

**В. Б. КУЛИК**

кандидат біологічних наук, доцент,  
доцент кафедри промислової фармації  
Київський національний університет технологій та дизайну,  
Інститут фізіології імені О. О. Богомольця  
Національної академії наук України  
ORCID: 0000-0003-2300-2431

**О. М. РОЇК**

кандидат фармацевтичних наук, доцент,  
доцент кафедри промислової фармації  
Київський національний університет технологій та дизайну  
ORCID: 0000-0002-5988-6577

**І. В. РЕСНИЦЬКИЙ**

кандидат технічних наук,  
асистент кафедри промислової фармації,  
Київський національний університет технологій та дизайну  
ORCID: 0000-0003-4376-0811

**Є. В. ЖУРАВЕЛЬ**

здобувач вищої освіти  
Київський національний університет технологій та дизайну  
ORCID: 0009-0006-9888-6744

## ДОСЛІДЖЕННЯ АКТИВНОСТІ ТА СТАБІЛЬНОСТІ ПРОТЕОЛІТИЧНИХ ЕНЗИМІВ КОСМЕТИЧНОЇ ПУДРИ У ПОРОШКОВІЙ ФОРМІ

У статті досліджено сумарну протеолітичну активність та стабільність протеаз у складі ензимної косметичної пудри у порошковій формі, призначеної для м'якого очищення шкіри. Обґрунтування складу пудри здійснювали з позицій забезпечення контрольованої ексфоліативної дії, мінімізації подразнювального потенціалу та підвищення стабільності ферментів у сухій матриці. Особливу увагу приділено вибору носія та допоміжних компонентів, здатних знижувати швидкість деградації протеаз під впливом вологи й температурних чинників.

Встановлено дозозалежне зростання сумарної протеолітичної активності з 960 до 1810 Од/г при збільшенні концентрації пудри у водній дисперсії від 1,0 до 2,0 %, що свідчить про можливість регулювання інтенсивності очищувальної дії шляхом зміни концентрації продукту під час застосування. Дослідження стабільності показали, що за нормальних умов зберігання протягом 6 місяців зберігалось понад 87 % початкової активності ферментів, що відповідає вимогам до стабільності сухих косметичних форм.

За прискорених умов зберігання (температура 40 °С та відносна вологість 75 %) рівень збереження активності становив 69,1–85,9 % залежно від типу ферменту та складу матриці, при цьому найвищу стабільність демонстрував актинідин. Показано, що композиції на основі рисової пудри характеризуються нижчими втратами протеолітичної активності порівняно з аналогічними зразками на основі каоліну, що свідчить про переваги органічних носіїв у стабілізації ензимів.

Отримані результати підтверджують перспективність ензимних косметичних пудр як ефективних, контрольованих та безпечних засобів очищення шкіри, придатних для використання у сучасних косметичних та фармацевтичних продуктах.

**Ключові слова:** ензимна косметична пудра, протеолітичні ферменти, папайн, бромелайн, актинідин, протеолітична активність, стабільність, порошкові системи.



V. B. KULYK

PhD in Biology, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Industrial Pharmacy  
Kyiv National University of Technology and Design,  
O. O. Bogomoletz Institute of Physiology  
of the National Academy of Sciences of Ukraine  
ORCID: 0000-0003-2300-2431

O. M. ROIK

PhD in Pharmacy, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Industrial Pharmacy  
Kyiv National University of Technology and Design  
ORCID: 0000-0002-5988-6577

I. V. RESNYTSKYI

Candidate of Technical Sciences,  
Assistant Professor at the Department of Industrial Pharmacy  
Kyiv National University of Technology and Design  
ORCID: 0000-0003-4376-0811

Ye. V. ZHURAVEL

Applicant for Higher Education  
Kyiv National University of Technology and Design  
ORCID: 0009-0006-9888-6744

## RESEARCH OF ACTIVITY AND STABILITY OF PROTEOLYTIC ENZYMES IN POWDERED COSMETIC POWDER

*The article investigates the total proteolytic activity and stability of proteases incorporated into an enzymatic cosmetic powder in dry form. The powder composition was substantiated from the standpoint of providing controlled cleansing and exfoliating effects while ensuring enzyme stabilization within a dry matrix. Particular attention was paid to the selection of carrier materials and auxiliary components capable of reducing enzymatic degradation under the influence of moisture and elevated temperature.*

*A dose-dependent increase in total proteolytic activity from 960 to 1810 U/g was observed when the concentration of the powder in aqueous dispersion increased from 1.0 to 2.0 %, indicating the possibility of regulating the intensity of the cleansing effect by varying the product concentration during application. Stability studies demonstrated that under normal storage conditions for 6 months, more than 87 % of the initial enzymatic activity was retained, meeting the stability requirements for dry cosmetic formulations.*

*Under accelerated storage conditions (40 °C and 75 % relative humidity), enzyme activity retention ranged from 69.1 % to 85.9 %, depending on the enzyme type and matrix composition, with actinidin exhibiting the highest stability. It was shown that formulations based on rice powder exhibited lower activity losses compared to kaolin-based compositions, indicating the advantages of organic carriers in enzyme stabilization.*

*The obtained results confirm the potential of enzymatic cosmetic powders as effective, controlled, and safe skin cleansing products suitable for modern cosmetic and cosmeceutical applications.*

**Key words:** *enzymatic cosmetic powder, proteolytic enzymes, papain, bromelain, actinidin, proteolytic activity, stability, powder systems.*

### Постановка проблеми

Зростання попиту на делікатні, але ефективні засоби очищення шкіри актуалізує пошук альтернатив механічним ексфоліантам та кислотним пілінгам, що можуть підвищувати ризик подразнення й порушення бар'єрних властивостей рогового шару [1, 2, 3]. Перспективним напрямом є застосування протеолітичних ензимів рослинного походження, здатних забезпечувати м'яке відлущення поверхневих шарів епідермісу за рахунок контрольованого гідролізу білкових структур [4].

Окремий інтерес становлять ензимні косметичні пудри, де активні компоненти знаходяться у сухій матриці й активуються при контакті з водою безпосередньо під час застосування. Такий формат відповідає сучасним тенденціям «waterless» косметики, сприяє підвищенню стабільності активів і зменшенню потреби в консервантах [3, 5, 6].

Водночас критичними параметрами якості ензимної пудри є рівень сумарної протеолітичної активності та збереження активності ензимів у процесі зберігання, зокрема за несприятливих температурних режимів.

### Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є дослідження сумарної протеолітичної активності ензимної косметичної пудри у водних дисперсіях різної концентрації та оцінка стабільності папаїну, бромелайну й актинідину у порошкових композиціях на різних носіях за нормальних і прискорених умов зберігання.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Об'єктом дослідження була ензимна косметична пудра, з наступним рецептурним складом: рисовий крохмаль – 30,0 %, вівсяний крохмаль – 15,0 %, мальтодекстрин – 10,0 %, трегалоза – 5,0 %, мікрокристалічна целюлоза – 8,0 %, колоїдна силіка – 4,0 %, папаїн – 1,2 %, бромелайн – 0,8 %, актинідин (стандартизований екстракт ківі) – 0,5 %, ніацинамід – 3,0 %, пантенол – 2,0 %, сухий екстракт зеленого чаю – 2,0 %, цитратна буферна система – 1,5 %, ароматизатор і допоміжні речовини – до 100,0 %. Склад сформовано так, щоб забезпечити: сорбційно-матуючі властивості порошку, сприятливе мікрооточення для білкових молекул, зниження ризику агрегації та формування рН водної суспензії близько 5,8, що є релевантним для шкіри та технологічно доцільним для активності обраних протеаз.

Ензимна система представлена ферментами, підібраними у співвідношенні, орієнтованому на м'який щоденний пілінг (1–3 хв) та більш виражений ефект при застосуванні як маски (до 10 хв) без надмірного ушкодження рогового шару.

Дослідження проводили на лабораторних зразках готової ензимної косметичної пудри. Для оцінки впливу типу носія на стабільність активності окремих протеаз використовували порошкові композиції, у яких ензими адсорбували на каоліні та рисовій пудрі, після чого зразки фасували у герметичні світлонепроникні контейнери. Сумарну протеолітичну активність визначали за гідролізом казеїну (казеїновий метод) з реєстрацією оптичної густини при 280 нм. Активність оцінювали у водних дисперсіях пудри концентрацією 1,0; 1,5; 2,0 %, щоб встановити дозозалежність активності готового продукту. Активність папаїну, бромелайну та актинідину визначали азоказеїновим методом із реєстрацією продуктів гідролізу при 405 нм, із застосуванням однакових умов аналізу для коректного порівняння між ферментами [2, 4]. Стабільність оцінювали протягом 1, 3 і 6 місяців зберігання готової пудри: нормальні умови (20–25 °С та відносна вологість 60 %); прискорені умови (40 °С, 75 % відповідно).

У кожній точці виконували 3 повторності (n=3), результати наведені як середнє ± похибка.

Результати казеїнового методу наведено в табл. 1. встановлено чітку дозозалежність: зі збільшенням концентрації пудри у водній суспензії від 1,0 до 2,0 % сумарна активність ензимів зростає майже вдвічі – з 960 до 1810 Од/г. Це свідчить про пропорційне вивільнення ферментів із порошкової матриці в умовах, що моделюють реальне застосування косметичного засобу, та відсутність інгібуючого впливу допоміжних компонентів рецептури [9].

Контрольний зразок без ферментів демонструє низьку активність  $80 \pm 4$  Од/г, що пояснюється фоновими ефектами матриці та можливим неферментативним гідролізом у умовах аналізу. Водночас активність дослідних зразків у 20–23 рази перевищує контроль, що однозначно підтверджує визначальний внесок ензимного комплексу.

Таблиця 1

### Сумарна протеолітична активність ензимної пудри (казеїновий метод)

Зразок	Концентрація пудри, %	Активність (Од/г)
Пудра (дослідна)	1,0	$960 \pm 10$ (n = 3)**
Пудра (дослідна)	1,5	$1370 \pm 15$ (n = 3)**
Пудра (дослідна)	2,0	$1810 \pm 18$ (n = 3)**
Контроль	2,0	$80 \pm 4$ (n = 3)**

Динаміка збереження активності ферментів за нормальних умов утримання порошкових композицій наведена у табл. 2. Через 6 місяців усі ензими демонструють високу стабільність, збереження активності перевищує 87 % у всіх випадках.

Таблиця 2

### Збереження ензиматичної активності протеаз у порошкових композиціях за нормальних умов зберігання.

Ензим	Носій	1 міс %	3 міс %	6 міс %
Папаїн	Каолін	$97.6 \pm 1.3^*$ (n = 3)	$93.8 \pm 1.6^*$ (n = 3)	$89.9 \pm 1.9^*$ (n = 3)
Папаїн	Рисова пудра	$98.4 \pm 1.1^*$ (n = 3)	$95.2 \pm 1.4^*$ (n = 3)	$91.8 \pm 1.6^*$ (n = 3)
Бромелайн	Каолін	$96.8 \pm 1.5^*$ (n = 3)	$92.1 \pm 1.8^*$ (n = 3)	$87.6 \pm 2.1^*$ (n = 3)
Бромелайн	Рисова пудра	$97.9 \pm 1.2^*$ (n = 3)	$94.0 \pm 1.5^*$ (n = 3)	$90.3 \pm 1.7^*$ (n = 3)
Актинідин	Каолін	$98.1 \pm 1.0^*$ (n = 3)	$95.6 \pm 1.3^*$ (n = 3)	$92.7 \pm 1.5^*$ (n = 3)
Актинідин	Рисова пудра	$98.9 \pm 0.9^*$ (n = 3)	$96.8 \pm 1.1^*$ (n = 3)	$94.5 \pm 1.3^*$ (n = 3)

Аналіз результатів дослідження вказує на те, що рисова пудра забезпечує більш сприятливий стабілізуючий ефект ензимів порівняно з каоліном, а найвищу стабільність демонструє актинідин у композиціях з рисовою пудрою [4,7].

За прискорених умов (табл.3.) спостерігається суттєвіше зниження активності досліджуваних ферментів, що пов'язано з прискоренням процесів часткової денатурації білкових молекул та зростанням гігроскопічності порошкових систем [4,7,9].

Таблиця 3

**Зміна ензиматичної активності папаїну, бромелайну та актинідину за прискорених умов зберігання ензимної пудри**

Ензим	Носій	1 міс %	3 міс %	6 міс %
Папаїн	Каолін	91.8 ± 1.9* (n = 3)	83.4 ± 2.3* (n = 3)	71.6 ± 2.8* (n = 3)
Папаїн	Рисова пудра	93.9 ± 1.6* (n = 3)	86.5 ± 2.0* (n = 3)	77.9 ± 2.4* (n = 3)
Бромелайн	Каолін	90.6 ± 2.1* (n = 3)	81.2 ± 2.6* (n = 3)	69.1 ± 3.0* (n = 3)
Бромелайн	Рисова пудра	92.7 ± 1.8* (n = 3)	84.7 ± 2.2* (n = 3)	75.4 ± 2.6* (n = 3)
Актинідин	Каолін	94.3 ± 1.5* (n = 3)	88.9 ± 1.9* (n = 3)	81.6 ± 2.2* (n = 3)
Актинідин	Рисова пудра	95.8 ± 1.3* (n = 3)	91.7 ± 1.7* (n = 3)	85.9 ± 2.0* (n = 3)

Отже, навіть за екстремальних умов актинідин зберігає понад 80 % активності, що вказує на його високу придатність для стабільних порошкових ензимних продуктів із «запасом» в несприятливих умовах зберігання.

Таблиця 4

**Порівняльна оцінка втрати активності ферментів ензимної пудри після 6 місяців зберігання залежно від типу носія**

Ензим	Носій	Нормальні умови %	Прискорені умови %
Папаїн	Каолін	10.1* (n = 3)	28.4* (n = 3)
Папаїн	Рисова пудра	8.2* (n = 3)	22.1* (n = 3)
Бромелайн	Каолін	12.4* (n = 3)	30.9* (n = 3)
Бромелайн	Рисова пудра	9.7* (n = 3)	24.6* (n = 3)
Актинідин	Каолін	7.3* (n = 3)	18.4* (n = 3)
Актинідин	Рисова пудра	5.5* (n = 3)	14.1* (n = 3)

Таким чином дані результати досліджень свідчать, що папаїн, бромелайн та актинідин у порошкових композиціях зберігають високий рівень ензиматичної активності протягом щонайменше 6 місяців за нормальних умов зберігання. Найбільш стабільним ферментом у всіх режимах виявився актинідин, особливо у поєднанні з рисовою пудрою як носієм. Сукупність експериментальних даних підтверджує доцільність застосування сухих порошкових форм для створення ензимних косметичних пудр з прогнозованим і достатньо тривалим терміном придатності.

#### Висновки

1. Експериментально підтверджено високу сумарну протеолітичну активність ензимної косметичної пудри та її дозозалежне зростання: при збільшенні концентрації пудри у водній дисперсії від 1,0 до 2,0 % активність зростає з 960 ± 10 до 1810 ± 18 Од/г, а активність дослідної пудри у 20–23 рази перевищує контроль.

2. За нормальних умов зберігання протягом 6 місяців папаїн, бромелайн та актинідин у порошкових композиціях зберігають високий рівень активності: мінімальне збереження становить 87,6 %, максимальне – 94,5 % (актинідин у рисовій пудрі).

3. За прискорених умов (40 °С, 75 %) зниження активності є інтенсивнішим; однак актинідин зберігає ≥81,6 % активності (каолін) та ≥ 85,9 % (рисова пудра) через 6 місяців, що підтверджує його найвищу стабільність у складі пудри.

#### Список використаної літератури

1. Baki, G., & Alexander, K. (2020). *Cosmetic Formulation: Principles and Practice*. Wiley.
2. Papakonstantinou, E., et al. (2021). Synergistic exfoliation systems. *Dermatology Reports*.
3. Kawai, M., et al. (2021). Clinical evaluation of protease-based exfoliants. *Journal of Cosmetic Dermatology*.
4. Nakamura, Y. (2020). Innovations in enzyme stabilization for cosmeceuticals. *Cosmetics*.
5. Gruber, J. V. (2020). Enzymatic modulation of epidermal turnover. *Journal of Cosmetic Science*.
6. Li, J., et al. (2021). Microencapsulation of enzymes for improved stability in cosmetic applications. *International Journal of Cosmetic Science*.

7. Wong, P., & Cheung, L. (2021). Stabilization strategies for proteolytic enzymes in dry formulations. *Journal of Cosmetic Science*.
8. Knackstedt, R., et al. (2022). Probiotics and enzymatic regulation in skin health. *Dermatology and Therapy*.
9. Trevisol, T. C., et al. (2022). In vitro effect on the proteolytic activity of papain with respect to cosmetic formulations. *International Journal of Cosmetic Science*.
10. Venetikiidou, M., et al. (2025). Proteolytic enzyme activities of bromelain, ficin and papain from fruit by-products. *Applied Sciences*.

#### References

1. Baki, G., & Alexander, K. (2020). *Cosmetic formulation: Principles and practice*. Wiley.
2. Papakonstantinou, E., et al. (2021). Synergistic exfoliation systems. *Dermatology Reports*, 13(1).
3. Kawai, M., et al. (2021). Clinical evaluation of protease-based exfoliants. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 20(4), 1234–1242.
4. Nakamura, Y. (2020). Innovations in enzyme stabilization for cosmeceuticals. *Cosmetics*, 7(3), 1–12.
5. Gruber, J. V. (2020). Enzymatic modulation of epidermal turnover. *Journal of Cosmetic Science*, 71(5), 295–304.
6. Li, J., et al. (2021). Microencapsulation of enzymes for improved stability in cosmetic applications. *International Journal of Cosmetic Science*, 43(2), 185–194.
7. Wong, P., & Cheung, L. (2021). Stabilization strategies for proteolytic enzymes in dry formulations. *Journal of Cosmetic Science*, 72(3), 161–170.
8. Knackstedt, R., et al. (2022). Probiotics and enzymatic regulation in skin health. *Dermatology and Therapy*, 12(1), 1–15.
9. Trevisol, T. C., et al. (2022). In vitro effect on the proteolytic activity of papain with respect to cosmetic formulations. *International Journal of Cosmetic Science*, 44(4), 403–412.
10. Venetikiidou, M., et al. (2025). Proteolytic enzyme activities of bromelain, ficin and papain from fruit by-products. *Applied Sciences*, 15(2), 1–14.

Дата першого надходження статті до видання: 13.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 17.02.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.04.2026