



DOI: <https://doi.org/10.11603/2312-0967.2026.3.16615>

УДК 615.322:633.853.494

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МІНЕРАЛЬНОГО СКЛАДУ НАСІННЯ ТА ШРОТУ РІЗНИХ СОРТІВ РІПАКУ (*BRASSICA NAPUS* L.)

В. І. Печенюк, А. Р. Грицик

Івано-Франківський національний медичний університет

grycyuk@ukr.net

ІНФОРМАЦІЯ

Дата першого надходження
рукопису до видання / Received:
31.07.2026

Дата прийняття статті до друку
після рецензування / Accepted:
22.09.2026

Дата публікації статті / Published:
16.10.2026



Стаття поширюється на умовах
ліцензії відкритого доступу
(CC BY 4.0)

Ключові слова:

ріпак,
насіння,
шрот,
макроелементи,
мікроелементи,
АЕСА,
мінеральний склад,
ультрамикроелементи.

АНОТАЦІЯ

Вступ. Мінеральний склад насіння та шроту ріпаку (*Brassica napus* L.) визначає їхню кормову, харчову і потенційну фармацевтичну цінність, проте сортова та міжрічна варіабельність макро- і мікроелементного складу, а також вплив технології переробки насіння у шрот вивчені не досить.

Матеріали і методи. Досліджено насіння та шрот 6 сортів ріпаку (Смарагд, Галицький, Черемош, Света, Тисменицький, Дарунок) урожаю 2023–2024 рр. Вміст макро- (K, Ca, Mg, P, Na), мікро- та ультрамікроелементів (Fe, Si, Al, Mn, Pb, Ni, Mo, Cu, Zn, Sr) визначали методом атомно-емісійної спектроскопії (АЕСА) на спектрографі ДФС-8 з генератором ИВС-28. Також розраховували коефіцієнт переходу елементів з насіння у шрот.

Результати й обговорення. Серед макроелементів найвищий вміст у насінні всіх сортів мали K (1050–1560 мг/100 г), Ca (260–440 мг/100 г), Mg (155–220 мг/100 г) та P (170–440 мг/100 г). Для більшості макро- і мікроелементів $K_n > 1$, що свідчить про їх концентрування у шроті внаслідок видалення олії; виняток становив Zn, для якого у врожаї 2023 р. спостерігалось зниження вмісту у шроті ($K_n = 0,76$), тоді як у 2024 р. – найбільше зростання серед усіх елементів ($K_n = 3,96$). Вміст Pb у всіх зразках був нижчим від межі виявлення методу. Отримані результати характеризують мінеральний склад насіння ріпаку та продуктів його переробки й можуть бути використані для подальшого оцінювання їхньої харчової та фармацевтичної цінності.

Висновки. Мінеральний склад насіння і шроту ріпаку залежить від сорту та умов вегетаційного сезону, а технологічна переробка насіння у шрот сприяє концентруванню більшості визначених елементів. Отримані результати характеризують особливості мінерального складу насіння і шроту ріпаку та можуть бути використані для подальшого оцінювання їхньої харчової, нутрицевтичної та фармацевтичної цінності.

Вступ. Ріпак (*Brassica (B.) napus* L.) є однією з найбільш економічно значущих олійних культур у світі та в Україні, які використовують для виробництва харчових олій, технічних продуктів та високобілкових кормових шротів. Насіння ріпаку містить 40–50% олії та 20–33% білка, що визначає його енергетичну й поживну цінність [1–4].

Крім органічних компонентів (олія, білок, клітковина), важливу роль у біологічній та кормовій цінності насіння й шроту ріпаку відіграють мінеральні елементи. Макроелементи (K, Ca, Mg, P, Na) забезпечують фундаментальні фізіологічні процеси, а мікроелементи (Fe, Zn, Cu, Mn, Mo та ін.) є необхідними каталізаторами ферментативних реакцій та

впливають на продуктивність культури та якість продукції [4–7].

Вміст мінеральних елементів у насінні ріпаку залежить від генетичних факторів (сорт), умов вирощування (тип ґрунту, система живлення) та технології післязбиральної обробки. Шрот, як продукт механічного віджиму олії, концентрує частину мінеральних компонентів, що підвищує його нутрицевтичну та фармацевтичну цінність, проте потребує контролю через можливе накопичення небажаних елементів (Pb, Cd, As, Hg) [6; 8].

Сучасні аналітичні методи, зокрема атомно-емісійна спектроскопія (АЕСА), дають змогу одночасно визначати широкий спектр елементів у невеликих кількостях матеріалу з високою точністю, що робить її придатною для комплексної оцінки мінерального складу насіння й шроту різних сортів ріпаку.

Актуальність дослідження мінерального складу ріпаку суттєво зростає у зв'язку з перспективами використання цієї культури не лише як кормової і харчової, а й як фармацевтичної сировини. Насіння ріпаку (*B. napus* L.) містить поліненасичені й мононе-нашені жирні кислоти, каротиноїди, фітостероли, флавоноїди, вітаміни та глюкозинолати, а екстракти з нього виявляють протизапальну, антиоксидантну, протівірусну, гіпоглікемічну та протипухлинну активність за даними доклінічних досліджень [9; 10]. Гідролізати з ріпаку демонструють виражену антиоксидантну й протизапальну активність, що робить їх перспективними компонентами косметичних і дерматологічних засобів, а корені ріпаку традиційно застосовують як сечогінний, протиподагричний, протизапальний і протицинготний засіб у народній медицині [10; 11]. Водночас шрот ріпаку як кормовий продукт містить так звані «антипоживні речовини» – насамперед глюкозинолати та фітинову кислоту, які без попередньої обробки обмежують його використання [12–15]. Це обґрунтовує необхідність комплексного контролю продукції ріпаку, в тому числі і мінерального складу, в оцінці її фармацевтичної, харчової та кормової безпеки.

Метою дослідження є визначення рівня накопичення макро-, мікро- та ультрамікроелементів у насінні різних сортів ріпаку та встановлення коефіцієнтів їх переходу у шрот.

Об'єкти і методи дослідження. Для дослідження використовували насіння 6 сортів ріпаку (Смарагд, Галицький, Черемош, Света, Тисменицький, Дарунок), заготовлених у 2023–2024 рр. спільно із Прикарпатським ДСГДС ІСГ Карпатського регіону НААН, а також відповідні шроти. Сорти відібрано з різними показниками олійності та білковості, що дозволяє оцінити сортову варіацію мінерального складу.

Насіння було зібрано у повну технічну стиглість, очищено та підготовлено до аналізу. Шрот отримано шляхом механічного віджиму олії з насіння відповідних сортів на лабораторному віджимному пристрої.

Встановлення елементного складу у досліджуваних зразках здійснювали методом АЕСА за допомогою спектрографа ДФС-8 та генератора ІВС-28. Спектри реєстрували на фотопластинці ПФС-02.

Градувальні зразки з добавками елементів $1\text{--}1\cdot 10^{-3}$ мас. % готували шляхом ретельного перемішування основи та оксидів визначених елементів. Використовували спектральні графітові електроди «ОСЧ» 7-3 (діаметр 6 мм, довжина 50–60 мм). Градувальні зразки і підготовлені проби поміщали в кратери нижніх електродів (глибина 4 мм, діаметр 4,5 мм), верхній електрод порожній (глибина 5 мм, діаметр 1,9 мм). Використовували такі параметри вимірювання: сила струму дуги змінного струму – 16 А, фаза підпалу – 60°C, частота запалювальних імпульсів – 100 розрядів за секунду, аналітичний проміжок – 2 мм, ширина щілини – 0,015 мм, експозиція – 60 с. Спектри фотографували в діапазоні 240–350 нм. Фотопластинку проявляли, сушили і фотометрували. За одержаними результатами будували графік [16].

Для оцінки ступеня концентрування фізіологічно значущих макро- і мікроелементів у процесі переробки насіння та обґрунтування перспективності використання шроту як потенційної сировини для отримання мінерально збагачених екстрактів, дієтичних добавок чи допоміжних лікарських засобів у фармацевтичній практиці розраховували коефіцієнт переходу за формулою

$$K_{\Pi} = \frac{C_{\text{шрот}}}{C_{\text{насіння}}},$$

де: $C_{\text{шрот}}$ – кількісний вміст елемента у шроті, $C_{\text{насіння}}$ – кількісний вміст елемента у насінні.

При $K_{\Pi} > 1$ елемент концентрується у шроті; $K_{\Pi} = 1$ – концентрація елемента не змінюється; $K_{\Pi} < 1$ – вміст елемента у шроті зменшується порівняно з насінням [17].

Результати дослідження та їх обговорення. За результатами дослідження у зразках насіння та шроту 6 сортів ріпаку врожаю 2023–2024 рр. визначено 5 макроелементів (K, Ca, Mg, P, Na), 10 мікроелементів (Si, Sr, Mn, Fe, Zn, Cu, Al, Mo, Pb, Cd) і ультрамікроелементи (Ni, Co, As, Hg) (табл. 1). Вміст Pb в усіх зразках був нижче межі виявлення методу ($<0,03$ мг/100г).

Вміст $\text{Co} < 0,03$; $\text{Cd} < 0,01$; $\text{As} < 0,01$; $\text{Hg} < 0,01$ не перевищував дозволу норму, що свідчить про відсутність забруднення сировини цим токсичним елементом. У табл. 2 наведено результати розрахунків коефіцієнтів переходу елементів із насіння у шрот.

Макроелементи. K, Ca, Mg, Na і P виконують ключові фізіологічні функції в організмі людини і тварин: вони є критично важливими для метаболізму кісткової тканини, підтримання водно-сольового та кислотно-лужного балансу, гомеостазу, а також метаболічної й нервово-м'язової активності [18–20]. Магній є кофактором понад 300 ферментативних реакцій, бере участь в енергетичному обміні, синтезі білка й ДНК, а також у передачі нервових імпульсів і функціонуванні кальцієвих іонних каналів [21]. Кальцій, фосфор і магній необхідні для нормальної мінералізації кісткової тканини, а їх дефіцит асоціюється з остеопорозом та серцево-судинними порушеннями [18; 20].

Таблиця 1

Вміст макро- і мікроелементів у сировині та шроті різних сортів ріпаку 2023–2024 рр. заготівлі

№ зразка	Зразок	Вміст елементу, мг/100г															
		Макроелементи					Мікроелементи										Ультра- мікроеле- мент
		K	Ca	P	Mg	Na	Si	Sr	Mn	Fe	Zn	Cu	Al	Mo	Pb	Ni	
Насіння 2023 р.																	
1	Сорт Смарагд	1410	425	240	200	23,5	9,4	9,4	8,2	3,3	0,94	0,35	0,12	0,033	<0,03	0,19	
2	Сорт Галицький	1440	410	410	190	19,2	4,8	7,2	6,0	4,3	0,72	0,43	0,41	0,048	<0,03	0,34	
3	Сорт Черемош	1080	325	185	160	9,0	18,0	4,3	7,2	2,7	0,36	0,36	0,25	<0,03	<0,03	0,43	
4	Сорт Света	1560	440	440	220	31,2	20,8	6,7	6,5	4,1	0,52	0,31	0,44	0,041	<0,03	0,23	
5	Сорт Тисменицький	1380	415	315	210	27,6	9,2	5,5	6,4	4,6	0,69	0,41	0,30	0,046	<0,03	0,23	
6	Сорт Дарунок	1535	430	325	215	28,8	4,8	5,7	6,0	4,3	0,48	0,38	0,33	0,055	<0,03	0,18	
Шрот 2023 р.																	
1	Сорт Смарагд	1985	435	420	279	37,2	15,5	18,6	10,8	12,4	0,5	0,46	0,50	0,074	<0,03	0,26	
2	Сорт Галицький	1980	460	360	264	264	13,2	9,9	8,2	9,9	0,33	0,53	0,23	0,053	<0,03	0,20	
3	Сорт Черемош	1890	275	365	256	18,3	10,4	5,5	9,1	6,1	0,43	0,67	0,12	0,061	<0,03	0,30	
4	Сорт Света	2140	550	330	290	55,2	34,5	17,2	9,7	10,3	0,55	0,86	0,62	0,100	<0,03	0,45	
5	Сорт Тисменицький	1980	460	340	284	33,0	9,9	7,9	7,9	8,6	0,43	0,59	0,46	0,059	<0,03	0,23	
6	Сорт Дарунок	2110	530	395	297	36,3	26,4	17,1	8,6	7,9	0,33	0,66	0,46	0,066	<0,03	0,30	
Насіння 2024 р.																	
1	Сорт Смарагд	1110	260	190	165	14,8	16,6	6,7	3,7	7,4	0,30	0,24	0,44	<0,03	<0,03	0,13	
2	Сорт Галицький	1170	310	200	155	19,5	9,7	7,8	2,9	7,0	0,39	0,35	0,19	0,039	<0,03	0,19	
3	Сорт Черемош	1050	280	170	160	21,0	21,0	4,2	4,4	6,3	0,35	0,38	0,63	0,035	<0,03	0,30	
4	Сорт Света	1185	280	200	165	22,0	22,2	11,1	55	8,1	0,30	0,41	0,55	0,033	<0,03	0,20	
5	Сорт Тисменицький	1365	310	225	175	22,0	13,2	3,9	4,4	8,8	0,40	0,40	0,20	0,052	<0,03	0,31	
6	Сорт Дарунок	1250	290	200	164	23,4	23,4	5,8	3,5	7,0	0,39	0,43	0,39	0,078	<0,03	0,13	
Шрот 2024 р.																	
1	Сорт Смарагд	1650	400	485	256	16,0	28,5	14,2	5,7	21,6	1,4	0,45	1,25	0,040	<0,03	0,40	
2	Сорт Галицький	1740	465	495	260	14,5	23,2	17,4	11,6	17,4	1,7	0,49	0,58	0,070	<0,03	0,58	
3	Сорт Черемош	1825	440	430	283	12,6	3,1	16,3	9,4	12,6	1,4	0,50	0,63	0,050	<0,03	0,44	
4	Сорт Света	1710	455	290	256	17,1	42,7	11,4	8,0	14,2	1,1	0,43	2,00	0,034	<0,03	0,28	
5	Сорт Тисменицький	2030	480	595	315	24,5	17,5	8,4	14,0	21,0	1,4	0,63	1,00	0,07	<0,03	0,70	
6	Сорт Дарунок	1710	455	390	256	22,8	17,1	14,2	8,5	17,1	1,4	0,48	1,00	0,08	<0,03	0,45	

Примітка: Co<0,01; Cd<0,01; As<0,01; Hg<0,01

Найбільший вміст серед макроелементів у насінні всіх сортів і обох років виявлено для K (1050–1560 мг/100г), Ca (260–440 мг/100г), Mg (155–220 мг/100г) та P (170–440 мг/100г), тоді як вміст Na залишався істотно нижчим (9–31 мг/100г у насінні). Це узгоджується із загальними даними для олійних культур, де K є основним катіоном клітинного соку, а Ca, Mg і P – структурними та енергетичними компонентами клітин [20; 22; 23].

Найвищий вміст K у насінні 2023 р. зафіксовано у сорту Света (1560 мг/100г), найнижчий – у сорту Черемош (1080 мг/100г); у 2024 р. тенденція подібна (Тисменицький і Света – найвищі значення, Черемош – найнижчий). У шроті вміст K зростає у середньому на 45% (2023 р.) та 50% (2024 р.) порівняно з насінням ($K_n = 1,45\text{--}1,50$), що пояснюється видаленням олії та відповідним відносним концентруванням мінеральної фракції.

Вміст Ca у насінні варіював у межах 260–440 мг/100г залежно від сорту і року; у шроті – зростає у середньому на 10–56% ($K_n = 1,10$ у 2023 р.

і 1,56 у 2024 р.), причому найбільше зростання спостерігали у сортів Света та Дарунок.

Mg і P – ключові компоненти енергетичних процесів і структурні елементи клітин. Вміст Mg у насінні становив 155–220 мг/100 г, у шроті – 256–315 мг/100 г ($K_n = 1,41\text{--}1,65$). Вміст P у насінні коливався від 170 до 440 мг/100 г; у шроті P концентрувався найсильніше серед макроелементів у 2024 р. ($K_n = 2,27$), тоді як у 2023 р. приріст був помірнішим ($K_n = 1,27$).

Вміст Na у насінні був відносно низьким і стабільним (9–31 мг/100 г), що типово для ріпаку, який не є галофітом. У шроті 2023 р. коефіцієнт переходу Na у середньому становив 3,6. У 2024 р. вміст Na у шроті, навпаки, дещо знижувався стосовно насіння ($K_n = 0,88$).

Мікро- та ультрамікроелементи. Серед мікроелементів залізо, цинк, мідь, марганець і молібден належать до незамінних мікронутрієнтів, що відіграють центральну роль у клітинному гомеостазі, метаболічних шляхах, імунній регуляції та ферментативному каталізі [24]. Цинк і мідь є компонентами

Таблиця 2

Коефіцієнти переходу елементів із сировини у шрот

№ зразка	Коефіцієнт переходу елементів													
	Макроелементи					Мікроелементи								Ультра-мікроелемент
	K	Ca	P	Mg	Na	Si	Sr	Mn	Fe	Zn	Cu	Al	Mo	Ni
2023														
1	1,41	1,02	1,75	1,40	1,58	1,65	1,98	1,32	3,76	0,53	1,31	4,17	2,24	1,37
2	1,38	1,12	0,88	1,39	13,75	2,75	1,38	1,37	2,30	0,46	1,23	0,56	1,10	0,59
3	1,75	0,85	1,97	1,60	2,03	0,58	1,28	1,26	2,26	1,19	1,86	0,48	0,00	0,70
4	1,37	1,25	0,75	1,32	1,77	1,66	2,57	1,49	2,51	1,06	2,77	1,41	2,44	1,96
5	1,43	1,11	1,08	1,35	1,20	1,08	1,44	1,23	1,87	0,62	1,44	1,53	1,28	1,00
6	1,37	1,23	1,22	1,38	1,26	5,50	3,00	1,43	1,84	0,69	1,74	1,39	1,20	1,67
2024														
1	1,49	1,54	2,55	1,55	1,08	1,72	2,12	1,54	2,92	4,67	1,88	2,84	0,00	3,08
2	1,49	1,50	2,48	1,68	0,74	2,39	2,23	4,00	2,49	4,36	1,40	3,05	1,79	3,05
3	1,74	1,57	2,53	1,77	0,60	0,15	3,88	2,14	2,00	4,00	1,32	1,00	1,43	1,47
4	1,44	1,63	1,45	1,55	0,78	1,92	1,03	0,15	1,75	3,67	1,05	3,64	1,03	1,40
5	1,49	1,55	2,64	1,80	1,11	1,33	2,15	3,18	2,39	3,50	1,58	5,00	1,35	2,26
6	1,37	1,57	1,95	1,56	0,97	0,73	2,45	2,43	2,44	3,59	1,12	2,56	1,03	3,46

супероксиддисмутази – ключового антиоксидантного ферменту, задіяного в регуляції запальних і аутоімунних процесів [25].

Стронцій, визначений у дослідженні як мікроелемент, відомий насамперед своєю спорідненістю до кісткової тканини: за помірних концентрацій він стимулює засвоєння кальцію кістками, а деякі його сполуки застосовуються як протиостеопорозні препарати [26; 27]. Кремній розглядається як умовно есенціальний мікроелемент з можливим впливом на метаболічні процеси, кістковий обмін і мікробіом кишечника, хоча остаточно його есенціальність для людини ще не встановлена [27]. Нікель у малих кількостях визнається есенціальним елементом для росту рослин, тварин і мікроорганізмів ґрунту, проте його надлишок токсичний для живих організмів [28].

Вміст Fe у насінні становив 2,7–8,8 мг/100 г і зростав у шроті майже вдвічі-вдвічі з половиною ($K_n = 2,42$ у 2023 р. і 2,33 у 2024 р.), що позитивно впливає на кормову цінність шроту, оскільки Fe є важливим елементом раціону тварин. Подібну тенденцію демонстрував Si ($K_n = 2,20$ і 1,37) та Sr ($K_n = 1,94$ і 2,31).

Mn і Cu як каталізатори окисно-відновних процесів були представлені у насінні в межах 2,9–8,2 мг/100 г (Mn) і 0,24–0,43 мг/100 г (Cu). У шроті вміст Mn зростав у 2024 р. значно сильніше ($K_n = 2,46$), ніж у 2023 р. ($K_n = 1,35$); Cu зростав помірно в обидва роки ($K_n = 1,39$ –1,73).

Zn виявив нетипову для інших елементів динаміку: у врожаї 2023 р. вміст Zn у шроті у середньому був нижчим, ніж у насінні ($K_n = 0,76$, тобто зниження до ~24%), тоді як у врожаї 2024 р. спостерігали найбільше серед усіх елементів зростання – майже вчетверо ($K_n = 3,96$). Така різнонаправлена динаміка

між роками свідчить, що концентрування Zn у шроті значною мірою залежить не лише від технології віджиму, а й від умов вегетаційного сезону і потребує додаткової перевірки на більшій вибірці.

Al і Ni демонстрували найвищі коефіцієнти переходу серед мікроелементів у 2024 р. ($K_n = 3,02$ і 2,45 відповідно), тоді як у 2023 р. їх зростання було помірно ($K_n = 1,59$ і 1,21). Мо зростав у шроті незначно ($K_n = 1,3$ –1,7) і у жодному зі зразків не наближався до токсичних рівнів.

Загалом сорти Смарагд, Тисменицький і Свєта частіше показували підвищений вміст макроелементів (K, Ca, P) у насінні, тоді як Черемош здебільшого мав найнижчі значення. Вміст майже всіх елементів у насінні врожаю 2024 р. був нижчим, ніж у 2023 р. (наприклад, середній вміст P: 319 мг/100 г у 2023 р. проти 198 мг/100 г у 2024 р.; середній вміст K: 1401 проти 1188 мг/100 г), що може вказувати на вплив погодних умов вегетаційного сезону або особливостей ґрунтового живлення в різні роки, а не лише на сортову специфіку.

Технологія обробки (перетворення насіння у шрот) в обидва роки призводила до концентрування більшості макро- і мікроелементів, що підвищує цінність шроту. Разом із тим міжрічна варіабельність коефіцієнтів переходу (особливо для Zn, Na, Al, P) свідчить, що ефект концентрування є не суто технологічним, а модулюється сортовими та погодно-агротехнічними факторами, що варто врахувати у плануванні подальших досліджень.

Розрахунок коефіцієнтів переходу та збагачення дозволяє кількісно оцінити вплив технології обробки на мінеральний склад продукції та може бути використаним для оптимізації процесів віджиму олії та формування нутрицевтичних добавок.

Висновки. 1. Методом АЕСА у насінні та шроті 6 сортів ріпаку (Смарагд, Галицький, Черемош, Света, Тисменицький, Дарунок) урожаю 2023–2024 рр. визначено 5 макро- (K, Ca, Mg, P, Na) та 9 мікро- і ультрамікроелементів (Fe, Si, Al, Mn, Mo, Cu, Zn, Sr, Ni); вміст Pb в усіх зразках був нижче межі виявлення методу.

2. Найбільший вміст у насінні всіх сортів виявлено для K, Ca, Mg і P; вміст досліджених елементів варіює залежно від сорту і року вирощування, причому міжрічна варіабельність (наприклад, зниження середнього вмісту K і P у насінні врожаю 2024 р. порівняно з 2023 р.) виявилась суттєвішою за суто сортові відмінності.

3. Для більшості макро- і мікроелементів коефіцієнт переходу у шрот перевищує 1, що свідчить про їх концентрування у шроті внаслідок видалення олії; виняток становить Zn, коефіцієнт переходу якого суттєво різнився між роками (0,76 у 2023 р. проти 3,96 у 2024 р.), що вказує на залежність цього ефекту від умов вегетаційного сезону, а не лише від технології обробки.

4. Визначені макро- і мікроелементи відіграють доведену фізіологічну роль в організмі людини і тварин (кістковий метаболізм, ферментативний каталіз, антиоксидантний захист), а насіння й продукти переробки ріпаку мають доведений потенціал застосування у фармації, харчовій та кормовій промисловості за умови контролю вмісту антипоживних і потенційно токсичних речовин.

5. Отримані дані можуть бути використані для оцінки кормової та харчової цінності ріпакової продукції, оптимізації технології переробки насіння та контролю безпечності шроту.

Обмеження дослідження: обмежена вибірка (6 сортів, 2 роки, один регіон), відсутність зазначених повторностей вимірювань, використання лише одного аналітичного методу (АЕСА) без перехресної перевірки, відсутність прямого визначення глюкозинолатів/фтітинової кислоти/токсичних елементів (Cd, As, Hg), відсутність супутніх ґрунтово-кліматичних даних, а також те, що фармацевтичний потенціал обговорено на основі літератури, а не власних біологічних випробувань.

Перспективи подальших досліджень. Подальші дослідження доцільно спрямувати на поглиблене вивчення токсико-фармакологічних властивостей сировини та продуктів переробки

ріпаку, стандартизацію методів виділення біологічно активних сполук. Перспективним є створення нових фітопрепаратів, нутрицевтиків і систем доставки лікарських засобів на основі ріпакової сировини; оцінка засвоюваності Ca, Mg, Fe, Zn, Sr із ріпакової сировини для обґрунтування дієтичних добавок і допоміжних лікарських засобів, а також добір сортів зі стабільно високим вмістом цінних елементів для фармвиробництва; визначення глюкозинолатів, фтітинової кислоти та токсичних елементів відповідно до фармакопейних вимог, розробка методів детоксикації екстрактів і методик контролю якості для виробництва лікарських і косметичних засобів.

Інформація про фінансування. Дослідження виконано без залучення зовнішнього фінансування за рахунок власних ресурсів авторів.

Інформація щодо конфлікту інтересів. Конфлікт інтересів відсутній.

Внесок кожного з авторів. Усі автори зробили рівноцінний внесок у підготовку роботи.

Використання штучного інтелекту. У процесі підготовки статті застосовувалися інструменти штучного інтелекту для лінгвістичного редагування та технічного оформлення. Відповідальність за зміст роботи, точність поданих даних і наукову достовірність матеріалу повністю несуть автори.

Первинні дані та матеріали. Первинні дані атомно-емісійного спектрального аналізу, а також зразки насіння і шроту досліджених сортів ріпаку зберігаються у авторів статті. Насіннєвий матеріал сортів Смарагд, Галицький, Черемош, Света, Тисменицький, Дарунок був наданий Прикарпатською державною сільськогосподарською дослідною станцією Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН і використаний за згодою цієї установи. Узагальнені результати вимірювань (вміст елементів, розраховані коефіцієнти переходу) наведено повністю у таблицях 1–2 цієї статті.

Подяка. Автори висловлюють щире подяку співробітникам Прикарпатської державної сільськогосподарської дослідної станції Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН за надання насіннєвого матеріалу досліджених сортів ріпаку та консультативну допомогу у підготовці зразків до аналізу. Автори також дякують за можливість проведення атомно-емісійного спектрального аналізу співробітникам Інституту монокристалів НАН України.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE MINERAL COMPOSITION OF SEEDS AND MEAL OF DIFFERENT RAPESEED VARIETIES (*BRASSICA NAPUS* L.)

V. I. Pecheniuk, A. R. Grytsyk

Ivano-Frankivsk National Medical University

grytsyk@ukr.net

The study aimed to determine the accumulation levels of macro-, micro-, and ultra-trace elements in different rapeseed cultivars' seeds, and to establish the transfer coefficients of these elements into the meal.

Materials and methods. The seeds and meal of six rapeseed cultivars (Smaragd, Halytskyi, Cheremosh, Svieta, Tysmenytskyi and Darunok), which were harvested in 2023–2024, were investigated. The content of macroelements (K, Ca, Mg, P, Na) and micro- and ultra-trace elements (Fe, Si, Al, Mn, Pb, Ni, Mo, Cu, Zn, Sr, etc.) was determined by atomic emission spectrometry (AES). The transfer coefficient of elements into the meal was also calculated in order to assess the degree of concentration of physiologically significant macro- and microelements during seed processing. This would allow the prospects of using the meal as a potential raw material for obtaining mineral-enriched extracts, dietary supplements, or auxiliary pharmaceutical agents to be ascertained.

Results and discussion. The highest concentrations of the elements were found in the seeds of all cultivars for K (1050–1560 mg/100 g), Ca (260–440 mg/100 g), Mg (155–220 mg/100 g), and P (170–440 mg/100 g). For the majority of macro- and microelements, the transfer coefficient (K_t) exceeded 1, indicating their concentration in the meal as a result of oil removal. However, Zn was the exception, as evidenced by a decrease in meal content in the 2023 harvest ($K_t = 0.76$), and a marked increase in content in 2024 ($K_t = 3.96$). The Pb content in all samples was found to be below the method's detection limit. The results obtained in this study characterise the mineral composition of rapeseed and its processed products. This provides a foundation for the subsequent evaluation of their nutritional and pharmaceutical value.

Conclusions. The mineral composition of rapeseed and its meal is contingent on the cultivar and the environmental conditions of the growing season. However, the technological processing of seeds into meal facilitates the concentration of most determined elements. These findings elucidate the mineral profile of rapeseed and its meal, and can be utilised for the further assessment of their nutritional, nutraceutical, and pharmaceutical potential.

Keywords: rapeseed, seeds, meal, macroelements, microelements, AES, mineral composition, ultra-trace elements

References

1. Tsytsiura YH, Tomchuk OS. Oil content in winter rapeseed seeds depending on the applied microelements in foliar fertilization [in Ukrainian]. *Sil'ske Hospodarstvo ta Lisivnytstvo*. 2023;2(29):5–17. doi: 10.37128/2707-5826-2023-2-1.
2. Pivovarov OA, Kovalova OS, Koshulko VS. Innovative methods for determining grain quality parameters [textbook, in Ukrainian]. Dnipro: DDAEU; 2023. 325 p.
3. Zaika YeV, Drozd OM, Kondratiuk VV, Pyvovar TM. Recommendations for seed production of new winter and spring rapeseed cultivars bred by the NSC "Institute of Agriculture of NAAS" [in Ukrainian]. Vinnytsia: TVORY LLC; 2020. 28 p.
4. Petraru A, Amariei S. Rapeseed – an important oleaginous plant in the oil industry and the resulting meal a valuable source of bioactive compounds. *Plants* (Basel). 2024;13(21):3085. doi: 10.3390/plants13213085.
5. Rudnyk-Ivashchenko OI, Shovhun OO, Ivanytska AP, et al. Biochemical properties of new rapeseed cultivars [in Ukrainian]. *Sortovyvchennia ta Okhorona Prav na Sorty Roslyn*. 2014;4(25):29–33.
6. Siryk AA. Use of standardized methods for rapeseed evaluation [in Ukrainian]. *Studentskyi Naukovyi Visnyk MNAU*. 2020;2(15):186–191.
7. Odnorob TYu. Winter rapeseed productivity depending on cultivar characteristics and cultivation technology at Ahrozem LLC, Shostka district, Sumy region [in Ukrainian]. In: *Proceedings of the All-Ukrainian Scientific Conference of Students and Postgraduates Dedicated to International Students' Day*; 2023 Nov 13–17; p. 521.
8. Kowaluk A, Szydłowska-Czeriak A. Comparative analysis of macro- and microelements and heavy metals in by-products of the vegetable oil industry. *Monatsh Chem*. 2026. doi:10.1007/s00706-026-03490-1.
9. Pecheniuk VI, Hrytsyk AR, Danyliv SI. Brassica napus L. as a source of bioactive substances for medical and pharmaceutical purposes [in Ukrainian]. *Farmatsevtichnyi Chasopys*. 2026;2:114–125. doi: 10.11603/2312-0967.2026.2.16368.
10. Sarsenova L, Issayeva R. Extraction, isolation of bioactive compounds and therapeutic potential of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Molecules*. 2022;27(24):8824. doi: 10.3390/molecules27248824.
11. Saeidnia S, Gohari AR. Importance of Brassica napus as a medicinal food plant. *J Med Plants Res*. 2012;6(14):2700–2703. doi: 10.5897/JMPR11.1103.
12. Gołębiewska K, et al. Rapeseed meal as a feed component in monogastric animal nutrition – a review. *Ann Anim Sci*. 2022;22(4):1163–1183. doi: 10.2478/aoas-2022-0020.
13. Bell JM. Nutrients and toxicants in rapeseed meal: a review. *J Anim Sci*. 1984;58(4):996–1010. doi: 10.2527/jas1984.584996x.
14. Yang Z, Huang Z, Cao L. Biotransformation technology and high-value application of rapeseed meal: a review. *Bioresour Bioprocess*. 2022;9(1):103. doi: 10.1186/s40643-022-00586-4.
15. Sarwar R, Song Y, Zhang Y, Tan X, Liang Y. Rapeseed meal as a sustainable source of proteins, peptides, and phenolics: composition, interactions, and functional potential. *Foods*. 2026;15(11):1930. doi: 10.3390/foods15111930.
16. Tuzin LM, Hrytsyk AR. Study of the mineral composition of raw materials of *Anemone* L. species [in Ukrainian]. *Art of Medicine*. 2025;33(1):87–93. doi: 10.21802/artm.2025.1.33.87.

17. Korsun SH, Dovbash NI. Transformations in the maize agrocenosis under the influence of heavy metals: monograph [in Ukrainian]. Kyiv: Ahrarna Nauka; 2018. 192 p.
18. Yadav S, Yadav J, Kumar S, Singh P. Metabolism of macro-elements (calcium, magnesium, sodium, potassium, chloride and phosphorus) and associated disorders. In: Clinical Applications of Biomolecules in Disease Diagnosis. Singapore: Springer; 2024, p. 177–203. doi: 10.1007/978-981-97-4723-8_8.
19. Farag MA, Abib B, Qin Z, Ze X, Ali SE. Dietary macro-minerals: updated review of their role and orchestration in human nutrition throughout the life cycle with sex differences. *Curr Res Food Sci.* 2023;6:100450. doi: 10.1016/j.crfs.2023.100450.
20. Binesh A, Venkatachalam K, Ranjan A, Joy S, Prasannan A. Major minerals (Na, K, Ca, Mg, P) in physiological function and disease. In: Dhalla NS, Tappia PS, Shah AK, editors. *Functional Biochemistry of Metallic Elements.* Adv Biochem Health Dis. 2026;36:355–382. doi: 10.1007/978-3-032-14445-4_20.
21. Fatima G, Dzipina A, Alhmadi HB, Magomedova A, Siddiqui Z, Mehdi A, Hadi N. Magnesium matters: a comprehensive review of its vital role in health and diseases. *Cureus.* 2024;16(10):e71392. doi: 10.7759/cureus.71392.
22. Razzaque MS, Wimalawansa SJ. Minerals and human health: from deficiency to toxicity. *Nutrients.* 2025;17:454. doi: 10.3390/nu17030454.
23. Venkatachalam K, Binesh A, Ranjan A, Prasannan A, Joy S. Trace minerals (Fe, Zn, Cr, Cu, Se, V, Mn, Mo, Co) in human health and disease. *Biochem Health Dis.* 2026;36:43–69. doi: 10.1007/978-3-032-14445-4_3.
24. Fekete M, Lehoczki A, Csipő T, et al. The role of trace elements in COPD: pathogenetic mechanisms and therapeutic potential of zinc, iron, magnesium, selenium, manganese, copper, and calcium. *Nutrients.* 2024;16(23):4118. doi: 10.3390/nu16234118.
25. Pors Nielsen S. The biological role of strontium. *Bone.* 2004;35(3):583–588. doi: 10.1016/j.bone.2004.04.026.
26. Ru X, Yang L, Shen G, Wang K, Xu Z, Bian W, Zhu W, Guo Y. Microelement strontium and human health: comprehensive analysis of the role in inflammation and non-communicable diseases (NCDs). *FrontChem.* 2024;12:1367395. doi: 10.3389/fchem.2024.1367395.
27. Melenikioti E, Pavlidou E, Dakanalis A, Giaginis C, Papadopoulou SK. Dietary lithium, silicon, and boron: an updated critical review of their roles in metabolic regulation, neurobiology, bone health, and the gut microbiome. *Nutrients.* 2026;18:386. doi: 10.3390/nu18030386.
28. Anke M, Angelow L, Gleit M, et al. The biological importance of nickel in the food chain. *Fresenius J Anal Chem.* 1995;352:92–96. doi: 10.1007/BF00322304.

Відомості про авторів

Печенюк В. І. – аспірант кафедри фармацевтичного управління, технології ліків та фармакогнозії, Івано-Франківський національний медичний університет, Івано-Франківськ, Україна. E-mail: vpecheniuk@ifnmu.edu.ua, ORCID: 0000-0002-5929-0319

Грицьк А. Р. – доктор фармацевтичних наук, професор, завідувач кафедри фармацевтичного управління, технології ліків та фармакогнозії, Івано-Франківський національний медичний університет, Івано-Франківськ, Україна. E-mail: grytsyk@ukr.net, ORCID: 0000-0001-7335-887X

Information about the authors

Pecheniuk V. I. – PhD student at the Department of Pharmaceutical Management, Drugs Technology and Pharmacognosy, Ivano-Frankivsk National Medical University, Ivano-Frankivsk, Ukraine. E-mail: vpecheniuk@ifnmu.edu.ua, ORCID: 0000-0002-5929-0319

Grytsyk A. R. – DSc (Pharmacy), Professor at the Department of Pharmaceutical Management, Drugs Technology and Pharmacognosy, Ivano-Frankivsk National Medical University, Ivano-Frankivsk, Ukraine. E-mail: grytsyk@ukr.net, ORCID: 0000-0001-7335-887X