

Майборода Х. А., аспірантка (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, h.a.maiboroda@nuwm.edu.ua)

ВПЛИВ КАЛІЙ СУЛЬФАТУ НА ВРОЖАЙНІСТЬ ТА БІОХІМІЧНИЙ СКЛАД ЛИСТОВОГО САЛАТУ В АКВАПОНІЧНІЙ СИСТЕМІ

У статті розглядається вплив додавання сульфату калію (K_2SO_4) на врожайність та біохімічний склад листового салату в аквапонічних системах. Дослідження проводилося в умовах двох варіантів аквапоніки: контрольна лінія, де рослини отримували поживні речовини лише з рибних відходів, та експериментальна лінія, де до води додавали сульфат калію в концентрації $0,5 \text{ г/дм}^3$.

За отриманими результатами, врожайність салату в контрольній лінії склала $2042,74 \text{ г/м}^2$, а в експериментальній – $3497,7 \text{ г/м}^2$, що на 71,2% більше. Біомаса рослин в експериментальній лінії також була вищою: максимальна маса пучка рослин досягла 390 г, в контрольній – 340 г. Параметри морфології рослин також покращилися: максимальна довжина рослин у контрольній лінії становила 53 см, а в експериментальній – 71 см.

Для оцінки хімічного складу води було виміряно рівень вмісту калію, азоту амонійного та азоту нітратного. Аналіз азоту нітратного показав, що в контрольній лінії його концентрація у воді збільшилася з 9 мг/дм^3 до $30,4 \text{ мг/дм}^3$, в експериментальній – залишалася на рівні $6,4 \text{ мг/дм}^3$. Вміст амоній-іонів зменшився в експериментальній лінії до $1,63 \text{ мг/дм}^3$, в контрольній – до $4,53 \text{ мг/дм}^3$. При цьому вміст калію у воді контрольного варіанту складав $8,89 \text{ мг/дм}^3$, а в експериментальній – $55,2 \text{ мг/дм}^3$, що свідчить про позитивний вплив додавання сульфату калію на перетворення сполук азоту амонійного в азот нітратний та збільшення загального споживання азоту рослинами салату листового.

Також вимірювали вміст хлорофілів. У експериментальній лінії хлорофіл а складав $0,79 \text{ мг/г}$, а хлорофіл b – $1,65 \text{ мг/г}$, в контрольній лінії – $0,74 \text{ мг/г}$ та $1,54 \text{ мг/г}$ відповідно.

Загалом, результати свідчать про позитивний вплив додавання калій сульфату на врожайність, морфометричні характеристики та хімічний склад листового салату в аквапонічних системах.

Ключові слова: аквапоніка; салат листовий; врожайність; моніторинг якості води; поживні речовини; вітамін С; нітрати; хлорофіли а та b; калійне живлення; азот амонійний та азот нітратний.

Постановка проблеми. Сучасні системи аквапоніки є перспективною технологією для сталого виробництва рослинної продукції, що поєднує вирощування риби та рослин у спільному водному середовищі. Однією з ключових проблем аквапонічних систем є дефіцит окремих макро- та мікроелементів, зокрема калію, магнію, фосфору та азоту. Ці елементи відіграють важливу роль у фізіологічних процесах рослин, включаючи фотосинтез, ріст, розвиток кореневої системи та стійкість до стресових факторів.

Калій є особливо важливим для формування біохімічного складу листової маси, оскільки він бере участь у регулюванні водного балансу, транспортуванні поживних речовин та активації ферментних систем. У традиційних аквапонічних системах концентрації калію вкрай недостатньою, оскільки він не надходить у систему в достатній кількості разом із рибними відходами. Це може негативно впливати на якість та врожайність рослинної продукції, зокрема листового салату, який є популярною культурою для вирощування в аквапоніці.

З огляду на це актуальним є дослідження впливу додаткового внесення калій сульфату на врожайність і біохімічний склад листового салату в аквапонічній системі. Результати такого дослідження можуть мати значний практичний та науковий внесок у вдосконалення технологій аквапонічного вирощування та оптимізацію мінерального живлення рослин. Визначення ефективності калій сульфату як джерела калію сприятиме розробці рекомендацій для підвищення продуктивності аквапонічних систем та покращення їхньої екологічної та економічної ефективності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наразі цілий ряд наукових установ аграрного профілю США займається всебічним вивченням та удосконаленням аквапонних систем та технологій отримання плодоовочевої продукції та продукції рибництва. Такі

автори, як Ramin Ghamkha, Christopher Hartleb [4] зазначили, що аквапонічне виробництво їжі є перспективним рішенням для зменшення несприятливого впливу систем виробництва їжі на навколишнє середовище, включаючи втрати поживних речовин і споживання води. Kenji Yamane, Yuuki Kimura, Keita Takahashi [1] та інші повідомили, що сом сприяє швидшому розкладанню корму. Аквапоніка запобігає забрудненню розчину в резервуарах і підтримує вищу якість води порівняно, що свідчить про те, що аквапоніка є більш стійкою системою вирощування навіть у невеликих системах. Ряд дослідників повідомили, що ріст, ефективність використання корму та загальне відновлення поживних речовин у перерахунку на біомасу були високими в системі аквапоніки. Ці результати свідчать про те, що аквапоніка є не тільки екологічно чистою системою аквакультури, але також може виробляти більше біомаси, ніж звичайна система аквакультури, і, отже, може бути розширена в комерційних масштабах. Дослідженнями Lennard і Leonard [16] встановлено, що врожайність салату була високою в аквапонічних системах. Висновки, отримані в результаті дослідження Sunday Abraham Oladimeji, Victor Tosin Okomoda та інших вказують, що виробництво риби в системі аквапоніки є ефективним, а при підтримці якості води у відповідних діапазонах збільшить виробництво рослин [5].

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження було оцінити вплив аквапонної системи з кларієвим сомом на ріст, якісні характеристики та врожайність листового салату з метою визначення потенційних переваг аквапоніки у сільськогосподарському виробництві. Зокрема, дослідження передбачало порівняння ефективності вирощування салату в умовах використання виключно відходів життєдіяльності риб та за умови додаткового внесення сульфату калію (K_2SO_4) в концентрації 0,5 г/дм³.

Перед авторами постало завдання оцінити динаміку росту листового салату на різних етапах розвитку в умовах двох варіантів аквапонної системи; провести аналіз органолептичних характеристик салату, зокрема текстури, смакових властивостей та зовнішніх показників листя (колір, розмір, щільність); виконати моніторинг параметрів якості води, включаючи концентрацію аміаку (NH_3), нітритів (NO_2^-), нітратів (NO_3^-) та рівень pH, з метою забезпечення оптимальних умов для розвитку риб і рослин;

визначити вміст вітаміну С, хлорофілу а і b, а також нітратів у листі салату.

Матеріали і методи дослідження. У дослідженні було закладено дві експериментальні лінії аквапонної системи. Перша лінія (контрольна) передбачала культивування *Lactuca sativa* у замкнутій рециркуляційній системі спільно з рибами без зовнішнього внесення мінеральних елементів. Друга лінія відрізнялася додаванням 0,5 г/м³ сульфату калію (K₂SO₄) у водне середовище з метою оцінки впливу додаткового калію на біометричні показники рослин.

Для виявлення кількісного вмісту пігментів використовували спектрофотометричний метод, який дозволяє визначити кількість хлорофілів а і b за особливостями спектрів поглинання без попереднього їх розділення (проводили на приладі Фотометр КФК-3-01).

Для вимірювання концентрації нітратів використовували потенціометричний метод. Методологія ґрунтувалася на стандартних процедурах визначення вмісту нітратів у рослинних тканинах [21].

Вміст вітаміну С визначали методом титрування 2,6-дихлорфеноліндофенолом (ДФФ). Для аналізу використовували 50 г середньої частини пучка салату, подрібненого та екстрагованого в 100 мл 2% розчину метафосфорної кислоти. Розчин титрували 0,001 N ДФФ до появи стійкого рожевого забарвлення.

Вміст макроелементів у воді аналізували за допомогою спектрофотометра Lasa agro 1900. Також використовували такі методики для дослідження якості води: вимірювання концентрації нітрат-іонів фотоколориметричним методом (МВВ № 081/12-0651-09, 2010), вимірювання масової концентрації амоній-іонів фотоколориметричним методом з реактивом Неслера (МВВ № 081/12-0106-03, 2010), вимірювання масової концентрації хлоридів титриметричним методом (МВВ № 081/12-0653-09, 2010) та вимірювання масової концентрації кальцію та магнію титриметричним методом (МВВ № 081/12-0644-09, 2010).

Lactuca sativa збирали через 45 днів після пересадки, після чого визначали врожайність, кількість листків, висоту та ширину рослини, об'єм кореневої системи, біомасу рослини.

Була розрахована найменша істотна різниця (HIP₀₅) для визначення статистично значущих відмінностей між середніми значеннями двох варіантів досліду [17]. Досліджувані параметри включають: довжину всієї рослини, довжину листка, довжину кореня,

врожайність, ширину листка, об'єм кореневої системи, об'єм зеленої частини, біомасу рослини, біомасу кореня, біомасу зеленої частини. Для кожного параметра була трьохразова повторюваність.

Були проведені такі розрахунки: число ступенів свободи для варіантів, повторень та похибки; загальне число спостережень; коригуючий фактор; загальна сума квадратів; сума квадратів для повторень; сума квадратів для варіантів; сума квадратів для похибки; дисперсія для лінії; дисперсія для похибки; критерій Фішера; відносна похибка.

Для виявлення кількісного вмісту пігментів використовували спектрофотометричний метод, який дозволяє визначити кількість хлорофілів *a* і *b* за особливостями спектрів поглинання без попереднього їх розділення. Хлорофіли *a* та *b* є основними пігментами, які беруть участь у фотосинтезі, поглинаючи світло і перетворюючи його в хімічну енергію. Хлорофіл *a* поглинає світло в червоному та синьому спектрі, а хлорофіл *b* – в зеленому, підвищуючи ефективність фотосинтетичних процесів.

Хлорофіли розчиняються в органічних розчинниках, таких як ефір і етанол, та мають характерну флуоресценцію. Під дією світла, кисню, тепла або кислот вони можуть руйнуватися, перетворюючись на похідні, зокрема феофітин або феофорбіди. Хлорофіли мають антимікробні властивості, стимулюють роботу серця та дихального центру, а також сприяють нейтралізації вільних радикалів.

Концентрація хлорофілів в рослинах є важливим індикатором ефективності фотосинтетичних процесів і може вказувати на стресові фактори або екологічні умови

Результати досліджень. У процесі проведення досліджень застосовували дві аквапонні системи, кожна з яких містила 19 особин кларієвого сома. Контрольна лінія отримувала поживні речовини лише з продуктів метаболізму риб і залишків корму. В експериментальній лінії до середовища додавали сульфат калію (K_2SO_4) у концентрації 0,5 г/дм³. Дослідження розпочалося 13 листопада 2024 року, коли було висаджено 24 рослини листового салату на кожну лінію (по 3–5 саджанців в ємність) з регулюванням рН до 7,5 за допомогою H_2SO_4 . 6 грудня 2024 року здійснили проріджування, залишивши по 54 рослини в кожній системі. Під час проріджування зібрано 31 г біомаси з контрольної групи та 24 г з експериментальної. Протягом експерименту кожні 2–3 дні вимірювали рН води, температуру та електропровідність (рис. 1).

Динаміка рН: У першій лінії рН варіювався в межах 7.7–8.4, з поступовим зростанням наприкінці експерименту. Початкове значення (7.7–8.1) було стабільним завдяки нітрифікації, при якій аміак (NH_3) перетворюється на нітрати (NO_3^-), що знижує рН через виділення іонів H^+ . Підвищення рН до 8.4 наприкінці періоду пов'язане з накопиченням органічних залишків та метаболітів риб, що сприяє виділенню аміаку і підвищенню рН. У другій лінії рН коливався між 7.9–8.6, з різкими змінами, що вказують на низьку буферну здатність системи. Високий рН (понад 8.5) в середині періоду міг негативно вплинути на доступність мікроелементів, зокрема заліза, магнію та фосфору, що могло викликати пожовтіння листя салату.

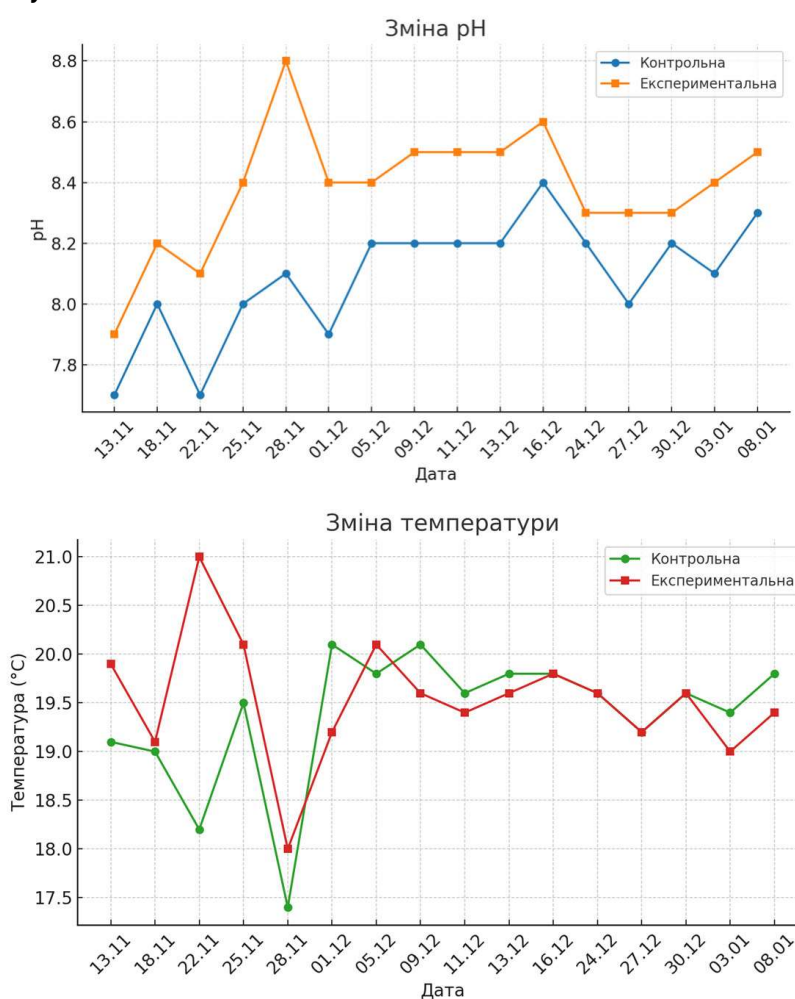




Рис. 1. Зміни основних показників теплового режиму та окисно-відновних умов у системі аквапоніки

Динаміка температури води: У першій лінії температура коливалася від 17.4°C до 20.1°C , що знаходиться в межах оптимального діапазону для кларієвого сома ($18\text{--}28^{\circ}\text{C}$). Зниження температури до 17.4°C 28 листопада було обумовлено змінами зовнішніх кліматичних умов та вимкненням освітлення, що уповільнило метаболічну активність риб і знизило їх здатність виділяти аміак. Температура у другій лінії варіювала від 18°C до 21°C , з більш різкими коливаннями.

Динаміка концентрації солей: У першій лінії концентрація солей знижувалася з 576 ppm (13.11) до 498 ppm (05.12), стабілізуючись на рівні 500–582 ppm, що свідчить про активне споживання поживних елементів рослинами. У другій лінії концентрація солей була значно вищою, коливаючись від 1450 ppm до 2300 ppm, з різким зниженням після 05.12, що вказує на активне споживання калію рослинами.

Результати дослідження виявили суттєвий вплив додавання сульфату калію (K_2SO_4) у концентрації $0,5\text{ г/дм}^3$ на ріст і розвиток листового салату в аквапонічних умовах.

Експериментальна лінія, яка отримувала додатково сульфат калію, показала значно кращі морфометричні характеристики, біомасу та врожайність порівняно з контрольною групою, де рослини отримували поживні речовини лише з продуктів метаболізму риб і залишків корму. Врожайність у контрольній лінії становила $2042,74\text{ г/м}^2$, в експериментальній – $3497,7\text{ г/м}^2$, що на 71,2% більше. Біомаса рослин також була вищою: максимальна маса пучка рослин у контролі складала 340 г, а в експерименті – 390 г. Біомаса кореня

зросла з 60 г у контролі до 108 г в експерименті, а зеленої частини – з 280 г до 281 г. Морфометричні параметри також покращилися: максимальна довжина рослин у контрольній лінії становила 53 см, в експериментальній – 71 см; довжина листка збільшилася з 25 см до 33 см, а кореня – з 28 см до 38 см (табл. 1).

Дисперсійний аналіз показав, що внесення сульфату калію призвело до статистично достовірного збільшення основних морфометричних показників рослин порівняно з контрольною групою. Для всіх досліджуваних параметрів різниця між середніми значеннями перевищує HP_{05} , що підтверджує достовірність отриманих результатів.

Зокрема, довжина всієї рослини зросла на 13 см ($HP_{05} = 10,6$ см), довжина кореня – на 8 см ($HP_{05} = 10,3$ см), максимальна ширина листка – на 5 см ($HP_{05} = 9,6$ см). Об'єм кореневої системи збільшився на 45 мл ($HP_{05} = 13,9$ мл), біомаса рослини – на 51 г ($HP_{05} = 25,7$ г), біомаса кореня – на 91 г ($HP_{05} = 17,9$ г).

Таблиця 1

Морфометричні показники рослин салату листового та врожайність

Показник	Одиниці вимірювання	1-ша лінія (Контрольна група)	2-га лінія (Експериментальна група)	HP_{05}
Довжина всієї рослини, середнє	см	37	50	10,6
Довжина листка max min	см	25 9	33 12	8,3 7,6
Довжина кореня, середнє	см	20	28	10,3
Ширина листка max min	см	15 5	20 6	9,6 4,3
Об'єм кореневої системи, середнє	мл	20	65	13,9

продовження табл. 1

Біомаса рослини, середнє	г	185	236	25,7
Біомаса кореня, середнє	г	35	126	17,9
Біомаса зеленої частини, середнє	г	148	173	33,1
Врожайність	кг/м ²	2,04	3,50	0,56

Для визначення хімічного складу води використовували стандартні методи, зокрема ДСТУ.

Особливу увагу було приділено калію (K), який є важливим елементом для росту рослин в аквапоніці. Для вимірювання концентрації калію застосовувався спектрофотометр Lasa Agro 1900, що дозволяє точно визначати його рівень. Результати показали, що у контрольній лінії рівень калію становив 8,89 мг/дм³, а в експериментальній з додаванням K₂SO₄ – 55,2 мг/дм³. Це свідчить про активне засвоєння калію рослинами, що сприяє покращенню їх росту та врожайності.

Нітрати є основним джерелом азоту для рослин, однак їх надлишок може забруднювати воду. Для вимірювання концентрації нітрат-іонів використовувався фотоколориметричний метод. Початковий рівень нітратів становив 9 мг/дм³, а через місяць вирощування в контрольній лінії цей показник досяг 30,4 мг/дм³, в експериментальній – 6,4 мг/дм³.

Концентрація амоній-іонів (NH₄⁺) зросла після місяця вирощування: у контрольній лінії – до 4,53 мг/дм³, в експериментальній – до 1,63 мг/дм³. Наприкінці дослідів рівень амонійного азоту знизився в обох лініях, що свідчить про мікробіологічне перетворення амонію в нітрати.

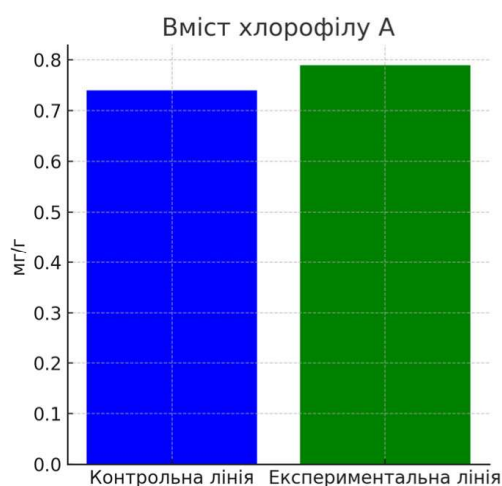
Концентрація сульфатів на початку дослідів становила 11,6 мг/дм³, і через місяць збільшилася до 33 мг/дм³ у контрольній лінії та 35,5 мг/дм³ в експериментальній. Наприкінці дослідів сульфати значно зросли, досягнувши 269,5 мг/дм³ у експерименті та 40,4 мг/дм³ у контролі, що, ймовірно, пов'язано з додаванням мінеральних добрив або зміною бактеріальної активності.

Концентрація фосфатів в експерименті була вищою, досягнувши $15,6 \text{ мг/дм}^3$, порівняно з $13,1 \text{ мг/дм}^3$ у контрольній лінії, що може свідчити про накопичення залишків корму та екскрементів риб.

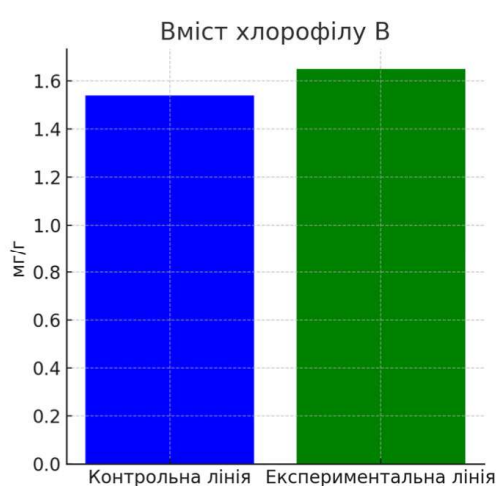
В дослідженні салату листового в експериментальній лінії вміст хлорофілу а склав $0,79 \text{ мг/г}$, а в контрольній – $0,74 \text{ мг/г}$. Для хлорофілу b ці значення були $1,65 \text{ мг/г}$ та $1,54 \text{ мг/г}$ відповідно. В середньому вміст хлорофілу а в аквапоніці коливається від $0,5$ до $1,0 \text{ мг/г}$, а хлорофілу b – від $1,0$ до $2,0 \text{ мг/г}$, залежно від умов. Різниця у вмісті хлорофілів може бути результатом впливу калію на фотосинтез (рис. 2).

Контроль рівня вітаміну С у продуктах рослинного походження, зокрема у листовому салаті, є важливим для харчової цінності. Вітамін С (аскорбінова кислота) є важливим антиоксидантом і бере участь у метаболізмі як рослин, так і людей. Його вміст залежить від умов вирощування, зокрема мінерального живлення. Аквапоніка створює унікальні умови для формування хімічного складу овочів. Дослідження показують, що внесення додаткових поживних речовин, таких як калій сульфат, може підвищувати рівень аскорбінової кислоти в листових овочах.

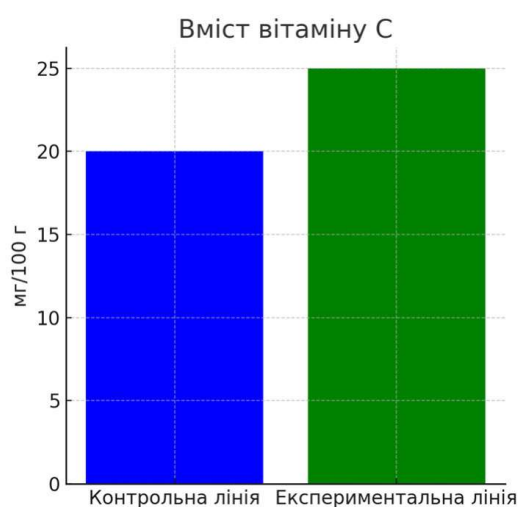
В результаті, в контрольній лінії вміст вітаміну С становив 20 мг/100 г , що відповідає нормам для листового салату ($18\text{--}25 \text{ мг/100 г}$). У експериментальній лінії рівень вітаміну С зріс до 25 мг/100 г , що свідчить про позитивний вплив калію на синтез аскорбінової кислоти, ймовірно, через стимуляцію антиоксидантного захисту рослин та біосинтезу вітаміну С (рис. 2).



Вміст хлорофілу А : $\text{HIP}_{05} = 0,003 \text{ мг/г}$



Вміст хлорофілу b : $\text{HIP}_{05} = 0,05 \text{ мг/г}$



Вміст вітаміну С: $HP_{05} = 2,6$ мг/100 г

Рис. 2. Біохімічні показники салату листового

Для оцінки статистичної значущості відмінностей між контрольним та експериментальним варіантами в межах кожної лінії було використано критерій найменшої істотної різниці (HP_{05}). Отримані результати свідчать про те, що вміст вітаміну С мав $HP_{05} = 2,6$ мг/100 г. Оскільки різниця між середніми значеннями для цієї ознаки перевищувала відповідні HP_{05} , вплив калій сульфату на накопичення вітаміну С є статистично значущим.

Для хлорофілу а встановлено, HP_{05} становив 0,003 мг/г. Аналіз показав, що різниця між середніми значеннями для цього показника також перевищує відповідні HP_{05} . Щодо хлорофілу b, значення HP_{05} було 0,05 мг/г. Оскільки різниця між середніми значеннями для хлорофілу а (0,05 мг/г) та хлорофілу b (0,11 мг/г) перевищує HP_{05} , відмінності між контрольним і експериментальним варіантами є статистично значущими.

Для вимірювання концентрації нітратів користувалися потенціометричним методом на іонімірі.

Вибірка здійснювалася з кореневої системи, середини пучка та листя рослини. Статистична обробка даних проводилась через дисперсійний аналіз.

Результати (табл. 2) показали значне збільшення нітратів у коренях експериментальної лінії.

Таблиця 2

Результати вимірювань вмісту нітратів в різних органах рослин
салату

Лінія	Нітрати в корені (мг/кг)	Нітрати в молодих листках (мг/кг)	Нітрати в старих листках(мг/кг)	НІР ₀₅ , мг/кг
Контрольна	28	90	60	14,7
Експериментальна	2300	380	26	94,8
ГДК		2000	2000	

Це пояснюється тим, що калій сульфат стимулює засвоєння нітратів кореневою системою, але їх транспортування до листа було менш інтенсивним. У контрольній лінії нітрати рівномірно розподілялись між частинами рослини, що вказує на збалансоване споживання азотних сполук.

Для оцінки статистичної значущості різниць між групами було використано найменшу істотну різницю (НІР₀₅) [17], яка для контрольної лінії становила 14,7 мг/кг, а для експериментальної – 94,8 мг/кг.

Різниця вмісту нітратів між лініями склала 2272 мг/кг у коренях, 290 мг/кг у молодих листках та 34 мг/кг у старих листках, що перевищує відповідні значення НІР₀₅, вказуючи на статистично значущі відмінності між варіантами.

Висновки. 1. Додавання сульфату калію до аквапонічної системи позитивно впливає на ріст та розвиток листового салату. В експериментальній групі, що отримувала додаткове живлення калієм, рослини показали кращі результати за морфометричними характеристиками, біомасою та врожайністю, що була на 71,2% вищою, ніж у контрольній групі.

2. Зафіксовано підвищення концентрації калію у воді. Додавання у концентрації 0,5 г/дм³ забезпечило надходження 110 мг/дм³ калію в систему. В кінці досліду концентрація калію в експериментальній лінії становила 55,2 мг/дм³, що свідчить про активне засвоєння цього елемента рослинами. Зниження рівня калію на 54,8 мг/дм³ підтверджує ефективне поглинання і використання його для фізіологічних процесів, зокрема росту, метаболізму та синтезу хлорофілів.

3. Додавання калію позитивно вплинуло і на баланс азотних сполук: концентрація нітратів та рівень амоній-іонів в експериментальній лінії був на 50% та 58% відповідно нижчим, ніж в

контрольній лінії, що свідчить про більш ефективне перетворення амонію в нітрати.

4. Рівень вітаміну С в рослинах в експериментальній лінії був вищим (25 мг/100 г), що вказує на покращення синтезу аскорбінової кислоти завдяки достатньому азотно-калійному живленню рослин.

5. В цілому результати дослідження показали, що додавання сульфат калію у воду в системі аквапоніки в концентрації 0,5 г/дм³ покращує ріст, врожайність, хімічний склад і харчову цінність листового салату, зокрема рівень вітаміну С.

В подальшому, необхідно дослідити концентрацію інших елементів живлення та визначити оптимальну дозу сульфату калію. Крім того, варто провести експерименти з різними концентраціями калію, щоб визначити найбільш ефективні дозування для росту рослин. Також важливо провести довгостроковий моніторинг для оцінки стабільності системи та її впливу на мікробіологічні процеси. Врахування органолептичних властивостей продукції та сезонних змін також має велике значення для оптимізації системи.

1. Yamane K., Kimura Y., Takahashi K., Maeda I. The growth of leaf lettuce and bacterial communities in a closed aquaponics system with catfish. *Horticulturae*. 2021. Vol. 7, no. 8. P. 222.
2. Junge R., König B., Villarroel M., Komives T., Jijakli M. H. Strategic points in aquaponics. *Water*. 2017. Vol. 9. P. 182.
3. Єржі Адамек, Віталій Бех, Вадим Марценюк. Африканський кларієвий сом (*Clarias gariepinus*) – цінний об'єкт рибництва. URL: https://chng.darg.gov.ua/files/16/afr_som.pdf (дата звернення: 01.03.2025).
4. Ghamkhar R., Hartleb C., Wuac F., Hicks A. Life cycle assessment of a cold weather aquaponic food production system. *Journal of Cleaner Production*. 2020.
5. Oladimeji S. A., Okomoda V. T., Olufeagba S. O., Solomon S. G., Abol-Munafi A. B., Alabi K. I. Aquaponics production of catfish and pumpkin: Comparison with conventional production systems. *Aquaculture*. 2020. Pp. 2307–2315.
6. Latimer G. Official methods of analysis. 1 *International*. 2012. ISBN 978-0-935584-83-7.
7. Carberry A. How to measure growth rate of plants. *Arkansas*. 2022. URL: <https://www.wikihow.com/Measure-Growth-Rate-of-Plants> (дата звернення: 01.03.2025).
8. Mims S. D., Lazur A., Shelton W. L., Gomelsky B., Chapman F. Species profile: Production of sturgeon. *South. Reg. Aquac. Center*. 2002. URL: <https://srac.msstate.edu/pdfs/Fact%20Sheets/7200%20Species%20Profile-%20Production%20of%20Sturgeon.pdf> (дата звернення: 01.03.2025).
9. Suhl J., Dannehl D., Kloas W., Baganz D., Jobs S., Schiebe G., Schmidt U. Advanced aquaponics: Evaluation of intensive tomato production in aquaponics vs conventional hydroponics. *Agricultural Water Management*. 2016. Vol. 178. Pp. 335–344.
10. Asao T. Hydroponics: A standard methodology for plant biological

researches. Paris, France : BoD–Books on Demand, 2012. ISBN 978-953-51-0386-8. **11.** Schmautz Z., Graber A., Mathis A., Bulc T. G., Junge R. Tomato production in aquaponic system: Mass balance and nutrient recycling. *Aquaculture Europe*. 2015. **12.** 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. **13.** Rakocy J. E., Masser M. P., Losordo T. M. Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics–Integrating fish and plant culture. *Stoneville, MS. USA : SRAC*, 2006. Pp. 236–247. **14.** Khalil S. Growth performance, nutrients and microbial dynamic in aquaponics systems as affected by water temperature. *European Journal of Horticultural Science*. 2018. Vol. 83. Pp. 388–394. **15.** Yang T., Kim H.-J. Characterizing nutrient composition and concentration in tomato-, basil-, and lettuce-based aquaponic and hydroponic systems. *Water*. 2020. Vol. 12. P. 1259. **16.** Lennard W. A., Leonard B. V. A comparison of reciprocating flow versus constant flow in an integrated, gravel bed, aquaponic test system. *Aquaculture International*. 2004. Vol. 12. Pp. 539–553. **17.** Ушкаренко В. О., Вожегова Р. А., Голобородько С. П., Коковіхін С. В. Статистичний аналіз результатів польових дослідів у землеробстві : монографія. Херсон : Айлант, 2013. 378 с.

REFERENCES:

1. Yamane K., Kimura Y., Takahashi K., Maeda I. The growth of leaf lettuce and bacterial communities in a closed aquaponics system with catfish. *Horticulturae*. 2021. Vol. 7, no. 8. P. 222. **2.** Junge R., König B., Villarroel M., Komives T., Jijakli M. H. Strategic points in aquaponics. *Water*. 2017. Vol. 9. P. 182. **3.** Yerzhi Adamek, Vitalii Bekh, Vadym Martseniuk. Afrykanskyi klariiivyi som (*Clarias gariepinus*) – tsinni ob'iekt rybnytstva. URL: https://chng.darg.gov.ua/files/16/afr_som.pdf (data zvernennia: 01.03.2025). **4.** Ghamkhar R., Hartleb C., Wuac F., Hicks A. Life cycle assessment of a cold weather aquaponic food production system. *Journal of Cleaner Production*. 2020. **5.** Oladimeji S. A., Okomoda V. T., Olufeagba S. O., Solomon S. G., Abol-Munafi A. B., Alabi K. I. Aquaponics production of catfish and pumpkin: Comparison with conventional production systems. *Aquaculture*. 2020. Pp. 2307–2315. **6.** Latimer G. Official methods of analysis. 1 *International*. 2012. ISBN 978-0-935584-83-7. **7.** Carberry A. How to measure growth rate of plants. *Arkansas*. 2022. URL: <https://www.wikihow.com/Measure-Growth-Rate-of-Plants> (data zvernennia: 01.03.2025). **8.** Mims S. D., Lazur A., Shelton W. L., Gomelsky B., Chapman F. Species profile: Production of sturgeon. *South. Reg. Aquac. Center*. 2002. URL: <https://srac.msstate.edu/pdfs/Fact%20Sheets/7200%20Species%20Profile-%20Production%20of%20Sturgeon.pdf> (data zvernennia: 01.03.2025). **9.** Suhl J., Dannehl D., Kloas W., Baganz D., Jobs S., Schiebe G., Schmidt U. Advanced aquaponics: Evaluation of intensive tomato production in aquaponics vs

conventional hydroponics. *Agricultural Water Management*. 2016. Vol. 178. Pp. 335–344. **10.** Asao T. Hydroponics: A standard methodology for plant biological researches. Paris, France : BoD–Books on Demand, 2012. ISBN 978-953-51-0386-8. **11.** Schmautz Z., Graber A., Mathis A., Bulc T. G., Junge R. Tomato production in aquaponic system: Mass balance and nutrient recycling. *Aquaculture Europe*. 2015. **12.** 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. **13.** Rakocy J. E., Masser M. P., Losordo T. M. Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics–Integrating fish and plant culture. *Stoneville, MS. USA : SRAC*, 2006. Pp. 236–247. **14.** Khalil S. Growth performance, nutrients and microbial dynamic in aquaponics systems as affected by water temperature. *European Journal of Horticultural Science*. 2018. Vol. 83. Pp. 388–394. **15.** Yang T., Kim H.-J. Characterizing nutrient composition and concentration in tomato-, basil-, and lettuce-based aquaponic and hydroponic systems. *Water*. 2020. Vol. 12. P. 1259. **16.** Lennard W. A., Leonard B. V. A comparison of reciprocating flow versus constant flow in an integrated, gravel bed, aquaponic test system. *Aquaculture International*. 2004. Vol. 12. Pp. 539–553. **17.** Ushkarenko V. O., Vozhehova R. A., Holoborodko S. P., Kokovikhin S. V. Statystychnyi analiz rezultativ polovykh doslidiv u zemlerobstvi : monohrafiia. Kherson : Ailant, 2013. 378 s.

Maiboroda K. A., Post-graduate Student (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

INFLUENCE OF POTASSIUM SULPHATE ON THE YIELD AND BIOCHEMICAL COMPOSITION OF LEAF LETTUCE IN AN AQUAPONIC SYSTEM

The article examines the impact of potassium sulfate (K_2SO_4) supplementation on the yield and biochemical composition of leaf lettuce in aquaponic systems. The study was conducted under two aquaponic conditions: a control line, where plants received nutrients solely from fish waste, and an experimental line, where potassium sulfate was added to the water at a concentration of 0.5 g/dm^3 .

According to the results, lettuce yield in the control line was 2042.74 g/m^2 , while in the experimental line, it reached 3497.7 g/m^2 , which is 71.2% higher. The biomass of plants in the experimental line was also greater, with the maximum plant bundle weight reaching 390 g compared to 340 g in the control. Plant morphology parameters also improved: the maximum plant length in

the control line was 53 cm, while in the experimental line, it reached 71 cm.

To assess the chemical composition of water, potassium content, ammonium nitrogen, and nitrate nitrogen levels were measured. Nitrate nitrogen analysis showed that its concentration in the control line increased from 9 mg/dm³ to 30.4 mg/dm³, while in the experimental line, it remained at 6.4 mg/dm³. The ammonium ion content decreased to 1.63 mg/dm³ in the experimental line and to 4.53 mg/dm³ in the control line. At the same time, potassium content in the water of the control variant was 8.89 mg/dm³, whereas in the experimental line, it reached 55.2 mg/dm³, indicating the positive effect of potassium sulfate supplementation on the conversion of ammonium nitrogen compounds into nitrate nitrogen and an overall increase in nitrogen uptake by leaf lettuce plants.

Chlorophyll content was also measured. In the experimental line, chlorophyll a was 0.79 mg/g, and chlorophyll b was 1.65 mg/g, whereas in the control line, these values were 0.74 mg/g and 1.54 mg/g, respectively.

Overall, the results demonstrate the positive effect of potassium sulfate addition on yield, morphometric characteristics, and the chemical composition of leaf lettuce in aquaponic systems.

Keywords: aquaponics; lettuce; yield; water quality monitoring; nutrients; vitamin C; nitrates; chlorophylls a and b; potassium nutrition; ammonium nitrogen and nitrate nitrogen.