

# ЕКОЛОГІЧНА ФІЗІОЛОГІЯ І БІОХІМІЯ ВОДНИХ РОСЛИН

---

УДК 577.1:582.26:663.18.

**О.П. ОЛЬХОВИЧ**, к. б. н., доцент, доцент,  
ННЦ Інститут біології та медицини,  
Київський національний університет ім. Т. Шевченка,  
вул. Володимирська 64/13, Київ, 01601, Україна  
e-mail: oolga2005@ukr.net  
ORCID 0000-0002-7314-7631

**В.Н. БЕЛАВА**, к. б. н., доцент, доцент,  
ННЦ Інститут біології та медицини,  
Київський національний університет ім. Т. Шевченка,  
вул. Володимирська 64/13, Київ, 01601, Україна  
e-mail: v 987@ukr.net  
ORCID 0000-0001-7802-4166

**О.О. ПАНЮТА**, к. б. н., доцент, доцент,  
ННЦ Інститут біології та медицини,  
Київський національний університет ім. Т. Шевченка,  
Володимирська 64/13, Київ, 01601, Україна  
e-mail: panyuta@ukr.net  
ORCID 0000-0001-9847-8990

## ОЦІНКА БІОХІМІЧНОГО СКЛАДУ БІОМАСИ *PHAEODACTYLUM TRICORNUTUM* BOHLIN (BACILLARIOPHYTA) ТА ЇЇ ПОТЕНЦІЙНОЇ ЦІННОСТІ ЯК ХАРЧОВОГО РЕСУРСУ

---

Здійснено оцінку вмісту промислово-цінних сполук у біомасі діатомової водорості *Phaeodactylum tricornutum* Bohlin, вирощеної в лабораторному фотобіореакторі закритого типу. Відмічено високий вміст білка (42,33 мг/г сухої речовини), амінокислот (262,5 мкМ/г сухої речовини), зокрема незамінних (56,4 мкМ/г сухої речовини), хлорофілу *a* (7,64 мг/г сухої речовини), каротиноїдів (4,42 мг/г сухої речовини), фукоксантину (3,08 мг/г сухої речовини), сульфохінової діацилгліцеролу (СХДГ) (5,17 мг/г сухої речовини) та ацилкарнітинів (1,77 мкМ/г сухої речовини). *Ph. tricornutum* є перспективним об'єктом для отримання в промислових масштабах повноцінного білка, СХДГ з підвищеним вмістом омега-3 жирних кислот, фукоксантину та хлорофілу *a*.

**Ключові слова:** мікродорості, *Phaeodactylum tricornutum*, біотехнологія, амінокислоти, білок, хлорофіл, фукоксантин, каротиноїди, СХДГ, ацилкарнітини.

Впродовж останніх років спостерігається стійка тенденція збільшення попиту на мікродорості та продукти їхньої переробки, яка зумовле-

---

Ц и т у в а н н я: Ольхович О.П., Белава В.Н., Панюта О.О. Оцінка біохімічного складу біомаси *Phaeodactylum tricornutum* Bohlin (Bacillariophyta) та її потенційної цінності як харчового ресурсу. *Гідробіол. журн.* 2026. Т. 62, № 4. С. 82—96.

на необхідністю подолання кризових явищ у сфері глобальної продовольчої безпеки, пов'язаних з дефіцитом традиційних харчових ресурсів та зміною споживчих пріоритетів людини у бік функціонального та нутриціологічно збалансованого харчування. Мікроскопічні водорості є багатим джерелом різних сполук, серед них унікальних метаболітів [13, 22, 28, 41, 42], що мають великий комерційний попит як цінні інгредієнти для харчової, фармацевтичної, нутрицевтичної та медичної галузей [23, 48, 51].

Вирощування водоростей в промислових масштабах для отримання чистої біомаси для харчової промисловості здійснюють у закритих фотобіореакторах, що дозволяє збільшити продуктивність і вихід певних промислово-цінних сполук [26, 34, 38] та уникнути забруднення супутніми видами водоростей, які можуть містити фітотоксини, гепатотоксини, наприклад мікроцистини або нейротоксини, насамперед анатоксин-а [20], іншими мікроорганізмами чи токсичними домішками [21, 44]. Використання фотобіореакторів також сприяє економному використанню штучного світла, яке є дорогим ресурсом, що знижує собівартість отриманої продукції [26, 38].

Пошук перспективних видів мікрowodоростей, які дозволять отримувати великі об'єми біомаси та комерційно-цінних сполук, є необхідною умовою для промислового виробництва. Оскільки біологічне різноманіття мікрowodоростей нараховує більше 50 000 видів [40], актуальним є питання підбору видів, які будуть простими в культивуванні та відповідати потребам різних галузей.

Цікавими в цьому плані є діатомові водорості, насамперед *Phaeodactylum tricornutum* Bohlin — унікальна морська водорість, біомаса якої може містити 30—60 % білка з повним набором амінокислот, жирні кислоти (включно з 3-омега), пігменти (фукоксантин, хлорофіл *a* та *c*, бета-каротин, ксантофіли (діадиноксантин, діатоксантин), натуральні барвники (золотисто-коричневого або оливкового відтінку). Є дані, що вміст фукоксантину у цієї діатомеї в 10 разів більший, ніж у бурих макроводоростей, вона також синтезує ейкозапентаєнову кислоту, яка є альтернативною риб'ячому жиру у веганському харчуванні та має повний склад білка, включно з усіма незамінними амінокислотами [10, 56]. На сьогодні *Ph. tricornutum* ретельно вивчають як можливе джерело фукоксантину для отримання барвника та інших сполук харчового призначення.

Цей вид вже пройшов ретельну перевірку на безпечність Європейським агентством з безпеки харчових продуктів (EFSA) і отримав статус «Novel Food» (новий харчовий продукт) та в Америці отримав статус GRAS (Generally Recognized as Safe) від FDA, що дозволяє його використання як інгредієнта в продуктах харчування та напоях. Екстракт фукоксантину з *Ph. tricornutum*, який виробляє ізраїльська компанія Algatech під брендом FusoVital є першим у світі, що отримав схвалення FDA як безпечний інгредієнт. У близькому майбутньому передбачається використання *Ph. tricornutum* в сирах, йогуртах, хлібобулочних виробках та дитячому харчуванні [46]. Тільки в Європі цю водорість вже вирощують при-

наймні вісім компаній, досягаючи річного виробництва до 4 т сухої біомаси [3].

На відміну від багатьох інших водоростей, які ростуть у відкритих басейнах, *Ph. tricornutum* частіше вирощують у закритих фотобіореакторах. Унікальна здатність *Ph. tricornutum* полягає в тому, що її можна вирощувати навіть у повній темряві в закритих ферментерах (як дріжджі), додаючи глюкозу або гліцерин, що дозволяє отримувати велику кількість біомаси незалежно від погоди. Це також одна з небагатьох діатомей, яка може жити без кремнієвого панцира, що значно полегшує процес екстракції корисних речовин. Отже, *Ph. tricornutum* має значний потенціал для масштабного промислового культивування [4, 9, 46, 55].

Метою роботи була оцінка вмісту цінних для харчування людини сполук, а саме — білка, амінокислот, ацилкарнітинів, сульфохіновозилдіацилгліцеролу (СХДГ) та пігментів (хлорофілів *a* та *c*, каротиноїдів, фукоксантину) у діатомовій водорості *Ph. tricornutum*, вирощеної у фотобіореакторі закритого типу.

### Матеріал і методика досліджень

Об'єктом досліджень слугувала діатомова водорість *Phaeodactylum tricornutum* Bohlin з колекції відділу біотехнології Інституту переробки зерна (м. Нутеталь, Німеччина). Це морська водорість, що характеризується швидким ростом і здатністю накопичувати цінні метаболіти, які важко отримати з інших рослин (каротиноїди, фукоксантин, омега-3 жирні кислоти, незамінні амінокислоти).

*Phaeodactylum tricornutum* — це унікальна водорість, яка в природних умовах може існувати в трьох основних морфотипах: веретеноподібному, овальному та трипроменевому [25]. Овальний морфотип є переважно бентосним, на відміну від веретеноподібних та трипроменевих клітин, які характерні для планктонних форм цього виду [49, 50]. Вважають, що поліморфізм сприяє пластичності та пристосуванню *Ph. tricornutum* до різних умов існування [8, 15, 45]. Веретеноподібний морфотип поширений в природних водах та культурах *in vitro* [12], трипроменеві клітини надають перевагу лужному середовищу [6], а овальні краще ростуть в несприятливих умовах [11]. Є дані [17, 45], що овальні клітини синтезують більшу кількість білків та пігментів порівняно з веретеноподібними, тоді як у біомасі веретеноподібних клітин накопичуються насамперед ліпіди та вуглеводи. Це може мати значення при промисловому вирощуванні цієї водорості для збільшення в біомасі певних метаболітів з урахуванням попиту на них.

Культуру овальних клітин *P. tricornutum* вирощували в закритому лабораторному фотобіореакторі об'ємом 100 дм<sup>3</sup>. Живильним середовищем для культивування водоростей було середовище Провасолі [1].

Мікрowodорість вирощували за температури 20—24 °С, високій інтенсивності червоного (~ 750 мкмоль квантів м<sup>2</sup>/с) та низькій інтенсивності синього світла (~ 100 мкмоль квантів м<sup>2</sup>/с) в режимі 15 год світла та 9 год темряви за рН = 7,5. Біомасу для дослідження відбирали на 14-й день

після початку культивування (на експоненційній фазі росту), далі її наносили тонким шаром на поліетилен та висушували теплим повітрям впродовж 3—4 год при температурі не вище 60 °С (не допускаючи потрапляння прямих сонячних променів) до повітряно-сухого стану.

Вміст білка визначали колориметричним біуретовим методом [19]. Весь матеріал що залишився на фільтрі з наважки повітряно-сухої біомаси водоростей (0,1 г) після процедури відмивання ацетоном, переносили в пробірку і додавали 4 см<sup>3</sup> 2,5 %-вої трихлороцтової кислоти. Після центрифугування впродовж 5 хв при 5000 об/хв супернатант видаляли і всю процедуру повторювали. Потім аналогічну процедуру проводили з використанням 5 см<sup>3</sup> дистильованої води, додавали 5 см<sup>3</sup> 0,05 н NaOH в пробірку, де містився сухий матеріал, і центрифугували. По закінченні центрифугування відбирали 3 см<sup>3</sup> розчину з верхньої фракції і змішували з 0,5 см<sup>3</sup> біуретового реактиву (20 г NaOH розчиняли в 0,5 дм<sup>3</sup> води, додавали 22 г KNaC<sub>4</sub>H<sub>4</sub>O<sub>6</sub>·4H<sub>2</sub>O, 7,5 г CuSO<sub>4</sub> та 12,5 г KI). Оптичну щільність вимірювали при довжині хвилі 550 нм на спектрофотометрі Shimadzu UV-1800.

Вміст амінокислот та ацилкарнітинів визначали методом тандемної мас-спектрометрії [32] за допомогою мас-спектрометра AB Sciex 2000 з автосамплером Ultimate 3000 (Dionex). Для аналізу використовували диск діаметром 3 мм. До кожної проби (20 мм<sup>3</sup> екстракту) додавали внутрішній стандарт (суміш мічених дейтерієм амінокислот (або ацилкарнітинів) з відомими концентраціями) в кількості 200 мм<sup>3</sup> на зразок. Після інкубації з внутрішнім стандартом зразки висушували та проводили дериватизацію за допомогою 3 н розчину бутанол/HCl. Після висушування зразки розчиняли в реконституційному буфері та завантажували в автосамплер Ultimate 3000.

Для розрахунку кількості амінокислот (ацилкарнітинів) у дослідному зразку попередньо на колонку автоматичного аналізатора наносили стандартну суміш з відомою концентрацією кожної амінокислоти (ацилкарнітину). На хроматограмі розраховували площу піку амінокислоти (ацилкарнітину). Кількість мікромолей для кожної амінокислоти (ацилкарнітину) ( $X_1$ ) у досліджуваному розчині вираховували за формулою:  $X_1 = S_1/S_0$ , де  $S_1$  — площа піку амінокислоти (ацилкарнітину) в досліджуваному зразку;  $S_0$  — площа піку цієї амінокислоти (ацилкарнітину) в розчині стандартної суміші амінокислот (ацилкарнітинів), що відповідає 1 мкмоль кожної амінокислоти (ацилкарнітину).

Кількість амінокислот (ацилкарнітинів) в міліграмах отримували множенням кількості мікромолей певної амінокислоти (ацилкарнітину) на відповідну їй (йому) молекулярну масу. Якісний склад суміші амінокислот (ацилкарнітинів) визначали порівнянням хроматограми дослідного зразка зі стандартною сумішшю амінокислот (ацилкарнітинів) [36].

Для визначення сульфоліпиду до ацетонового фільтрату додавали 1 см<sup>3</sup> розчину гексан/бензолу (4:1), 2 см<sup>3</sup> води та центрифугували при 5000 об/хв протягом 5 хв за кімнатної температури. Після центрифугування до 1 см<sup>3</sup>, відібраного з нижньої фракції, додавали 1 см<sup>3</sup> 0,01 %-вого

азуру (в розчині ацетону) та 2 см<sup>3</sup> бензолу і знову центрифугували при 5000 об/хв протягом 5 хв за кімнатної температури. Після центрифугування розчин з верхньої фракції відбирали у кювету та вимірювали оптичну щільність при 610 нм. Розрахунок сульфоліпиду проводили за допомогою стандартної кривої за додецилсульфатом натрію у відповідності до методу Кіна [27].

Для визначення вмісту хлорофілу *a*, хлорофілу *c* та каротиноїдів наважку повітряно-сухої біомаси водоростей (0,1 г) гомогенізували з 0,5 г скляного порошку та 0,5 г безводного Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Гомогенат перенесли в скляну колонку з фільтром, додавали 3 см<sup>3</sup> 90 %-вого ацетону і фільтрували. Екстракт пігментів аналізували на спектрофотометрі Shimadzu UV-1800 за довжини хвиль 665, 645, 630 та 480 нм. Кількісний вміст хлорофілів *a* та *c* і каротиноїдів розраховували за відповідними формулами [47]:

$$C_a = (11,6 \cdot D_{665} - 1,31 \cdot D_{645} - 0,14 \cdot D_{630}) \nu / l \cdot V,$$

$$C_c = (55 \cdot D_{630} - 4,64 \cdot D_{665} - 16,3 \cdot D_{645}) \nu / l \cdot V,$$

$$C_{кар} = 10 \cdot D_{480} \nu / l \cdot V,$$

де: *D* — оптична густина екстракту пігментів за відповідної довжини хвилі, *ν* — об'єм ацетону (см<sup>3</sup>), *l* — товщина кювети (см), *V* — об'єм витяжки (см<sup>3</sup>).

Екстракцію фукоксантину здійснювали з 5 см<sup>3</sup> центрифугованої культуральної біомаси, яку перед екстракцією ліофілізували. Висушену біомасу змішували зі 100 %-вим етанолом у співвідношенні 1:4 мг:см<sup>3</sup> та інкубували при 60 °С протягом 1 год в темряві, щоб запобігти фотодеградації пігменту. Після інкубації суміш центрифугували при 4000 об/хв протягом 10 хв і збирали супернатант, що містив фукоксантин. Вміст фукоксантину визначали спектрофотометрично за допомогою спектрофотометра Shimadzu UV-1800 за довжини хвиль 445 нм (максимальне поглинання для фукоксантину) та 663 нм (для врахування інтерференції хлорофілу). Концентрацію фукоксантину розраховували за рівнянням [52]:

$$C_{фук} = (6,39 \cdot D_{445} - 5,18 \cdot D_{663}).$$

Перерахунок вмісту кожної досліджуваної речовини (білка, амінокислоти, ацилкарнітину, сульфоліпиду, пігмента) на 1 г сухої речовини здійснювали за формулою:  $A = CV/P \cdot 1000$ , де: *A* — вміст речовини, мг/г або мкМ/г сухої речовини; *C* — концентрація речовини, мг/дм<sup>3</sup> або мкМ/дм<sup>3</sup>; *V* — об'єм витяжки речовини, см<sup>3</sup>; *P* — наважка рослинного матеріалу, мг.

Визначення ізолейцину, лізину та треоніну не проводили, оскільки ці амінокислоти за наведеною методикою не ідентифікувалися.

Статистичну обробку результатів досліджень здійснювали за допомогою програми Microsoft Office Excel із застосуванням  $t$ -критерію Стьюдента. Вони вважалися достовірними за рівня значущості  $p \leq 0,05$ . Кількість повторів була не менша трьох.

### Результати досліджень та їх обговорення

Біохімічний аналіз повітряно-сухої біомаси *Ph. tricornutum* дозволив виявити в ній деякі промислово-цінні сполуки (рис. 1).

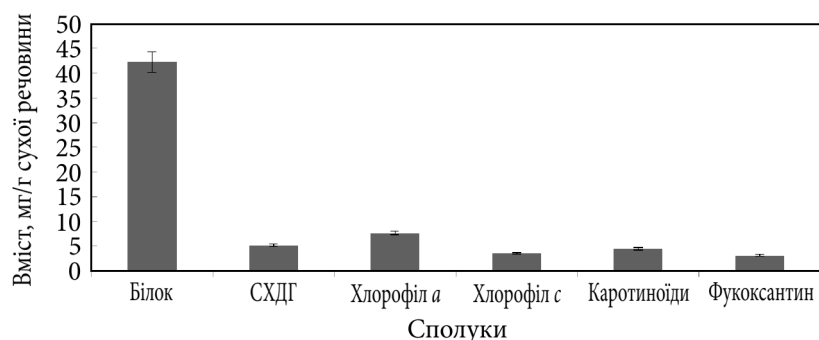
Природні пігменти, такі як хлорофіли та каротиноїди, є одними з найбільш затребуваних і цінних метаболітів, що синтезуються водоростями. Їх широко використовують у харчовій, косметичній та фармацевтичній промисловості. Пігменти вживають в їжу як біологічну добавку, що має антиоксидантні, протизапальні, протимутагенні та протимікробні властивості [16].

Каротиноїди, такі як фукоксантин, лютеїн, бета-каротин, лікопін та астаксантин, здебільшого використовуються як дієтичні добавки, харчові фортифікатори та натуральні барвники для рибних, м'ясних, макаронних та кондитерських виробів і напоїв [43], оскільки нове покоління споживачів віддає перевагу натуральним продуктам, що пов'язано зі збільшенням алергічних реакцій та проблем із здоров'ям.

Фукоксантин активно використовують у спортивних харчових добавках, оскільки він сприяє спалюванню жиру в жирових клітинах [29]. Позитивний вплив фукоксантину на здоров'я людини [5, 33] пов'язаний з тим, що він перешкоджає перебігу процесів запалення [24], запобігає ожирінню [18], діабету [58] та ймовірно знижує ризик виникнення ракових клітин [31].

Вміст хлорофілу  $a$  у повітряно-сухій біомасі овальних клітин *Ph. tricornutum* дорівнював 7,64 мг/г сухої речовини, хлорофілу  $c$  — 3,52 мг/г сухої речовини, загальний вміст каротиноїдів становив 4,42 мг/г сухої речовини, а фукоксантину — 3,08 мг/г сухої речовини.

Вміст пігментів у діатомових водоростей дуже залежить від освітлення та температури. Так, при гарному освітленні і оптимальній температурі переважає хлорофіл  $a$ , а у разі зниження інтенсивності освітлення збільшується вміст хлорофілу  $c$  та каротиноїдів, зокрема фукоксантину. Це пов'язано з пристосуванням цих водоростей до існування на глибині, оскільки дозволяє ефективніше вловлювати слабке синє та зелене світло, яке краще, ніж червоне, проникає вглиб водойми крізь товщу води [53]. В наших дослідженнях при фототрофному вирощуванні водоростей було застосовано червоне світло високої інтенсивності ( $\sim 750$  мкмоль квантів  $m^2/c$ ) та синє світло низької інтенсивності ( $\sim 100$  мкмоль квантів  $m^2/c$ ), тому вміст хлорофілу  $a$  був значно вищим, ніж хлорофілу  $c$  та фукоксантину. Існують літературні відомості [14, 37] про те, що за правильно підібраних умов культивування вміст фукоксантину у *Ph. tricornutum* може сягати 25 мг/г сухої речовини. Отже, є значний потенціал для отримання цієї комерційно-цінної речовини біотехнологічним шляхом.



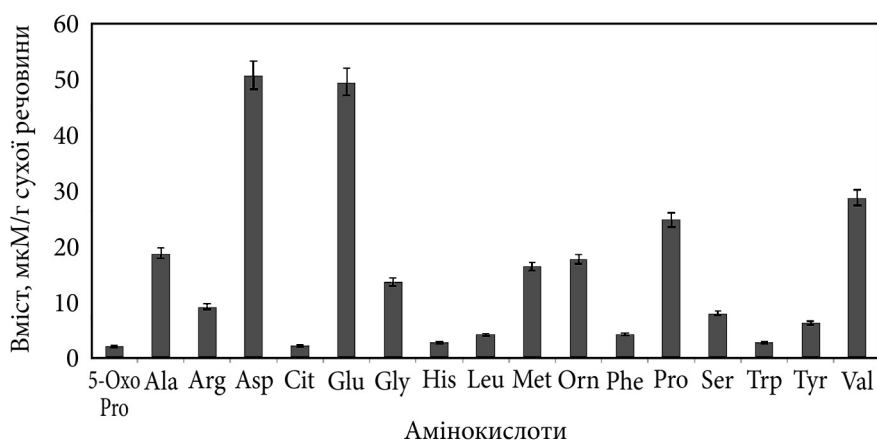
**Рис. 1.** Вміст промислово-цінних сполук у клітинах водорості *Phaeodactylum tricornutum*

Вміст білка у *Ph. tricornutum* дорівнював 42,33 мг/г. Такий вміст є досить високим для водоростей і засвідчує наявність у цього виду значного потенціалу для отримання харчового білка. Важливою характеристикою харчового білка є його повноцінність, яка залежить від складу та вмісту амінокислот, насамперед незамінних. В результаті проведених досліджень у біомасі *Ph. tricornutum* було виявлено 17 амінокислот, 5 з яких є незамінними (валін, лейцин, метіонін, триптофан та фенілаланін) (рис. 2).

Сумарний вміст визначених амінокислот дорівнював 262,5 мкМ/г сухої речовини. Найвищим вмістом характеризувалися аспарагінова та глутамінова кислоти (відповідно 50,8 та 49,6 мкМ/г сухої речовини), досить високим був вміст валіну (28,8) та проліну (24,8), дещо нижчим — аланіну (18,8), орнітину (17,7), метіоніну (16,4) та гліцину (13,7). Вміст інших амінокислот не перевищував 10 мкМ/г сухої речовини. Сумарний вміст незамінних амінокислот становив 56,4 мкМ/г сухої речовини. Незамінні амінокислоти склали 22 % від загального вмісту визначених амінокислот. Їхній вміст становив: валіну — 28,8, метіоніну — 16,4, фенілаланіну і лейцину — по 4,2, триптофану — 2,8 мкМ/г сухої речовини.

В біомасі *Ph. tricornutum* вміст більше 10 мкМ/г сухої речовини мали вісім амінокислот, а саме: аспарагінова і глутамінова, валін, пролін, аланін, орнітин, метіонін та гліцин. Разом вони склали 220,6 мкМ/г сухої речовини, або 84 % від загального вмісту всіх амінокислот.

У діатомових мікрowodоростях присутні різні типи ліпідів: жирні кислоти, полярні і неполярні ліпіди, триацилгліцериди, стероїди та оксиліпіни. Клітинна мембрана діатомових водоростей на 15—25 % складається з жирних кислот. Для діатомових водоростей характерні насичені та ненасичені кислоти: із насичених — міристинова (C14:0) і пальмітинова (C16:0) кислоти, а із ненасичених: мононенасичена кислота — пальмітолеїнова (C16:1) та поліненасичені — альфа-ліноленова (C18:3), ейкозапентаєнова (C20:5) і докозагексаєнова (C22:6), які належать до групи омега-3 жирних кислот, та арахідонова (C20:4) і гамма-ліноленова



**Рис. 2.** Вміст амінокислот в клітинах водорості *Phaeodactylum tricornutum*: 5Oxo-Pro — 5-оксипролін; Ala — аланін; Arg — аргінін; Asp — аспарагінова кислота; Cit — цитрулін; Glu — глутамінова кислота; Gly — гліцин; His — гістидин; Leu — лейцин; Met — метіонін; Orn — орнітин; Phe — фенілаланін; Pro — пролін; Ser — серин; Trp — триптофан; Tyr — тирозин; Val — валін

(C18:3) кислоти, які належать до омега-6 жирних кислот [30]. Поліненасичені жирні кислоти за останні роки набули популярності завдяки своїй ролі біологічно-активних речовин та важливих харчових інгредієнтів, які сприяють зміцненню здоров'я людини. При зниженні температури діатомеї синтезують більше поліненасичених жирних кислот, насамперед ейкозапентаєнної. Червоне світло стимулює накопичення ейкозапентаєнної кислоти, тоді як синє світло сприяє синтезу загальних ліпідів та насичених жирних кислот [53]. Отже, ефективним способом збільшення кількості певних жирних кислот у діатомових водоростей є створення контрольованого стресу.

Діатомеї також мають унікальну особливість — мембранну перебудову. Під час азотного голодування вони не лише синтезують нові жири, а й «розбирають» хлоропласти, перетворюючи мембранні ліпіди (моногалактозилдіацилгліцерол, дігалактозилдіацилгліцерол) на запасні жири (триацилгліцероли) ліпідних краплин [39].

Особливим класом мембранних ліпідів, які замість залишку фосфornoї кислоти (як у фосfolіпідів) містять сульфогрупу, є сульфоліпіди. Найпоширенішим представником є сульфохіновозилдіацилгліцерол (СХДГ) — унікальний сульфоліпід, який завдяки своїй структурі (поєднанню сульфованого цукру та залишків жирних кислот) має широкий спектр біологічної активності.

Висока концентрація СХДГ є однією з причин, чому діатомові водорості вважаються цінною сировиною для фармакології, адже саме цей ліпід в поєднанні з жирними кислотами відповідає за антивірусні та протипухлинні властивості екстрактів [2]. У структурі СХДГ діатомових водоростей часто міститься ейкозапентаєнова кислота [57], тому споживан-

ня таких сульфоліпідів покращує засвоюваність омега-3 жирних кислот порівняно зі звичайними жирами. Основною перешкодою для широкого використання цієї сполуки є складність її отримання в чистому вигляді. Очищення СХДГ від інших ліпідів (фосфоліпідів та галактоліпідів) є до-роговартісним процесом, що потребує використання високоефективної рідинної хроматографії.

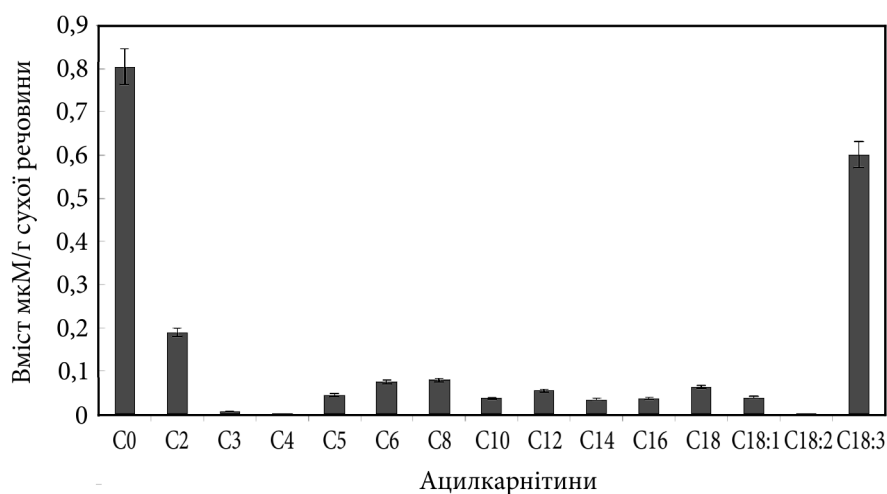
Основним джерелом для промислового отримання СХДГ є морські мікроводорості та ціанобактерії. Діатомові водорості вирізняються серед усіх фотосинтезуючих організмів аномально високим вмістом СХДГ (5—10 мг/г сухої речовини, або відповідно 5—10 % від загального вмісту ліпідів). У *Ph. tricornutum* цей сульфоліпід є одним із домінуючих компонентів мембран хлоропластів і складає 25—35 % [57].

Нами було визначено вміст СХДГ в біомасі *Ph. tricornutum* за фото-трофного культивування, який дорівнював 5,17 мг/г сухої речовини. Ос-кільки вміст СХДГ не є сталим і сильно залежить від зовнішніх чинників, таких як вміст у середовищі фосфору та азоту, або інтенсивності (за низь-кої інтенсивності вміст збільшується) та спектрального складу світла, його можна регулювати під час промислового отримання.

Ацилкарнітини є важливими сполуками в ліпідному метаболізмі клі-тини, які задіяні в процесі бета-окиснення жирних кислот, що здій-снюється в мітохондріях. Довголанцюгові жирні кислоти самостійно не можуть проникнути крізь внутрішню мембрану мітохондрій, їхнє транс-портування відбувається за допомогою карнітинового пулу через утво-рення ацилкарнітину. Жирна кислота спочатку активується до ацил-КоА, потім з'єднується з карнітином за допомогою ферменту кар-нітин-трансферази утворюючи ацилкарнітин, який легко транспортуєть-ся всередину мітохондрії через спеціальний білок-переносник. Всередині мітохондрії фермент карнітин-трансфераза від'єднує жирну кислоту (знову у вигляді ацил-КоА), а вільний L-карнітин повертається назад для наступного використання. Ацил-КоА всередині мітохондрії під час бе-та-окиснення утворює енергію у вигляді АТФ. Отже, ацилкарнітини є транспортною формою довголанцюгових жирних кислот, що дозволяє клітині використовувати жири як джерело енергії.

Є припущення, що рослинні ацилкарнітини, на відміну від тварин-них, крім транспортування жирних кислот до мітохондрій, також можуть бути залучені до транспортування жирних кислот синтезованих *de novo* з пластид до ендоплазматичного ретикулуму для синтезу специфічних глі-цероліпідів. Крім того, вони можуть виконувати антиоксидантні та ос-молітичні функції під час стресу. Те, що рослинні ацилкарнітини є залу-ченими до синтезу і накопичення мембранних і запасних ліпідів в рос-линних клітинах, суттєво відрізняє їх від тваринних ацилкарнітинів, які задіяні виключно в мітохондріальному бета-окисненні жирних кислот [7, 35].

Цікаво було з'ясувати склад та визначити вміст ацилкарнітинів у біомасі досліджуваної діатомової мікроводорості. В результаті проведе-них досліджень у *Ph. tricornutum* нами було ідентифіковано 15 ацил-



**Рис. 3.** Вміст ацилкарнітинів у клітинах водорості *Phaeodactylum tricornutum*: C0 — вільний карнітин; C2 — ацетилкарнітин; C3 — пропіонілкарнітин; C4 — бутирилкарнітин; C5 — ізовалерилкарнітин; C6 — гексанойлкарнітин; C8 — октанойлкарнітин; C10 — деканойлкарнітин; C12 — лаурилкарнітин; C14 — міристилкарнітин; C16 — пальмітоїлкарнітин; C18 — стеарилкарнітин; C18:1 — олеїлкарнітин; C18:2 — ленолеїлкарнітин; C18:3 —  $\alpha$ -ліноленілкарнітин

карнітинів (рис. 3). Загальний вміст визначених ацилкарнітинів дорівнював 1,77 мкМ/г сухої речовини, що значно більше, ніж в інших рослинних продуктах (авокадо, моркві, цвітній капусти, цільнозерновому хлібі), де він становить 0,1—1,0 мкМ/г сухої речовини [7].

Найвищим вмістом в біомасі *Ph. tricornutum* характеризувалися C0 — вільний карнітин (0,80 мкМ/г сухої речовини), C18:3 —  $\alpha$ -ліноленілкарнітин (0,30 мкМ/г сухої речовини) та C2 — ацетилкарнітин (0,19 мкМ/г сухої речовини). Вміст цих трьох ацилкарнітинів становив 73 %. Вміст 12 інших ацилкарнітинів був значно нижчим (від 0 до 0,08 мкМ/г сухої речовини) і загалом дорівнював 0,48 мкМ/г сухої речовини (27 %). Серед ацилкарнітинів, які мали підвищений вміст у *Ph. tricornutum*, особливої уваги заслуговує C18:3 —  $\alpha$ -ліноленілкарнітин, який є переносником  $\alpha$ -ліноленової (C18:3n3) омега-3 поліненасиченої жирної кислоти, однієї з двох абсолютно незамінних для харчування людини жирних кислот [54].

Цікавим в плані використання для веганського харчування людини ацилкарнітином, що міститься у *Ph. tricornutum*, крім C18:3 —  $\alpha$ -ліноленілкарнітину, може бути C18:2 —  $\alpha$ -ленолеїлкарнітин, який у своєму складі містить омега-6 поліненасичену лінолеву кислоту (C18:2n6), але, на жаль, його вміст за застосованих умов культивування дорівнював лише 0,001 мкМ/г сухої речовини. Можливо завдяки регуляції і підбору сприятливих для синтезу жирних кислот, а відповідно і ацилкарнітинів, умов культивування, його вміст можна збільшити за умов керованого біосинтезу. Це важливо, у зв'язку з попитом на рослинні ацилкарнітини, які використовують як сировину для виробництва веганських біологічно ак-

тивних добавок, спрямованих на енергетичну підтримку здоров'я людини.

### Заключення

Біомаса діатомової мікроводорості *Ph. tricornutum* може бути потенційною сировиною для багатьох галузей біотехнології та джерелом широкого спектру біологічно цінних сполук для харчової промисловості.

За культивування *Ph. tricornutum* в закритих фотобіореакторах овальні клітини водорості містять цінні інгредієнти — фотосинтетичні пігменти (каротиноїди — 4,42 мг/г сухої речовини, фукоксантин — 3,08, хлорофіл *a* — 7,64, хлорофіл *c* — 3,52 мг/г), білок (42,33 мг/г сухої речовини), амінокислоти (262,5 мкМ/г сухої речовини, серед них незамінні — 56,4 мкМ/г сухої речовини), СХДГ — 5,17 мг/г сухої речовини та ацилкарнітини — 1,77 мкМ/г сухої речовини.

За фототрофного вирощування *Ph. tricornutum* в оптимальних температурних умовах (20—24 °С) із застосуванням інтенсивного червоного світла (~ 750 мкмоль квантів м<sup>2</sup>/с) та синього світла низької інтенсивності (~ 100 мкмоль квантів м<sup>2</sup>/с) вміст хлорофілу *a* був значно вищим, ніж хлорофілу *c* та фукоксантину. За потреби вміст фукоксантину можна збільшити за рахунок зменшення інтенсивності червоного та збільшення інтенсивності синього світла і застосування екстремальних температур.

Серед 17 ідентифікованих амінокислот найвищим вмістом характеризувалися аспарагінова і глютамінова кислоти, приблизно вдвічі нижчим був вміст валіну і проліну, ще нижчим — аланіну, орнітину, метіоніну та гліцину. Сумарний вміст п'яти незамінних амінокислот (валіну, метіоніну, фенілаланіну, лейцину та триптофану) становив 22 % від загальної маси амінокислот.

В біомасі *Ph. tricornutum* ідентифіковано 15 ацилкарнітинів, загальний вміст яких становив 1,77 мкМ/г сухої речовини. Високим був вміст трьох ацилкарнітинів: С:0 — вільного карнітину (0,80 мкМ/г сухої речовини), С18:3 —  $\alpha$ -ліноленілкарнітину (0,30 мкМ/г сухої речовини) та С2:0 — ацетилкарнітину (0,19 мкМ/г сухої речовини).

Високий вміст СХДГ (5,17 мкМ/г сухої речовини) в біомасі *Ph. tricornutum*, що завдяки своїй унікальній структурі має широкий спектр біологічної активності, підвищує її промислову цінність.

Біомаса *Ph. tricornutum* є цінною для здорового харчування людини, зокрема веганського, оскільки її вживання сприятиме покращенню когнітивних функцій та загального стану людини завдяки зменшенню процесів, що спричиняють запалення, ожиріння та діабет.

### Список використаної літератури

1. Гродзинский А.М., Гродзинский Д.М. Краткий справочник по физиологии растений. Киев, 1973. 592 с.
2. Arao T., Kawaguchi A., Yamada M. Positional distribution of fatty acids in lipids of the marine diatom *Phaeodactylum tricornutum*. *Phytochemistry*. 1987. Vol. 26, N 9. P. 2573—2576.

3. Araújo R., Calderón F.V., López J.S. et al. Current status of the algae production industry in Europe: An Emerging Sector of the Blue Bioeconomy. *Front. Mar. Sci.* 2021. Vol. 7. Article N 626389. DOI:10.3389/fmars.2020.626389
4. Araya E., Flaig D., Gómez P.I. The combined effect of nitrogen source and silicate availability on the growth of the eicosapentaenoic acid-producing diatom *Phaeodactylum tricornutum*. *J. Appl. Phycology.* 2025. Vol. 37, N 2. P. 735—744. DOI:10.1007/s10811-024-03417-5
5. Bae M., Kim M.B., Park Y.K., Lee J.Y. Health benefits of fucoxanthin in the prevention of chronic diseases. *Biochim. Biophys. Acta. Mol. Cell Biol. Lipids.* 2020. Vol. 1865, N 11. Article N 158618. DOI: 10.1016/j.bbalip.2020.158618
6. Bartual A., Gálvez J. A., Ojeda F. Phenotypic response of the diatom *Phaeodactylum tricornutum* Bohlin to experimental changes in the inorganic carbon system. *Botanica Marina.* 2008. Vol. 51, N 5. P. 350—359. DOI: 10.1515/BOT.2008.047
7. Bourdin B., Adenier H., Perrin Y. Carnitine is associated with fatty acid metabolism in plants. *Plant Physiol. Biochem.* 2007. Vol. 45, N 12. P. 926—931. DOI: 10.1016/j.plaphy.2007.09.009
8. Butler T., Kapoor R. V., Vaidyanathan S. *Phaeodactylum tricornutum*: A Diatom Cell Factory. *Trends Biotechnol.* 2020. Vol. 38, N 6. P. 606—622. Doi: 10.1016/j.tibtech.2019.12.023
9. Chisti Y. Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances.* 2007. Vol. 25, N 3. P. 294—306. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2007.02.001.
10. Chrismadha T., Borowitzka M. A. Effect of cell density and irradiance on growth, proximate composition and eicosapentaenoic acid production of *Phaeodactylum tricornutum* grown in a tubular photobioreactor. *J. Appl. Phycol.* 1994. Vol. 6. P. 67—74. DOI:10.1007/BF02185906
11. De Martino A., Bartual A., Willis A. et al. Physiological and molecular evidence that environmental changes elicit morphological interconversion in the model diatom *Phaeodactylum tricornutum*. *Protist.* 2011. Vol. 162, N 3. P. 462—481. DOI: 10.1016/j.protis.2011.02.002
12. De Martino A., Meichenin A., Shi J., Pan K. Bowler C. Genetic and phenotypic characterization of *Phaeodactylum tricornutum* (Bacillariophyceae) accessions. *J. Phycol.* 2007. Vol. 43, N 5. P. 992—1009. DOI: 10.1111/j.1529-8817.2007.00384.x
13. Dolganyuk V., Belova D., Babich O. et al. Microalgae: A promising source of valuable bioproducts. *Biomolecules.* 2020. Vol. 10, N 8. Article N 1153. DOI: 10.3390/biom10081153
14. Elshobary M.E., Abo-Shanab W.A., Ende S.S.W. et al. Optimizing *Phaeodactylum tricornutum* cultivation: integrated strategies for enhancing biomass, lipid, and fucoxanthin production. *Biotechnol. Biofuels Bioprod.* 2025. Vol. 18, N 1. Article N 7. DOI: 10.1186/s13068-024-02602-5
15. Falciatore A., Jaubert M., Bouly J. P. et al. Diatom molecular research comes of age: model species for studying phytoplankton biology and diversity. *Plant Cell.* 2020. Vol. 32, N 3. P. 547—572. DOI: 10.1105/tpc.19.00158
16. Ferreira V.S., Sant'Anna C. Impact of culture conditions on the chlorophyll content of microalgae for biotechnological applications. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 2017. Vol. 33, N 1. Article N 20. DOI: 10.1007/s11274-016-2181-6
17. Galas L., Burel C., Schapman D. et al. Comparative structural and functional analyses of the fusiform, oval, and triradiate morphotypes of *Phaeodactylum tricornutum* Pt3 strain. *Front. Plant Sci.* 2021. Vol. 12. Article N 638181. DOI:10.3389/fpls.2021.638181
18. Gammone M. A., D'Orazio N. Anti-obesity activity of the marine carotenoid fucoxanthin. *Marine Drugs.* 2015. Vol. 13, N 4. P. 2196—2214. DOI:10.3390/md13042196
19. Gornall A.G., Bardawill C. J., David M. M. Determination of serum proteins by means of the biuret reaction. *J. Biol. Chem.* 1949. Vol. 177, N 2. P. 751—766.

20. Grobbelaar J.U. Quality control and assurance: crucial for the sustainability of the applied phycology industry. *J. Appl. Phycol.* 2003. Vol. 15, N 2/3. P.209—215. DOI:10.1023/A:1023820711706
21. Gulati O.P., Ottaway P.B. Legislation relating to nutraceuticals in the European Union with a particular focus on botanical-sourced products. *Toxicology.* 2006. Vol. 221, N 1. P. 75—87. DOI:10.1016/j.tox.2006.01.014
22. Herrero M., Castro-Puyana M., Mendiola J.A. et al. Compressed fluids for the extraction of bioactive compounds. *Trends Anal. Chem.* 2013. Vol. 43. P. 67—83. DOI:10.1016/j.trac.2012.12.008
23. Ibáñez E., Cifuentes A. Benefits of using algae as natural sources of functional ingredients. *J. Sci. Food Agric.* 2013. Vol. 93, N 4. P. 703—709. DOI: 10.1002/jsfa.6023
24. Jin W., Yang L., Yi Z. et al. Anti-inflammatory effects of fucoxanthinol in LPS-induced RAW264. 7 Cells through the NAAA-PEA pathway. *Marine Drugs.* 2020. Vol. 18, N 4. Article N 222. DOI:10.3390/md18040222
25. Johansen J.R. Morphological variability and cell wall composition of *Phaeodactylum tricornutum* (Bacillariophyceae). *Great Basin Naturalist.* 1991. Vol. 51, N 4. P. 310—315. Doi: 10.2307/41712676
26. Jorquera O., Kiperstok A., Sales E.A. et al. Comparative energy life-cycle analyses of microalgal biomass production in open ponds and photobioreactors. *Bioresour. Technol.* 2010. Vol. 101, N 4. P. 1406—1413. DOI:10.1016/j.biortech.2009.09.038
27. Kean E. A rapid sensitive spectrophotometric method for quantitative determination of sulfatides. *J. Lipid Res.* 1968. Vol. 9. P. 319—329.
28. Klochenko P.D. Amines as endometabolites and exometabolites of algae. *Hydrobiol. J.* 1996. Vol. 32, N 5—6. P. 132—152.
29. Maeda H., Hosokawa M., Sashima T. et al. Fucoxanthin from edible seaweed, *Undaria pinnatifida*, shows antiobesity effect through UCP1 expression in white adipose tissues. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 2005. Vol. 332, N 2. P. 392—397. DOI: 10.1016/j.bbrc.2005.05.002
30. Manning S.R. Microalgal lipids: biochemistry and biotechnology. *Curr. Opin. Biotechnol.* 2022. Vol. 74. P. 1—7. DOI:10.1016/j.copbio.2021.10.018
31. Martin L. J. Fucoxanthin and its metabolite fucoxanthinol in cancer prevention and treatment. *Marine Drugs.* 2015. Vol. 13, N 8. P. 4784—4798. DOI:10.3390/md13084784
32. Mikhaylova S.V., Baydakova G.V., Boukina A.M. et al. Combination of tandem mass spectrometry and lysosomal enzymes analysis-effective tool for selective screening for IEM in neurological clinic. *J. Inherit. Metab. Dis.* 2004. Vol. 27, N 1. P. 39.
33. Miyashita K., Beppu F., Hosokawa M. et al. Nutraceutical characteristics of the brown seaweed carotenoid fucoxanthin. *Arch. Biochem. Biophys.* 2020. Vol. 686. Article N 108364. DOI:10.1016/j.abb.2020.108364
34. Mobin S.M.A., Chowdhury H., Alam F. Commercially important bioproducts from microalgae and their current applications — A review. *Energy Procedia.* 2019. Vol. 160. P. 752—760. DOI: 10.1016/J.EGYPRO.2019.02.183
35. Nguyen P.J., Rippa S., Rossez Y., Perrin Y. Acylcarnitines participate in developmental processes associated to lipid metabolism in plants. *Planta.* 2016. Vol. 243, N 4. P. 1011—1022. DOI: 10.1007/s00425-016-2465-y
36. Ovchynnikov Yu.A. New methods of analysis of amino acids, peptides and proteins. Moscow, 1974. 154 p.
37. Pang Y., Duan LQ., Song B. et al. A Review of fucoxanthin biomanufacturing from *Phaeodactylum tricornutum*. *Bioprocess Biosyst. Eng.* 2024. Vol. 47, N 12. P. 1951—1972. DOI: 10.1007/s00449-024-03039-8.
38. Pérez-López P., de Vree J.H., Feijoo G. et al. Comparative life cycle assessment of real pilot reactors for microalgae cultivation in different seasons. *Appl. Energy.* 2017. Vol. 205. P. 1151—1164. DOI:10.1016/j.apenergy.2017.08.102

39. Renaud S.M., Thinh L.V., Lambrinidis G., Parry D.L. Effect of temperature on growth, chemical composition and fatty acid composition of tropical Australian microalgae grown in batch cultures. *Aquaculture*. 2002. Vol. 211, N 1—4. P. 195—214.
40. Richmond A. Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phyecology. Oxford (OX, UK); Ames (Iowa, USA), 2004.
41. Rodríguez-Meizoso I., Jaime L., Santoyo S. et al. Subcritical water extraction and characterization of bioactive compounds from *Haematococcus pluvialis* microalga. *J. Pharm. Biomed. Anal.* 2010. Vol. 51, N 2. P. 456—463. DOI: 10.1016/j.jpba.2009.03.014
42. Sakevich A.I., Klochenko P.D. Free amino acids in ecological metabolism of algae. *Hydrobiol. J.* 1998. Vol. 34, N 6. P. 70—79.
43. Santo G.E., Barros A., Costa M. et al. *Scenedesmus rubescens* heterotrophic production strategies for added value biomass. *Marine Drugs*. 2023. Vol. 21, N 7. Article N 411. DOI: 10.3390/md21070411
44. Serra A.R., Costa L. Process and product control in an industrial scale microalgae production plant. *Tecnico Lisboa*. Conference Proceeding, 2015.
45. Song Z., Lye G. J. Parker, B. M. Morphological and biochemical changes in *Phaeodactylum tricornerutum* triggered by culture media: Implications for industrial exploitation. *Algal Res.* 2020. Vol. 47. Article N 101822. DOI: 10.1016/j.algal.2020.101822
46. Soni U., Rahangdale S., Mourya M., Vinayak V. Metabolism and transcriptome stress in Diatom *Phaeodactylum tricornerutum* for value-added products. *Diatom Cultivation for Biofuel, Food and High Value Products*. Printed in the USA, 2025. P. 167—201. <https://doi.org/10.1002/9781394174980.ch7>
47. Strickland J.D.H., Parsons T.R. A practical handbook of seawater analysis. Pigment analysis. Bulletin / Fisheries Research Board of Canada. 1968. 167 p.
48. Subhadra B. Algal biorefinery-based industry: an approach to address fuel and food insecurity for a carbon-smart world. *J. Sci. Food Agric.* 2011. Vol. 91, N 1. P. 2—13. DOI: 10.1002/jsfa.4207
49. Tesson B., Gaillard C., Martin-Jézéquel V. Insights into the polymorphism of the diatom *Phaeodactylum tricornerutum* Bohlin. *Bot. Mar.* 2009. Vol. 52, N 12. P. 104—116. DOI:10.1515/BOT.2009.012
50. Vartanian M., Desclé, J., Quinet M. Et al. Plasticity and robustness of pattern formation in the model diatom *Phaeodactylum tricornerutum*. *New Phytol.* 2009. Vol. 182, N 2. P. 429—442. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2009.02769.x
51. Volk R.B., Furkert F.H. Antialgal, antibacterial and antifungal activity of two metabolites produced and excreted by cyanobacteria during growth. *Microbiol. Res.* 2006. Vol. 161, N 2. P. 180—186. DOI: 10.1016/j.micres.2005.08.005
52. Wang L.J., Fan Y., Parsons R. et al. A rapid method for the determination of fucoxanthin in diatom. *Marine Drugs*. 2018. Vol. 16, N 1. Article N 33. DOI:10.3390/md16010033
53. Wang W., Yu L.J., Xu C. et al. Structural basis for blue-green light harvesting and energy dissipation in diatoms. *Science*. 2019. Vol. 363, N 6427. Article N eaav0365. DOI: 10.1126/science.aav0365
54. Whitney E., Rolfes S. R. Understanding Nutrition. 11th Edition. Thomson Higher Education, Belmont, 2008. 154 p.
55. Yang Z.K., Niu Y.F., Ma Y.H. et al. Molecular and cellular mechanisms of neutral lipid accumulation in diatom following nitrogen deprivation. *Biotechnol. Biofuels*. 2013. Vol. 6, N 1. Article N 67. Doi:10.1186/1754-6834-6-67.
56. Yang Y., Du L., Hosokawa M. et al. Fatty acid and lipid class composition of the microalga *Phaeodactylum tricornerutum*. *J. Oleo Sci.* 2017. Vol. 66, N 4. P. 363—368. DOI:10.5650/jos.ess16205
57. Yongmanitchai W., Ward O.P. Positional distribution of fatty acids, and molecular species of polar lipids, in the diatom *Phaeodactylum tricornerutum*. *J. Gen. Microbiol.* 1993. Vol. 139, N 3. P. 465—472. DOI: 10.1099/00221287-139-3-465

58. Zhang Y., Xu W., Huang X. et al. Fucoxanthin ameliorates hyperglycemia, hyperlipidemia and insulin resistance in diabetic mice partially through IRS-1/PI3K/Akt and AMPK pathways. *J. Funct. Foods*. 2018. Vol. 48. P. 515—524. DOI:10.1016/j.jff.2018.07.048

Надійшла 20.02.2026

O.O. Olkhovych, PhD (Biol.), Assoc. Prof., Assoc. Prof.,  
Institute of Biology and Medicine, Taras Shevchenko National University of Kyiv,  
Volodymyrska Str., 64/13, Kyiv, 01601, Ukraine  
e-mail: oolga2005@ukr.net  
ORCID 0000-0002-7314-7631

O.O. Panyuta, PhD (Biol.), Assoc. Prof., Assoc. Prof.,  
Institute of Biology and Medicine, Taras Shevchenko National University of Kyiv,  
Volodymyrska Str., 64/13, Kyiv, 01601, Ukraine  
e-mail: panyuta@ukr.net  
ORCID 0000-0001-9847-8990

V.N. Belava, PhD (Biol.), Assoc. Prof., Assoc. Prof.,  
Institute of Biology and Medicine, Taras Shevchenko National University of Kyiv,  
Volodymyrska Str., 64/13, Kyiv, 01601, Ukraine  
e-mail: v 987@ukr.net  
ORCID 0000-0001-7802-4166

ASSESSMENT OF THE BIOCHEMICAL COMPOSITION OF THE BIOMASS OF THE  
DIATOM ALGA PHAEODACTYLUM TRICORNUTUM TO DETERMINE ITS  
POTENTIAL VALUE AS A FOOD RESOURCE

The content of industrially valuable compounds in the biomass of the diatom *Phaeodactylum tricornutum* Bohlin cultivated in a closed-type laboratory photobioreactor was assessed. A high content of protein (42.33 mg/g dry matter), amino acids (262.5 µM/g dry matter), including essential amino acids (56.4 µM/g dry matter), chlorophyll *a* (7.64 mg/g dry matter), total carotenoids (4.42 mg/g dry matter), fucoxanthin (3.08 mg/g dry matter), sulfoquinovosyldiacylglycerols (SQDG) (5.17 mg/g dry matter), and acylcarnitines (1.77 µM/g dry matter) was observed. *Ph. tricornutum* is a promising organism for the industrial-scale production of high-quality protein, SQDG with an increased content of omega-3 fatty acids, fucoxanthin, and chlorophyll *a*.

**Keywords:** microalgae, *Phaeodactylum tricornutum*, biotechnology, amino acids, protein, chlorophyll, fucoxanthin, carotenoids, SQDG, acylcarnitines.