

АНАЛІЗ ПРО-АНТИОКСИДАНТНОГО СТАТУСУ *DAPHNIA MAGNA* ЗА БІОІНКАПСУЛЯЦІЇ УФ-ОПРОМІНЕНОЮ БІОМАСОЮ ДРІЖДЖІВ *RHODOTORULA MINUTA*

Л.В. ХУДА, Г.М. ДЕМЧУК, О.І. ХУДИЙ

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича
вул. Коцюбинського, 2, м. Чернівці, Україна 58012

e-mail: lkhuda@chnu.edu.ua, demchuk.halyna@chnu.edu.ua, o.khudyi@chnu.edu.ua

Забезпечення високої життєздатності та виживаності молоді риб на ранніх етапах онтогенезу є пріоритетним завданням інтенсивної аквакультури, вирішення якого безпосередньо пов'язане з оптимізацією стартових раціонів. Гіллястовусі ракоподібні, зокрема *Daphnia* sp, є поширеним живим кормом, проте їхній природний нутрієнтний профіль часто дефіцитний за рядом есенціальних сполук, зокрема каротиноїдів. Перспективним методом вирішення цієї проблеми є технологія біоінкапсуляції з використанням каротиногенних дріжджів роду *Rhodotorula*, біосинтетичний потенціал яких штучно підсилено за допомогою дозованого ультрафіолетового (УФ) опромінення. Мета роботи полягала в оцінці впливу біоінкапсуляції УФ-опроміненою культурою дріжджів *Rhodotorula minuta* на про-антиоксидантний статус та динаміку чисельності популяції *Daphnia magna* для обґрунтування перспективності застосування модифікованої мікробної біомаси в аквакультурі. Стимуляцію каротиногенезу у штаму *R. minuta* УКМ Y-1349 здійснювали шляхом короткохвильового УФ-опромінення ($\lambda = 254$ нм) протягом 120 хвилин з наступним глибинним культивуванням. Отриману біомасу використовували для вигодовування *D. magna* протягом 16 діб із кінцевою концентрацією субстрату $1,5 \times 10^7$ КУО/л. Стан про-антиоксидантної системи дафній оцінювали за вмістом ТБК-активних продуктів, рівнем карбонільних похідних білків та активністю супероксиддисмутази на 8-у та 16-у добу експерименту. Паралельно здійснювали щоденний моніторинг чисельності популяції. Встановлено, що згодовування УФ-модифікованого корму ініціює в організмі дафній стан помірного фізіологічного еустресу, що супроводжується зростанням рівня ТБК-активних продуктів у 1,5 рази та вмісту карбонільних груп білків у 1,77 рази порівняно з нативним контролем, що, ймовірно, зумовлено прооксидантним ефектом високих концентрацій накопичених каротиноїдів. Проте на 16-у добу вигодовування зафіксовано потужну компенсаторну відповідь: активність СОД у дослідній групі майже вдвічі перевищувала показники контролю, що призвело до стабілізації процесів ліпопероксидації та збільшенні чисельності популяції на 37%. Результати дослідження підтверджують, що біомаса УФ-опроміненних дріжджів *R. minuta* виступає ефективним біомодулятором про-антиоксидантного статусу живих кормів. Викликаний еустрес забезпечує зростання їхньої життєздатності та обґрунтовує перспективність впровадження цієї біотехнології для оптимізації кормової бази в рибництві.

Ключові слова: *Daphnia magna*, *Rhodotorula minuta*, біоінкапсуляція, ультрафіолетове опромінення, каротиноїди, супероксиддисмутаза, пероксидне окиснення ліпідів, окисна модифікація білків, живі корми

Вступ. Забезпечення високої виживаності риб на ранніх етапах онтогенезу є фундаментальним викликом для світової інтенсивної аквакультури, вирішення якого безпосередньо залежить від оптимізації стартових раціонів. У цьому контексті використання живих кормів залишається незамінним елементом біотехнології вирощування молоді. Вони є максимально наближеними до природного спектра живлення гідробіонтів, володіють високою поживністю та легко засвоюються, що компенсує функціональну незрілість травної системи личинок риб (Melaku et al., 2024, Radhakrishnan et al., 2020). Ензими, які містяться в кормових об'єктах, активують проензими в кишечнику риб

та запускають автоліз самого субстрату, значно інтенсифікуючи травний процес (Goncalves et al., 2024). Серед широкого спектра живих кормів особливе місце посідають гіллястовусі ракоподібні завдяки їхній високій доступності, технологічності в культивуванні та оптимальним розмірним характеристикам. Водночас природний нутрієнтний профіль дафній часто є дефіцитним за вмістом деяких есенціальних мікрокомпонентів, зокрема каротиноїдів, що може обмежувати фізіологічний потенціал молоді риб (Samat et al., 2020). Ефективним шляхом вирішення цієї проблеми є технологія біоінкапсуляції. Фільтраційний тип живлення кормового зоопланктону робить його ідеальним вектором для збагачення широким спектром

біологічно активних речовин: есенціальних поліненасичених жирних кислот, вітамінів, пробіотиків, імуностимуляторів та терапевтичних агентів (Khuda et al., 2020; Cheban et al., 2020; Prusinska et al., 2018).

Більшість досліджень у сфері біоінкапсуляції каротиноїдів фокусуються на синтетичному атаксантині або мікроводоростях (наприклад, *Chlorella*), проте особливий інтерес як альтернативне джерело пігментів становлять дріжджі роду *Rhodotorula* (Khudyi et al., 2018; Vasina et al., 2020; Khuda et al., 2024; Haldule et al., 2026). Каротиногенні родоторули здатні до швидкого нарощування біомаси на дешевих субстратах і виступають концентрованим джерелом не лише специфічних каротиноїдів (торуліну та торулародину), а й високоякісного білка та ліпідів (Chentir et al., 2025,). Це дозволяє комплексно оптимізувати раціон гідробіонтів без залучення дорогих комерційних препаратів. Таким чином, згодовування дафніям біомаси *Rhodotorula* дозволяє створити збагачений живий корм, здатний повноцінно забезпечити потреби мальків риб як в основних макронутрієнтах, так і в життєво необхідних антиоксидантних сполуках.

Перспективним напрямом підвищення біосинтетичного потенціалу дріжджів *Rhodotorula* є застосування фізичних стрес-факторів, зокрема ультрафіолетового (УФ) опромінення. Оскільки каротиноїди виконують у клітинах мікроорганізмів захисну фотопротекторну та антиоксидантну функції, дозоване УФ-опромінення (зокрема, у короткохвильовому діапазоні 254 нм) виступає потужним індуктором їхнього надсинтезу (Краєвська та ін, 2017). Такий підхід є технологічно доступним, екологічно безпечним і дозволяє отримати біомасу з генетично немодифікованим, але значно підсиленим каротиноїдним профілем. Застосування такої УФ-індукованої культури як агента біоінкапсуляції відкриває нові можливості для створення високоефективних живих кормів із прогнозовано високим про-антиоксидантним статусом. З огляду на це, метою нашої роботи було оцінити вплив біоінкапсуляції УФ-опроміненою культурою дріжджів *Rhodotorula minuta* на про-антиоксидантний статус та виживаність *Daphnia magna* для обґрунтування перспективності використання модифікованої біомаси в технологіях аквакультури.

Матеріали та методи. Як джерело каротиноїдів для біоінкапсуляції використовували штаб дріжджів *Rhodotorula minuta* УКМ Y-1349 з колекції кафедри біохімії

та біотехнології ННІХБ ЧНУ. Інокулят отримували шляхом вирощування посівного матеріалу на щільному поживному середовищі Сабуро протягом 48 год за температури 28°C. Для стимуляції каротиногенезу суспензію дріжджів піддавали фотоіндукованій модифікації за допомогою УФ-опромінення в стерильних умовах за допомогою лампи ДБ-60 ($\lambda = 254$ нм) протягом 120 хв. Контрольні групи дріжджів опроміненню не піддавали. Подальше нарощування біомаси здійснювали глибинним способом у рідкому середовищі Сабуро за постійного перемішування на лабораторному шейкері (180–200 об/хв) при температурі 26–28°C упродовж 8 діб. По завершенню терміну культивування мікробну суспензію центрифугували протягом 20 хв (3000 об/хв, ОПН-8) для відділення біомаси дріжджів від культуральної рідини. Осаджену дріжджову біомасу промивали та стандартизували за кількістю колонієутворювальних одиниць (КУО/л).

Культивування *Daphnia magna* Straus, 1820 здійснювали в скляних ємностях при температурі $22 \pm 1^\circ\text{C}$ з 16-годинним фотоперіодом в умовах кліматичної кімнати. Початкова щільність культури для дослідження складала 100 ос./л. Внесення кормового субстрату (стандартизована водна суспензія каротиногенних дріжджів у кінцевій концентрації $1,5 \times 10^7$ КУО/л) здійснювали через кожні 48 годин протягом 16 діб. Підрахунок чисельності дафній здійснювали щодобово. Зразки для проведення біохімічних досліджень відбирали на 8-й та 16-й день культивування. Вміст торулародину оцінювали спектрофотометрично після попередньої екстракції ацетоном (Kiritsa, 2005). Вміст ТБК-активних продуктів пероксидного окиснення ліпідів визначали за Ohkawa et al., 1979. Рівень карбонільних похідних білків оцінювали спектрофотометрично в реакції з 2,4-динітрофенілгідразином при $\lambda = 370$ нм (Reznick et al., 1994). Активність супероксиддисмутази (ЕС 1.15.1.1) оцінювали за здатністю ензиму інгібувати аутоокиснення адреналіну та виражали в ум. од./мг білка (Sun et al., 1978). Статистичну оцінку результатів дослідження проводили за допомогою двофакторного дисперсійного аналізу (Two-way ANOVA), де незалежними факторами виступали тип кормового субстрату та тривалість культивування. Попарні порівняння середніх значень здійснювали за допомогою критерію Тьюкі. Різницю вважали статистично значущою при $p < 0,05$.

Результати та їх обговорення. Дієвим інструментом для модифікації нутрієнтного складу мікробної біомаси є використання фізичних факторів, серед яких одне з провідних місць посідає УФ-опромінення. Фізіологічний ефект такого типу обробки ґрунтується на стимуляції адаптаційної відповіді клітин, що безпосередньо призводить до гіперпродукції та підвищеного вмісту каротиноїдів у клітинних структурах. Це робить УФ-індукцію доступним і високоефективним методом отримання збагаченої дріжджової біомаси з посиленням

антиоксидантним потенціалом. Так, нашими попередніми дослідженнями показано зростання вмісту загальних каротиноїдів в біомасі дафній, інкапсульованих УФ-опроміненою *Rhodotorula glutinis* у порівнянні з нативною культурою (Vasina et al., 2020). Таку ж тенденцію ми спостерігали і випадку біоінкапсуляції опроміненою *Rhodotorula minuta*. Зокрема, дослідження вмісту торулародину в біомасі дафній показало його зростання на 8 добу від початку експерименту в 1,3 рази у порівнянні з контролем (рис.1).

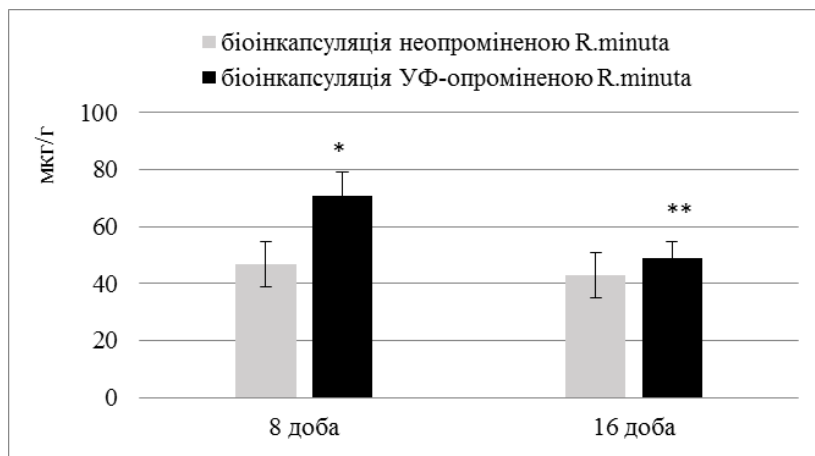


Рис. 1. Вміст торулародину у гомогенатах *Daphnia magna* за умов інкапсуляції УФ-опроміненою та нативною культурами дріжджів *Rhodotorula minuta*

Примітка (тут і надалі): * - статистично достовірна різниця ($p \leq 0.05$) порівняно з групою дафній, інкапсульованих нативною *Rhodotorula minuta* на відповідну добу культивування; ** - статистично достовірна різниця ($p \leq 0.05$) порівняно з аналогічною групою на 8-му добу культивування.

Проте пролонговане надходження УФ-модифікованого субстрату до 16-ї доби ініціює метаболічний зсув та супроводжується зниженням вмісту пігменту до контрольних значень. Зниження пулу торулародину в цей період, ймовірно, пов'язане з його активним залученням до процесів ендогенної біотрансформації. З іншого боку, отримані результати можуть бути зумовлені інтенсивною витратою молекул пігменту на пряму нейтралізацію активних форм кисню в умовах активованого прооксидантного статусу. Підтвердженням цього припущення є результати, отримані при дослідженні продуктів окислювальної модифікації білків та ліпідів в гомогенаті *Daphnia magna*.

Fig. 1. The content of TBA-reactive substances in *Daphnia magna* homogenates under conditions of encapsulation with UV-irradiated and native cultures of *Rhodotorula minuta*

Note (hereinafter): * - statistically significant difference ($p \leq 0.05$) compared to the native *Rhodotorula minuta* group on the respective day; ** - statistically significant difference ($p \leq 0.05$) compared to day 8 within the same group.

Аналіз динаміки вмісту ТБК-активних продуктів у гомогенатах *D. magna* виявив чітку залежність інтенсивності процесів пероксидного окиснення ліпідів (ПОЛ) від фактору попередньої модифікації корму (рис.2).

На 8-у добу експерименту у дафній, які отримували УФ-опромінену біомасу *R. minuta*, рівень ТБК-активних продуктів був у 1,5 рази вищим за аналогічний показник групи, вирощуваної на нативній культурі дріжджів. Така ж тенденція зберіглась і на 16-у добу дослідження, що свідчить про фактичну стабілізацію рівня ТБК-активних продуктів в групі з використанням фотомодифікованих дріжджів.

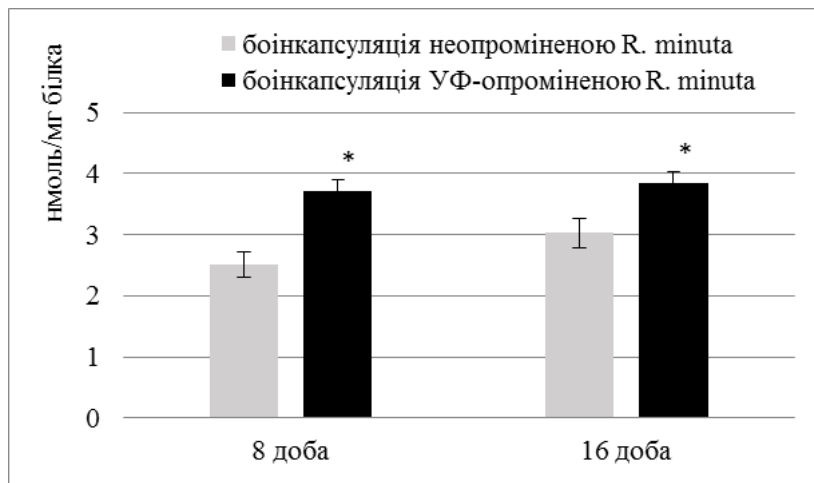


Рис. 2. Вміст ТБК-активних продуктів у гомогенатах *Daphnia magna* за умов інкапсуляції УФ-опроміненою та нативною культурами дріжджів *Rhodotorula minuta*

Fig. 2. The content of TBA-reactive substances in *Daphnia magna* homogenates under conditions of encapsulation with UV-irradiated and native cultures of *Rhodotorula minuta*

Для повноти оцінки про-антиоксидантного статусу *D. magna* було проаналізовано динаміку маркерів окисної модифікації білків (ОМБ) за вмістом карбонільних похідних (рис.3). На 8-у добу експерименту в групі дафній, які отримували УФ-модифікований корм, зафіксовано інтенсифікацію процесів ОМБ — рівень карбонільних похідних протеїнів в 1,77 рази перевищував показник дослідного контролю. На 16-у добу культивування відмічено зростання цього показника в обох групах.

Така первинна активація вільнорадикальних процесів в організмі дафній, ймовірно, зумовлена прооксидантним ефектом надвисоких концентрацій індукованих каротиноїдів, які за умов інтенсивного надходження здатні виступати ініціаторами ендogenous окиснення. Як відомо, антиоксидантна дія каротиноїдів (зокрема торулену та торулародину родоторул) базується на їхній здатності ефективно інактивувати вільні радикали завдяки наявності розгалуженої системи кон'югованих подвійних зв'язків.

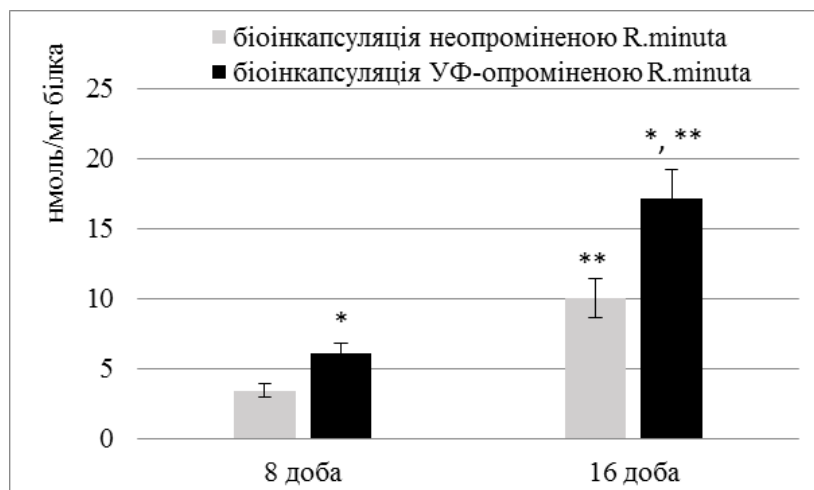


Рис. 3. Вміст карбонільних похідних білків у гомогенатах *Daphnia magna* за умов інкапсуляції УФ-опроміненою та нативною культурами дріжджів *Rhodotorula minuta*

Fig. 3. Carbonyl protein content in *Daphnia magna* homogenates under encapsulation with native and UV-irradiated *Rhodotorula minuta* yeast cultures

У результаті такої взаємодії утворюються вторинні каротиноїдні радикали, які характеризуються значно меншою реакційною здатністю порівняно з первинними активними формами кисню. Стабілізація неспареного

електрона в полієновому ланцюзі хромофора запобігає подальшому вільнорадикальному ушкодженню та забезпечує можливість їхньої наступної детоксикації синергічними антиоксидантними системами (наприклад,

токоферолом чи аскорбатом). Проте, за умов високої концентрації каротиноїдних радикалів вони не знешкоджуються антиоксидантною системою та самі стають ініціаторами ланцюгової реакції окиснення. Ситуація додатково посилюється в аеробних умовах, за яких каротиноїдні радикали швидко взаємодіють із киснем, утворюючи агресивні пероксильні радикали каротиноїдів.

Розвиток помірного прооксидантного зсуву за умов вигодовування фотомодифікованим кормом зумовив компенсаторну відповідь з боку ключового ферменту першої лінії

антиоксидантного захисту – супероксид-дисмутази (СОД), що каталізує реакцію дисмутації високотоксичного супероксидного аніон-радикала до менш агресивного пероксиду водню, тим самим запобігаючи первинному вільнорадикальному ушкодженню біомакромолекул та клітинних структур.

Результати проведених досліджень показали, що введення до раціону дафній УФ-модифікованих дріжджів уже на 8-у добу ініціює подвоєння активності СОД відносно контролю (рис. 4).

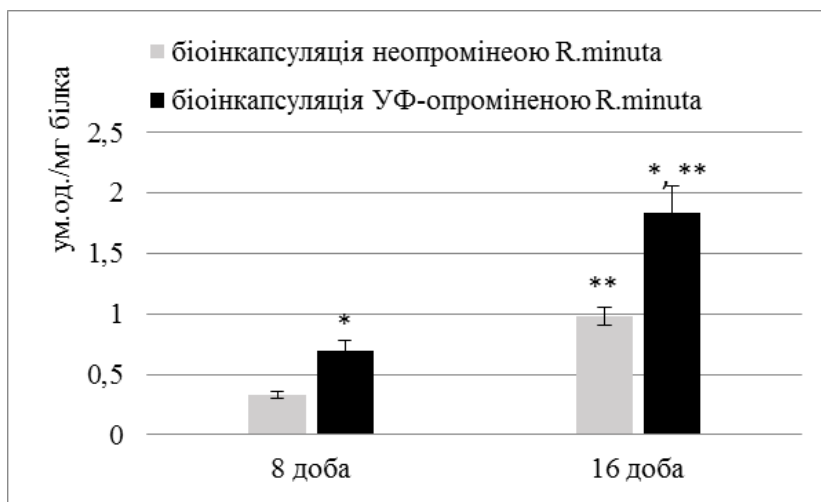


Рис. 4 Активність супероксиддисмутази у гомогенатах *Daphnia magna* за умов інкапсуляції УФ-опроміненою та нативною культурами дріжджів *Rhodotorula minuta*

Fig. 4 Superoxide dismutase activity in *Daphnia magna* homogenates under bioencapsulation with UV-irradiated and native *Rhodotorula minuta* yeast cultures

Попри те, що до 16-ї доби відбувалося загальне фізіологічне підвищення рівня активності ферменту в усій дослідній популяції, група з каротиноїдною інкапсуляцією продемонструвала максимальний рівень антиоксидантного відгуку. Зокрема, на фінальній точці експерименту активність СОД у дафній цієї групи утримувалася на майже вдвічі вищому рівні порівняно з особинами, які споживали нативний корм. Сповільнення темпів окисної деструкції ліпідів на пізніх етапах чітко корелює з встановленим дворазовим сплеском активності СОД.

Потужний ендogenous антиоксидантний захист, сформований у відповідь на каротиноїдний стимул, дозволив дослідній популяції стабілізувати метаболізм, що забезпечило вищий адаптаційний потенціал та приріст чисельності ракоподібних (рис. 5).

Так, на 16-ту добу культивування чисельність особин у групі з інкапсульованими опроміненими дріжджами статистично перевищувала контрольну на 37%. Отримані дані свідчать, що УФ-опромінений корм виступає інтенсивнішим первинним прооксидантним стимулом, проте викликаний ним зсув носить характер помірного фізіологічного еустресу, який ефективно контролюється ендogenous захисними системами ракоподібних і не призводить до деструктивного окисного пошкодження клітинних мембран, про що свідчить вихід на плато вмісту ТБК-активних продуктів у цей період. Водночас, вільнорадикальне пошкодження білків у даному випадку виступає як регуляторний сигнал для активації компенсаторних систем, що, у синергізмі зі стабілізацією процесів ПОЛ та високою активністю СОД, забезпечило загальне підвищення життєздатності гідробіонтів.

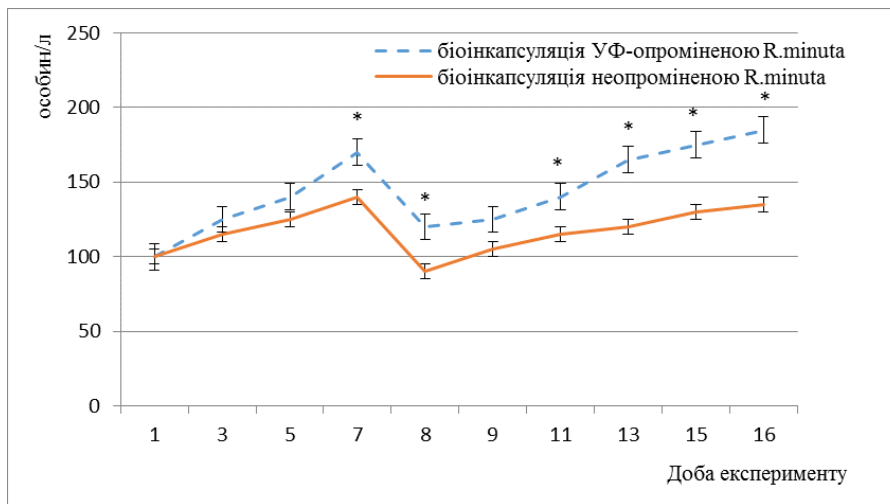


Рис. 5 Динаміка кількості особин *Daphnia magna* за умов інкапсуляції УФ-опроміненою та нативною культурами дріжджів *Rhodotorula minuta*

Fig. 5 Abundance dynamics of *Daphnia magna* individuals under encapsulation with native and UV-irradiated *Rhodotorula minuta* yeast cultures

Висновки. На основі проведених досліджень встановлено, що використання біомаси дріжджів *Rhodotorula minuta*, модифікованої за допомогою короткохвильового ультрафіолетового прооксидантним стимулом, який ініціює стан помірного фізіологічного еустресу в організмі *Daphnia magna*. На початкових етапах (8-а доба) це супроводжується закономірним зростанням маркерів пероксидного окиснення ліпідів (у 1,5 раза) та окисної модифікації білків (у 1,77 раза) порівняно з нативним контролем. Доведено, що розвиток первинного прооксидантного зсуву компенсується потужним ендогенним відгуком першої лінії антиоксидантного захисту. Дворазове підвищення активності

супероксиддисмутази (СОД) на 16-у добу забезпечує стабілізацію процесів ліпопероксидації. Оптимізація антиоксидантного статусу та підвищення життєздатності ракоподібних призвели до статистично достовірного збільшення чисельності популяції *D. magna* на 37%, що підтверджує ефективність використання попередньо УФ- опроміненої біомаси родоторул для створення збагачених живих кормів в аквакультури.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють, що дослідження проводилося за відсутності будь-яких комерційних або фінансових відносин, які можна було б витлумачити як потенційний конфлікт інтересів.

Список літератури / References:

- Cheban, L., Khudyi, O., Prusińska, M., Duda, A., Khuda, L., Wiszniewski, G., Kushniryk, O., & Kapusta, A. (2020). Survival, proximate composition, and proteolytic activity of *Artemia salina* bioencapsulated with different algal monocultures. *Fisheries & Aquatic Life*, 28(3), 205–215. <https://doi.org/10.2478/aopf-2020-0025>
- Chentir, I., Ben Miri, Y., Kot, A. M., Nikhanj, P., Mussagy, C. U., Arous, F., & Markou, G. (2025). *Rhodotorula* genus: Vast knowledge, limited commercialization – What is holding us back? *Fungal Biology Reviews*, 54, Article 100459. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2025.100459>
- Goncalves, R., Pfalzgraff, T., & Lund, I. (2024). Impact of live feed substitution with formulated diets on the development, digestive capacity, biochemical composition, and rearing water quality of European lobster (*Homarus gammarus*, L.) larvae. *Aquaculture*, 586, Article 740776. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.740776>
- Haldule, S., Singhvi, M., & Zinjarde, S. (2026). *Rhodotorula* and *Phaffia*: Pigment producing basidiomycetous yeasts for application in aquaculture practices. *Archives of Microbiology*, 208(3), Article 67. <https://doi.org/10.1007/s00203-025-04605-8>
- Khuda, L., & Khudyi, O. (2024). Analiz kryvykh vyzhyvanosti *Daphnia magna* za umov inkapsuliatcii biomasoi *Rhodotorula minuta* [Analysis of *Daphnia magna* survival curves under conditions of encapsulation by *Rhodotorula minuta* biomass]. *Biologichni systemy*, 16(1), 53–57. <https://doi.org/10.31861/biosystems2024.01.053> (in Ukrainian)
- Khuda, L., Spivak, M., Demchenko, O., Karucheru, O., Frunza, O., Khudyi, O. (2020). Probiotic correction of *Daphnia magna* microbial profile using *Lactobacillus casei* UCM 7280. *Scientific Herald of Chernivtsi University. Biology (Biological Systems)*, 12 (1), 3-8. <https://doi.org/10.31861/biosystems2020.01.003>
- Khudyi, O., Kushniryk, O., Khuda, L., Marchenko, M. (2018). Differences in Nutritional Value and Amino Acid Composition of *Moina macrocopa* (Straus)

- Using Yeast *Saccharomyces cerevisiae* and *Rhodotorula glutinis* as Fodder Substrates. *Int Lett Nat Sci*, 68, 27-34. <https://doi.org/10.56431/p-9lbt9i>.
8. Kiritsa E. (2005). The directed synthesis of carotenoids by yeasts and the perspectives of its use: Dissertation of Dr. in biology. Chisinau, 2005, 129 p.
 9. Kraievska I.M., Vasina L.M. (2017). Dynamika nakopychennia biomasy i karotynsyntezuiucha aktyvnist *Rhodotorula glutinis* (Fresenius) F. C. Harrison (1982) za dii ultrafioletu [Dynamics of biomass accumulation and carotene synthesizing activity of *Rhodotorula glutinis* (Fresenius) F.C. Harrison (1982) under the action of ultraviolet radiation] – *Biological Systems* 9: 183-186 (in Ukrainian)
 10. Melaku, S., Geremew, A., Getahun, A., Mengestou, S., & Belay, A. (2024). Challenges and prospects of using live feed substitutes for larval fish. *Fisheries and Aquatic Sciences*, 27(8), 475–487. <https://doi.org/10.47853/FAS.2024.e45>
 11. Ohkawa, H., Ohishi, N., & Yagi, K. (1979). Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction. *Analytical Biochemistry*, 95(2), 351–358. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(79\)90738-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(79)90738-3)
 12. Radhakrishnan, D.K., AkbarAli, I., Schmidt, B.V., John, E.M., Sivanpillai, S., Vasunambesan, S.T. (2020). Improvement of nutritional quality of live feed for aquaculture: An overview. *Aquac. Res.*, 51, 1–17. <https://doi.org/10.1111/are.14357>
 13. Reznick, A. Z., & Packer, L. (1994). Oxidative damage to proteins: Spectrophotometric method for carbonyl assay. *Methods in Enzymology*, 233, 357–363. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(94\)33041-7](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(94)33041-7)
 14. Samat, N.A., Yusoff, F.M., Rasdi, N.W., Karim, M. (2020). Enhancement of Live Food Nutritional Status with Essential Nutrients for Improving Aquatic Animal Health: A Review. *Animals*, 10, 2457. <https://doi.org/10.3390/ani10122457>
 15. Sun, M., Zigman, S. (1978). An improved spectrophotometric assay for superoxide dismutase based on epinephrine autoxidation. *Analytical Biochemistry*, 90(1), 81–89. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(78\)90010-6](https://doi.org/10.1016/0003-2697(78)90010-6)
 16. Vasina, L., Kraievska, I., Khudyi, O., Khuda, L., & Cheban, L. (2020). Application of an association of yeast and lactic acid bacteria to bioencapsulate carotenoids in *Daphnia magna* (Straus, 1820). *Fisheries & Aquatic Life*, 28(4), 225–233. <https://doi.org/10.2478/aopf-2020-0027>

ANALYSIS OF PRO-ANTIOXIDANT STATUS OF *DAPHNIA MAGNA* UNDER BIOENCAPSULATION WITH UV-IRRADIATED *RHODOTORULA MINUTA* YEAST BIOMASS

L.V. Khuda, H.M. Demchuk, O.I. Khudyi

Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University
2 Kotsyubynskoho Str., Chernivtsi, Ukraine, 58012

e-mail: lkhuda@chnu.edu.ua, demchuk.halyna@chnu.edu.ua, okhudyi@chnu.edu.ua

*Ensuring high viability and survival rates of juvenile fish during the early stages of ontogenesis is a priority task for intensive aquaculture, the solution to which is directly linked to the optimization of starter diets. Cladoceran crustaceans, particularly *Daphnia* sp., are a widely used live feed; however, their natural nutrient profile is often deficient in several essential compounds, including carotenoids. A promising method to address this issue is bioencapsulation technology using carotenogenic yeasts of the genus *Rhodotorula*, whose biosynthetic potential has been artificially enhanced via dosed ultraviolet (UV) irradiation. The aim of this study was to evaluate the effect of bioencapsulation with UV-irradiated *Rhodotorula minuta* yeast culture on the pro-antioxidant status and population dynamics of *Daphnia magna* to substantiate the prospects of using modified microbial biomass in aquaculture. Stimulation of carotenogenesis in the *R. minuta* strain UCM Y-1349 was performed by short-wave UV irradiation ($\lambda = 254$ nm) for 120 minutes, followed by submerged cultivation. The resulting biomass was used to feed *D. magna* for 16 days with a final substrate concentration of 1.5×10^7 CFU/L. The state of the pro-antioxidant system in daphnia was evaluated by the content of TBA-reactive substances (TBARS), the level of protein carbonyl derivatives, and superoxide dismutase (SOD) activity on the 8th and 16th days of the experiment. In parallel, daily monitoring of the population size was conducted. It was established that feeding with UV-modified diet initiates a state of moderate physiological eustress in daphnia, accompanied by a 1.5-fold increase in TBARS levels and a 1.77-fold increase in protein carbonyl content compared to the native control, which is presumably due to the pro-oxidant effect of high concentrations of accumulated carotenoids. However, on the 16th day of feeding, a potent compensatory response was recorded: SOD activity in the experimental group was nearly twice as high as in the control, leading to the stabilization of lipid peroxidation processes and a 37% increase in the population size. The results of the study confirm that the biomass of UV-irradiated *R. minuta* yeast acts as an effective biomodulator of the pro-antioxidant status of live feeds.*

The induced eustress ensures an increase in their viability and substantiates the prospects of implementing this biotechnology to optimize the feed base in fish farming.

Keywords: Daphnia magna, Rhodotorula minuta, bioencapsulation, ultraviolet irradiation, carotenoids, superoxide dismutase, lipid peroxidation, oxidative modification of proteins, live feed

Отримано редколегією 07.05.2026 р.

Підписано до друку 15.06.2026 р.

Дата публікації 30.06.2026 р.

ORCID ID

Лідія Худа: <https://orcid.org/0000-0002-1098-7537>

Олексій Худий: <https://orcid.org/0000-0001-5652-0900>