

Міністерство освіти і науки України

**Агрономія**

**СТУДЕНТСЬКА НАУКОВА РОБОТА**

**на тему:**

**«ФІТОАКТИВНІСТЬ МУЛУ МОДУЛЯ АКВАКУЛЬТУРИ  
ДО РОЗВИТКУ *LACTUCA SATIVA L.*»**

(шифр «аквапоніка»)

**2021**

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	4
<b>РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ З ПРОБЛЕМ ОЦІНКИ ФІТОАКТИВНОСТІ МУЛУ АКВАКУЛЬТУРИ</b> .....	6
<b>1.1. Аквапоніка як спосіб вирішення екологічних проблем систем аквакультури та гідропоніки</b> .....	6
1.2. Продукти життєдіяльності аквакультури як ресурс поживних елементів для рослин модуля гідропоніки в системах аквапоніки.....	8
<b>РОЗДІЛ 2. УМОВИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ</b> .....	11
<b>РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ</b> ....	16
3.1. Фази стресу у рослин як реакція на несприятливий чинник .....	16
3.2. Особливості складу мулу зворотних вод модуля аквакультури дорослих особин сома кларієвого.....	17
3.3. Розвиток <i>Lactuca sativa</i> на зворотній воді модуля аквакультури.....	19
3.4. Вплив різних концентрацій мулу модуля аквакультури на розвиток <i>Lactuca sativa</i> у фазі проростання .....	21
<b>3.5. Обґрунтування параметрів живлення <i>Lactuca sativa</i> за рахунок мулу модуля аквакультури</b> .....	23
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	26
<b>ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ:</b> .....	26
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	27

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Вивчення фітоактивності мулу системи аквапоніки до розвитку *Lactuca sativa* L. дозволяє оцінити умови розвитку цієї рослини в системі аквапоніки та обґрунтувати оптимальні концентрації мулу для збалансування живлення *Lactuca sativa*. З огляду на новітність технологій аквапоніки та відсутність результатів таких досліджень дана тема є актуальною.

**Об'єкт дослідження** – процеси розвитку *Lactuca sativa* під впливом мулу системи аквапоніки із *Clarias gariepinus*.

**Предмет дослідження** – показники схожості, розвитку *Lactuca sativa* у фазі проростання, винос елементів живлення рослинами *Lactuca sativa*, склад мулу системи аквапоніки із *Clarias gariepinus*.

**Мета роботи** : оцінити фітоактивність різних концентрацій мулу системи аквапоніки до розвитку *Lactuca sativa* та оцінити рівень збалансованості їхнього складу.

**Завдання роботи:** оцінити вплив мулу модуля акакультури на розвиток *Lactuca sativa* у фазі проростання, оцінити рівень збалансованості мулу модуля аквакультури із *Clarias gariepinus* відповідно до потреб *Lactuca sativa*, на основі чого узагальнити результати досліджень та прийти до єдиного висновку про оптимальні межі концентрацій мулу для культивування *Lactuca sativa* в системах аквапоніки із *Clarias gariepinus*.

**Методи досліджень:** теоретико-аналітичний, лабораторні експерименти, математико-статистичний аналіз.

**Наукова новизна:** вперше оцінено фітоактивність різних концентрацій мулу системи аквапоніки до розвитку *Lactuca sativa* та встановлено позитивний вплив мулу на розвиток *Lactuca sativa* у фазі проростання, що виявляється у збільшенні схожості насіння на 9,9...14,8%, сумарної довжини паростків на 5,0...50% до контролю (0,04% гідропонний розчин Flora Growing). При цьому доведено ефект пригнічення розвитку *Lactuca sativa* від 32,5% до 87,5% за високих концентрацій мулу відповідно від 200% до 500%.

**Практичне значення одержаних результатів.** Одержані результати науково-дослідницької роботи можуть бути рекомендовані до впровадження у системах аквапоніки як засіб покращення поживного режиму водного середовища при культивуванні *Lactuca sativa* в єдиному водному циклі із сомом кларієвим.

**Особистий внесок автора.** Автор роботи самостійно проаналізувала літературні дані, провела експериментальні лабораторні дослідження, провела біометричні вимірювання, проаналізувала отримані результати та зробила висновки. Особистий вклад автора у виконання науково-дослідницької роботи – понад 80%.

# РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ З ПРОБЛЕМОЮ ОЦІНКИ ФІТОАКТИВНОСТІ МУЛУ АКВАКУЛЬТУРИ

## 1.1. Аквапоніка як спосіб вирішення екологічних проблем систем аквакультури та гідропоніки

Суть технології аквапоніки полягає у використанні відходів життєдіяльності водних тварин в якості поживного середовища для рослин в процесі їх спільного вирощування у єдиному водному циклі. В процесі вирощування водні тварини виділяють токсичні продукти життєдіяльності: азотні, калійні, фосфорні сполуки, вуглекислий газ. Накопичення цих речовин у воді становить головну проблему аквакультури, але поєднання аквакультури з гідропонікою дозволяє частково вирішити цю проблему. Рослини споживають продукти їх життєдіяльності, очищаючи воду збагачуючи її киснем. Вирощені у такий спосіб рослини набувають статусу екологічно чистої органічної сільськогосподарської продукції, що відноситься до розряду високоякісного продовольства, попит на яке в світі щоденно росте [1]. Плаваючі системи аквапоніки на полікультурних рибних ставках встановлювалися в останні роки в Китаї при вирощуванні в великих обсягах рису, пшениці, канн та інших культур, ці споруди за площею перевищували 2,5 акра (10000 м<sup>2</sup>). Розроблена схема аквапоніки в Університеті Віргінських островів (UVI) дозволяє отримувати 5 т тиліпії в рік [2].

Відходи життєдіяльності риб є природним добривом для рослин. Під впливом такого добрива значно підвищується врожайність і прискорюється дозрівання плодів. У помідорах, вирощених на аквапоніці, вміст нітратів зазвичай менше в 5-10 разів, ніж у найкращих ґрунтових, а смак і аромат нічим не поступається. Такий метод знайшов впровадження за кордоном (Китай, США) в промислових масштабах [1, 2].

Проте у аквапонних системах існує ряд проблем. Головною проблемою є збільшення кількості аміаку та вуглекислого газу у воді. Це спричиняє різке сповільнення розвитку рослин та риб і приводить до загибелі живих організмів.

Кисень ( $O_2$ ) надходить через зябра і необхідний для виробництва енергії і розщеплення білків, тоді як вуглекислий газ ( $CO_2$ ) і аміак ( $NH_3$ ) продукуються як відходи. Неперетравлений корм виділяється у воду в формі екскрементів, так званих завислих та органічних речовин. Вуглекислий газ і аміак виділяються в воду через зябра. Отже, риби споживають кисень і корми, в результаті чого вода в системі забруднюється екскрементами, вуглекислим газом та аміаком.

Механічний фільтр не видаляє всі органічні речовини, найдрібніші частинки проходять крізь нього так само, як і розчинні речовини, такі як фосфат або азот. Фосфат є інертною речовиною без токсичних ефектів, але азот у формі вільного аміаку ( $NH_3$ ) токсичний і має бути перетворений в біофільтрі в безпечні нітрати.

Розкладання органічної речовини і аміаку є біологічним процесом, який відбувається за рахунок спеціальних бактерій. Гетеротрофні бактерії окислюють органічну речовину, споживаючи кисень і виробляючи вуглекислий газ, аміак і шлам. Нітрифікуючі бактерії перетворюють аміак в нітрит, а потім в нітрат. Для підтримки балансу в такій системі, особливо в промислових масштабах, необхідно використовувати спеціальне обладнання. Тверді елементи продуктів життєдіяльності риби, як правило, очищають за допомогою механічної фільтрації і відстійників. Насоси та самостоки допомагають створювати в системі різницю рівнів потоків, в зв'язку з чим відбувається зниження енерговитрат. При цьому нейтралізацію шкідливих домішок здійснюють безпосередньо рослини, мікроорганізми створеної екосистеми [2].

Використання аквапонічних ферм дозволяє зменшити потреби води для вирощування риби з 250000 до 1,5 м<sup>3</sup> /рік, випуск азоту з 38000 до 250 кг/рік, потреби енергії з 2400 кВт до 300 кВт, викиди вуглекислого газу менше 5 мг/дм<sup>3</sup>. Встановлення аквапонних систем не потребує відведення родючих ґрунтів, особливої підготовки ґрунту, наявності проточної води або водойми.

## **1.2. Продукти життєдіяльності аквакультури як ресурс поживних елементів для рослин модуля гідропоніки в системах аквапоніки**

Добре збалансована аквапонна система повинна збалансувати потреби риб, рослин та мікроорганізмів, щоб максимізувати обсяги виробництва та мінімізувати забруднення (Tyson et al., 2011).

Великими перевагами аквапоніки є те, що рибні стоки стають ресурсом для рослин, а рослини очищують воду (Rakocy et al., 2006). Проблема полягає в тому, що нітрифікація та ріст рослин не можуть бути оптимізовані одночасно (Савідов, 2004) (Тайсон, 2011). Азот – це макроелемент живлення, який життєво необхідний для росту рослин та необхідний у найбільших кількостях у період активної вегетації кожної рослини (Taiz & Zeiger, 2006).

Шістдесят-дев'яносто відсотків азотистих відходів аквакультури світу мають форму аміаку ( $\text{NH}_3$ ) та амонію ( $\text{NH}_4$ ), що походять з зябер риби. Сеча, кал, зябровий катіоніт і недоїдений корм сприяє загальному навантаженню азотистих відходів в аквакультурі (Nagorian & Riley, 1998). Частина виділеного аміаку іонізується в амоній, ці дві форми разом утворюють загальний азот. (Tyson et al., 2011).

Аміак є токсичним для риб навіть у низьких концентраціях і не повинен накопичуватися у циркулюючій воді. Те саме стосується і нітратів, але летальні концентрації істотно різняться між видами та стадіями життєвого циклу риби. Нітрати, з іншого боку, в деяких випадках можуть перевищувати токсичні рівні аміаку у мільйони разів до досягнення летальної концентрації. Для вилучення нітратів мають активно спрацювати мікроорганізми-денітрифікатори, які забезпечують відновлення азоту нітратного до азоту молекулярного або оксидів азоту, звільняючи воду від токсинів. (Nagorian & Riley, 1998). В аквапонній системі аміак потенційно токсичний видаляється як за рахунок мікробної діяльності, так і за допомогою фітореMediaції (Tyson et al., 2011).

Загалом усі мінеральні поживні речовини, крім кальцію, калію та заліза, присутні в достатній кількості в стоках аквакультури, згідно з Rakocy et al.(2004). Мінімізація щоденного водообміну є важливою для досягнення накопичення

мінеральних поживних речовин (Rakocy et al., 2006). Підтримка рН вище 7,0 є запорукою ефективної нітрифікації, але сам процес знижує рН. Щоб компенсувати низький рН, і одночасно підвищити рівень кальцію та калію, Rakocy et al. (2004) у воду додають  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і  $\text{KOH}$  до їх аквапонічної системи. Дефіциту заліза вдалося уникнути додаванням хелату заліза.

Тайсон та співавт. (2011) також наголошували на важливості ефективної нітрифікації, припускаючи рН 7,5-8,0, тоді як для рослин оптимальні межі рН - у діапазоні рН 5,5-6,5.

Савідов (2004) аргументували іншу стратегію, при якій рН знижується до 6,2. На цьому рівні мінеральні поживні речовини більш розчинні і сприяють зростанню рослин. Савідов (2004) показав, що рослини дуже ефективні як головний механізм контролю поживних речовин у аквапоніці Росії, дуже швидко вбирають амоній.

Крім того, при кислому рН рівновага зміщується в бік амонію, зменшуючи рівень вільного аміаку (Савідов, 2004).

Амоній є джерелом азоту, але у високих рівнях він токсичний до рослин. Амоній також впливає на рослину опосередковано. При засвоєнні амонію кореневими системами рослин споживається багато кисню. Добре аероване кореневе середовище, наприклад, без будь-яких інших поживних речовин, сприяє засвоєнню амонію (Silber & Bar-Tal, 2008: 307-310).

Крім того, амоній пригнічує споживання калію, кальцію та магнію (Маршнер, 1995: 38-39) Регулюючи рН фосфорною кислотою, калій можна доповнити та задовольнити попит рослин, не впливаючи на рН (Савідов, 2004). Кальцію та магнію було багато в місцевій природній воді, і їх можна було отримати в достатній кількості при нижчих значеннях рН. Fe додавали. (Савідов, 2004). Савідов (2004) визначає незбалансований корм для риби як джерело дефіциту аквапоніки та пропонує розробляти корми для риби на рослинній основі з більш високим вмістом калію.

Отже, питання збалансованості живлення салату листового, як і інших рослин, які вирощуються у аквапоніці є дослідженим недостатньо, немає даних про



необхідні концентрації мулу, недостатньо даних про їхній склад і регламенти подачі до модуля гідропоніки. Це є підтвердженням актуальності та своєчасності наших досліджень.

## РОЗДІЛ 2. УМОВИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводилися в лабораторії аквапоніки Національного університету водного господарства та природокористування у вересні – грудні 2020 р.

Схему досліджень наведено на рис. 2.1.

У досліджах вивчали:

- 1) вплив різних концентрацій мулу, отриманих від сома кларієвого (щільністю посадки -30-35 кг/м<sup>3</sup>) вагою особин 500-700 г, на розвиток *Lactuca sativa* у фазі проростання;
- 2) склад мулу (вміст макроелементів живлення рослин та вміст вуглецю);
- 3) потребу *Lactuca sativa* у елементах живлення для формування врожайності 4,0 кг зеленої маси на 1 м<sup>2</sup> гідромодуля.

Було проведено лабораторний експеримент, схему якого наведено нижче (табл. 2.1).

У експерименті було 2 контролю: вода дистильована (К-1) та 0,04% гідропонічний розчин Flora Growing, приготовлений із концентратів Flora Grow : Flora Micro : Flora Bloom у співвідношеннях 1:1:1. Отриманий 0,04% розчин відповідав 100% концентрації мулу сома кларієвого за вмістом азоту (0,033 мг/л), який необхідний у початкових фазах розвитку рослини (рис. 2.2).



Рис. 2.2. Добрива Flora Growing для контролю 2 (суміш 1:1:1)

Схема лабораторного дослід з вивчення ефективності впливу мулу системи аквапоніки на розвиток *Lactuca sativa*

№ варіанту	Варіант	
К-1	Контроль 1	H <sub>2</sub> Oдист
К-2	Контроль 2	Flora Growing-0,04%
М-500	Мул в концентрації, %	500%
М-400		400%
М-300		300%
М-200		200%
М-100		100%
М-75		75%
М-50		50%
М-25		25%
М-5		5%
М-1		1%

100% розчин мулу містив 0,62 мг/л сухої речовини мулу. Склад сухої речовини мулу було визначено нами у лабораторії агрохімії, ґрунтознавства та землеробства НУВГП за стандартизованими методиками для органічних добрив. Результати наведено у табл. 2.2.

Отримання розчинів мулу різної концентрації проводили шляхом розчинення певних наважок сухого мулу у відстояній водопровідній воді, яка є основою водозабезпечення модельної установки аквапоніки, де цей мул і отримували (рис. 2.3).



Рис. 2.1. Схема досліджень

Характеристика сухої речовини мулу *Clarias gariepinus* (100% концентрації)

Елемент живлення (ЕЖ)		Вміст ЕЖ у мулі, % на суху речовину		
		min	max	серед.
Вміст сухої речовини у мулі 100% концентрації, мг/л		0,48	0,74	0,62
Карбон	C	25,8	68,2	47
Нітроген загальний	Nзаг	4,86	6,2	5,53
Фосфор	P	2,86	3,98	3,42
Калій	K	0,124	0,214	0,169
Магній	Mg	0,276	0,39	0,333
Кальцій	Ca	5,389	6,925	6,157
Залізо	Fe	0,586	0,709	0,6475



Рис. 2.3. Модельна установка аквапоніки в НУВГП



Рис. 2.4. Сом кларієвий , який живе у системі аквапоніки НУВГП

Пророщування *Lactuca sativa* виконували в чашках Петрі у термостаті при  $t=28^{\circ}\text{C}$  впродовж 5-ти діб. На 4-ту добу визначали схожість насіння, на 6-ту добу визначали довжину паростків (кореня і пагона).

Статистичну обробку результатів досліджень проводили за допомогою пакету «Описательная статистика» програми Excel.

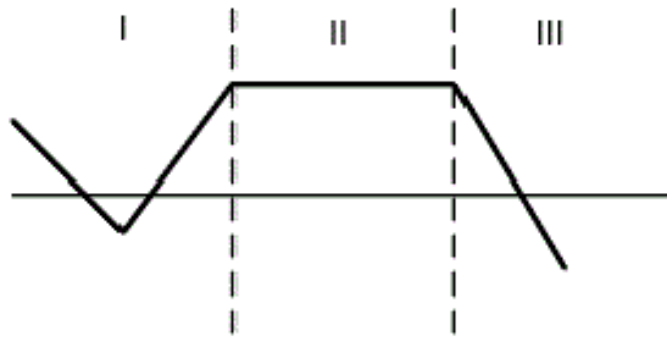
Про розвиток рослин судили за результатами біометричних вимірювань таких показників: схожість насіння, довжина кореня та стебла *Lactuca sativa*.

## РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 3.1. Фази стресу у рослин як реакція на несприятливий чинник

Будь-який чинник розвитку рослини за оптимальними межами свого впливу (чи концентрації, як у випадку із муловими сумішами) може бути стресором. Тому на кривих розвитку важливо бачити і виділяти межі оптимуму кожного фактора.

У рослин, відповідно до теорії Г. Сельє, виділяють три послідовні фази реакції на вплив несприятливих факторів: первинна стресова реакція (тривога і гальмування процесів життєдіяльності), адаптація (протягом якої рослина пристосовується до стресору), виснаження (якщо адаптивний потенціал рослин недостатній для того, щоб протистояти впливу стресора).



I – тривога, II – адаптація, III – виснаження

Рис. 3.1 Фази зворотних реакцій рослин на дію стресорів (за Г. Сельє)

Первинна стресова реакція (фаза тривоги) супроводжується значними відхиленнями в фізіолого-біохімічних процесах, виникають симптоми початкових пошкоджень рослин. Одночасно з'являються захисні реакції, які спрямовані на усунення цих пошкоджень. Якщо вплив стресора сильний та швидко наростає, то організм може загинути вже у фазі тривоги. Якщо ж він переживає цю фазу, то переходить в наступну - адаптації до стресору.

У фазі адаптації рослина пристосовується до нових умов або пошкодження посилюються. Адаптація протікає більш благополучно, якщо дія несприятливого фактора наростає поступово і рослина встигає до нього пристосуватися. Після того

як рослини адаптувалися до несприятливих умов, вони продовжують життєдіяльність, але через значні витрати енергії на адаптаційні процеси і через ослаблення синтетичних процесів, продуктивність їх падає.

У фазі виснаження посилюється розпад органічних речовин, порушується енергетичний обмін. Якщо в такому стані рослина знаходиться досить тривалий час, то виникають незворотні пошкодження органів і тканин, і воно гине. Якщо ж вплив стресора припиняється, і умови середовища нормалізуються, то в організмі включаються процеси усунення пошкоджень і відновлення функцій (репарація).

Таким чином ефекти негативного впливу тої чи іншої концентрації мулу на рослину матимуть найшвидший і найбільш яскравий прояв у фазі тривоги, яка настає першою і характеризується пригніченням фізіологічного стану рослини. Іноді ця фаза може бути розмитою, тому початок фази виснаження однозначно свідчитиме про негативну дію високих концентрацій певних елементів на розвиток рослини.

Оскільки наші дослідження проводилися у фазі проростання рослини, то ми зупинилися на таких фізіологічних показниках розвитку рослин, які можуть бути свідченням ефекту стимуляції та ефекту пригнічення у цій фазі: схожість насіння, довжина кореня та пагона проростання.

### **3.2. Особливості складу мулу зворотних вод модуля аквакультури дорослих особин сома кларієвого**

Для ефективного функціонування симбіотичної екосистеми аквапоніки необхідно дотримуватися певних умов середовища (табл. 3.1).

З огляду на наведені обмеження якості води отримання мулу та їх використання у підживленні рослин модуля гідропоніки не завжди дозволяє робити це безпосередньо у ємностях для розведення риб. Тому мулові суміші доцільно відбирати або сифоном із дна басейну, або робити дно басейну конусоподібної



форми із мулозбірником. Саме таким чином і було отримано наші мулові суміші (сифонуванням із дна).

Таблиця 3.1

Фактичні та оптимальні параметри водного середовища модуля аквакультури

Параметр якості води	Одиниці вимірювання	Норма	Фактичне значення
Температура	град. С	24-26	24
Кисень	% насичення	>70%	78
Азот амонійний	мг / л	<2,5	2,6
Азот нітратний	мг / л	<200	50
pH	од. рН	6,5-7,5	7,1
Фосфор	мг / л	<20	5,7
БСК	мг / л	<20	16

100% розчин мулу містив у своєму складі 0,62 мг/л сухої речовини. Склад сухої речовини мулу представлено на рис. 3.2.

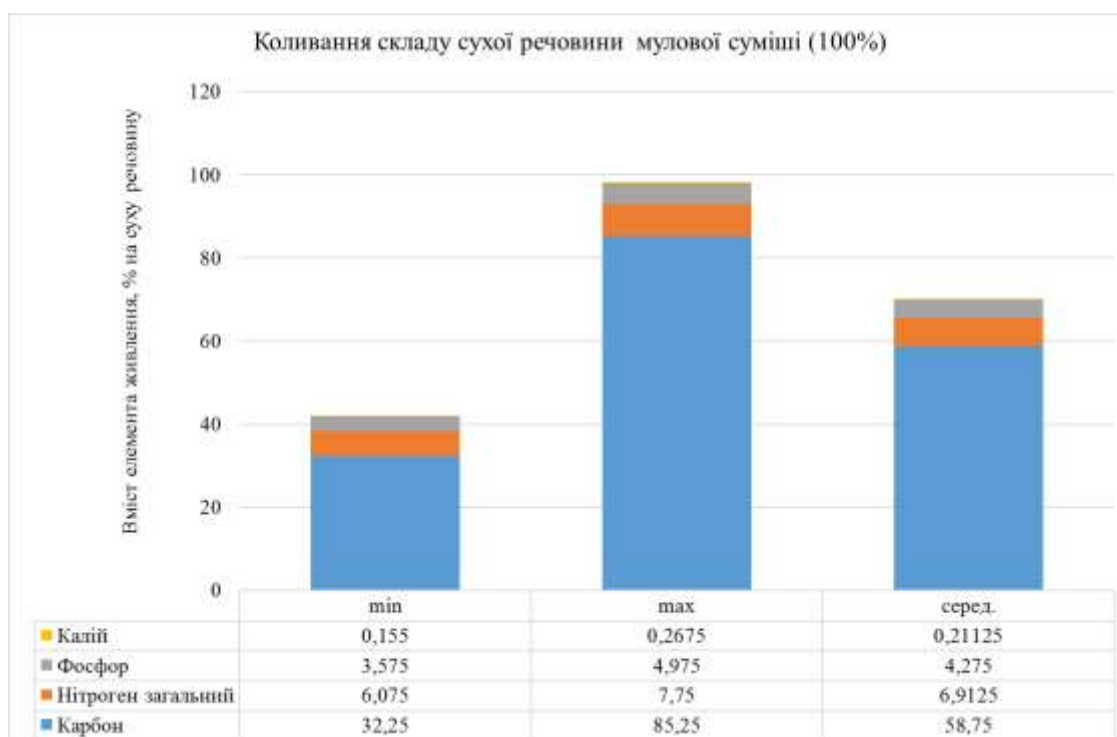


Рис. 3.2. Склад сухої речовини мулу модуля аквакультури (вміст макроелементів живлення рослин)

З рис. 3.2 бачимо, що у складі мулу міститься велика кількість вуглецю (58,8%), значна кількість азоту (6,9%) і фосфору (4,3%), а вміст калію (0,21%) є вкрай низьким, тому саме цей елемент і лімітуватиме живлення рослин модуля гідропоніки.

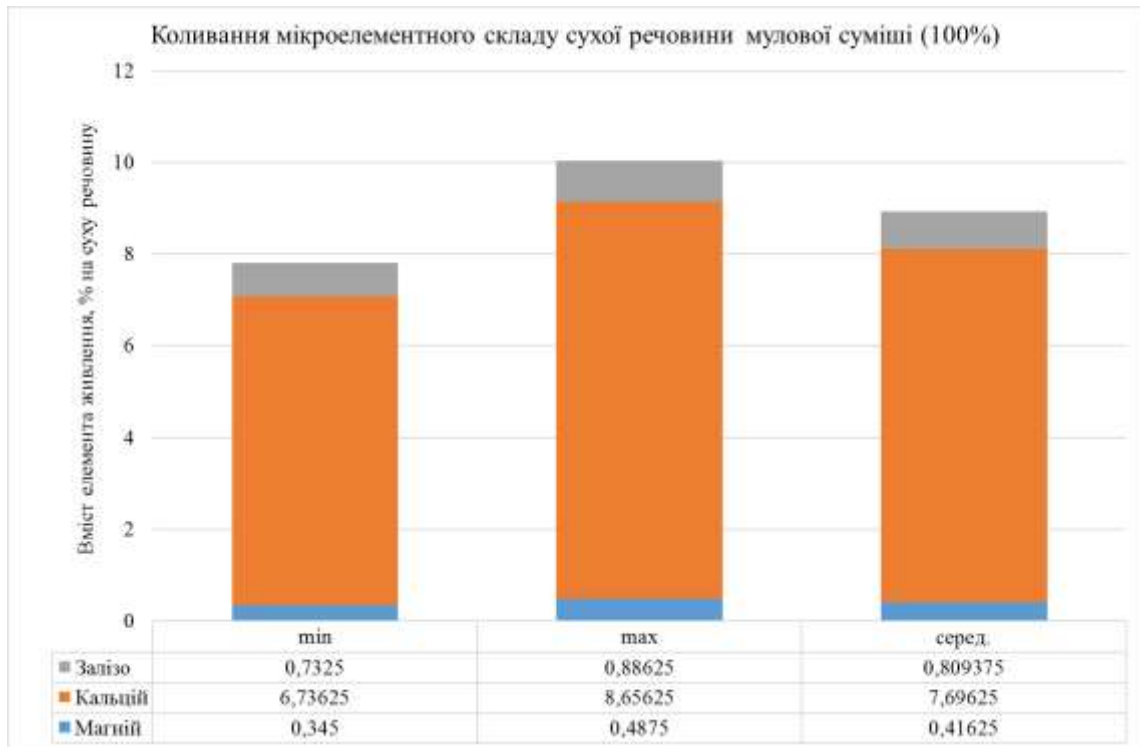


Рис. 3.3. Вміст мікро- та мезоелементів живлення рослин у мулі модуля аквакультури

За даними рис. 3.3 видно, що у складі мулу дуже високий вміст кальцію (7,7%), достатній вміст заліза (0,8%), а вміст магнію, який входить до складу хлорофілу і безпосередньо впливає на активність фотосинтезу – найменший (0,42%). Тому мікроелементний склад мулу розбалансований і лімітуючим чинником тут є магній.

Якщо порівняти 2 лімітуючі чинники – калій та магній, то калій є лімітуючим чинником №1 і саме на його підтягування до норми ми повинні звернути найбільшу увагу.

### 3.3. Розвиток *Lactuca sativa* на зворотній воді модуля аквакультури

Досліджування впливу мулу різної концентрації модуля аквакультури на розвиток *Lactuca sativa* проводили з метою оцінки позитивного / негативного

ефекту концентрацій мулу на розвиток *Lactuca sativa* порівняно із дистильованою водою (К-1) та 0,04% розчином гідропонної суміші Flora Growing (рис. 3.4).

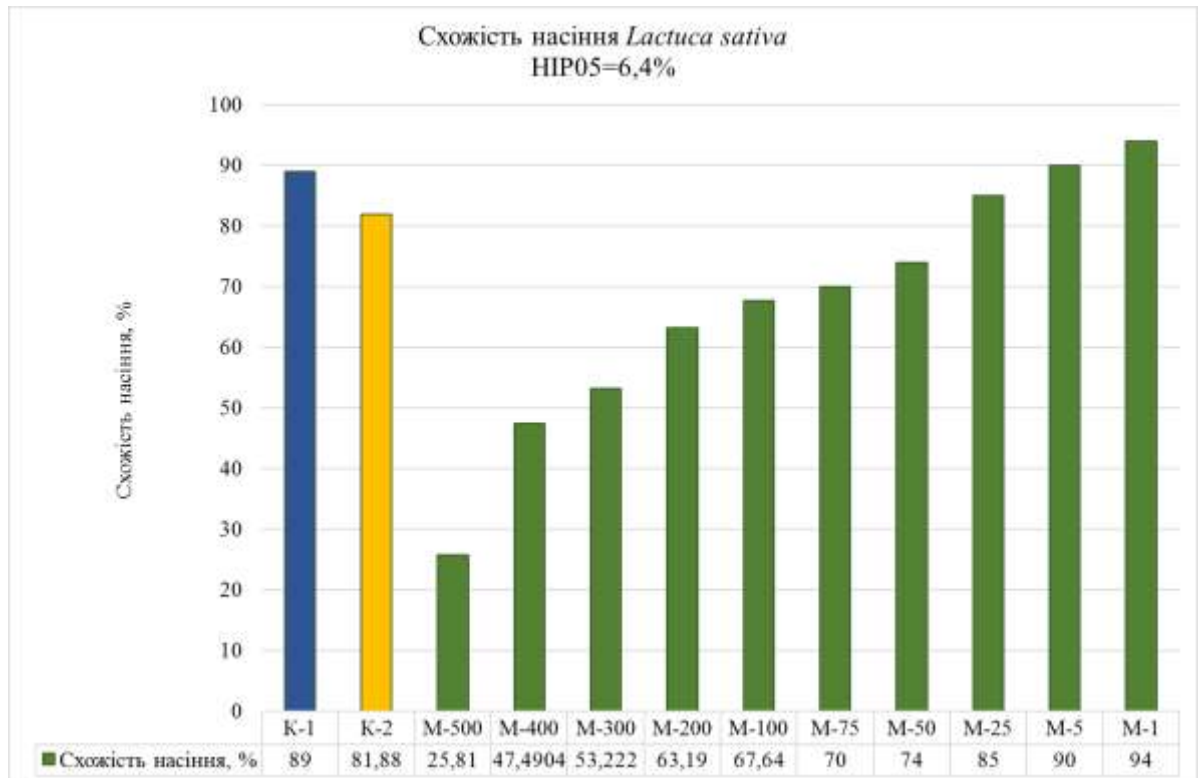


Рис. 3.4. Схожість насіння *Lactuca sativa* за різної концентрації мулу

Дані рис. 3.4 свідчать про чітко виражений стимулюючий ефект мулу концентрації 1%, який оцінюється збільшенням схожості насіння на 5,0% відносно контролю 1 (Н<sub>2</sub>Одист) та на 12% відносно контролю 2 (розчин Flora Growing-0,04%). Тому для покращення проростання насіння мати для пророщування *Lactuca sativa* потрібно просочувати водою із муловою сім'яшкою в концентрації від 1% до 15%.

Кореляційно-регресійний аналіз дозволив встановити пряму лінійну оберненопропорційну залежність між концентрацією мулу та схожістю насіння (рис. 3.5).

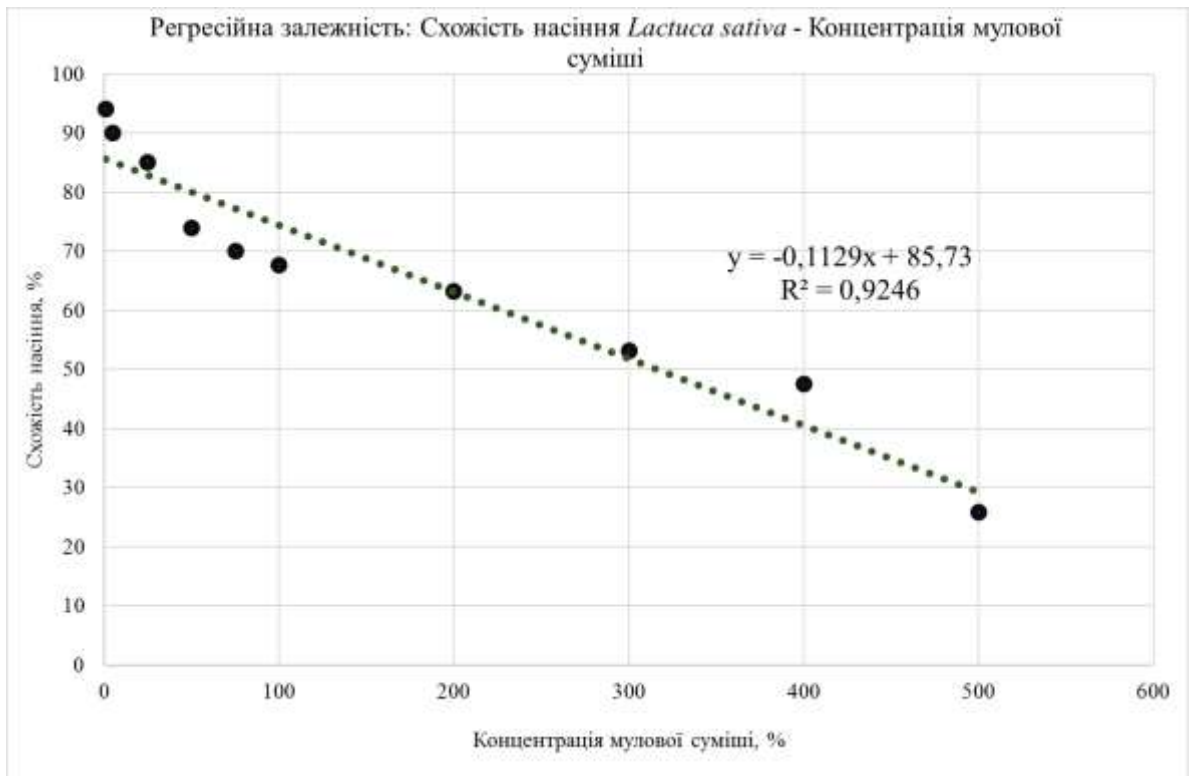


Рис. 3.5. Регресійна залежність схожості насіння *Lactuca sativa* від концентрації мулу

Дана залежність свідчить про те, що лише невеликі концентрації мулу (до 10%...15%) створюють стимулюючий ефект на проростання насіння у фазі проростання. Тому у цій фазі важливо не перевищувати оптимальних концентрацій (15%), щоб не зменшити відсоток схожості насіння *Lactuca sativa*.

### 3.4. Вплив різних концентрацій мулу модуля аквакультури на розвиток *Lactuca sativa* у фазі проростання

Розвиток *Lactuca sativa* за різних концентрацій мулу у воді оцінювали за показниками довжини кореня та пагона проростання та сумарної довжини паростків.

Отримані результати представлено на рис. 3.6 - 3.7.

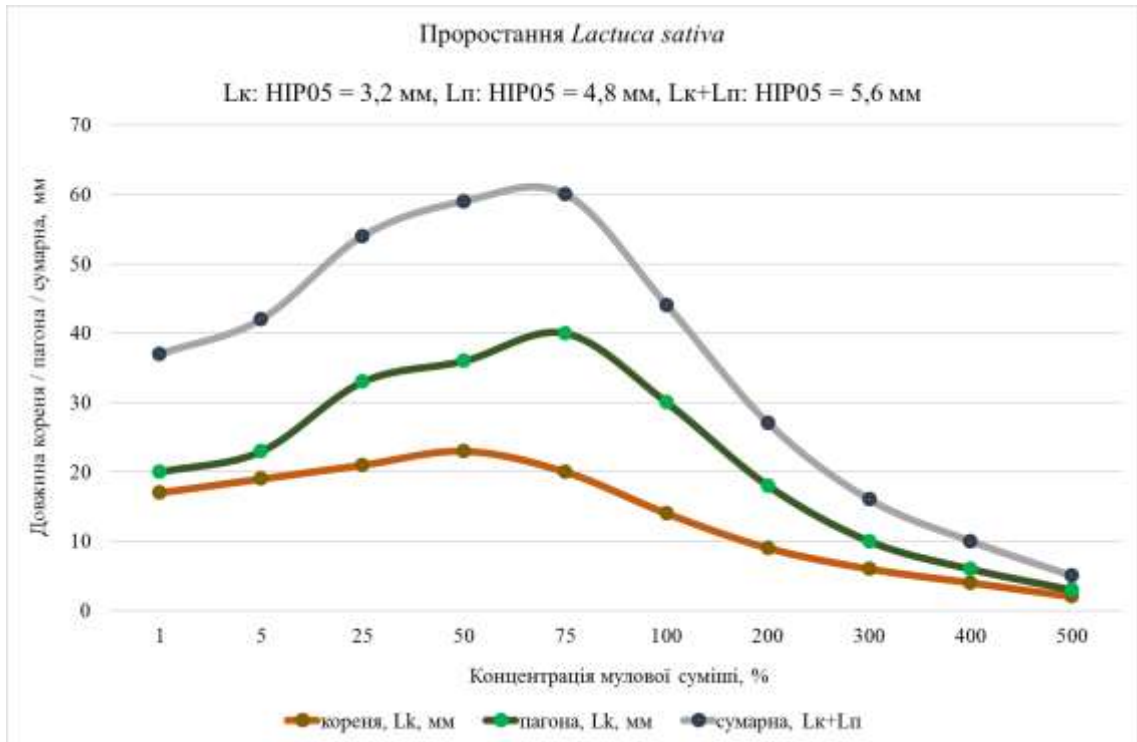


Рис. 3.6. Вплив різних концентрацій мулу системи аквапоніки на розвиток *Lactuca sativa* у фазі проростання

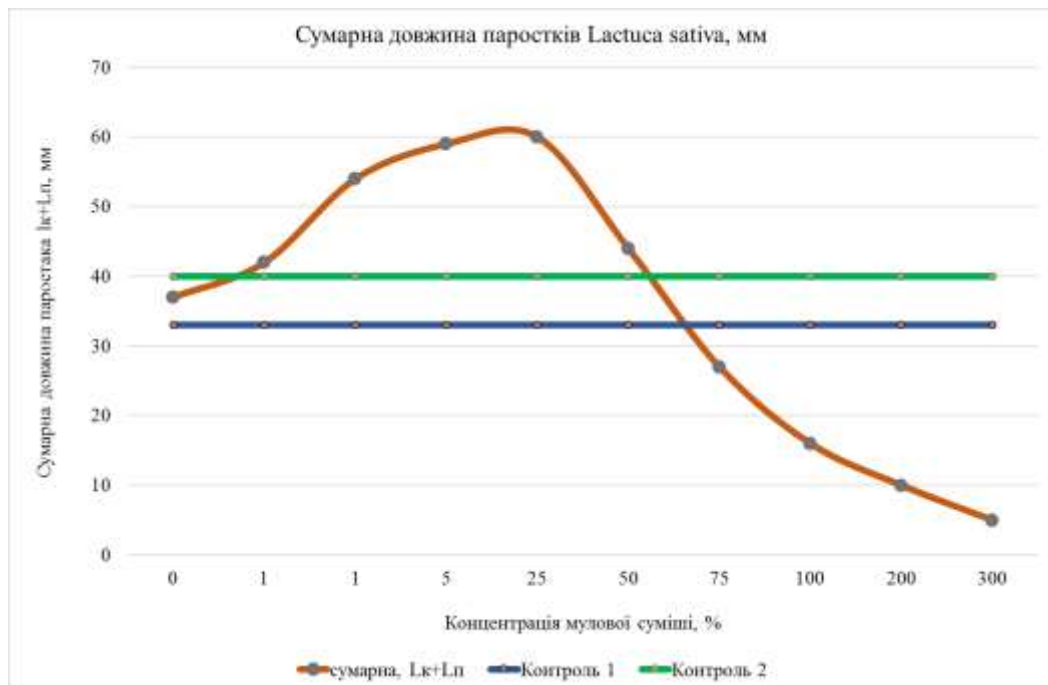


Рис. 3.7. Крива зміни довжини паростка *Lactuca sativa* за різних концентрацій мулу

У фазі проростання відмічено чітко виражений стимулюючий ефект мулу у концентрації від 1% до 150%. Пік стимулюючого ефекту припадає на діапазон концентрацій мулу від 25% до 80%. При цьому для розвитку кореня оптимальний діапазон дещо зсунутий вліво і припадає на концентрації мулу від 10% до 75%, тоді як для розвитку пагона – на діапазон більших концентрацій – від 25% до 95%.

Щоб оцінити стимулюючий ефект мулу, ми порівняли показники довжини паростків на варіантах із застосуванням мулу різних концентрацій із варіантом контролю 2 (розчин Flora Growing-0,04%) (рис. 3.7). Результати рис. 3.7 показують, що стимулюючий ефект мулу перевищує відповідний ефект розчину Flora Growing-0,04% до 52% і припадає на концентрацію мулу, яка становить 23%. тому у фізі проростання доцільно підтримувати концентрацію мулу від 20 до 25%. Проте залишається відкритим питання, які концентрації мулу необхідно підтримувати у більш пізніх фазах розвитку *Lactuca sativa*, розкрити яке ми спробували у розділі 3.5.

### **3.5. Обґрунтування параметрів живлення *Lactuca sativa* за рахунок мулу модуля аквакультури**

За проходженнями фаз розвитку *Lactuca sativa* збільшується сумарна потреба у елементах живлення аж до моменту збору врожаю.

Тому важливо встановити межі оптимальної концентрації мулу, якою ми будемо підживлювати рослини після фази проростання, що і було зроблено у табл. 3.2.

Виходячи із максимальної врожайності *Lactuca sativa*, яка становить 4,0 кг/м<sup>2</sup> гідромодуля та нормативів виносу елементів живлення, було встановлено винос

Таблиця 3. 2

Біологічна потреба *Lactuca sativa* та надходження елементів живлення із мулом модуля аквакультури

Елемент живлення		Вміст ЕЖ у сухій речовині мулу, %	Вміст ЕЖ у салаті листовому,	Вміст сухої речовини у салаті,	Норма виносу ЕЖ, мг/кг	Урожайність біомаси салату, кг/м <sup>2</sup>	Винос ЕЖ, г/м <sup>2</sup>	Необхідна норма сухої речовини мулу на 1 м <sup>2</sup> модуля гідропоніки,	Перевищення надходження ЕЖ вище норми виносу при подачі 180 г. сухої речовини мулу на 1 м. кв. салату, %
		серед.	% на с.р.	%	г/кг біомаси			г/ м <sup>2</sup>	разів
Карбон	С	47,0	42,3	12	5,076	4	20,3	4,32	42
Нітроген загальний	Nзаг	5,53	4,12	12	0,4944	4	1,9	3,58	50
Фосфор	Р	3,42	0,71	12	0,0852	4	0,34	0,997	181
Калій	К	0,169	6,33	12	0,7596	4	3,04	180	1
Магній	Mg	0,333	0,28	12	0,0336	4	0,134	4,04	45
Кальцій	Са	6,157	1,28	12	0,1536	4	0,614	0,99	180
Залізо	Fe	0,6475	0,59	12	0,0708	4	0,283	4,37	41

елементів живлення, який становить: 1,9 г/м<sup>2</sup> азоту, 0,34 г/м<sup>2</sup> фосфору, 3,04 г/м<sup>2</sup> калію, 0,134 г/м<sup>2</sup> магнію, 0,614 г/м<sup>2</sup> кальцію та 0,283 г/м<sup>2</sup> заліза.

Як бачимо з табл. 3.2, максимальний показник виносу зафіксовано саме для калію, який є лімітуючим показником поживної якості мулу. Тому було встановлено таку концентрацію мулу, яка забезпечить необхідне надходження калію: 3,04 г/м<sup>2</sup>. Це концентрація, яка забезпечить надходження на 1 м<sup>2</sup> 180 г сухої речовини мулу. Концентрація мулу, яку потрібно підтримувати у воді, залежить від констркції модуля аквакультури, що плануємо дослідити у перспективі.



## ВИСНОВКИ

1. Встановлено позитивний вплив мулу на розвиток *Lactuca sativa* у фазі проростання, що виявляється у збільшенні схожості насіння на 9,9...14,8%, сумарної довжини паростків на 5,0...50% до контролю (0,04% гідропонний розчин Flora Growing).

2. Доведено ефект пригнічення розвитку *Lactuca sativa* від 32,5% до 87,5% за високих концентрацій мулу відповідно від 200% до 500%.

3. Балансові розрахунки виносу елементів живлення врожаєм *Lactuca sativa* показали, що лімітуючим макроелементом живлення за вмістом у 100% мулі є калій, тому для покриття потреби у калію було встановлено, що на 1 м<sup>2</sup> гідромодуля із *Lactuca sativa* необхідно подавати 180 г сухої речовини мулу. При цьому існує імовірність накопичення азоту нітратного у готовій продукції, а також імовірність співосадження фосфатів калцієм, які є в значному надлишку, дослідження чого заплановано на майбутнє.

## ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ:

З метою забезпечення достатнього калійного живлення *Lactuca sativa* у системі аквапоніки із *Clarias gariepinus* на 1 м<sup>2</sup> гідромодуля із *Lactuca sativa* необхідно подавати 180 г сухої речовини мулу. При цьому слід контролювати вміст нітратів у готовій рослинницькій продукції.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гродзинский А. М. Экспериментальная аллелопатия / А. М. Гродзинский, Э. А. Головки, С. М. Горобец. – Киев: Наукова думка, 1987. – 236 с. – (Київ).
2. Колупаев Ю. Є. Основи фізіології стійкості рослин: Курс лекцій [Електронний ресурс] / Ю. Є. Колупаев // Харків. – 2010. – Режим доступу до ресурсу: [https://knau.kharkov.ua/uploads/ndc/sectors/kolupaev\\_book.pdf](https://knau.kharkov.ua/uploads/ndc/sectors/kolupaev_book.pdf).
3. Особенности взаимодействия растений с Escherichia coli. Particularities of interaction plants and Escherichia coli. [Електронний ресурс] / [А. Л. Алексеенко, Ю. А. Маркова, Ю. В. Омеличкина та ін.] // Нижний Новгород 2011. – 2011. – Режим доступу до ресурсу: [http://www.spsl.nsc.ru/fulltext/konfe/VIIifiz-plant\\_1.pdf](http://www.spsl.nsc.ru/fulltext/konfe/VIIifiz-plant_1.pdf).
4. Аросланкина Ю. Н. Влияние различных классов ксенобиотиков на состояние клеточных мембран в проростках пшеницы Effect of different classes of xenobiotics on cell membranes state in wheat seedlings с. 55-56 [Електронний ресурс] / Ю. Н. Аросланкина, О. А. Овечкина, А. С. Лукаткин // Нижний Новгород 2011. – 2011. – Режим доступу до ресурсу: [http://www.spsl.nsc.ru/fulltext/konfe/VIIifiz-plant\\_1.pdf](http://www.spsl.nsc.ru/fulltext/konfe/VIIifiz-plant_1.pdf).
5. Manjula D. Studies on the Integrated Aquaponic System with Green Herbal Cultivation by using Liquid Fertilizer of Seaweed, Turbinaria Conoides [Електронний ресурс] / D. Manjula, S. Raja // International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET). – 2019. – Режим доступу до ресурсу: [https://www.researchgate.net/publication/332222284\\_Studies\\_on\\_the\\_Integrated\\_Aquaponic\\_System\\_with\\_Green\\_Herbal\\_Cultivation\\_by\\_using\\_Liquid\\_Fertilizer\\_of\\_Seaweed\\_Turbinaria\\_Conoides](https://www.researchgate.net/publication/332222284_Studies_on_the_Integrated_Aquaponic_System_with_Green_Herbal_Cultivation_by_using_Liquid_Fertilizer_of_Seaweed_Turbinaria_Conoides).
6. Lund J. Aquaculture Effluents as Fertilizer in Hydroponic Cultivation [Електронний ресурс] / Johan Lund // SLU, Sveriges lantbruksuniversitet. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: <https://core.ac.uk/download/pdf/19883686.pdf>.
7. Postma J. Pathogen Detection and Management Strategies in Soilless Plant Growing Systems. In Soilless Culture: Theory and Practice (Raviv M, Heinrich Lieth J. ed.) / J. Postma, P. Bonants. // UK: Elsevier. – 2008. – С. 425–458.

8. Rakocy JE, Shultz RC, Bailey DS, Thoman ES. (2004). Aquaponic Production of Tilapia and Basil: Comparing a Batch and Staggered Cropping System. *Acta Hort* 648: 63-69
9. Aquaponic Production of Tilapia and Basil: Comparing a Batch and Staggered Cropping System / J.Rakocy, R. Shultz, D. Bailey, E. Thoman. // SRAC Publication. – 2006. – №454. – C. 1–16. Savidov N. (2004). Evaluation and Development of Aquaponics Production and Product Market Capabilities in Alberta. Ids Initiatives fund Final Report. Project #679056201. August 17, 2004.
10. Savvas D. Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals / D. Savvas, H. Passam. // Greece: Embryo Publications. – 2002. – C. 15–24.
11. Silber A. Nutrition of Substrate-Grown Plants. *Soilles Culture: Theory and Practice* / A. Silber, A. Bar-Tal. – London,: UK: Elsevier, 2008. – 291 c.
12. Tyson R. Opportunities and Challenges to Sustainability in Aquaponic Systems / R. Tyson, D. Treadwell, E. Simonne. // *Hort Technology*. – 2011. – №21. – C. 6–13.