

УДК [581.132.1:612.397]:547.587.2

**В.О. МЕДВЕДЬ**, к. б. н., ст. наук. співроб., наук. співроб.,  
Інститут гідробіології НАН України,  
просп. Героїв Сталінграда, 12, Київ, 04210, Україна  
e-mail: vika\_med@i.ua

**О.С. ПОТРОХОВ**, д. б. н., ст. наук. співроб., зав. відділу,  
Інститут гідробіології НАН України,  
просп. Героїв Сталінграда, 12, Київ, 04210, Україна

**О.Г. ЗІНЬКІВСЬКИЙ**, к. б. н., ст. наук. співроб., пров. наук. співроб.,  
Інститут гідробіології НАН України,  
просп. Героїв Сталінграда, 12, Київ, 04210, Україна

**З.Н. ГОРБУНОВА**, мол. наук. співроб.,  
Інститут гідробіології НАН України,  
просп. Героїв Сталінграда, 12, Київ, 04210, Україна

## **ІНТЕНСИВНІСТЬ ПЕРОКСИДНОГО ОКИСНЕННЯ ЛІПІДІВ ТА ВМІСТ ФОТОСИНТЕТИЧНИХ ПІГМЕНТІВ У КЛІТИНАХ ЦІАНОПРОКАРІОТ І ЗЕЛЕНИХ ВОДОРОСТЕЙ ЗА ДІЇ ТАНІНІВ**

Представлено результати досліджень впливу фенольної сполуки рослинного походження таніну на вміст хлорофілу *a* і каротиноїдів, а також інтенсивність пероксидного окиснення ліпідів у клітинах ціанопротокариот (*Microcystis aeruginosa*, *Anabaena cylindrica* і *Phormidium autumnale* f. *uncinata*) і зелених водоростей (*Tetraëdron caudatum* і *Desmodesmus brasiliensis*). Встановлено, що зазначені види водоростей характеризуються індивідуальною реакцією на вміст таніну у середовищі. Показано, що зелені водорості порівняно з представниками *Cyanoprokaryota* більш стійкі до впливу досліджуваної речовини. У більшості випадків танін за концентрації 1,0 мг/дм<sup>3</sup> стимулював функціонування водоростей, а за 5,0 мг/дм<sup>3</sup> — пригнічував.

**Ключові слова:** *Cyanoprokaryota*, *Chlorophyta*, таніни, хлорофіл *a*, каротиноїди, пероксидне окиснення ліпідів.

Таніни (танніди), або танніни (від фр. *tannins*), — група фенольних сполук рослинного походження. Їх ще називають дубильною кислотою. Вони є водорозчинними поліфенолами, які наявні у багатьох рослинах і згідно [29] належать до вторинних метаболітів. Це ароматичні сполуки з

---

Ц и т у в а н н я: Медведь В.О., Потрохов О.С., Зіньківський О.Г., Горбунова З.Н. Інтенсивність пероксидного окиснення ліпідів та вміст фотосинтетичних пігментів у клітинах ціанопротокариот і зелених водоростей за дії танінів. *Гідробіол. журн.* 2020. Т. 56. № 3. С. 69—80.

молекулярною масою від 500 до 3000, які мають необхідну кількість фенольних гідроксильних груп (-ОН), щоб зв'язуватися з білками.

Таніни мають дубильні властивості й характерний в'язкий смак. Їхня дія заснована на здатності утворювати міцні зв'язки з білками, полісахаридами та іншими біополімерами. Таніни містяться у насінні, корі, деревині, листі і шкірці плодів. Листя й кора можуть містити до 40 % таніну в перерахунку на суху масу, а в листі і хвої концентрація танінів може перевищувати рівень лігніну (цит. по [46]).

Серед вищих водних рослин, які продукують метаболіти танінової природи, найбільш характерними є японський ірис (*Iris tectorum*), водяний арахіс (*Alternanthera philoxeroides*), лотос (*Nelumbo nucifera*) і водяна лілія (*Nymphaea tetragona*) [26]. Авторами встановлено альгіцидну активність цих макрофітів по відношенню до *Microcystis aeruginosa* — збудника «цвітіння» води.

У той же час в літературі є відомості про те, що в малих дозах таніни стимулюють ріст і розвиток гідробіонтів [25, 27]. Для прикладу, концентрація таніну у середовищі від 0,3 до 3,0 мг/дм<sup>3</sup> стимулювала інтенсивність росту *Selenastrum capricornutum* і *Dunaliella tertiolecta*, а за концентрації 30,0 мг/дм<sup>3</sup> — пригнічувала [27].

Таніни поділяють на гідролізовані, конденсовані (негідролізовані) і дубильні речовини [37]. Гідролізовані таніни утворені багатоатомним спиртом (наприклад, глюкозою), у якого гідроксильні групи частково або повністю етерифіковані галовою кислотою або спорідненими зв'язками (дігаловою і тригаловою кислотою з багатоатомним спиртом). Конденсовані таніни утворені конденсацією фенольних речовин (наприклад, катехинів). Вони являють собою похідні флавоноїдів, головним чином дімери 3,4-флавандіолу або 3-флаванолу [8].

Таніни є важливими біологічними антиоксидантами [28]. Їхні окисно-відновні потенціали аналогічні зв'язаним простим фенольним сполукам. Є дані про те, що утворення супероксидних радикалів інгібується танінами у 15—30 разів ефективніше, ніж простими фенольними сполуками [28].

Біологічна активність танінів і препаратів, отриманих на їхній основі, пов'язана із впливом цих речовин на окисно-відновні процеси, і цей ефект пояснюється наявністю фенольних гідроксильних груп, які виконують роль переносників кисню, що стабілізує у живому організмі внутрішньоклітинне дихання. Захисна дія таніну при пероксидному стресі може бути результатом двох процесів, що перекриваються: індукції ОхуR-регулону низькими концентраціями Н<sub>2</sub>О<sub>2</sub>, що накопичуються при аутоокисненні таніну, і захистом синтезу ОхуR-регульованих антиоксидантних ферментів внаслідок інгібування реакції Фентона при зв'язуванні заліза цим поліфенолом [17].

Таніни знаходять застосування у медицині як в'язкі лікарські засоби, антидот (при отруєнні солями свинцю, ртуті тощо), протидіарейні, кровоспинні і протигемороїдальні засоби. Також вони використовуються у хірургії для дублення шкіри рук перед виконанням операцій [8].

розчини таніну при нанесенні на обпалені ділянки шкіри зв'язують токсичні білкові продукти розкладу тканин і сприяють загоєнню ран. В організмі таніни можуть зв'язувати бактеріальні токсини, а також отруйні солі срібла, ртуті і свинцю [2].

У народній медицині Тайваню для лікування діареї й дизентерії широко використовуються чаї із плодів або шкірки макрофіту з плаваючим листям — водяного кальтروطу (*Trapa taiwanensis* Nakai), який росте на мілководді [44]. Ця рослина містить два гідролізовані таніни — теллімаграндін II (TGII) і 1,2,3,4,6-пентагалоїлглюкопіранозу (PGG). Наявні відомості й про те, що водяний кальтروط має досить сильні гепатозахисні, антиоксидантні, антибактеріальні, протизапальні, гіпоглікемічні та інші властивості [44].

Також таніни використовуються у харчовій промисловості, зокрема у виноробстві [2, 8].

Значний інтерес до танінів пов'язаний з їхніми антиоксидантними властивостями. У літературі наявні численні відомості щодо впливу інших фенольних сполук рослинного походження, зокрема кавової й галлової кислоти, на ростові і фізіолого-біохімічні характеристики водоростей [10—12, 33, 34, 40]. У той же час дані щодо реакцій мікроводоростей на наявність у водному середовищі танінів малочисельні. У зв'язку із цим метою роботи було дослідити вплив танінів на вміст у клітинах фотосинтетичних пігментів (хлорофіл *a* й каротиноїди) та інтенсивність процесів ПОЛ у деяких видів ціанопрокаріот і зелених водоростей.

### Матеріал і методика досліджень

Об'єктами дослідження були альгологічно чисті культури ціанопрокаріот — *Microcystis aeruginosa* Kütz. emend. Elenk. HPDP-6, *Anabaena cylindrica* Lemm. HPDP—1, *Phormidium autumnale* f. *uncinata* (Ag.) Kondrat. HPDP—18 і зелених водоростей — *Tetraëdron caudatum* (Corda) Hansg. HPDP—144 і *Desmodesmus brasiliensis* (Bohl.) Hegew HPDP—102. Зазначені види належать до родів, які часто зустрічаються у товщі води, в обростанні різнотипних субстратів і на дні водойм басейну Дніпра [31, 32, 43]. Їхня приуроченість до певного біотопу наведена у таблиці 1.

Таблиця 1

Біотопічна приуроченість досліджуваних видів ціанопрокаріот і зелених водоростей

Види	Біотопи
<i>Microcystis aeruginosa</i>	Товща води, збудник «цвітіння» [4]
<i>Anabaena cylindrica</i>	Товща води, дно [1], обростання [4]
<i>Phormidium autumnale</i> f. <i>uncinata</i>	Обростання [42], дно [1]
<i>Tetraedron caudatum</i>	Товща води, дно [1]
<i>Desmodesmus brasiliensis</i>	Товща води, дно [1]

Мікродорості та ціанобактерії вирощували на середовищі Фітцджеральда № 11 у модифікації Цендера й Горема [16] при температурі 23–25 °С й освітленні лампами денного світла (інтенсивність 4 клк протягом 16 год на добу) в умовах накопичувальної культури.

Контрольні та дослідні варіанти культур водоростей та ціанобактерій перед внесенням у середовище таніну вирівнювали за щільністю. Клітини відокремлювали від культурального середовища шляхом його фільтрування через мембранні фільтри Синпор № 4 (діаметр пор 0,85 мкм).

У дослідях був задіяний танін (ТУ 6-09-50-23-66-80) (Україна), який додавали у культуральне середовище на стаціонарній фазі росту водоростей та ціанобактерій в концентрації 1,0 і 5,0 мг/дм<sup>3</sup>. Через добу після додавання таніну вимірювали вміст хлорофілу *a* і каротиноїдів, суху масу, а також кількість продуктів пероксидного окиснення ліпідів (ПОЛ).

Вміст хлорофілу *a* у клітинах досліджуваних водоростей і ціанобактерій визначали стандартним спектрофотометричним методом [41]. Кількість пігменту розраховували за рівняннями С. Джеффрі й Ф. Хамфри [30], а сумарний вміст каротиноїдів — за формулами Т. Парсонса й Дж. Стрикленда [38].

Про інтенсивність процесів пероксидного окиснення ліпідів судили за вмістом продуктів ПОЛ — дієнових кон'югатів, гідропероксидів ліпідів і малонового діальдегіду [39].

Суху масу водоростей встановлювали ваговим методом [16].

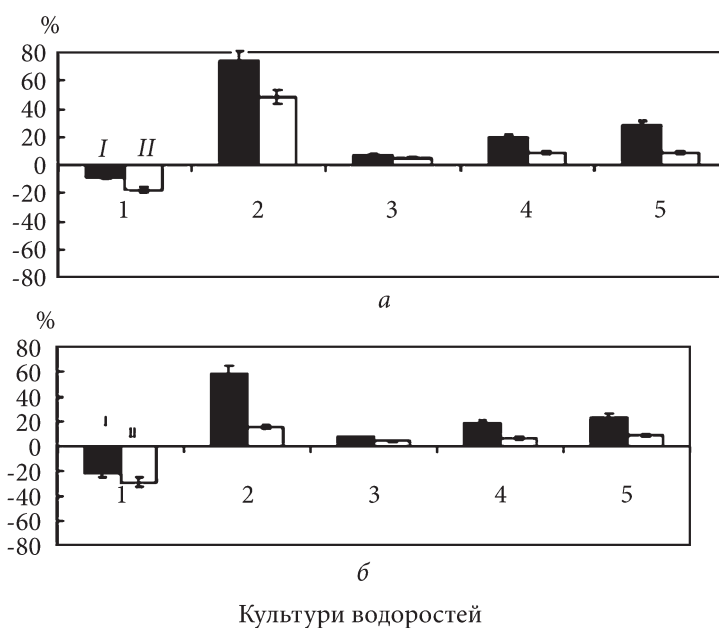
Отримані результати оброблені статистично [7].

### Результати досліджень та їх обговорення

Зміни вмісту фотосинтетичних пігментів у клітинах зелених мікродоростей і ціанопрокаріот за дії таніну. Отримані дані щодо вмісту хлорофілу *a* у клітинах культур (в перерахунку на суху масу) свідчать про те, що характер змін величини цього показника у різних видів *Synechococcus* у дослідних варіантах з таніном відрізнявся від контролю (рисунок).

Так, у ціанопрокаріоти *M. aeruginosa* через добу після додавання таніну зареєстровано зниження вмісту хлорофілу *a* у клітинах порівняно з контролем. Найбільш помітно це було при концентрації препарату 5,0 мг/дм<sup>3</sup>. Вміст зазначеного пігменту у цих умовах зменшився на 18,1 %. Для порівняння, при додаванні у культуру *M. aeruginosa* галової кислоти (основа гідролізованих танінів [2]) у концентрації 5,0 мг/дм<sup>3</sup> також була відмічена тенденція до зменшення у клітинах вмісту хлорофілу *a* (на 27,5 % порівняно з контролем) [35]. Отримані нами дані узгоджуються з висновками інших авторів про те, що збудник «цвітіння» води *M. aeruginosa* дуже чутливий до дії таніну [26].

У ціанопрокаріоти *A. cylindrica*, яка розвивається як у товщі води, так і в обростанні, спостерігали іншу реакцію на вплив таніну. Так, вміст хлорофілу *a* у її клітинах підвищувався (на 73,6 %). Найбільш помітно це було при меншій концентрації таніну у середовищі. Важливо відмітити і той факт, що у ціанопрокаріоти *Ph. autumnale* f. *uncinata*, як і у *A. cylindrica*,



**Рисунок.** Зміни вмісту хлорофілу *a* (*a*) і суми каротиноїдів (*б*) порівняно з контролем (прийнятим за 100 %) у культурах різних видів водоростей та ціанопрокаріот через добу після внесення таніну у середовище (*I* — 1,0 мг/дм<sup>3</sup>, *II* — 5,0 мг/дм<sup>3</sup>): 1 — *Microcystis aeruginosa*; 2 — *Anabaena cylindrica*; 3 — *Phormidium autumnale f. uncinata*; 4 — *Tetraëdron caudatum*; 5 — *Desmodesmus brasiliensis*

відмічена тенденція до підвищення в клітинах (порівняно з контролем) вмісту хлорофілу *a*. Однак ці зміни були незначні (на 6,9 і 5,0 % при концентрації таніну відповідно 1,0 і 5,0 мг/дм<sup>3</sup>). Можливою причиною цього могла бути низька чутливість *Ph. autumnale f. uncinata* до впливу таніну, як і до деяких інших абіотичних чинників [34, 36].

У культурах зелених водоростей, як і у ціанопрокаріот *A. cylindrica* і *Ph. autumnale f. uncinata*, через добу після додавання у середовище таніну також спостерігалось підвищення вмісту хлорофілу *a* у клітинах порівняно з контролем (див. рисунок). Так, у *T. caudatum* вміст пігменту збільшився на 20,2 і 9,3 %, у *D. brasiliensis* — на 28,7 і 9,3 % при концентрації досліджуваної речовини відповідно 1,0 і 5,0 мг/дм<sup>3</sup>. Найбільш істотні зміни вмісту хлорофілу *a* в клітинах зелених водоростей зареєстровані при внесенні у культури низьких концентрацій таніну, що узгоджується з висновками інших авторів про те, що малі кількості досліджуваної речовини стимулюють ріст і розвиток гідробіонтів [25, 27].

Привертає увагу те, що при додаванні галової кислоти у концентрації 5,0 мг/дм<sup>3</sup> у культури зелених водоростей *T. caudatum* й *D. brasiliensis* підвищення в їхніх клітинах (порівняно з контролем) вмісту хлорофілу *a* не було відмічено [28]. Це свідчить про те, що танін і галова кислота (яка є основою гідролізованих танінів) характеризуються різною біологічною активністю відносно досліджених представників Chlorophyta.

Оскільки каротиноїди, поряд з функціями допоміжних пігментів, захищають фотосинтетичні структури від деструктивної дії активних форм кисню [3], певний інтерес становив аналіз змін і їхнього вмісту у клітинах досліджуваних організмів за умов впливу таніну. Встановлено, що характер змін загального вмісту каротиноїдів за дії таніну в цілому збігався з динамікою змін вмісту хлорофілу *a* у досліджених видів *Cyanoprokaryota* і *Chlorophyta* (див. рисунок).

Це можна пояснити прямою залежністю між кількістю цих пігментів у мікродоростей. Відомо, що у їхніх клітинах жовті пігменти перебувають у певному співвідношенні із хлорофілом *a*, величина якого може змінюватись залежно від виду [23]. Слід зазначити, що за стимулюючого впливу таніну як на кількість хлорофілу *a*, так і на кількість каротиноїдів і у ціанопрокаріот *A. cylindrica* й *Ph. autumnale* f. *uncinata*, і у досліджуваних видів зелених водоростей закономірність «доза — ефект» спостерігалась не завжди.

Відомо, що співвідношення суми каротиноїдів до хлорофілу *a* ( $C_{\text{кар}}/C_{\text{хл. a}}$ ) є важливим показником фізіологічного стану клітин мікродоростей [6]. У зв'язку із цим, цікаво було проаналізувати зміни величини цього показника у досліджуваних організмів в умовах впливу таніну. Так, найбільше значення цього показника було зареєстровано у збудника «цвітіння» води *M. aeruginosa* (0,77—0,83), а найменше — у *Ph. autumnale* f. *uncinata* (0,33—0,35). Отримані дані свідчать про те, що характер змін величини  $C_{\text{кар}}/C_{\text{хл. a}}$  у різних видів *Cyanoprokaryota* й *Chlorophyta* у дослідних варіантах порівняно з контролем був різним. Зокрема, при додаванні таніну у культуру *M. aeruginosa* зареєстровано збільшення, а у культуру *A. cylindrica* — зменшення величини зазначеного показника, що є свідченням змін фізіологічного стану цих організмів за дії таніну. Найбільш помітно це було при внесенні у культури 5,0 мг/дм<sup>3</sup> препарату (відповідно на 7,1 і 21,8 % порівняно з контролем).

Натомість у зелених водоростей *T. caudatum* і *D. brasiliensis* та ціанопрокаріоти *Ph. autumnale* f. *uncinata* не відмічено суттєвих змін величин співвідношення  $C_{\text{кар}}/C_{\text{хл. a}}$  (вони знаходились в межах відповідно 0,54—0,57, 0,59—0,60 та 0,33—0,35). Очевидно, це є свідченням більшої стійкості цих організмів до дії таніну порівняно з *M. aeruginosa* і *A. cylindrica*.

*Вплив таніну на вміст продуктів ПОЛ у клітинах ціанопрокаріот і зелених мікродоростей.* Процеси вільнорадикального пероксидного окиснення ліпідів відіграють важливу роль у розвитку пошкоджень рослин при різних стресах [14, 15] і є невід'ємною частиною метаболізму рослин [15]. Відомо, що речовини фенольної природи викликають у гідробіонтів оксидативний стрес, що проявляється у зміні кількості продуктів пероксидного окиснення ліпідів [21, 24].

У наших дослідях вже через добу після додавання таніну в середовище у клітинах ціанопрокаріот *M. aeruginosa* й *Ph. autumnale* f. *uncinata* спостерігалось збільшення вмісту дієнових кон'югатів (ДК) порівняно з контролем (табл. 2). Найпомітніше це було при більшій (5,0 мг/дм<sup>3</sup>) концентрації таніну (на 19,5 % — у *M. aeruginosa* і на 37,1 % — у *Ph. autumnale*



f. *uncinata*). Кількість гідропероксидів ліпідів (ГПЛ) у цих видів також істотніше зростала при концентрації таніну 5,0 мг/дм<sup>3</sup> (відповідно на 93,6 і 43,9 % порівняно з контролем). Відомо, що надмірне накопичення первинних продуктів ПОЛ, до яких належить ДК і ГПЛ [18], негативно впливає на функціональний стан біомембран [19], наслідком чого може бути порушення метаболізму у рослинній клітині.

Реакція *A. cylindrica* на додавання у середовище таніну була дещо іншою, ніж у *M. aeruginosa* й *Ph. autumnale* f. *uncinata*. Так, через добу після додавання таніну спостерігалось деяке зниження вмісту ДК у її клітинах (див. табл. 2). Зокрема, їхня кількість зменшилася на 29,2 і 22,2 % відповідно при 1,0 і 5,0 мг/дм<sup>3</sup> досліджуваної речовини. Однак вміст ГПЛ у клітинах *A. cylindrica*, як і у *M. aeruginosa* й *Ph. autumnale* f. *uncinata*, за дії

Таблиця 2

**Зміни концентрації продуктів ПОЛ у клітинах ціанопрокаріот і водоростей за дії таніну**

Варіанти досліджу	Дієнові кон'югати, мкМ/г сухої маси	Гідропероксиди ліпідів, у.о./г сухої маси	Малоновий діальдегід, мкМ/г сухої маси
<i>Microcystis aeruginosa</i>			
Контроль	4,94±0,94	38,91±0,34	6,82±0,24
1,0 мг/дм <sup>3</sup>	5,31±0,24	43,13±0,39	8,45±0,19
5,0 мг/дм <sup>3</sup>	14,35±1,07	75,31±0,29	11,15±0,14
<i>Anabaena cylindrica</i>			
Контроль	21,82±1,56	184,52±9,57	0,38±0,09
1,0 мг/дм <sup>3</sup>	15,45±1,03	220,22±12,60	0,56±0,28
5,0 мг/дм <sup>3</sup>	16,97±0,84	200,09±1,28	0,69±0,07
<i>Phormidium autumnale</i> f. <i>uncinata</i>			
Контроль	31,49±0,74	91,01±1,84	1,56±0,15
1,0 мг/дм <sup>3</sup>	34,34±0,83	122,66±0,39	1,52±0,04
5,0 мг/дм <sup>3</sup>	43,16±0,32	130,93±0,82	1,43±0,07
<i>Tetraëdron caudatum</i>			
Контроль	45,35±0,39	82,79±0,36	12,51±0,23
1,0 мг/дм <sup>3</sup>	37,85±0,76	68,84±0,65	12,80±0,15
5,0 мг/дм <sup>3</sup>	31,08±0,19	66,93±0,37	12,89±0,17
<i>Desmodesmus brasiliensis</i>			
Контроль	37,42±0,90	48,76±0,95	16,45±0,13
1,0 мг/дм <sup>3</sup>	28,45±0,34	40,06±2,01	16,32±0,12
5,0 мг/дм <sup>3</sup>	18,85±0,51	39,81±1,20	15,83±0,20

таніну у концентрації 1,0 й 5,0 мг/дм<sup>3</sup> збільшився (порівняно з контролем) відповідно на 19,3 і 48,4 % (див. табл. 2).

Отримані дані свідчать про те, що танін у концентрації 1,0 й 5,0 мг/дм<sup>3</sup> посилював процеси ПОЛ у досліджуваних видів Cyanoprokaryota, оскільки у їхніх клітинах збільшувався вміст МДА. Найпомітніше цей показник зріс при вищій концентрації таніну (у *M. aeruginosa* — на 63,5 %, а у *A. cylindrica* — на 81,6 %). Звертає на себе увагу і той факт, що у ціанопрокаріоти *Ph. autumnale* f. *uncinata* відмічено незначне зменшення вмісту МДА. Відомо, що зменшення кількості МДА є свідченням зниження інтенсивності окиснення мембранних ліпідів у гідробіонтів [9].

Слід зазначити, що додавання до культур ціанопрокаріот галової кислоти у концентрації 5,0 мг/дм<sup>3</sup> також призводило до посилення процесів ПОЛ [35]. Це свідчить про те, що танін і галова кислота характеризуються однаковою біологічною активністю стосовно досліджених представників Cyanoprokaryota.

При накопиченні первинних і вторинних продуктів ПОЛ в мембранних ліпідах зменшується кількість ненасичених жирних кислот, що супроводжується зниженням плинності і підвищенням проникності клітинних мембран [19, 20]. Наслідком таких процесів може бути порушення метаболізму і навіть загибель рослин. Зважаючи на те, що ступінь ліпідної пероксидації у рослин вірогідно корелює з накопиченням малонного діальдегіду [22], ймовірно, що *Ph. autumnale* f. *uncinata* є менш чутливим організмом до дії таніну у досліджуваних концентраціях порівняно з іншими видами Cyanoprokaryota. Це узгоджується з даними про незначну зміну в його клітинах вмісту фотосинтетичних пігментів за дії досліджуваної речовини (див. рисунок).

Найбільш чутливим до дії таніну виявився збудник «цвітіння» води *M. aeruginosa*. Очевидно, це є причиною того, що при масовому розвитку у водоймах макрофітів, таких як *Iris tectorum*, *Alternanthera philoxeroides*, *Nelumbo nucifera* й *Nymphaea tetragona*, які продукують метаболіти танінової природи, відбувається пригнічення розвитку цього виду [26].

Стосовно культур зелених водоростей, то у *T. caudatum* через добу після додавання у середовище таніну (1,0 і 5,0 мг/дм<sup>3</sup>) зареєстровано тенденцію до зменшення вмісту початкових продуктів ПОЛ (ДК — відповідно на 16,5 та 31,5 %, ГПЛ — на 16,5 та 19,2 % порівняно з контролем). Однак вміст МДА в клітинах водорості збільшився незначно (на 2,3 та 3,0 % порівняно з контролем відповідно при 1,0 і 5,0 мг/дм<sup>3</sup>).

Відомо, що регуляція ПОЛ здійснюється збалансованою системою антиоксидантного захисту і природної детоксикації. Можна припустити, що накопичення одного із продуктів ПОЛ у клітинах не пов'язане з активацією проокислювальних центрів [5] і стресова ситуація у *T. caudatum* не виходить за межі її фізіологічного порогу. Важливо відзначити, що у іншого виду зелених водоростей, *D. brasiliensis*, за дії 1,0 і 5,0 мг/дм<sup>3</sup> таніну відмічено зменшення порівняно з контролем кількості усіх продуктів ПОЛ. Це узгоджується зі збільшенням вмісту хлорофілу *a* і каротиноїдів у культурі *T. caudatum* й *D. brasiliensis* (див. рисунок).



Таким чином, отримані результати свідчать про різну чутливість досліджуваних організмів до впливу танінів, що узгоджується з даними інших авторів [26]. Біологічна активність цих речовин зумовлена наявністю у складі їхніх молекул фенольних гідроксильних груп (-ОН). Вони, як відомо, виконують роль переносників кисню, що стабілізує в живому організмі внутрішньоклітинне дихання [17]. При цьому відбуваються зміни інтенсивності окисно-відновних процесів у клітинах рослин.

Механізм впливу таніну, який є рослинним фенолом, може бути пов'язаний як з його прямою дією на молекули рослинної клітини, так і зі зміною фізико-хімічного оточення у мембрані. Відомо, що основний механізм дії фенолів на водорості обумовлений роз'єднанням процесів окисного фосфорилування, що призводить до дефіциту енергії, необхідної для синтезу багатьох речовин, які визначають ріст клітини. Внаслідок реакції окисного декарбоксилування під впливом фенолоксидаз рослинні феноли легко перетворюються в активні фенольні радикали і хінони. Утворення надлишкової кількості перекисних продуктів призводить до порушення структурної й функціональної організації клітинних мембран, змін їхньої проникності й іонного балансу в клітинах, роз'єднання окисного фосфорилування, окиснення тиольних груп білків і дезактивації ферментів [13].

Встановлено, що речовини фенольної природи викликають у гідробіонтів оксидативний стрес, який проявляється через зміну кількості продуктів пероксидного окиснення ліпідів [21, 24]. Не виключено, що одним із механізмів захисту мікрободоростей від окисного стресу, який спостерігається за впливу таніну, може бути відмічене нами у більшості випадків збільшення сумарного вмісту каротиноїдів у дослідних варіантах порівняно з контролем. Ці пігменти, як відомо, і відіграють важливу роль в адаптації клітин водних рослин до дії токсичних сполук. Вважають, що накопичення каротиноїдів у клітинах водоростей відбувається через підвищення швидкості процесів вільнорадикального окиснення ліпідів або активації біосинтезу ферментів.

### Висновки

Реакції досліджених видів Chlorophyta й Cyanoprokaryota на дію танінів є видоспецифічними. Зокрема у зелених водоростей *D. brasiliensis* і *T. caudatum* та у ціанопрокаріот *A. cylindrica* і *Ph. autumnale* f. *uncinata* в умовах впливу танінів відбувалось збільшення вмісту фотосинтетичних пігментів (хлорофілу *a* і каротиноїдів), а у *M. aeruginosa* — зменшення.

При додаванні в середовище танінів кількість продуктів ПОЛ у досліджуваних ціанопрокаріот в основному зростала, тоді як у зелених водоростей спостерігалось її зменшення. Ціанопрокаріота *Ph. autumnale* f. *uncinata* виявилась найбільш толерантною до впливу танінів. Це, ймовірно, обумовлено тим, що вона є стійкішою до змін чинників навколишнього середовища. Досліджені види Chlorophyta (*T. caudatum* й *D. brasiliensis*) виявилися менш чутливими до дії танінів порівняно з іншими представниками Cyanoprokaryota (*M. aeruginosa* і *A. cylindrica*).

Список використаної літератури

1. Барінова С.С., Белоус Е.П., Царенко П.М. Альгоиндикация водных объектов Украины: методы и перспективы. Хайфа, Киев: Изд-во ун-та Хайфы, 2019. 367 с.
2. Большая советская энциклопедия. М., 1976. Т. 25. С. 789.
3. Вершинин А.О., Камнев А.Н. Каротиноиды некоторых морских водорослей и их светозависимые превращения. *Альгология*. 1993. Т. 3, № 1. С. 34—40.
4. Визначник прісноводних водоростей Української РСР. I. Синьозелені водорості Cyanophyta. Ч. 2. Клас гормогонієві Hormogoniophyceae. К.: Наук. думка. 1968. 523 с.
5. Довженко Н.В., Куриленко А.В., Челомин В.П. Исследование реакции антиоксидантной системы двустворчатого моллюска *Modiolus modiolus* на аноксию и аккумуляцию металлов. «Современные проблемы физиологии и биохимии водных организмов»: Материалы междунар. конф., 6—9 сент. 2004 г., г. Петрозаводск, Республика Карелия, РФ. Петрозаводск. 2004. С. 54—15.
6. Елизарова В.А. Состав и содержание растительных пигментов в водах Рыбинского водохранилища. *Гидробиол. журн.* 1973. Т. 9, № 2. С. 23—32.
7. Зайцев Г.Н. Математическая статистика экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1984. 423 с.
8. Зефирова Н.С., Кулов Н.Н и др. Химическая энциклопедия. М.: Научное издательство «Большая российская энциклопедия», 1995. Т. 4. С. 493—494.
9. Кордюм Е.Л., Сытник К.М., Бараненко В.В. и др. Клеточные механизмы адаптации растений к неблагоприятным воздействиям экологических факторов в естественных условиях. Киев: Наук. думка, 2003. 290 с.
10. Курейшевич А.В., Медведь В.А., Незбрицкая И.Н. Особенности функционирования десмидиевой водоросли *Cosmarium polygonum* var. *acutius* (Streptophyta) в условиях воздействия фенолкарбоновых кислот. *Альгология*. 2014. Т. 24, № 3. С. 288—292.
11. Курейшевич А.В., Потрохов О.С., Зінківський О.Г. и др. Зміни фізіолого-біохімічних показників мікр водоростей за дії кавової кислоти. «Современные проблемы гидробиологии. Перспективы, пути и методы решений»: Материалы III Междунар. науч. конф., 17—19 мая 2012 г., г. Херсон. Херсон, ПП Вишемирський В.С., 2012. С. 242—249.
12. Медведь В.О., Курейшевич А.В. Зміни каталазної активності та вмісту каротиноїдів у водоростей за дії кофейної кислоти. *Наук. зап. Терноп. педун-ту. Сер. Біологія. Спец. вип.: Гідроекологія*. 2010. 2 (43). С. 347—350.
13. Меншикова Е.Б., Зенков Н.К. Антиоксиданты и ингибиторы радикальных окислительных процессов. *Успехи соврем. биол.* 1993. Т. 113. Вып. 4. С. 442—455.
14. Мерзляк М.Н. Активированный кислород и окислительные процессы в мембранах растительной клетки. *Итоги науки и техники. Сер. Физиология растений*. 1989. Т. 6. 167 с.
15. Мерзляк М.Н., Погосян С.И. Кислородные радикалы и перекисное окисление липидов в растительной клетке. Кислородные радикалы в химии, биологии и медицине. Рига. 1988. С. 232—252.
16. Методы физиолого-биохимического исследования водорослей в гидробиологической практике. Киев: Наук. думка, 1975. 247 с.
17. Октябрьский О.Н., Самойлов З.Ю., Музыка Н.Г. и др. Влияние полифенолов на устойчивость бактерий *Escherichia coli* к окислительному стрессу. «Современные проблемы физиологии экологии и биотехнологии микроорганизмов»: Материалы всерос. симпоз. с междунар. участием, МГУ им. М.В. Ломоносова, биол. ф-т, 24—27 дек. 2009 г. М.: МАКС Пресс, 2009. С. 138.
18. Пестова Е.Л. Влияние салициловой кислоты на состояние перекисного гомеостаза растений гороха при преадаптации к тепловому шоку: Автореф. дис... канд. биол. наук. Нижний Новгород, 2007. 22 с.

19. Попов В. Н., Антипина О. В., Пчёлкин В. П. и др. Изменение содержания и жирнокислотного состава липидов листьев и корней табака при низкотемпературном закаливании. *Физиология растений РАН*. 2012. Т. 59, № 2. С. 203—209.
20. Попов В.Н., Антипина О.В., Трунова Т.И. Перекисное окисление липидов при низкотемпературной адаптации листьев и корней теплолюбивых растений табака. *Физиология растений РАН*. 2010. Т. 57, № 1. С.153—156.
21. Прайер У. Роль свободнорадикальных реакций в биологических системах. *Свободные радикалы в биологии*. М.: Наука. 1979. С. 6—13.
22. Россихина-Галича Г. Компоненти прооксидантно-антиоксидантної системи вегетативних органів рослин кукурудзи як показники їх реакції на дію гербіцидів. *Вісн. Львів. ун-ту. Сер. Біол.* 2013. Вип. 62. С. 315—324.
23. Сиренко Л.А., Паршикова Т.В. Каротиноиды гидробионтов. *Экология моря*. 2005. Вып. 76. С. 63—67.
24. Ткаченко Ф.П., Ситникова Ю.А., Куцин Е.Б. Состояние элементов антиоксидантной системы водорослей из разных по степени загрязнения районов Черного моря. *Экология моря*. 2004. Вып. 65. С. 70—74.
25. Baptist F., Zinger L., Clement J. C. et al. Tannin impacts on microbial diversity and the functioning of alpine soils: A multidisciplinary approach. *Environ. Microbiol.* 2008. Vol. 10, N 3. P. 799—809.
26. Cheng L., Cao X., Yu X. Mechanism of growth inhibition effect of aquatic plants on water cyanobacteria. *Biology*. 2017. Vol. 1. P. 1—9.
27. De Nicola E., Gallo M., Laccarino M. et al. Hermetic versus toxic effects of vegetable tannin in a multitest study. *Arch. Environ. Contain, and Toxicol.* 2004. Vol. 46, N 3. С. 336—344.
28. Hagerman A.E, Jones G. A., Riedl K. M. et al. High molecular weight plant polyphenolics (Tannins) as biological antioxidants. *J. Agric. Food Chem.* 1998. Vol. 46, N 5. P. 1887—1892.
29. Izquierdo A.M, Torres M.P.N, Jimenez G.S. et al. Changes in biomass allocation and phenolic compounds accumulation due to the effect of light and nitrate supply in *Cecropia peltata* plants. *Acta Physiol Plant.* 2011. Vol. 33. P. 2135—2147.
30. Jeffrey S.W., Humphrey F.H. New spectrophotometric equations for determining chlorophyll *a*, *b*, *c*<sub>1</sub> and *c*<sub>2</sub> in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochem. Physiol. Pflanz.* 1975. Bd. 167. P. 171—194.
31. Kharchenko G.V., Shevchenko T.F., Klochenko P.D. Comparative characteristics of phytoepiphyton of water bodies of Kiev. *Hydrobiol. J.* 2009. Vol. 45, N 5. P. 15—23.
32. Klochenko P.D., Shevchenko T.F., Tarashchuk O.S. Phytoepiphyton of the additional net of the Kanev Reservoir. *Ibid.* 2016. Vol. 52, N 3. P. 22—37.
33. Kureyshevich A. V., Medved' V. A., Potrokhov A. S. et al. Functioning of *Euglena gracilis* under the Influence of biologically active substances of phenol nature. *Ibid.* 2016. Vol. 52, N 4. P. 63—73.
34. Kureyshevich A.V., Potrokhov A.S., Zin'kovskiy O.G. et al. Lipid peroxidation in the cells of some Cyanophyta and Chlorophyta species under the impact of oil products. *Ibid.* 2011. Vol. 47, N 6. P. 89—98.
35. Kureyshevich A. V., Potrokhov A. S., Zin'kovskiy O. G. et al. Antioxidant activity of some species of Chlorophyta and Cyanoprokaryota as factor of their resistance to phenolcarboxylic Acids. *Ibid.* 2013. Vol. 49, N 1. P. 64—78.
36. Medved' V. A., Potrokhov A. S., Zin'kovskiy O. G. et al. Impact of humate of alkaline metal ion functioning of several Cyanoprokaryota and Chlorophyta species. *Ibid.* 2018. Vol. 54, N 5. P. 36—48.
37. Okuda, T., Ito H. Tannins of constant structure in medicinal and food plants—hydrolyzable tannins and polyphenols related to tannins. *Molecules*. 2011. Vol. 16. P. 2191—2217.
38. Parsons T.R., Strickland J.D.H. Discussion of spectrophotometric determination of marine-plant pigments and carotenoids. *J. Marine. Res.* 1963. Vol. 21, N 3. P. 155—163.

39. Rozentsvet O. A., Murzaeva S. V., Gushchina I. A. The role of membrane lipids in the resistance of clapsing-leaved pondweed (*Potamogeton perfoliatus* L.) to excess of cadmium in water. *Biology Bulletin [Izvestiia RAN. Serii biologii]*, 2005. 32 (2).
40. Sakevich A.I., Kirpenko N.I., Medved' V.A. et al. Influenct of polyphenols of higher aquatic plants on the functional activity of plankton algae. *Hydrobiol. J.* 2005. Vol. 41, N 6. P. 99—110.
41. SCOR-UNESCO. Determination of photosynthetic pigments in sea water. *Mono-graphs on Oceanogr. methodology, 1*. Paris: UNESCO. 1966. P. 9—18.
42. Shevchenko T.F. Species composition of periphyton algae of the reservoirs of the Dnieper cascade. *Hydrobiol. J.* 2007. Vol. 43, N 5. P. 3—42.
43. Shevchenko T.F., Kharchenko G.V., Klochenko P.D. Cenological analysis of phytoepiphyton of water bodies of Kiev. *Ibid.* 2010. Vol. 46, N 1. P. 41—55.
44. Tripathi U., Sarada R., Ravishankar G. Effect of culture conditions on growth of green alga *Haematococcus pluvialis* and astaxanthin production. *Acta Physiol. Plant.* 2002. Vol. 24. P. 323—329].
45. Wang C.C, Chen H.F, Wu J.Y. et al. Stability of principal hydrolysable tannins from *Trapa taiwanensis* Hulls. *Molecules.* 2019. Vol. 24 (2). P. 365.
46. Zhang L. H., Shao H. B., Ye G. F. et al. Effects of fertilization and drought stress on tannin biosynthesis of *Casuarina equisetifolia* seedlings branchlets. *Acta Physiol. Plant.* 2012. Vol. 34. P. 1639—1649.

Надійшла 20.08.2019

V.O. Medved', PhD (Biol.), Senior Researcher, Researcher,  
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,  
12 Geroyiv Stalingrada Ave, Kyiv, 04210, Ukraine  
e-mail: vika\_med@i.ua

A.S. Potrokhov, PhD (Biol.), Senior Researcher, Head of Department,  
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,  
12 Geroyiv Stalingrada Ave, Kyiv, 04210, Ukraine

O.G. Zinkovskiy, PhD (Biol.), Senior Researcher, Leading Researcher,  
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,  
12 Geroyiv Stalingrada Ave, Kyiv, 04210, Ukraine

Z.N. Gorbunova, Junior Researcher  
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,  
12 Geroyiv Stalingrada Ave, Kyiv, 04210, Ukraine

#### LIPID PEROXIDATION AND CONTENT OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENT IN THE CELLS OF SOME CYANOPROKARYOTA AND CHLOROPHYTA SPECIES UNDER THE IMPACT OF TANNINS

The results of studies on the effect of tannin, a phenolic compound of plant origin, on the content of chlorophyll *a* and carotenoids, as well as the intensity of lipid peroxidation in the cells of Cyanoprokaryota (*Microcystis aeruginosa*, *Anabaena cylindrica* and *Phormidium autumnale* f. *uncinata*) and Chlorophyta (*Tetraëdron caudatum* and *Desmodesmus brasiliensis*) are presented. It was established that these types of microorganisms characterized by an individual reaction to the content of tannin in the medium. It is shown that green algae are more resistant to the influence of this substance compared to representatives of Cyanoprokaryota. In most cases, tannin at a cocentration of 1,0 mg/dm<sup>3</sup> in the medium stimulated the functioning of microorganisms, and in an amount of 5,0 mg/dm<sup>3</sup> it depressed.

**Keywords:** *Cyanoprokaryota, Chlorophyta, tannins, chlorophyll a, carotenoids, lipid peroxidation.*