УДК 639.3.05: 639.3.06: 631.5: 631.6: 631.9
DOI https://doi.org/10.32851/wba.2019.2.7

АКВАПОНІКА – РОЗУМНЕ ПОЄДНАННЯ РИБНИЦТВА ТА РОСЛИННИЦТВА В КОНТЕКСТІ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

Лавренко С.О. *– к. с.-г. н., доцент,*
Кутіщев П.С. *– к.б.н., доцент,*
Лавренко Н.М. *– к. с.-г. н.,*
Максимов М.В. *– к. с.-г. н.*
ДВНЗ «Херсонський державний аграрний університет»,
lavrenko.sr@gmail.com, kutishev_p@ukr.net, lavrenkonatalia89@gmail.com, maksmaksimov@meta.ua

Побудова інноваційних аквапонічних модульних блоків одночасного вирощування цінних видів риб та рослинницької продукції дозволяють зменшити викиди закису азоту та метану від сільськогосподарських процесів; адаптувати технологічні процеси на непридатних та малопридатних територіях; збільшити рівень використання відновлюваних джерел енергії та мінімального споживання викопного палива на технологічні процеси, трансформував їх на живлення від сонячних батарей дає змогу миттєво реагувати на глобальні зміни клімату. Використання аквапонічних ферм дозволить зменшити потреби води для вирощування риби з 250000 до 1,5 м^3/рік, потреби енергії з 2400 кВт до 300 кВт, викиди вуглекислого газу менше 5 мг/л.

На даний час найбільші джерела викидів в сільському господарстві вуглекислого газу, а це понад 5,3 млрд.т. у світі, на кишкову ферментацію тварин – 40, гній, який залишається на пасовищах – 16, синтетичні мінеральні добрива – 13, рис-сирець – 10, зберігання та використання навозу – 7%. Тобто, майже дві третини загальних викидів складає на ферментацію тварин, добрива (розклад органічних та мінеральних речовин) та обробіток ґрунту. Тому, створення інноваційних систем, які здатні зменшити акумуляцію вуглекислого газу є прерогативою розвитку усіх складових сільського господарства. Унікальне поєднання галузі рослинництва і аквакультури є інноваційним напрямом розвитку в України.

При роботі аквапонічної системи створюються позитивні екологічно-економічні умови, а саме відбувається: суттєве зменшення площі посівів для отримання врожаю; економія природних та енергетичних ресурсів; отримання екологічно чистої продукції; збільшення продуктивності праці на 1 м^2 використовуваної площі; отримання стабільних та якісних врожаїв свіжої продукції; цілорічне функціонування системи; відсутність отрутохімікатів; збільшення зайнятості населення тощо.

Ключові слова: аквапоніка, рибництво, рослинництво, сумісне вирощування, екологія, інновація, продуктивність, екологічно-економічні показники.

Постановка проблеми. На даний час найбільші джерела викидів в сільському господарстві вуглекислого газу, а це понад 5,3 млрд.т у світі, на кишкову ферментацію тварин – 40, гній, який залишається на пасовищах – 16,

синтетичні мінеральні добрива – 13, рис-сирець – 10, зберігання та використання навозу – 7%. Тобто, майже дві третини загальних викидів складає на ферментацію тварин, добрива (розклад органічних та мінеральних речовин) та обробіток ґрунту. Тому, створення інноваційних систем, які здатні зменшити акумуляцію вуглекислого газу є прерогативою розвитку усіх складових сільського господарства. Завдяки науковцям почали з'являтися гідро-, аеро- та аквапонічні системи, у яких рослини вирощуються у безземельному середовищі та застосовуються органічні, природні засоби для живлення, добрива та боротьби з шкідниками і хворобами [1, 20].

Унікальне поєднання галузі рослинництва і аквакультури є інноваційним напрямом розвитку в України. Аквапоніка (Aquaponics) – високотехнологічний спосіб ведення сільського господарства, що поєднує аквакультуру – вирощування водних тварин і гідропоніку – вирощування рослин без ґрунту. Аквапоніка являє собою штучну екосистему, в якій ключовими є три типи живих організмів: риби, рослини і бактерії. Це єдина штучна система сумісного вирощування риби і рослин, при якій мінімізуються енергетичні витрати, збільшуючи ефект безвідходного, екологічно-чистого виробництва.

Світова практика доводить перспективи використання даної технології, при якій досягається максимальна швидкість росту рослин і риби при мінімальних енергетичних й кормових витратах. Основна перевага в незалежності виробництва від умов зовнішнього середовища, можливості автоматизованого, контрольованого режиму умов вирощування практично будь-яких видів гідробіонтів та сільськогосподарських рослин [1, 7–10, 21–24, 26, 27].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розвиток аквакультури і, зокрема, гідропоніки в XX столітті привів до наукового осмислення аквапоніки. Суть методу полягає у використанні відходів життєдіяльності водних тварин в якості поживного середовища для рослин. В ході цього процесу рослини споживають продукти їх життєдіяльності, очищаючи воду збагачуючи її киснем. В процесі вирощування водні тварини виділяють токсичні продукти життєдіяльності: азотні, калійні, фосфорні сполуки, вуглекислий газ. Накопичення цих речовин у воді становить головну проблему аквакультури в установках замкнутого водозабезпечення, що супроводжується значними капіталовкладеннями на механічну фільтрацію, біологічну фільтрацію, стерилізацію, збагачення води киснем і утилізацією відходів. Ці речовини можуть бути використані для вирощування екологічно чистої сільськогосподарської продукції, адже на відміну від мінеральних добрив, вони не впливають негативно на навколишнє середовище побічними факторами забруднення остаточною кількістю пестицидів, нітратів, солей важких металів. 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. Сільськогосподарська продукція вирощена на органічних добривах утворених рибами в процесі їх вирощування, відповідатиме всім необхідним стандартам, може отримати спеціальний сертифікат і право використання екологічної манкіровки. Комбінування цих двох методів дозволяє вирощувати одночасно водних тварин і екологічно чисту органічну сільськогосподарську продукцію, зменшуючи капітальні витрати на спеціальну фільтрацію води і використання дорогоцінних кормів, роблячи таке виробництво високоефективним, безпечним і практично безвідходним [1, 2, 17, 20, 26].

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^2). Розроблена схема аквапоніки в Університеті Віргінських островів (UVI) дозволяє отримувати 5 т тиляпії в рік [15, 24, 27].

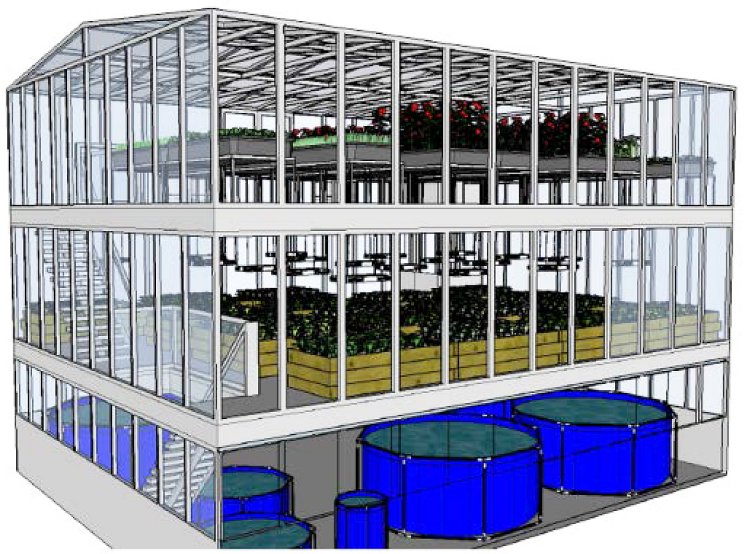

Рис. 1.1. **Розроблений проект промислового аквапонічного комплексу**

Елементарна структура аквапонічної системи (рис. 1.1) представлена у вигляді резервуара в якому вирощується риба і ємкості в яких насаджені сільськогосподарські культури. В процесі інтенсивного вирощування риби її постійно годують, залишки корму разом з продуктами життєдіяльності, які є поживними речовинами для рослин, за допомогою

рециркуляційної системи поступають до них по системі трубопроводів. Поступаючи до рослин, які поглинають ці речовини, вода очищується а рослини мають активність зростання.

Продукти життєдіяльності риб містять поживні речовини для рослин, але є токсичними для самих риб. Рослини поглинають ці речовини, що забезпечує їм необхідне живлення, і тим самим, очищають воду для риб (при цьому рослини та риби ростуть більш активно). Очищена вода повертається назад до риб, потім цикл повторюється. Ґрунтом для рослин у даному випадку використовується мінеральна вата, керамзит або гравій. Оскільки рослини і керамзит виконують роль механічного і біологічного фільтра, виключається необхідність використання штучної дорогоцінної фільтрації води. Додавання води необхідне лише в міру поглинання рослинами, випаровування в повітря або видалення біомаси з системи [1, 2, 20].

Відходи життєдіяльності риб є натуральним добривом для овочів або квітів. Значно підвищується врожайність і прискорюється дозрівання плодів. У помідорах, вирощених на аквапоніці, вміст нітратів зазвичай менше в п'ять-десять разів, ніж у найкращих ґрунтових, а смак і аромат нічим не поступається. Такий метод використовується за кордоном в промислових масштабах [1, 2].

При використанні аквапонічної системи головною проблемою є збільшення кількості аміаку та вуглекислого газу у воді. Це спричиняє різке сповільнення розвитку рослин та риби 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, званих також зважених речовин (ЗР) і органічною речовиною. 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 і аміаком.

Механічний фільтр не видаляє всі органічні речовини, найдрібніші частинки проходять крізь нього так само, як і розчині 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 і нітрити. 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. Нітрифікуючи бактерії перетворять 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 відстій-

ників. 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 [7, 9].

Для ефективного функціонування симбіотичної екосистеми аквапоніки необхідно дотримуватися певних умов середовища (табл. 1).

Таблиця 1. **Оптимальні параметри фізичних та хімічних параметрів якості води в УЗВ**

Параметр	Формула	Одиниця виміру	Норма	Незадовільний рівень
Температура		°C	Залежить від виду	
Кисень	O_2	%	70-100	<40 і >250
Азот	N_2	% насичення	80-100	>101
Вуглекислий газ	CO_2	мг/л	10-15	>15
Амоній	NH_4	мг/л	0-2,5 (залежить від pH)	>2,5
Аміак	NH_3	мг/л	<0,01 (залежить від pH)	>0,025
Нітрит	NO_2	мг/л	0-0,5	>0,5
Нітрат	NO_3	мг/л	100-200	>300
pH		мг/л	6,5-7,5	<6,2 і >8,0
Лужність		мг/л	1-5	<1
Фосфор	PO_4	мг/л	1-20	
Зважені речовини	SS	мг/л	25	>100
ХПК		мг/л	25-100	
БПК		мг/л	5-20	>20
Гумус			98-100	
Кальцій	Ca^{++}	мг/л	5-50	

Видалення екскрементів механічним фільтром затримає меншу частину азоту, що знаходиться в калі, а також більшу кількість фосфору. Розчинений азот перетворюється в біофільтрі, головним чином, в нітрати і нітрити. У цій формі азот легко засвоюється рослинами і може використовуватися як добриво в сільському господарстві або може бути видалений в очисних ставках з рослинами або кореневих зонах [7–10, 13, 17].

Аміак є основним продуктом мікробіологічного розкладання відходів життєдіяльності риб, які вони виділяють в воду. При наявності розчиненого у воді кисню аеробні бактерії окислюють аміак і його газоподібні похідні аміни з утворенням нітритів і нітратів. Це знижує токсичність води для риб і дозволяє рослинам видалити утворюються сполуки нітратів, використовуючи їх для живлення. Нітрифікація, аеробне перетворення аміаку в нітрати, яке є однією з найбільш важливих функцій в системі аквапоніка.

Таблиця 2. **Приклад випуску азоту з традиційних проточних господарств з системи оборотного водопостачання (СОВ) і установок замкнутого водопостачання (УЗВ)**

Випуск з різних типів господарств потужністю 1000 т за рік	Випуск азоту, кг/рік	Потреба води, $м^3$/рік
Традиційні проточні господарства	38000	250000
СОВ	2000	10000
УЗВ	250	1,5

Використання аквапонічних ферм дозволяє зменшити потреби води для вирощування риби з 250000 до 1,5 $м^3$/рік, випуск азоту з 38000 до 250 кг/рік, потреби енергії з 2400 кВт до 300 кВт, викиди вуглекислого газу менше 5 мг/$дм^3$. Встановлення аквапонічних систем не потребує виділення родючих ґрунтів, особливої підготовки ґрунту, наявності проточної води або водойми [7, 10, 18].

Постановка завдання. Обґрунтувати продуктивність аквапонічних модульних блоків з одночасним утриманням цінних видів риб та вирощування рослинницької продукції.

Методи дослідження. Дослідження з вивчення можливості та ефективності вирощування сільськогосподарських рослин в аквапонічних системах проводилися в науково-дослідних лабораторіях кафедри водних біоресурсів та аквакультури «Перспективи аквакультури» та землеробства ДВНЗ «Херсонський державний аграрний університет».

В роботі використовували загальноприйняті методи досліджень – лабораторний, а саме: візуальний і вимірювально-ваговий – для спостереження за фазами розвитку та визначення біометричних показників рослин; імітаційного моделювання – для формування замкнутого циклу вирощування риби й рослин; абстрагування – при формулюванні програми досліджень, узагальненні одержаних результатів і обґрунтуванні висновків; статистичного аналізу – для обробки та визначення достовірності отриманих результатів.

Об’єктами дослідження в першому аквапонічному блоці «сільськогосподарські рослини» був салат (*Lactuca sativa*) сорту Dragone, а другого блоку «вирощування риби» – нільська тиляпія (*Oreochromis niloticus*).

Основна характеристика салату (*Lactuca sativa*): однорічна трав’яниста культура, яка відноситься до родини Айстрових. Корінь стрижневий, стовщений у верхній частині, має велику кількість бічних розгалужень. Пластинка листка пухирчаста, зморшкувата чи майже гладка, ясно-зеленого, зеленого чи темно-зеленого кольору, іноді з червоно-бурою пігментацією. На місцях зрізу виступає молокоподібний сік [3, 4, 6, 12].

Салат – холодостійка рослина. Насіння проростає за температури +5°С, оптимальна – +15–20°С, за +12–14°С утворяться щільні головки, а

вище +20°С – прискорюється утворення стебел. Культура світло- та вологолюбна [3, 4, 12].

Салат відноситься до рослин довгого світлового дня. Скорочення його до 9–10 годин сприяє наростанню товарної продукції – листків, головок, але затримує перехід до генеративного розвитку – стеблоутворення та формування насіння. У зимовий період при вирощуванні на більш короткому дні та в загущених посівах рослини витягуються та погано формують головки в головчастих сортів. Мінімальна інтенсивність освітлення при вирощуванні салату і збиранні у фазі розетки – 4-5 тис. люкс, інтенсивно стрілкуються рослини при тривалості світлового дня понад 12–14 годин [12, 15, 16].

Зоологічна характеристика нільської тиляпії (*Oreochromis niloticus*): належить до родини цихлових. Найбільш відома і широко використовується як об'єкт штучного розведення в індустріальних умовах за рахунок своїх біологічних особливостей, а саме швидкому росту, масонакопиченню і дієтичним властивостям. Вирощування тиляпії в басейнах є альтернативою садкового і ставового розведення за дефіциту води і землі. Висока щільність посадки в басейнах обмежує можливість проходження нересту і дозволяє вирощувати спільно самок і самців до товарного розміру. Вирощування тиляпії у відкритих басейнах залежить від температури води. Оптимальна температура води – 25-33ºС (порогові – 10-15 і 38-42ºС). За нижчих її значень уповільнюється швидкість росту риби і знижується резистентність її до захворювань. За температури нижче за 8ºС риби гинуть [5, 7, 10, 11, 13–15]. Тиляпії володіють високою екологічною пластичністю [18, 19, 21–23, 25, 27].

Вирощування салату листкового починалося з маточнику. Насіння салату розміщували в субстраті (мінеральна вата) та ставили в пластмасові контейнері з водою. В маточнику створювали умови за якими вологість повітря підтримували в межах 90% і температурі повітря й усіх складових компонентів маточнику в межах 25–26°С. Вирощування рослин в маточнику проводилося в умовах обмеженості світла, тому ми в дослідах використовували досвічування завдяки використанню світлодіодних ламп. При отриманні першої пари сім'ядольних листків, розсаду розміщували в гідропонічних блоках аквапонічної системи. Схема розміщення рослин салату листкового складала 14,1×14,1 см або площа живлення однієї рослини складає 198,8 см^2, тобто на 1 м^2 розміщували 50 рослин. Площа басейну для вирощування салату листкового складала 3 м^2, тобто продуктивність складала 150 рослин. При правильної санітарії теплиці відпадає необхідність використання хімічних засобів захисту рослин, що робить продукцію екологічно чистою.

Додатковим стимулом для вирощування риби за аквапонічним циклом є її безпечність. Це проявляється в тому, що в магазинах майже

уся риба має на своєму тілі пошкодження бактеріальні або грибкові, що відсутнє в аквапонічні й системі. Рибопродуктивність тиляпії в промислових умовах, коли молодь утримується в садках чи басейнах, її вагою до 1 г на 1 м^3 садять 10-20 тис. екземплярів. При вазі від 1 до 10 г – 2 тис. При такій щільності мальки набирають 10 г за 1–1,5 місяці. Товарною тиляпія вважається при масі 250 г і більше. Таку вагу риба нагулює приблизно за 6 місяців. А в полікультурі її рибопродуктивність може сягнути і 5 т/га. В монокультурі середня рибопродуктивність тиляпії низька. Проте при посиленій годівлі можна досягти і 1,0–2,5 т/га [7-10].

В якості кормів використовували гранульовані комбікорми з наступними якісними показниками: протеїн, не менше 32,0, сирий жир, не менше 1,0, сирі волокна, не більше – 7,0, фосфор, не менше – 1,0, вологість, не більше 10,0%. Кількість корму складала 3% від маси тіла.

Для нормального функціонування в замкнутих установках водопостачання рослин та риби необхідно постійний контроль якості води, яка повинна відповідати санітарно-гігієнічним нормам (табл. 3).

Таблиця 3. **Загальні вимоги до якості води, яка надходить у водойми для утримання маточника тиляпії**

Показник	Нормативне значення
Запах	відсутній
Прозорість, м	0,75-1,0
Зважені речовини, мг/дм^3	до 25
Нітрити, мг/дм^3	до 0,1
Нітрати, мг/дм^3	до 2,0
Водневий показник, (pH)	6,5-8,5
Кисень розчинений, мг/дм^3	не менш 5
Фосфати, мг/дм^3	до 0,5
Сірководень, мг/дм^3	відсутній
Аміак розчинений, мг/дм^3	0,05

Обов’язковою умовою для найкращого росту рослин салату та риби є насичення води киснем, який визначає гідробіологічний і санітарний стан системи. З метою підвищення вмісту кисню у воді використовували аератор. Під час роботи аератору, крім насичення води киснем, проявляються і інші чинники, такі як зміна теплового балансу водного середовища, перерозподіл температури між шарами води, вивільнення вуглекислого газу [11, 17].

Результати дослідження та їх обговорення. Згідно проведених досліджень правильно розроблений цикл вирощування салату листкового та підбір посадкового малька дає можливість отримати протягом 45 діб повноцінний та високий врожай зазначених об’єктів (табл. 4).

Вирощування даних сільськогосподарських та біологічних об'єктів дає можливість отримати врожай салату листкового в кількості 150 шт. з середньою масою 145 г, що формує врожай на рівні 7,25 кг/м^2 або 0,66 кг з 1 м^2 загального об'єму аквапонічної системи. Вирощування риби з мальків масою 50 г з середньодобовим приростом в 4 г за зазначений період формує товарну вагу риби для реалізації – 220 г, що складає 59,5 кг/м^3 аквапонічної системи.

Даний спосіб є достатньо ефективним і може бути скорегований залежно від об'єкту сільськогосподарської рослини та технології вирощування риби. За цих умов кількість періодів (циклів) з 8 може коливатися від 3 до 5.

Зазначена технологія для сільського господарства України є інноваційною.

Ефективність екологічно-економічних показників:

- суттєве зменшення корисної площі для отримання врожаю;
- економія природних та енергетичних ресурсів;
- отримання екологічно чистої продукції;
- збільшення продуктивності праці на 1 м^2 використовуваної площі;
- стабільно високі врожаї високоякісної свіжої продукції;
- цілорічне функціонування системи;
- не використовують отрутохімікати;
- можливість збільшити зайнятість населення тощо.

Таблиця 4. **Продуктивність аквапонічної системи**

Показник	Одиниця виміру	Величина показника
1	2	3
Загальна корисна площа аквапонічної системи, з них:	м^2	5,5
для вирощування салату листкового	м^2	3,0
фільтростанція та аератор	м^2	1,5
басейн для риби	м^2	1,0
захисна площа навколо аквапонічної системи (доріжка 0,7 м)	м^2	11,06
Загальна кількість рослин салату листкового	шт	150
Середня вага салату листкового	г	145
Тривалість одного циклу (від появи сім'ядольних листочків до біологічної стиглості)	доба	45
Максимально можлива кількість циклів по вирощування салату листкового		8
Загальна врожайність салату листкового за одного циклу	кг/м^2	7,25
	т/га	72,5
Загальний об'єм вирощування тиляпії	м^3	1
Кількість рибопосадкового матеріалу	шт	350
Середня вага тиляпії на початку вирощування	г	50

Продовження таблиці 4

1	2	3
Середньодобовий приріст	г	4
Середня вага товарної тиляпії в кінці вирощування	г	220
Коефіцієнт виживання тиляпії	%	85-90
Тривалість одного циклу (від посадки риби до товарної ваги)	доба	45
Максимально можлива кількість циклів при вирощуванні тиляпії		6
Загальна продуктивність басейну	кг/м^3	77
Продуктивність нарощеної біомаси риби	кг/м^3	59,5
Загальна продуктивність аквапонічної системи на 1 м^2 площі, кг	салат	0,66
	тиляпія	5,38

Висновки.

1. Створення та регульована робота аквапонічної системи здатна сформувати протягом 45 діб повноцінний та високий врожай салату листкового та рибної продукції. Вирощування даних біологічних об'єктів дає можливість отримати врожай салату листкового в кількості 150 шт з середньою масою 145 г, що формує врожай на рівні 7,25 кг/м^2 або 0,66 кг з 1 м^2 загального об'єму аквапонічної системи. Вирощування риби з початковою масою 50 г, з середньодобовим приростом в 4 г за зазначений період формує товарну вагу риби для реалізації – 220 г, що складає 59,5 кг/м^3 аквапонічної системи.

2. При роботі аквапонічної системи створюються позитивні екологічно-економічні умови, а саме відбувається: суттєве зменшення площі посівів для отримання врожаю; економія природних та енергетичних ресурсів; отримання екологічно чистої продукції; збільшення продуктивності праці на 1 м^2 використовуваної площі; отримання стабільних та якісних врожаїв свіжої продукції; цілорічне функціонування системи; відсутність отрутохімікатів; збільшення зайнятості населення тощо.

АКВАПОНИКА – РАЗУМНОЕ СОЧЕТАНИЕ РЫБОВОДСТВА И РАСТЕНИЕВОДСТВА В КОНТЕКСТЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Лавренко С.О. *– к.с.-х. н., доцент,*
Кутищев П.С. *– к.б.н., доцент,*
Лавренко Н.Н. *– к.с.-х. н.,*
Максимов М.В. *– к.с.-х. н.*
Херсонский государственный аграрный университет,
lavrenko.sr@gmail.com, kutishev_p@ukr.net, lavrenkonatalia89@gmail.com, maksmaksimov@meta.ua

Построение инновационных аквапоничных модульных блоков одновременного выращивания ценных видов рыб и растениеводческой продукции позволяют уменьшить выбросы закиси азота и метана от сельскохозяйственных процессов;

адаптировать технологические процессы на непригодных и малопригодных территориях; увеличить уровень использования возобновляемых источников энергии и минимального потребления ископаемого топлива на технологические процессы, трансформировав их на питание от солнечных батарей позволяет мгновенно реагировать на глобальное изменение климата. Использование аквапоничных ферм позволит уменьшить потребности воды для выращивания рыбы с 250000 до 1,5 м^3/год, потребности энергии с 2400 кВт до 300 кВт, выбросы углекислого газа менее 5 мг/л.

В настоящее время крупнейшие источники выбросов в сельском хозяйстве углекислого газа, а это более 5,3 млрд.т в мире, приходится на кишечную ферментацию животных – 40, навоз, который остается на пастбищах – 16, синтетические минеральные удобрения – 13, рис-сырец – 10, хранения и использования навоза – 7%. То есть, почти две трети общих выбросов – это на ферментацию животных, удобрения (разложение органических и минеральных веществ) и обработку почвы. Поэтому, создание инновационных систем, которые способны уменьшить аккумуляцию углекислого газа является прерогативой развития всех составляющих сельского хозяйства. Уникальное сочетание отрасли растениеводства и аквакультуры является инновационным направлением развития в Украине.

При работе аквапонической системы создаются положительные экологически-экономические условия, а именно происходит: существенное уменьшение площади посевов для получения урожая; экономия природных и энергетических ресурсов; получения экологически чистой продукции; увеличение производительности труда на 1 м^2 используемой площади; получение стабильных и качественных урожаев свежей продукции; круглогодичное функционирование системы; отсутствие ядохимикатов; увеличение занятости населения и т.п.

Ключевые слова: аквапоника, рыбоводство, растениеводство, совместное выращивание, экология, инновация, продуктивность, экологически-экономические показатели.

AQUAPONICS IS THE REASONABLE COMBINATION OF FISHING AND PLANT CULTIVATION IN THE CONTEXT OF ECOLOGICAL SAFETY

Lavrenko S.O. *– Ph.D., Associate Professor,*
Kutishchev P.S. *– Ph.D., Associate Professor,*
Lavrenko N.M. *– Ph.D.,*
Maksimov M.V. *– Ph.D.*
Kherson State Agrarian University,
lavrenko.sr@gmail.com, kutishev_p@ukr.net, lavrenkonatalia89@gmail.com,
maksmaksimov@meta.ua

The construction of innovative aquaponics modular blocks with the simultaneous cultivation of valuable fish species and crops can reduce nitrous oxide and methane emissions from the agricultural processes; adapt technological processes in unusable and hardly suitable territories; increase the level of renewable energy sources used and the minimum consumption of fossil fuels for technological processes, transforming them to power from solar panels it allows to instantly respond to global climate change.

The aquaponics farms use will reduce the water requirements for fish growing from 250000 to 1.5 m^3/year, energy requirements from 2400 kW to 300 kW, and carbon dioxide emissions of less than 5 mg/l.

Currently, the largest sources of emissions in agriculture are carbon dioxide, and this is more than 5.3 billion tons in the world, intestinal fermentation of animals accounts around 40%, manure that remains on pastures – 16%, synthetic mineral fertilizers – 13%, raw rice – 10%, storage and use of manure – 7%. That is, almost 2/3 of the total emissions for the fermentation of animals, fertilizers (decomposition of organic and mineral substances) and tillage. Therefore, the creation of innovative systems that can reduce carbon dioxide accumulation is the prerogative of the development of all agriculture components. A unique combination of crops and aquaculture industry is an innovative development direction in Ukraine.

During the aquaponics system operation the positive environmental and economic conditions are created the following occurs: a significant reduction area for crops harvesting; saving of natural and energy resources; obtaining environmentally friendly products; increase in labor productivity per 1 m^2 of usable area; obtaining stable and high-quality yields of fresh produce; year-round functioning of the system; absence of pesticides; increase in employment-population, etc.

Keywords: aquaponics, fish farming, crop production, co-cultivation, ecology, innovation, productivity, ecologic and economic indicators.

ЛІТЕРАТУРА

1. Аквапоніка в Україні: URL: http://rodovid.me/Asya/2013/07/12/akvaponika---vyraschivanie-ryb-i (дата звернення: 04.11.2019)
2. Аквапонічні системи: URL: https://aquaponics.com/aquaponic-systems/ (дата звернення: 04.11.2019)
3. Барабаш О.Ю. Овочівництво: підручник. Київ: Вища школа, 1994. 374 с.
4. Білецький П.М. Овочівництво. К.: Вища школа, 1970. 420 с.
5. Боронецкая О.И. Использование тиляпии (*Tilapiinae*) в мировой и отечественной аквакультуре. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2012. № 1. С. 164–173.
6. Гіль Л.С., Пєшковський А.І. Сучасні технології овочівництва закритого і відкритого ґрунту. Ч.І. Закритий грунт: навчальний посібник. Вінниця: Нова книга, 2008. С. 25–100.
7. Завьялов А.П. Выращивание тиляпии в установке с замкнутым циклом водоснабжения при различных способах кормления: автореф. дис. на соискание уч. степени кандидата с-х наук: специальность 06.02.04 – «Частная зоотехния, технология производства продуктов животноводства». Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева. Москва, 2001. 28 с.
8. Завьялов А.П., Лавровский В.В, Мустаев С.Б. Способ и устройство для изучения суточных ритмов питания рыб. *Вопросы ихтиологии*. 2000. Т. 40. № 1. С. 124–127.

9. Завьялов А.П., Лавровский В.В. Влияние типа кормления на морфофизиологические показатели тиляпии, выращенной в установке с замкнутым циклом водоснабжения. *Материалы докладов 2-го международного симпозиума «Ресурсосберегающие технологии в аквакультуре»*. Краснодар, 1999. С. 123.
10. Завьялов А.П., Лавровский В.В. Экологически чистые рыбоводные системы с замкнутым водоснабжением. *Тезисы докладов междун. науч,. практ. конф. «Эколого-генетические проблемы животноводства и экологически безопасные технологии производства продуктов питания»*. Дубровицы, 1998. С. 102–103.
11. Михайличенко Д.В., Пономарёв С.В., Куракин И.В. Современная генетически улучшенная порода тиляпии. *Вестник Астраханского государственного технического университета.* Серия: Рыбное хозяйство. 2015. № 2. С. 69–75.
12. Салат посівний: URL; http://8benefit.pp.ua/2018/10/24/salat-latuk-salat-sijnyj/ (дата звернення: 04.11.2019)
13. Соколов В.Б., Фомичев А.М. Некоторые рыбоводные показатели молоди *Oreochromis mossambicus*, подращенной лотковым способом при разном уровне водообмена. Интенсивная технология в рыбоводстве. Москва: ТСХА, 1989. С. 68–76.
14. Спотт С. Содержание рыбы в замкнутых системах. Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1983. 191 с.
15. УкрАгроКонсалт: http://www.ukragroconsult.com/data/news/perspektivy-selskogo-hozyaistva (дата звернення: 04.11.2019)
16. Характеристика та вирощування салату посівного: http://agroua.net/plant/catalog/cg-8/c-33/info/cag-59/ (дата звернення: 04.11.2019)
17. Шалгимбаева С.М., Асылбекова С.Ж., Садвакасова А.К., Сармолдаева Г.Р., Кенжеева А.Н., Джумаханова Г.Б. Изучение влияния продукционных кормов на микробиоценоз органов тиляпии в установках замкнутого водообеспечения. *Вестник Астраханского государственного технического университета*. Серия: Рыбное хозяйство. 2016. № 3. С. 94–99.
18. Chervinski J. On the spawning of *Tilapia nilotica* in brackish water during experiments in concrete tanks. *Bamidgeh*, 1961. 13. P. 71–74.
19. Chervinski J., Lahav M. The effect of exposure to low temperature on fingerlings of local tilapia (*Tilapia aurea*) and imported tilapia (*Tilapia vulkani*) and *Tilapia nilotica* in Israel. *Bamidgeh*, 1976. 28. P. 25–29.
20. Integrated Agriculture-aquaculture: A Primer, Issue 407. FAO, 2001.
21. Job S.V. The respiratority metabolism of *Tilapia mossambica*. 1. The effect of size, temperature and salinity. Mar. Biol.(Berl.), 1969. 2(2). P. 121–126.
22. Job S.V. The respiratority metabolism of *Tilapia mossambica*. 1. The effect of size, temperature, salinity and partial pressure of oxygen. Mar. Biol. (BerL), 1969. 3. P. 222–226.

23. Kelly H.D. Preliminary studies on *Tilapia mossambica* Peters relative to experimental pond culture. *Proc. Annu. Conf. Southeast Game fish Comm*. 1966. 10. P. 139–149.
24. Tomita-Yokotani K., Anilir S., Katayama N., Hashimoto H., Yamashita M. Space agriculture for habitation on mars and sustainable civilization on earth. *Recent Advances in Space Technologies*. 2009. C. 68-69.
25. Wangead C., Geater A., Tansakul R. Effect of acid water on survival and growth rate of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *The second international symposium on tilapia in aquaculture.* Bangkok, Tailand, 1988. No 15. P. 433–437.
26. Wilson A. Lennard, Brian V. Leonard A Comparison of Three Different Hydroponic Sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an Aquaponic Test System. *Aquaculture International*. 2006. Vol. 14. Вып. 6. P. 539–550.
27. Yang Yi, Yi Y. A bioenergetics growth model for Nile tilapia based on limiting nutrients and fish standing crop in fertilized ponds. *Aquacultural Engineering*. Vol. 18. No 3. 1998. P. 157–173.

REFERENCES

1. Aponika v Ukrayini: http://rodovid.me/Asya/2013/07/12/akvaponika---vyraschivanie-ryb-i (data zvernennya: 04.11.2019) [in Ukrainian].
2. Akvaponichni sistemi: https://aquaponics.com/aquaponic-systems/ (data zvernennya: 04.11.2019) [in Ukrainian].
3. Barabash O.Yu. (1994). *Ovochivnitstvo* [Vegetable industry]. Kyiv: Vischa shkola. [in Ukrainian].
4. Biletskiy P.M. (1970). *Ovochivnitstvo* [Vegetable industry]. Kyiv: Vischa shkola. [in Ukrainian].
5. Boronetskaya O.I. (2012). *Ispolzovanie tilyapii (Tilapiinae) v mirovoy i otechestvennoy akvakulture* [The use of tilapia (*Tilapiinae*) in world and domestic aquaculture]. *Izvestiya Timiryazevskoy selskohozyaystvennoy akademii.* no. 1, 164–173. [in Russian].
6. Gil L.S., Peshkovskiy A.I. (2008). *Suchasni tehnologiyi ovochivnitstva zakritogo i vidkritogo gruntu. ch.i. zakritiy grunt* [Modern technologies of indoor and outdoor vegetable growing]. Vinnitsya: Nova kniga. 25–100. [in Ukrainian].
7. Zavyalov A.P. (2001). Vyiraschivanie tilyapii v ustanovke s zamknutyim tsiklom vodosnabzheniya pri razlichnyih sposobah kormleniya: avtoref. dis. na soiskanie uch. stepeni kandidata s-h nauk: spetsialnost 06.02.04 – «Chastnaya zootehniya, tehnologiya proizvodstva produktov zhivotnovodstva». Moskovskaya selskohozyaystvennaya akademiya im. K.A. Timiryazeva. Moscow. [in Russian].

8. Zavyalov A.P., Lavrovskiy V.V, Mustaev S.B. (2000). *Sposob i ustroystvo dlya izucheniya sutochnyih ritmov pitaniya ryib* [Method and device for studying daily rhythms of fish nutrition]. *Voprosyi ihtiologii*. vol. 40, no. 1. 124–127. [in Russian].
9. Zavyalov A.P., Lavrovskiy V.V. (1999). Vliyanie tipa kormleniya na morfofiziologicheskie pokazateli tilyapii, vyiraschennoy v ustanovke s zamknutyim tsiklom vodosnabzheniya. Materialyi dokladov 2-go mezhdunarodnogo simpoziuma *«Resursosberegayuschie tehnologii v akvakulture»*. Krasnodar. [in Russian].
10. Zavyalov A.P., Lavrovskiy V.V. (1998). Ekologicheski chistyie ryibovodnyie sistemyi s zamknutyim vodosnabzheniem. Tezisyi dokladov mezhdun. nauch,. prakt. konf. *«Ekologo-geneticheskie problemyi zhivotnovodstva i ekologicheski bezopasnyie tehnologii proizvodstva produktov pitaniya»*. Dubrovitsyi. 102–103. [in Russian].
11. Mihaylichenko D.V., PonomarYov S.V., Kurakin I.V. (2015). *Sovremennaya geneticheski uluchshennaya poroda tilyapii* [Modern genetically improved tilapia breed]. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. Seriya: Ryibnoe hozyaystvo*. no. 2. 69–75. [in Russian].
12. Salat posIvniy.URL: http://8benefit.pp.ua/2018/10/24/salat-latuk-salat-sijnyj/ (data zvernennya: 04.11.2019) [in Ukrainian].
13. Sokolov V.B., Fomichev A.M. (1989). *Nekotoryie ryibovodnyie pokazateli molodi Oreochromis mossambicus, podraschennoy lotkovyim sposobom pri raznom urovne vodoobmena* [Some fish-breeding indicators of juvenile Oreochromis mossambicus, raised by the trough method at different levels of water exchange]. Intensivnaya tehnologiya v ryibovodstve. Moscow: TSHA. 68–76. [in Russian].
14. Spott S. (1983). *Soderzhanie ryibyi v zamknutyih sistemah* [Fish keeping in closed systems]. Moskva: Legkaya i pischevaya promyishlennost. [in Russian].
15. UkrAgroKonsalt. URL: http://www.ukragroconsult.com/data/news/perspektivy-selskogo-hozyaistva (data zvernennya: 04.11.2019) [in Russian].
16. Harakteristika ta viroschuvannya salatu posIvnogo. URL: http://agroua.net/plant/catalog/cg-8/c-33/info/cag-59/ (data zvernennya: 04.11.2019) [in Ukrainian].
17. Shalgimbaeva S.M., Asyilbekova S.Zh., Sadvakasova A.K., Sarmoldaeva G.R., Kenzheeva A.N., Dzhumahanova G.B. (2016). *Izuchenie vliyaniya produktsionnyih kormov na mikrobiotsenoz organov tilyapii v ustanovkah zamknutogo vodoobespecheniya* [Study of the effect of production feeds on the microbiocenosis of tilapia organs in closed water supply facilities]. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. Seriya: Ryibnoe hozyaystvo*. no. 3. 94–99. [in Russian].

18. Chervinski J. (1961). On the spawning of *Tilapia nilotica* in brackish water during experiments in concrete tanks. *Bamidgeh*. no. 13. 71–74.
19. Chervinski J., Lahav M. (1976). The effect of exposure to low temperature on fingerlings of local tilapia (*Tilapia aurea*) and imported tilapia (*Tilapia vulkani*) and *Tilapia nilotica* in Israel. *Bamidgeh*, 1976. no. 28. 25–29.
20. Integrated Agriculture-aquaculture: A Primer, Issue 407. FAO, 2001.
21. Job S.V. (1969). The respiratority metabolism of Tilapia mossambica. 1. The effect of size, temperature and salinity. *Mar. Biol.(Berl.)*. 2(2). 121–126.
22. Job S.V. (1969). The respiratority metabolism of Tilapia mossambica. 1. The effect of size, temperature, salinity and partial pressure of oxygen. *Mar. Biol.(BerL)*. no. 3. 222–226.
23. Kelly H.D. (1966). Preliminary studies on Tilapia mossambica Peters relative to experimental pond culture. *Proc. Annu. Conf. Southeast Game fish Comm*. no. 10. 139-149.
24. Tomita-Yokotani K., Anilir S., Katayama N., Hashimoto H., Yamashita M. (2009). Space agriculture for habitation on mars and sustainable civilization on earth. *Recent Advances in Space Technologies*. 68-69.
25. Wangead C., Geater A., Tansakul R. (1988). Effect of acid water on survival and growth rate of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *The second international symposium on tilapia in aquaculture.* Bangkok, Tailand. no. 15. 433–437
26. Wilson A. Lennard, Brian V. Leonard (2006). A Comparison of Three Different Hydroponic Sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an Aquaponic Test System. *Aquaculture International*. Vol. 14. Issue 6. 539–550.
27. Yang Yi, Yi Y. (1998). A bioenergetics growth model for Nile tilapia based on limiting nutrients and fish standing crop in fertilized ponds. *Aquacultural Engineering*. Vol. 18. no. 3. 1998. 157–173.