

УДК 635.5:639.3

<https://doi.org/10.31713/vs420249>

**Колесник Т. М., к.с.-г.н., доцент, Майборода Х. А., аспірантка** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, [t.m.kolesnyk@nuwm.edu.ua](mailto:t.m.kolesnyk@nuwm.edu.ua), [h.a.maiboroda@nuwm.edu.ua](mailto:h.a.maiboroda@nuwm.edu.ua))

## **ВПЛИВ рН НА ВРОЖАЙНІСТЬ РОСЛИН В АКВАПОНІЧНИХ СИСТЕМАХ**

Важливим аспектом аквапонічних систем є баланс між рибою, мікроорганізмами та рослинами, який забезпечується завдяки оптимальним умовам середовища, зокрема рівню рН. Автори відзначають, що риба у таких системах виділяє велику кількість відходів азоту, які після нітрифікації стають доступними для поглинання рослинами. Втім, підвищений вміст амонію ( $\text{NH}_4^+$ ), що виникає при високих рівнях рН, може бути токсичним для рослин та негативно впливати на врожайність.

Дослідження проводилися на аквапонічній системі з сомом кларієвим і салатом сорту *Lactuca sativa Batavia Aficion*. Рослини вирощувалися при двох рівнях рН (6,5 та 7,0), що дозволило порівняти їхній ріст, накопичення біомаси та хімічний склад. Результати показали, що зниження рН до 6,5 сприяє підвищенню врожайності салату: свіжої біомаси пагонів на 277,9 г при рН 6,5 у порівнянні з 270,9 г при рН 7,0. Вага сухої біомаси при рН 6,5 також вища ніж при рН 7,0. Було помічено, що зниження рН також впливає на концентрацію мікроелементів, зокрема збільшувалося накопичення марганцю при рН 6,5, тоді як вміст цинку був вищим при рН 7,0.

Окрім дослідження рослинних показників, був проаналізований вплив рН на нітрифікацію – процес перетворення амонію на нітрати, що є важливим елементом у забезпеченні рослин азотом. Дослідження показали, що при рН нижче 6,5 активність нітрифікуючих бактерій знижується, що може призвести до накопичення амонію у воді та токсичних умов для риб. Для підтримання балансу між нітрифікацією та врожайністю рослин рекомендовано підтримувати рівень рН близько 6,5–7,0, що забезпечує оптимальні умови для розвитку як рослин, так і мікроорганізмів.

**Зниження рН до 6,5 сприяє збільшенню біомаси салату та покращенню поглинання поживних речовин, тоді як підвищений рН може негативно вплинути на доступність важливих елементів і знизити ефективність азотного обміну. Результати цього дослідження мають важливе практичне значення для оптимізації умов вирощування рослин в аквапонічних системах, що дозволить підвищити їх врожайність і стабільність.**

**Ключові слова:** аквапоніка; рН; нітрифікація; врожайність; поживні речовини; азот; латук (*Lactuca sativa*).

**Постановка проблеми.** З огляду на зростаючий попит на продукти харчування та необхідність сталого ведення сільського господарства, аквапоніка стає ключовим компонентом у глобальному виробництві харчової продукції. Для підвищення врожайності й поліпшення якості в аквапонічних системах важливо створити оптимальні умови для трьох основних організмів: водних тварин, мікроорганізмів і рослин. Відомо, що риба, вирощена в таких системах, виводить у воду від 70 до 80% відходів азоту [1; 2], які можуть стати цінним джерелом поживних речовин для рослин. Ці відходи фільтруються через мікробіологічні резервуари, де аміак ( $\text{NH}_4^+$ ) перетворюється на нітрат ( $\text{NO}_3^-$ ), який рослини можуть засвоювати [3; 4]. Хоча рослини здатні поглинати азот як у нітратній, так і в амонійній формах, надмірне накопичення  $\text{NH}_4^+$  може бути токсичним і значно знижувати врожайність [5]. Крім азоту, врожайність у аквапонічних системах залежить від наявності інших важливих макроелементів, таких як фосфор (P) і калій (K), а також низки мікроелементів.

Основним джерелом фосфору (P) в аквапонічних системах є рибний корм. Риби засвоюють лише близько 15% фосфору з корму, а рослини мають різну здатність поглинати цей елемент із стічних вод, що обробляються в системах аквакультури залежно від дизайну аквапоніки [3; 4]. Рибний корм також містить калій (K) та інші мікроелементи, проте кількість таких елементів, як залізо (Fe), магній (Mg), марганець (Mn) і мідь (Cu), обмежена [5; 6]. Через це деякі системи аквапоніки використовують синтетичні солі для збагачення поживного розчину або здійснюють обприскування листя, щоб уникнути дефіциту K, Cu, Ca, Mg, Mn і Fe [5; 6]. Однак часто виникає дефіцит поживних речовин у рослин, коли аквапоніка повністю

залежить від рибного корму [5; 7].

Аквапонічні поживні розчини складніше підтримувати, ніж гідропонні. На їх стабільність впливає багато чинників, включно зі швидкістю годування риби, гідравлічним навантаженням та рівнем рН.

Рівень рН також є важливим фактором, що впливає на доступність поживних речовин в аквапоніці [10]. Для трьох ключових організмів, які співіснують в системі, необхідно підтримувати баланс рН. Ключовим процесом є нітрифікація, яка перетворює токсичний аміак ( $\text{NH}_3$ ) на нітрат ( $\text{NO}_3^-$ ), що може засвоюватися рослинами [10; 13]. Оптимальний рН для бактерій, які окислюють аміак (AOB), і тих, що окислюють нітрит (NOB), коливається від 7,2 до 8,2, а їх ріст обмежується при рН 5,8 і 6,5 відповідно [9; 12; 14]. При зниженні рН нижче 5,5 їх активність зазвичай припиняється [9; 12; 14]. Через це в аквапонічних системах зазвичай підтримується рН на рівні близько 7,0 для досягнення найкращої ефективності нітрифікації, хоча рекомендований рН для гідропоніки становить 5,5–5,8 [15].

Доступність фосфору для рослин залежить від рівня рН. При підвищенні рН вище 7,0 більшість фосфору перетворюється на нерозчинні комплекси, а 30–65% фосфору залишається у твердому осаді, що виділяється рибою і є недоступним для рослин. Крім того, рослинам складніше засвоювати Fe, Cu, Zn, B і Mn, коли рН перевищує 6,5.

Результати дослідження дозволили краще зрозуміти, як рН впливає на процес нітрифікації та врожайність рослин.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Янг і Кім [2] дослідили три різні режими годування та встановили, що рівномірне годування риби може підвищити врожайність і/або якість урожаю в аквапоніці за рахунок збільшення доступності поживних речовин і ефективного використання азоту в системі [2]. У їхньому дослідженні швидкість потоку  $3,3 \text{ м}^3/\text{м}^2/\text{доба}$  призвела до збільшення концентрації  $\text{NO}_3^-$  на 50% і 80% порівняно зі швидкістю потоку  $2,2 \text{ м}^3/\text{м}^2/\text{доба}$  та  $1,1 \text{ м}^3/\text{м}^2/\text{доба}$  відповідно. Oliveira та ін. [9] також зазначають, що аквапонічним фермерам важче досягти прибутковості при вирощуванні овочів порівняно з гідропонікою через нижчу врожайність. Отже, в аквапонічних системах необхідно знайти баланс між трьома основними організмами для досягнення вищої врожайності рослин. Тайсон та ін. [8] досліджували вплив рН на

перетворення азоту в біофільтрах аквапонічної системи та виявили, що при рН 5,5 нітрифікація не відбувалася, а для зниження загального аміачного азоту з 5 до 0 мг/л знадобилося 12, 20 і 20–24 дні при рН 8,5, 7,5 і 6,5 відповідно. Крім того, Wongkiew та ін. [10] з'ясували, що при нижчих рівнях рН (6,0 і 5,2) у розчині для аквапоніки спостерігали вищий вміст загального аміачного азоту та нижчий вміст нітратів порівняно з нейтральним середовищем. Незважаючи на те, що нижчий рН знижує активність нітрифікації в аквапонічних біофільтрах, максимальне засвоєння азоту рослинами може спостерігатися саме при нижчих рівнях рН, оскільки рослини краще поглинають поживні речовини. Дослідження Zou та ін. [15] показало, що максимальна ефективність використання азоту сягала 50,9% при рН 6,0, 47,3% при рН 7,5 і 44,7% при рН 9,0 в аквапонічних системах. У той час, як рівень азоту в тканинах рослин становив 34,8%, 30,3% і 28,5% при рН 6,0, 7,5 і 9,0 відповідно, що забезпечувало вищу врожайність при рН 6,0. Водночас концентрації азоту у воді між рівнями рН 6,0, 7,5 і 9,0 не мали значних відмінностей. Дей та ін. [7] порівняли вплив двох джерел нітрифікуючих бактерій – комерційних препаратів та власних біофільтрів – на аквапонічні системи з обмеженим вмістом азоту. Вони не виявили різниці в кількості нітрифікуючих бактерій між двома групами, хоча використання комерційних бактерій призвело до вищої врожайності.

**Мета і завдання дослідження.** Метою було дослідити взаємодію між рівнем рН та поглинанням поживних речовин і його вплив на ріст *Lactuca sativa* Batavia Aficion на аквапонній системі із сомом кларієвим. Основною перевагою є незалежність виробництва від зовнішніх умов, а також можливість автоматизувати та контролювати процес вирощування майже будь-яких видів гідробіонтів і сільськогосподарських культур.

Завданням авторів було дослідити вплив рН на врожайність листового салату, їхні морфологічні особливості, вміст макро- та мікроелементів у воді, а також накопичення поживних речовин рослинами.

**Матеріали і методи дослідження.** Дослідження проводилися в навчально-науковій лабораторії циклічних водних агроєкосистем Національного університету водного господарства та природокористування.

Насіння (*lactuca sativa batavia aficion*) висівали у кокосовий субстрат (24 рослини на м<sup>2</sup>), зрошували водопровідною водою, як розвинулися справжні листки (20 днів), розсаду пересаджували в аквапонну експериментальну установку.

Склад поживних речовин у кормі (Aller Aqua) для аквапонних риб містив: вміст азоту (N) понад 6,88%, Фосфор (P) – 1,10%, Калій (K) – 0,99%, залізо (Fe) – 40ppm, мідь (Cu) – 10ppm, кальцій (Ca) – 2,25 %, манган (Mn) – 80ppm, Цинк (Zn) – 153ppm, сірка (S) – 0,43%.

У цьому дослідженні риб годували повноцінним раціоном, що складався з 6-мм плаваючих гранул, які містили 41% білка та 1,1% фосфору. Визначення норми годівлі риб проводили за методикою, запропонованою Тенгом і Кімом [2]. Температуру води підтримували на оптимальному рівні 22–24° С за допомогою акваріумних термостатних нагрівачів (Resun Quartz Glass Sunlike Heater)

Електропровідність становила 1,5 мСм/см. Рівень рН аквапонних систем підтримували на рівні 6,5, 7,0 за допомогою 10% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> або комбінації основних розчинів (0,02 М Mg(OH)<sub>2</sub> і 0,02 М Ca(OH)<sub>2</sub>). Повітряні камені були поставлені для кожної аквапонічної системи для підтримки оптимізованих концентрацій розчиненого кисню (РК) при повному насиченні відповідно до рекомендацій. Параметри якості води, такі як ЕС, рН, температура води та РК, вимірювали щодня перед годуванням.

Аналіз макроелементів у воді проводився за допомогою спектрофотометра Lasa agro 1900. Для оцінки якості води також були використані наступні методи: визначення концентрації нітрат-іонів фотоколориметричним методом (МВВ № 081/12-0651-09, 2010), концентрації амоній-іонів за допомогою фотоколориметрії з реактивом Неслера (МВВ № 081/12-0106-03, 2010), концентрації хлоридів – титриметричним методом (МВВ № 081/12-0653-09, 2010), а також концентрації кальцію та магнію – титриметричним методом (МВВ № 081/12-0644-09, 2010). Нітрати у свіжому рослинному матеріалі визначали потенціометричним методом, а інші компоненти – у висушеній рослинній сировині. Вміст елементів, таких як P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, B, визначали фотометричним методом, а азот – методом К'ельдаля [6].

Усі рослинні тканини збирали через 30 днів після пересадки в аквапонні системи. Потім рослини ретельно розділили на коріння, стебла та листя для вимірювання ваги свіжого зразка. Потім зразки

рослин піддавали десикації в духовці, встановленій на 70° С, протягом 72 годин для усунення всього вмісту вологи. Згодом суху вагу зразків рослин оцінювали вимірюванням.

**Результати досліджень.** Середні показники якості води в аквапонній системі протягом 4 тижнів: рН виміряно при рівнях 6.5 і 7.0; для підтримки рН використовувались розчини корекції рН у кількостях: 80,6 мл/день (рН 6.5) і 91,3 мл/день (рН 7.0); електропровідність складала 1,61 при рН 6.5 та 1,59 при рН 7.0; розчинений кисень: 7,32 мг/л (рН 6.5) і 7,25 мг/л (рН 7.0); Температура води: в межах 22–24° С.

В аквапонічній системі середній вміст макроелементів становить NO<sub>3</sub> – 4 мг/дм<sup>3</sup>, Р – 3 мг/дм<sup>3</sup>, К – 20 мг/дм<sup>3</sup>, Са – 143 мг/дм<sup>3</sup>, Mg – 29 мг/дм<sup>3</sup>.

При рН 6.5 кількість АОВ (амоніюкислюючі бактерії) становила  $1,1 \times 10^6$  г<sup>-1</sup>, а при рН 7.0 –  $3,2 \times 10^6$  г<sup>-1</sup>. Вміст амонію в воді зменшувався з підвищенням рН. При рН 6.5 концентрація амонію становила 1,45 мг/дм<sup>3</sup>, а при рН 7.0 – 1,13 мг/дм<sup>3</sup>. Концентрація нітритів залишалася стабільною на рівні 0,12 мг/дм<sup>3</sup> при рН 7.0, знижується до 0,09 мг/дм<sup>3</sup> при рН 6.5. Концентрація нітратів також варіювалася мало, від 29 до 30,4 мг/дм<sup>3</sup> при різних значеннях рН.

Оптимізація рН може запобігти метаболічному стресу та загибелі риби в аквапонічних системах. У нашому дослідженні ми встановили аквапонічну систему з рівнями рН 6,5 і 7, що входять до оптимального діапазону рН для сома кларієвого.

У ході дослідження було виявлено, що високий рівень рН негативно впливав на свіжу і суху масу пагонів. Латук посівний (*Lactuca sativa*) сорту *Batavia Aficion* досяг свіжої маси пагонів при рН 6,5 – 277,9 г, коріння – 13,6 г. При рН 7,0 маса пагонів – 270,9 г, коріння – 13,5 г. Вага сухої біомаси склала при рН 6,5 – 8,3 г (пагони), 1,1 г (коріння); при рН 7,0 – 7,9 г (пагони), 0,9 г (коріння).

Середньодобова швидкість зростання розрахована за індексом росту рослин, склала 1,9 см на добу в умовах гідропоніки.

Що стосується хімічного складу:

- Вміст нітратів – 2263 мг/кг.
- Загальний азот – 2,97%.
- Вміст заліза (Fe) – 93,83 мг/кг.
- Вміст калію (K) – 73,6 мг/кг.
- Вміст кальцію (Ca) – 20,1 мг/кг.

- Вміст магнію (Mg) в аквапонічній системі – 1943 мг/кг.
- Вміст сірки в листі – 18,3 мг/кг.

Магній є центральним атомом хлорофілу і відіграє ключову роль у фотосинтезі. Він необхідний для багатьох біохімічних процесів. В аквапонних системах сірка переважно присутня у формі сульфату ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) який важливий для синтезу амінокислот, білків і жирів.

pH суттєво впливали й на накопичення мікроелементів: концентрація Mn була 362,3 ppm (при pH 6,5) та 266,7 ppm (при pH 7,0). Концентрація Zn була 106,2 ppm (pH – 6,5) та 138,7 (pH – 7,0).

Фізичні параметри води, такі як електропровідність (ЕС), вміст розчиненого кисню (РК) та температура води, безпосередньо впливають на врожайність рослин у безґрунтових системах вирощування. У цьому дослідженні рівень ЕС підтримувався на рівні понад 1,5 мСм/см для оптимального росту рослин як в аквапонічних, так і в гідропонних системах. Підвищення ЕС з часом в аквапонічній системі, ймовірно, пов'язане з накопиченням мінеральних поживних речовин у розчині. Вміст розчиненого кисню підтримувався на рівні понад 6 мг/л для забезпечення нітрифікації та здорового росту риби в аквапонічній системі.

Температура води також відіграє важливу роль у врожайності рослин у безґрунтових системах. За даними Томпсона та колег [43], температура кореневої зони близько 24° С сприяє кращій ринковій якості та продуктивності рослин. У цьому дослідженні температурний діапазон води 22–25° С виявився оптимальним для підвищення врожайності рослин і ефективного коефіцієнта конверсії корму для риб.

Під час нітрифікації як амонійокислюючі бактерії (AOB), так і нітритоокислюючі бактерії (NOB) відіграли важливу роль у видаленні  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  та утворенні  $\text{NO}_2-\text{N}$  і  $\text{NO}_3-\text{N}$ . Температура та рівень pH суттєво впливали на швидкість росту нітрифікаторів, оскільки ці умови впливають на енергетичні потреби для підтримки клітин.

Рекомендоване значення pH для аквапонічних систем становить 7,0–7,5, щоб забезпечити кращу активність нітрифікації [13]. Однак дослідження показали, що при нижчих рівнях pH не було суттєвих відмінностей.

**Висновки.** Різні екологічні фактори, такі як швидкість годування риби, потік води та рівень pH, можуть суттєво впливати на врожайність рослин в аквапонічних системах, оскільки вони

впливають на процеси трансформації азоту. Вищі рівні рН в аквапоніці можуть призвести до зниження врожайності рослин через зменшення поглинання поживних речовин. Це дослідження показало, що зниження рН з 7 до 6,5 сприяло збільшенню свіжої та сухої маси салату листового в аквапонічних системах.

**1.** Suhl J.; Dannehl D.; Kloas W.; Baganz D.; Jobs S.; Scheibe G.; Schmidt U. Advanced Aquaponics: Evaluation of Intensive Tomato Production in Aquaponics vs. Conventional Hydroponics. *Agric. Water Manag.* 2016. Vol. 178. Pp. 335–344. **2.** Yang T.; Kim H.-J. Nutrient Management Regime Affects Water Quality, Crop Growth, and Nitrogen Use Efficiency of Aquaponic Systems. *Sci. Hortic.* 2019. P. 25. **3.** Schmutz Z.; Graber A.; Mathis A.; Bulc T. G.; Junge R. Tomato Production In Aquaponic System: Mass Balance And Nutrient Recycling. *Aquac. Eur.* 2015. P. 15. **4.** Rafiee G.; Saad C. R. Nutrient Cycle and Sludge Production during Different Stages of Red Tilapia (*Oreochromis Sp.*) Growth in a Recirculating Aquaculture System. *Aquaculture.* 2005. Vol. 244. Pp. 109–118. **5.** Rakocy J. E. Aquaponics—Integrating Fish and Plant Culture. *In Aquaculture Production Systems.* Wiley-Blackwell : Hoboken, NJ, USA, 2012. Pp. 344–386. **6.** Roosta H. R. Effects of Foliar Spray of K on Mint, Radish, Parsley and Coriander Plants in Aquaponic System. *J. Plant Nutr.* 2014. Vol. 37. Pp. 2236–2254. **7.** Day J. A.; Diener C.; Otwell A. E.; Tams K. E.; Bebout B.; Detweiler A. M.; Lee M. D.; Scott M. T.; Ta W.; Ha M. et al. Lettuce (*Lactuca Sativa*) Productivity Influenced by Microbial Inocula under Nitrogen-Limited Conditions in Aquaponics. *PLoS ONE*, 2021. P. 16. **8.** Tyson R. V.; Simonne E. H.; White J. M.; Lamb E. M. Reconciling Water Quality Parameters Impacting Nitrification in Aquaponics: The PH Levels. *Proc. Fla. State Hortic. Soc.* 2004. Vol. 117. Pp. 79–83. **9.** Oliveira F. D. A. D.; Carrilho M. J. S.d. O.; de Medeiros J. F.; Maracajá P. B.; Oliveira M. K. T. De Desempenho de cultivares de alface submetidas a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. *Rev. Bras. Eng. Agrícola Ambient.* 2011. Vol. 15. Pp. 771–777. **10.** Wongkiew S.; Hu Z.; Chandran K.; Lee J. W.; Khanal S. K. Nitrogen Transformations in Aquaponic Systems: A Review. *Aquac. Eng.* 2017. Vol. 76. Pp. 9–19. **11.** Chu Y.-T.; Bao Y.; Huang J.-Y.; Kim H.-J.; Brown P. B. Supplemental C Addressed the PH Conundrum in Sustainable Marine Aquaponic Food Production Systems. *Foods.* 2023. Vol. 12. P. 69. **12.** Tan Z.; Guan Y.; Luo Y.; Wang L.; Zhou H.; Yang C.; Meng D.; Chen Y. Evaluation of the Stability of Shortcut Nitrification-Denitrification Process Based on Online Specific Oxygen Uptake Rate Monitoring. *Chin. Chem. Lett.* 2022. **13.** Wongkiew S.; Park M.-R.; Chandran K.; Khanal S. K. Aquaponic Systems for Sustainable Resource Recovery: Linking Nitrogen Transformations to Microbial Communities. *Environ. Sci. Technol.* 2018. P. 52. **14.** Zhang Q.; Li Y.; He Y.; Brookes P. C.; Xu J. Elevated



Temperature Increased Nitrification Activity by Stimulating AOB Growth and Activity in an Acidic Paddy Soil. *Plant Soil*. 2019. Vol. 445. Pp. 71–83. **15.** Zou Y.; Hu Z.; Zhang J.; Xie H.; Guimbaud C.; Fang Y. Effects of PH on Nitrogen Transformations in Media-Based Aquaponics. *Bioresour. Technol.* 2016. Vol. 210. Pp. 81–87.

## REFERENCES:

**1.** Suhl J.; Dannehl D.; Kloas W.; Baganz D.; Jobs S.; Scheibe G.; Schmidt U. Advanced Aquaponics: Evaluation of Intensive Tomato Production in Aquaponics vs. Conventional Hydroponics. *Agric. Water Manag.* 2016. Vol. 178. Pp. 335–344. **2.** Yang T.; Kim H.-J. Nutrient Management Regime Affects Water Quality, Crop Growth, and Nitrogen Use Efficiency of Aquaponic Systems. *Sci. Hortic.* 2019. P. 25. **3.** Schmautz Z.; Graber A.; Mathis A.; Bulc T. G.; Junge R. Tomato Production In Aquaponic System: Mass Balance And Nutrient Recycling. *Aquac. Eur.* 2015. P. 15. **4.** Rafiee G.; Saad C. R. Nutrient Cycle and Sludge Production during Different Stages of Red Tilapia (*Oreochromis Sp.*) Growth in a Recirculating Aquaculture System. *Aquaculture*. 2005. Vol. 244. Pp. 109–118. **5.** Rakocy J. E. Aquaponics—Integrating Fish and Plant Culture. *In Aquaculture Production Systems*. Wiley-Blackwell : Hoboken, NJ, USA, 2012. Pp. 344–386. **6.** Roosta H. R. Effects of Foliar Spray of K on Mint, Radish, Parsley and Coriander Plants in Aquaponic System. *J. Plant Nutr.* 2014. Vol. 37. Pp. 2236–2254. **7.** Day J. A.; Diener C.; Otwell A. E.; Tams K. E.; Bebout B.; Detweiler A. M.; Lee M. D.; Scott M. T.; Ta W.; Ha M. et al. Lettuce (*Lactuca Sativa*) Productivity Influenced by Microbial Inocula under Nitrogen-Limited Conditions in Aquaponics. *PLoS ONE*, 2021. P. 16. **8.** Tyson R. V.; Simonne E. H.; White J. M.; Lamb E. M. Reconciling Water Quality Parameters Impacting Nitrification in Aquaponics: The PH Levels. *Proc. Fla. State Hortic. Soc.* 2004. Vol. 117. Pp. 79–83. **9.** Oliveira F. D. A. D.; Carrilho M. J. S.d. O.; de Medeiros J. F.; Maracajá P. B.; Oliveira M. K. T. De Desempenho de cultivares de alface submetidas a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. *Rev. Bras. Eng. Agrícola Ambient.* 2011. Vol. 15. Pp. 771–777. **10.** Wongkiew S.; Hu Z.; Chandran K.; Lee J. W.; Khanal S. K. Nitrogen Transformations in Aquaponic Systems: A Review. *Aquac. Eng.* 2017. Vol. 76. Pp. 9–19. **11.** Chu Y.-T.; Bao Y.; Huang J.-Y.; Kim H.-J.; Brown P. B. Supplemental C Addressed the PH Conundrum in Sustainable Marine Aquaponic Food Production Systems. *Foods*. 2023. Vol. 12. P. 69. **12.** Tan Z.; Guan Y.; Luo Y.; Wang L.; Zhou H.; Yang C.; Meng D.; Chen Y. Evaluation of the Stability of Shortcut Nitrification-Denitrification Process Based on Online Specific Oxygen Uptake Rate Monitoring. *Chin. Chem. Lett.* 2022. **13.** Wongkiew S.; Park M.-R.; Chandran K.; Khanal S. K. Aquaponic Systems for Sustainable Resource Recovery: Linking Nitrogen Transformations to Microbial Communities. *Environ. Sci.*

*Technol.* 2018. P. 52. **14.** Zhang Q.; Li Y.; He Y.; Brookes P. C.; Xu J. Elevated Temperature Increased Nitrification Activity by Stimulating AOB Growth and Activity in an Acidic Paddy Soil. *Plant Soil.* 2019. Vol. 445. Pp. 71–83. **15.** Zou Y.; Hu Z.; Zhang J.; Xie H.; Guimbaud C.; Fang Y. Effects of PH on Nitrogen Transformations in Media-Based Aquaponics. *Bioresour. Technol.* 2016. Vol. 210. Pp. 81–87.

---

**Kolesnyk T. M., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D), Associate Professor, Maiboroda K. A., Post-graduate Student** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

### **INFLUENCE OF pH ON THE YIELD OF PLANTS IN AQUAPONIC SYSTEMS**

**An important aspect of aquaponic systems is the balance between fish, microorganisms and plants, which is ensured by optimal environmental conditions, in particular the pH level. The authors note that fish in such systems release a large amount of nitrogen waste, which after nitrification becomes available for absorption by plants. However, the increased content of ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) that occurs at high pH levels can be toxic to plants and negatively affect yield.**

**Research was conducted on an aquaponic system with catfish clary and *Lactuca sativa* Batavia Aficion lettuce. Plants were grown at two pH levels (6.5 and 7.0), which made it possible to compare their growth, biomass accumulation, and chemical composition. The results showed that lowering the pH to 6.5 helps to increase the yield of lettuce: fresh shoot biomass by 277.9 g at pH 6.5 compared to 270.9 g at pH 7.0. The weight of dry biomass at pH 6.5 is also higher than at pH 7.0. It was observed that decreasing the pH also affects the concentration of trace elements, in particular, the accumulation of manganese increased at pH 6.5, while the zinc content was higher at pH 7.0.**

**In addition to the study of plant indicators, the effect of pH on nitrification was analyzed – the process of converting ammonium into nitrates, which is an important element in supplying plants with nitrogen. Studies have shown that at a pH below 6.5, the activity of nitrifying bacteria decreases, which can lead to ammonium accumulation in the water and toxic conditions for fish. To maintain the balance between nitrification and plant productivity, it is**

**recommended to maintain a pH level of about 6.5–7.0, which provides optimal conditions for the development of both plants and microorganisms.**

**Lowering the pH to 6.5 helps to increase lettuce biomass and improve nutrient absorption, while increased pH can negatively affect the availability of important elements and reduce the efficiency of nitrogen metabolism. The results of this research have important practical significance for optimizing the conditions for growing plants in aquaponic systems, which will increase their yield and stability.**

***Keywords:* aquaponics; pH; nitrification; yield; nutrients; nitrogen; lettuce (*Lactuca sativa*).**