

**ДОСЛІДЖЕННЯ АНТИОКСИДАНТНОЇ ТА
МЕМБРАНОСТАБІЛІЗУЮЧОЇ АКТИВНОСТІ ЕКСТРАКТУ КВІТІВ
AMARANTHUS CAUDATUS L. ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЙОГО
ЗАСТОСУВАННЯ У СКЛАДІ АНТИВІКОВИХ КОСМЕТИЧНИХ
ЗАСОБІВ**

Цісак А.О.^{1,2}, Еберле Л.В.^{1,3}, Александрова О.І.¹

¹Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, Одеса, Україна.

²Фізико-хімічний інститут ім. О.В. Богатського НАН України, Одеса, Україна

³Одеський національний медичний університет, Одеса, Україна

tsisakalona@gmail.com

**STUDY OF THE ANTIOXIDANT AND MEMBRANE-STABILIZING
ACTIVITY OF AMARANTHUS CAUDATUS L. FLOWER EXTRACT
AND THE PROSPECTS FOR ITS USE IN ANTI-AGING COSMETICS**

Tsisak^{1,2} A.O. , Eberle^{1,3} L.V. , Alexandrova¹ O.I.

¹Odessa I.I. Mechnikov National University, Odessa, Ukraine

²O.V. Bogatsky Physico-Chemical Institute of the National Academy of Sciences of
Ukraine, Odessa, Ukraine

³Odessa National Medical University, Odessa, Ukraine

tsisakalona@gmail.com

Authors Information

Цісак А. О. (Tsisak A. O.): <https://orcid.org/0000-0003-3660-3165>

Еберле Л. В. (Eberle L. V.): <https://orcid.org/0000-0002-3466-8653>

Александрова О. І. (Alexandrova O.I./Oleksandrova O.I.): <https://orcid.org/0000-0002-3004-9463>

Summary/Резюме

Introduction. The search for safe plant-derived sources of biologically active compounds with antioxidant and membrane-stabilizing properties is an important task in modern pharmacy and cosmetology. Special attention is given to underexplored medicinal plant materials, including flowers of *Amaranthus caudatus* L., which are considered a promising source of polyphenolic antioxidants.

Aim. To investigate the antioxidant and membrane-stabilizing activity of *Amaranthus caudatus* flower extract *in vitro* and to substantiate its potential application in anti-aging cosmetic formulations.

Materials and Methods. Antioxidant activity was evaluated by the ability of the extract to inhibit epinephrine autoxidation in an alkaline medium, with spectrophotometric measurement at 347 nm. Membrane-stabilizing activity was assessed by determining the effect of the extract on erythrocyte osmotic resistance and hemolysis in hypotonic sodium chloride solutions. Statistical analysis was performed using Student's t-test.

Results. The extract demonstrated pronounced antioxidant activity, reducing the rate of epinephrine autoxidation and inhibiting oxidative processes by more than 40 %. The antioxidant activity exhibited a biphasic pattern, indicating a complex mechanism of action

of polyphenolic compounds. No significant hemolytic effect was observed, while an increase in erythrocyte osmotic resistance confirmed the membrane-stabilizing properties of the extract. Based on the obtained results, the component composition of an anti-aging lotion and emulsion cream containing amaranth extract was developed.

Conclusions. *Amaranthus caudatus* L. flowers are a promising source of biologically active compounds with antioxidant and membrane-stabilizing activity and may be effectively used as active ingredients in medicinal and cosmetic products.

Keywords: *Amaranthus caudatus*; extract; antioxidant activity; membrane-stabilizing effect; erythrocyte osmotic resistance; epinephrine autoxidation; medicinal and cosmetic products; anti-aging effect.

Вступ. Пошук безпечних рослинних джерел біологічно активних речовин із антиоксидантною та мембраностабілізуючою дією є актуальним напрямом сучасної фармації та косметології. Особливий інтерес становлять маловивчені види лікарської рослинної сировини, зокрема квіти амаранта хвостатого (*Amaranthus caudatus* L.), які потенційно містять поліфенольні сполуки та інші природні антиоксиданти.

Мета роботи. Дослідження антиоксидантної та мембраностабілізуючої активності екстракту квітів амаранта хвостатого *in vitro* та обґрунтування можливості його використання у складі лікувально-косметичних засобів з антивіковим ефектом.

Методи дослідження. Антиоксидантну активність визначали за здатністю екстракту інгібувати аутоокиснення адреналіну в лужному середовищі з реєстрацією оптичної густини при 347 нм. Мембраностабілізуючі властивості оцінювали за впливом екстракту на осмотичну резистентність еритроцитів та ступінь гемолізу в гіпотонічних розчинах натрію хлориду. Статистичну обробку результатів проводили з використанням критерію Стюдента.

Результати. Встановлено, що екстракт квітів амаранта проявляє виражену антиоксидантну активність, знижуючи швидкість аутоокиснення адреналіну та інгібуючи окисні процеси більш ніж на 40 %. Динаміка антиоксидантної активності має двофазний характер, що свідчить про складний механізм дії поліфенольних компонентів. Показано відсутність вираженої гемолітичної дії та підвищення осмотичної резистентності еритроцитів у присутності екстракту, що підтверджує його мембраностабілізуючі властивості. На основі отриманих даних розроблено компонентний склад лосьйону та емульсійного крему з антивіковим ефектом.

Висновки. Квіти амаранта хвостатого є перспективним джерелом біологічно активних речовин з антиоксидантною та мембраностабілізуючою дією та можуть бути використані як активний інгредієнт лікувально-косметичних засобів.

Ключові слова: амарант хвостатий; екстракт; антиоксидантна активність; мембраностабілізуюча дія; осмотична резистентність еритроцитів; аутоокиснення адреналіну; лікувально-косметичні засоби; антивіковий ефект.

Вступ

Амарант хвостатий (*Amaranthus caudatus* L.) — це древня культурна рослина, що належить до родини *Amaranthaceae* і широко використовується як харчовий, косметичний та фармакологічний ресурс завдяки багатому вмісту біологічно активних сполук, включаючи фенольні компоненти, флавоноїди,

каротиноїди та інші антиоксиданти [1]. Завдяки своїм антиоксидантним властивостям амарант привернув увагу сучасних досліджень як потенційне джерело натуральних інгредієнтів для продукції з оздоровчим і косметичним ефектом [2]. Встановлено, що фенольні сполуки амаранту сприяють нейтралізації вільних радикалів,

знижують рівень оксидативного стресу та можуть бути корисними в профілактиці та корекції захворювань, пов'язаних із окиснювальним пошкодженням [3].

Антиоксидантна активність рослинних екстрактів є ключовою характеристикою їх біологічної цінності, оскільки вона корелює з потенційними протизапальними, протизахворювальними та антивіковими ефектами [4]. Екстракти квітів *A. caudatus* містять значну кількість фенольних сполук та здатні ефективно зв'язувати вільні радикали (наприклад, у DPPH та ABTS тестах), що робить їх перспективними для використання в косметичних та функціональних засобах [2, 5]. Попри зростаючий інтерес до рослинних антиоксидантів, питання впливу екстрактів амаранту на гемолітичну активність та осмотичну резистентність еритроцитів залишається малодослідженим і вимагає системного наукового підходу, особливо в контексті оцінки безпеки та біологічної активності *in vitro* перед їх застосуванням у медичній та косметичній практиці [6]. Гемолітична та антигемолітична активності екстрактів рослин дозволяють оцінювати їх вплив на мембрану еритроцитів, що важливо при розробці біоактивних препаратів із низькою цитотоксичністю [6].

На сучасному етапі розвитку фармацевтичної та косметичної науки особливу увагу приділяють створенню натуральних косметичних формул, які не лише виконують естетичні функції, а й надають антивіковий захист шляхом зменшення оксидативного стресу у шкірі, стимуляції синтезу колагену та захисту клітинних мембран [7]. У цьому контексті екстракт квітів амаранту, вивчений в нашому дослідженні, може стати перспективною активною складовою натуральних косметичних засобів з антивіковим ефектом. Таким чином, системне дослідження антиеїджингового потенціалу, антитоксичності та функціональних характеристик *Amaranthus caudatus* має не лише наукове, але й практичне значення для розробки сучасних косметичних та біоактивних продуктів.

Метою даної роботи є отримання екстракту квітів *Amaranthus caudatus* L., експериментальне дослідження його антиоксидантної та мембраностабілізуючої (оцінка гемолітичної дії та впливу на осмотичну резистентність еритроцитів) активності *in vitro*, а також наукове обґрунтування доцільності використання екстракту у складі антивікових лікарських косметичних засобів (лосьйону та емульсійного крему).

Матеріали та методи дослідження

Об'єктом дослідження був спиртовий екстракт квітів *Amaranthus caudatus* L. Для оцінки біологічної активності екстракту застосовували комплекс *in vitro* методів, спрямованих на визначення антиоксидантних властивостей, гемолітичної дії та мембраностабілізуючої активності щодо еритроцитів.

Визначення осмотичної резистентності мембран еритроцитів

Стійкість мембран еритроцитів до осмотичного гемолізу визначали у гіпотонічних розчинах натрію хлориду. Для цього готували серію водних розчинів NaCl з концентрацією від 0,90 % до 0,10 % з інтервалом 0,10 %. У кожен пробірник вносили по 5,0 мл відповідного розчину та додавали 0,05 мл цільної крові, після чого суміші обережно перемішували та інкубували при кімнатній температурі протягом 30 хв. Після інкубації зразки центрифугували при 1500 об/хв упродовж 5 хв.

Ступінь гемолізу оцінювали візуально за прозорістю надосадової рідини та кількісно — шляхом вимірювання оптичної щільності супернатанту при довжині хвилі 540 нм на спектрофотометрі. За 100 % гемолізу приймали оптичну щільність у пробі з мінімальною концентрацією NaCl (0,10 %), за негативний контроль — ізотонічний розчин NaCl (0,90 %) [8, 9].

Відсоток гемолізу (%) розраховували за формулою:

$$\% \text{гемолізу} = \left(\frac{D_{\text{досл.}} - D_{\text{контр.}}}{D_{\text{макс.}} - D_{\text{контр.}}} \right) * 100$$

$D_{\text{досл.}}$ — оптична щільність дослідної проби;

$D_{\text{контр.}}$ — оптична щільність негативного контролю;

$D_{\text{макс.}}$ — оптична щільність позитивного контролю.

За отриманими даними будували криві осмотичного гемолізу, відкладаючи по осі абсцис концентрацію NaCl (%), а по осі ординат — відсоток гемолізу. Положення кривих використовували для оцінки резистентності мембран еритроцитів.

Визначення мембраностабілізуючої активності екстракту in vitro

Мембраностабілізуючу активність оцінювали шляхом порівняння осмотичної кривої гемолізу між контролем і пробами з екстрактами, що є стандартним методом для виявлення захисного ефекту рослинних поліненасичених сполук [9]. Спиртовий екстракт квітів амаранту отримували шляхом мацерації сировини у 50 % етанолі у співвідношенні 1:10 (маса/об'єм) протягом 14 діб. Після фільтрації екстракт упарювали при температурі 40–45 °С. Для проведення дослідження готували 2 % суспензію еритроцитів. Венозну кров центрифугували при 1500 об/хв протягом 10 хв, видаляли плазму та лейкоцитарний шар, після чого еритроцити тричі промивали фосфатно-сольовим буфером (PBS).

Суспензію еритроцитів розділяли на контрольну (без екстракту) та дослідну серії, до яких додавали екстракт амаранту у концентрації 50 мкг/мл. Інкубацію проводили при 37 °С протягом 30 хв. Далі здійснювали тест на осмотичну резистентність за аналогічною методикою з використанням серії гіпотонічних розчинів NaCl (0,10–0,90 %).

Мембраностабілізуючу активність оцінювали за зсувом кривих осмотичного гемолізу та за індексом стабілізації мембран (ICM), який обчислювали за формулою:

$$ICM = \left(\frac{\% \text{гемолізу}_{\text{контр.}} - \% \text{гемолізу}_{\text{екстракт}}}{\% \text{гемолізу}_{\text{контр.}}} \right) * 100$$

Визначення антиоксидантної активності in vitro

Антиоксидантну активність (АОА) екстракту визначали методом інгібування аутоокислення адреналіну в адренохром у лужному середовищі [10, 11]. Як джерело супероксид-аніон-радикалів використовували 0,1 % розчин адреналіну гідрохлориду. Реакцію проводили у 0,2 М карбонатному буфері (pH 10,55).

До кювети спектрофотометра (товщина шару 10 мм) вносили 2,0 мл буферного розчину, 0,1 мл досліджуваного екстракту та 0,1 мл 0,1 % розчину адреналіну. Оптичну щільність вимірювали при довжині хвилі 347 нм кожні 15 с протягом 105 с. Швидкість реакції аутоокислення адреналіну визначали за зміною оптичної густини в часі.

Антиоксидантну активність (АОА, %) розраховували за формулою:

$$АОА = \frac{D_k - D_d}{D_k} \times 100$$

де D_k — оптична щільність контрольної проби;

D_d — оптична щільність дослідного зразка.

Статистична обробка результатів

Статистичну обробку експериментальних даних проводили з використанням програми Microsoft Excel. Розраховували середні значення (M), похибки середніх (m) та критерій Стюдента (t). Вірогідність відмінностей між контрольними та дослідними групами оцінювали при рівні значущості $p < 0,05$.

Експерименти на тваринах проводили відповідно до національних «Загальних етичних принципів експериментів на тваринах» (Україна, 2001), які узгоджуються з положеннями «Європейської конвенції з захисту хребетних тварин, що використовуються в експериментальних та інших дослідних цілях» (Страсбург, Франція, 1986) [12].

Результати досліджень

Антиоксидантна активність екстракту квітів амаранту

Антиоксидантну активність екстракту квітів *Amaranthus caudatus* оцінювали за його здатністю інгібувати аутоокиснення адреналіну в лужному середовищі. Дослідження проводили з використанням модельної системи хіноїдного окислення адреналіну з утворенням адренохрому, що супроводжується генерацією активних форм кисню.

Кінетичний аналіз контрольної проби показав лінійний характер перебігу реакції аутоокиснення адреналіну в досліджуваному часовому інтервалі ($R^2 = 0,9805$), що дозволило коректно визначати швидкість реакції як відношення приросту оптичної густини до часу (рис. 1). У присутності екстракту амаранту характер кінетичної кривої не змінювався, однак спостерігалось достовірне зниження абсолютних значень екстинкції, що свідчить про гальмування процесу окислення.

Динаміка антиоксидантної активності екстракту амаранту протягом 105 с представлена в табл. 1. Початкове значення АОА становило $53,70 \pm 3,21$ %. У подальшому відмічалось поступове зниження активності з досягненням мінімального значення $32,50 \pm 4,10$ % на 60-й секунді реакції. У часовому інтервалі 75–105 с спостерігалась часткова стабілізація та зростання АОА до $43,07 \pm 1,60$ % на завершальному етапі дослідження.

На основі кінетичних даних було розраховано швидкість аутоокиснення адреналіну та відсоток інгібування реакції (табл. 2).

У контрольному зразку приріст оптичної густини (ДЕ) становив $0,0785 \pm 0,0010$, що відповідало швидкості реакції $0,0446 \pm 0,0006$ о.о./хв. Додавання екстракту амаранту призводило до достовірного зниження ДЕ до $0,0470 \pm 0,0023$ та зменшення швидкості реакції до $0,0265 \pm 0,0013$ о.о./хв.

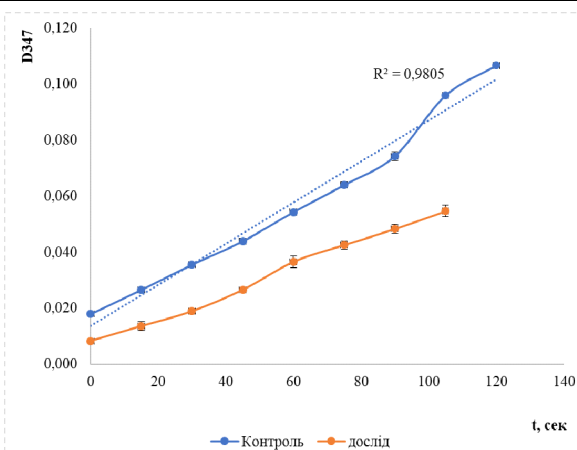


Рис. 1. Залежність оптичної густини (D347) від часу реакції аутоокислення адреналіну (t) в відсутності (Контроль) та у присутності екстракту рослини (Дослід)

Розрахований індекс інгібування аутоокиснення адреналіну становив $40,61 \pm 2,32$ %.

Гемолітична активність та вплив екстракту квітів амаранту на осмотичну резистентність еритроцитів in vitro

Вплив екстракту квітів амаранту на стабільність мембран еритроцитів оцінювали за показниками осмотичного гемолізу в розчинах NaCl різної концентрації. Для порівняння використовували контрольні проби та проби, модифіковані токоферолом і екстрактом амаранту в концентрації 50 мкг/мл.

Результати спектрофотометричного визначення гемолізу (табл. 3) свідчать, що екстракт амаранту не чинить гемолітичної дії в досліджуваній концентрації. Навпаки, в усіх діапазонах гіпотонічних розчинів NaCl спостерігалось зниження відсотка

Таблиця 1

Динаміка антиоксидантної активності екстракту амаранту, %

t, час (сек)	Антиоксидантна активність, %
0	$53,70 \pm 3,21$
15	$48,81 \pm 4,74$
30	$46,72 \pm 2,91$
45	$39,39 \pm 0,69$
60	$32,50 \pm 4,1$
75	$33,35 \pm 1,39$
90	$34,99 \pm 0,71$
105	$43,07 \pm 1,60$

Таблиця 2

Швидкість реакції аутоокислення та показник інгібування реакції при використанні екстракту амаранту

	Контрольний зразок	Дослідний зразок
ДЕ,	$0,0785 \pm 0,0010$	$0,0470 \pm 0,0023$
V, оо/хв,	$0,0446 \pm 0,0006$	$0,0265 \pm 0,0013$
I, % інгібування реакції	-	$40,6136 \pm 2,3159$

гемолізу порівняно з контролем.

Гемолітичні криві (рис. 2) демонструють зміщення кривої для клітин, оброблених екстрактом амаранту, у бік нижчих концентрацій NaCl порівняно з контролем, що вказує на підвищення осмотичної резистентності мембран еритроцитів.

Аналіз індексу стабілізації мембран показав, що екстракт амаранту забезпечує виражений мембраностабілізуючий ефект. Максимальні значення ICM досягали 79,9 % при концентрації NaCl 0,85 %, перевищуючи відповідні показники токоферолу (≈69 %). У діапазоні концентрацій 0,70–0,65 % NaCl індекс стабілізації для екстракту амаранту становив 44–58 %, а навіть за умов вираженої осмотичної агресії (0,55–0,50 % NaCl) зберігався частковий захисний ефект.

Отримані результати підтвердили перспективність використання екстракту квітів *Amaranthus caudatus* як природного антиоксидантного та мембраностабілізуючого інгредієнта у складі дерматотропних і лікувально-косметичних засобів.

Розробка компонентного складу лікувально-косметичних засобів з антивіковим ефектом на основі амаранту.

З метою практичної реалізації встановленої антиоксидантної та мембранос-

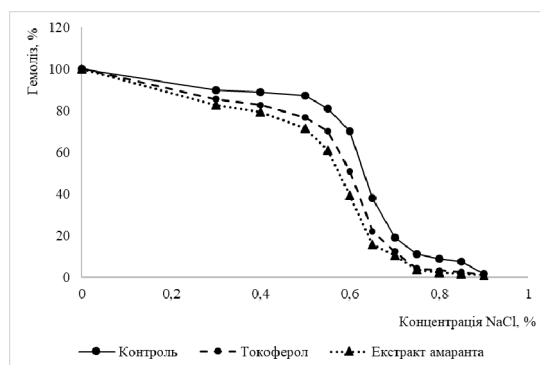


Рис. 2. Гемолітична крива для контрольних клітин і клітин, модифікованих токоферолом та екстрактом амаранту в концентраціях 50мкг/мл.

Показники гемолізу контрольних проб і проб, модифікованих токоферолом та екстрактом амаранту в концентраціях 50мкг/мл в досліді in vitro

№ пробірки	Концентрація NaCl (%)	Контроль		Токоферол			Екстракт амаранта		
		OD	% гемолізу	OD	% гемолізу	ICM	OD	% гемолізу	ICM
1	0,90	0,020	1,546	0,020	1,031	33,333	0,018	0,840	45,658
2	0,85	0,091	7,320	0,042	2,268	69,014	0,032	1,471	79,909
3	0,80	0,103	8,557	0,051	3,196	62,651	0,04	2,311	72,993
4	0,75	0,127	11,031	0,059	4,021	63,551	0,05	3,361	69,528
5	0,70	0,204	18,969	0,139	12,268	35,326	0,118	10,504	44,625
6	0,65	0,388	37,938	0,232	21,856	42,391	0,167	15,651	58,745
7	0,60	0,701	70,206	0,511	50,619	27,900	0,391	39,181	44,192
8	0,55	0,806	81,031	0,701	70,206	13,359	0,598	0,924	24,813
9	0,50	0,871	87,732	0,763	76,598	12,588	0,701	71,744	18,128
10	0,40	0,882	88,866	0,821	82,577	7,077	0,772	79,202	10,875
11	0,30	0,892	89,897	0,848	85,361	5,046	0,803	82,458	8,275
12	0,00 (H ₂ O)	0,99	100,000	0,99	100,000	0,000	0,97	100,000	0,000

табілізуючої активності екстракту квітів *Amaranthus caudatus* було розроблено компонентний склад лікувально-косметичних засобів з антивіковим ефектом — косметичного лосьйону та емульсійного крему.

Як активні інгредієнти використовували екстракт амаранту (водно-спиртовий та сухий) і масло насіння амаранту. Жирнокислотний склад масла представлений лінолевою, олеїною та пальмітиною кислотами, а також скваленом у співвідношенні 52:23:18: 15. Фізико-хімічні показники масла амаранту (кислотне число — 2,5 мг КОН/г, йодне число — 188, перекисне число — 1,2 ммоль) свідчать про його високу якість та придатність для використання у косметичних композиціях.

На основі водно-спиртового екстракту квітів амаранту було розроблено рецептуру косметичного лосьйону, у якій екстракт виконує функцію не лише розчинника, а й активного біологічного компонента. Отриманий лосьйон характеризувався однорідною консистенцією, приємним рослинним запахом та відсутністю подразнювальної дії. Значення рН (5,4) і результати випробувань на стабільність відповідали нормативним вимогам до зовнішніх косметичних засобів.

Крім того, було розроблено емульсійний крем типу «олія у воді», до складу якого входили масло амаранту (30 %), сухий екстракт амаранту (3 %), емульгатор Emulpharma Ecotech, діоксид кремнію

та консервант. Отриманий крем мав однорідну структуру, приємні органолептичні властивості, швидко вбирався та не викликав подразнення шкіри. Показники рН (5,5), колоїдної та термостабільності відповідали вимогам до косметичних кремів.

Обговорення

Встановлена антиоксидантна активність екстракту квітів амаранту зумовлена, ймовірно, наявністю комплексу поліфенольних сполук, здатних до інактивації активних форм кисню та гальмування ланцюгових вільнорадикальних реакцій. Двофазний характер динаміки антиоксидантної активності може свідчити про участь як швидкодіючих первинних антиоксидантів, так і вторинних метаболітів, які активуються в процесі перебігу окисних реакцій.

Мембраностабілізуюча дія екстракту амаранту, встановлена в дослідках *in vitro*, корелює з його антиоксидантними властивостями, оскільки захист ліпідного бішару мембран еритроцитів від перекисного окислення є ключовим механізмом зменшення осмотичного гемолізу. Переважання ефекту екстракту амаранту над токоферолом у зоні слабкої та помірної гіпотонії може бути зумовлене синергічною дією поліфенолів, флавоноїдів та інших біологічно активних сполук рослинного походження.

Розробка лікувально-косметичних засобів на основі екстракту та масла амаранту логічно доповнює результати дослідження їх антиоксидантної та мембраностабілізуючої активності *in vitro*. Відомо, що поліфенольні сполуки та сквален відіграють ключову роль у захисті клітинних мембран від перекисного окислення ліпідів, що є одним з основних механізмів старіння шкіри.

Включення екстракту амаранту до складу лосьйону та крему забезпечує комплексний біологічний ефект — антиоксидантний, протизапальний та захисний, тоді як масло амаранту сприяє відновленню гідроліпідного бар'єра шкіри

та підвищенню її еластичності. Отримані результати контролю якості підтверджують, що запропоновані рецептури є стабільними, безпечними та технологічно обґрунтованими.

Таким чином, розроблені косметичні форми можуть розглядатися як перспективні носії біологічно активних речовин амаранту та демонструють можливість практичного використання досліджуваного рослинного екстракту у створенні антивікових лікувально-косметичних засобів.

Висновки

Встановлено, що екстракт квітів *Amaranthus caudatus* проявляє виражену антиоксидантну активність у модельній системі аутоокиснення адреналіну, що підтверджується достовірним зниженням швидкості реакції окислення та інгібуванням утворення продуктів окиснення на рівні понад 40 %. Динаміка антиоксидантної активності має двофазний характер із початковим зниженням та подальшою стабілізацією, що може бути зумовлено різною реакційною здатністю поліфенольних фракцій і утворенням вторинних антиоксидантних сполук.

Показано, що екстракт амаранту *in vitro* не спричиняє вираженої гемолітичної дії та сприяє підвищенню осмотичної резистентності еритроцитів, що свідчить про його мембраностабілізуючі властивості та безпечність при потенційному зовнішньому застосуванні.

На основі експериментальних даних розроблено компонентний склад лікувально-косметичних засобів з антивіковим ефектом (лосьйон та емульсійний крем) з використанням екстракту та масла амаранту як активних інгредієнтів. Встановлено, що створені композиції відповідають основним фізико-хімічним і органолептичним вимогам, характеризуються стабільністю та можуть розглядатися як ефективні носії біологічно активних речовин рослинного походження.

Отримані результати експериментально обґрунтовують перспективність

використання квітів амаранта хвостатого як джерела біологічно активних сполук антиоксидантної та мембраностабілізуючої дії та доцільність подальших досліджень у напрямі створення лікувально-косметичних і фармацевтичних засобів.

References

1. Park, S.-J., Sharma, A., & Lee, H.-J. (2020). A Review of Recent Studies on the Antioxidant Activities of *Amaranthus* spp. *Antioxidants*, 9 (12), 1236. <https://doi.org/10.3390/antiox9121236>
2. Karamaz, M., Gai, F., Longato, E., et al. (2019). Antioxidant activity and phenolic composition of *Amaranthus caudatus* during plant growth. *Antioxidants*, 8 (6), 173. <https://doi.org/10.3390/antiox8060173>
3. Sattar, M., Saeed, F., Afzaal, M., et al. (2024). An overview of the nutritional and therapeutic properties of amaranth. *International Journal of Food Properties*, 27 (1), 263–272. <https://doi.org/10.1080/10942912.2024.2304266>
4. Jimoh, O. A., Afolayan, A. J., & Lewu, F. B. (2019). Antioxidant and phytochemical activities of *Amaranthus caudatus* harvested from different soils at various growth stages. *Scientific Reports*, 9 (1), 12965. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49276-w>
5. Roriz, C. L., Barros, L., Heleno, S. A., et al. (2021). Chemical and bioactive features of *Amaranthus caudatus* L. flowers and optimized ultrasound-assisted extraction of betalains. *Foods*, 10 (4), 779. <https://doi.org/10.3390/foods10040779>
6. Elizondo-Luevano, J. H., Quintanilla-Licea, R., & Castillo-Hernández, S. L. (2024). In Vitro Evaluation of Anti-Hemolytic and Cytotoxic Effects of Traditional Mexican Medicinal Plant Extracts on Human Erythrocytes and Cell Cultures. *Life*, 14 (9), 1176. <https://doi.org/10.3390/life14091176>
7. Bujak, T., Zagryska-Dziok, M., & Ziemlewska, A. (2022). Flower extracts as multifunctional dyes in cosmetics industry. *Molecules*, 27 (3), 922. <https://doi.org/10.3390/molecules27030922>
8. Hawamdeh, H., Sawalha, A., & Al-Gharaibeh, N. (2010). Influence of aqueous extracts of seven plants used in traditional medicine on osmotic fragility of human erythrocytes. *An-Najah University Journal for Research – Natural Sciences*, 24 (1), 47–54. <https://doi.org/10.35552/anujr.a24.1.225>
9. Ydyrys, A., Zhamanbayeva, G., Zhaparkulova, N., et al. (2024). The Systematic Assessment of the Membrane-Stabilizing and Antioxidant Activities of Several Kazakhstani Plants in the Asteraceae Family. *Plants*, 13 (1), 96. <https://doi.org/10.3390/plants13010096>
10. Lamazian, H. R., Sytnyk, I. M., & Chernovol, P. A. (2015). Vyznachennia antyoksydantnoi aktyvnosti zabarvlenykh roslynnykh ekstraktiv in vitro [In vitro determination of antioxidant activity of colored plant extracts]. *Pharmaceutical Journal*, (4), 60–64. <https://doi.org/10.11603/2312-0967.2015.4.5559> [in Ukrainian].
11. Morhuntsova, S. A., & Bielenichev, I. F. (2009). Antyoksydantna aktyvnist S-zamishchenykh khinazolinu v umovakh inhibuvannia superoksydradykala in vitro [Antioxidant activity of S-substituted quinazolines under conditions of superoxide radical inhibition in vitro]. *Visnyk: Seriya Khimiia, Biologiia, Farmatsiia*, (1), 143–152. [in Ukrainian].
12. *European Convention for the Protection of Vertebrate Animals Used for Experimental and Other Specific Purposes*, Strasbourg, Council of Europe, No. 123. (1986). <https://rm.coe.int/168007a67b>

Вперше надійшла до редакції 31.10.2025 р.
Рекомендована до друку на засіданні редакційної колегії після рецензування