

Комбінована дія *Chlorella vulgaris* Beijer. (*Chlorophyta*) та кремнієвмісного органічного добрива на продуктивність болгарського перцю, мікробіоценоз, алелопатичні та агрономічні характеристики ґрунту

**Заїменко Н.В.¹, Царенко П.М.², Дідик Н.П.¹, Іваницька Б.О.¹, Елланська Н.Е.¹,
Павлюченко Н.А.¹, Харитонов І.П.¹**

¹Національний ботанічний сад імені М.М. Гришка НАН України,
вул. Тимірязєвська, 1, Київ 01014, Україна
nataliya_didyk@ukr.net

²Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України,
вул. Терещенківська, 2, Київ 01004, Україна
ptsar@ukr.net

Надійшла до редакції 29.01.2022. Після доопрацювання 21.02. 2022. Підписана до друку 23.02.2022.
Опублікована 23.03.2022

Реферат. Досліджено комбіновану дію культуральної рідини зеленої мікроводорості *Chlorella vulgaris* та кремнійорганічного добрива (анальцим + низовий торф (рН 5,8) у співвідношенні 1 : 3) на показники росту, розвиток, фотосинтетичну продуктивність, врожайність та якість плодів болгарського перцю (*Capsicum annuum* L., сорт «Білозерка»), а також на мікробіоценоз, алелопатичні та агрономічні характеристики ґрунту у вегетаційних дослідях. Культуральну рідину мікроводоростей вносили в об'ємі 10 мл на вегетаційну посудину (0,7 л) з просіяним і стерильним сірим опідзоленим ґрунтом. Рослини вирощували у фітокамері за контрольованих умов освітлення, температури та вологості ґрунту. Життєвий стан рослин перцю оцінювали за морфометричними показниками росту (висота надземних частин, діаметр стебла, площа поверхні листків, довжина кореневої системи, біомаса сухої речовини надземних частин і коренів, кількість та біомаса плодів), вмістом фотосинтетичних пігментів у листках, захисних антиоксидантів (каротиноїдів, флавоноїдів та антоціанів) у плодах. Після закінчення експерименту визначали вміст фенольних сполук, показники електропровідності, окисновідновного потенціалу (ОВП), рН, вмісту NH_4^{++} , NO_3^- та HCO_3^- у ґрунтовому розчині. Встановлено синергічне посилення

позитивного ефекту мікрододоростей та кремнійорганічного добрива на ріст, розвиток, продуктивність та якість врожаю болгарського перцю. Спільне застосування культуральної рідини хлорели та кремнійорганічного добрива покращувало агрономічні та алелопатичні характеристики ґрунту, стимулювало розвиток агрономічно корисних еколого-трофічних груп мікроорганізмів, інтенсивність процесів мінералізації та трансформації органічної речовини порівняно з контролем та варіантами, за яких мікрододорість або добриво вносили порізно.

Ключові слова: *Chlorella vulgaris*, *Capsicum annuum*, мікробіоценоз ґрунту, алелопатичні взаємодії, біогенні елементи

Вступ

Інтенсифікація сільськогосподарського виробництва призвела до різкого зростання антропогенного впливу на довкілля, особливо на ґрунтові екосистеми, що викликало значне виснаження та деградацію останніх. На сьогодні площа еродованих сільськогосподарських угідь в Україні перевищує 40%, зростаючи щорічно на 80 тис. га (Bagorka, 2017). Втрати гумусу в середньому за рік становлять 0,4–0,8 т/га (Tarariko et al., 2011), а зростання дефіциту калію та фосфору – понад 40–60 кг/га (Grekov et al., 2008). Тому останнім часом увагу агровиробників привертають технології, спрямовані на підвищення родючості ґрунтів і отримання екологічно чистої продукції.

Сьогодні існують технології, які дозволяють певною мірою запобігти дегуміфікації та втратам макроелементів у сільськогосподарських ґрунтах. Це, зокрема, внесення органічних добрив, сидератів, сівозмін з багаторічними травами та бобовими культурами (Datsko, Maistrenko, 2012). Встановлено, що внесення органічних добрив суттєво збільшує запаси органічного вуглецю ґрунту, поліпшує його механічну структуру (здатність утримувати воду та поживні речовини). Окрім цього, регулярне застосування органічних добрив сприяє зростанню загальної чисельності та біорізноманіття мікрофлори і мікрофауни, а також ферментативної активності ґрунту (Diacono, Montemurro, 2010). Інтенсифікація мікробіологічних процесів у ґрунтовій екосистемі може сприяти зростанню емісії парникових газів, таких як CO₂, CH₄, NO₃, що має негативні наслідки, враховуючи сучасні кліматичні процеси (Uysal et al., 2015). Згідно до результатів фахівців, у традиційних системах землеробства за рахунок внесення добрив у середньому компенсується лише біля 40% поживних речовин, винесених з ґрунту з урожаєм (Grekov et al., 2008). Очевидно, що сучасні технології створення добрив потребують подальшого вдосконалення з метою підвищення їхньої ефективності та зниження негативних наслідків для клімату.

Встановлено, що додавання природних сорбентів (перліту, сапоніту, вермикуліту тощо) дозволяє суттєво знизити емісію CH₄, CO₂ та NO

органічними добривами (Vorobel et al., 2021). Дослідження показали ефективність альголізації ґрунту (тобто внесення живих культур мікроводоростей) на підвищення його родючості та зниження емісії парникових газів (Uysal et al., 2015). Біомаса водоростей містить високий відсоток макроелементів, значну кількість мікроелементів, амінокислот, а також регулятори росту, поліаміни, ферменти, вуглеводи, білки та вітаміни, що поліпшують ріст і врожайність сільськогосподарських рослин (Uysal et al., 2015).

Протягом останніх десятиліть розробляються та випробовуються різні рецептури біодобрив на основі водоростей для промислового виробництва. Також досліджується ефективність комбінованих добрив, які поєднують мікроводорості та мінеральні або органічні добрива (Uysal et al., 2015; Win et al., 2018). У господарствах різних регіонів світу мікроводорості успішно використовуються для підвищення родючості ґрунтів, поповнення запасів органічної речовини тощо. З цією метою застосовують зелені мікроводорості (*Chlorella vulgaris*, *Desmodesmus spinosus* (Chodat) E.Hegew. (= *Scenedesmus spinosus* Chodat), *Desmodesmus communis* (E.Hegew.) E.Hegew. (= *Scenedesmus quadricauda* (Turpin) Bréb.), *Tetradesmus obliquus* (Turpin) M.J.Wynne (= *Scenedesmus obliquus* Turpin), *Tetradesmus dimorphus* (Turpin) M.J. Wynne (= *Scenedesmus acutus* Meyen) та ціанопрокаріоти (види родини *Nostocaceae*) (Salnikova, 1977).

Основними перепонами широкому впровадженню мікроводоростей в сільськогосподарське виробництво є, насамперед, чутливість останніх до едафо-кліматичних умов (особливо до водного режиму ґрунту), а також недостатнє розуміння функціонування системи «біотичні та абіотичні чинники довкілля – мікроводорості–сільськогосподарські рослини». Окрім цього, велика різноманітність мікроводоростей все ще залишається не вивченою щодо їхнього агрономічного потенціалу (Chiaiese et al., 2018).

Підвищити стабільність біодобрив на основі водоростей можливо, комбінуючи їх з органічними або органо-мінеральними сорбентами, що захищатимуть від пересихання та забезпечать необхідними елементами мінерального живлення як водорості, так і судинні рослини.

Тому метою нашої роботи було вивчення впливу культуральної рідини зеленої кокоїдної водорості *Chlorella vulgaris* та комбінованого кремнійорганічного добрива (як окремо, так і в поєднанні) на розвиток та продуктивність рослин болгарського перцю, мікробіоценоз та агрохімічні характеристики ґрунту.

Вибір *C. vulgaris* зумовлений достатньо високим рівнем його вивчення та практичного застосування. Це перший вид мікроводоростей, який залучено до фізико-технологічних процесів та описано його алелопатичний вплив на інші мікроорганізми й судинні рослини. Зокрема, алелопатично активний екзометаболіт хлорели – хлорелін, характеризується високим

пригнічуючим ефектом щодо інших мікроскопічних водоростей та бактерій (Pratt, Fong 1940; цит. за: Dellagrecia et al., 2010). Завдяки цій властивості зазначений вид успішно застосовують як біологічний меліорант, що очищує водойми та покращує якість води. Окрім того, *C. vulgaris*, як і низка інших видів мікроскопічних зелених водоростей та ціанопрокаріот, продукує в значній кількості гормони росту рослин – цитокініни та ауксини (Stirk et al., 2011, 2013).

Chlorella vulgaris невибаглива до умов існування, є космополітом і завдяки простому життєвому циклу здатна інтенсивно розмножуватися: трапляється в прісних водоймах, морях, ґрунті та аерофітоні. Через високу фотосинтетичну продуктивність та репродуктивний потенціал може ефективно вилучати з атмосфери вуглекислий газ та депонувати його в складі органічного вуглецю ґрунту.

У ролі комбінованого органічного добрива нами використано суміш природного кремнієвмісного мінералу анальциму та низового торфу (pH 5,8) у співвідношенні 1 : 3. Анальцим ($\text{Na}[\text{A}_{18}\text{Si}_2\text{O}_6]\cdot\text{H}_2\text{O}$) – різновид туфів, складна суміш мінералів групи цеолітів з глинистою складовою монтморилоніту. Останній у своєму складі містить понад 30 біогенних макро- та мікроелементів. Попередніми дослідженнями встановлено, що екзогенний анальцим позитивно впливає на функціональний стан рослин і мікроорганізмів. Додаткове введення анальциму в ґрунт сприяє стимуляції розвитку кореневої системи рослин, покращує його агрофізичні показники (Zaimenko et al., 2015, 2017, 2021a), за рахунок збільшення вологості створює хімічне депо макро- і мікроелементів, підвищує стійкість рослин до абіотичних стрес-чинників (Zaimenko et al., 2016, 2021b).

Загалом анальцим і торф (як природні сорбенти) поліпшують здатність ґрунту утримувати воду та мінеральні речовини, запобігаючи пересиханню мікроводоростей, створюють додаткове депо макро- та мікроелементів і запобігають емісії парникових газів.

Матеріали та методи

Штам зеленої мікроводорості *Chlorella vulgaris* (порядок *Chlorellales*, клас *Trebouxiophyceae*, *Chlorophyta*) отримано з колекції Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України – IBASU-A шт. 190 (Borysova, Tsarenko, 2004). Досліджений штам є відомим продуцентом біомаси та потенційним кандидатом для виробництва біодизеля (Muzafarov, Taubaev, 1984; Tsarenko et al., 2016, 2017). Нарощування біомаси мікроводоростей проведено за єдиною схемою культивування в конічних колбах Ерленмеєра ємністю 250 та 500 мл на мінеральному середовищі Болда (1N BBM), при pH 6,6 (Bischoff, Bold, 1963) за стандартних умов лабораторного мінікультиватора (інтенсивне культивування з постійною барботацією повітряною

сумішшю) протягом 10 діб, з режимом чергування світлового та темного періоду 16 : 8, за температури $+23 \pm 5$ °C.

Тест-рослиною був болгарський перець (*Capsicum annuum* L., сорт «Білозерка»), що належить до сортів раннього терміну дозрівання. Завдяки високій врожайності, а також стійкості до фітопатогенів він є лідером серед інших сортів солодкого перцю в Україні.

Вегетаційні досліді проводили на базі відділу алелопатії Національного ботанічного саду імені М.М. Гришка НАН України упродовж 36 тижнів. Перед початком дослідів насіння перцю стерилізували 1%-ним розчином гіпохлориду натрію упродовж 5 хв, з наступним промиванням стерилізованою водою. Кремнійорганічне добриво та культуральну рідину *C. vulgaris* вносили одноразово в день посіву насіння в кількості 2 г та 10 мл на посудину (0,7 л) відповідно. Субстратом слугував сірий опідзолений ґрунт, підготовлений відповідним чином (Grodzinsky, Grodzinsky, 1973). У контрольний варіант вносили стерилізовану воду в тій самій кількості, що й культуральну рідину. Тест-рослини вирощували у фітокамері впродовж трьох тижнів за контрольованих умов освітлення 3500 лк, температури 26–28 °C, вологості ґрунту 50–60%. Вологість ґрунту визначали гравіметричним методом та підтримували на зазначеному рівні шляхом поливу стерилізованою водою.

Життєвий стан тест-рослин оцінювали за морфометричними показниками росту (висота надземних частин, діаметр стебла, площа поверхні листків, кількість квіток або плодів, маса плодів, довжина кореневої системи, біомаса сухої речовини надземних частин та коренів), а також фізіолого-біохімічними показниками: вміст фотосинтетичних пігментів у листках, каротиноїдів, флавоноїдів та антоціанів у плодах. Фотосинтетичні пігменти (хлорофіл *a*, *b* та каротиноїди) екстрагували зі свіжозібраних подрібнених листків диметилсульфоксидом (ДМСО). Кількісний вміст визначали спектрофотометрично згідно до A.R. Wellburn (1994) на спектрофотометрі Specord 2000 (Analytic Jena, 2003 р.). Флавоноїди екстрагували 70%-ним етанолом зі свіжозібраних листків упродовж доби в холодильнику. Кількісний вміст визначали спектрофотометрично, застосовуючи якісну реакцію з 10%-ним розчином $AlCl_3$ у 98%-ному етанолі за М. Комаровою (Komarova et al., 1998). Антоціани екстрагували 96%-ним етиловим спиртом з 1%-ним вмістом хлористоводневої кислоти. Кількісний вміст визначали спектрофотометрично згідно з Pisarev et al. (2010).

Вимірювання рН ґрунтового розчину після дослідів проводили на кондуктометрі Cond 315i (WTW GmbH, 2015 р.). Окисновідновний потенціал визначали за допомогою приладу pH/ORP Meter HI 2211 (Hanna Instruments, 2005 р.). Вміст розчинних карбонатів у ґрунтовому розчині встановлювали методом титрування сірчаною кислотою, додаючи

індикатор метил-оранж до зміни забарвлення розчину з жовтого на помаранчевий (Pecheneva, 1998). Вміст нітратів визначали у водній витяжці з ґрунту (1 : 10) за допомогою нітратоміру HORIBA LAQUAtwin NO₃-11 (Японія).

Алелопатичну активність ґрунту аналізували методами прямого біотестування та біологічних проб (водна витяжка з ґрунту 1,5 : 1,0) як приріст коренів крес-салату (*Lepidium sativum* L.) та огірка (*Cucumis sativus* L.) відповідно до літератури (Pavliuchenko, Jang, 2021). Цитостатичну дію водорозчинних сполук ґрунту досліджували за кількістю бічних коренів проростків *C. sativus* (Ivanov, 2011). Фенольні сполуки виділяли з ґрунту методом іонного обміну (десорбції), використовуючи іонообмінник КУ-2-8 (H⁺) як модель кореневої системи з розчинюючою та поглинальною здатністю стосовно рухливих органічних сполук (Pavliuchenko et al., 2021).

Чисельність основних функціональних груп мікроорганізмів визначали за загальноприйнятими в ґрунтовій мікробіології методиками висіву послідовних розведень ґрунтової суспензії на селективні агаризовані живильні середовища (Ellanska et al., 2021).

Статистичний аналіз результатів досліджень проводили за допомогою програмного забезпечення StatSoft Statistica 10.0 та Microsoft Office Excel 2007, використовуючи дисперсійний аналіз.

Результати та обговорення

Внесення як культуральної рідини (КР) *C. vulgaris*, так і кремнійорганічного добрива (КОД) у ґрунт перед посівом насіння перцю позитивно впливало на ріст, розвиток та продуктивність останнього (табл. 1). Рослини мали вищі показники біомаси надземних частин і коренів, площі листової поверхні та вмісту фотосинтетичних пігментів у листках, зав'язували більшу кількість плодів. При цьому внесення суміші КР *C. vulgaris* та кремнійорганічного добрива було більш ефективним порівняно із застосуванням зазначених компонентів окремо. Зокрема, у разі внесення суміші КР мікрородорості та кремнійорганічного добрива в кінці експерименту (252 доба після посіву), біомаса сухої речовини надземних частин, кореневої системи та плодів зростала на 60, 178 та 170% відповідно. У випадку внесення лише культуральної рідини зазначені показники зростали на 0, 134 та 85% відповідно, а за внесення тільки добрива – на 25, 124 та 106% відповідно.

Рослини болгарського перцю, які вирощували за сумісного внесення комбінованого кремнійорганічного добрива та КР *C. vulgaris*, швидше розвивалися, раніше зацвітали та формували плоди порівняно з рослинами, які обробляли лише одним компонентом суміші та необробленими рослинами в контролі (рис. 1).

Подібну тенденцію спостерігали при аналізі фізіолого-біохімічних показників життєвого стану тест-рослин (див. табл. 1). Оброблені тест-рослини відзначалися більшим вмістом фотосинтетичних пігментів (хлорофілу *a*, *b* та каротиноїдів) у листках, каротиноїдів, флавоноїдів та антоціанів у плодах.

Таблиця 1. Вплив культуральної рідини (КР) *Chlorella vulgaris*, кремнійорганічного добрива (КОД) та їхньої суміші на морфометричні та фізіолого-біохімічні показники життєвого стану тест-рослин болгарського перцю через 60, 180, 252 доби після посіву (середнє \pm стандартна похибка)

| Показник | Доба | Контроль | КР <i>C. vulgaris</i> | КОД | КР <i>C. vulgaris</i> + КОД |
|---|------|------------------|--------------------------|------------------|--------------------------------|
| Діаметр стебла, мм | 180 | 3,30 \pm 0,21 | 4,32 \pm 0,22 | 3,93 \pm 0,19 | 5,20 \pm 0,23 |
| | 252 | 6,47 \pm 0,23 | 7,72 \pm 0,21 | 7,48 \pm 0,21 | 7,78 \pm 0,17 |
| Висота надземних частин, см | 60 | 7,84 \pm 0,62 | 9,04 \pm 0,41 | 9,58 \pm 0,35 | 9,51 \pm 0,53 |
| | 180 | 29,93 \pm 1,24 | 45,03 \pm 1,65 | 44,23 \pm 1,74 | 52,81 \pm 2,16 |
| | 252 | 35,5 \pm 2,02 | 43,25 \pm 1,93 | 46,75 \pm 1,62 | 55,64 \pm 2,24 |
| Площа листків, см ² | 60 | 18,87 \pm 1,01 | 32,42 \pm 0,94 | 34,06 \pm 1,04 | 35,21 \pm 1,24 |
| | 180 | 64,37 \pm 1,82 | 81,99 \pm 3,04 | 76,55 \pm 2,67 | 115,04 \pm 3,94 |
| | 252 | 350 \pm 3,59 | 552,5 \pm 4,19 | 382,2 \pm 4,95 | 504,92 \pm 5,40 |
| Біомаса сухої речовини надземних частин, г | 60 | 0,32 \pm 0,02 | 0,68 \pm 0,02 | 0,66 \pm 0,04 | 0,78 \pm 0,02 |
| | 252 | 5,95 \pm 0,74 | 5,96 \pm 0,62 | 7,45 \pm 0,57 | 9,53 \pm 0,59 |
| Біомаса сухої речовини коренів, г | 60 | 0,09 \pm 0,01 | 0,16 \pm 0,01 | 0,12 \pm 0,01 | 0,29 \pm 0,02 |
| | 252 | 1,52 \pm 0,06 | 3,56 \pm 0,08 | 3,40 \pm 0,07 | 4,22 \pm 0,08 |
| Біомаса плодів, г | 252 | 4,89 \pm 0,11 | 9,03 \pm 0,15 | 10,10 \pm 0,17 | 13,19 \pm 0,14 |
| Хлорофіл <i>a</i> , мг/г сир. біомаси листків | 60 | 12,3 \pm 0,51 | 12,6 \pm 0,55 | 12,5 \pm 0,74 | 13,8 \pm 0,68 |
| | 180 | 11,6 \pm 0,54 | 14 \pm 0,58 | 13,6 \pm 0,63 | 14,4 \pm 0,69 |
| | 252 | 10,6 \pm 0,75 | 11,0 \pm 0,68 | 9,2 \pm 0,64 | 10,6 \pm 0,53 |
| Хлорофіл <i>b</i> , мг/г сир. біомаси листків | 60 | 5,4 \pm 0,41 | 5,8 \pm 0,34 | 5,7 \pm 0,38 | 6,4 \pm 0,36 |
| | 180 | 5,2 \pm 0,33 | 6,6 \pm 0,39 | 6,2 \pm 0,37 | 7,2 \pm 0,32 |
| | 252 | 5,80 \pm 0,38 | 5,22 \pm 0,34 | 5,74 \pm 0,36 | 5,51 \pm 0,35 |
| Каротиноїди, мг/г сир. біомаси листків | 60 | 1,70 \pm 0,11 | 1,80 \pm 0,12 | 1,80 \pm 0,11 | 2,00 \pm 0,12 |
| | 180 | 1,60 \pm 0,09 | 2,20 \pm 0,08 | 2,10 \pm 0,08 | 2,40 \pm 0,10 |
| | 252 | 1,81 \pm 0,10 | 2,28 \pm 0,09 | 2,06 \pm 0,09 | 2,44 \pm 0,08 |
| Каротиноїди, мг/г сир. біомаси плодів | 252 | 0,14 \pm 0,01 | 0,27 \pm 0,02 | 0,18 \pm 0,02 | 0,21 \pm 0,02 |
| Флавоноїди, мг/г сир. біомаси плодів | 252 | 0,25 \pm 0,02 | 0,49 \pm 0,03 | 0,96 \pm 0,02 | 0,47 \pm 0,02 |
| Антоціани, мг/г сир. біомаси плодів, г | 252 | 0,29 \pm 0,01 | 1,74 \pm 0,04 | 2,99 \pm 0,06 | 4,01 \pm 0,06 |

Внесення суміші (за виключенням останнього виміру в кінці експерименту) переважно стимулювало синтез фотосинтетичних пігментів

у листках порівняно з варіантами, в яких КР мікроводорості та кремнійорганічне добриво вносили окремо. Дещо нижчі значення вмісту хлорофілів *a* та *b* при внесенні суміші досліджених чинників наприкінці досліду можна пояснити перерозподілом асимілятів у плоди, маса яких була помітно більшою у разі внесення суміші.

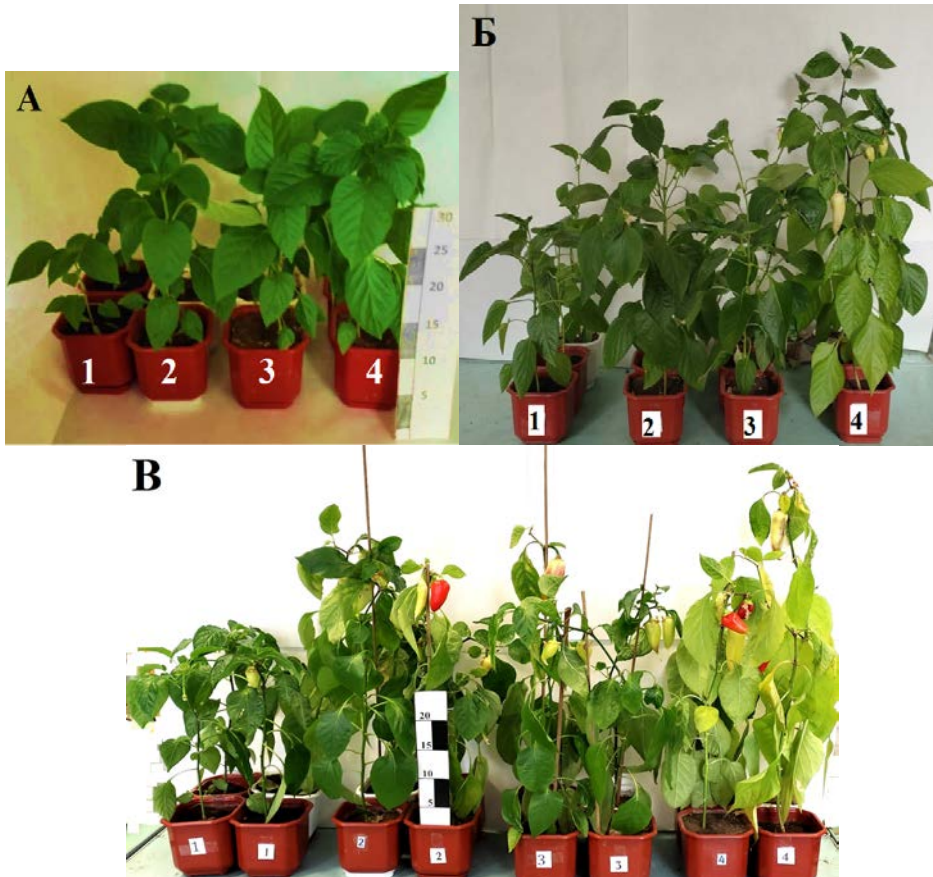


Рис. 1. Вплив культуральної рідини *Chlorella vulgaris*, кремнійорганічного добрива та їхньої суміші на ріст та продуктивність болгарського перцю через 60 (А), 180 (Б) діб та 252 (В) добу після посіву: 1 – контроль, без обробок; 2 – *Chlorella* 10 мл; 3 – анальцим 0,5 г + торф 1,5 г; 4 – анальцим 0,5 г + торф 1,5 г + *Chlorella* 10 мл

Фотосинтетична активність є одним з ключових чинників, що визначають продуктивність рослин (Andrianova, Tarchevskyi, 2000). Експериментальні рослини болгарського перцю мали більш розвинену площу листової поверхні (див. табл. 1) та вищий вміст хлорофілів у листках порівняно з контрольними. Це свідчить про інтенсивнішу енергію росту та вищу конкурентну спроможність рослин щодо бур'янів.

Виявлено позитивний вплив досліджених добрив на вміст антиоксидантів (каротиноїдів, флавоноїдів та антоціанів) у плодах тест-рослин болгарського перцю. Найвищим вмістом каротиноїдів відзначалися плоди перцю у разі внесення КР хлорели. Вміст флавоноїдів був найвищим за внесення КОД, антоціанів – за внесення суміші КР та КОД. Зростання вмісту вторинних метаболітів з антиоксидантною активністю свідчить про більш швидке дозрівання плодів і є показником зростання системної стійкості рослин до стресових факторів навколишнього середовища.

Порівняння отриманих результатів в разі внесення окремо КР *C. vulgaris* і кремнійорганічного добрива та їхньої суміші свідчить про синергічне посилення стимулюючого ефекту на показники росту, розвитку та функціонального стану рослин болгарського перцю (особливо кореневої системи), розвитку та фотосинтетичної продуктивності. Найбільша різниця між варіантами досліду (сумішшю та індивідуальними компонентами) простежується на 60-у та 180-у добу спостережень. На 252-у добу після посіву різниця у досліджених показниках була менш вираженою. Мікробіологічний аналіз зразків ґрунту, відібраних на 60-у добу після посіву насіння перцю, показав, що за внесення лише КР *C. vulgaris* зафіксовано зменшення чисельності мікроміцетів та актиноміцетів, при додаванні кремнійорганічного добрива спостерігається їхнє збільшення, дія суміші цих компонентів негативно впливає на кількісні показники мікроорганізмів (табл. 2).

Таблиця 2. Чисельність основних таксономічних та еколого-трофічних груп мікроорганізмів у зразках сірого опідзоленого ґрунту з додаванням КР мікрководорості *Chlorella vulgaris*, кремнійорганічного добрива та їхньої суміші

| Варіант досліджу | Мікро-міцети, тис. | Актино-міцети, млн | Амоніфікатори, млн | Мікроорганізми, що споживають мінеральний азот, млн | Коефіцієнт мінералізації-імобілізації | Показник трансформації органічної речовини |
|---------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---|---------------------------------------|--|
| Контроль | 35,7±5,3 | 2,2±0,1 | 6,7±0,2 | 7,6±0,6 | 1,1 | 13 |
| КР <i>C. vulgaris</i> | 14,4±0,6 | 0,8±0,1 | 10,2±1,0 | 8,1±0,7 | 0,9 | 20,3 |
| Анальцим + торф | 45,0±1,7 | 2,1±0,1 | 16,4±1,6 | 8,1±0,3 | 0,5 | 50,0 |
| КР <i>C. vulgaris</i> + анальцим+торф | 26,9±1,1 | 1,0±0,1 | 24,2±0,7 | 12,7±0,8 | 0,5 | 73,8 |

Для всіх трьох варіантів дослідів встановлена стимуляція розвитку та зростання активності мікроорганізмів-імобілізаторів органічного та мінерального азоту. Амоніфікатори розвивалися інтенсивніше як за внесення КР мікрододорості, так і за додавання анальциму з торфом. При сумісному внесенні їхня чисельність збільшувалася в 3,6 рази. Для мікроорганізмів, що споживають мінеральний азот, також відзначено зростання їхньої кількості за сумісної дії КР і кремнійорганічного добрива, але меншою мірою. Процеси мінералізації сприяли накопиченню органічної речовини в ґрунті.

Методом прямого біотестування ґрунту продемонстровано ріст-стимулюючу реакцію рослин-акцепторів (*L. sativum*) під впливом культуральної рідини *C. vulgaris*, особливо її комбінованої дії з кремнійорганічним добривом (табл. 3).

Таблиця 3. Вплив внесення культуральної рідини (КР) *Chlorella vulgaris* на алелопатичні та цитостатичні властивості ґрунту під болгарським перцем, % контролю (середнє \pm стандартна похибка)

| Варіант дослідів | Цитостатична дія | Алелопатична активність | |
|---------------------------------------|------------------|-------------------------|------------------------|
| | | <i>Lepidium sativum</i> | <i>Cucumis sativus</i> |
| КР <i>C. vulgaris</i> | 107 \pm 2,1 | 110 \pm 3,3 | 121 \pm 4,0 |
| Анальцим + торф | 121 \pm 3,6 | 106 \pm 3,1 | 130 \pm 3,9 |
| КР <i>C. vulgaris</i> + анальцим+торф | 135 \pm 4,0 | 118 \pm 3,5 | 140 \pm 4,2 |

Алелопатична активність гідрофільних сполук ґрунту під перцем при додаванні окремо КР *C. vulgaris* і кремнійорганічного добрива характеризується найбільшим рістстимулюючим проявом, а саме: 21–40% за відношенням до контролю (див. табл. 3).

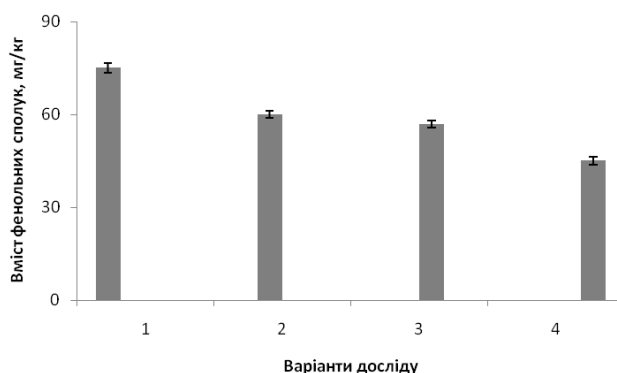


Рис. 2. Вміст фенольних сполук у ґрунті під перцем при внесенні культуральної рідини КР *Chlorella vulgaris* і кремнійорганічного добрива, мг/кг: 1 – контроль; 2 – КР *C. vulgaris*; 3 – анальцим + торф; 4 – КР *C. vulgaris* + анальцим + торф

Спостерігалось посилення проліферації клітин порівняно з контролем за внесення кремнійорганічного добрива як окремо, так і в суміші з КР *C. vulgaris* (див. табл. 3).

Концентрація вільних фенольних сполук, рухливі форми яких за певних умов можуть спричиняти алелопатичні ефекти, знижувалася в 1,2–1,7 раза відповідно до контролю, причому більшою мірою під впливом комбінованої дії КР і кремнійорганічного добрива (рис. 2).

Агрохімічний аналіз зразків ґрунту, відібраних на 60-у та 252-у добу після посіву, показав, що внесення кремнійорганічного добрива в ґрунт сприяє зменшенню показників окисновідновного потенціалу, електропровідності та дихання, особливо при сумісному використанні з культуральною рідиною (див. табл. 3).

Внесення КР *C. vulgaris* на 60-у добу досліджень сприяло незначному зміщенню рН ґрунтового розчину в бік нейтральної реакції, однак на 252-у добу спостерігалось зростання показників у лужний бік у всіх варіантах досліді, окрім варіанта з внесенням суміші кремнійорганічного добрива та КР *C. vulgaris*, при цьому рН зберігався на рівні 6,8–6,9 (табл. 4).

Таблиця 4. Вплив культуральної рідини *Chlorella vulgaris* та кремнійорганічного добрива на агрофізичні показники ґрунту за вирощування солодкого перцю

| Варіант досліді | Доба | рН | ОВП, мВ | ЕС, мСм | HCO ₃ , м·екв/л H ₂ O | NH ₄ ⁺ , мг/кг | NO ₃ ⁻ , ppm |
|--|------|-----|------------|------------|--|---|---------------------------------------|
| Контроль | 60 | 6,5 | 122 | 178 | 0,3 | 1,5 | 54 |
| | 252 | 7,3 | 181 | 417 | 0,4 | 3,8 | 68 |
| КР <i>C. vulgaris</i> | 60 | 6,8 | 108 | 168 | 0,4 | 2,6 | 47 |
| | 252 | 7,4 | 171 | 554 | 0,5 | 3,9 | 69 |
| Анальцим + торф | 60 | 6,5 | 98 | 156 | 0,2 | 1,2 | 42 |
| | 252 | 7,7 | 164 | 447 | 0,6 | 4,9 | 82 |
| Анальцим + Торф + КР <i>C. vulgaris</i> | 60 | 6,8 | 87 | 90 | 0,2 | 2,1 | 24 |
| | 252 | 6,9 | 168 | 591 | 0,3 | 3,2 | 93 |

Показники окисновідновної активності ґрунту (ОВП) упродовж 252 діб експерименту зростали від 43 до 98%. Більш низькі їхні значення на 60-у добу експерименту можна пояснити інтенсивним розростанням кореневої системи рослин перцю та посиленням відновних процесів у ґрунті в результаті розвитку мікроорганізмів. Такі зміни значень ОВП і NO₃ у ґрунті пов'язані з азотфіксуючою спроможністю *C. vulgaris*, яка підвищується за присутності кремнію, та відповідним зростанням чисельності амоніфікаторів. Крім того, у разі сумісного внесення кремнійорганічного добрива і культуральної рідини спостерігається секвестрація CO₂ і збільшення процесів трансформації органічної речовини. Отримані дані щодо більшого вмісту нітратного азоту в

обмеженому об'ємі ґрунту свідчать про інгібування процесів нітрифікації, які сприяють рівномірному надходженню NO_3 до рослинних організмів упродовж всього вегетаційного періоду (Zaimenko et al., 2020).

Зростання показників електропровідності (ЕС) ґрунтового розчину в досліді та контролі позитивно корелює з показниками розвитку кореневої системи – чим більша маса коренів, тим вищий показник ОВП (див. табл. 1, 4). Отримані дані потребують подальшого дослідження алелопатичних механізмів взаємодії в системі рослини–мікроорганізми–мікроводорості.

Позитивний вплив від внесення культури *Chlorella* sp. на родючість ґрунту показано в літературі (Dineshkumar et al., 2019; Kirsanova, 2020). Встановлено, що інокуляція ґрунту *Chlorella* sp. сприяє зростанню ферментативної активності, накопиченню органічної речовини, підвищенню біодоступності мінеральних елементів (Barone et al., 2019; Tsarenko et al., 2021). Застосування культуральної рідини мікроводоростей передбачає їхнє вирощування *in situ* без окремого процесу культивування зі зменшенням витрат, пов'язаних з екстракцією біостимуляторів або висушуванням біомаси водоростей (Barone et al., 2019).

Синергічне посилення стимулюючого ефекту від сумісного внесення кремнійорганічного добрива та культуральної рідини *C. vulgaris*, виявлене в наших дослідженнях, можна пояснити стимуляцією розвитку та метаболічної активності клітин мікрооводорості внаслідок покращення водоутримуючих властивостей ґрунту, балансу процесів мінералізації та трансформації органічної речовини в ґрунті. Аналіз літературних даних підтверджує цей висновок.

Встановлено, що в разі сумісного застосування *C. vulgaris* та вермікомпосту як біодобрива спостерігається помітне зростання стабільності ґрунтових агрегатів і органічного вуглецю в ґрунті порівняно з контролем (без обробок) (Yilmaz, Sönmez, 2017). Сумісне застосування мікроводоростей *Chlorella vulgaris* та *Spirulina platensis* з коров'ячим гноєм стимулює процеси росту та розвитку і покращує якість врожаю кукурудзи (Wuang et al., 2016; Dineshkumar et al., 2019). Встановлено (Wuang et al., 2016), що сумісне застосування *S. platensis* з мінеральними добривами значно підвищує позитивний ефект компонентів суміші на накопичення сухої біомаси та вміст хлорофілу в листках овочевих культур, зокрема руколи (*Eruca sativa* (L.) Mill.), амаранту червоного (*Amaranthus gangeticus* L.), китайської листової капусти (*Brassica rapa* ssp. *chinensis*) та китайської броколі (*Brassica oleracea alboglabra*).

Вважаємо за доцільне вести подальші наукові розробки зі створення комбінованих біодобрив на основі мікроводоростей та кремнійвмісного органомінерального матеріалу.

Висновки

Отримані нами результати підтверджують перспективність використання *Chlorella vulgaris* як біодобрива в посівах сільськогосподарських культур. Встановлено синергічне посилення стимулюючого ефекту на показники росту, розвитку, продуктивності, якості врожаю, вмісту захисних вторинних метаболітів з антиоксидантними властивостями в експериментальних рослинах болгарського перцю у разі сумісного застосування культуральної рідини *C. vulgaris* з кремнійорганічним добривом (анальцим + торф у співвідношенні 1 : 3). При внесенні суміші спостерігається позитивний ефект на досліджені агрономічні показники ґрунту, а також алелопатичний режим, чисельність різних еколого-трофічних груп мікроорганізмів, інтенсивність процесів мінералізації та трансформації органічної речовини.

Висловлюємо щиру вдячність канд. біол. наук О.В. Борисовій за формування маточного інокулята штаму Chlorella vulgaris.

Список літератури

- Andrianova Yu.E., Tarchevskiy I.A. 2000. *Chlorophyll and plants productivity*. Moscow: Nauka. 135 p.
[Андрианова Ю.Е., Тарчевский И.А. 2000. *Хлорофилл и продуктивность растений*. М.: Наука. 135 с.].
- Bagorka M.O. 2017. Comprehensive environmental and economic assessment of land use in Ukraine. *Sci. Bull. Int. Human. Univ. Ser: Economics and Management*. 27: 56–59. [Багорка М.О. 2017. Комплексна еколого-економічна оцінка землекористування в Україні. *Наук. вісник міжнар. гуманіст. ун-ту*. Сер.: Економіка і менеджмент. 27: 56–59].
- Barone V., Puglisi I., Fragalà F., Stevanato P., Baglieri A. 2019. Effect of living cells of microalgae or their extracts on soil enzyme activities. *Arch. Agron. Soil Sci.* 65(5): 712–726.
<https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1521513>
- Bischoff H.W., Bold H.C. 1963. Phycological studies. IV. Some soil algae from Enchanted Rock and related algal species. *Univ. Texas Publ.* 6318: 1–95.
- Borisova E.V., Tsarenko P.M. 2004. Microalgae Culture Collection of Ukraine (IBASU-A): traditions and modern directions. *Nova Hedw.* 79(1–2): 127–134.
- Chiaiese P., Corrado G., Colla G., Kyriacou M.C., Rouphael Y. 2018. Renewable sources of plant biostimulation: microalgae as a sustainable means to improve crop performance. *Front. Plant Sci.* 9: 1782. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01782>
- Datsko L.V., Maistrenko M.I. 2012. Ecological and economic aspects of sustainable land use for soil fertility reproduction. *Soil Fertility Protect.* 8: 24–39. [Дацько Л.В., Майстренко М.І. 2012. Екологічні та економічні аспекти сталого землекористування для відтворення родючості ґрунтів. *Охорона родючості ґрунтів*. 8: 24–39.]

- Dellagrecia M., Zarrelli A., Fergola P., Cerasuolo M., Pollio A., Pinto G. 2010. Fatty acids released by *Chlorella vulgaris* and their role in interference with *Pseudokirchneriella subcapitata*: experiments and modeling. *J. Chem. Ecol.* 36: 339–349.
- Diacono M., Montemurro F. 2010. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 30(2): 401–422.
- Dineshkumar R., Subramanian J., Gopalsamy J., Jayasingam P., Arumugam A., Kannadasan S., Sampathkumar P. 2019. The impact of using microalgae as biofertilizer in maize (*Zea mays* L.). *Waste Biomass Valor.* 10: 1101–1110. <https://doi.org/10.1007/s12649-017-0123-7>
- Elalami D., Oukarroum A., Baraka A. 2021. Anaerobic digestion and agronomic applications of microalgae for its sustainable valorization. *RSC Adv.* 11: 26444–26462. <https://doi.org/10.1039/D1RA04845G>
- Ellanska N.E., Yunosheva O.P., Miao T. 2021. In: *Modern methods in allelopathic research. Methodical manual*. Kyiv: Lira-K. Pp. 107–112. [Елланська Н.Е., Юношева О.П., Мiao Т. 2021. Методи мікробіологічного аналізу ґрунту. В кн.: *Сучасні методи в алелопатичних дослідженнях. Методичний посібник*. Київ: Ліра-К. С. 107–112.]
- Grekov V.O., Datsko L.V., Poshediv N.D., Datsko M.O. 2008. Balance of nutrients in the soils of Ukraine and its dynamics. *Protection of soil fertility.* 4: 46–50. [Греков В.О., Дацько Л.В., Пошедів Н.Д., Дацько М.О. 2008. Баланс поживних речовин у ґрунтах України та його динаміка. *Охорона родючості ґрунтів*. 4: 46–50].
- Grodzinsky A.M., Grodzinsky D.M. 1973. *A brief guide to plant physiology*. Kyiv: Naukova Dumka. 592 p. [Гродзинский А.М., Гродзинский Д.М. 1973. *Краткий справочник по физиологии растений*. Київ: Наук. думка. 592 с.].
- Ivanov V.B. 2011. Using the roots as test objects for the assessment of biological action of chemical substances. *Rus. J. Plant Physiol.* 58(6): 1082–1089. <https://doi.org/10.1134/S1021443711060082>
- Kirsanova V.V. 2020. Expediency of cultivation and use of microalgae (*Chlorella*) as organic fertilizers (Electronic resource). *Environ. Sci.* 1: 311–315. [Кірсанова В.В. 2020. Доцільність обробітку та використання мікроводоростей (*Chlorella*) як органічних добрив (Електронний ресурс). *Екол. науки*. 1: 311–315]. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.1-28.52>
- Komarova M.N., Nikolaeva L.A., Regir V.G., Tesov L.S., Kharitonova N.P., Shatokhina R.K. 1998. *Phytochemical analysis of medicinal plant raw materials: Methodical instructions for laboratory classes*. SPb.: SPHFA. 60 p. [Комарова М.Н., Николаева Л.А., Регир В.Г., Тесов Л.С., Харитоновна Н.П., Шатохина Р.К. 1998. *Фитохимический анализ лекарственного растительного сырья: Методические указания к лабораторным занятиям*. СПб.: СПХФА. 60 с.].
- Muzafarov A.M., Taubaev T.T. 1984. *Cultivation and application of microalgae*. Tashkent: FAN. 137 p. [Музафаров А.М., Таубаев Т.Т. Культивирование и применение микроводорослей. Ташкент: ФАН. 137 с.].
- Pavliuchenko N.A., Jang X. 2021. In: *Modern methods in allelopathic research. Methodical manual*. Kyiv: Lira-K. Pp. 74–89. [Павлюченко Н.А., Янг Х. 2021. Методи експрес-оцінювання алелопатичної активності (біотести). В кн.: *Сучасні методи в алелопатичних дослідженнях: Методичний посібник*. Київ: Ліра-К. С. 74–89.]

- Pavliuchenko N.A., Didyk N.P., Li L. 2021. In: *Modern methods in allelopathic research: Methodical manual*. Kyiv: Lira-K. Pp. 117–147. [Павлюченко Н.А., Дідик Н.П., Лі Л. 2021. Колориметричні методи аналізу аелопатично активних речовин у рослинному матеріалі та ґрунті. В кн.: *Сучасні методи в аелопатичних дослідженнях: Методичний посібник*. Київ: Ліра-К. С. 117–147].
- Pecheneva S.Ia. 1998. Agrochemical analysis methods. *Havrysh*. 4: 24–26. [Печенева С.Я. 1998. Методи агрохімічного аналізу. *Гавриш*. 4: 24–26].
- Pisarev D.I., Novikov O.O., Sorokopudov V.N., Khalikova M.A., Zhilyakova E.T., Ogneva O.V. 2010. Chemical study of biologically active polyphenols of some varieties of mountain ash – *Sorbus aucuparia*. *Sci. Bull. Ser. Medicine. Pharmacy*. 93(12/2): 123–128. [[Писарев Д.И., Новиков О.О., Сорокопудов В.Н., Халикова М.А., Жилякова Е.Т., Огнева О.В. 2010. Химическое изучение биологически активных полифенолов некоторых сортов рябины обыкновенной – *Sorbus aucuparia*. *Научные ведомости*. Сер. Медицина. Фармация. 93(12/2): 123–128].
- Salnikova M.Ya. 1977. *Chlorella is a new type of fodder*. Moscow: Kolos. 96 p. [Сальникова М.Я. 1977. *Хлорелла – новый вид корма*. М.: Колос. 96 с.].
- Stirk W.A., Bálint P., Tarkowská D., Novák O., Strnad M., Ördög V., van Staden J. 2013. Hormone profiles in microalgae: Gibberellins and brassinosteroids. *Plant Physiol. Biochem*. 70: 348–353.
- Stirk W.A., van Staden J., Novák O., Doležal K., Strnad M., Dobrev P.I., Sipos G., Ördög V., Bálint P. 2011. Changes in endogenous cytokinin concentrations in *Chlorella* (*Chlorophyceae*) in relation to light and the cell cycle. *J. Phycol.* 47(2): 291–301. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2010.00952.x>
- Tarariko O.G., Grekov V.O., Datsko L.V. 2011. Mechanisms and technologies of soil fertility control. *Bull. Agrar. Sci*. 11: 16–19. [Тараріко О.Г., Греков В.О., Дацько Л.В. 2011. Механізми і технології контролю родючості ґрунтів. *Вісн. аграр. науки*. 11: 16–19].
- Tsarenko P., Borysova O., Blume Ya. 2016. High biomass producers and promising candidates for biodiesel production from microalgae collection IBASU-A (Ukraine). *Oceanol. Hydrobiol. Stud*. 73(1): 79–85.
- Tsarenko P.M., Konischuk M.A., Korkhovoy V.I., Kostikov I.Yu., Blume Ya.B. 2017. Fatty acid composition of cocoid green algae as a basis of their energy and primary products potential. 1. *Chlorella*- and *Acutodesmus*-like microalgae (*Chlorophyta*). *Int. J. Algae*. 19(4): 365–382. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v19.i4.70>
- Tsarenko P.M., Zaimenko N.V., Didyk N.P., Ivanytska B.O., Kharitonova I.P., Demchenko E.M. 2021. Allelopathic effect of microalgae on winter wheat plants. *Int. J. Algae*. 23(4): 411–420. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v23.i4.80>
- Uysal Ö., Ozdemir F., Ekinci K. 2015. Evaluation of microalgae as microbial fertilizer. *Eur. J. Sustain. Dev*. 4: 77–82. <https://doi.org/10.14207/ejsd.2015.v4n2p77>
- Vorobel M.I., Kaplinsky V.V., Klim O.Ya., Dmitrotsa A.I. 2021. Emission of greenhouse gases in chicken manure when using natural sorbents. *Foothill and mountain agriculture and animal husbandry*. 69(1): 169–182. [Воробель М.І., Каплінський В.В., Клим О.Я., Дмитроца А.І. 2021. Емісія парникових газів у курячому посліді при застосуванні природних сорбентів. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 69(1): 169–182].

- Wellburn A.R. 1994. The Spectral Determination of Chlorophylls a and b, as well as Total Carotenoids, Using Various Solvents with Spectrophotometers of Different Resolution. *J. Plant Physiol.* 144(3): 307–313. [https://doi.org/10.1016/s0176-1617\(11\)81192-2](https://doi.org/10.1016/s0176-1617(11)81192-2)
- Win T.T., Barone G.D., Secundo F., Fu P. 2018. Algal biofertilizers and plant growth stimulants for sustainable agriculture. *Ind. Biotechnol.* 14: 203–211. <https://doi.org/10.1089/ind.2018.0010>
- Wuang S.C., Khin M.C., Chua P.Q.D., Luo Y.D. 2016. Use of *Spirulina* biomass produced from treatment of aquaculture wastewater as agricultural fertilizers. *Algal Res.* 15: 59–64. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2016.02.009>
- Yilmaz E., Sönmez M. 2017. The role of organic/bio-fertilizer amendment on aggregate stability and organic carbon content in different aggregate scales. *Soil Tillage Res.* 168: 118–124. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.01.00>
- Zaimenko N.V., Didyk N.P., Ivanytska B.O., Pavluchenko N.A., Kharytonova I.P. 2015. The effect of silicon-containing mixtures on the growth of maize seedlings, allelopathic and physico-chemical properties of the substrate at different levels of acidification. *Physiol. Genet. Plants* 47(4): 347–353. [Заїменко Н.В., Дідик Н.П., Іваницька Б.О., Павлюченко Н.А., Харитонов І.П. 2015. Вплив кремнієвмісних сумішей на ріст проростків кукурудзи, алелопатичні та фізико-хімічні властивості субстрату за різного рівня його закислення. *Фізіол. рослин і генетика*. 47(4): 347–353].
- Zaimenko N.V., Didyk N.P., Ellanska N.E., Ivanytska B.O., Pavluchenko N.A., Rakhmetov D.B., Kharytonova I.P. 2016. Implementation of new technique for phyto- and chemical melioration of acidic and saline soils. *Sci. Innov.* 12(1): 58–68. <https://doi.org/10.15407/scine12.01.058>
- Zaimenko N.V., Pavluchenko N.A., Ellanska N.E., Yunosheva O.P., Ivanytska B.O., Kharytonova I.P., Didyk N.P., Rositska N.V. 2017. Prospects of application of a siliceous organo-mineral mixture to reduce the soil sickness in orchards. *Rep. Nat. Acad. Sci. Ukraine.* 11: 76–82. [Заїменко Н.В., Павлюченко Н.А., Елланська Н.Е., Юношева О.П., Іваницька Б.О., Харитонов І.П., Дідик Н.П., Росіцька Н.В. 2017. Перспективи застосування кремнієвмісної органо-мінеральної суміші для зниження ґрунтової в плодових садах. *Доп. НАН України*. 11: 76–82. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2017.11.076>
- Zaimenko N., Ivanytska B.O., Didyk N., Malashchuk O., Rakhmetov D., Gryshko V., Poliakova A., Pyzyk M., Slaski J. 2021a. Effect of analcite on cadmium phytoavailability and phytotoxicity. *Plant Introduct.* (91/92): 64–73. <https://doi.org/10.46341/PI2021014>
- Zaimenko N.V., Didyk N.P., Ellanska N.E., Rositska N., Kharytonova I., Yunosheva O. 2021b. Implementation of modern technologies to alleviate soil sickness in urban green areas. *Sci. Innov.* 17(1): 64–77. <https://doi.org/10.15407/scine17.01.064>
- Zaimenko N.V., Ivanytska B.O., Didyk N.P., Kharytonova I.P. 2020. *Use of Siliceous Minerals as Natural Nitrification*: 1st Int. Electron. Conf. Plant Sci. (1–15 Dec. 2020); Available online: <https://iecps2020.sciforum.net>

Підписала до друку О.К. Золотарьова

Zaimenko N.V.¹, Tsarenko P.M.², Didyk N.P.¹, Ivanytska B.O.¹, Ellanska N.E.¹, Pavliuchenko N.A.¹, Kharytonova I.P.¹ 2022. **Combined effect of *Chlorella vulgaris* Beijer. (*Chlorophyta*) and silicon-containing organic fertilizer on the productivity of sweet pepper, microbiocenosis, allelopathic and agronomic characteristics of the soil.** *Algologia*. 32(1): 3–19.

¹M.M. Grishko National Botanical Garden, NAS of Ukraine,

1 Tymiryazivska Str., Kyiv 01014, Ukraine

²M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine,

2 Tereshchenkivska Str., Kyiv 01601, Ukraine

The combined effect of green microalgae *Chlorella vulgaris* and siliceous organo-mineral fertilizer (analcite + peat (pH 5.8) in a ratio of 1 : 3) on the characteristics of growth, development, photosynthetic productivity, yield and fruit quality of sweet pepper (*Capsicum annuum* L., variety "Bieloziorka"), as well as microbiocenosis, allelopathic and agronomic characteristics of the soil was studied in pot experiments. The microalgae culture medium was applied in a volume of 10 mL per a pot (0.7 L) with sifted and sterilized gray podzolic soil. Plants were grown in a phytochamber under controlled conditions of light, temperature and soil moisture. The vitality of the pepper plants was assessed by morphometric growth characteristics (shoot height, stem diameter, leaf surface area, length of roots, shoot and root dry weights, quantity and weight of fruits), content of photosynthetic pigments in leaves, protective antioxidants (carotenoids, flavonoids and anthocyanins) in fruits. At the end of the experiment, the content of phenolics, electric conductivity, redox potential, pH, the content of NH_4^{4+} , NO_3^{3-} and HCO_3^{3-} in the soil solution were determined. A synergistic enhancement of the positive effect of microalgae and siliceous organo-mineral fertilizer on the growth, development, productivity and yield quality of sweet peppers has been established. The combined application of chlorella culture medium with siliceous organo-mineral fertilizer more effectively improved agronomic and allelopathic characteristics of the soil, stimulated the development of agronomically useful ecological and trophic groups of microorganisms, the intensity of mineralization and transformation of organic matter compared to control and treatments in which microalgae or fertilizer were applied separately.

Key words: *Chlorella vulgaris*, *Capsicum annuum*, soil microbiocenosis, allelopathic interactions, nutrients