

Корисна модель належить до галузі сільського господарства, агробіотехнологій та екологічної біології, зокрема до технологій отримання на основі корисної мікрофлори біостимулюючих композицій, призначених для підвищення продуктивності рослин, покращення агрофізичних властивостей ґрунту та підтримання екологічної стабільності агроценозів.

Запропонований спосіб може застосовуватись для обробки насіння (праймінгу), внесення у ґрунт та фоліарного застосування для стимуляції проростання, розвитку кореневої системи, підвищення стійкості до абіотичних стресів.

Запропонована корисна модель є придатною для використання в системах органічного землеробства, регенеративного агровиробництва та локальних фермерських господарствах, де важливою є адаптація біостимулюючих засобів до конкретних ґрунтово-кліматичних умов.

Сучасне агровиробництво перебуває під тиском низки викликів, серед яких - зниження біологічної активності ґрунтів, деградація ризосферної мікробіоти та посилення абіотичних стресів, спричинених кліматичними коливаннями. Ці процеси ускладнюються загальною деградацією ґрунтів, активізацією ерозійних явищ, зменшенням вмісту органічної речовини, техногенним навантаженням, забрудненням та недосконалістю агротехнологій. У сукупності вони призводять до екологічної розбалансованості агроєкосистем і, як наслідок, знижують ефективність агровиробництва.

Зростання екологічних ризиків втрати продуктивності агроценозів актуалізує потребу в розробці агротехнологій, здатних забезпечити стійкість культур до абіотичних стресів, зберегти агробіорізноманіття та мінімізувати антропогенне навантаження на довкілля.

Ключовим чинником екологічної стабілізації є відновлення здорового мікробіому сільськогосподарських рослин - складного, динамічного угруповання ґрунтових мікроорганізмів, що забезпечує фізіологічну оптимізацію, трофічну стабільність, стресостійкість рослин і оздоровлення ґрунту.

У цьому контексті біопрепарати набувають стратегічного значення як ключовий інструмент формування резиліентності агроценозу - здатності агроєкосистем адаптуватися до стресових чинників, відновлювати функціональність і зберігати продуктивність у змінному середовищі.

Це визначає потребу у створенні біостимулюючої композиції, яку можна формувати безпосередньо в умовах застосування (*in situ*), з використанням доступних ресурсів, і яка здатна та підтримувати самостабілізацію і функціональну активність у локальних конкретних умовах використання. Така композиція сприятиме формуванню ґрунтового та рослинного імунітету, підвищенню резиліентності та розвитку імунної пам'яті цільової агроєкосистеми.

Натомість більшість існуючих біостимулюючих засобів, отриманих *ex situ* в лабораторних умовах, демонструють обмежену адаптивність до локальних ґрунтово-кліматичних умов, потребують стерильного середовища та складної технологічної підтримки. Ці підходи не враховують потенціал формування *in situ* природного консорціуму мікроорганізмів, здатного до адаптації без стерилізації та ізоляції штамів - що відкриває нові горизонти для екологічно інтегрованих агротехнологій.

Композиції, що містять хлорелу (*Chlorella* spp.), активно використовують в агробіотехнологіях як біостимулюючі, біозахисні та біоремедіаційні засоби. Завдяки високому вмісту біоактивних речовин, хлорела здатна впливати на фізіологічний стан рослин, мікробіоту ґрунту та загальну резиліентність агроєкосистеми.

Потенціал хлорели в агрокомпозиціях проявляє через низку біологічних функцій, що забезпечують комплексний технічний ефект. Зокрема, хлорела сприяє біостимуляції росту рослин шляхом активації фотосинтезу та покращення розвитку кореневої системи. Її антистресова дія підвищує толерантність культур до абіотичних чинників, таких як засуха, засолення та температурні коливання. Завдяки здатності індукувати системний захист, хлорела виконує функцію біозахисту, пригнічуючи розвиток патогенних мікроорганізмів. У межах біоремедіаційної активності вона знижує токсичність ґрунту, адсорбує важкі метали та сприяє детоксикації середовища. Крім цього, хлорела забезпечує живильну підтримку ризосферної мікробіоти, стимулюючи розвиток корисних мікроорганізмів і стабілізуючи мікробний баланс агроєкосистеми.

Відомі способи запропоновані у патенті US 11,746,067 B2 (Пат. US 11,746,067 B2 "Methods and compositions for treating soil and plants" / Blotsky L., Hastings K.L., Zellars D.Q.; патентовласник Core Intellectual Properties Holdings LLC. - Заявл. 29.10.2019; опубл. 05.09.2023, USPTO), де описані композиції на основі мікрородоростей застосовують як біостимулятори для рослин, але їх отримання здійснюють в умовах промислового виробництва з використанням складних технологічних систем. Усі описані способи формування біостимулюючих композицій реалізують в умовах промислового виробництва, з використанням спеціального обладнання, контрольованого середовища та багаторівневої технології. Композиції не формують *in situ*, а готують заздалегідь, проходять стабілізацію і потім вносять у ґрунт або на рослини. Застосування у праймінг насіння не передбачається.

У міжнародній заявці WO 2017/044774 A1 (Заявка WO 2017/044774 A1, "Microalgae-based compositions and methods for application to plants" / Shinde S., Ventre S., Mathilakathu Madathil M., Carney L., Wheeler J., Heliae Development, LLC; заявл. 09.09.2016; опубл. 16.03.2017, WIPO) та її канадському

аналозі CA 2995741 A1 (Заявка CA 2995741 A1, "Microalgae-based compositions and methods for application to plants" / Shinde S., Ventre S., Mathilakathu Madathil M., Carney L., Wheeler J., Heliae Development, LLC; заявл. 09.09.2016; опубл. 14.02.2018, Canadian Intellectual Property Office) описано способи застосування рідких композицій на основі мікроводоростей для стимуляції росту рослин, покращення їхньої врожайності та обробки ґрунту, зокрема шляхом внесення у ґрунт, фоліарного обприскування та обробки насіння. Композиції є комплексними з багатьма інгредієнтами, готують заздалегідь, часто із стабілізацією.

У патентній заявці US 20250234867 A1 (Заявка US 20250234867 A1, "Liquid agricultural compositions, and methods of preparation and use thereof" / Shinde S., Ventre S., Donowitz N., Rohlfen M., Carney L.; заявник Heliae Development, LLC. — Заявл. 12.03.2025; опубл. 24.07.2025, USPTO) описано способи виготовлення рідкої біокомпозиції на основі пастеризованих клітин *Chlorella* spp., призначеної для покращення характеристик рослин. Композиція може застосовуватись через замочування насіння, ґрунтове внесення, гідропоніку, листкове обприскування або системи зрошення малого обсягу. Біологічна активність реалізують через фітогормони, метаболіти та залишкове середовище культивування. Водночас, у зазначеній заявці клітини *Chlorella* spp. надходять у композицію шляхом екзогенного вирощування, що потребує внесення стартової культури, термічної обробки, стабілізації та логістичного внесення. Заявлена модель не передбачає життєздатності клітин при внесенні, не забезпечує фотосинтетичної активності або адаптивної взаємодії з ризосферою в реальному часі, і не охоплює рішення, в якому мікроводорості вирощують *in situ*, безпосередньо в агроecosистемі, без хімічного консервування.

Відомі методи культивування мікроорганізмів у нестерильних (non-axenic) міксотрофних умовах із контролем бактеріального забруднення за допомогою ацетату та/або окиснювальних агентів (Пат. AU 2013341123 B2, "Methods of culturing microorganisms in non-axenic mixotrophic conditions and controlling bacterial contamination in the cultures using acetate and/or oxidizing agents" / Ganuza Eneko, Licamele Jason David, Tonkovich Anna Lee; заявник Heliae Development, LLC. - Заявл. 08.11.2013; опубл. 19.09.2019, Австралійське патентне відомство). Отримана біомаса може застосовуватись для аграрних, харчових, фармацевтичних або енергетичних цілей, зокрема як біостимулятор або біодобриво. Однак зазначені рішення мають низку обмежень. По-перше, контроль контамінації за допомогою ацетату та окислювачів є неселективним і може негативно впливати на саму культуру мікроводоростей, знижуючи її життєздатність. По-друге, застосований підхід із підвищенням переносу кисню вимагає додаткових енергетичних витрат, що знижує економічну ефективність процесу. По-третє, відсутні механізми адаптивного регулювання параметрів середовища у відповідь на динамічні зміни мікробного складу, що обмежує стабільність тривалих культур.

Відомий спосіб (Пат. UA 115229 U, "Спосіб промислового вирощування мікроводоростей шляхом утилізації діоксиду вуглецю", опубл. 10.04.2017, Бюл. № 7), що описує спосіб промислового вирощування мікроводоростей шляхом утилізації діоксиду вуглецю, зокрема *Chlorella* spp., із використанням димових газів як джерела CO₂. Культивування здійснюють в спеціально сконструйованому фотобіореакторі з фільтрацією димових газів, контролем температури, інсоляції та автоматизованим регулюванням складу поживного середовища. Модель орієнтована на промислове виробництво біомаси для біопалива. Запропонований спосіб дозволяє інтенсифікувати процес фотосинтезу, знизити енергоємність культивування, та використовувати відновлювані джерела тепла і CO₂ для отримання біомаси, придатної для виробництва ліпідів і біопалива. Однак цей підхід має низку обмежень: обмеження сфери застосування через те, що спосіб орієнтований виключно на енергетичну галузь, не враховуючи агрономічну функцію мікроводоростей; висока технічна складність, так як реалізація потребує складного обладнання, енергетичних установок, фільтраційних систем, теплообмінників, сенсорних модулів; використання димових газів потребує джерела згорання (метан, ДВЗ), що суперечить принципам екологічного землеробства; передбачає хімічну обробку, стерилізацію та підготовку середовища, що унеможливорює використання в агрономічній практиці.

Відомим є аналог, описаний в патенті UA 126380 U ("Автоматизований комплекс по вирощуванню мікроводоростей "BIODRUM", опубл. 11.06.2018, Бюл. № 11), що стосується автоматизованого комплексу для вирощування мікроводоростей у фотобіореакторі трубчастого типу з системою ерліфта, барботажем, освітленням, ультразвуковою обробкою та мікропроцесорним контролем.

Однак модель не має агрономічної мети, не передбачає формування суспензії *in situ*, не забезпечує життєздатності клітин при внесенні в агроecosистему, і не реалізує біостимуляційний ефект.

Відомий побутовий спосіб культивування мікроводоростей *Chlorella* spp. у домашніх умовах ("Як виростити хлорелу в домашніх умовах: користь, застосування, технологія" [Електронний ресурс], Presa.com.ua, опубл. 12.04.2021, режим доступу: <https://presa.com.ua/domivka/yak-virostiti-khlorelu-v-domashnikh-umovakh-korist-zastosuvannya-tehnologiya.html>) передбачає використання прозорої герметичної ємності об'ємом не менше 40 л з внутрішніми скляними перегородками, живильного середовища на основі сульфату калію та сечовини, освітлення люмінесцентними лампами (36 Вт),

температурного режиму 28 °C та pH 6-7, а також застосування молочного сепаратора для розмежування рідини.

Така методика культивування орієнтована на побутове або лабораторне використання, передбачає часткову стерильність середовища, контрольовані умови вирощування, високу ресурсну залежність, зокрема потрібне штучне освітлення, контроль температури, pH, подача CO₂, використання інокуляту, так як процес стартує з готової суспензії хлорели, що потребує зберігання, транспортування або закупівлі стартової культури, та не мають агрономічного призначення.

Окремо слід зазначити, що на ринку представлено комерційні продукти на основі хлорели, зокрема "Суспензія хлорели для рослин" - біостимулятор, що реалізують через онлайн-платформи (Суспензія хлорели для рослин [Електронний ресурс], Prom.ua, режим доступу: <https://prom.ua/Hlorelly-suspenziya.html>). Продукція сертифікована згідно з сертифікатом відповідності UA.PN.191.0968-26, що підтверджує її відповідність технічним регламентам України. Згідно з описом, продукт містить живу мікроводорість *Chlorella vulgaris* у формі водної суспензії, вітаміни, фітогормони та інші біоактивні речовини. Крім використання як добрива для рослин, його застосовують як препарат для придушення патогенної мікрофлори (вірусів і грибків), яка інфікує кореневу систему і пагони, а також підвищення якості ґрунту.

Однак технологія отримання такого препарату, за своєю суттю, потребує стартової культури, спеціальних умов культивування (контроль температури, освітлення, pH, подача CO₂) та енергозатратного устаткування, зокрема фотобіореакторів або (та) лабораторних систем. Це передбачає централізоване виробництво, транспортування готової суспензії та можливу втрату життєздатності клітин при зберіганні.

Тобто, відомі біостимулятори на основі *Chlorella* зазвичай виробляють в аксенічних умовах із застосуванням біореакторів, що обмежує їх доступність для дрібних та середніх агровиробників. Крім того, такі препарати часто не адаптовані до локальних умов вирощування, зокрема до низькотемпературного режиму, природної мікрофлори та специфіки мінерального складу води.

Відомим аналог, описаний в науковій статті (Вожегова Р. та ін., 2022: Особливості культивування мікроводоростей *Chlorella vulgaris* за рахунок надлишкової сировини біогазових установок та тваринницьких комплексів в умовах змін клімату // Публікації Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН України. - 2022. - С. 180-185), у якій наводиться вирощування хлорели в природних умовах у пластикових ємностях із використанням органічного поживного середовища на основі курячого посліду. У статті зазначено, що протягом 14 діб суспензія хлорели досягала щільності близько 25 млн клітин/мл без додаткового догляду, що свідчить про ефективність органічного середовища. Однак у зазначеному рішенні є недоліки: використовують штам *Chlorella vulgaris* № 111, потребується попереднє введення культурної біомаси, що ускладнює процес; застосовано суміш Кноппа як поживне середовище, що передбачає лабораторну підготовку та контроль складу; використовують курячий послід чи послід домашньої худоби, який може бути джерелом паразитів, патогенів або фітотоксичних речовин, що обмежує безпечність застосування.

На дату подання заявки не виявлено найближчого аналога, який би реалізовував спосіб біостимуляції рослин композицією, що формують *in situ* з домінуванням *Chlorella* spp., шляхом культивування автохтонної мікрофлори у природному водному середовищі з додаванням мінерального добрива, без стабілізації, пастеризації або технологічного масштабування. Відомі рішення передбачають застосування попередньо вирощених, стабілізованих або пастеризованих композицій, що готують у промислових умовах, часто із використанням флокулянтів, стабілізаторів або хімічних регуляторів. Такі способи не забезпечують стабільної автохтонної мікрофлори з домінуванням *Chlorella* spp.. У польових умовах, не є енергонезалежними та не передбачають формування композиції безпосередньо на місці застосування.

Таким чином, запропонована корисна модель не має найближчого аналога.

В основу корисної моделі поставлено задачу створення енергонезалежного способу біостимуляції рослин шляхом формування біоактивної композиції *in situ* на основі автохтонної мікрофлори з домінуванням *Chlorella* spp., без стабілізації чи пастеризації, з можливістю застосування у формі праймінгу насіння, внесення у ґрунт та фоліарного обприскування для стимуляції проростання, розвитку кореневої системи, підвищення стійкості до абіотичних стресів.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі біостимуляції рослин композицією *in situ* з домінуванням *Chlorella* spp., який включає дії в ході яких отримують біостимулюючу композицію *in situ* на основі стабільної автохтонної мікрофлори з домінуванням *Chlorella* spp., що культивують у природному водному середовищі біомаси автохтонних для цього середовища мікроорганізмів з додаванням комплексного мінерального добрива у концентрації 0,1-0,3 г/л за нітроамофоскою у відкритих умовах за природної інсоляції протягом 10-14 діб при середньодобовій температурі повітря 10-28 °C, застосовують отриману біостимулюючу композицію шляхом праймінгу насіння у кількості 25-35 мл композиції на 1 кг насіння протягом 6-8 год, припосівного внесення у ґрунт із витратою 15-30 л/га та фоліарного обприскування у критичні фази вегетації культур з витратою 100-150 л/га.

Причинно-наслідковий зв'язок між сукупністю запропонованих ознак та очікуваним технічним

результатом полягає в наступному.

Для отримання біостимулюючої композиції *in situ* на основі стабільної автохтонної мікрофлори з домінуванням *Chlorella* spp. передбачає культивування біомаси автохтонних мікроорганізмів у природному водному середовищі з додаванням комплексного мінерального добрива у концентрації 0,1-0,3 г/л за нітроамофоскою.

Комплексне добриво одночасно містить три ключові макроелементи - азот, фосфор і калій. Це дозволяє уникнути дефіциту будь-якого з них, що є критичним для стартового росту *Chlorella* spp. та інших автохтонних мікроорганізмів. А концентрація 0,1-0,3 г/л за нітроамофоскою забезпечує наявність необхідних макроелементів у кількості, достатній для активного розвитку мікроорганізмів, але без ризику надлишкового мінералізаційного навантаження.

Кількість мінерального добрива 0,1-0,3 г/л за нітроамофоскою дає орієнтовно 16-48 мг/л N, 16-48 мг/л P₂O₅ (або 7-21 мг/л P), 16-48 мг/л K₂O (або 13-31 мг/л K). Це достатньо для стартового росту мікроводоростей, але нижче порогів, що викликають іонний стрес. У цьому діапазоні іонна сила низько-середня, що не перевищує типові значення для прісної води, відсутній осмотичний шок для *Chlorella* spp., який можливий при вищих сольових навантаженнях.

Така концентрація достатня для відтворюваного росту біомаси автохтонних для цього середовища мікроорганізмів у відкритих умовах, і не веде до небажаного домінування швидкорослих бактерій і синьо-зелених водоростей. За концентрацій сольового розчину водного середовища нижче 0,1 г/л за нітроамофоскою спостерігається затримка старту росту і низька щільність біомаси, за перевищення 0,3 г/л збільшується ризик бактеріальної домінації та збої sukcesії.

У запропонованому діапазоні концентрацій мінерального добрива мінімальний ризик преципітації фосфору. Фосфати у цьому діапазоні рідше випадають у нерозчинні форми в нейтральній прісній воді, що зберігає доступність фосфору для мікроводоростей.

Рівень концентрації 0,1-0,3 г/л не зрушує pH поза комфортний діапазон для *Chlorella* spp. (6,5-8,0), що підтримує стабільність фотосинтезу мікроводорості.

Таким чином, використання доступного комплексного мінерального добрива (NPK) у концентрації 0,1-0,3 г/л, визначений за нітроамофоскою, забезпечує необхідне та збалансоване мінеральне живлення для підтримки керованої sukcesії автохтонної мікрофлори з поступовим домінуванням *Chlorella* spp. без потреби у складних поживних середовищах, унеможливорює фітотоксичність та знижує ризики небажаних зрушень у мікробному співтоваристві, спрощує контроль якості виробництва та забезпечує економічну доступність та простоту реалізації.

Використання відкритих умов та природного водного середовища забезпечує відтворюваність процесу отримання біостимулюючої композиції *in situ* на основі стабільної адаптованої до даних умов автохтонної мікрофлори з домінуванням *Chlorella* spp..

Культивування за природної інсоляції протягом 10-14 діб при середньодобовій температурі 10-28 °C дозволяє сформувати стабільну фототрофну біомасу. Середньодобова температура у межах 10-28 °C відповідає природним умовам весняно-літнього періоду, що є типовим для початку вегетації більшості сільськогосподарських культур. Такий діапазон забезпечує оптимальні умови для розвитку біомаси автохтонних мікроорганізмів з домінуванням *Chlorella* spp. та водночас узгоджують з технологічними потребами агровиробництва, оскільки дозволяє проводити приготування і застосування біостимулюючої композиції *in situ* на основі стабільної автохтонної мікрофлори з домінуванням *Chlorella* spp. у період, коли рослини найбільш чутливі до біологічної стимуляції.

Тривалість культивування біомаси автохтонних мікроорганізмів у природному водному середовищі за природної інсоляції протягом 10-14 діб при середньодобовій температурі 10-28 °C забезпечує формування стабільної фототрофної біомаси з домінуванням *Chlorella* spp. та біологічно активних метаболітів, а також для стабілізації складу біомаси автохтонних мікроорганізмів без переходу у фазу деградації. Зазначений часовий інтервал відповідає типовій тривалості логарифмічної та стаціонарної фаз росту *Chlorella* spp. у відкритих умовах, коли відбувається інтенсивне накопичення клітинної маси без виснаження поживних речовин і без переходу до фази старіння культури. При тривалості культивування менше 10 діб біомаса не досягає необхідної щільності, що знижує її біостимулюючий ефект. Суттєве перевищення часу культивування призводить до зниження фотосинтетичної активності, можливого виснаження доступних макроелементів та підвищення ризику небажаних змін у структурі автохтонної мікрофлори. Таким чином, інтервал 10-14 діб є оптимальним для отримання відтворюваного технічного результату - стабільної біостимулюючої композиції *in situ* на основі стабільної автохтонної мікрофлори з домінуванням *Chlorella* spp..

Готовність біостимулюючої композиції *in situ* визначають за поєднанням візуальних та кількісних ознак, що відображають фізіологічний стан автохтонної мікрофлори з домінуванням *Chlorella* spp.. Зникнення поверхневої плівки свідчить про завершення початкових етапів розвитку сторонніх мікроорганізмів та стабілізацію складу мікрофлори, тоді як насичений зелений колір суспензії є індикатором високої щільності клітин *Chlorella* spp. та активного функціонування їх фотосинтетичного апарату.

Оптимальний діапазон концентрації клітин *Chlorella* spp. у готовій біостимулюючій композиції становить $5 \cdot 10^6$ - $1 \cdot 10^7$ клітин/мл, що в середньому становить $7 \cdot 10^6$ клітин/мл. Нижня межа (близько $5 \cdot 10^6$ клітин/мл) відповідає стану, коли суспензія має блідо-зелений відтінок, але біостимулююча активність зберігають на достатньому рівні. Верхня межа (близько $1 \cdot 10^7$ клітин/мл) характеризують більш насиченим зеленим кольором, при цьому біостимулюючої композиції *in situ* на основі стабільної автохтонної мікрофлори з домінуванням *Chlorella* spp. залишається стабільною та придатною для праймінгу насіння, внесення у ґрунт чи фоліарного застосування.

Таким чином, поєднання візуальних ознак (відсутність плівки, зелений колір суспензії) із кількісним показником концентрації клітин забезпечує об'єктивну та відтворювану діагностику готовності біостимулюючої композиції *in situ* на основі стабільної автохтонної мікрофлори з домінуванням *Chlorella* spp., спрощує контроль якості у виробничих умовах та гарантує стабільність біологічної активності вихідної продукції.

Застосовують отриману біостимулюючу композицію *in situ* на основі стабільної автохтонної мікрофлори з домінуванням *Chlorella* spp. шляхом праймінгу насіння у нерозведеному вигляді та кількості 25-35 мл/кг за відсутності світла протягом 6-8 годин.

Використання нерозведеної композиції з концентрацією клітин *Chlorella* spp. у межах $5 \cdot 10^6$ - $1 \cdot 10^7$ клітин/мл гарантує достатнє проникнення біологічно активних речовин та низькомолекулярних метаболітів у тканини насіння.

Зазначений об'єм біостимулюючої композиції є таким, що забезпечують рівномірне зволоження поверхні насіння без надлишкового водонасичення, що могло б призвести до гіпоксії або передчасного проростання.

Праймінг насіння за відсутності світла, у темряві, запобігає передчасній активації фоточутливих процесів та сприяє фізіологічно контрольованому проникненню біологічно активних речовин.

Тривалість обробки 6-8 годин є достатньою для проникнення цих сполук у зародкові тканини, активації ферментативних систем та підвищення енергії проростання, але не перевищує межі, за якої можливе ушкодження зародка або втрата схожості. У сукупності зазначені параметри забезпечують вирішення технічного результату у вигляді підвищення життєздатності насіння та дружності сходів.

Внесення біостимулюючої композиції *in situ* на основі стабільної автохтонної мікрофлори з домінуванням *Chlorella* spp. у ґрунт здійснюють у дозі 15-30 л/га у складі робочого розчину з нормою витрати рідини 200-300 л/га, що забезпечує рівномірне насичення прикореневої зони біологічно активними речовинами та клітинною масою автохтонних мікроорганізмів без надмірного зволоження ґрунту. Така кількість відповідає внесенню від $7,5 \cdot 10^{10}$ до $3,0 \cdot 10^{11}$ клітин *Chlorella* spp. на гектар, що є достатнім для формування стабільної фототрофної складової мікробного угруповання. У поєднанні з іншими автохтонними мікроорганізмами та продуктами їхнього метаболізму (низькомолекулярними органічними кислотами, вітамінами, фітогормоноподібними речовинами, екзополімерами) це створює сприятливе мікробне середовище, яке активує процеси мінералізації та мобілізації поживних елементів, стимулює розвиток кореневої системи та підвищує її поглинальну здатність. При цьому зазначений діапазон витрати не призводить до надмірного зволоження ґрунту чи розбалансування мікробіоти, що могло б знизити ефективність дії композиції. У результаті вирішують технічний ефект у вигляді підвищення приживлюваності рослин, інтенсивності ростових процесів та ефективності використання поживних речовин.

Фоліарне використання біостимулюючої композиції *in situ* на основі стабільної автохтонної мікрофлори з домінуванням *Chlorella* spp. у критичні фази вегетації культур здійснюють у нерозведеному вигляді при витраті 100-150 л/га.

Означена норма є оптимальною, що забезпечує рівномірне покриття листової поверхні робочим розчином без утворення надлишкової плівки, яка могла б перешкоджати газообміну чи фотосинтезу, та дозволяє ефективно транспортувати біологічно активні речовини у тканини листка через продиhi та кутикулу.

Використання нерозведеної біостимулюючої композиції гарантує доставку клітин *Chlorella* spp. у концентрації $5 \cdot 10^6$ - $1 \cdot 10^7$ клітин/мл разом із супровідними автохтонними мікроорганізмами та комплексом їхніх метаболітів (низькомолекулярними органічними кислотами, вітамінами, фітогормоноподібними речовинами, екзополімерами) безпосередньо на листову поверхню.

Позакореневе застосування біостимулюючої композиції *in situ* на основі стабільної автохтонної мікрофлори з домінуванням *Chlorella* spp. у критичні фази вегетації (кущіння, бутонізація, налив зерна тощо) збігається з періодами підвищеної потреби рослин у регуляторах росту та поживних речовинах, що сприяє активації фотосинтетичної активності, підвищенню стійкості до абіотичних стресів та більш ефективному використанню ґрунтових ресурсів живлення.

У результаті вирішують технічний результат, а саме, підвищення продуктивності фотосинтезу, стійкості рослин та ефективності використання поживних елементів.

Таким чином, запропонований спосіб дозволяє безпосередньо в місці застосування (*in situ*) отримати біостимулюючу композицію на основі стабільної автохтонної мікрофлори з домінуванням *Chlorella* spp., адаптовану до конкретних агроекологічних умов. Спосіб швидкий за реалізацією,

технологічно простий, економічно доцільний та може бути реалізований у межах поточної агротехнологічної схеми без порушення її безперервності, що забезпечує технологічну гнучкість і оперативність застосування.

У сукупності нові ознаки забезпечують вирішення технічного результату у вигляді підвищення життєздатності, стійкості та продуктивності культур, а також їх адаптивності до несприятливих умов вирощування, включаючи абіотичні (температурні коливання, посуха, надлишок вологи) та біотичні (ураження патогенами, конкуренція з бур'янами) стресові фактори.

Приклади реалізації способу біостимуляції рослин

Для реалізації способу біостимуляції рослин отримання біостимулюючої композиції *in situ* на основі стабільної автохтонної мікрофлори з домінуванням *Chlorella* spp. проводили у відкритих умовах протягом весняно-літнього періоду.

Для приготування поживного середовища використовували природну воду (дощову, колодязну) або відстояну водопровідну, до якої додавали комплексне мінеральне добриво (нітроаммофоску) у концентрації 0,1-0,3 г/л.

Культивування проводили у прозорих ємностях або плоских басейнах об'ємом 10-50 л, розміщених на відкритому повітрі за умов природного освітлення.

Протягом 10-14 діб культивування у відкритих умовах відбувалася природна сукцесія і формувалася *in situ* фототрофна суспензія стабільної автохтонної мікрофлори з домінуванням *Chlorella* spp., що є основою одержуваної біостимулюючої композиції.

Готовність композиції визначали за візуальними ознаками: насичений зелений колір суспензії, відсутність поверхневої біоплівки та ознак анаеробного розкладу.

Концентрація клітин *Chlorella* spp. у готовій композиції становила $5 \cdot 10^6$ - $1 \cdot 10^7$ клітин/мл, що підтверджено мікроскопічним підрахунком.

Температурні умови, терміни і особливості режиму освітлення під час проведення культивування та випробування біостимулюючої композиції у польових умовах узагальнено у таблиці 1.

Таблиця 1

Умови отримання біостимулюючої композиції *in situ* на основі стабільної автохтонної мікрофлори з домінуванням *Chlorella* spp.

№	Умови і терміни проведення культивування	Тривалість світлового дня	Середньодобова температура повітря	Особливості освітлення	Випробування отриманої композиції
1	Прохолодні, на початку травня	≈15 год	10,0-20,2 °C	Рівномірне природне освітлення	Культура - соняшник. Спосіб використання: праймінг насіння, внесення у ґрунт, комбіноване застосування
2	Секотні, середина червня	≈16 год	19,3-28,0 °C	Рівномірне природне освітлення	Культура - кукурудза. Спосіб використання: фоліарне внесення у фазі 5-6 листків
3	Рівномірна температура, наприкінці травня	≈15,5 год	23,0-25,0 °C	Пряме сонячне освітлення протягом 2-3 годин у ранковий період	Культура - кукурудза. Спосіб використання: комбіноване застосування (праймінг+припосівне внесення у ґрунт) за різного вмісту важких металів

Приклади отримання біостимулюючої композиції за різних режимів культивування (див. табл. 1) та результати її випробування наводяться далі.

Приклад 1. Культивування в прохолодних умовах

Спосіб отримання: культивування біостимулюючої композиції *in situ* на основі стабільної автохтонної мікрофлори з домінуванням *Chlorella* spp. здійснювали у відкритій ємності об'ємом до 50 л, заповненій колодязною водою з додаванням нітроаммофоски у концентрації 0,1-0,3 г/л.

Умови культивування. Тривалість світлового дня становила близько 15 год, середньодобова температура повітря коливалась у межах 10,0-20,2 °C.

Результат формування біостимулюючої композиції. У результаті протягом 13-14 діб сформувалася фототрофна суспензія з насиченим зеленим кольором та відсутністю поверхневої біоплівки. Концентрація клітин *Chlorella* spp. становила $(3,0-5,0) \cdot 10^6$ клітин/мл, що підтверджено мікроскопічним підрахунком.

Результати агрономічного застосування одержаної біостимулюючої композиції на чорноземі звичайному Північного Степу України:

1. Праймінг насіння соняшнику - замочування насіння у біостимулюючій композиції без розведення у кількості 25-35 мл/кг протягом 6-8 годин у темряві.

Результати: зниження частоти стресового гілкування; збільшення діаметра кошику на 2-3 % відносно контролю.

2. Внесення у ґрунт при посіві соняшнику дозою 15-30 л/га у складі робочого розчину з нормою витрати рідини 200-300 л/га.

Результати: на ерозійних ділянках - збільшення висоти рослин на 3-10 %; на акумулятивних ділянках - зменшення гілкування приблизно на 30 %; загальне збільшення діаметра кошику на 3-9 %.

3. Комбіноване застосування при вирощуванні соняшнику в умовах складного рельєфу - попередній праймінг насіння без розведення у кількості 25-35 мл/кг протягом 6-8 годин у темряві та подальше внесення композиції у ґрунт при посіві дозою 15-30 л/га у складі робочого розчину з нормою витрати рідини 200-300 л/га.

Результати: зниження проявів стресового гілкування незалежно від рельєфу ділянки.

4. Подвійне внесення у ґрунт при вирощуванні соняшнику у зоні мілітарного впливу на порушеному вибухом за мінометного обстрілу річної давності ґрунті - внесення композиції дозою 15-30 л/га у складі робочого розчину з нормою витрати рідини 200-300 л/га при посіві та повторне внесення у тій самій нормі на першому тижні вегетації.

Результати: підвищення темпів росту на початкових етапах; ранній перехід у фазу 4-х листків; зменшення частоти стресових проявів не менше ніж на 14 %; збільшення діаметра кошику на 4-20 %.

Приклад 2. Культивування в спекотних умовах

Спосіб отримання: культивування біостимулюючої композиції *in situ* на основі стабільної автохтонної мікрофлори з домінуванням *Chlorella* spp. проводили у відкритій ємності об'ємом до 50 л, заповненій природною (дощовою та колодязною) водою з додаванням нітроамофоски у концентрації 0,1-0,3 г/л.

Умови культивування. Тривалість світлового дня становила 16 год, середньодобова температура повітря становила 19,3-28,0 °С.

Результат формування біостимулюючої композиції. Через 10-12 діб отримано стабільну суспензію з інтенсивним зеленим забарвленням, без ознак анаеробного розкладу. Концентрація клітин *Chlorella* spp. становила $(6,0-9,0) \cdot 10^6$ клітин/мл, що підтверджено мікроскопічним підрахунком.

Результати агрономічного застосування одержаної біостимулюючої композиції на чорноземі звичайному Північного Степу України:

1. Фоліарне внесення при вирощуванні кукурудзи - обприскування рослин у фазі 5-6 листків робочим розчином композиції у нормі 100-150 л/га, без розведення.

Результати: збільшення висоти рослин у фазі збирання на 6,4-8,8 % відносно контролю; ефект перевищує дію мікроелементного підживлення на 5,2 %; ефект перевищує дію нітроамофоски (60 кг/га у посів) на 13,7 %.

Приклад 3. Культивування за умов стабільної температури та обмеженої інсоляції

Спосіб отримання біостимулюючої композиції. Культивування біостимулюючої композиції *in situ* на основі стабільної автохтонної мікрофлори з домінуванням *Chlorella* spp. здійснювали у прозорій скляній ємності об'ємом 10 л, заповненій відстояною водопровідною водою з додаванням нітроамофоски у концентрації 0,1-0,3 г/л.

Умови культивування. Стабільна температура 23,0-25,0 °С, тривалість світлового дня становила 16 год, пряме сонячне освітлення фіксувалось у ранковий період протягом 2-3 год.

Результат формування біостимулюючої композиції. Протягом періоду до 10 діб сформувалася фототрофна суспензія з характерним зеленим кольором та відсутністю поверхневої біоплівки. Концентрація клітин *Chlorella* spp. становила $(0,9-1,0) \cdot 10^7$ клітин/мл, що підтверджено мікроскопічним підрахунком.

Результати агрономічного застосування одержаної біостимулюючої композиції на чорноземі звичайному Північного Степу України:

1. Комбіноване застосування при вирощуванні кукурудзи на ґрунті з підвищеним вмістом важких металів (Cd, Pb, Ni) - попередній праймінг насіння протягом 24 год у темряві без розведення біостимулюючої композиції та подальше внесення композиції у ґрунт при посіві дозою 15-30 л/га у складі робочого розчину з нормою витрати рідини 200-300 л/га.

Результати: збільшення швидкості росту рослин у 3 рази відносно контролю; приріст біомаси на 29 % відносно контролю.

2. Комбіноване застосування при вирощуванні кукурудзи на оптимальному чорноземі - попередній праймінг насіння протягом 24 год у темряві без розведення біостимулюючої композиції та подальше внесення композиції у ґрунт при посіві дозою 15-30 л/га у складі робочого розчину з нормою витрати рідини 200-300 л/га.

Результати: збільшення швидкості росту рослин у період вегетації до фази 10-12 листків на 13 % відносно контролю; приріст біомаси рослин фази 10-12 листків на 26 % відносно контролю.

Таким чином, у межах запропонованого інтервалу параметрів культивування (10-14 діб, температура 10-28 °С, природна інсоляція, концентрація добрива 0,1-0,3 г/л за нітроамфоскою) у всіх трьох метеорологічних сценаріях забезпечується стабільне формування біостимулюючої композиції *in situ* на основі автохтонної мікрофлори з домінуванням *Chlorella* spp. (в середньому близько $7 \cdot 10^6$ клітин/мл), придатної для подальшого агрономічного застосування.

Технічний результат полягає у забезпеченні стабільного формування біологічно активної композиції з високою концентрацією клітин *Chlorella* spp. ($5 \cdot 10^6$ - $1,0 \cdot 10^7$ клітин/мл), адаптованої до різних температурних режимів, рівнів освітлення та типів водного середовища. Застосування композиції забезпечує агрономічно значущі ефекти: зниження частоти стресового гілкування, прискорення росту, збільшення діаметра кошику соняшнику (до 20 %), приріст біомаси кукурудзи (до 29 %), підвищення стійкості до абіотичних стресів, зокрема на еродованих, акумулятивних, техногенно порушених та забруднених важкими металами ділянках. Спосіб не потребує лабораторної підготовки, легко інтегрується у діючі агротехнологічні схеми та придатний для використання в системах органічного землеробства, регенеративного агровиробництва та локальних фермерських господарствах.