

ОГЛЯДИ

УДК 57.08[561.263:(577.115+577.127)]

О. І. БОДНАР

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027

БІОТЕХНОЛОГІЧНІ ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ МІКРОВОДОРОСТЕЙ: ОСНОВНІ НАПРЯМИ (ОГЛЯД)

Розглянуто основні сучасні напрями практичного використання мікроводоростей. Найбільш перспективним й актуальним є створення та оптимізація технології виробництва з одноклітинних водоростей біодизелю як поновлюваного та більш безпечного для довкілля джерела енергії. Культивування мікроводоростей здійснюється за відповідних фізико-хімічних, технічних та кліматичних умов з використанням різноманітних методик, що регулюють та модифікують процеси приросту біомаси та синтезу органічних речовин, зокрема ліпідів. Також проаналізовані дані щодо біохімічного складу водоростей (переважно ліпідного та білкового походження, пігментів, тощо) та їх активних компонентів, які використовуються для отримання біологічно активних речовин з лікувальною чи профілактичною метою у фармацевтичній, косметичній та ветеринарній практиці.

Ключові слова: водорості, культивування, альгокультура, біодизель, біологічно активні добавки

Одноклітинні водорості є фотосинтезуючими мікроорганізмами, які здатні до росту та розмноження у різних водних середовищах, а саме, у прісних та морських водоймах, термальних джерелах, стічних водах промислового, сільськогосподарського та муніципального походження. Для багатьох видів місцем існування є ґрунт, гірські породи, льодовики, інші представники живого світу, позаяк водорості є одними з найбільш розповсюджених видів на Землі. Це свідчить про надзвичайно широкі межі їх адаптивності і лабільності метаболізму [11, 19, 26].

Сучасні наукові дослідження показують перспективність мікроводоростей як одних з найбільш ефективних продуцентів основних органічних речовин – протеїнів, ліпідів, вуглеводів, пігменти, вітамінів, тощо [19, 36]. Вони є джерелом для виробництва найрізноманітніших органічних та неорганічних речовин – від водню до складних полімерів. Мікроводорості вже давно використовуються як здорова їжа і біологічно активні добавки та корми для тварин в аквакультурі і сільському господарстві [2, 6, 8, 19, 26]. Також ці організми виявилися корисними для екологічного очищення газів і стічних вод [34]. Останнім часом через попит на поновлювані джерела енергії – біопаливо та біодизель, мікроводорості привернули безпрецедентний інтерес [14, 15, 17, 25]. Окрім цього, мікроводорості стали надійними об'єктами для експресії рекомбінантних протеїнів [9].

Використання водоростей в альтернативній енергетиці

Сучасна енергетика ґрунтується на спалюванні нафтопродуктів, вугілля та природного газу, що забруднює атмосферу величезною кількістю CO₂, метану, кислотоутворювальними оксидами азоту і сірки, завдаючи безпосередньої шкоди природі внаслідок посилення парникового ефекту [14]. Тому подальше використання цих горючих речовин як джерела енергії та палива є

нестійким через виснаження запасів та вплив на стан довкілля. Нові та перспективні процеси, які спрямовані на підвищення використання відновлювальних і вуглецевонейтральних видів палив, необхідні для екологічної та економічної стійкості [4, 30].

Найактуальнішим питанням є створення альтернативного безпечного палива – біодизелю. Сьогодні значну частку біодизелю отримують з олійних культур, відходів харчової промисловості та тваринних жирів, однак ці кількості не можуть реально задовільнити існуючий попит на транспортне паливо та суттєво виснажують ґрунти [4, 31].

Класичні види біопалива, які виготовляють із різної за походженням сировини для біомаси, поділяють первинні та вторинні, останні умовно ділять ще на 1-е, 2-е і 3-є покоління (рис. 1) [17, 28].

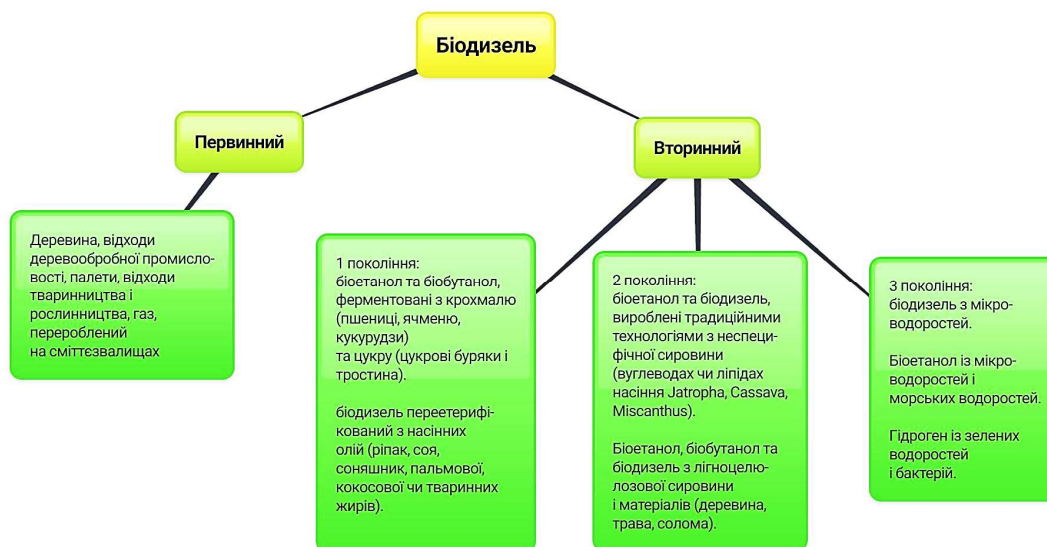


Рис. 1. Класифікація видів біопалива.

Оцінюючи витрати на виробництво біопалива 1-го покоління та частково 2-го, слід враховувати чинники, від яких залежить кінцева вартість продукту: землевпорядні роботи, агротехніка, виробництво пестицидів і добрив, зрошення, робота сільгоспмашин, подрібнювачів і транспортних засобів, а також енергетичні витрати на забезпечення технологічних та біохімічних процесів отримання етанолу [4, 30, 31].

Враховуючи останні наукові дослідження та багатообіцяючі результати експериментів, власне, мікробіодизелю, як представники 3-ого покоління біопалива, будуть найефективнішим поновлюваним джерелом біодизельного палива, яке здатне забезпечити потреби сучасного людства. Як і всі рослини, мікробіодизелю використовують сонячне світло та діоксид вуглецю для синтезу органічних речовин, але з вищим коефіцієнтом корисної дії, тому синтез та накопичення поживних речовин (насамперед, ліпідів і білків) на одиницю приросту біомаси у них є набагато ефективнішим, ніж у культурних рослин [28, 37].

Загальноприйняте інтегроване виробництво біопалива з мікробіодизелю (рис. 2) включає цикл культурального вирощування (залежно від технічних умов та поставлених завдань), відбір та первинна обробка біомаси, після чого стадія руйнування клітин та екстракція ліпідів для отримання біодизельного палива шляхом переетерифікації [11, 17, 20].

Надзвичайно привабливою є екологічна перспектива використання мікробіодизелю як сировини для виробництва біодизельного палива, що має ряд переваг: не містить сульфуру, повністю розкладається мікроорганізмами і тому відносно нешкідливе для природного середовища [29, 32]. Потрапляючи у воду чи ґрунт, біодизель зазнає повної біодеградації менш, ніж за один місяць [32], а розміри частинок викидів на 30-40% менші, ніж у звичайного дизельного палива. Згідно з літературними даними [6], з одного гектара землі можна отримати 446 л соєвої олії, або 2 690 л пальмової, а з такої ж площі водної поверхні – до 90 000 л біодизелю.

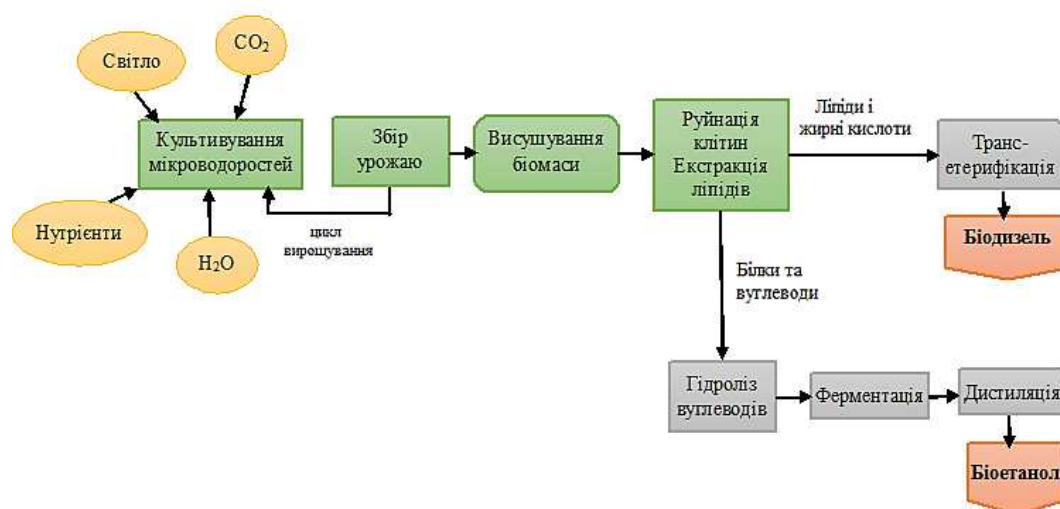


Рис. 2. Інтегрований процес виробництва біодизельного палива і біоетанолу з мікрободоростей

Окрім цього, особливістю мікрободоростей є те, що деякі види здатні синтезувати і виділяти цукри, вуглеводні або етанол назовні, у культуральне середовище, тобто енергетичні речовини можна отримати без порушення рослинних культур [4, 6].

Ще одним важливим чинником для використання мікрободоростей, як джерела поновлюваної енергетичної сировини, є їх висока урожайність та високий вміст ліпідів на одиницю сухої біомаси. Так, середній вміст ліпідів у клітинах водоростей коливається у *Botryococcus braunii* до 35%, *Chlamydomonas reinhardtii* – 21%, *Chlorella vulgaris*– 14-22%, *Euglena gracilis*– 14-20%, *Prymnesium parvum* – 22-39%, *Scenedesmus dimorphus* – до 40%, *Spirogyra sp.* – 15-21% від маси сухої речовини [37, 39]. Проте, за певних несприятливих або стресових умов вміст ліпідів може збільшуватися у деяких видів до 70% і навіть до 90% від сухої маси [19, 25].

У водоростей, як і у вищих рослин, містяться різноманітні види сполук ліпідної природи, серед них: неполярні ліпіди – триацилгліцероли, диацилгліцероли та неетерифіковані жирні кислоти, та полярні – глікозилгліцероли і фосфогліцероли. Мембранними ліпідами більшості органел водоростей є переважно фосфоліпіди, однак мембрани хлоропластів еукаріот та синьо-зелених водоростей, відповідальних за фотосинтез, представлені чотирма класами гліцероліпідів, з яких фосфоліпідом є лише один фосфатидигліцерол [1, 21]. Триацилгліцероли мікрободоростей є резервом енергії та характеризуються вмістом насичених і мононенасичених жирних кислот, проте деякі види водоростей здатні накопичувати і довголанцюгові поліненасичені жирні кислоти [10, 12, 13].

Більшість водоростей здатні запасати досить велику кількість ліпідів у формі триацилгліцеролів до 57% (сумарних ліпідів), які відкладаються в цитоплазмі у вигляді великих крапель [12]. У клітинах, що активно діляться, частка триацилгліцеролів зазвичай є низькою, однак перехід водоростей у стаціонарну фазу росту чи вплив окремих стресових чинників може стимулювати їх нагромадження [1]. Посилений біосинтез триацилгліцеролів та відкладання їх у запас вважається одним з елементів первинної відповіді на ріст в умовах, коли кількість енергії, що надходить ззовні, перевищує можливості клітини утилізувати цю енергію під час росту й поділу клітин [33]. Для прокаріотичних синьо-зелених водоростей не властиве запасання ліпідів у формі триацилгліцеролів [1]; практично всі їх жирні кислоти входять до складу полярних ліпідів, які утворюють велику систему фотосинтетичних мембран [12]. Залишки жирних кислот, що входять до складу гліцероліпідів мікрободоростей, є надзвичайно важливими як для виконання ліпідами їх функцій, так і для цілеспрямованого використання водоростей у біотехнологіях фармацевтичних препаратів, біодизелю та кормо виробництві [21, 26].

Важливо відмітити, що якість біодизелю значно залежить від жирнокислотного складу вихідного матеріалу. З насичених жирних кислот у складі водоростей переважає пальмітинова, з ненасичених – пальмітоолеїнова (16:1) і ліноленова (18:3). Показово те, що загальна ненасиченість жирних кислот ліпідів мікроводоростей значно вища, ніж у пальмової олії, яка, однак, поступається соєвій. Слід зазначити, що жирнокислотний склад ліпідів мікроводоростей можна суттєво модифікувати фізико-хімічними умовами їх культивування [4, 5]. Зниження температури культивування, як і підвищення рівня освітленості, призводить до зростання частки ненасичених жирних кислот у хімічному складі водоростей. Разом з тим, змінюючи склад мінерального середовища культивування водоростей, або використовуючи інші фізико-хімічні впливи, можна регулювати інтенсивність та спрямованість біосинтезу ліпідів, співвідношення їх окремих класів та жирно кислотного складу, що є важливо для використання у біотехнології керування отримання корисних продуктів [3, 5]. Так, дія більшості іонів металів призводить до накопичення ліпідів і посилення біосинтезу окремих їх класів, особливо триацилгліцеролів і зростання вмісту жирних кислот. Зростання вмісту ліпідів, як загального так і окремих класів, виявлено за дії Cd^{2+} , Fe^{2+} , Cu^{2+} та Zn^{2+} на різні види мікроводоростей [3, 18, 27]. Також виявлено, що вміст ліпідів у *Chlorella minutissima* за дії Cd^{2+} та Cu^{2+} зростає відповідно на 21,07% і 93,90% порівняно з контрольними показниками [40]. В іншому дослідженні [27] показано, що загальний вміст ліпідів збільшується до 56,6% біомаси сухої маси у клітинах *Chlorella vulgaris* у фазі пізнього експоненціального росту після дводенного культивування в середовищі з відсутніми іонами феруму і повторного інокулювання в середовище з додаванням $FeCl_3$ у концентрації $1,2 \times 10^{-5}$ моль/дм³. Отже, встановлено, що йони металів викликають різноспрямовані зміни ліпідного складу клітин, що може бути пов'язане з різними механізмами їх дії на клітинний метаболізм та його адаптивні перебудови, що, скоріш за все, спрямовані на зменшення їх токсичного впливу.

Одноклітинні водорості як сировина для виготовлення БАД

Біологічно активними добавками є фізіологічно активні, безпечні речовини або сполуки, які повинні мати точні фізико-хімічні характеристики та науково обґрунтовані властивості, корисні для поліпшення та збереження здоров'я, установлені й схвалені норми щоденного вживання. Сприятливі ефекти, які БАДи можуть виявляти на організм, пов'язують із їх певними позитивними фізіологічними впливами на метаболізм різних субстратів (енергетичних інтермедіатів, глюкози, інсуліну, холестерину, глутатіону, триацилгліцеролів, тощо); захист проти прооксидантів; позитивний вплив на фізіологію шлунково-кишкового тракту та кишкової мікрофлори; активуючий вплив на імунну систему [2, 7, 22, 38].

Водорості є найбільш важливим та ефективним потенційним природним джерелом великої кількості біологічно активних речовин (табл.) широкого спектру дії (поліненасичені жирні кислоти, похідні хлорофілу, полісахариди, фукоїди, глюкани, пектини, галактани, альгінова кислота, вітаміни, амінокислоти, протеїни, ферменти, рослинні стерини, каротиноїди, мікроелементи, тощо) з високою можливістю для біотехнологічних процесів [16, 35].

Застосування сполук водоростевого походження у медицині й медичній промисловості сформувався в три основні напрями [11, 16]:

1 – допоміжні хіміко-фармацевтичні речовини для виробництва різних лікарських форм медичних препаратів,

2 – медичні вироби у вигляді марлі, вати, серветок, губок, тощо для місцевого гемостазу при зовнішніх і внутрішньопорожнинних кровотечах,

3 – лікарські засоби та БАДи до їжі різноспрямованої дії.

Серед багатьох видів водоростей, як прісноводних, так і морських, найбільшої популярності досягли – *Spirulina*, *Chlorella*, *Nostoc*, *Laminaria*, *Dunaliella* та інші.

Деякі органічні речовини, які отримують з мікрowodоростей для практичного використання [3, 6, 8, 12, 19, 22, 23, 24, 35, 36]

Сполука	Застосування	Водорість
<i>Ліпіди:</i> дигалактозилдиацил-гліцерол сульфоліпіди триацилгліцероли гліколіпіди фосфоглікоацил-сфінгозин	протипухлинний ефект пригнічення α -полімерази ДНК протівірусні препарати високоенергетичні сполуки, біопаливо протівірусна і протизапальна дія протитромбозна дія	<i>Phormidium tenue</i> <i>Porphyridium cruentum</i> <i>Scytonema</i> sp. <i>Chlorella protothecoides</i> <i>Botryococcus braunii</i> <i>Oscillatoria raoi</i> , <i>Oscillatoria trichoides</i> <i>Phormidium</i> sp. <i>Scytonema julianum</i>
<i>Ненасичені жирні кислоти:</i> ейкозапентаєнова кислота докозагексаєнова кислота γ -ліноленова кислота арахідонова кислота	харчові добавки, аквакорм дитячі суміші, харчові добавки, аквакорм харчові добавки харчові добавки	<i>Pavlova</i> , <i>Phaeodactylus</i> <i>Cryptocodium</i> , <i>Schizochytrium</i> <i>Spirulina</i> <i>Porphyridium</i>
<i>Фікобіліпротеїни:</i> фікоціанін фікоеритрин	антиоксидант, барвник для продуктів харчування та косметичних засобів, флуоресцентний агент, засіб для біомедичних досліджень та діагностики	<i>Spirulina platensis</i> <i>Porphyridium cruentum</i>
<i>Каротиноїди:</i> β -каротин астаксантин	харчовий барвник, антиоксидант, протиракові властивості пігмент, антиоксидант	<i>Dunaliella salina</i> <i>Haematococcus pluvialis</i>
<i>Мікоспоринові амінокислоти</i>	УФ-фільтр, сонцезахисний ефект	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>
<i>Полісахариди</i>	протівірусні властивості, загущувач, флокулянт	<i>Porphyridium cruentum</i>
<i>Фікотоксини</i> окадаїкова кислота, ессотоксин, гоніаутоксин	експериментальні засоби для дослідження нейродегенеративних захворювань	Dinoflagellates (<i>Amphidinium</i> , <i>Prorocentrum</i> , <i>Dinophysis</i>)
<i>Вітаміни та мікроелементи:</i> ціанокобаламін, йод, селен, цинк, залізо	регуляція метаболізму, гіповітаміноз	<i>Spirulina platensis</i> <i>Chlorella vulgaris</i>

Практичне значення спіруліни, як біодобавки, полягає у високому вмісті білків, ліпідів, ліноленової кислоти, вітамінів (особливо B_{12}), антиоксидантних сполук (каротиноїдів і фікоціанінів), мінералів (Mn, Zn, Se, I). Є дослідження, які підтверджують позитивний ефект препаратів із спіруліни при лікуванні анемії, серцево-судинних захворювань, гіпертензій, онкологічних захворювань. Сьогодні

має місце масштабне промислове культивування *Spirulina* у відкритих водоймах у Китаї, США, Індії, Малайзії до 4000 т на рік [35].

Водорості *Nostoc flagelliforme* і *Nostoc sphaeroides* жителі Китаю вживали ще 2000 років тому для профілактики та лікування діареї, гепатиту, гіпертензій. Ці види містять значну кількість білка, амінокислот (серед яких 8 є незамінними) та пігментів (хлорофілу і фікоціаніну) [16].

Хлорела є однією з найперспективніших мікроводоростей, яку масово культивують для промислового виробництва нутрицевтиків у формі таблеток чи порошку. Перший експериментальний завод для виробництва продукції з хлорели був запущений в 1961 році у Японії, далі – у США, Ізраїлі, Чехословаччині. До 1980 року створено майже 46 заводів, які виробляли понад 1000 кг хлорели біомаси на місяць. Цінність *Chlorella* обумовлена, передусім, високим вмістом білків та ліпідів (відповідно до 51-58% і 20-23% сухої ваги), каротиноїдів та, майже, повноцінним набором вітамінів. Окрім цього, водорість містить β -глюкан, який є активним імуностимулятором, і проявляє антиоксидантні властивості та ефект у зниженні ліпідів крові [24].

У багатьох країнах – Австралії, Ізраїлі, США і Китаї – зелену водорість *Dunaliella salina* культивують у відкритих водоймах для виробництва β -каротину. Цієї сполуки може утворюватися до 14% від сухої біомаси водоростей. Було показано, що β -каротин з *Dunaliella* має вищу антиоксидантну активність, ніж синтетичні аналоги, проявляє антисклеротичний ефект, пригнічує окислення ліпідів низької щільності та захищає організм від впливу УФ-променів [23].

Отже, перевага використання мікроводоростей для синтезу біоактивних молекул, в тому, що їх можна вирощувати на великомасштабному виробництві із регульованими та наперед спрямованими метаболічними процесами. Геномні наукові проекти дозволили створити трансгенні мікроводорості, такі як *Alexandrium*, *Chlamydomonas*, *Nostoc* та *Synechococcus*, для виробництва нових лікарських препаратів та ефективніших нутрицевтиків [9].

В останні роки активно досліджуються молекулярні та метаболічні механізми регульованого біосинтезу біологічно активних речовин – косметичних та фармацевтичних препаратів і компонентів біопалива водоростями в аквакультурі шляхом встановлення оптимального поєднання умов їх культивування та зовнішніх регуляторних чинників у таких напрямках:

- 1) генетичний аналіз та відбір організмів-агентів аквакультури, здатних ефективно синтезувати біологічно активні речовини;
- 2) встановлення оптимальних режимів освітлення, кисневого, вуглекислотного, азотного та фосфорного режимів і концентрацій йонів есенціальних металів та неметалів – регуляторів росту і розвитку, насамперед біосинтезу ліпідів та низькомолекулярних метаболітів;
- 3) встановлення рівня активності та спрямованості енергетичного, вуглеводного, азотистого та ліпідного метаболізму у клітинах відібраних потенційно біотехнологічно придатних водоростей та обґрунтування на їх основі технології регулювання біосинтезу біологічно активних сполук фізико-хімічними чинниками культивування;
- 4) дослідження кількісного та якісного складу вуглеводів, білків, ліпідів та низькомолекулярних метаболітів за дії визначених фізико-хімічних чинників;
- 5) розроблення технологій культивування, отримання біологічно активних речовин в аквакультурі та оцінка їх біологічної активності.

Отже, одноклітинні водорості здатні до високої метаболічної активності і пластичності, що регулюються зміною фізико-хімічних умов середовища існування і сприяють як розмноженню (наростанню біомаси), так і накопиченню в їх клітинах біологічно активних речовин. Окрім цього, водорості мають здатність активно акумулювати неорганічні сполуки як неметалів, так і металів, завдяки чому мікроелементи накопичуються в кількостях, що в рази перевищують їх вміст у середовищі існування [3]. Деякі чинники є активаторами біосинтезу ліпідів, що використовуються, передусім, як компоненти біопалива, фармацевтичні та косметичні засоби. Тому найважливішим завданням є з'ясування механізму біохімічних адаптацій до чинників водного середовища, які зумовлюють перебудову ліпідного метаболізму,

та встановити можливі шляхи регуляції і моделювання біосинтезу окремих класів ліпідів із метою отримання біотехнологічно-корисних продуктів.

1. Басова М. М. Жирнокислотный состав липидов некоторых видов микроводорослей / М. М. Басова // Альгология. — 2005. — Т. 15, № 4. — С. 415—436.
2. Богданов Н. И. Суспензия хлореллы в рационе сельскохозяйственных животных / Н.И. Богданов. — Пенза: изд-во ВНИИОЗ, 2007. — 48 с.
3. Вінярська Г. Б. Накопичення селену та його вплив на метаболізм у *Chlorella vulgaris* Beij. в культурі за дії селеніту натрію та йонів металів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук : спец. 03.00.04 «Біохімія» / Г.Б. Вінярська — Тернопіль, 2016. — 24 с.
4. Золотарьова О. Куди прямує біопаливна індустрія? / О. Золотарьова, Є. Шнюкова // Вісн. НАН України. — 2010. — № 4. — С. 10—20.
5. Луців А. І. Регуляція біосинтезу ліпідів у *Chlorella vulgaris* Beij. іонами металів та нафтопродуктами : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук : спец. 03.00.04 «Біохімія» / А. І. Луців. — Тернопіль, 2015. — 24 с.
6. *Перспективи використання микроводорослей в біотехнології* / за ред. О.К. Золотарьової. — К.: Альтерпрес, 2008. — 234 с.
7. Сімахіна Г. Інновації у харчових технологіях / Г. Сімахіна, Н. Науменко // Товари і ринки. — 2015. — №1. — С. 189—201.
8. Abd El B. Healthy Benefit of Microalgal Bioactive Substances / El B. Abd, G.S. El-Baroty // Journal of Aquatic Science. — 2013. — Vol. 1, No. 1. — P. 11—23.
9. *Algae and genetic modification: Research, production and risks* / C. Enzing, A. Nooijen — Food and Biobased Research: Wageningen UR, 2012. — 84 p.
10. Alonso D. L. Acyllipids of three microalga / D. L. Alonso, E.-H. Belarbi, J. Rodríguez-Ruiz // Phytochemistry. — 1998. — Vol. 47. — P. 1473—1481.
11. Bajpai R. Algal Biorefineries. Volume 1: Cultivation of Cells and Products / R. Bajpai, A. Prokop, M. Zappi – Springer Heidelberg London, 2014. — 331 p.
12. Behrens P. W. Microalgae as a source of fatty acids / P. W. Behrens, D. J. Kyle // J. Food Lipids. — 1996. — Vol. 3, No 4. — P. 259—272.
13. Bigogno C. Accumulation of arachidonic acid rich triacylglycerols in the microalga *Parietochlorisincisa* / C. Bigogno, I. Khozin-Goldberg, Z. Cohen // Phytochemistry. — 2002. — Vol. 60. — P. 135—143.
14. Borowitzka M.A. Techno-economic modeling biofuels from microalgae // *Algae for biofuel and energy*. — Dordrecht London: Springer, 2013. — P. 255—264.
15. Chisti Y. Biodiesel from microalgae / Y. Chisti // Biotechnology Advances. — 2007. — Vol. 25. — P. 294—306.
16. Chu Wan-Loy Biotechnological applications of microalgae / Wan-Loy Chu // IeJSME. — 2012. — Vol. 6 (S. 1). — P. 24—37.
17. Dragone G. Third generation biofuels from microalgae / G. Dragone, B. Fernandes, A. Vicente // Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology. – FORMATEX: Microbiology Series № 2. — 2010. — P. 1355—1366.
18. Einicker-Lamas M. Euglena gracilis as a model for the study of Cu²⁺ and Zn²⁺ toxicity and accumulation in eukaryotic cells / M. Einicker-Lamas, G. A. Mezian, T. B. Fernandes // Environ. Pollut. — 2002. — Vol. 120. — P. 779—786.
19. *Handbook of microalgal culture: Applied Phycology and Biotechnology* / Ed. Amos Richmond, Qiang Hu. — Oxford : Wiley&Sons, Ltd, 2013. — 726 p.
20. Harun R. Microalgae biomass as a fermentation feedstock for bioethanol production / R. Harun, M. Danquah, G. Forde / J. Chem. Technol. Biotechnol. — 2009. — Vol. 85, No 2. — P. 199—203.
21. Harwood J. L. Lipid metabolism in algae / J. L. Harwood, A. L. Jones // Adv. Bot. Res. — 1989. — Vol. 16. — P. 1—53.
22. Hemaiswarya S. Microalgae: a sustainable feed source for aquaculture / S. Hemaiswarya, R. Raja, K. Ravi // World J. Microbiol. Biotech. — 2011. — Vol. 27, N. 8. — P. 1737—1746.
23. Hu C. Determination of carotenoids in *Dunaliella salina* cultivated in Taiwan and antioxidant capacity of the algal carotenoid extract / [C. Hu, J. Lin, F. Lu, et al.] // Food Chem. J. — 2008. — Vol. 109. — P. 439—446.
24. Iwamoto H. Industrial production of microalgal cell-mass and secondary products – major industrial species *Chlorella* // In: Richmond A., ed. *Handbook of microalgal culture*. – UK: Blackwell Science, 2004. – P. 255—263.

25. Khan S. A. Prospects of biodiesel production from microalgae in India / S. A. Khan, M. Z. Rashmi, S. Prasad, U. C. Banerjee // *Renew. Sustain. Energy Rev.* — 2009. — Vol. 13. — P. 2361—2372.
26. Liu J. Recent Advances in Microalgal Biotechnology / J. Liu, Zh. Sun, H. Gerken / Published by OMICS Group eBooks, 2016. — 232 p.
27. Liu Z. Y. Effect of iron on growth and lipid accumulation in *Chlorella vulgaris* / Z. Y. Liu, G. C. Wang, B. C. Zhou // *Bioresour. Technol.* — 2008. — Vol. 99. — P. 4717—4722.
28. Nigam P.S. Production of liquid biofuels from renewable resources / P. S. Nigam, A. Singh // *Progress in Energy and Combustion Science.* — 2011. — Vol. 37, No. 1. — P. 52—68.
29. Olivier D. An algae based fuel / D. Olivier // *Biofuture.* — 2005. — № 255. [Електр. ресурс]
30. Ponti L. Overview on Biofuels from a European Perspective / L. Ponti, A. P. Gutierrez // *Bull. Sci. Tech. Soc.* — 2009. — Vol. 29, No 6. — P. 493—504.
31. Prokop A. Algal Biorefineries. Volume 2: Products and Refinery Design / A. Prokop, R. Bajpai, M. Zappi — Springer New York, 2014. — 553 p.
32. Robertson G. P. Greenhouse gases in intensive agriculture: contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere / G. P. Robertson, E. A. Paul, R. R. Harwood // *Science.* — 2000. — Vol. 289, No 5486. — P. 1922—1925.
33. Roessler P. Environmental control on glycerolipid metabolism in microalgae: commercial implications and future research directions / P. Roessler // *J. Phycol.* — 1990. — Vol. 26, No 3. — P. 393—399.
34. Shen Y. Culture of microalga *Botryococcus* in livestock wastewater / Y. Shen, W. Yuan, Z. Pei // *American Society of Agricultural and Biological Engineers.* — Vol. 51(4). — P. 1395—1400.
35. Skulberg O. M. Bioactive chemicals in microalgae / Richmond A., ed. / *Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology.* — Oxford: Blackwell Science, 2004. — P. 485—512.
36. Spolaore P. Commercial applications of microalgae / P. Spolaore, E. Duran, A. Isambert // *J. Biosci. Bioeng.* — 2006. — Vol. 101, No 2. — P. 87—96.
37. Sydney E. B. Potential carbon dioxide fixation by industrially important microalgae / E. B. Sydney, W. Sturm, J. C. de Carvalho // *Bioresource Technology.* — 2010. — Vol. 101. — P. 5892—5896.
38. Tang G. Vitamin A, Nutrition, and Health Values of Algae: *Spirulina*, *Chlorella*, and *Dunaliella* / G. Tang, P. M. Suter // *Journal of Pharmacy and Nutrition Sciences.* — 2011. — Vol. 1. — P. 111—118.
39. Um B.-H. Review: A chance for Korea to advance algal-biodiesel technology / B.-H. Um, Y.-S. Kim // *J. of Indust. and Eng. Chem.* — 2009. — Vol. 15. — P. 1—7.
40. Yang J. Lipid production combined with biosorption and bioaccumulation of cadmium, copper, manganese and zinc by oleaginous microalgae *Chlorella minutissima* UTEX2341 / J. Yang, J. Cao, G. Xing // *Bioresource Technology.* — 2014. — Vol. 175. — P. 537—544.

О. И. Боднар

Тернопольский национальный педагогический университет имени Владимира Гнатюка

БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ: ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ (ОБЗОР)

Рассмотрены основные современные направления практического использования микроводорослей. Наиболее перспективным и актуальным является создание и оптимизация технологии производства из одноклеточных водорослей биодизеля как возобновляемого и безопасного для окружающей среды источника энергии. Культивирование микроводорослей осуществляется при соответствующих физико-химических, технических и климатических условиях с использованием различных методик, регулирующих и модифицирующих процессы прироста биомассы и синтеза органических веществ, в частности липидов. Также проанализированы данные по биохимическому составу водорослей и их активных компонентов, которые используются для получения биологически активных веществ с лечебной или профилактической целью в фармацевтической, косметической и ветеринарной практике.

Ключевые слова: водоросли, культивирование, аквакультура, биодизель, биологически активные вещества

O. I. Bodnar

Volodymyr Gnatiuk Ternopil National Pedagogical University, Ukraine

BIOTECHNOLOGICAL PROSPECT APPLYING OF MICROALGAE: MAIN TRENDS (REVIEW)

Unicellular algae are photosynthetic microorganisms are capable of growth and reproduction in different aquatic environments, namely in fresh and marine waters, hot springs, wastewater in of the industrial, agricultural and municipal origin. For many types of microalgae habitat is the soil, rocks, glaciers and other representatives of the living world. Therefore, algae are among the most common species on the planet. This indicates an extremely wide margin of adaptive processes and metabolic lability of them, which are easily tunable, adapting to environmental conditions and continue their life cycle.

Modern scientific research shows promise of algae as one of the most efficient producers of basic organic substances - proteins, lipids, carbohydrates, pigments, vitamins, and more. They are a source for the production of a variety of organic and inorganic substances, from hydrogen to complex polymers.

The article deals with basic modern directions of practical use of microalgae. The most promising and important is the creation and optimization of the production technology of unicellular algae biodiesel. Recently, due to the demand for renewable energy - biofuels and biodiesel microalgae attracted unprecedented interest. This is a renewable and environmentally friendly source of energy. The cultivation of microalgae carried out by appropriate physical, chemical, technical and climatic conditions using various methods. They regulate and modify the processes of growth and biomass synthesis of organic compounds, including lipids.

Also analyzed data on the biochemical composition of algae (mainly lipid and protein origin, pigments, etc.) and their active ingredients are used to produce biologically active substances for therapeutic or prophylactic purpose in the pharmaceutical, cosmetic and veterinary practice. Microalgae have long been used as a health food and dietary supplements and as animal feed in aquaculture and agriculture.

Beneficial effects of algae dietary supplements are in positive physiological effects on the metabolism of various substrates (energy intermediates, glucose, insulin, cholesterol, glutathione, triacylglycerol, etc.), protection from pro-oxidant, positive effect on the physiology of the digestive tract and intestinal microflora, activating effect on the immune system.

As well, these microorganisms can be useful for ecological gas cleaning and waste water. In addition, microalgae have become reliable targets for the expression of recombinant proteins.

Keywords: algae cultivation, aquaculture, biodiesel, biologically active supplements

Рекомендує до друку

В. В. Грубінко

Надійшла 15.02.2017