

ДОЦІЛЬНІСТЬ ОБРОБІТКУ ТА ВИКОРИСТАННЯ МІКРОВОДОРОСТЕЙ (CHLORELLA) ЯК ОРГАНІЧНИХ ДОБРИВ

Кірсанова В.В.

Дунайський інститут

Національного університету «Одеська морська академія»

вул. Фанагорійська, 9, 68607, м. Ізмаїл, Одеська обл.

vvkirsanova@ukr.net

У статті здійснено аналіз доцільності обробітку і використання мікроводоростей (хлорели) як органічних добрив. Встановлено, що екстракти водоростей містять велику кількість цитокінінів, бетаїн, альгополіфеноли, вітаміни, гормони, природні антиоксиданти і мінеральні елементи (Mg, Ca, B, Mo та інші). Виявлено сприяння цих факторів на ріст і розвиток рослин (стимулюють поділ клітин, диференціацію калусної тканини) і підвищення показників родючості ґрунту. Здійснено історико-ретроспективний аналіз процесу використання хлорели як органічного добрива. Узагальнено, що синьо-зелені водорості здавна використовуються на рисових полях як біодобрива. Представники роду *Anabena* в симбіозі з папороттю *Azolla* здатні за сезон зв'язати до 60 кг/га азоту, а також є цінним джерелом органічної речовини, що поліпшує родючість ґрунту. При цьому мікроводорості є поновлюваним ресурсом, на відміну від промислового виробництва азотних добрив. Поряд із азотфіксацією водорості виділяють речовини, які поліпшують ріст рослин. З'ясовано, що біомаса водоростей розглядається як органічне добриво, причому вигідно відрізняється від традиційних видів, оскільки не містить ні патогенної мікрофлори, ні залишків бур'янів, ні шкідників. Конкретизовано негативний вплив традиційних мінеральних добрив на мікрофлору ґрунту. Проаналізовано технологію обробітку хлорели. Виявлено позитивний вплив біомаси хлорели на мікрофлору і родючість ґрунту. Узагальнено, що застосування *Chlorella vulgaris* засноване на дуже високому вмісті в ній біологічно цінних речовин. Суха біомаса *Chlorella vulgaris* містить більше 45 % сирого протеїну, включаючи незамінні амінокислоти, 30–35 % вуглеводів, 7–10 % жиру. У складі зеленої клітини містяться незамінні в харчуванні тварин амінокислоти: лізин (≈10%), метіонін (≈1%), триптофан (≈2%), аргінін (≈15%), гістидин (≈3%), лейцин (≈6%), ізолейцин (≈3%), феніланін (≈2%), треонін (≈2%) валін (≈5%), а також хлорофіл (≈2%). *Ключові слова:* мікроводорості, хлорела, органічні добрива, ґрунт, родючість ґрунту.

The expediency of cultivating and using microalgae (chlorella) as organic fertilizers. Kirsanova V.

The article analyzes the feasibility of the cultivation and use of microalgae (chlorella) as organic fertilizer. Algae extracts have been defined to contain a large amount of cytokines, betaine, algopolyphenols, vitamins, hormones, natural antioxidants and mineral elements (Mg, Ca, B, Mo, etc.). It has been revealed that these factors contribute to the growth and development of plants (stimulate cell division, differentiation of callus tissue) and the increase in soil fertility indicators. The historical and retrospective analysis of the process of using cholera as an organic fertilizer has been carried out. It has been summarized that blue-green algae has long been used on rice fields as bio-fertilizers. Species of the genus *Anabena* in symbiosis with fern *Azolla* are able to fix up to 60 kg / ha of the nitrogen over a season, as well as being a valuable source of organic substance that improve soil fertility. At the same time, microalgae are a renewable resource, in contrast to the industrial production of nitrogen fertilizers. Along with nitrogen fixation, algae secrete substances that improve plant growth. It has been established that the biomass of algae is considered as an organic fertilizer. Moreover, it differentiates favorably from traditional species, since it does not contain pathogenic microbial flora, weed residues, or invaders. The negative impact of traditional mineral fertilizers on the soil microbial flora and consequences is specific. It has been analyzed the processing technology of chlorella. The positive effect of chlorella biomass on the microbial flora and soil fertility has been revealed. It has been generalized that the use of *Chlorellavulgaris* is based on its high content of biologically valuable substances. *Chlorellavulgaris* dry biomass contains more than 45 % of crude protein, including essential amino acids, 30–35 % of carbohydrates, 7–10 % of fat. The green cell contains essential amino acids in animals' nutrition: lysine (≈10%), methionine (≈1%), tryptophan (≈2%), arginine (≈15%), histidine (≈3%), leucine (≈6%), isoleucine (≈3%), phenylamine (≈2%), threonine (≈2%) valine (≈5%), and also chlorophyll (≈2%). *Key words:* microalgae, chlorella, organic fertilizers, soil, soil fertility.

Постановка проблеми. Мікроводорості стоять на початку трофічних систем, відіграючи найважливішу роль у функціонуванні всієї біосфери. Але останнім часом все більше уваги привертає їх промислове виробництво, оскільки вони знаходять своє застосування в різних сферах народного господарства: це виробництво продуктів харчування, кормів, біопалива, а також новий перспективний напрям – виробництво органічних добрив [1; 3; 5].

Ідея культивування мікроводоростей у промислових масштабах виникла в Німеччині в середині минулого століття, коли намагалися отримувати

харчові масла з діатомових водоростей, проте обрані культури характеризувалися низькою продуктивністю [5; 11]. Незабаром увагу вчених привернули зелені мікроводорості з родів *Chlorella* і *Scenedesmus*, які переважно і культивувалися в наступні роки. Однак у той час ще слабо були розроблені технологічні особливості вирощування мікроводоростей, тому інтерес до них тимчасово знизився. Поновлення досліджень в галузі промислового культивування мікроводоростей почалося з кінця 60-х років, інтерес до них не вщухає й дотепер [8; 9].

Актуальність дослідження. Культивування мікроводоростей для подальшого їх використання як органічних добрив набуває неабиякої актуальності, адже забруднення ґрунтів мінеральними добривами з року в рік набуває все більш широкого масштабу та стає одним із основних екологічних чинників, які впливають на якість отриманої продукції та якість ґрунту. Це відбувається в результаті щорічного використання засобів захисту рослин і підвищення родючості ґрунту на великих територіях [4–6].

Внесення добрив не лише сприяє забрудненню ґрунту, але й накопиченню компонентів добрив у продуктах харчування та у підземних водоносних горизонтах, що катастрофічно зменшує запаси прісної води, придатної до використання [10; 11]. Так, за рахунок потрапляння великої кількості нітратів у водоносні горизонти в багатьох криницях були виявлені перевищені показники забруднення води, і вони були визнані не придатними до подальшого використання як питної води.

Вирощування мікроводоростей у промислових масштабах має вже піввікову історію. Отримана біомаса використовується в сільському господарстві, в харчовій промисловості, парфумерії, фармакології, медицині і в інших галузях народного господарства [12]. Світова альгофлора налічує близько 40 тисяч видів (в Україні – понад 5 тисяч видів), але найбільш перспективними вважають представників сімейств *Chlorella*, *Dunaliella*, *Scenedesmus*, *Spirulina*.

Найпродуктивнішими виявилися діатомові (крем'яні) водорості (*Diatoms*) і зелені водорості (*Chlorophyceae*) [7; 8]. Також були виведені нові штами водоростей, які характеризуються високою продуктивністю і олійністю. Перспективним зразком біотехнологічних розробок визнано зелену колоніальну водорість *Botryococcus braunii*. Вона містить понад 70% вуглеводів від маси сухої речовини, має широку екологічну амплітуду і значний географічний ареал поширення, може успішно рости в умовах України, тоді як у світових господарствах мікроводорості успішно використовуються для підвищення родючості ґрунтів, для поповнень запасів органічної речовини, що сприяє підвищенню врожайності сільськогосподарських культур. З цієї метою застосовують зелені (*Ch. Vulgaris*, *Scenedesmus obliquus*, *Scenedesmus acutus*, *Scenedesmus quadricauda*, *Scenedesmus spinosa*) і синьо-зелені мікроводорості (сімейства *Nostocaceae*) [8]. Це широко використовується при вирощуванні рису, де в чеках мешкає велика кількість синьо-зелених водоростей, серед яких багато азотфіксаторів.

Ефективною є альгалізація ґрунту – внесення живих культур мікроводоростей у ґрунт, особливо в умовах зрошеного землеробства. Її проводять до посіву або при посіві разом із насінням (наприклад із бавовником), або водорості вносять після посіву, що особливо ефективно на рисових полях.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Проблема збереження навколишнього середовища, зокрема й ґрунтових масивів, задекларована як одна з тих, що потребує негайного вирішення. Про це йдеться у Стратегії сталого розвитку України до 2030 року. Тому питання мінімізації забруднення ґрунтів мінеральними добривами шляхом обробітки і використання мікроводоростей (хлорели) як органічних добрив автор вважає актуальним науковим і практичним завданням.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Детальний аналіз наукової літератури засвідчив відсутність цілеспрямованих наукових розвідок у напрямі доведення актуальності та доцільності обробітки і використання мікроводоростей (хлорели) як органічних добрив, що підтверджує необхідність здійснення цієї наукової розвідки.

Новизна статті полягає в констатації факту, згідно з яким мікроводорості слугують індикаторами стану ґрунтів, використовуються в якості тест-об'єктів при визначенні потреби ґрунту в добривах, індикаторами при випробуванні різних пестицидів. За рахунок своєї чутливості до будь-яких змін середовища існування мікроводорості є невід'ємними учасниками ґрунтового моніторингу.

Методологічне або загальнонаукове значення полягає у конкретизації технологічних шляхів культивування суспензії мікроводоростей *Chlorella*.

Виклад основного матеріалу. Синьо-зелені водорості здавна використовуються на рисових полях як біодобрива. Представники роду *Anabena* в симбіозі з папороттю *Azolla* здатні за сезон зв'язати до 60 кг/га азоту, а також є цінним джерелом органічної речовини, що поліпшує родючість ґрунту. При цьому мікроводорості є поновлюваним ресурсом, на відміну від промислового виробництва азотних добрив. Поряд із азотфіксацією водорості виділяють речовини, які поліпшують ріст рослин. Враховуючи те, що азотні мінеральні добрива є швидко розчинними, вони вносяться декілька разів протягом всього періоду вегетації рослин [6]. Проте постійне випадання атмосферних опадів призводить до того, що більша частина внесених добрив не засвоюється кореневою системою рослин і вимивається в глибинні шари ґрунту, що призводить до його забруднення.

З огляду на те, що втрати добрив із орного шару ґрунту складають до 40%, існує реальна загроза потрапляння великої кількості нітратів у підземні водоносні горизонти [1; 2]. Негативний вплив мінеральних добрив на стан ґрунтів підтверджується й тим фактом, що згаданий вид добрив вбиває бактерії, які живуть у ґрунті, в результаті чого сповільнюється процес утворення гумусу. За таких умов збільшення врожаю сільськогосподарських культур досягається за рахунок зниження родючості орних земель.

Будучи постійним і характерним складником живого мікросвіту ґрунтів, *Chlorella vulgaris* Beijer розвивається в безперервній і різноманітній взаємодії з ґрунтовими мікроорганізмами і вищими рослинами. Вона безпосередньо впливає на життєдіяльність мікроорганізмів, які населяють ґрунт. Її органічна речовина відрізняється легкою засвоюваністю і дає високий енергетичний ефект, завдяки чому її використовують багато гетеротрофних мікроорганізмів ґрунту. Сутність взаємодії бактерій і мікроводоростей полягає в тому, що мікроводорості постачають гетеротрофні організми енергетичним матеріалом. Серед виділень мікроводоростей виявлені вітаміни, ауксини і багато позаклітинних ферментів, які впливають також і на розвиток бактерій [4, с. 1576–1580]. Загалом біомаса водоростей розглядається як органічне добриво, причому вигідно відрізняється від традиційних видів, оскільки не містить ні патогенної мікрофлори, ні залишків бур'янів, ні шкідників.

Бурі морські водорості традиційно використовуються в тваринництві і рослинництві багатьох країн. В якості кормової добавки вони входять у кормовий раціон. Високий вміст у них макро- і мікроелементів робить можливим їх використання в якості добрив. Особливо багато в них міститься калію, азоту, фосфору, йоду, молібдену і бору [7; 8; 9]. Вітаміни і амінокислоти позитивно впливають на ріст і розвиток рослин. Їх можна вносити в ґрунт або використовувати витяжки для передпосівної обробки насіння і позакореневого підживлення рослин.

На базі екстракту з бурі водорості *Ascophyllum nodosum* виготовляють добрива Bio-algeen S90, Goemar Goteo, Goemar BM 86, Kelpak SL і Wuxal Ascofol. Вони добре засвоюються через листову пластинку і коріння, покращуючи також і властивості ґрунту. Екстракти ферментів, вітаміни, полісахариди, амінокислоти, фітогормони та батареї, які входять до складу мікроводоростей, сприятливо впливають на ростові процеси в рослині. Також в екстрактах водоростей містяться специфічні речовини – еліцитори, які запускають захисні механізми.

Екстракти морських водоростей володіють фітопротекторною функцією, збільшуючи стійкість рослин до грибкових захворювань, підвищують біологічну ефективність хімічних засобів захисту рослин. Наявність в екстрактах амінокислот і фітогормонів (ауксинів, цитокініни, гібереліни, бетаїн) робить їх ефективними помічниками рослин у подоланні стресових ситуацій різного характеру. Біостимулюючий ефект екстрактів водоростей сприяє посиленню протидії рослин різних комах [8]. При внесенні в систему фертигації екстракти водоростей позитивно впливають на розвиток ґрунтової мікрофлори, сприяють розвитку кореневої системи рослин, підвищують їх стійкість до захворювань і абсорбційну здатність. Підвищуючи вміст хлоро-

філу в листі, екстракти водоростей сприяють проходженню процесу фотосинтезу [12].

На ринку України серед добрив із додаванням екстрактів водоростей: Фертігрейн Старт і ТЕКАМИН Раїс іспанської компанії Agritecno fertilizantes, SL, Маджестик (Фреш), пропонований компанією «Агросфера» (китайський виробник British Eco System Holding Inc.), Sea Line китайської компанії Leili Agrochemistry Co., ЦТА антидепресант-4 (СТА Stymulant-4) іспанського виробника Químicas meristem, SL, екстракт морських водоростей, який входить до складу добрив лінійки Спектрум британської компанії Headland Agrochemicals Ltd., добриво Смартгроу (SmartGrow) Альгум вітчизняної компанії «Агрооптіма», Wuxal Біо Аскофол німецької компанії Aglukon GmbH, Спідфол Марін компанії SQM, добрива лінійки Райкат іспанського виробника Atlantica Agricola, інші.

Доцільність застосування *Chlorella vulgaris* ґрунтується на дуже високому вмісті в ній біологічно цінних речовин. Суха біомаса *Chlorella vulgaris* містить більше 45 % сирого протеїну, включаючи незамінні амінокислоти, 30–35 % вуглеводів, 7–10 % жиру. У складі зеленої клітини містяться незамінні в харчуванні тварин амінокислоти: лізин ($\approx 10\%$), метіонін ($\approx 1\%$), триптофан ($\approx 2\%$), аргінін ($\approx 15\%$), гістидин ($\approx 3\%$), лейцин ($\approx 6\%$), ізолейцин ($\approx 3\%$), феніланін ($\approx 2\%$), треонін ($\approx 2\%$), валін ($\approx 5\%$), а також хлорофіл ($\approx 2\%$). На частку вітамінів у біомасі *Chlorella vulgaris* припадають вітаміни груп В, С, РР, Е, каротин. У диких штаммах в нативному вигляді містяться мікроелементи – йод, бром, миш'як, кобальт, калій, фосфор, залізо, магній, антибіотики.

Головні переваги мікроводоростей як органічних добрив для збільшення родючості ґрунту [11–17]:

- висока конверсійна ефективність фотонів (приблизно 3-8 % проти 0,5 % для наземних рослин), яка дає можливість отримувати більш високі врожаї біомаси на гектар), високий ріст клітин мікроводоростей;
- висока ємність поглинання вуглекислого газу;
- мікроводорості не вимогливі до якості води для зростання, тому для їх культивування можна використовувати стічні, забруднені, солоні й інші води;
- мікроводорості можуть використовувати в процесі життєдіяльності азот і фосфор з різних джерел стічних вод (наприклад сільськогосподарські стоки, промислові та муніципальні стічні води), забезпечуючи додаткову вигоду біологічної очистки стічних вод;
- для вирощування мікроводоростей можна використовувати пахотно непридатні, пустельні і засолені землі, які не підходящі для сільськогосподарського виробництва харчової продукції;
- виробництво несезонне, сировину можна отримувати партіями майже весь рік;
- мікроводорості можна культивувати без використання добрив і пестицидів;

– мікроводорості можуть бути сировиною для широкого спектру продуктів (білки, полісахариди, пігменти, біополімери, корми, добрива);

– організація виробництва біомаси мікроводоростей не вимагає складного обладнання та високого рівня автоматизації виробництва.

Мікроводорості можна вирощувати в промислових масштабах у фітобіореакторах, які є закритими, керованими, автоматизованими системами безперервного циклу, що дозволяє найменш витратним чином підтримувати гігієну культури. За рахунок модульного дизайну обладнання забезпечується економія виробничих площ. Установка вимагає мінімальних витрат праці та матеріалів під час експлуатації та обслуговування.

Серед основних елементів технології вирощування мікроводоростей забезпечення CO₂: біомаса водоростей містить близько 50% вуглецю на суху масу, який асимілюється з вуглекислого газу. Для виробництва 100 т біомаси водоростей необхідно пов'язати близько 180 т CO₂, який повинен надходити безперервно протягом світлового дня. При відкритому способі вирощування поглинання вуглекислого газу відбувається з атмосфери. Для активного росту мікроводоростей необхідне збагачення маточного розчину сумішшю повітря і CO₂, видалення O₂. Вуглекислий газ може бути отриманий з балона із CO₂ або зроблений із вихлопних газів дизельгенератора після їх попереднього очищення [12].

Вирощування водоростей у водоймищах неефективне, оскільки в звичайних водоймах поверхневі

водорості закривають промені сонця, знаходяться на глибині. Також виникають проблеми випаровування води, з'являються водорості-бур'яни, тому зараз установки передбачають вертикальне розміщення водоростей [10]. Елементи живлення здебільшого готують маточний розчин елементів живлення, який додають у воду кожні 10 годин. Використовують поживні середовища Бурреллі, Чу-13, Тамія, Болда тощо.

Головні висновки. У сучасному світі актуалізується проблема використання біомаси в енергетичних і сировинних цілях. Пошуки продуктивних видів біомаси для отримання енергії висувають у розряд перспективних джерел фототрофні мікроорганізми. При розробці таких біотехнологічних процесів важливо не тільки враховувати можливість отримання різних цільових продуктів із використовуваної біомаси, а й організувати безпечно проведення з мінімальним навантаженням на навколишнє середовище. Цим вимогам цілком відповідає біомаса мікроводоростей. Біомаса мікроводоростей *Chlorella vulgaris* є перспективним продуцентом для отримання широкого спектру продуктів. Характерною властивістю клітин мікроводорості *Chlorella vulgaris* є здатність до зміни хімічного складу клітин у широкому діапазоні залежно від умов культивування (рівень освітленості, склад живильного середовища).

Перспективи використання результатів дослідження полягають у розробці розрахунку витрат на технологію культивування мікроводоростей (*Chlorella*) порівняно з мінеральними добривами.

Література

1. Абдулагатов И.М., Бадавов Г.Б., Алиев А.М. Технология коммерческого производства микроводорослей в качестве сырья для биотоплива, белково-витаминных кормов и ценных биоактивных соединений с использованием возобновляемой энергии на территории Республики Дагестан: бизнес-план инвестиционного проекта // Материалы объединенного семинара NIST (Боулдер, США) и Института проблем геотермии ДНЦ РАН (Махачкала, Южная Россия). 2011. С. 145–157.
2. Баранов С.А. Опыт культивирования микроводорослей на выделениях некоторых животных и человека в условиях накопительных культур. М.: Наука, 1964. 345 с.
3. Васигов Т. Опыт массового культивирования одноклеточных водорослей на Кызылкумской пустынной станции. Ташкент, 1966, 256 с.
4. Лукьянов В.А., Стифеев А.И., Горбунова С.Ю. Микроводоросль *Chlorella vulgaris* Beijer – высокопродуктивный штамм для сельского хозяйства. *Научно-методический электронный журнал «Концепт»*. 2015. Т. 13. С. 1576–1580.
5. Минюк Г.С., Дробецкая И.В., Чубчикова И.Н., Терентьева Н.В. Одноклеточные водоросли как возобновляемый ресурс: обзор. *Морской экологический журнал*. 2008. № 2. Т. VII. 19 с.
6. Лукьянов В.А., Стифеев А.И., Горбунова С.Ю. Научно-обоснованное культивирование микроводорослей. *Теоретический и научно-практический журнал «Вестник»*. 2013. № 9. С. 55–57.
7. Лукьянов В.А., Стифеев А.И. Фракционный состав гумусотемносерых лесных почв в зависимости от альголизации их различными видами микроводорослей / Общественная научная организация «Наука и хозяйство» (материалы междунауч. конф. «Актуальные вопросы науки и хозяйства: Новые вызовы и решения»). Санкт-Петербург: Изд-во «Наука и хозяйство». 2014. № 2, С. 26–29.
8. Сальникова М.Я. Хлорелла – новый вид корма. М., 1977. 87 с.
9. Ткачев И.Ф. Хлорелла – источник белка и витаминов. *Сельскохозяйственное производство Северного Кавказа и ЦЧО*, 1965, № 4, 42 с.
10. Ткачев И.Ф. Хлорелла – биологический стимулятор роста животных. *Вестник сельскохозяйственных наук*, 1966. № 3. С. 81–86.
11. Цветков Л.А. Органическая химия. М.: «Просвещение», 1988, 240 с.
12. Nakamura H. *Chlorella feed for animal husbandry*. Published by International Clorella Union. Tokyo: “Japan”, 1964. p. 81.