

УДК 639.515.082

ОСОБЛИВОСТІ ЕМБРІОНАЛЬНОГО РОЗВИТКУ ІКРИ САМОК РАКІВ РІЗНИХ ВИДІВ

М. В. Слюсар, slusar_nv@ukr.net, Поліський національний університет, м. Житомир

І. І. Ковальчук, kovalchuk_ira0982@ukr.net, Поліський національний університет, м. Житомир

М. М. Світельський, svitmm71@ukr.net, Поліський національний університет, м. Житомир

В. Ю. Мамченко, 79mamchenko@gmail.com, Поліський національний університет, м. Житомир

О. В. Іщук, ischuk_o@ukr.net, Поліський національний університет, м. Житомир

Прісноводні раки користуються великим попитом у всьому світі. За даними Міжнародної продовольчої та сільськогосподарської організації (ФАО), у 2023 р. продукції з раків продано на суму 7,8 млрд доларів США, при цьому зазначається, що попит на цей водний вид постійно перевищує пропозицію (ФАО, 2021). Це пов'язано з використанням традиційних методів виробництва, які є трудомісткими, сезонними. Крім того, тільки традиційне виробництво ікри для збільшення чисельності ракоподібних вимагає використання до 30% виробничих резервуарів, що значно знижує ефективність виробництва. Впровадження інноваційних методів у виробництво дасть поштовх інтенсивному розвитку галузі аквакультури загалом і розведення раків зокрема, та дозволить задовольнити значні потреби ринку [2].

Сучасні технології розведення раків у промислових умовах мають ґрунтуватися на підвищенні рівня збереженості особин шляхом створення оптимальних умов не тільки для відтворення та утримання, а й отримання прогнозованої кількості продукції.

Із понад 100 видів прісноводних раків, що мешкають в Австралії, тільки три види мають потенціал для комерційної аквакультури: маррон (*C. tenuimanus*), яббі (*C. destructor*) та червоноклешневий (*C. quadricarinatus*). Виробництво продукції розпочалося з австралійського червонолешневого рака. Після введення цього виду в комерційну аквакультуру він поширився у всьому світі. Наразі основними виробниками, які вирощують його в промислових масштабах, є США, Китай, Іспанія, Ізраїль та Індонезія [4].

Перше комерційне вирощування *C. quadricarinatus* розпочалося в Австралії 1985 р.; 1988 р. вид було завезено до США і його названо прісноводним омаром; 1989 р. Обернський університет розпочав дослідження цього виду, що привело до розроблення системи замкнутого водопостачання. Того ж року кілька приватних

компаній і дослідницьких інститутів, включно з Луїзіанською сільськогосподарською експериментальною станцією, оцінили потенціал виду для аквакультури. Основними недоліками цієї технології були канібалізм, втрата ікри під час нересту, смертність під час линьки та високе споживання енергії для підтримання комфортних умов вирощування.

За даними Федоровича Е. І. та ін. [2], середній приріст маси червоноклешневих раків у перший рік життя в системах замкнутого водопостачання становить 50–150 г. До 70% максимального зростання може бути досягнуто за температури в діапазоні 23–28°C. Рівень розчиненого кисню у воді, комфортній для дорослих особин, становить від 6 до 8 мг О₂/дм³, а рівень рН — від 6,0 до 8,0 °Т [5].

Під час досліджень, проведених ученими Квінслендського технологічного університету, *S. quadricarinatus* були класифіковані за стадією вилуплення на підставі кольору та змін у розвитку: 0–3 доби (оливковий або хакі), 3–16 діб (червоноувато-коричневий або помаранчевий), 16–20 діб (формування черевця та відокремлення від цефалотораксу), 20–23 доби (на ікринках з'являються очі і ледь помітні кінцівки), 23–31 доба (кінцівки та очі стають виразнішими), 31–41 доба (мальки повністю сформовані та звільняються від самки) [3]. У 1997 р. в Південному регіональному центрі аквакультури в Австралії було проведено низку досліджень, спрямованих на визначення морфологічних, функціональних і репродуктивних характеристик раків. Згідно з цими дослідженнями, раки досягають статевої зрілості у віці шести місяців, нерест відбувається кілька разів на рік, і самки відкладають від 100 до 1000 ікринок (залежно від розміру останніх). Середній час від початку нересту до відлучення становить 6–8 тижнів; у віці 4–5 років маса дорослих раків перевищує 400 г.

Період дозрівання ікри флоридських раків був вивчений єгипетськими вченими в природних умовах у басейні річки Ніл. Згідно з цим дослідженням, було запропоновано розділити його на 10 стадій розвитку [5].

Фогт та ін. [5] вказують, що мармуровий рак — єдиний у світі ракоподібний, який розмножується шляхом апоміктичного моногенезу. Зокрема, вони зазначають: «... Тільки самки відкладають незапліднені яйця, які, розвиваючись, продукують генетично однорідне потомство». За даними Jones et al. [3], самці цього виду не були виявлені ні в лабораторії, ні в природних популяціях; самки, вирощені при температурі 20–25°C, починають розмножуватися у віці 141–255 діб і відкладають 45–416 яєць, залежно від розміру самки. Інкубаційний період варіює від 22 до 42 діб.

Таким чином, вивчення росту і розвитку ікринок самок різних видів раків у замкнутих водних системах залишається актуальним.

Метою даного дослідження була оцінка репродуктивної здатності самок і визначення інкубаційного періоду, кількості, маси і виживаності ікринок.

Експеримент проводився на базі Лабораторії аквакультури Поліського національного університету. Для експерименту було відібрано 70 самок австралійського, 67 самок мармурового, по 64 самки флоридського рака та деструктора. Їх утримували в окремих акваріумах розміром 23 × 35 см.

Система фільтрації води включала три стадії очищення: механічну (за допомогою фільтрувальних губок), біологічну (за допомогою спеціальних біозапонувачів) і біоремедіацію (за допомогою рослин).

Вода насичувалася киснем за допомогою аератора. Температура води підтримувалася на рівні 28°C. Оптимальна щільність посадки маточного молодняка становила 4 особини на 0,45 м².

Перед формуванням груп кожен самку зважували, щоб визначити стадію розвитку ікри. Для визначення кількості ікри брали зразки одразу після того, як самки відклали ікру на плеоподи, і безпосередньо перед закінченням ембріональної стадії розвитку ікри та виходом личинок. Плодючість визначали шляхом підрахунку всіх яєць на грудних ногах самки. Для визначення стадії розвитку яєць самок оглядали щотижня. За самками спостерігали під час годівлі, щоб визначити стадію розвитку яєць. Коли з'являлися сформовані мальки, самок видаляли і підраховували кількість рачків. Для завершення інкубаційного циклу мальків вирощували до 0,02 г, і такі рачки вважалися сформованими. Однак особини масою менше 0,02 г були слабкими, і спостерігалася значна частка смертності, що пов'язано з більшою частотою линьки за менших розмірів рачків [1].

Через три–чотири тижні після спарювання самки починають відкладати яйця і випускають їх через анальний отвір. Яйця прикріплюються до плеоподів під плеврою і залишаються там до кінця періоду розвитку. Це найскладніший період у житті самки, оскільки їй доводиться постійно рухати хвостом, згинати й розгинати черевце, а необхідність постійно промивати ікринки водою, багатою на кисень, викликає постійний рух у воді. За нашими спостереженнями, під час цього процесу частина ікринок відривається від плеопод і падає на дно, де гине. Крім того, самці не завжди вдається створити необхідний рух води. Це призводить до застою останньої, зниження вмісту кисню і підвищення рівня метаболітів. Примітно, що в цей період відбувається формування тіла і зміна кольору ікринок. Зокрема, Кінг (1993) описує різні зміни кольору та особливості розвитку яєць [3].

Наші спостереження показали, що кольорова гамма та ембріональний розвиток яєць раків варіювали в таких часових інтервалах: яйця австралійського червоноклешневого рака — 0–4 доби (оливковий або темно-зелений колір), 4–17 діб (жовтий і помаранчевий колір), 17–22 доби (видимі плями та ледь помітні кінцівки), 22–30 діб (сформоване черевце і відокремлене від голови й грудної клітки), 30–38 діб (молодь має структуру тіла й сформовані кінцівки); ікра мармурових раків — 0–3 доби (темно-сіра або блідо-зелена), 3–15 діб (блідо-жовта), 15–19 діб (рожева, очі сформовано), 19–28 діб (черевце сформоване, видно відокремлення від голови й ший), 28–35 діб (мальки повністю сформовані та відняті від самки); ікра флоридських раків — 0–3 доби (чорна), 3–13 діб (голова сформована, спинний відросток чорний із залишками жовтка, сформована очна пляма), 13–18 діб (черевце сформоване, спостерігається чітке відокремлення від голови); ікра мармурового рака — 0–4 доби (чорна), 4–19 діб (жовта або блідо-жовта), 19–27 діб (помаранчева, сформована очна пляма, черевце ледь помітне); 27–39 діб (очі повністю сформовані, черевце відокремлене від грудної клітки, присутні спинні виступи із залишками жовтка), 39–45 діб (анатомічно, як у дорослих, спостерігається наявність кінцівок). Тому, ґрунтуючись на результатах наших досліджень, ми пропонуємо, зокрема, класифікувати ембріональний період розвитку яєць самок раків різних видів наступним чином.

Австралійський червоноклешневий. Перша стадія — ікра темно-зелена, а в деяких особин оливкового кольору. Ікринки оливкового кольору поступово стають жовтими, а темно-зелені — помаранчевими (друга стадія). Незалежно від ко-

льору, у міру розвитку ікри з'являються очні плями (стадія 3), формується черевце, яке чітко відокремлюється від голови та шиї (стадія 4). На останній стадії розвитку пуголовки вилуплюються з повністю сформованим тілом (стадія 5).

Мармурові раки. На першій стадії ікра була темно-сірою або світло-зеленою, на наступній стадії вона стала світло-жовтою, на третій стадії — рожевою та сформувалися очі, на останній стадії вилуплення почали формуватися тіло та кінцівки, а на п'ятій стадії рачата відокремилися від самки.

У **флоридських раків** на одну стадію дозрівання менше, ніж у інших видів раків, через коротший період дозрівання ікри. Тому вони були відсажені від самок на стадії 4 на 26–28 день. Навпаки, інкубаційний період у них був довшим, ніж у інших досліджених видів, і п'ята стадія закінчувалася на 45-й добу [2].

За нашими спостереженнями, процес вилуплення ракоподібних з яєць відповідає процесу, описаному Тускерзісом (Tuskerzis, 1989). Ракоподібні розривають оболонку ікринки, рухаючи черевцем і кінцівками. Пуголовки проводять у такій позі 1–4 доби та живляться жовтком зі спинного відростка верхньої частини грудної клітки.

Середня тривалість першого етапу виношування ікри в кожній експериментальній групі становила 3,47 доби для самок австралійських раків; 3,11 — для мармурових раків; 2,80 — для флоридських раків і 3,55 — для деструктора. Найтривалішою виявилася друга стадія, яка тривала 9,70 доби в австралійських раків; 8,52 — у мармурових; 7,29 — у флоридських раків і 12,25 — у раків-деструкторів. Третя стадія коротша за другу: 8,14 доби для червоноклешневих; 6,55 — для мармурових; 4,90 — для флоридських і 7,92 — для деструктора. Останні дві стадії розвитку в австралійських видів майже однакові — 8,46 і 8,18 доби відповідно. У мармурових ці стадії займають 7,83 і 6,81 доби. У самок флоридських раків остання четверта стадія триває 7,72 доби. У деструктора остання четверта стадія виношування ікри проходить за 10,48 доби, а п'ята — за 7,50 доби.

Як уже згадувалося вище, репродуктивні характеристики самок раків оцінювали в період інкубації та протягом усього періоду відлучення. Тому наприкінці дослідження для самок було сформовано п'ять груп: вибраковування, незадовільна, задовільна, хороша і відмінна [5].

Самки австралійських мармурових раків розподілилися за якістю таким чином: вибраковування — 8,57%; незадовільно — 12,86%; задовільно — 15,71%; добре — 11,43%; відмінно — 51,43%.

Для мармурових раків 32,83% були відмінними; 23,88% — добрими; 26,86% — задовільними; 7,46% — незадовільними і 8,95% — забракованими.

Для деструкторів найбільша кількість самок була віднесена до відмінної категорії (39,06%); частка доброї становила 21,88%, задовільної — 18,75%, незадовільної — 6,25% і вибракованої — 14,06%. Найменша кількість флоридських раків була в незадовільній групі (4,69%), найбільша — в відмінній (42,19%); 20,31% — у добрій та 21,88% — у задовільній, при цьому 10,9% самок було вибраковано [4].

Найбільшу масу з проаналізованих мікропопуляцій було виявлено у самок австралійського червоноклешневого рака: із 70 особин 44 (62,8%) були доброї або

відмінної якості. Частка таких особин у флоридських раків також була великою — 62,5%. Однак маса тіла не завжди визначає якість самок. Це було видно на прикладі австралійського рака, де самки задовільної якості перевершували самок хорошої якості за показником маси, але якісна різниця з кращою групою була дуже значною ($p < 0,001$). Це свідчить про те, що для оцінки якості самок необхідний комплексний підхід, оскільки її не можна визначити тільки за масою.

Загальна маса ікри варіювала залежно від виду раків і категорії якості. Таким чином, загальні втрати ікри при відборі проб протягом інкубаційного періоду становили 65%. Ці втрати були пов'язані, зокрема, з процесом підрахунку, оскільки незначні маніпуляції викликали стрес у самок, і частина ікри випадала. Однак якісна класифікація самок є найважливішим чинником під час виробництва ікри. Зокрема, у всіх групах без винятку виробництво ікри самками гарної та відмінної якості було значно вищим, з дуже великими внутрішньогруповими відмінностями ($p < 0,001$).

Отже, найменший період інкубації ікри відзначено у флоридських раків (відлучення мальків від самок у 26–28 діб), найбільший — у деструктора (завершення 5-ї стадії у 45 діб). Забарвлення яєць варіювало у всіх вивчених видів і залежало від ступеня зрілості: незапліднені яйця були прозорими або світло-сірими у самок усіх видів.

Категорія якості самок є вирішальним чинником для збільшення відтворної здатності, оскільки у всіх досліджених мікропопуляціях раків спостерігалися значні відмінності між усіма категоріями якості самок.

ЛІТЕРАТУРА

1. Asher A. Converging innovative technologies in intensive production of redclaw crayfish seedstock // Hatchery Feed & Management. 2020. Vol. 8. P. 12—15.
2. Fedorovich E. I., Muzhenko A. V., Slyusar M. V. Weight growth and preservation of crayfish of different species depending on their planting density // Breeding and genetics of animals. 2022. Vol. 63. P. 136—142. <https://doi.org/10.31073/abg.63.11>.
3. The perfect invader: a parthenogenic crayfish poses a new threat to Madagascar's freshwater biodiversity / Jones Julia P. G. et al. // Biological Invasions. 2009. Vol. 11(6). P. 1475—1482. <https://doi.org/10.1007/s10530-008-9334-y>.
4. First wild record of Australian red-claw crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) in the East Coast of Peninsular Malaysia / Norshida I. et al. // Bio Invasions Records. 2021. Vol. 10(2). P. 360—368. <https://doi.org/10.3391/bir.2021.10.2.14>.
5. Vogt G. The marbled crayfish: a new model organism for research on development, epigenetics and evolutionary biology // Journal of Zoology. 2008. Vol. 276 (1). P. 1—13. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.2008.00473.x>.