

Список використаних джерел

1. Іващенко, О. О. & Іващенко, О. О. (2008). Шляхи адаптації землеробства в умовах змін клімату. Збірник наукових праць Національного наукового центру "Інститут землеробства НААН", Спец. вип., 15-21.
2. Лихочвор, В. В. & Петриченко, В. Ф. (2021). Рослинництво. Нові технології вирощування сільськогосподарських культур: підручник (5-те вид.). Львів: Українські технології.
3. Шевченко, О. М., Приходько, В. І., Шевченко, С. М. & Швець, Н. В. (2011). Технологічні прийоми підвищення ефективності регулювання поживного режиму при вирощуванні кукурудзи. Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони, 1, 46-50. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/bisg_2011_1_11
4. Global Time Series. National Oceanic and Atmospheric Administration. Retrieved from <https://www.ncei.noaa.gov/>

УДК 631.589:632.11

АКВАПОНІКА ЯК АДАПТИВНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОЩУВАННЯ РОСЛИН В УМОВАХ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН

Майборода Х.А., асистент

Національний університет водного господарства та природокористування, Україна

e-mail: h.a.maiboroda@nuwm.edu.ua

Глобальні кліматичні зміни зумовлюють посилення біотичних і абіотичних стресів, що впливають на продуктивність агроєкосистем і стабільність продовольчого виробництва. Зростання середньорічних температур, зміщення режимів опадів, збільшення частоти екстремальних погодних явищ, деградація ґрунтів і зниження доступності якісних водних ресурсів створюють комплексний виклик для сталого функціонування аграрного сектору. Особливо гостро ці тенденції проявляються у регіонах із інтенсивним землеробством, де підвищене антропогенне навантаження та кліматичні ризики поєднуються, формуючи загрозу втрати екологічної рівноваги та зниження урожайності основних сільськогосподарських культур [8].

Україна вже відчуває на собі безпосередні наслідки цих процесів. Країна є одним із ключових експортерів зерна, насамперед пшениці та кукурудзи, забезпечуючи значну частку аграрного експорту Європи та глобального ринку [9]. Відтак будь-яке погіршення кліматичних умов стає чинником не лише внутрішньої продовольчої безпеки, але й міжнародної продовольчої стабільності. Зростаюча кліматична нестійкість, повторювані посухи у

південних областях, виснаження водних ресурсів, деградація ґрунтів та зменшення природної стійкості агроландшафтів набувають системного характеру [7] та потребують впровадження адаптивних технологій, здатних забезпечити продуктивність вирощування незалежно від зовнішніх коливань.

Ситуація ускладнюється тим, що з 2022 року вплив кліматичних змін накладається на наслідки повномасштабної війни. Бойові дії спричиняють масштабне знищення сільськогосподарських угідь, лісових масивів, меліоративної інфраструктури, погіршення якості ґрунтів і водних ресурсів. Часті пожежі, у тому числі на посівах пшениці, приводять до прямих втрат урожаю та посилюють ризики подальшої деградації земель. У сукупності це створює додатковий тиск на національну систему продовольчого виробництва, яка й без того функціонує в умовах кліматичної нестабільності.

У зв'язку з цим зростає необхідність пошуку та впровадження інноваційних, екологічно сталих та ресурсоефективних технологій вирощування рослин, здатних забезпечувати стабільне виробництво навіть за умов дефіциту води, підвищених температур та деградованих екосистем. Однією з таких адаптивних технологій є аквапоніка. Вона, вирізняється інтегрованим характером, поєднуючи рециркуляційне аквакультурне виробництво з гідропонним способом культивування рослин в єдину біотехнологічну систему [1, 2]. Така організація дозволяє мінімізувати втрати води, оптимізувати використання поживних елементів та формувати контрольоване середовище, стійке до зовнішніх кліматичних коливань.

Аквапонічні системи функціонують на основі замкненого циклу води, що дозволяє уникати значних втрат вологи, характерних для традиційного ґрунтового землеробства, де випаровування та інфільтрація можуть сягати понад 40-60% від загального обсягу водоподачі. У контексті зростаючої частоти посух та нестабільності опадів це створює принципову перевагу, оскільки аквапоніка забезпечує до 90-95% [6] повторного використання води. Крім того, замкнена система запобігає вимиванню поживних елементів та сприяє стабільності трофічного середовища, що є особливо важливим за умов кліматично зумовленої деградації ґрунтів. Також замкнені системи дозволяють інтегрувати відновлювані джерела енергії та оптимізувати споживання електроенергії для циркуляції води та підтримки мікроклімату, що підвищує енергоадаптивність виробництва.

З біотехнологічної точки зору аквапоніка забезпечує формування синергійного середовища, у якому мікробіологічні процеси нітрифікації та мінералізації органічних відходів риб сприяють створенню природного, біодоступного живильного розчину для рослин. Такий механізм дозволяє відмовитися від використання значної частини мінеральних добрив, виробництво яких є енергоємним та супроводжується значними викидами CO₂.

Важливою складовою адаптивності аквапонічних систем є їхня поліфункціональність, що забезпечує можливість одночасного вирощування широкого спектра рослинних культур - від листових овочів та зеленних культур до плодкових і спеціалізованих високовартісних видів, вимогливих до стабільності мікроклімату. Завдяки контрольованому середовищу аквапоніка дозволяє адаптувати технологічні параметри під потреби конкретних видів рослин незалежно від коливань температури повітря, тривалості світлового дня чи зміни атмосферної вологості. Крім того, системи рециркуляційного типу забезпечують надійні умови для вирощування риби, продуктивність якої значною мірою залежить від стабільності температурного режиму та якості води. У сукупності це розширює адаптивний потенціал аквапоніки, дозволяючи нейтралізувати вплив не лише водного дефіциту чи деградації ґрунтів, але й інших кліматичних чинників - теплових хвиль, різких температурних коливань та зміни фотоперіоду. Крім того, технологічна інноваційність аквапонічних систем - автоматизація моніторингу параметрів води, застосування сенсорів та алгоритмів управління - підвищує ефективність і стабільність виробництва, роблячи його більш гнучким та адаптивним.

На відміну від традиційних агросистем, аквапоніка не залежить від природної динаміки кліматичних параметрів, оскільки всі ключові умови розвитку рослин і риби формуються всередині самої технології. Це дає змогу забезпечувати стабільну продуктивність навіть тоді, коли зовнішнє середовище демонструє аномальні чи непередбачувані зміни. З економічної точки зору, сучасні дослідження показують [3-5], що прибутковість аквапонічних систем значною мірою визначається масштабом виробництва, оптимізацією енергетичних витрат та локальними ринками збуту, що підкреслює їхню соціально-економічну стійкість. Окрім цього, аквапонічні системи можуть бути адаптовані до локальних кліматичних та ресурсних умов, що робить їх перспективним рішенням для регіонів із дефіцитом води або деградованими ґрунтами. Модульність конструкцій дозволяє масштабувати виробництво - від невеликих дослідних установок до промислових комплексів, що важливо для підвищення продовольчої стійкості як на рівні господарств, так і в ширшому національному контексті.

В умовах таких масштабованих систем аквапоніка забезпечує стабільну продуктивність рослин і риби, навіть за нестабільних кліматичних умов. Вона сприяє ефективному використанню ресурсів, мінімізує екологічне навантаження та підтримує продовольчу безпеку. Технологічна інноваційність і адаптивність аквапонічних систем дозволяють їх успішно впроваджувати в різних регіонах, підвищуючи економічну і соціальну стійкість агровиробництва.

Список використаних джерел

1. Goddek S., Delaide B., Mankasingh U., Ragnarsdottir K., Jijakli H., Thorarinsdottir R. Challenges of sustainable and commercial aquaponics. *Sustainability*, 2015, 7(4), 4199–4224.

2. Goddek S., Vermeulen T. Comparison of *Lactuca sativa* growth performance in conventional and RAS-based hydroponic systems. *Aquaculture International*, 2018, 26(6), 1377–1386.
3. Tokunaga K., Tamaru C., Ako H., Leung P.S. Economics of small-scale commercial aquaponics in Hawaii. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2015, 46(1), 20–32.
4. Bailey D.S., Rakocy J.E., Cole W.M., Shultz K.A. Economic analysis of a commercial-scale aquaponic system for the production of tilapia and lettuce. In: *Tilapia Aquaculture: Proceedings of the Fourth International Symposium on Tilapia in Aquaculture*, Orlando, Florida, 1997, 603–612.
5. Lobillo-Eguibar J. Economic Sustainability of Small-Scale Aquaponic Systems for Food Self-Production. *Agronomy*, 2020, 10(10), 1468.
6. Schoor M., Arenas-Salazar A.P., Parra-Pacheco B. Horticultural Irrigation Systems and Aquacultural Water Usage: A Perspective for the Use of Aquaponics to Generate a Sustainable Water Footprint. *Agriculture*, 2024, 14(6), 925.
7. Vdovenko S.A., Palamarchuk I.I. Climate change and its effect on the formation of vegetable plant yield in the conditions of Ukraine. *Scientific Heritage*, 2020, 56, 12–16.
8. Іванюта С.П., Коломієць О.О., Малиновська О.А., Якушенко Л.М. Зміна клімату: наслідки та заходи адаптації: аналіт. доповідь. К.: НІСД, 2020, 110 с.
9. Wilson, L., New, S., Daron, J., Golding, N. (2021). *Climate Change Impacts for Ukraine*. Met Office.

УДК 631.15

ЗАСТОСУВАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ МІНЕРАЛЬНО-МІКРОБІОЛОГІЧНИХ ДОБРИВ У СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ ВИРОЩУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ЗА УМОВ ЗМІНИ КЛІМАТУ

Кедрун О.В., здобувач вищої освіти третього рівня

e-mail: o.v.kedrun@nuwm.edu.ua,

Прищепа А.М., д-р с.-г. наук, професор

Національний університет водного господарства та природокористування

Швидка зміна клімату та зниження родючості ґрунтів в Україні призводять до нових викликів, щодо формування урожайності як традиційних так і нових сільськогосподарських культур для усіх агро-кліматичних зон [1;2]. При цьому, значну роль науковці відводять новим технологіям живлення культур, зокрема застосуванню не лише мінеральних макро добрив, а й добрив з мезо- та мікроелементами, а також органічних добрив та мікробіологічних препаратів