ДОПОВІДІ
НАЦІОНАЛЬНОЇ
АКАДЕМІЇ НАУК
УКРАЇНИ

ХІМІЯ
CHEMISTRY

https://doi.org/10.15407/dopovidi2024.02.025
УДК 544.02:581.6:615.32

І.В. Лагута[1], https://orcid.org/0000-0001-5654-7185
О.М. Ставинська[1], https://orcid.org/0000-0001-9715-5292
П.О. Кузема[1], https://orcid.org/0000-0003-4028-4784
В.М. Аніщенко[2], https://orcid.org/0000-0001-5076-3549
Р.В. Іванніков[3], https://orcid.org/0000-0001-5917-2980
О.О. Пороннік[4,5], https://orcid.org/0000-0002-0105-6925
І.Ю. Парнікоза[4,5,6], https://orcid.org/0000-0002-0490-8134

[1] Інститут хімії поверхні ім. О.О. Чуйка НАН України, Київ, Україна
[2] Інститут фізико-органічної хімії та вуглехімії ім. Л.М. Литвиненка НАН України, Київ, Україна
[3] Національний ботанічний сад ім. М.М. Гришка НАН України, Київ, Україна
[4] ДУ "Національний антарктичний науковий центр" МОН України, Київ, Україна
[5] Інститут молекулярної біології і генетики НАН України, Київ, Україна
[6] Національний університет "Києво-Могилянська академія", Київ, Україна
E-mail: icvmtt34@gmail.com, okstavinskaya@yahoo.com, coralchance@gmail.com, anishchvic@gmail.com, namor.iv22@gmail.com, oksana_poronnik@ukr.net, ivan.parnikoza@gmail.com

Склад та антиоксидантні властивості екстрактів рослин перлинниці антарктичної з районів Південних Шетландських островів, Берега Греяма і Берега Данко

Представлено академіком НАН України М.Т. Картелем

Досліджено якісний склад та кількісний вміст вторинних метаболітів рослин Colobanthus quitensis (перлинниці антарктичної) з районів Південних Шетландських островів, Берега Греяма і Берега Данко. Порівняно склад і антиоксидантні властивості екстрактів, вилучених із рослин перлинниці, що зростали на різних локаціях у природному середовищі та в умовах in vitro. Також було зіставлено склад і властивості екстрактів перлинниці та екстракту іншої антарктичної рослини — щучнику антарктичного (Deschampsia antarctica). Біохімічний склад екстрактів вивчено методами високоефективної рідинної хроматографії та масспектрометрії з матрично-активованою лазерною десорбцією / іонізацією; антиоксидантні властивості досліджено за допомогою DPPH-тесту. Встановлено, що всі екстракти перлинниці характеризуються

Цитування: Лагута І.В., Ставинська О.М., Кузема П.О., Аніщенко В.М., Іванніков Р.В., Пороннік О.О., Парнікоза І.Ю. Склад та антиоксидантні властивості екстрактів рослин перлинниці антарктичної з районів Південних Шетландських островів, Берега Греяма і Берега Данко. *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 2024. № 2. С. 25—34. https://doi.org/10.15407/dopovidi2024.02.025

© Видавець ВД «Академперіодика» НАН України, 2024. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

високим вмістом фенольних сполук (до 38 мг/г сирої сировини) і виявляють значну антиоксидантну / антирадикальну активність (інгібують до 90 % DPPH радикалів за 30 хв). Показано, що антирадикальна активність досліджених екстрактів корелює із загальним вмістом антиоксидантів у зразках. Екстракти з нативних рослин перлинниці містять в основному флавоноїди (глікозиди апігеніну, лютеоліну та метилових ефірів лютеоліну), частка яких становить ~90 % загального вмісту фенольних сполук; інші ~10 % фенольних антиоксидантів складають гідроксибензойні та гідроксикоричні кислоти. В екстракті з культури in vitro, навпаки, переважають фенольні кислоти (~58 %). Біохімічний склад досліджених екстрактів перлинниці відрізняється від складу екстракту щучнику значно більшим відносним вмістом похідних апігеніну (16—43 % загального вмісту фенольних сполук проти 3 % у щучнику) та меншим вмістом похідних лютеоліну (46—71 % проти 79 % у щучнику) і фенольних кислот (9—13 % проти 18 % у щучнику). Порівняно з екстрактом щучнику в досліджених екстрактах перлинниці загальний вміст фенольних сполук нижчий і, відповідно, здатність цих екстрактів інгібувати DPPH радикали менша. Незважаючи на це, Colobanthus quitensis, як і Deschampsia antarctica, також є ефективним продуцентом цінних природних антиоксидантів.

Ключові слова: *Colobanthus quitensis, Deschampsia antarctica, рослинні екстракти, культура in vitro, фенольні сполуки, антиоксидантні властивості.*

Вступ. Як відомо, в жорстких умовах Антарктики зростає лише два види судинних рослин — перлинниця (*Colobanthus quitensis* (Kunth) Bartl.) і щучник антарктичний (*Deschampsia antarctica* È. Desv.) [1]. Обидві рослини пристосувалися до суворого клімату, синтезуючи значну кількість вторинних метаболітів, які захищають їх від низьких температур та підвищеного рівня УФ-випромінювання [2, 3]. Однією з найбільших груп біоактивних речовин, які продукують антарктичні рослини у відповідь на екстремальні умови зовнішнього середовища, є фенольні сполуки, зокрема фенольні кислоти та флавоноїди, які мають антиоксидантні / антирадикальні властивості [2, 4]. Завдяки високому вмісту цих метаболітів антарктичні рослини становлять інтерес як джерело природних антиоксидантів.

Із двох згаданих рослин більш дослідженою є щучник антарктичний. Зокрема, в низці досліджень було вивчено склад вторинних метаболітів *D. antarctica,* антиоксидантні / відновлювальні, протипухлинні, антимікробні та фотопротекторні властивості екстрактів і опрацьовано методики введення рослини в культуру *in vitro* [5—8].

Значно менше відомо про біохімічний склад рослин перлинниці антарктичної. Дослідження чилійських науковців показали, що за підвищеного рівня УФ-випромінювання механізм виживання рослин *C. quitensis* обумовлюється біосинтезом флавоноїдів, зокрема флавон-*C*-глікозидів (шафтозиду, неошафтозиду, сапонарину, свертіаяпоніну) [9]. Також було встановлено, що екстракт із нативних рослин *C. quitensis* містить флавоноли, флавони, флавонони та каротиноїди, які здатні поглинати ультрафіолет, виявляти антиоксидантну активність, а також стимулювати процеси відновлення ДНК [10, 11]. Останнім часом багато уваги приділяється дослідженню здатності природних флавоноїдів, вилучених з рослин *C. quitensis*, виявляти антиоксидантну, антимікробну та протигрибкову дію [12].

Мета дослідження — вивчення вторинних метаболітів рослин *C. quitensis* з різних районів Морської Антарктики, порівняння складу і антиоксидантних властивостей екстрактів із рослин, що зростали на різних локаціях та в умовах *in vitro*.

Зразки *C. quitensis* було зібрано під час сезону 26-ї та 27-ї Українських антарктичних експедицій у 2022—2023 рр. Характеристику місць походження рослин, які використано для приготування екстрактів, наведено в табл. 1. Зразок 1 культури *in vitro* було отримано у відділі генетики клітинних популяцій Інституту молекулярної біології і генетики НАН України під керівництвом член-кореспондента НАН України В.А. Кунаха.

Для одержання рослинного екстракту до 0,1 г природної сировини додавали 5 мл метанолу (для зразка 6—10 мл метанолу). Екстракцію проводили під дією ультразвуку за температури 60 °С протягом 2 год (чотири етапи по 30 хв). Одержаний екстракт фільтрували через фільтр з діаметром пор 0,2 мкм і зберігали в морозильній камері за температури –20 °С.

Аналіз і визначення груп вторинних метаболітів здійснювали за допомогою хроматографічної системи "Agilent Technologies" (Німеччина) серії 1100 з чотириканальним насосом та діодно-матричним детектором, використовуючи колонку Poroshell 120 EC-C18, 2,1 × 150 мм, 2,7 мкм. Як рухому фазу використовували суміш водного розчину 0,05 М H_3PO_4 і метанолу ("Sigma-Aldrich", США). Об'єм зразка становив 2 мкл, температура колонки була 40 °С. Хроматограми реєстрували за довжини хвиль 206, 254, 300, 350 та 450 нм. Вміст зареєстрованих у хроматограмах сполук різних груп оцінювали, порівнюючи площу відповідних сигналів із площею сигналів у хроматограмах реперних сполук — представників цих груп. Вміст гідроксикоричних кислот розраховували, виходячи зі значення коефіцієнта екстинкції для хлорогенової кислоти, гідроксибензойних кислот — для галової кислоти, похідних лютеоліну — для орієнтину; глікозидів апігеніну — для вітексину.

Для якісного аналізу складу екстрактів застосовували метод часопролітної масспектрометрії з матрично-активованою лазерною десорбцією / іонізацією (МАЛДІ МС). Масспектри фіксували в режимі реєстрації позитивних іонів з використанням масспектрометра "Autoflex II" ("Bruker Daltonics Inc.", Німеччина), обладнаного азотним лазером (337 нм). Підготування зразка: 1 мкл екстракту наносили на сталеву мішень, після чого наносили 0,5 мкл матриці (насиченого розчину 2,4,6-тригідроксиацетофенону (ТНАР) в ацетоні). Зразки іонізували в імпульсному режимі: довжина імпульсу 3 нс, частота 20 Гц. Спектри реєстрували в лінійному режимі із затримкою вилучення 10 нс і прискорювальною напругою 20 кеВ. Одержані масспектри являли собою суму 10 індивідуальних спектрів, зареєстрованих у результаті опромінення 10 лазерними імпульсами в кожній окремій точці на

Таблиця 1. **Походження досліджених рослин *Colobanthus quitensis* та *Deschampsia antarctica***

Номер зразка	Рік збору	Вид рослини (походження)	Локалітет, географічні координати	Код зразка
1	2023	*C. quitensis* (клон *in vitro*)	Острів Ірізар (Берег Греяма, Аргентинські острови), –65,222000; –64,202000	CqIrI-clon
2	2022	*C. quitensis* (*in situ*)	Мис Стернек (північна межа Берега Данко), –64,067000; –61,033000	CqCSt7-50
3	2023	*C. quitensis* (*in situ*)	Острів Вісімка (Берег Греяма, Аргентинські острови), –65,226000; –64,210000	CqEI
4	2023	*C. quitensis* (*in situ*)	"Генрік Арктовський" (острів Кінг-Джордж, Південні Шетландські острови), –62,162284; –58,463393	CqArc(C1)
5	2023	*C. quitensis* (*in situ*)	Острів Галіндез (Берег Греяма, Аргентинські острови), –65,250000; –64,245000	CqGI(CP)
6	2023	*D. antarctica* (*in situ*)	Острів Галіндез (Берег Греяма, Аргентинські острови), –65,250000; –64,245000	DaGI(CP)

мішені з нанесеним зразком. Ці масспектри аналізували за допомогою програмного забезпечення FlexAnalysis ("Bruker Daltonics", Німеччина). Подальше оброблення масспектрів для вилучення характерних іонів матриці ТНАР здійснювали за допомогою програмного забезпечення mMass [http://www.mmass.org]. Ідентифікацію іонів аналіту та віднесення до найбільш імовірних сполук проводили з використанням загальнодоступних баз даних різних поліфенольних сполук [http://metabolomics.jp/wiki/Main_Page, http://phenol-explorer.eu/], враховуючи літературні дані [2, 10, 13, 14] та результати аналізу відповідних екстрактів методом високоефективної рідинної хроматографії (ВЕРХ).

Антирадикальну активність екстрактів оцінювали за їх реакцією зі стабільним вільним радикалом 2,2-дифеніл-1-пікрилгідразилом (DPPH) [15]. За стандартною процедурою DPPH тесту, 1 мл розчину, що досліджується, додають до суміші 2 мл 70%-го етанолу та 2 мл 0,15 мМ розчину DPPH у 70%-му розчині етанолу, концентрацію стабільних радикалів у різний час після початку реакції визначають спектрофотометрично за зміною оптичної густини при максимумі поглинання розчину DPPH 520 нм. Оскільки більшість досліджених екстрактів виявили високу активність у реакції (спостерігали швидке зникнення забарвлення під час додавання вихідних екстрактів до розчину DPPH), експеримент був також проведений з екстрактами, розведеними в 10 разів.

Приклади хроматограми і масспектра досліджених екстрактів рослин перлинниці проілюстровано на рис. 1, *а* і *б* відповідно. В табл. 2 наведено дані щодо вмісту фенольних сполук у екстрактах із чотирьох рослин перлинниці, які зростали в природних умовах, і з однієї рослини *in vitro*; для порівняння в табл. 2 також наведено дані щодо складу екстракту з листків щучнику антарктичного, які було зібрано на тій самій локації і в той самий час, що і рослини перлинниці.

Одержані результати свідчать про те, що екстракти з чотирьох рослин перлинниці, відібраних з природного середовища (зразки 2—5), мають подібний склад. Так, частка фенольних кислот (графи HOB, HOC) у цих зразках становить 9—13 % загальної кількості фенольних сполук. Основними флавоноїдами для всіх чотирьох екстрактів є глікозиди апігеніну (AG), лютеоліну (LG) і метилових ефірів лютеоліну (MLG), хоча співвідношення між кількістю різних флавоноїдів у різних зразках досить істотно відрізняється. У рослинах, що були зібрані на мисі Стернек (північна межа Берега Данко) і на острові Кінг-Джордж (оаза Пойнт-Томаса), переважають похідні лютеоліну, тоді як у рослинах з островів Вісімка та Галіндез (Берег Греяма, Аргентинські острови) кількість похідних лютеоліну та апігеніну приблизно однакова.

У МАЛДІ масспектрах екстрактів перлинниці (див., наприклад, рис. 1, *б*) реєструються сигнали, які можна віднести до таких фенольних сполук, як гідроксибензойні (*m*/*z* 138,1; іон $C_7H_6O_3^{\bullet+}$), дигідроксибензойні (*m*/*z* 154,0; іон $C_7H_6O_4^{\bullet+}$), *p*-кумарова (*m*/*z* 147,1 і 185,0; іони $[(C_9H_8O_3\text{-}H_2O)+H]^+$ і $[(C_9H_8O_3\text{-}H_2O)+K]^+$) та *p*-кумароїлгліколева (*m*/*z* 222,0 і 223,0; іони $C_{11}H_{10}O_5^{\bullet+}$ і $[C_{11}H_{10}O_5+H]^+$) кислоти. Серед флавоноїдів ідентифіковано нарінгенін (*m*/*z* 273,0; іон $[C_{15}H_{12}O_5+H]^+$), лютеолін (*m*/*z* 287,0; іон $[C_{15}H_{10}O_6+H]^+$), орієнтин (*m*/*z* 449,1; іон $[C_{21}H_{20}O_{11}+H]^+$), (ізо)свертіаяпонін (*m*/*z* 463,1, 485,1, 501,1; іони $[C_{22}H_{22}O_{11}+H]^+$, $[C_{22}H_{22}O_{11}+Na]^+$, $[C_{22}H_{22}O_{11}+K]^+$), (нео)шафтозид (*m*/*z* 565,1 та 603,1; іони $[C_{26}H_{28}O_{14}+H]^+$ та $[C_{26}H_{28}O_{14}+K]^+$), 2''-*O*-β-арабінопіранозид (ізо)свертіаяпоніну (*m*/*z* 595,1 та 633,1; іони $[C_{27}H_{30}O_{15}+H]^+$ та $[C_{27}H_{30}O_{15}+K]^+$), 2''-*O*-β-арабінозид ізосвертизину (*m*/*z* 617,1; іон $[C_{27}H_{30}O_{14}+K]^+$), а також похідні лютеоліну (*m*/*z* 301,0, 317,1,

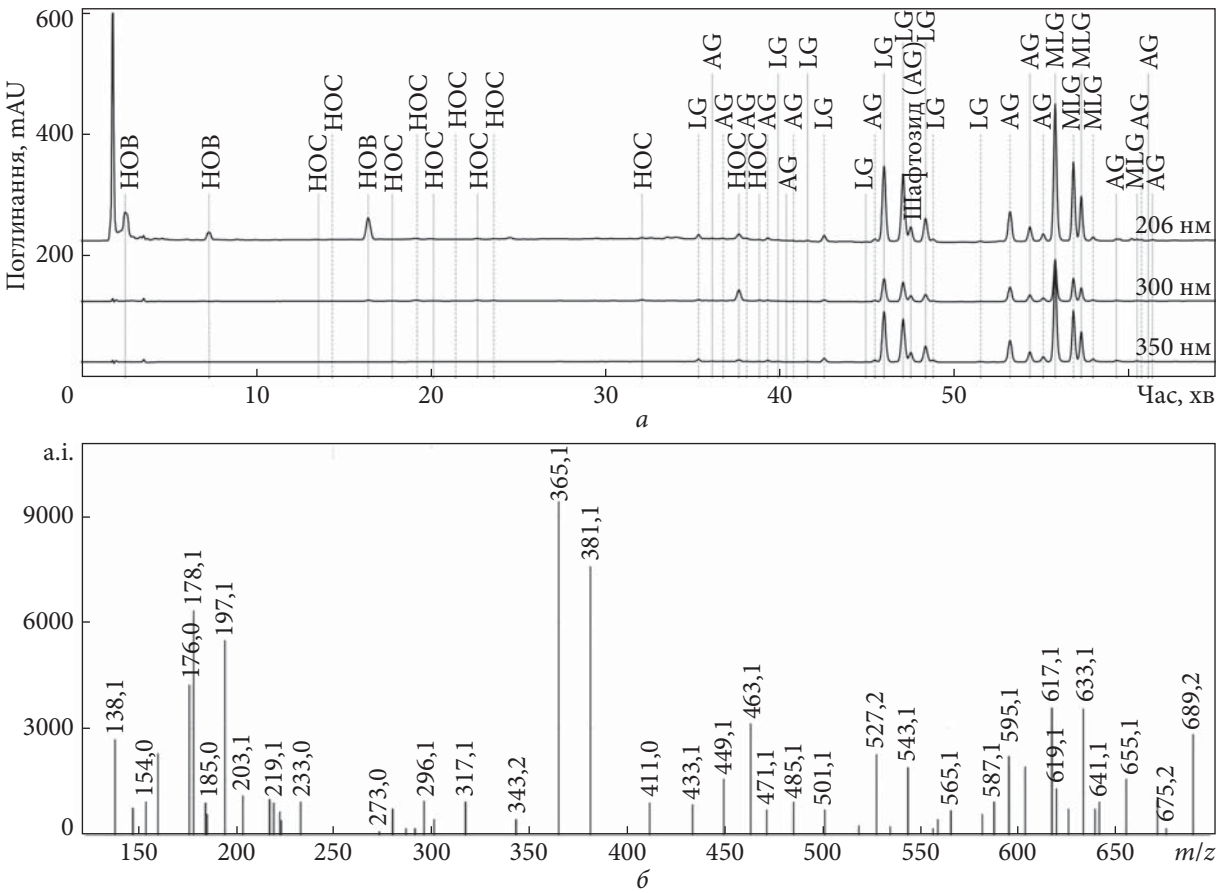

Рис. 1. Фрагменти хроматографи (*а*) та МАЛДІ масспектра (*б*) зразка 2, одержаного з рослини *Colobanthus quitensis*, що походить з локалітету мис Стернек (північна межа Берега Данко). *Умовні позначення піків на хроматограмі:* НОВ — похідні простих фенолів і гідроксибензойних кислот; НОС — похідні гідроксикоричних кислот; AG — глікозиди апігеніну; LG — глікозиди лютеоліну; MLG — глікозиди метилових ефірів лютеоліну

Таблиця 2. **Вміст (мг/г сировини) фенольних сполук у екстрактах рослин *Colobanthus quitensis* та *Deschampsia antarctica***

Номер зразка	Вид рослини (походження)	НОВ	НОС	AG	LG	MLG	Загальний вміст
1	*C. quitensis* (*in vitro*)	3,84	0,31	3,06	0,01	0	7,22
2	*C. quitensis* (*in situ*)	3,63	1,15	6,22	12,00	15,12	38,12
3	*C. quitensis* (*in situ*)	2,14	0,97	12,03	5,98	6,92	28,04
4	*C. quitensis* (*in situ*)	1,18	0,56	3,90	4,75	9,21	19,60
5	*C. quitensis* (*in situ*)	3,26	0,77	11,91	6,64	7,66	30,24
6	*D. antarctica* (*in situ*)	7,83	1,36	1,43	38,65	0,93	50,20

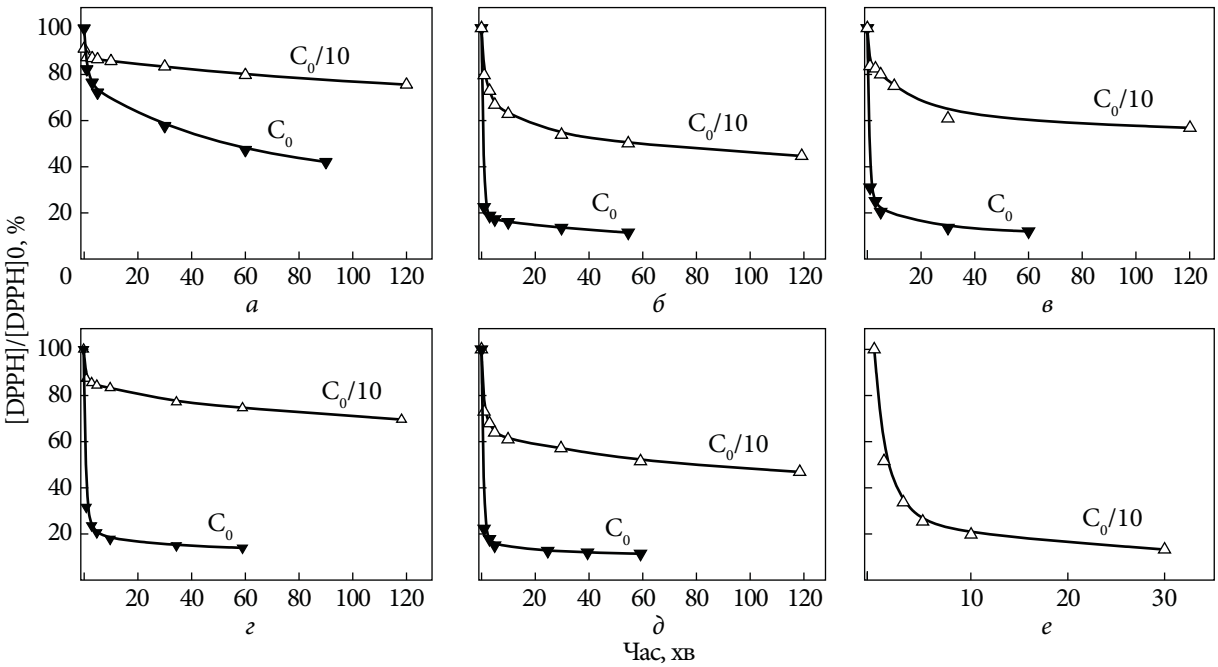

Рис. 2. Інгібування DPPH радикалів вихідними і розведеними екстрактами з рослин *Colobanthus quitensis* (*а—д* — зразки 1—5 відповідно) та *Deschampsia antarctica* (*е* — зразок 6). C_0 — вихідний екстракт, $C_0/10$ — екстракт, розведений у 10 разів

411,0, 433,1 і 641,1; іони $[C_{16}H_{12}O_6+H]^+$, $[C_{16}H_{12}O_7+H]^+$, $[C_{20}H_{20}O_7+K]^+$, $[C_{21}H_{20}O_{10}+H]^+$ і $[C_{28}H_{32}O_{17}+H]^+$), апігеніну (*m*/*z* 471,1 і 543,1; іони $[C_{21}H_{20}O_{10}+K]^+$ і $[C_{24}H_{24}O_{12}+K]^+$), гідроксифлавону (*m*/*z* 296,1; іон $C_{18}H_{16}O_4^{\bullet+}$) та флаванону (*m*/*z* 527,1 і 689,2; іони $[C_{32}H_{30}O_7+H]^+$ і $[C_{30}H_{34}O_{17}+Na]^+$). Крім фенольних сполук, у спектрах екстрактів рослин зареєстровано інтенсивні лінії, віднесені до дисахаридів (цукроза, *m*/*z* 343,2, 365,1, 381,1; іони $[C_{12}H_{22}O_{11}+H]^+$, $[C_{12}H_{22}O_{11}+Na]^+$, $[C_{12}H_{22}O_{11}+K]^+$), а також сигнали, що відповідають моносахаридам та їх похідним (*m*/*z* 176,1, 178,1, 194,1, 203,1, 219,1 і 233,1; іони $C_6H_8O_6^{\bullet+}$, $C_6H_{10}O_6^{\bullet+}$, $C_6H_{10}O_7^{\bullet+}$, $[C_6H_{12}O_6+Na]^+$, $[C_6H_{12}O_6+K]^+$ і $[C_6H_{10}O_7+K]^+$ відповідно).

Порівняння складу екстрактів, отриманих із рослин, що росли в природних умовах і в умовах *in vitro*, свідчить про істотну різницю у вмісті різних фенольних сполук. Так, у екстракті з рослин *in vitro* значно зменшується і сумарна кількість фенолів / поліфенолів, і співвідношення флавоноїдів до фенольних кислот (кількість флавоноїдів зменшується з ~90 до ~40 %). Подібну закономірність ми спостерігали раніше під час дослідження рослин щучнику. Практично у всіх вивчених зразках щучнику за умов вирощування *in vitro* значно зменшувалася кількість флавоноїдів і відповідно зростала кількість фенольних кислот.

За результатами порівняння складу екстрактів із рослин щучнику і перлинниці, які зростали на одній локації (зразки 5 і 6), також виявлено значні відмінності у кількості різних фенольних сполук. Як було показано в попередній роботі [5], у рослинах щучнику вміст флавоноїдів і фенольних кислот становив відповідно ~60—85 % та ~15—40 % сумарної кількості фенолів, при цьому основними антиоксидантами в складі екстракту щучнику були похідні лютеоліну, частка яких становила ~90 % загальної кількості флавоноїдів (~60—80 % загальної кількості фенольних сполук). В екстракті перлинниці зареєстровано

меншу кількість фенольних кислот, а серед флавоноїдів — значно вищу частку апігеніну (до 43 % у зразку 3 проти 3 % у зразку щучнику). Похідні лютеоліну в екстрактах перлинниці також можуть бути присутні в значній кількості (46—71 % загальної кількості фенолів / поліфенолів), однак істотну частку цих сполук, на відміну від екстрактів щучнику, складають глікозиди метилових ефірів лютеоліну.

Як і у випадку щучнику, екстракти перлинниці виявляють значну активність у реакції зі стабільним радикалом DPPH. На рис. 2 наведено дані щодо інгібування радикалів DPPH вихідними екстрактами перлинниці і тими самими екстрактами, розведеними у 10 разів. Як можна бачити з рис. 2, усі вихідні екстракти з рослин, які зростали в природних умовах, вже за 30 хв інгібують ~90 % радикалів. Вочевидь сполуки-антиоксиданти в цих реакційних сумішах присутні у надлишку, таким чином, ці дані не виявляють розбіжності у властивостях екстрактів із рослин, що походять із різних локалітетів. Розведені екстракти за весь час спостереження (90 хв) деактивують від 30 % (зразок 4, див. рис. 2, *г*) до 55 % (зразки 2 і 5, див. рис. 2, *б, д*) радикалів. Кількість деактивованих екстрактами радикалів корелює із загальним вмістом фенольних сполук у зразках: найвища активність спостерігається для зразка 2 з найбільшим вмістом антиоксидантів, найнижча — для зразка 4 з найменшою кількістю фенолів / поліфенолів.

Екстракт з рослини перлинниці, що росла в умовах *in vitro*, відрізняється значно меншим вмістом антиоксидантів і нижчою активністю в реакції з DPPH (~60 і ~20 % деактивованих за 90 хв радикалів для вихідного та розведеного екстрактів відповідно). Екстракт з щучнику, згідно з результатами ВЕРХ, має більший порівняно з екстрактами перлинниці вміст фенольних сполук і виявляє вищу антирадикальну активність. Навіть розведений у 10 разів екстракт за 30 хв інгібує ~90 % радикалів (див. рис. 2).

Висновок. Усі досліджені екстракти характеризуються високим вмістом фенолів / поліфенолів і виявляють значну антиоксидантну / антирадикальну активність. Основними фенольними сполуками в екстрактах з рослин перлинниці, що росли в природних умовах, є флавоноїди (глікозиди апігеніну, лютеліну і метилових ефірів лютеоліну), тоді як кількість фенольних кислот становить тільки ~10 %. Екстракт перлинниці, отриманий з рослин *in vitro*, характеризується меншою загальною кількістю фенолів і значно вищим відсотком гідроксибензойних і гідроксикоричних кислот (58 % загальної кількості фенолів / поліфенолів). Антирадикальна активність досліджених екстрактів корелює із загальним вмістом фенольних сполук у зразках. Біохімічний склад екстрактів перлинниці відрізняється від складу екстрактів іншої антарктичної рослини — щучнику, значно більшим відносним вмістом похідних апігеніну і меншим вмістом похідних лютеоліну і фенольних кислот; порівняно з екстрактом щучнику досліджені екстракти перлинниці мають також дещо меншу здатність інгібувати DPPH радикали.

Дослідження виконано в рамках Державної цільової науково-технічної програми проведення досліджень в Антарктиці на 2011—2023 роки за фінансової підтримки ДУ "Національний антарктичний науковий центр" МОН України.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Alberdi M., Bravo L.A., Gutiérrez A., Gidekel M., Corcuera, L.J. Ecophysiology of Antarctic vascular plants. *Physiol Plant*. 2002. **115**, № 4. P. 479—486 https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2002.1150401.x
2. Lütz C., Blassing M., Remias D. Different flavonoid patterns in *Deschampsia antarctica* and *Colobanthus quitensis* from the Marine Antarctic. *The Antarctic ecosystem of Potter Cove, King-George Island (Isla 25 de Mayo): Synopsis of research performed 1999—2006 at the Dallmann Laboratory and Jubany Station:* Wiencke C., Ferreyra G.A., Abele D., Marenssi S. (eds.). Berichte zur Polar- und Meeresforschung (Reports on Polar and Marine Research) (Vol. 571). Bremerhaven: Alfred Wegener Institute Für Polar und Meeresforschung, 2008. P. 192—199. https://doi.org/10.2312/BzPM_0571_2008
3. Ahmed E., Arshad M., Khan M.Z., Amjad M.S., Sadaf H.M., Riaz I., Sabir S., Ahmad N., Sabaoon. Secondary metabolites and their multidimensional prospective in plant life. *J. Pharmacogn. Phytochem*. 2017. **6**, № 2. P. 205—214. URL: https://www.phytojournal.com/archives/2017/vol6issue2/PartC/6-2-2-130.pdf (Дата звернення: 10.11.2023).
4. Köhler H., Contreras R.A., Pizarro M., Cortés-Antíquera R., Zúñiga G.E. Antioxidant responses induced by UVB radiation in *Deschampsia antarctica* Desv. *Front. Plant Sci*. 2017. **8**. Art. 921. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00921
5. Ivannikov R., Anishchenko V., Kuzema P., Stavinskaya O., Laguta I., Poronnik O., Parnikoza I. Chromatographic and mass spectrometric analysis of secondary metabolites of *Deschampsia antarctica* from Galindez Island, Argentine Islands. *Pol. Polar Res*. 2022. **43**, № 4. P. 341—362. https://doi.org/10.24425/ppr.2022.140369
6. Pérez Davó A., Truchuelo M.T., Vitale M., Gonzalez-Castro J. Efficacy of an antiaging treatment against environmental factors: *Deschampsia antarctica* extract and high-tolerance retinoids combination. *J. Clin. Aesthet. Dermatol.* 2019. **12**, № 7. P. E65—E70. URL: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6715328/ (Дата звернення: 10.11.2023).
7. Malvicini M., Gutierrez-Moraga A., Rodriguez M.M., Gomez-Bustillo S., Salazar L., Sunkel C., Nozal L., Salgado A., Hidalgo M., Lopez-Casas P.P., Novella J.L., Vaquero J.J., Alvarez-Builla J., Mora A., Gidekel M., Mazzolini G. A tricin derivative from *Deschampsia antarctica* Desv. inhibits colorectal carcinoma growth and liver metastasis through the induction of a specific immune response. *Mol. Cancer Ther.* 2018. **17**, № 5. P. 966—976. https://doi.org/10.1158/1535-7163.MCT-17-0193
8. Конвалюк І.І., Можилевська Л.П., Кунах В.А. Калюсоутворення та органогенез in vitro *Deschampsia antarctica* E. Desv. *Вісн. Укр. тов-ва генетиків і селекціонерів*. 2019. **17**, № 1. С. 8—15. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vutgis_2019_17_1_4 (Дата звернення: 10.11.2023).
9. Contreras R.A., Pizarro M., Köhler H., Zamora P., Zúñiga G.E. UV-B shock induces photoprotective flavonoids but not antioxidant activity in Antarctic *Colobanthus quitensis* (Kunth) Bartl. *Environ. Exp. Bot*. 2019. **159**. P. 179—190. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.12.022
10. Pereira B.K., Rosa R.M., da Silva J., Guecheva T.N., de Oliveira I.M., Ianistcki M., Benvegnú V.C., Furtado G.V., Ferraz A., Richter M.F., Schroder N., Pereira A.B., Henriques J.A.P. Protective effects of three extracts from Antarctic plants against ultraviolet radiation in several biological models. *J. Photochem. Photobiol. B.* 2009. **96**, № 2. P. 117—129. https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2009.04.011
11. Ivannikov R., Anishchenko V., Poronnik O., Myryuta G., Miryuta N., Boyko O., Hrytsak L., Parnikoza I. Bioactive substances of *Colobanthus quitensis* (Kunth) Bartl. from the Darboux and Lagotellerie Islands, western coast of Antarctic Peninsula. *Ukr. Antarct. J*. 2023. **21**, № 1. P. 90—102. https://doi.org/10.33275/1727-7485.1.2023.710
12. Contreras R.A., Pizarro M., Peña-Heyboer N., Mendoza L., Sandoval C., Muñoz-Gonzáles R., Zúñiga G.E. Antifungal activity of extracts from the Antarctic plant *Colobanthus quitensis* Kunth. (Bartl) cultured in vitro against *Botrytis cinerea* Pers. *Arch. Phytopathol. Plant Prot*. 2022. **55**, № 5. P. 615—635. URL: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03235408.2022.2035965 (Дата звернення: 10.11.2023).
13. Webby R.F., Markham K.R. Isoswertiajaponin 2"-*O*-β-arabinopyranoside and other flavone-*C*-glycosides from the Antarctic grass *Deschampsia antarctica*. *Phytochemistry*. 1994. **36**, № 5. P. 1323—1326. https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)89660-0
14. Bravo L.A., Ulloa N., Zúñiga G.E., Casanova A., Corcuera L.J., Alberdi M. Cold resistance in Antarctic angiosperms. *Physiol. Plant*. 2001. **111**. P. 55—65. https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2001.1110108.x
15. Brand-Williams W., Cuvelier M.E., Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT*. 1995. **28**, № 1. P. 25—30. https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5

Надійшло до редакції 21.11.2023

REFERENCES

1. Alberdi, M., Bravo, L. A., Gutiérrez, A., Gidekel, M. & Corcuera, L. J. (2002). Ecophysiology of Antarctic vascular plants. Physiol. Plant., 115, No. 4, pp. 479-486. https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2002.1150401.x
2. Lütz, C., Blassing, M. & Remias, D. (2008). Different flavonoid patterns in *Deschampsia antarctica* and *Colobanthus quitensis* from the Marine Antarctic. In Wiencke, C., Ferreyra, G. A., Abele, D. & Marenssi, S. (Eds.). The Antarctic ecosystem of Potter Cove, King-George Island (Isla 25 de Mayo): Synopsis of research performed 1999-2006 at the Dallmann Laboratory and Jubany Station. Berichte zur Polar- und Meeresforschung (Reports on Polar and Marine Research) (Vol. 571) (pp. 192-199). Bremerhaven: Alfred Wegener Institute Für Polar und Meeresforschung. https://doi.org/10.2312/BzPM_0571_2008
3. Ahmed, E., Arshad, M., Khan, M. Z., Amjad, M. S., Sadaf, H. M., Riaz, I., Sabir, S., Ahmad, N. & Sabaoon (2017). Secondary metabolites and their multidimensional prospective in plant life. J. Pharmacogn. Phytochem., 6, No. 2, pp. 205-214. Retrieved from https://www.phytojournal.com/archives/2017/vol6issue2/PartC/6-2-2-130.pdf
4. Köhler, H., Contreras, R. A., Pizarro, M., Cortés-Antíquera, R. & Zúñiga, G. E. (2017). Antioxidant responses induced by UVB radiation in *Deschampsia antarctica* Desv. Front. Plant Sci., 8, Art. 921. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00921
5. Ivannikov, R., Anishchenko, V., Kuzema, P., Stavinskaya, O., Laguta, I., Poronnik, O. & Parnikoza, I. (2022). Chromatographic and mass spectrometric analysis of secondary metabolites of *Deschampsia antarctica* from Galindez Island, Argentine Islands. Pol. Polar Res., 43, No. 4, pp. 341-362. https://doi.org/10.24425/ppr.2022.140369
6. Pérez Davó, A., Truchuelo, M. T., Vitale, M. & Gonzalez-Castro, J. (2019). Efficacy of an antiaging treatment against environmental factors: *Deschampsia antarctica* extract and high-tolerance retinoids combination. J. Clin. Aesthet. Dermatol., 12, No. 7, pp. E65-E70. Retrieved from https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6715328/
7. Malvicini, M., Gutierrez, Moraga, A., Rodriguez, M. M., Gomez Bustillo, S., Salazar, L., Sunkel, C., Nozal L., Salgado, A., Hidalgo, M., Lopez Casas, P. P., Novella, J. L., Vaquero, J. J., Alvarez Builla, J., Mora, A., Gidekel, M. & Mazzolini, G. (2018). A tricin derivative from *Deschampsia antarctica* Desv. inhibits colorectal carcinoma growth and liver metastasis through the induction of a specific immune response. Mol. Cancer Ther., 17, No. 5, pp. 966-976. https://doi.org/10.1158/1535-7163.MCT-17-0193
8. Konvalyuk, I. I., Mozhylevs'ka, L. P. & Kunakh, V. A. (2019). Callus initiation and organogenesis in vitro in *Deschampsia antarctica* E. Desv. The Bulletin of Ukrainian Society of Geneticists and Breeders, 17, No. 1, pp. 8-15 (in Ukrainian). Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vutgis_2019_17_1_4
9. Contreras, R. A., Pizarro, M., Köhler, H., Zamora, P., & Zúñiga, G. E. (2019). UV-B shock induces photoprotective flavonoids but not antioxidant activity in Antarctic *Colobanthus quitensis* (Kunth) Bartl. Environ. Exp. Bot., 159, pp. 179-190. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.12.022
10. Pereira, B. K., Rosa, R. M., da Silva, J., Guecheva, T. N., Oliveira, I. M., Ianistcki, M., Benvegnú, V. C., Furtado, G. V., Ferraz, A., Richter, M. F., Schroder, N., Pereira, A. B. & Henriques, J. A. P. (2009). Protective effects of three extracts from Antarctic plants against ultraviolet radiation in several biological models. J. Photochem. Photobiol. B., 96, No. 2, pp. 117-129. https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2009.04.011
11. Ivannikov, R., Anishchenko, V., Poronnik, O., Myryuta, G., Miryuta, N., Boyko, O., Hrytsak, L., & Parnikoza I. (2023). Bioactive substances of *Colobanthus quitensis* (Kunth) Bartl. from the Darboux and Lagotellerie Islands, western coast of Antarctic Peninsula. Ukr. Antarct. J., 21, No. 1, pp. 90-102. https://doi.org/10.33275/1727-7485.1.2023.710
12. Contreras, R. A., Pizarro, M., Peña-Heyboer, N., Mendoza, L., Sandoval, C., Muñoz-Gonzáles, R., & Zúñiga, G. E. (2022). Antifungal activity of extracts from the Antarctic plant *Colobanthus quitensis* Kunth. (Bartl) cultured in vitro against *Botrytis cinerea* Pers. Arch. Phytopathol. Plant Prot., 55, No. 5, pp. 615-635. Retrieved from https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03235408.2022.2035965
13. Webby, R. F. & Markham, K. R. (1994). Isoswertiajaponin 2"-*O*-β-arabinopyranoside and other flavone-*C*-glycosides from the Antarctic grass *Deschampsia antarctica*. Phytochemistry, 36, No. 5, pp. 1323-1326. https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)89660-0
14. Bravo, L. A., Ulloa, N., Zúñiga, G. E., Casanova, A., Corcuera, L. J. & Alberdi, M. (2001). Cold resistance in Antarctic angiosperms. Physiol. Plant., 111, pp. 55-65. https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2001.1110108.x
15. Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E. & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT, 28, No. 1, pp. 25-30. https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5

Received 21.11.2023

I.V. Laguta [1], https://orcid.org/0000-0001-5654-7185
O.N. Stavinskaya [1], https://orcid.org/0000-0001-9715-5292
P.O. Kuzema [1], https://orcid.org/0000-0003-4028-4784
V.M. Anishchenko [2] , https://orcid.org/0000-0001-5076-3549
R.V. Ivannikov [3] , https://orcid.org/0000-0001-5917-2980
O.O. Poronnik [4,5], https://orcid.org/0000-0002-0105-6925
I.Y. Parnikoza [4,5,6], https://orcid.org/0000-0002-0490-8134

[1] Chuiko Institute of Surface Chemistry of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine
[2] L.M. Litvinenko Institute of Physical-Organic Chemistry and Coal Chemistry of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine
[3] M.M. Gryshko National Botanic Garden of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine
[4] National Antarctic Scientific Center of the MES of Ukraine, Kyiv, Ukraine
[5] Institute of Molecular Biology and Genetics of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine
[6] National University of Kyiv-Mohyla Academy, Kyiv, Ukraine
E-mail: icvmtt34@gmail.com, okstavinskaya@yahoo.com, coralchance@gmail.com, anishchvic@gmail.com, namor.iv22@gmail.com, oksana_poronnik@ukr.net, ivan.parnikoza@gmail.com

STUDY ON THE COMPOSITION AND ANTIOXIDANT PROPERTIES OF EXTRACTS FROM *COLOBANTHUS QUITENSIS* PLANTS ORIGINATING FROM THE REGIONS OF THE SOUTH SHETLAND ISLANDS, DANCO COAST AND GRAHAM COAST

The qualitative and quantitative analysis of secondary metabolites of *Colobanthus quitensis* plants from the South Shetland Islands, Danco Coast and Graham regions was performed. The composition and antioxidant properties of plant extracts grown in vitro and in nature at different locations on the islands were compared. In addition, the composition and properties of Colobanthus quitensis extracts were compared with those of another Antarctic plant — *Deschampsia antarctica.* The biochemical composition of the extracts was studied by high-performance liquid chromatography and matrix-assisted laser desorption / ionization mass spectrometry; antioxidant properties were evaluated by DPPH test. It was found that all the extracts from *C. quitensis* are characterized by a high content of phenolic compounds (up to 38 mg per one gram of raw material) and exhibit significant antioxidant/antiradical activity (inhibiting up to 90 % of DPPH radicals in 30 min). The antiradical activity of the studied extracts correlates with the total content of antioxidant content of the samples. The extracts from native *C. quitensis* plants were found to contain mainly flavonoids (glycosides of apigenin, luteolin, and methyl esters of luteolin), which make up approximately 90 % of the total content of phenolic compounds; the other around 10 % of phenolic antioxidants are hydroxybenzoic and hydroxycinnamic acids. In contrast, in the extract from the in vitro culture, phenolic acids prevailed (approximately 58 %). The biochemical composition of the *C. quitensis* extracts differed from that of *D. antarctica* extract by a much higher relative content of apigenin derivatives (16—43 % of the total content of phenolic compounds vs. 3 % in *D. antarctica*) and a lower content of luteolin derivatives (46—71 % vs. 79 %) and phenolic acids (9—13 % vs. 18 %). Compared to the *D. antarctica* extract, the total content of phenolic compounds in the studied *C. quitensis* extracts is lower, and accordingly, the ability of these extracts to inhibit DPPH radicals is lower. Nevertheless, like *D. antarctica*, *C. quitensis* is also an efficient producer of valuable natural antioxidants.

Keywords*: Colobanthus quitensis, Deschampsia antarctica, plant extracts, culture in vitro, phenolic compounds, antioxidant properties.*