



Зберігання та переробка продукції

УДК 633.854.78:664.3
© 2025

НАСІННЯ СОНЯШНИКУ ЯК ПЕРСПЕКТИВНИЙ СИРОВИННИЙ РЕСУРС ДЛЯ ПЕРЕРОБНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Д.В. Матюхов¹, П.Ф. Петік², В.Ю. Папченко³, В.В. Лебедєв⁴

¹⁻³кандидати технічних наук

⁴доктор технічних наук

^{1,4}Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002, Україна

^{2,3}Український науково-дослідний інститут олій та жирів
Національної академії аграрних наук України
просп. Дзюби, 2-А, м. Харків, 61019, Україна

e-mail: ¹Dmytro.Matiukhov@khpi.edu.ua, ²direktor.fatoil@gmail.com,

³vikucya@gmail.com, ⁴volodymyr.lebediev@khpi.edu.ua

ORCID: ¹0000-0003-4700-9064, ²0009-0005-1656-3574,

³0000-0002-3692-0699, ⁴0000-0001-6934-2349

Надійшла 4.02.2025

Мета. Надати концепцію комплексної переробки насіння соняшнику та продемонструвати її перспективи. Показати потенціал насіння соняшнику як джерела цінних речовин. Здійснити пошук й аналіз даних для отримання надійних кількісних характеристик вмісту таких класів речовин, як неструктурні вуглеводи, фенольні сполуки, фосфоліпіди й воскові ефіри, з урахуванням морфології насіння, а також відомостей про базові характеристики ботанічного матеріалу, що досліджували в різні часи. **Методи.** На теоретичному рівні застосовували такі методи, як узагальнення, порівняння й аналіз: системний, бібліометричний, контент-аналіз. Для допоміжних операцій з даними користувалися розрахунковими методами: аналізом розмірностей, методом матеріального балансу. **Результати.** Водно-спирторозчинні вуглеводи в ядрі насіння соняшнику можуть становити до 12% (від знежиреної сухої речовини), а застосування лужних розчинників підвищує їх вихід. Уміст фенольних сполук у знежирених ядрах коливається переважно в інтервалі 1,5–4,2%. Кількість фенольних сполук, які можна класифікувати за підкласами після розділення сучасними хроматографічними методами, становить більш як 30, причому хлорогенова кислота залишається домінуючою (70–85% загального вмісту фенольних сполук). Фосфоліпіди під час дозрівання насіння показують стабільний

уміст близько 1%, а фосфатидилхоліни становлять 34–39% фосфоліпідної фракції. Вміст восків у лушпинні сягає 0,10–0,15%, а в олії з лушпиння — 1,5–4,0%, причому їх склад і восків ядра насіння істотно відрізняються. **Висновки.** Представлено бачення інноваційного технологічного процесу переробки насіння соняшнику як комплексного завдання з отримання максимальної кількості цінних продуктів відповідно до складу основних його морфологічних частин: оболонки та ядра. Узагальнено та оновлено дані про вміст і детальний склад вуглеводів, фенольних сполук, фосфоліпідів та восків. Установлено залежність виходу неструктурних вуглеводів від вибору розчинника й виявлено, що їх склад потребує подальшого уточнення. Значно розширено відомості про виокремлені та ідентифіковані фенольні сполуки. Проаналізовано склад фракції фосфоліпідів, де головним компонентом залишаються фосфатидилхоліни, а також досліджено відповідність складу комерційних лецитинів та складу фосфоліпідів насіння. Узагальнено відомості про вміст і розподіл фракцій восків з лушпиння та ядра, що має значення для їх подальшого використання. Отримані результати дозволяють удосконалити технологію переробки насіння соняшнику з максимальним вилученням цінних компонентів.

Ключові слова: вуглеводи, цукри, полісахариди, фенольні сполуки, хлорогенова кислота, фосфоліпіди, токофероли, воски.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202504-08>

До соняшнику в Україні ставляться як до однієї з найважливіших для національної економіки культур, і це повністю обґрунтовано [1]. Попри те, що він у світовому масштабі поступається іншим сільськогосподарським культурам — лідерам у забезпеченні харчовими ресурсами, упродовж багатьох десятиліть його роль у глобальному плані зростає. За 40 років частка продуктів, виготовлених із соняшнику, у перерахунку на калорії в раціоні людства зросла на 24%, тому що частка таких культур, як сорго, солодка картопля тощо, зменшилася [2].

Насіння соняшнику як джерело харчової олії представлення не потребує, навіть зважаючи на різноманіття сортів і гібридів, а також на вплив агрокліматичних умов на такі показники першочергової важливості, як олійність насіння та жирнокислотний склад олії. За конвенційною технологією насіння соняшнику переробляється на харчову олію й кормовий шрот — головні продукти цієї технології.

Прогресивною ідеєю є застосування до згаданого сировинного ресурсу концепції комплексної переробки з метою розширення лінійки продуктів технології, збільшення виходів, поліпшення складу та властивостей цих продуктів. Деякі кроки, що вкладаються в цю концепцію, були реалізовані ще до набуття нею популярності й поступово впроваджувались упродовж останніх 20 років. Ознаками сучасного рівня конвенційної технології є отримання соняшникового лецитину, зокрема знежиреного, а також використання брикетованої соняшникової лузги як палива на оліє-екстракційних та інших підприємствах.

Такою самою ознакою прогресивного підходу є отримання фракцій шроту із підвищеним вмістом протеїну (зазвичай до 45%), тоді як у шроті до механічної обробки міститься близько 35% протеїну. Водночас такі показники не є вражаючими з огляду на присутність на ринку інших доступних протеїновмісних

джерел, адже вихід фракції з підвищеним умістом протеїну не перевищує 64%. Крім того, такий продукт має ряд обмежень, зокрема не може бути використаний у харчових продуктах.

Інша справа — розглядати насіння соняшнику як ресурс, з якого у процесі комплексної переробки отримують протеїнові продукти харчового призначення за найближчою аналогією із соєвими концентратами й ізолятами. Цьому на пряму присвячено багато зусиль. Проте справжнім викликом і суттю нової ідеї є необхідність таких комплексних змін, що дозволять отримати з насіння соняшнику набагато більше, ніж 4–5 цінних продуктів. Поки що складність техніко-економічного переформатування конвенційної технології стає на заваді реалізації цих планів.

Отже, основними фігурантами конвенційної технології переробки насіння соняшнику є такі речовини та продукти: триацилгліцероли (у вигляді олії), фосфоліпіди (у вигляді емульсії і неочищених концентратів на стадії рафінації олії), протеїни (у шротах) та вуглеводи (в основному клітковина у шроті й лущині). Їх потенціал і перспективи — на шляху становлення концептуально нової технології перероблення, яка буде реалізована на новому, більш досконалому рівні комплексності. Саме тому, не торкаючись у цій роботі питання вдосконалень, що стосуються цих продуктів та макроречовин, звернемо увагу на перспективи, що відкриваються в результаті більш детального погляду на склад насіння соняшнику. Розглянемо ті групи речовин, які, по-перше, можуть бути цінними з погляду широкого спектра завдань, а по-друге, можуть бути вилучені чи сконцентровані в певному продукті за умов прийнятних економічних витрат.

До речі, мікронутрієнти, до яких можна віднести, наприклад, мікроелементи, також не є предметами уваги нашої роботи, оскільки не становлять інтересу для переробки сировинного ресурсу з різних

причин: характеризуються надто низьким і нестабільним умістом, не мають специфічної харчової чи економічної цінності. Крім того, відсутні шляхи отримання їх в обособленому чи концентрованому стані. Проте варто зауважити, що вони й надалі відіграють свою роль у харчуванні поряд з макронутрієнтами, коли залишаються у структурі харчової матриці.

Подальший розвиток, що приведе до революційних змін у технології переробки насіння соняшнику, можливий за конкретизації та деталізації його складу, що є завданням фундаментальних наукових досліджень.

Ці знання на наступному етапі потребують характеристики з погляду практичної цінності інформації з урахуванням відомостей про локалізацію речовин для передбачення існування нових продуктів, отриманих завдяки введенню нових технологічних стадій чи перегляду структури технологічних потоків, оптимізації процесів отримання цінних речовин, прогнозуванню функціональних властивостей, що визначають сферу застосування таких продуктів. Інформація про деталізований склад груп речовин насіння соняшнику також є відправною точкою для розуміння шляхів і потенціалу вдосконалення продукту конвенційного технологічного циклу та підвищення його цінності завдяки подальшій глибшій переробці.

До означених вище цінних груп речовин, наявних у насінні соняшнику, потрібно віднести насамперед неструктурні вуглеводи, фенольні сполуки, фосфоліпіди й воски. Кожний із цих класів загалом і деякі окремі представники відіграють помітну роль у харчуванні, фізіології людини, є компонентами товарів повсякденного вжитку, а отже, мають значення у харчовій та інших галузях промисловості.

Мета досліджень — розкрити потенціал насіння соняшнику як джерела цінних речовин за допомогою дослідження наукової літератури на предмет установлення вмісту та складу таких груп речовин,

як неструктурні вуглеводи, фенольні сполуки, фосфоліпіди, токоферолі, воскові ефіри. Потрібно враховувати складнощі, пов'язані з узагальненням даних про різноманітний ботанічний матеріал і природними обмеженнями, які властиві інструментарію й методам досліджень різних часових періодів, відшукуючи таким чином відповіді на технічні завдання і наукові питання, що постають перед фахівцем з харчових технологій.

Матеріали та методи досліджень.

Для пошуку й відбору джерел застосовувалися ресурси та можливості бази даних Scopus. Системний аналіз використовувався для оцінювання взаємозв'язку інформації з різних джерел і релевантності до поставлених завдань. Бібліометричний аналіз полягав у використанні метрик (кількості цитувань, імпакт-фактора журналу) для оцінювання значущості джерел. Контент-аналіз був необхідним для вивчення змісту наукових текстів перед узагальненням відібраної інформації. Метод логіко-структурного аналізу, що полягає у побудові структури дослідження шляхом ідентифікації ключових понять та зв'язків між ними, є корисним для пошуку неточностей, уникнення протиріч, виявлення й заповнення інформаційних прогалів.

Результати досліджень. Вуглеводи. Після жиру (олії) та протеїнів вуглеводи займають третє місце за загальним умістом у ядрі насіння соняшнику. Наприклад, насіння соняшнику сорту Commander містить 42% оболонки, а ядро насіння — 55% олії. Кількість сирого протеїну в борошні зі знежиреного ядра в розрахунку на суху речовину становила 58,8%, а вуглеводів — 28,5% [3]. У цьому різноманітному класі речовин особливо цікавим і складним для визначення є вміст неструктурних вуглеводів, тобто таких, які не входять до складу клітинних стінок та не виконують структурних функцій. До них за загальним визначенням належать так звані цукри (моно- та дисахариди),

розчинні олігосахариди й крохмаль, але у випадку із соняшником також можна говорити про некрохмальні сахариди (Non-starch carbohydrates, NSC), оскільки крохмаль для насіння соняшнику не є характерним.

Моно- і дисахариди — не дуже цінні речовини, але привертають до себе увагу в контексті переробки насіння соняшнику, оскільки їх досить легко вилучати з продуктів і вони реакційноспроможні за підвищеної температури, тобто впливають на якісний та кількісний склад продуктів з насіння соняшнику. Таким чином, вони можуть розглядатись як баластні речовини, завдяки яким можна досягти підвищення вмісту інших цільових компонентів. Проте, навіть отримані у складі побічного продукту в достатній тонажності, вони можуть бути використані на кормові потреби, а також як сировина для зброджування.

Ряд сахаридів можуть мати досить рідкісні й корисні властивості, що робить їх присутність, навіть у невеликій кількості, бажаною. Наприклад, ізомальтулозу та трегалозу використовують у харчовій промисловості як підсолоджувачі зі зниженими глікемічним індексом і карієсогенністю. Ізомальтулоза (ізомер сахарози) — це речовина з низькою гігроскопічністю, використовується для збереження порошкоподібної форми продуктів. Трегалоза (ізомер мальтози) — стабілізатор для збереження текстури та якості продуктів, включно із замороженими й сублімованими.

Становить інтерес дослідження складу неструктурних вуглеводів морфологічних частин насіння соняшнику з використанням методики послідовного вилучення речовин із застосуванням різних розчинників, таких як вода чи 80%-й етиловий спирт [3]. Сировина була знежирена та піддавалася подальшому аналізу через послідовне отримання екстрактів за допомогою етанолу, води, 0,25%-го оксалату амонію, 2%-го розчину NaOH, що накладає

особливості на інтерпретацію результатів. Проаналізувавши дані дослідження, можна представити їх у вигляді таблиці.

Підвищений вихід арабінози і галактози у разі екстракції розчином лугу, що в сумі становить 10,3%, явно показує неоднозначність трактування вмісту простих вуглеводів у насінні соняшнику. Тобто, враховуючи специфічний характер деяких із застосованих розчинників, можна брати за основу варіант сумування в таблиці без урахування змісту даних у дужках для коректнішого порівняння з даними, отриманими в інших дослідженнях. Також два невідомі цукрових компоненти (тріоза чи тетроза) не були кількісно визначені.

У праці [4] повідомляється, що у знежиреному борошні із соняшникового насіння (на сухій основі) було виявлено 8,3% вуглеводів, зокрема: глюкози — 0,6%, рафінози — 3,22, сахарози — 2,29 і трегалози — 0,79%.

Науковці [5] тестували на вміст сахаридів насіння сорту Argavires, вирощене у США. У цьому дослідженні ядро насіння соняшнику також було знежирене, висушене, а результат так само подають на суху знежирену масу борошна. Екстракцію вуглеводів проводили водним метанолом. У результаті ідентифіковано такі речовини у складі: сахарозу — 4,4%, трегалозу — 2,1, рафінозу — 1,9 і ще один дисахарид, що за гідролізу дав глюкозу та фруктозу (можливо, ізомальтулозу), — 1,3%. Важливо зазначити, що також було ідентифіковано в невеликій кількості (менше 2% загальної маси) два ймовірних тетрасахариди. Серед них може міститися стахіоза — тетрасахарид (зі структурою «галактоза–галактоза–глюкоза–фруктоза»); її вважають близькою за властивостями до інуліну.

Знежирений залишок після всіх стадій екстракції, описаний у джерелі [3], складався з 6% целюлози (структурних вуглеводів), 4% нерозчинних у лузі протеїнів та 5% лігніну. Для доповнення питання

Кількісна характеристика вуглеводів, отриманих з різних частин насіння соняшнику

Продукт і його склад	Уміст, %
Знежирене борошно соняшнику	
Моносахариди	
Глюкоза	0,7
Фруктоза	0,2
Галактоза*	0,6 (1,7)
Арабіноза*	0,6 (9,8)
<i>Разом моносахариди</i>	<i>2,1 (12,4)</i>
Ди- та трисахариди	
Сахароза	4,4
Мальтоза	0,97
Мелібіоза	2,0
Рафіноза (трисахарид)	2,57
<i>Разом дисахариди</i>	<i>9,94</i>
Лузга (плодова оболонка)	
Глюкоза	0,1
Галактоза	0,4
Ксилоза*	(5,9)
Галактуронова кислота**	2,0 (2,4)
<i>Разом</i>	<i>2,5 (8,8)</i>
Testa (насіннева оболонка)	
Арабіноза	3,5
Рафіноза	0,4
Глюкоза	0,4
Галактоза	3,3
Галактуронова кислота**	(10,5)
<i>Разом</i>	<i>7,6 (18,1)</i>

*Вилучення з і без 2%-го розчину NaOH.
**Вилучення з і без 0,25%-го оксалату амонію.

про склад некрохмальних полісахаридів насіння соняшнику наведемо результати дослідження [6], яке стосується аналізу соняшникового шроту. У цьому випадку йдеться про шрот як промисловий продукт, а не про знежирене борошно ядер насіння соняшнику, як це було в попередньо згаданих джерелах. Тобто важливо усвідомлювати, що нижче наведено склад структурних вуглеводів, які походять з ядра насіння соняшнику, але з домішками лузги, характерними кількісно для шротів промислового виробництва, проте параметри шроту в джерелі не повідомляються. Отже, після ізолювання від жирів, білків і лігніну в шроті

соняшнику виявили: целюлозу (42% загальної кількості некрохмальних полісахаридів), пектинові полісахариди (24%), 4-*O*-метил-глюкуронооксилани (24%), глюкоманнани (5%) і фукоксилоглюкани (4,5%) [6].

Фенольні сполуки. Абсолютна більшість проаналізованих джерел стосовно вмісту вуглеводів належать до 70-х років минулого століття. Як не дивно, настільки ж інформативних джерел пізніших часів на цю тему не було знайдено (що збігається з пізнішими оглядами інших авторів).

Натомість інтерес до проблематики, спричиненої вмістом фенольних сполук у насінні соняшнику, тримається на високому рівні багато десятиліть і не знижується й сьогодні. Отже, ми маємо змогу надати перевагу свіжим результатам. Проте необхідно констатувати, що вже в 70-ті роки минулого століття отримано надійні дані про вміст хлорогенової кислоти (5-*O*-кавоілхінної кислоти), яка є головною фенольною сполукою насіння соняшнику.

У дослідженні [7] фігурувало 167 різноманітних культурних сортів, 387 сортів, що зберігалися на дослідницькій станції в Мордені (Канада), та 42 зразки дикорослого соняшнику з Північної Америки. У цьому дослідженні аналізували знежирене в лабораторних умовах борошно ядра, яке мало вміст від 1,1 до 4,5% хлорогенової кислоти (ХК) із середнім значенням 2,8% і нормальним розподілом. Лише 6% культурних сортів містили 2% ХК чи навіть менше. Зразки різновидів дикорослого соняшнику в середньому містили 2,1% ХК, при цьому майже в половині зразків було менше 2% ХК. Виявлено значну кореляцію між вмістом ХК та олії. Не виявлено зв'язку між країною походження та вмістом ХК для культурних сортів.

Щодо вмісту інших фенольних сполук у джерелах цього періоду найчастіше згадуються кавава (КК) та хінна кислоти, але їх вміст оцінюється в дуже широкому

інтервалі. Для кавової кислоти наводилися дані, згідно з якими її може бути у 2,5–100 разів менше, ніж ХК. Кількість хінної кислоти була в 1,5–3,5 раза більша, ніж ХК. Проте типовою є ситуація, коли ХК була в межах 70% і більше вмісту всіх фенольних сполук насіння соняшнику. Інтерес становить порівняння цих даних з результатами сучасних робіт, зважаючи на розвиток методик і вдосконалення аналітичного інструментарію. У дослідженні [8] для генотипів соняшнику Tesoro, Marko, Clip, Vyp-70 і Nanta, що характеризувалися вмістом оболонки в насінні від 20 до 26%, для ядра було визначено вміст ХК в діапазоні 0,63–0,97%, а КК — 0,05–0,15%. Загальний вміст фенольних сполук у ядрі становив 1,28–1,68%.

Уміст ХК в оболонці — 0,018–0,089%, а КК — 0,0014–0,031%. Загальний вміст фенольних сполук в оболонці становить 0,037–0,23%. Отже, загальний вміст поліфенольних сполук у цілому насінні становить 1,04–1,30%. При цьому 94,6–98,3% поліфенолів зосереджено в ядрі насіння. Частка ХК від усіх фенольних сполук залежно від сорту була в межах від 43 до 70%, а частка КК — від 3,4 до 10,3%. Отже, коефіцієнт відношення між кількістю ХК та КК у наведених сортах дорівнював, відповідно: 17,5; 11,0; 12,7; 14,7; 4,17.

У праці [9] вдалось ідентифікувати й визначити вміст фенольних сполук більш докладно. Завдання стосувалось ядер та оболонки високо- й низькоолійного насіння різного комерційного походження: з Італії, Франції та Німеччини. Було ідентифіковано такі кислоти: кавову, ферулову, 5-*O*-*p*-кумароїлхінну, 5-*O*-ферулоїлхінну, 3-*O*-кавоїлхінну, 4-*O*-кавоїлхінну, 5-*O*-кавоїлхінну (хлорогенову), кавоїлхінну, 3,4-ді-*O*-кавоїлхінну, 3,5-ді-*O*-кавоїлхінну, 4,5-ді-*O*-кавоїлхінну.

Числові дані стосовно фенольних сполук ядра наводитимуться для отриманого з нього знежиреного борошна.

Для знежирених ядер високоолійного насіння вміст фенольних сполук становив 2,9–4,1%, для низькоолійних — 3,2–3,6%. Відносний розподіл за класами фенольних сполук був таким: неестерифіковані фенольні кислоти — 0,8–3,6%; похідні кумарової та ферулової кислот — 0,4–0,8; монокавоілхінні кислоти — 84–92; дикавоілхінні кислоти — 5,5–14,9%. Своєю чергою, доля хлорогенової кислоти серед монокавоілхінних кислот становила 77–85% для низькоолійного соняшнику й 80–85% — для високоолійного. Потрібно зауважити, що хінна кислота взагалі в дослідженні не фігурувала.

У дослідженні [10], окрім згаданих уже груп фенольних сполук, увагу приділяли також флавоноїду мирицетину, а також рутину. Вивчали три європейських гібриди соняшнику: Es Petunija, Allium та Albatre. Їх розроблено у співпраці з Інститутом дослідження кукурудзи (Сербія) та французькою сільськогосподарською кооперацією Euralis. Результати представлено для незнежиреного ядра на суху речовину. Загальний вміст фенольних сполук становив 1,6–2,0%, ХГ — 1,2–1,8, КК — 0,005, ферулової кислоти — 0,006, мирицетину — 0,005–0,008, рутину — 0,003–0,006, розмаринової кислоти — 0,010–0,013%. Було встановлено, що на частку хлорогенової кислоти припадає 75–90% усіх фенольних сполук, а частки кавової та ферулової кислот дуже незначні. Їх менше за ХК приблизно у 300 разів.

Група дослідників [11] отримала дані, які можна використовувати для розуміння кінетики вилучення різних груп та індивідуальних речовин із сировини. Насіння подрібнювали й знежирювали гексаном, потім екстрагували водним метанолом (з концентрацією 80%). Висушений екстракт фракціювали за допомогою хроматографічної колонки, відкидаючи перші 240 мл і розділяючи наступний обсяг на 6 фракцій. У цій роботі фенольні сполуки вдалося розділити на 31 речовину, які

представляють п'ять класів. Однозначно ідентифікованих речовин менше: ХК, її ізомери, ізомери кумароілхінної кислоти, транс- і цисферулові кислоти, похідні кверцетину, флаванони. Кавову кислоту не ідентифіковано. Однак, на жаль, сумарну кількість отриманих фенольних сполук чи вихід екстракту зі знежиреного борошна насіння соняшнику не повідомляють. Аналіз даних статті про вміст окремих фенольних сполук у відносних одиницях по фракціях у сумі дає майже 1000 мг/г. Отже, можна дійти висновку, що за ціле береться сума всіх вилучених фенольних сполук. Тоді можна представити у відсотках вміст кожного важливого класу фенольних сполук в їх суміші: неестерифіковані фенольні кислоти становили 0,561%, моноацилхінні кислоти — 80,30 (причому саме 5-О-кавоілхінна кислота — 78,53), диацілхінні кислоти — 16,39, дигідротримери ферулової кислоти — 0,57, флавоноїди — 2,13%.

Фосфоліпіди. Фосфоліпіди є цінними біологічно активними речовинами, необхідними для створення харчових колоїдних систем і регулювання їх властивостей. Також фосфоліпіди мають виражені антиоксидантні властивості. Ці речовини є термолабільними, високореакційноспроможними, тому внаслідок цього їх досить важко вилучити в близькому до нативного стані. Саме через це препарати концентрованих представників групи фосфоліпідів високої чистоти характеризуються чималою ринковою ціною. У конвенційній технології переробки насіння соняшнику побічний продукт, що отримують на стадії гідратації олії та який містить багато фосфоліпідів, називається лецитином. Проте склад лецитину сам по собі ще не демонструє потенціалу соняшнику як джерела фосфоліпідів і не збігається зі складом фосфоліпідів ядра соняшникового насіння. Це питання, на яке можна дати відповідь згодом.

У праці [12], присвяченій вивченню змін складу насіння соняшнику

впродовж періоду цвітіння, результати по кожній категорії речовин, до яких належать і фосфоліпіди, наведено для продукту, отриманого екстрагуванням з підсушеного в кімнатному повітрі ядра за методикою Фолча-Крісті, відомою як ефективний спосіб вилучення більшості класів ліпідів (неполярних і полярних). Таким чином, отримані результати можна вважати характеристикою фосфоліпідів сировини. Зазвичай насіння соняшнику готує для збирання через 30–60 днів після цвітіння (Days After Flowering, DAF).

Проводили аналіз ядра насіння високоолеїнового сорту *Diamant*, вирощеного в південній Болгарії. Вміст усієї ліпідної складової ядра в період 15–90 DAF зростає з 21 до 66% у розрахунку на суху речовину, натомість уміст фосфоліпідів у ліпідній фазі залишався постійним і становив 1%. Загальний уміст інших класів ліпідів у ліпідній фазі (вказано зміну від недозрілого насіння до перезрілого) такий: стеролів — 0,5–0,3%, токоферолів — 0,056–0,087%. Вологість ядра на 15-й день становила 78%, на 45-й — 41, на 60-й — 4%, після чого до 90-го дня не перевищувала 6%. Це означає, що зрілість настала до 60-го дня, але на 45-й ще не відбулась. Однак у період зрілості насіння вміст окремих підкласів фосфоліпідів і далі змінювався. Протягом 60–90 DAF кількість фосфатидилхолінів зростає з 37 до 39% (від загальних фосфоліпідів). Частка фосфатидилінозитолів майже не змінилася: 29–29,5%. Кількість фосфатидилетаноламінів зростає із 17 до 18%, фосфатидних кислот — знизилася з 10 до 2%. Фосфатидилсерін був на рівні 3–4%. Кількість лізоформ фосфатидилхоліну та фосфатидилетаноламіну не змінювалася — по 1,5% кожного підкласу. Монофосфатидилгліцероли та дифосфатидилгліцероли незначним чином зростали й на 90 DAF становили, відповідно, 3 та 2%.

Показово, що в працях 1970-х років, на яких ми не будемо особливо акцентувати увагу, попри застарілий

інструментарій, також можна зустріти оціночну кількість фосфатидилхолінів — близько 39–40%, фосфатидилетаноламінів — 19–20, фосфатидних кислот — 7–8%. Натомість фосфатидилінозитолів фіксувалося до 18%, а до виділеної фосфатидної фракції додавалися ще глікофінголіпіди (до 15%).

Інформативним є порівняння відносно го складу фосфоліпідів ядра з прикладами складу соняшникового лецитину. Важливо розуміти, що склад комерційного продукту, враховуючи велику кількість обставин, пов'язаних і з сировиною, і з технологією виведення фосфоліпідів, варіантів якої існує багато, може також бути дуже різний. Наприклад, за даними огляду [13], проводячи перерозрахунок тільки для фосфоліпідних компонентів і приймаючи їх сумарний уміст за 100%, отримуємо відносний уміст фосфатидилхолінів у розмірі 34,0%, фосфатидилінозитолів — 29,8, фосфатидилетаноламінів — 17,0, фосфатидних кислот — 6,4, інших фосфоліпідів — 12,8%.

Для цього випадку зберігається з точністю до декількох відсотків уміст головного компонента — фосфатидилхоліна; також точно збігається кількість фосфатидилінозитолів і фосфатидилетаноламінів; фосфатидні кислоти реєструють в очікуваному діапазоні.

Інший набір даних у дослідженні [13] відрізняється на користь головного компонента: фосфатидилхоліни становлять 65% фосфатидилінозитолів — 10, фосфатидилетаноламіни — 3, фосфатидні кислоти — 6, неідентифіковані фосфоліпіди — близько 20%. Важко оцінювати, чи не занадто оптимістичними є дані за вмістом головного компонента, але за ранжування спостерігається вже знайома послідовність трьох головних фракцій: холіни, інозитолі, етаноламіни.

Токофероли. За даними [12] уміст токоферолів в олії змінювався в діапазоні 560–869 мг/кг. Відносний склад токоферолів на 90 DAF представлений в основному α -токоферолом (98%),

β -токоферолом (близько 2%) та іншими токоферолами (сліди). У праці [10] повідомляють про приблизно такий самий розподіл між токоферолами: β - та γ -токофероли — 1,3%, δ -токофероли — 0,4–0,5% (або ж 256–267 мг/кг), тобто у 2–3 рази менше, ніж зазначено у джерелі [13].

Воски. Воски соняшнику також є представленими на ринку цінними продуктами, які здобули собі славу завдяки застосуванню в косметичних виробках. На відміну від фосфоліпідів, можна легко отримати високоякісні воски, оскільки вони навіть стабільніші до дії високих температур, ніж триацилгліцероли. Воски вилучають уже під час рафінації олії виморожуванням. У соняшниковій олії воски в тій кількості, у якій вони туди потрапляють, не є небезпечними продуктами, проте їх усе одно зазвичай вилучають. Для технології це не є проблемою, але процес потребує значних витрат енергії, зокрема на отримання холоду, а також є тривалим у часі. Завдяки видаленню восків із лушпиння до того, як вони потраплять в олію, їх не потрібно вилучати з олії під час її рафінування, а показники їх наявності в олії будуть у припустимих межах.

Воски переважно містяться у плодovій оболонці соняшнику, але там вони локалізовані разом з іншими ліпідами, зокрема з триацилгліцеролами, тому є сенс казати про олію, яка міститься в лушпинні. Загальний уміст восків у сирій соняшниковій олії може змінюватися від 0,02 до 0,35% за масою, а в рафінованій олії — сягати 0,06% за масою.

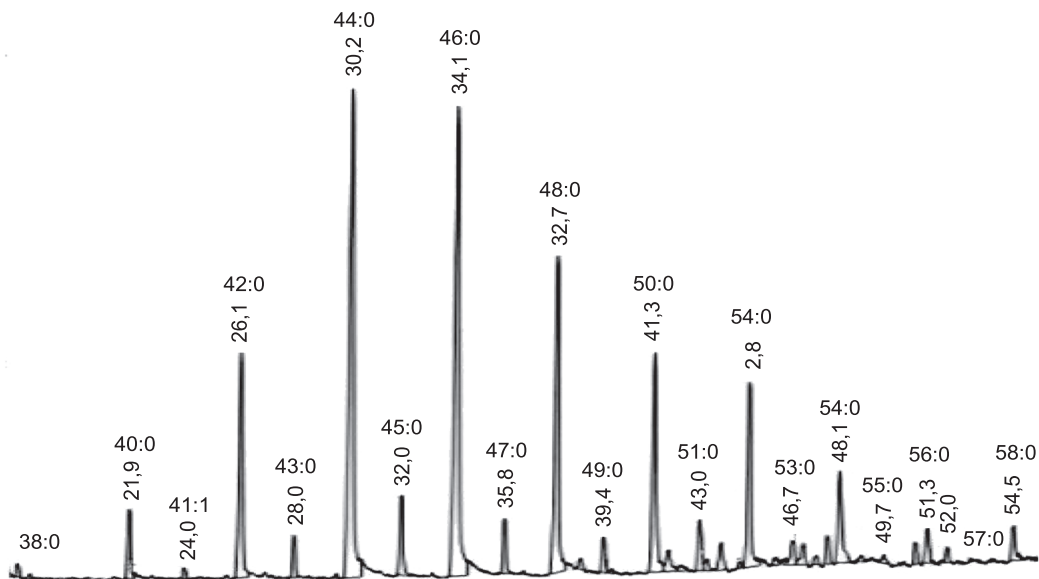
Воскова фракція у соняшниковій олії охоплює сполуки з вуглецевими ланцюгами від 36 до 48 атомів карбону. Піки з часом утримання, що перевищує С50, зазвичай відповідають іншим сполукам, як от: стероли, метилстероли та ефіри терпеноїдних спиртів. Склад лушпиння може варіюватися досить сильно. У класичній вітчизняній літературі розповсюджене твердження про ботанічну

олійність лушпиння (2,5–3,0%), проте джерело [14] наводить такий склад лушпиння насіння соняшнику сорту Sakha 53: олія — 10,47%, протеїн — 12,6, сира клітковина — 43,9%.

За даними праці [15], уміст восків в оліях з лушпиння перевищував аналогічний показник ядра насіння приблизно у 23–26 разів. При цьому воски з олії лушпиння містили вищу концентрацію фракцій С44–С48 (відносний уміст фракцій — 75–85%), а олія з ядра мала вищий уміст фракцій восків С36–С37 і С40–С42 (67–68%). Частка восків лушпиння у восках соняшникової олії перевищує 40%, сягаючи майже 80% для фракцій С44–С48. У двох зразках уміст в олії восків із лушпиння становив, відповідно, 1,50 та 1,73%. У праці [16] цей показник був на рівні 3,47%.

У багатьох джерелах (у загальних і вступних частинах) можна знайти, що вміст восків у лушпинні — майже 3%. Очевидно, що це не так, адже, якщо кількість олії, наприклад, у лушпинні становить 10%, то в олії восків має бути приблизно 30%, а не 1–3%, як зазначено в працях [15, 16]. А якщо самої олії в лушпинні 3%, то вона має бути чистими восками. Отже, під 3% мається на увазі саме ботанічна олійність, а не вміст восків. В олії з цілого насіння восків у цих дослідженнях було виявлено 0,10–0,13%, в олії, отриманій з ядра, — 0,058–0,076%.

Також можна звернутися до більш давніх робіт, щоб переконатись у цьому. Автори [17] визначили вміст восків у лушпинні для 17 гібридів з умістом самого лушпиння (21,3–31,1%). Екстракція проводилася гексаном. Було встановлено, що петролейний ефір порівняно з гексаном призводив до зниженого виходу восків. Уміст восків у лушпинні представлено як 705–2020 ppm. Якщо взяти ботанічну олійність за 3%, то 1200 ppm означатиме вміст восків в олії на рівні 4%. Як показано раніше [15, 16], це такий самий порядок, як і в



Хроматограма восків, вилучених з олії лущиння соняшнику [18]

них, тобто 1,5–3,5%. Також автори [17] надавали дані щодо вмісту восків у лущинні на рівні 0,10–0,15%.

Залишилося більш детально розглянути склад восків насіння соняшнику. Оскільки найбільший інтерес у контексті нашої роботи становлять воскові ефіри лущиння, наведемо сучасні дані, отримані за допомогою вдосконаленої методики хроматографічного аналізу з джерела [18] (рисунок).

Зауважимо, що у працях [16] і [18] не уточнюють сорти соняшнику, з насінням якого працювали автори, але попри те, що ці роботи віддалені у часі та досліджували різні країни (Аргентину й Іспанію відповідно), результати демонструють, що кількісно-якісний розподіл речовин чітко збігається. Піки С44 та С46 домінують, а розподіл загалом має дзвіноподібний характер із викривленням у бік більшої кількості гілки С48–С58.

Висновки

Вуглеводи насіння соняшнику перебувають у тісному зв'язку практично з усіма іншими компонентами ядра, через що їх аналіз є складним завданням. Відомості про наявність і точний уміст трегалози, мелібіози, ізомальтулози та мальтози залишаються недостатньо надійними.

Значне просування останніми десятиліттями відбулося щодо ідентифікації та визначення фенольних сполук насіння соняшнику. У сучасних дослідженнях фігурує понад 30 сполук, і, вочевидь, не всі вони ще ідентифіковані.

Для знежирених ядер, наприклад, кількість фенольних сполук коливається в межах 1,5–4,2%. Якщо у «старих» джерелах кількість кавової кислоти визначали на рівні до 15 разів менше за вміст хлорогенової кислоти, то в сучасних зазначено в десятки чи навіть сотні разів меншу її кількість, а іноді кавова кислота може бути взагалі не ідентифікована.

Стосовно фосфоліпідів усі джерела однакові в тому, що фосфатидилхоліні є головним компонентом фосфоліпідної фракції насіння соняшнику,

його кількість найчастіше перебуває в діапазоні 34–39%. На другому місці найчастіше — фосфатидилінозитолі, з якими конкурують фосфатидилетаноламіни. Сума трьох головних фракцій становить 78–88% загальної кількості цих полярних ліпідів.

У літературі вміст восків також подається через порівняння з лушпинням, олією лушпиння, олією, отриманою

з цілого насіння, самим цілим насінням. У лушпинні воски містяться у кількості 0,10–0,15%, що набагато менше, ніж іноді уявляють, плутаючи цю характеристику з вмістом ліпідів (олії) у самому лушпинні. Воски з олії лушпиння мають вміст фракцій С44–С48 у діапазоні 75–85%, натомість воски з ядра містять фракції С36–С37 та С40–С42, що в сумі становлять 67–68%.

Matiukhov D.¹, Petik P.², Papchenko V.³, Lebedev V.⁴

^{1,4}National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», 2 Kyrpychov Str., Kharkiv, 61002, Ukraine; ²Ukrainian Research Institute of Oils and Fats of NAAS, 2-A Dziuba Ave., Kharkiv, 61019, Ukraine; e-mail: ¹Dmytro.Matiukhov@khp.edu.ua, ²direktor.fatool@gmail.com, ³vikucya@gmail.com, ⁴volodymyr.lebedev@khp.edu.ua; ORCID: ¹0000-0003-4700-9064, ²0009-0005-1656-3574, ³0000-0002-3692-0699, ⁴0000-0001-6934-2349

Sunflower seeds as a promising raw material resource for the processing industry

Goal. To form the concept of integrated processing of sunflower seeds and demonstrate its prospects; to show the potential of sunflower seeds as a source of valuable substances; to carry out search and analysis of data for obtaining reliable quantitative characteristics of contents of such classes of substances as unstructured carbohydrates, phenolic compounds, phospholipids, and wax esters, taking into account morphology of seeds, and also information about basic characteristics of botanical material which were studied before. **Methods.** At the theoretical level, methods such as generalization, comparison, and analysis were used: system, bibliometric, and content analysis. For auxiliary operations with data, calculation methods were used: dimension analysis, and material balance method. **Results.** Water-alcohol soluble carbohydrates in the kernel of sunflower seeds can reach 12% (of the defatted dry matter), and the use of alkaline solvents increases their yield. The content of phenolic compounds in defatted nuclei varies mainly in the range of 1.5–4.2%. The amount of phenolic compounds that can be classified into subclasses after separation by modern chromatographic methods is more than 30, and

chlorogenic acid remains dominant (70–85% of the total content of phenolic compounds). Phospholipids during seed maturation show a stable content of about 1%, and phosphatidylcholines make up 34–39% of the phospholipid fraction. The content of waxes in the husk reaches 0.10–0.15%, and in the oil from the husk — 1.5–4.0% and their composition and waxes of the seed nucleus differ significantly. **Conclusions.** The vision of the innovative technological process of processing sunflower seeds as a complex task to obtain the maximum number of valuable products in accordance with the composition of its main morphological parts: shell and core is presented. The content and detailed composition of carbohydrates, phenolic compounds, phospholipids, and waxes are summarized and updated. The dependence of the output of non-structural carbohydrates on the choice of solvent is established and it is revealed that their composition requires further clarification. The study significantly expanded information on isolated and identified phenolic compounds. The composition of the phospholipid fraction is analyzed, where phosphatidylcholines remain the main component, and the correspondence between the composition of commercial lecithins and the composition of seed phospholipids is investigated. Information on the content and distribution of fractions of waxes from husks and kernels, which is important for their further use, is summarized. The obtained results allow for improving the technology of sunflower seed processing with the maximum extraction of valuable components.

Key words: carbohydrates, sugars, polysaccharides, phenolic compounds, chlorogenic acid, phospholipids, tocopherols, waxes.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202504-08>

Бібліографія

1. Sydiakina O.V., Podriezov I.O. Sunflower: current state, problems and prospects for production. *Taurian Scientific Herald*. 2024. 2(136). P. 124–133. doi: 10.32782/2226-0099.2024.136.2.16
2. Nadathur S., Wanasundara J., Scanlin L. Sustainable Protein Sources. Academic Press, 2016. 456 p.
3. Sabir M.A., Sosulski F.W., Hamon N.W. Protein Extractability and Purification from Sunflower and Rapeseed Flours. *J. of Agricultural and Food Chemistry*. 1975. 23(1). P. 16–19. doi: 10.1021/jf60197a017
4. Cegla G.F., Bell K.R. High pressure liquid chromatography for the analysis of soluble carbohydrates in defatted oilseed flours. *J. of the American Oil Chemists' Society*. 1977. 54(4). P. 150–152. doi: 10.1007/BF02670783
5. Mikolajczak K.L., Smith C.R. Jr., Wolff I.A. Phenolic and sugar components of Armavirec variety sunflower (*Helianthus annuus*) seed meal. *J. of Agricultural and Food Chemistry*. 1970. 18(1). P. 27–32. doi: 10.1021/jf60167a026
6. Dusterhoft E.-M., Posthumus M.A., Voragen A.G.J. Non-starch polysaccharides from sunflower (*Helianthus annuus*) meal and palm-kernel (*Elaeis guineensis*) meal — investigation of the structure of major polysaccharides. *J. of the Science of Food and Agriculture*. 1992. 59(2). P. 151–160. doi: 10.1002/jfsa.2740590204
7. Dorrell D.G. Chlorogenic acid content of meal from cultivated and wild sunflowers. *Crop Science*. 1976. 16(3). P. 422–424. doi: 10.2135/cropsci1976.0011183X001600030028x
8. Pedrosa M.M., Muzquiz M., Garcia-Vallejo C. et al. Determination of caffeic and chlorogenic acids and their derivatives in different sunflower seeds. *J. of the Science of Food and Agriculture*. 2000. 80(4). P. 459–464. doi: 10.1002/(SICI)1097-0010(200003)80:4<459::AID-JSFA549>3.0.CO;2-O
9. Weisz G.M., Kammerer D.R., Carle R. Identification and quantification of phenolic compounds from sunflower (*Helianthus annuus* L.) kernels and shells by HPLC-DAD/ESI-MSn. *Food Chemistry*. 2009. 115(2). P. 758–765. doi: 10.1016/j.foodchem.2008.12.074
10. Zilic S., Maksimovic Dragisic J., Maksimovic V. et al. The content of antioxidants in sunflower seed and kernel. *Helia*. 2010. 33(52). P. 75–84. doi: 10.2298/hel1052075z
11. Karamac M., Kosinska A., Estrella I. et al. Antioxidant activity of phenolic compounds identified in sunflower seeds. *European Food Research and Technology*. 2012. 235(2). P. 221–230. doi: 10.1007/s00217-012-1751-6
12. Zlatanov M.D., Angelova-Romova M.J., Antova G.A. et al. Variations in fatty acids, phospholipids and sterols during the seed development of a high oleic sunflower variety. *J. of the American Oil Chemists' Society*. 2009. 86(8). P. 867–875. doi: 10.1007/s11746-009-1425-0
13. Martinez-Force E., Dunford N.T., Salas J.J. Sunflower. Chemistry, Production, Processing, and Utilization. Urbana, Illinois, USA: AOCS Press, 2015. 655 p.
14. Taha F.S., Wagdy S.M., Hassanein M.M., Hamed S.F. Evaluation of the biological activity of sunflower hull extracts. *Grasas y Aceites*. 2012. 63(2). P. 184–192. doi: 10.3989/gya.072111
15. Carelli A.A., Frizzera L.M., Forbito P.R., Crapiste G.H. Wax composition of sunflower seed oils. *J. of the American Oil Chemists' Society*. 2002. 79(8). P. 763–768.
16. Baumler E.R., Crapiste G.H., Carelli A.A. Sunflower-oil wax reduction by seed solvent washing. *J. of the American Oil Chemists' Society*. 2007. 84(7). P. 603–608. doi: 10.1007/s11746-007-1074-0
17. Morrison W.H. Variation in the wax content of sunflower seed with location and hybrid. *J. of the American Oil Chemists' Society*. 1983. 60(5). P. 1013–1014. doi: 10.1007/BF02660219
18. Garces R., Andres-Gil C., Venegas-Caleron M. et al. Characterization of sunflower seed and oil wax ester composition by GC/MS, a final evaluation. *Food Science & Technology*. 2022. 173(3): 114365. doi: 10.1016/j.lwt.2022.114365