і зручними для захоплення, що мають необхідний упор для пальців руки, що не деформуються від впливу гарячої води; полотна ножів повинні бути гладкими, відполірованими, без вм'ятин і тріщин);

- звільнити шляхи переміщення вантажу і шляхи евакуації від сторонніх предметів;

- перевірити достатність освітлення проходів і місць складування; при необхідності вимагати освітлення місць навантаження, вивантаження і переміщення вантажів.

Про виявлені при огляді порушення і недоліки доповісти безпосередньому керівнику і до їх усунення до роботи не приступати.

Вимоги до охорони праці під час роботи.

Приміщення виробництв рибопосадкового матеріалу та сортування рака повинні мати водостійкі, рівні, без щілин і вибоїн підлоги з ухилом для стоку.

При митті обладнання за допомогою шлангів не допускається направляти струмінь води безпосередньо на електродвигуни, електропроводку та інше електрообладнання.

Вимоги до охорони праці після закінчення роботи.

- після закінчення роботи привести в порядок робоче місце, інструменти, пристосування прибрати у відведене місце;
- зняти і здати на збереження спецодяг та інші засоби захисту;
- виконати правила особистої гігієни;

- повідомити керівнику про всі порушення і зауваження, виявлених в процесі роботи.

Вимоги з охорони праці в аварійних ситуаціях.

До аварійних ситуацій можуть привести такі ситуації:

- падіння в воду;
- ураження електричним струмом;
- отруєння хімічними речовинами;
- пролиті рідини.

При виникненні ситуацій, які можуть привести до аварії і нещасних випадків, слід негайно:

- припинити всі роботи;
- відключити використовуване обладнання;
- доповісти керівнику робіт.

При виникненні пожежі або загоряння робочий зобов'язаний:

- негайно повідомити про це в пожежну службу;
- вжити заходів щодо забезпечення безпеки та евакуації людей;
- приступити до гасіння пожежі за допомогою наявних на об'єкті

первинних засобів пожежогасіння.

При отриманні травми, утопленні, отруєнні або раптовому захворюванні потерпілому повинна бути надана перша (долікарська) допомога; при цьому постраждалого потрібно попередньо звільнити від дії травмуючого фактора. Постраждалого слід доставити в лікувальний заклад і зберегти місце нещасного випадку, якщо це не загрожує життю і здоров'ю оточуючих [43].

ВИСНОВКИ

У процесі виконання магістерської роботи було досліджено біологічні особливості мармурового рака та обґрунтовано доцільність його розведення в умовах рециркуляційних аквакультурних систем. Було встановлено, що цей вид є перспективним об'єктом аквакультури завдяки партеногенетичному розмноженню, високій адаптивності до штучних умов і невибагливості до кормів. Вивчення морфології, анатомії та фізіології показало, що мармуровий рак здатен ефективно рости і розмножуватися у замкнутих системах, за умови підтримання стабільних параметрів водного середовища.

Розглянуто принципи роботи RAS-систем, їх основні компоненти, переваги та недоліки порівняно з традиційними методами аквакультури. Підтверджено, що рециркуляційні технології дозволяють значно знизити водоспоживання, оптимізувати якість води та забезпечити стабільний ріст гідробіонтів при мінімальній впливі на навколишнє середовище. Було визначено основні параметри якості води та їх значення для підтримки здоров'я та продуктивності раків.

На практичному етапі було спроектовано замкнуту систему об'ємом близько 1000л, розраховану на вирощування до 2000 особин мармурового рака. Було виконано підбір обладнання, проведено розрахунки капітальних і операційних витрат, розроблено алгоритм запуску та налагодження системи. Окремо проаналізовано технологічні аспекти утримання, годівлі, контролю росту та профілактики канібалізму. Також розглянуто питання обслуговування системи та моніторингу параметрів води.

Економічні розрахунки показали, що рентабельність вирощування мармурового рака безпосередньо залежить від обраного ринку збуту. Продаж як декоративного виду так і гуртового ринку дає можливість окупити інвестиції вже протягом першого виробничого циклу. Також було визначено основні проблеми, що можуть виникати під час вирощування, зокрема хвороби, погіршення якості води, технічні збої та поведінкові фактори, і наведено способи їх мінімізації.

Перспективи розвитку аквакультури мармурового рака в Україні пов'язані з розширенням декоративного ринку, впровадженням інноваційних технологій, автоматизацією систем моніторингу та підвищенням екологічної безпеки виробництва. Досвід інших країн свідчить, що цей напрям може стати вигідною та екологічно доцільною альтернативою традиційним видам аквакультури.

Розведення мармурового рака в RAS-системах є перспективним і економічно доцільним напрямом малого аквабізнесу за умови правильного планування, дотримання технології та орієнтації на високорентабельні канали збуту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Андрющенко А. І., Вовк Н. І., Базасєва А. В. Технології виробництва риби в ставовій аквакультурі та схеми основних ланок технологічних процесів. Методичний посібник. К.: 2004. 275 с.
2. Андрющенко А.І. Аквакультура штучних водойм. Частина І Ставова аквакультура. К.: ПП «Мастер Принт» 2015.
3. Андрющенко А.І., Алимов С.І., Захаренко М.О., Вовк Н.І. Технології виробництва об'єктів аквакультури. – К., 2006.
4. Белокуров, Г. А. Біотехнологічні аспекти утримання і розведення мармурового рака *Procambarus virginalis* в акваріумальних умовах. Дніпровський державний аграрно-економічний університет, 2020. dspace.dsau.dp.ua
5. Білик, О.В. Захворювання раків та їх профілактика. Український журнал природничих наук. 2022. 7, № 1. С. 44–50.
6. Біологічні основи рибного господарства: навчальний посібник / Н.Є. Гриневич, А.М. Трофимчук, М.М. Світельський, А.О. Слюсаренко, О.А. Хом'як, Н.М. Присяжнюк, В.С. Жарчинська, Ю.В. Осадча, О.В. Іщук. Біла Церква, 2023.
7. БумТЦА (Методично-технологічний центр з аквакультури). Раки для споживання та відновлення природних запасів. Eurofish Magazine.
8. Вдовенко Н. М., Наконечна К. В. Особливості структурних змін в економіці України. Економіка АПК. 2018. № 9. С. 56–61.
9. Vdovenko N. M., Bohach L. V. Scientific substantiation of the reduction of import dependence in the markets of agricultural products. Науковий вісник Полісся. 2017. № 2 (10). С. 13–17. DOI:10.25140/2410-9576-2017-1-2(10)-13-17
10. Vdovenko N. M., Nakonechna K. V., Pavlenko M. M. Methodical component of the performance of state support producers mechanism. Науковий вісник Полісся. 2017. № 4 (12). Ч. 1. С. 22–27. DOI: 10.25140/2410-9576-2017-1-4(12)-22-27

- 11.Vdovenko N. M., Korobova N. M., Kurmaiev P. Yu., Pavlenko I. I. Formation of the organizational mechanism for fisheries regulation. Проблеми і перспективи економіки та управління. 2019. № 3 (19). P. 202–212.
- 12.Врублевська О.О., Катеруша Г.П. Навчальний посібник з дисципліни «Клімат України та прикладні аспекти його використання» – Одеса: ОДЕКУ, 2012. – 180 с.
- 13.Галасун П.Т., Андрющенко А.І. та ін. Інтенсивне рибництво. К., "Урожай" 1990.
- 14.Гарнаженко Ю.А. Аналіз імпорту рибо- та морепродуктів в Україні /Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Гжицького. 2014. – Том 16.
- 15.Гончар К.В. Перспективи розвитку ракоподібної аквакультури в Україні (2022). Вісник аграрної науки. 2022. № 3(85). С. 45–53.
- 16.Горбаченко, С. А., Дикий, О. В., Флюнт, М.О. Методичні вказівки з дисципліни «Охорона праці та безпека життєдіяльності» – Одеса: НУ «ОЮА», 2020.
- 17.GreenPost. Риба, раки, ікра, креветки: виробництво продукції аквакультури в Україні. Стаття про обсяги вирощування в Україні, включно з ракоподібними. GreenPost.
- 18.Гриневич Н. Є., Жарчинська В. С., Світельський М. М., Хом'як О. А., Слюсаренко А. О. (2022). Перспективний об'єкт аквакультури ракоподібних *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868): біологія, технологія (огляд). Водні біоресурси та аквакультура. № 1. С. 47–62. <https://doi.org/10.32851/wba.2022.1.4>
- 19.Гринжевський М. В. Аквакультура України. Львів : Вільна Україна, 1998.
- 20.Гринжевський М.В., Третяк О.М. та ін. Нетрадиційні об'єкти рибництва в аквакультурі України. К.: Світ, 2001. 60 с.
- 21.Грициняк І.І., Гринжевський М.В., Третяк О.М., Ківа М.С., Мрук А.І. Фермерське рибництво. - К: 2008.

22.Дітрів І.В. Тенденції і перспективи світового ринку риби та морепродуктів / Вісник Миколаївського національного університету імені В.О. Сухомлинського. 2014. – Вип. 2.

23.Екологічні основи управління водними ресурсами : навч. посіб. / А.І. Томільцева, А.В. Яцик, В.Б. Мокін та ін. – К. : Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування, 2017.

24.Інтенсивне рибництво (Збірник інструктивно-технологічної документації). – К.: Аграрна наука, 1995.

25.Інтенсивні технології в аквакультурі. Кононенко Р.В., Шевченко П.Г., Кондратюк В.М., Кононенко І.С. К.: «Центр учбової літератури». 2016. С. 381–406.

26.Іщук, О. В., Світельський, М. М., Матковська, С. І., Слюсар, М. В., Ковальчук, І. І. Сучасний стан та тенденції розвитку аквакультури ракоподібних. Український журнал природничих наук. naturaljournal.zu.edu.ua

27.Кваша С. М., Вдовенко Н. М. Аквакультурне виробництво: від наукових експериментів до промислових масштабів. Інвестиції практика та досвід. 2011. № 20. С. 7–11.

28.Коваленко В. О., Шумова В. М. Аквакультура природних водойм. К.: Компринт. 2017. 370 с.

29.Коваленко В.О. Індустріальне рибництво / Коваленко В.О. Методичні вказівки до самостійної роботи студентів. К.: Аграр Медіа Груп, 2011.

30.Кононцев С. В. Біотехнологія очищення води при вирощуванні кларієвого сома в РАС / С. В. Кононцев // Вода і водоочисні технології. Науковотехнічні вісті. – 2016.

31.Кухарець, С. М., Овдіюк, В.М., Овдіюк, О.М. Теорія та методологія аквакультурних систем і технологій. «Водні біоресурси та аквакультура», 2(12), 2022. eprints.zu.edu.ua

32.Міністерство освіти і науки України. Установки замкнутого циклу або УЗВ створюють оптимальні умови для розведення раків (мармурового,

австралійського червоноклешневого тощо) – тези конференції, 2020.
science.btsau.edu.ua

33. Муженко, А. В. Ваговий та лінійний ріст молодняку австралійського червоноклешневого та мармурового раків. У НААН, 2020. digest.iabg.org.ua

34. Мухачев И. С. Біологічні основи рибництва. Тюмень: Изд-у ФГОУ ВПО, 2005 р.

35. Практичні рекомендації щодо виробництва раків для створення додаткових порівняльних переваг на ринку. К.: АСТЕКС, 2019. 26 с.
Герасимчук В. В., Шарило Ю. Є., Вдовенко Н. М., Поплавська О. С.

36. Соборова О. М. Теоретичні основи відтворення та вирощування цінних видів риби. Частина 2 :. Одеса: ОДЕКУ, 2022.

37. Сучасна аквакультура: від теорії до практики. Шарило Ю. Є., Вдовенко Н. М., Герасимчук В. Г., Федоренко М. О., Небога Г. І., Деренько О. О. та інші. К.: Простобук, 2016. 150 с. (*Залишено як мінімально відмінний варіант від "Сучасна аквакультура: від теорії до практики. Практичний посібник/Автор – К.: «Простобук», 2016"*)

38. Слюсар, М. В., Ковальчук, І. І., Світельський, М. М., Мамченко, В. Ю. Сучасні проблеми раціонального використання водних біоресурсів: особливості ембріонального розвитку ікри самок раків різних видів. VI Міжнародна науково-практична конференція, Київ, 2024. eprints.zu.edu.ua

39. Технології виробництва об'єктів аквакультури / [Андрющенко А.І., Алимов С.І., Захаренко М.О., Вовк Н.І.] / Навч. Посібн. – К., Вища освіта, 2006.

40. Чума раків та мармурові раки – нові загрози епізоотичного благополуччя та біобезпеки водойм України / Дніпровський ДДАЕУ, 2024. dspace.dsau.dp.ua

41. Шарило, Ю.Є.; та ін. Інструменти регулювання та механізми реалізації комбінованих технологічних рішень виробництва рака в умовах зростання попиту на нішеву продукцію : методичні рекомендації. Київ : НУБіП України, 2023.

42. Правила пожежної безпеки в Україні. – К.:УАБІ, 1995. – 195 с. 29
43. Гогіташвілі Г. Г. Системи управління охороною праці. – Л.: Афіша, 2002. – 320 с. 30
44. Запорожець О. І., Протосрейський О. С., Франчук Г. М., Боровик І. М. О-75 Основи охорони праці. Підручник. – К.: Центр учбової літератури, 2009. – 264 с. С.7. 32
45. Основи охорони праці: підручник / В.І. Голінько; М-во освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т. – 2-ге вид. – Д.: НГУ, 2014. – 271 с. 33