

---

## ОГЛЯДОВА

---

УДК 574.3:628.35

### ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ РОСЛИН РОДУ *LEMNA* У БІОМОНІТОРИНГУ ТА ФІТОРЕМЕДІАЦІЇ ГІДРОЕКОСИСТЕМ

Е.О. Аристархова

*Інститут агроекології і природокористування НААН*

*Види ряски (*Lemna minor* L., *L. gibba* L., *L. trisulca* L., *Wolffia arrhiza* (L.) Horkel ex Wimmer, *Spirodela polyrrhiza* (L.) Schleid) є однодольними водними рослинами, здатними до швидкого вегетативного розмноження, які можуть у короткі терміни формувати генетично однорідні клони. У проведеному аналізі літературних джерел щодо особливостей рослин роду *Lemna* доведено їх здатність зменшувати вміст хімічних сполук та інгредієнтів у водних розчинах з метою інтенсифікації процесів очистки побутових стоків. Відповідно, ряски можуть використовуватися як експериментальні системи для дослідження забруднювачів води та як альтернатива для виявлення деяких токсичних хімічних сполук у забруднених водах. Обґрунтовано необхідність проведення досліджень з біомоніторингу і фітореємедіації вод поверхневих джерел водопостачання з використанням рослин ряски.*

**Ключові слова:** *ряска (*Lemna*), модельні рослини, біотехнологія, біомоніторинг та фітореємедіація забруднених вод.*

---

Представники роду *Lemna* вважаються найменшими квітковими рослинами на Землі (*Lemna minor* L., *L. gibba* L., *L. trisulca* L., *Wolffia arrhiza* (L.) Horkel ex Wimmer, *Spirodela polyrrhiza* (L.) Schleid). Ззовні вони нагадують плаваючий листочок. Тому до початку XVIII ст. ряску відносили до водоростей (Алексєєв, 2013). Навіть у наш час фахівці не ботанічних галузей знань, що досліджують ці рослини, іноді вважають їх за водорості (Величко, Ривак, 2014; Величко, Мерзлов, Ривак, 2015). Це спричинено не тільки розмірами та зовнішнім виглядом рослин ряски, але й тим, що рослини розміщуються на поверхні води і належать до фітопланктону. До того ж цвітіння у рослин ряски відбувається доволі рідко і його важко помітити. Розмноження ряски, переважно, відбувається подібно до водоростей, вегетативним шляхом за допомогою бруньок, з яких упродовж життя кожна рослина утворює безліч нових тіл (Алексєєв, 2013). Досі у вчених немає єдиної думки і з приводу назви тіла цих рослин. Його називають філокладієм, щитком, пластин-

кою, фрондом, листцем і навіть стеблом чи листом. Найчастіше використовується термін «листець» як такий, що найбільше відповідає зовнішньому вигляду рослин, оскільки їх тіло розглядається як особлива структура, що не диференціюється на листя й стебло. Листці ряскових можуть бути з'єднані між собою у невеличкі групи, так звані розетки. Листці мають один або кілька корінців, існують також безкореневі види ряски (Алексєєв, 2013).

Крім незвичайного зовнішнього вигляду та способу життя ряскових, унікальним є їх хімічний склад: 35% (від сухої маси) протеїну і стільки ж вуглеводів, 5% жирів, а також незамінні амінокислоти, клітковина, каратиноїди, вітаміни групи В і Е. Із найважливіших мікро- і макроелементів — бром, йод, кальцій, фосфор та ін. Ряскові — високопродуктивні і невимогливі до умов середовища, тому є розповсюдженим кормом для водоплавних птахів, риб, навіть тварин (ряскою люблять поласувати ондатри). У тваринництві та птахівництві їх застосовують у свіжому та сухому вигляді (кормові добавки) як цінний білковий

© Е.О. Аристархова, 2016

корм (Arpenroth, Lam, 2012; Величко, Ривак, 2014). Останні дослідження хімічного та амінокислотного складу ряски малої (*L. minor*) засвідчили, що ряску можна використовувати для корму сільськогосподарських тварин і птиці як джерело повноцінного протеїну, до складу якого входить майже увесь набір незамінних амінокислот. Ця особливість *L. minor* може бути використана для збалансування раціонів за амінокислотним умістом (Величко, Ривак, 2014; Величко, Мерзлов, Ривак, 2015).

Проте ще більшу цінність ряска становить як лікарська рослина. Здавня її широко застосовували у народній медицині як протизапальний, жарознижувальний, спазмолітичний, жовчогінний засіб (Алексєєв, 2013). У цьому аспекті найбільше вивчено лікувальні властивості *L. minor*. Встановлено, що вона має болезаспокійливу, антигельмінтну й антиалергенну дію. Ряскові рослини застосовують у лікуванні астми, глаукоми, риніту, вітиліго, бешихових запалень, карбункулів тощо. Встановлено, що ряскові можуть проявляти антиканцерогенну дію завдяки флаваноїдам і тритерпенам у своєму складі. З ряски виділено полісахарид лемнан, який має імуномодуючі властивості (Алексєєв, 2013). Парадоксальним здається той факт, що на тлі цих наукових висновків у офіційній медицині ряскові як лікарські рослини досі не мають належного застосування. Однак їх почали активно використовувати у біотехнологіях, зокрема у біофармакологічній галузі та промисловості біоматеріалів, спрямованій на виробництво принципово нового класу ліків – рекомбінантних білків медичного призначення та унікальних біоматеріалів (Гайдукова, 2011; Peterson, Vasylenko, Matvieieva, Kuchuk, 2015). Обумовлено це, безумовно, високим умістом протеїну, швидким відтворенням популяцій та низькими витратами на отримання значної кількості їх біомаси. Особливе зацікавлення щодо своїх властивостей у цьому аспекті становить *L. minor*. Завдяки здатності до надзвичайно активного вегетативного розмноження, що дає змогу впродовж 36 год подвоювати свою біома-

су, ряска розглядається як своєрідна міні-біофабрика з виробництва рекомбінантних білків: гемоглобіну, ферментів, вакцинних білків, сироваткового альбуміну, колагену тощо. Так, на увагу заслуговують генетично трансформовані рослини ряски із заданими властивостями, які використовуються для синтезу вакцин. Крім того, автори вказують на можливість акумулювання у трансгенних рослинах рекомбінантних протеїнів Ag85B та ESAT6 і вважають їх перспективними для створення вакцини проти туберкульозу (Peterson, Vasylenko, Matvieieva, Kuchuk, 2015).

Рослини роду *Lemna* можна вирощувати у закритих ємностях, і до того ж повністю контролювати умови їх культивування. Для росту ряскових необхідними умовами є лише вода, неорганічні речовини та вуглекислий газ. Таке штучне середовище забезпечує унікальні умови культивування, що мають велике значення для створення системи експресії генів на основі *Lemna*. Вказана система має значний потенціал і переваги перед існуючими системами експресії, є новим типом високопродуктивної еукариотичної рослинної системи для виробництва рекомбінантних білків. Створення такої системи є можливим тільки завдяки залученню методів генної інженерії, що для *L. minor* досі залишаються малоефективними й трудомісткими. Однак системи з вироблення рослинних білків можуть бути більш безпечними та економічно вигідними, ніж традиційні системи експресії – на основі клітинних культур мікроорганізмів і тварин. На відміну від бактеріальних систем, у рослинах існує можливість здійснення посттрансляційних модифікацій, що переважно є необхідним для отримання функціонального білка. Крім того, існування рекомбінантних білків у системах з рослинних клітин є безпечнішим завдяки відсутності ризику переносу інфекційних захворювань, оскільки рослини і людина не мають спільних патогенів (Гайдукова, 2011; Peterson, Vasylenko, Matvieieva, Kuchuk, 2015). Це є значною перевагою перед системами експресії на основі культур клітин ссавців. Так, вико-

ристання генетично модифікованої ряски як біофабрики дає змогу синтезувати рекомбінантні протеїни у значних кількостях і з низькою собівартістю.

Ряскові з успіхом використовуються також у дослідженні фізіології рослин, біохімії та екотоксикології як експериментальні рослини. На них проводяться дослідження в напрямі еволюційної фізіології водних рослин, у т.ч. особливостей процесу фотосинтезу (Vidaković-Cifrek, Sorić, Babić, 2013). Ведеться пошук умов середовища, найсприятливішого для росту та розвитку водної рослинності, а також випробовуються різні поживні середовища для штучного розведення гідрофітів (Patra, 2015). Завдяки цим дослідженням визначають вплив метаболітів рослин на виживання збудників захворювань, небезпечних для людини і тварин (Гулай, 2015), а також рівні токсичності стічних вод тощо. Тому ці рослини є цінним об'єктом для морфогенетичних, фітофізіологічних, біохімічних та інших видів експериментів.

Отже, застосування рослин роду *Lemna* слід вважати не тільки можливим, але й доволі перспективним у екобіотехнологічних дослідженнях, зокрема щодо біомоніторингу та фітореMediaції водного середовища. Так, ряска як гідрофіт наразі використовується за своїм прямим призначенням у водних екосистемах для очищення вод від забруднень. Крім того, вони можуть бути корисними у біоіндикації та біотестуванні забруднених вод щодо виявлення у їх складі особливо небезпечних токсичних сполук та визначення загальної токсичності цих вод.

Загальновідомо, що найбільшої шкоди завдають річкам та водоймам різноманітні стоки, які спричиняють евтрофування вод. У водні об'єкти надходить значна кількість різних сполук, що зумовлюють забруднення водного середовища: пестициди, добрива, промислові та господарсько-побутові стічні води, змиви з полів, нафтопродукти тощо. У складі стоків часто трапляються значні вмісти важких металів, частину з яких за їх токсичні властивості віднесено до I та II класів безпеки. Скиди токсич-

них металів у річки та водойми спостерігаються у багатьох країнах світу. Тому їх підвищений вміст зафіксовано у воді та донних відкладах значної кількості водних об'єктів. Іноді цьому можуть сприяти і природні умови, коли деякі небезпечні сполуки металів вимиваються з ілювіальних шарів ґрунту. Рослини *L. minor* і ряска трійчастої (*L. trisulca*) є чутливими до забруднення води важкими металами за вмісту у ній до 10 мкг/мл іонів Ba, Cu, Mg, Fe, Co (Bämfalvi, 2011). За цих умов ряска пошкоджується, її листці втрачають зелений колір, стають безбарвними або коричневими, змінюють свою форму. А відтак, спостерігаючи за видозмінами стану популяції ряски, можна візуально оцінювати якість води у водоймах (Bämfalvi, 2011; Sekomo, Rousseau, Saleh, Lens, 2012). Крім того, на деякі забруднювачі у *L. minor* проявляється специфічна реакція. На мідь листці реагують зміною свого забарвлення — з зеленого на блакитний колір; на цинк — з насиченого зеленого до безбарвного, де зеленими залишаються лише точки росту; барій спричиняє зміну забарвлення з зеленого на молочно-білий колір; кобальт — повне припинення росту й втрату забарвлення (Sekomo, Rousseau, Saleh, Lens, 2012). Загалом, важкі метали зумовлюють порушення обміну речовин і навіть зовнішні пошкодження рослин ряски, що може бути використано у біомоніторингових дослідженнях.

Разом з тим рослини роду *Lemna* активно реагують не тільки на важкі метали. За їх допомогою можна визначати загальну токсичність вод. Так, для виявлення на основі *L. minor* токсичного ефекту від наявності у воді небезпечних складових та з'ясування ступеня забруднення стічних вод був розроблений міжнародний стандарт тестування за інгібуванням її росту (ISO 20079, 2004). Тобто токсичні речовини, що містяться у воді, можуть істотно впливати на ростові процеси ряскових, і особливо чітко це проявляється на *L. minor*. Найчастіше характерним за інгібування росту рослин є менша кількість сформованих листців порівняно з контролем (Patra, 2015). Доволі чутливим показником у визначенні рівнів забруднен-

ня водного середовища вважається також інтенсивність фототаксису хлоропластів у листцях ряски за зміною їх кількості в епістрофному положенні. Явище негативного фототаксису було використано як метод фітотестування (Vidaković-Cifrek, Sorić, Babić, 2013; Patra, 2015).

Серед вищих рослин, що беруть участь у формуванні якості води (очерет, комиш, рогіз, рдесник та ін.), ряскі займають особливе місце. Вони засвоюють і переробляють різні речовини, сприяючи осадженню завислих, у т.ч. органічних, сполук та комплексів, насичують воду киснем, інтенсифікують очищення води від найрізноманітніших забруднювачів. Унаслідок швидкого росту ці рослини можуть поглинати значні кількості токсикантів, очищуючи від них воду (Teixeira, Vieira, Espinha, Pereira, 2014). Вміст азоту у клітинах ряскових у 2 тис. разів може перевищувати його концентрацію у воді, фосфору — у 7, калію — у 5 тис. разів. Оскільки рослини ряски можуть накопичувати токсичні важкі метали, ці рослини пропонується використовувати для очищення забруднених вод. За результатами проведених досліджень (Sekomo, Rousseau, Saleh, Lens, 2012) рослини ряски вилучали до 98% сполук хрому та близько 30% — свинцю, кадмію та міді з відпрацьованої води. Крім того, рослини ряски є надзвичайно стійкими до високих концентрацій токсичних сполук у воді (Patra, 2015). Поглинаючи токсиканти, ці рослини можуть перетворювати їх у менш токсичну форму, що було доведено на сполуках хрому (VI) (Matveyeva, Duplii, Panov, 2013; Matvieieva, Duplij, 2013; Матвеева, Дуплій, Панов, 2013).

В основі фітореємедіації вод лежать біохімічні процеси окиснення, фільтрації, поглинання, накопичення органічних і неорганічних сполук, мінералізації, детоксикації, адсорбції, хемосорбції тощо. Крім того, всі види роду *Lemna* характеризуються специфічними відмінностями за концентрацією поглинутих хімічних сполук. Ці відмінності проявляються навіть на рівні органів і частин однієї і тієї самої рослини,

залежать вони і від сезону року, фази розвитку популяції, тривалості їх вегетації тощо. Вільно плаваюча ряска отримує елементи мінерального живлення переважно з води, тому інтенсивність накопичення тієї чи іншої сполуки залежить насамперед від її концентрації у воді, а також від рН середовища (Матвеева, Дуплій, Панов, 2013; Kirkwood, Kennen, 2015; Patra, 2015).

Найчастіше рослини ряски використовуються для реємедіації стічних вод. Так, вони виявляють себе надзвичайно активними у фізіологічному та біохімічному аспектах щодо забруднювальних речовин (Kirkwood, Kennen, 2015; Patra, 2015). Однак вказані властивості цих рослин цілком можуть бути використані і стосовно вододійного питного водокористування, що знають останніми десятиліттями доволі високих рівнів забруднень небезпечними токсикантами. Отже, у недалекому майбутньому поряд з іншими напрямками ряскової отримають надзвичайно широке застосування у біомоніторингу та фітореємедіації вод різного походження.

## ВИСНОВКИ

Рослини роду *Lemna* завдяки своїм унікальним властивостям мають чудову перспективу використання у багатьох галузях, таких як лікарська справа, фармакологія, кормовиробництво, генна інженерія, еко-токсикологія тощо. Разом з тим особливого значення набуває застосування цих рослин у сучасних біотехнологіях, що підтверджується науковими розробками останніх років у нашій країні та за кордоном. З огляду на аналіз літературних джерел, одним з найважливіших біотехнологічних напрямів використання ряскових є фітореємедіація та біомоніторинг стічних вод. Проте внаслідок дедалі більшого погіршення якості поверхневих вод запропоновано застосовувати рослини роду *Lemna* у екологічних біотехнологіях, спрямованих одночасно на їх очищення, біоіндикацію та біотестування, що сприятиме відновленню джерел питного водопостачання.