

УДК 664.38

DOI: 10.15587/2312-8372.2020.198765

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ЕКСТРАГУВАННЯ ХЛОРОГЕНОВОЇ КИСЛОТИ ЗІ СОНЯШНИКОВОГО ШРОТУ НА СТУПІНЬ ЇЇ ВИЛУЧЕННЯ

Лабейко М. А., Гладкий Ф. Ф., Бочкарев С. В., Мазаєва В. С., Литвиненко О. А., Овсяннікова Т. О., Жирнова С. В., Ситнік Н.С.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ЭКСТРАКЦИИ ХЛОРОГЕНОВОЙ КИСЛОТЫ ИЗ ПОДСОЛНЕЧНОГО ШРОТА НА СТЕПЕНЬ ЕЕ ИЗВЛЕЧЕНИЯ

Лабейко М. А., Гладкий Ф. Ф., Бочкарев С. В., Мазаева В. С., Литвиненко Е. А., Овсянникова Т. А., Жирнова С. В., Сытник Н.С.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE CHLOROGENIC ACID EXTRACTION PROCESS FROM SUNFLOWER MEAL ON THE DEGREE OF ITS EXTRACTION

Labeiko M., Gladkii F., Bochkarev S., Mazaeva V., Litvinenko E., Ovsiannikova T., Zhyrnova S., Sytnik N.

Об'єктом дослідження є ефективність вилучення хлорогенової кислоти – природного антиоксиданту, в залежності від умов її екстрагування зі соняшникового шроту. Основною проблемою даного питання є той факт, що на ступінь екстрагування вказаної фенольної сполуки впливає багато факторів, таких як ступінь подрібнення продукту, вид сировини, спосіб екстрагування, природа розчинника-екстрагенту, температура та тривалість процесу екстрагування, гідромодуль в системі «сировина-екстрагент» тощо. Вплив кожного з цих параметрів потребує детального розгляду та відповідних досліджень. Це дасть змогу визначити оптимальні значення вказаних параметрів процесу екстрагування та підвищити ефективність вилучення хлорогенової кислоти.

В даній роботі сировиною для отримання хлорогенової кислоти обрано шрот з насіння соняшнику – дешеву вторину сировину олієжирових виробництв. У попередніх дослідженнях визначено, що високоефективним екстрагентом вказаного антиоксиданту виступає розчин етилового спирту з концентрацією 60 %, а оптимальною температурою процесу екстрагування хлорогенової кислоти зі соняшникового шроту є температура кипіння екстрагенту. В результаті даного дослідження вивчено закономірність впливу на ступінь вилучення хлорогенової кислоти таких технологічних параметрів, як гідромодуль в системі «шрот – розчин етилового спирту 60 %» (далі за текстом – «шрот – екстрагент») та тривалість процесу екстрагування. Експерименти по визначенню залежності ступеня вилучення хлорогенової

кислоти від гідромодулю в системі «шрот – екстрагент» та тривалості екстрагування проведено відповідно до плану повного факторного експерименту. Для планування експерименту та обробки даних застосовані математичні методи з використанням програмних пакетів Microsoft Office Excel 2003 (USA) та Stat Soft Statistica v6.0 (USA).

Вказана в роботі залежність являє собою квадратичну функцію, яка прогнозує збільшення вмісту хлорогенової кислоти під час екстрагування за умови збільшення гідромодуля в системі «шрот – екстрагент» з 1:5 до 1:10 та зменшення часу екстрагування з 60 хв. до 30 хв. Встановлено, що для максимально можливого збільшення ступеня вилучення хлорогенової кислоти зі шроту насіння соняшнику, оптимальна величина гідромодуля екстрагування – 1:10, тривалості екстрагування – 30 хв. Отримані результати дають змогу збільшити ступінь вилучення хлорогенової кислоти зі соняшникового шроту з 2,46% до 5,58%. Це вказує на можливість збільшення ефективності вилучення антиоксиданту більше ніж у 2 рази.

Ключові слова: екстрагування соняшникового шроту, хлорогенова кислота, гідромодуль, ефективний антиоксидант, тривалість екстрагування.

Объектом исследования является эффективность извлечения хлорогеновой кислоты – природного антиоксиданта, в зависимости от условий ее экстрагирования из подсолнечного шрота. Основной проблемой данного вопроса является тот факт, что на степень экстрагирования указанного фенольного соединения влияет большое количество факторов, таких как степень измельчения продукта, вид сырья, способ экстрагирования, природа растворителя-экстрагента, температура и продолжительность процесса экстракции, гидромодуль в системе «сырье-экстрагент» и другие. Влияние каждого из этих параметров требует детального рассмотрения и соответствующих исследований. Это даст возможность определить оптимальные значения указанных параметров процесса экстрагирования и повысить эффективность извлечения хлорогеновой кислоты.

В данной работе сырьем для получения хлорогеновой кислоты выбран шрот из семян подсолнечника – дешевое вторичное сырье масложировых производств. В предыдущих исследованиях определено, что высокоэффективным экстрагентом указанного антиоксиданта выступает раствор этилового спирта с концентрацией 60%, а оптимальной температурой процесса экстракции хлорогеновой кислоты из подсолнечного шрота является температура кипения экстрагента.

В результате данного исследования изучена закономерность влияния на степень извлечения хлорогеновой кислоты таких технологических параметров, как гидромодуль в системе «шрот – раствор этилового спирта 60%» (далее по тексту – «шрот – экстрагент») и продолжительность процесса экстрагирования. Эксперименты по определению зависимости степени извлечения хлорогеновой кислоты от гидромодуля в системе «шрот – экстрагент» и продолжительности экстрагирования проведено в соответствии с планом полного факторного эксперимента. Для планирования эксперимента и обработки данных применены

математические методы с использованием программных пакетов Microsoft Office Excel 2003 (USA) и Stat Soft Statistica v6.0 (USA).

Указанная в работе зависимость представляет собой квадратичную функцию, которая прогнозирует увеличение содержания хлорогеновой кислоты во время экстрагирования при увеличении гидромодуля в системе «шрот – экстрагент» с 1:5 до 1:10 и уменьшение времени экстрагирования с 60 мин. до 30 мин. Установлено, что для максимально возможного увеличения степени извлечения хлорогеновой кислоты из шрота семян подсолнечника, оптимальная величина гидромодуля экстракции – 1:10, продолжительность экстрагирования – 30 мин. Полученные результаты дают возможность увеличить степень извлечения хлорогеновой кислоты из подсолнечного шрота с 2,46 % до 5,58 %. Это указывает на возможность увеличения эффективности извлечения антиоксиданта более чем в 2 раза.

Ключевые слова: экстрагирование подсолнечного шрота, хлорогеновая кислота, гидромодуль, эффективный антиоксидант, продолжительность экстрагирования.

1. Вступ

Хлорогенова кислота [1, 2] та її похідні належать до поліфенольних сполук. Крім того вони є ефективними природними антиоксидантами [3, 4]. Серед інших властивостей можна виділити виражену антибактеріальну, протівірусну, мембранопротекторну, гіпоглікемічну активність, а також здатність інгібувати ряд ферментів [5, 6].

Слід також зазначити, що хлорогенова кислота у досить великій кількості міститься у шроті насіння соняшнику, а шрот, у свою чергу, належить до вторинної олійної сировини, що має низьку собівартість [7].

У дослідженнях, представлених в роботах [8, 9] окреслено коло інноваційних технічних рішень щодо дослідження ефективності ряду розчинників для екстрагування хлорогенової кислоти зі соняшникового шроту. А також її подальшої хімічної модифікації для використання в якості антиоксиданту в харчовій та косметичній галузях промисловості. Грунтуючись на результатах проведених експериментальних досліджень доведено ефективність запропонованих технологічних рішень у порівнянні з існуючими.

В цьому напрямку актуальним подальшим розвитком є аналіз впливу технологічних параметрів процесу екстрагування хлорогенової кислоти зі соняшникового шроту, зокрема величини гідромодулю в системі «шрот – екстрагент». А також тривалості екстрагування водним розчином етилового спирту з концентрацією 60 %, на ступінь вилучення хлорогенової кислоти. Отримані результати мають збільшити ефективність і знизити собівартість розроблених технологічних рішень щодо вилучення антиоксидантів з вторинних продуктів олієжирового виробництва, що підкреслює актуальність обраного напряму досліджень.

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктом дослідження є ефективність вилучення хлорогенової кислоти – природного антиоксиданту, в залежності від умов її екстрагування зі соняшникового шроту. Для

виявлення особливостей цієї залежності проводився технологічний аудит, метою якого було визначення зміни вмісту хлорогенової кислоти в екстрагенті в залежності від технологічних параметрів процесу її екстрагування зі соняшникового шроту.

Принципова можливість вилучення хлорогенової кислоти зі соняшникового шроту істотно залежить від величини гідромодулю в системі «шрот – екстрагент», а також тривалості обробки соняшникового шроту водним розчином етилового спирту з концентрацією 60 %. Тому основним напрямком удосконалення процесу вилучення хлорогенової кислоти є визначення оптимальних параметрів процесу, що дозволить підвищити ефективність виробництва антиоксидантів з такої дешевої вторинної сировини олієжирового виробництва, як соняшниковий шрот.

3. Мета та задачі дослідження

Метою дослідження є удосконалення технологічного процесу екстрагування хлорогенової кислоти зі соняшникового шроту на основі моделювання та оптимізації фізико-хімічних процесів екстрагування вказаної фенольної сполуки водним розчином етилового спирту з концентрацією 60 %. Це дозволить підвищити ефективність виділення хлорогенової кислоти.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

1. Вивчити закономірності впливу величини гідромодулю в системі «шрот – екстрагент» та тривалості обробки соняшникового шроту водним розчином етилового спирту з концентрацією 60 % на ступінь вилучення хлорогенової кислоти.
2. Встановити оптимальний діапазон величин обраних факторів технологічної обробки соняшникового шроту для максимально можливого вилучення хлорогенової кислоти.

4. Дослідження існуючих рішень проблеми

Серед основних напрямків вилучення хлорогенової кислоти з рослинної сировини, виявлених в ресурсах світової наукової періодики, можуть бути виділені наступні:

- вилучення за допомогою органічних розчинників та водно-спиртових розчинів [10];
- вилучення з використанням ультразвуку [11, 12];
- вилучення за допомогою НВЧ-генераторів (надвисокочастотне випромінювання) [13, 14].

Якщо порівнювати вказані методи вилучення хлорогенової кислоти, слід вказати, що кожен з цих методів має переваги та недоліки. Під час використання органічних розчинників слід враховувати їх вартість та, часто, токсичність (наприклад, метанол [15]). Крім того, традиційні методики потребують, як правило, значних витрат часу. Перехід до використання ультразвукових методів та НВЧ-генераторів дозволяє значно скоротити час. Згідно з роботами [13, 16], скорочення часу екстракції досягається за рахунок зміни структури рослинної матриці в результаті дії ультразвукових та НВЧ- хвиль. Однак, це потребує додаткових витрат на модернізацію експериментальної бази, яку велика кількість науковців не в змозі собі дозволити. Цей факт пояснює, чому більшість дослідників у своїх експериментах щодо вилучення хлорогенової кислоти все ж таки віддають перевагу використанню органічних розчинників та водно-спиртових розчинів [17]. Стосовно останніх слід відзначити їх малу токсичність та помірну вартість. Крім того, слід акцентувати увагу на дуже важливому моменті. Спирт та його розчини – досить селективні розчинники. Під час екстрагування хлорогенової кислоти, до її

екстракту переходять інші супутні речовини, у тому числі і білки. Шрот з насіння соняшнику містить досить мало спирторозчинних білків, тому більша їх кількість все ж таки залишається у шроті. Такий шрот можна буде використовувати для отримання харчових рослинних білків з подальшим їх використанням для підвищення біологічної цінності харчових продуктів [18, 19].

Також, слід зазначити, що спиртові розчини дають змогу виділити чисту хлорогенову кислоту у кристалічному вигляді на відміну від багатьох інших органічних розчинників, таких як розчини янтарної та соляної кислот, що наведено у дослідженнях [20]. Наприклад, результатами досліджень у роботі [20] показана висока ефективність слабких розчинів янтарної кислоти, однак недоліком цього методу є неможливість у подальшому розділити комплекс янтарної та хлорогенової кислот, що унеможливило отримання чистої хлорогенової кислоти.

В даній роботі за результатами попередніх досліджень [21] в якості ефективного екстрагенту хлорогенової кислоти обрано розчин спирту етилового з концентрацією 60 %.

У процесі екстрагування хлорогенової кислоти зі соняшникового шроту слід враховувати, що технологічний процес отримання цієї фенольної сполуки окрім складу розчинника-екстрагента піддається також впливу ряду інших різноманітних факторів, таких як:

- температура та тривалість процесу;
- масове співвідношення компонентів у системі «шрот – екстрагент» – гідромодуль;
- ступінь подрібнення продукту тощо.

В роботі [22] визначено наступні технологічні параметри процесу екстрагування хлорогенової кислоти у кавітаційній установці: гідромодуль – 1:5, температура процесу – 60 С, тривалість – 18 хв. При цьому в якості вихідної сировини використовували макуху насіння соняшнику, а в якості екстрагента – комбінований розчинник (спирт етиловий-гексан). Якщо звернути увагу на такі показники, як гідромодуль та тривалість екстрагування, можна відмітити, що вони досить економічні, однак в роботі використано специфічне обладнання. Представляють інтерес також результати роботи [23], де наведено, що оптимальними параметрами процесу екстрагування хлорогенової кислоти з любистку лікарського є наступні показники: гідромодуль – 1:20, тривалість – 60 хв., екстрагент – розчин спирту етилового з концентрацією 70 %. Проте, отримані результати не можна назвати економічно перспективними.

Таким чином, результати аналізу існуючих рішень проблеми дозволяють зробити висновок про те, що єдиної думки щодо можливості збільшення ефективності виділення хлорогенової кислоти з рослинної сировини, не існує. Вибір найбільш прийняттого технічного рішення для кожного окремого об'єкта може базуватися на результатах, отриманих в модельних системах, що досліджуються. Однак перспективним з точки зору технологічних і економічних аспектів є варіювання таких технологічних параметрів, як гідромодуль екстракції та тривалість процесу [22, 23].

5. Методи досліджень

Для проведення досліджень використано наступні матеріали та реактиви:

- шрот соняшниковий згідно з ДСТУ 4638:2006;

– вода дистильована згідно з ГОСТ 6709-72. Прозора рідина без кольору та запаху. $M_r=18,0$ г/моль; $T_{пл}=0$ °С; $T_{кип}=100$ °С; $d_{420}=1$ г/см³;

– спирт етиловий згідно з ГОСТ 18300-87. Безбарвна рідина із слабким «алкогольним» запахом. $M_r=46,07$ г/моль; $T_{пл}=-114,3$ °С; $T_{кип}=78,4$ °С; $d_{420}=0,789$ г/см³; $n_{D15}=1,3614$.

Фізико-хімічні показники соняшникового шроту визначено за стандартними методиками. Процес екстрагування хлорогенової кислоти проводили зі соняшникового шроту з наступними показниками якості: вологість шроту – 10,6 %, олійність шроту – 0,4 %, масова частка сирого протеїну – 39,82 %, масова частка сирової клітковини – 22,26 %. Вміст хлорогенової кислоти в екстракті визначали методом титрування перманганатом калію [22]. Отримані результати щодо ступеня вилучення хлорогенової кислоти знаходилися в межах 2,46–5,58 %.

Експерименти по визначенню залежності ступеня вилучення хлорогенової кислоти від гідромодулю в системі «шрот – екстрагент» та тривалості екстрагування проведено відповідно до плану повного факторного експерименту. Для планування експерименту та обробки даних застосовані математичні методи з використанням програмних пакетів Microsoft Office Excel 2003 (USA) та Stat Soft Statistica v6.0 (USA). Для дослідження залежності ступеня вилучення хлорогенової кислоти зі соняшникового шроту від величини гідромодулю в системі «шрот – екстрагент» та тривалості екстрагування водним розчином етилового спирту з концентрацією 60 % використовували трирівневий план для двухфакторної функції відгуку. Дослідження проводили в трикратному повторенні. За заданого ступеня ймовірності $P=95$ %, відносна помилка, при визначенні вмісту хлорогенової кислоти у соняшниковому шроті та в екстракті етилового спирту, не перевищувала 2 %.

6. Результати дослідження

Дані щодо впливу гідромодулю в системі «шрот – екстрагент» та тривалості екстрагування на ефективність вилучення хлорогенової кислоти зі соняшникового шроту наведено в табл. 1.

Графік на рис. 1 ілюструє взаємний вплив гідромодулю та тривалості екстрагування на ступінь вилучення хлорогенової кислоти в результаті екстрагування зі соняшникового шроту.

На основі експериментальних досліджень (рис. 1) створено статистичну модель (1) залежності ступеня вилучення хлорогенової кислоти зі соняшникового шроту від гідромодулю (НМ) та тривалості екстрагування (τ) при величині достовірності апроксимації $R>0,975$. За допомогою даної моделі можна прогнозувати ступінь вилучення хлорогенової кислоти зі соняшникового шроту від означених факторів. Основні характеристики шроту наступні: вологість шроту – 10,6 %, олійність шроту – 0,4 %, масова частка сирого протеїну 39,82 %, масова частка сирової клітковини – 22,26 %.

Таблиця 1

Залежність ефективності вилучення хлорогенової кислоти зі соняшникового шроту від гідромодулю в системі «шрот – екстрагент» та тривалості екстрагування

№ досліджу	Вологість шроту, W , %	Олійність шроту, O , %	Гідромодуль, HM , од.	Тривалість екстрагування, τ , хв.	Ступінь вилучення хлорогенової кислоти, Y , %
1	10,6	0,4	1:5	30	3,45
2				45	3,15
3				60	2,46
4			1:8	30	4,96
5				45	4,68
6				60	4,56
7			1:10	30	5,58
8				45	5,14
9				60	4,94

Результати досліджень представлено на рис. 1.

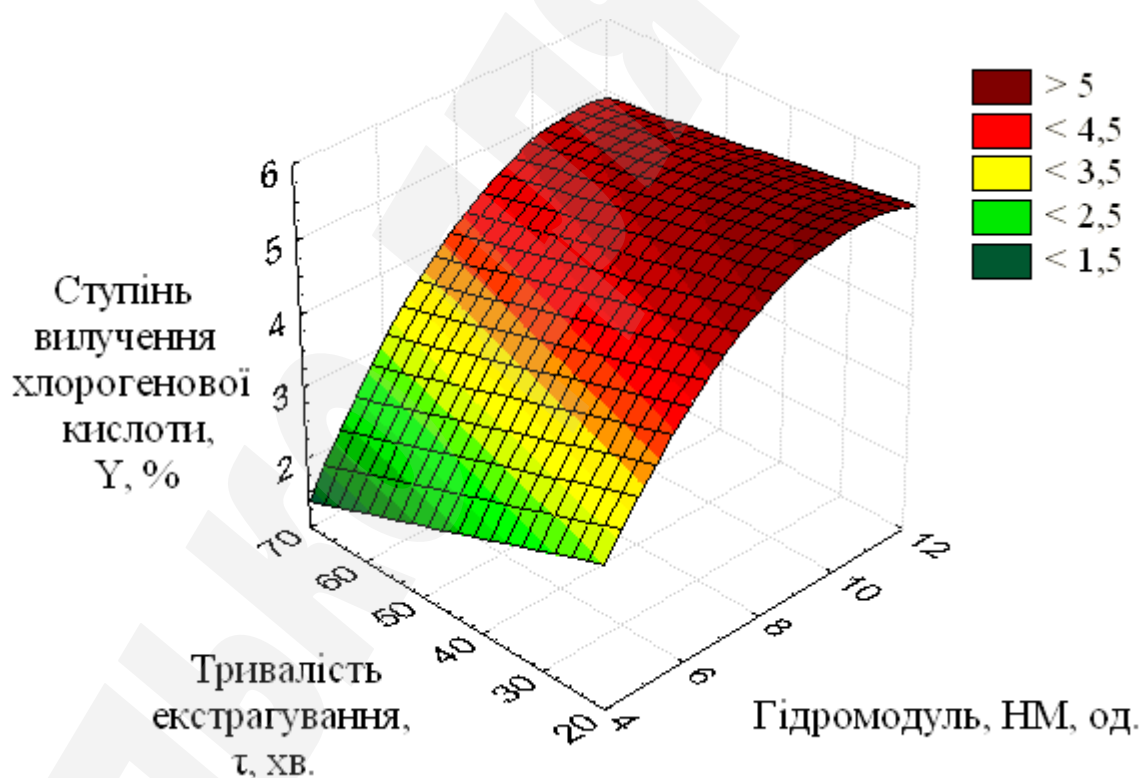


Рис. 1. Залежність ступеня вилучення хлорогенової кислоти зі соняшникового шроту від гідромодулю в системі «шрот – екстрагент» та тривалості екстрагування

$$Y(HM, \tau) = -0,5089 + 1,3033 \cdot HM - 0,0437 \cdot \tau - 0,0656 \cdot HM^2 + 0,0027 \cdot HM \cdot \tau + 7,4074E - 6 \cdot \tau^2 \quad (1)$$

де $Y(HM, \tau)$ – ступінь вилучення хлорогенової кислоти зі соняшникового шроту, %; HM – гідромодуль, од.; τ – тривалість екстрагування, хв.

Коефіцієнти даного рівняння регресії визначали, використовуючи метод найменших квадратів. Значущість окремих коефіцієнтів регресії здійснювали за допомогою критерію Ст'юдента (t) шляхом перевірки гіпотези про рівність нулевідповідного параметра рівняння. Розраховане абсолютне значення критерію Ст'юдента $t(6)$ при оцінці окремих коефіцієнтів регресії порівнювали з його критичним табличним значенням $t_{\text{табл}}(6)=2,447$ при рівні значущості $p=0,05$ та числі ступенів вільності для множинної регресії $df=6$. Якщо розраховане абсолютне значення критерію Ст'юдента було більшим за його критичне табличне значення, то нульову гіпотезу відхиляли та при імовірності 0,95 (або 95 %) визнавали значення відповідного коефіцієнта рівняння регресії суттєвим. В протилежному випадку – коефіцієнт регресії визнавали незначущим та виключали з рівняння (табл. 2).

Таблиця 2

Дані та висновки щодо визначення значущості коефіцієнтів рівняння регресії залежності ступеня вилучення хлорогенової кислоти зі соняшникового шроту від гідромодулю та тривалості екстрагування

Коефіцієнт рівняння регресії при	Значення коефіцієнту в натуральних величинах	Значення критерію Ст'юдента		Розрахункова імовірність нульової гіпотези для коефіцієнту рівняння регресії (p -level)	Висновок про значущість коефіцієнту
		$t(6)$	$t_{\text{табл}}(6)$		
<i>Intercept</i>	-0,5089	3,95411	2,447	0,007502	Значущий
<i>HM</i>	1,3033	10,33891		0,000048	Значущий
<i>T</i>	-0,0437	-3,08640		0,021486	Значущий

Для оцінювання якості моделі та повноти впливу обраних факторів визначали коефіцієнт детермінації R^2 . Отримане значення $R^2=0,95$ дозволяє зробити висновок про вельми значний вплив (більший за 95 %) варіацій гідромодулю та тривалості екстрагування на варіації ступеня вилучення хлорогенової кислоти. Для встановлення значущості моделі регресії розраховували критерій Фішера (F), виходячи з припущення, що рівняння статистично не значиме ($R^2=0$; нульова гіпотеза). Розраховане значення критерію Фішера становило $F(2, 6)=58,209$ і було більшим за його критичне табличне значення $F_{\text{табл}}(2, 6)=5,14$ при рівні значущості $p=0,05$ та числі ступенів вільності $df_1=2$ та $df_2=6$. Даний результат дозволяє відхилити нульову гіпотезу та при імовірності 0,95 (або 95 %) визнати значення коефіцієнта детермінації $R^2=0,95$ суттєвим, а модель – значущою. Слід зазначити, що рівняння, яке отримано шляхом апроксимації даних, адекватно описує залежність в інтервалі значень гідромодулю – 1:5–1:10 та тривалості екстрагування – 30–60 хв.

З експериментальних даних видно, що відбувається збільшення ступеня вилучення хлорогенової кислоти під час екстрагування її зі соняшникового шроту з

2,46–3,45 % до 4,94–5,58 %. Це спостерігається при збільшенні гідромодулю екстрагування в системі «шрот – розчинник» з 1:5 до 1:10 та при зменшенні часу екстрагування з 60 хв. до 30 хв. Отримані дані свідчать про те, що задля підвищення ефективності процесу виділення хлорогенової кислоти слід знайти економічно обгрунтоване співвідношення гідромодулю та часу екстрагування.

Звертає на себе увагу той факт, що ступінь вилучення хлорогенової кислоти досягає максимального значення в даному експерименті – 5,58 % за наступних умов: гідромодуль – 1:10, тривалість екстрагування – 30 хв. Отримані параметри процесу дозволяють зробити висновок, що в перші 30 хв. у спиртовий розчин переходить максимальна кількість хлорогенової кислоти, тому подальше екстрагування не має сенсу. Навпаки, при продовженні експерименту частина спиртового розчину випаровується, що призводить до згущення екстракту та у подальшому до затримки частини хлорогенової кислоти у шроті. Особливо добре це спостерігається при низькому значенні гідромодулю 1:5. Причиною даного явища є висока гігроскопічність шроту, тому під час контакту з водою, або різноманітними розчинами, шрот набухає та збільшується у розмірах в декілька разів. При збільшенні значення гідромодулю та незмінній тривалості процесу ступінь вилучення хлорогенової кислоти зростає, що можна пояснити збільшенням кількості спиртового розчину для обробки шроту, що набухає.

На основі аналізу рівняння (1) та графічної залежності встановлені оптимальні параметри технологічного процесу екстрагування хлорогенової кислоти зі соняшникового шроту :гідромодуль – 1:10, тривалість екстрагування – 30 хв. Це дозволить підвищити ефективність обробки соняшникового шроту з метою вилучення цінних біологічно активних речовин і, відповідно, знизити собівартість отримання хлорогенової кислоти.

7. SWOT-аналіз результатів досліджень

Strengths. Серед сильних сторін даного дослідження треба відзначити отримані результати за оптимальними діапазонами технологічних параметрів обробки соняшникового шроту – гідромодулю в системі «шрот – екстрагент» та тривалості екстрагування хлорогенової кислоти. За результатами аналізу сучасної наукової літератури на сьогоднішній день такі результати не виявлені. Саме з цієї причини в технології переробки вторинних продуктів олієжирових виробництв важко обрати пріоритетний метод вилучення хлорогенової кислоти. Використання отриманих даних дозволяє вирішити задачу вибору оптимальних умов екстрагування цієї біологічно активної сполуки з метою підвищення ефективності процесу та зниження його собівартості. Варто відзначити економічну привабливість обраного способу обробки соняшникового шроту для харчової технології.

Weaknesses. Слабка сторона даного дослідження пов'язана з тим, що вибір оптимальних параметрів екстракції хлорогенової кислоти зі соняшникового шроту, як і раніше, залежить від ряду характеристик вихідної сировини (наприклад, фізико-хімічні показники). І, відповідно, буде варіюватися при зміні даних характеристик сировини. Тому для запобігання зазначеного недоліку слід особливу увагу приділяти якості соняшникового шроту, що накладає особливі зобов'язання на виробника.

Opportunities. Дослідження особливостей екстракції хлорогенової кислоти з соняшникового шроту можуть отримати свій розвиток в фармацевтичній промисловості, а також при переробці рослинної сировини, що містить хлорогенову кислоту, в білкові продукти (ізоляти, концентрати, знежирене борошно, текстуровані білки). Саме таким чином може бути вирішена задача підвищення органолептичних характеристик рослинних білкових продуктів.

Threats. Складнощі у впровадженні отриманих результатів дослідження можуть бути пов'язані з таким фактором, як менеджмент підприємств харчової промисловості. Вкладення додаткових коштів, навіть незначних, в придбання необхідного обладнання та відсутність відчутного результату впливає на позицію осіб, які мають приймати рішення. Цей ризик має під собою всі підстави, так як отримана статистична модель процесу екстракції хлорогенової кислоти з соняшникового шроту в залежності від гідромодулю та тривалості процесу, як було сказано вище, вимагає стандартизації ряду показників сировини.

Таким чином, SWOT-аналіз результатів досліджень дозволяє визначити основні напрямки для успішного досягнення поставленої мети досліджень. Серед них:

- розробка науково обґрунтованих рекомендацій до стандартизації показників соняшникового шроту для виробництва хлорогенової кислоти;
- проведення оцінки ефективності екстракції хлорогенової кислоти зі соняшникового шроту за обґрунтованих параметрів технологічного процесу в промислових умовах;
- розробка технологічного рішення щодо отримання хлорогенової кислоти зі соняшникового шроту.

8. Висновки

1. В ході експериментальних досліджень вивчено закономірності впливу гідромодулю в системі «шрот – екстрагент» та тривалості екстрагування хлорогенової кислоти зі соняшникового шроту водним розчином етанолу концентрацією 60 % на ступінь вилучення продукту. Дана залежність являє собою квадратичну функцію, яка прогнозує збільшення вмісту хлорогенової кислоти при екстрагуванні за умови збільшення гідромодулю екстрагування в системі «шрот-розчинник» з 1:5 до 1:10 та при зменшенні часу екстрагування з 60 хв. до 30 хв.

2. Встановлено оптимальний діапазон величин обраних факторів технологічної обробки для максимально можливого збільшення ступеню вилучення хлорогенової кислоти з сировини. Оптимальна величина гідромодуля екстрагування – 1:10, тривалість екстрагування – 30 хв.

References

1. Budryn, G., Zaczyńska, D., Żyżelewicz, D., Grzelczyk, J., Zduńczyk, Z., Juśkiewicz, J. (2017). Influence of the Form of Administration of Chlorogenic Acids on Oxidative Stress Induced by High fat Diet in Rats. *Plant Foods for Human Nutrition*, 72 (2), 184–191. doi: <https://doi.org/10.1007/s11130-017-0608-3>
2. Raudone, L., Raudonis, R., Liaudanskas, M., Janulis, V., Viskelis, P. (2017). Phenolic antioxidant profiles in the whole fruit, flesh and peel of apple cultivars grown in Lithuania. *Scientia Horticulturae*, 216, 186–192. doi: <http://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.005>

3. Yang, D., Jiao, L., Zhang, B., Du, G., Lu, Y. (2017). Development of a new chlorogenic acid certified reference material for food and drug analysis. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 140, 169–173. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jpba.2017.03.026>
4. Zhao, Y., Wang, J., Ballevre, O., Luo, H., Zhang, W. (2011). Antihypertensive effects and mechanisms of chlorogenic acids. *Hypertension Research*, 35 (4), 370–374. doi: <http://doi.org/10.1038/hr.2011.195>
5. McDougall, B., King, P. J., Wu, B. W., Hostomsky, Z., Reinecke, M. G., Robinson, W. E. (1998). Dicaffeoylquinic and Dicaffeoyltartaric Acids Are Selective Inhibitors of Human Immunodeficiency Virus Type 1 Integrase. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 42 (1), 140–146. doi: <http://doi.org/10.1128/aac.42.1.140>
6. Zhao, Y., Geng, C.-A., Ma, Y.-B., Huang, X.-Y., Chen, H., Cao, T.-W. et al. (2014). UFLC/MS-IT-TOF guided isolation of anti-HBV active chlorogenic acid analogues from *Artemisia capillaris* as a traditional Chinese herb for the treatment of hepatitis. *Journal of Ethnopharmacology*, 156, 147–154. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jep.2014.08.043>
7. Lytvynenko, O. A., Hladkyi, F. F., Fediakina, Z. P. (2016). *Vyrobnytstvo kharchovykh form bilkiv iz nasinnia oliinykh kultur*. Kyiv: Ahrarna nauka, 52.
8. Labeiko, M. A., Lytvynenko, O. A., Liubchenko, N. M., Hladkyi, F. F. (2019). Doslidzhennia efektyvnosti riadu rozchynnykiv shchodo mozhlyvosti ekstrahuvannia khlороhenovoi kysloty zi soniashnykovoho shrotu. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «Kharkivskoho politekhnichnoho instytutu»*, 15 (1340), 56–60.
9. Labeiko, M. A., Lytvynenko, O. A., Liubchenko, N. M., Hladkyi, F. F. (2019). Pro zdatnist pryrodnykh antyoksydantiv vplyvaty na okysnennia kharchovykh roslynykh olii. *Intehrovani tekhnolohii ta enerhozberezhennia*, 1, 78–85.
10. Grujic, N., Lepojevic, Z., Srdjenovic, B., Vladic, J., Sudji, J. (2012). Effects of Different Extraction Methods and Conditions on the Phenolic Composition of Mate Tea Extracts. *Molecules*, 17 (3), 2518–2528. doi: <http://doi.org/10.3390/molecules17032518>
11. Yang, Z., Tan, Z., Li, F., Li, X. (2016). An effective method for the extraction and purification of chlorogenic acid from ramie (*Boehmeria nivea* L.) leaves using acidic ionic liquids. *Industrial Crops and Products*, 89, 78–86. doi: <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.05.006>
12. Liu, Q. M., Yang, X. M., Zhan, L. (2010). Optimization of ultrasonic-assisted extraction of chlorogenic acid from *Folium eucommiae* and evaluation of its antioxidant activity. *Journal of Medicinal Plants Research*, 4 (23), 2503–2511.
13. Upadhyay, R., Ramalakshmi, K., Jagan Mohan Rao, L. (2012). Microwave-assisted extraction of chlorogenic acids from green coffee beans. *Food Chemistry*, 130 (1), 184–188. doi: <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.06.057>
14. Radojković, M., Moreira, M. M., Soares, C., Fátima Barroso, M., Cvetanović, A., Švarc-Gajić, J. et al. (2018). Microwave-assisted extraction of phenolic compounds from *Morus nigra* leaves: optimization and characterization of the antioxidant activity and phenolic composition. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 93 (6), 1684–1693. doi: <http://doi.org/10.1002/jctb.5541>

15. Jin, U.-H., Lee, J.-Y., Kang, S.-K., Kim, J.-K., Park, W.-H., Kim, J.-G. et al. (2005). A phenolic compound, 5-caffeoylquinic acid (chlorogenic acid), is a new type and strong matrix metalloproteinase-9 inhibitor: Isolation and identification from methanol extract of *Euonymus alatus*. *Life Sciences*, 77 (22), 2760–2769. doi: <http://doi.org/10.1016/j.lfs.2005.02.028>

16. Klejdus, B., Plaza, M., Šnóbllová, M., Lojková, L. (2017). Development of new efficient method for isolation of phenolics from sea algae prior to their rapid resolution liquid chromatographic–tandem mass spectrometric determination. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 135, 87–96. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jpba.2016.12.015>

17. Da Silveira, T. F. F., Meinhart, A. D., de Souza, T. C. L., Cunha, E. C. E., de Moraes, M. R., Godoy, H. T. (2017). Chlorogenic acids and flavonoid extraction during the preparation of yerba mate based beverages. *Food Research International*, 102, 348–354. doi: <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.098>

18. Ivanova, P., Chalova, V., Koleva, L. et al. (2013). Amino acid composition and solubility of proteins isolated from sunflower meal produced in Bulgaria. *International Food Research Journal*, 20 (6), 2995–3000.

19. Salgado, P. R., Drago, S. R., Molina Ortiz, S. E., Petruccielli, S., Andrich, O., González, R. J., Mauri, A. N. (2012). Production and characterization of sunflower (*Helianthus annuus* L.) protein-enriched products obtained at pilot plant scale. *LWT - Food Science and Technology*, 45 (1), 65–72. doi: <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.07.021>

20. Stepuro, M. V., SHHerbakov, V. G., Lobanov, V. G. (2006). Vliianie razlichnykh faktorov na izvlechenie khlorogenovoi i kofeinoi kislot iz semian podsolnechnika. *Izvestiia vuzov. Pishhevaia tekhnologiya*, 1, 201–207.

21. Labeiko, M., Litvinenko, O., Gladkiy, F., Fedyakina, Z. (2019). Improvement of the technique of quantitative determination of chlorogenic acid in shrot from sunflower seeds. *Bulletin of the National Technical University «KhPI» Series: New Solutions in Modern Technologies*, 10 (1335), 88–92. doi: <http://doi.org/10.20998/2413-4295.2019.10.11>

22. Dobrunov, D. Ye. (2016). *Tekhnolohiia kompleksnoi pererobky soniashnykovoii makukhy z bezlushpynnoho yadra*. Kharkiv, 181.

23. Ovchinnikova, S. Ia. (2013). *Farmakognosticheskoe izuchenie liubistka lekarstvennogo (Levisticum officinale koch.)*. Piatigorsk, 193.

The object of research is the efficiency of extraction of chlorogenic acid - the natural antioxidant, depending on the conditions of its extraction from sunflower meal. The main problem of this issue is the fact that the extraction degree of the specified phenolic compound is influenced by many factors, such as the degree of grinding of the product, the type of raw material, the method of extraction, the nature of the solvent-extractant, the temperature and duration of the extraction process, the hydromodule in the system «raw-extractant» etc. The impact of each of these parameters requires careful consideration and appropriate research. This will determine the optimal values of the specified parameters of the extraction process and increase the efficiency of extraction of chlorogenic acid.

In this work, the raw material for the production of chlorogenic acid is a meal made from sunflower seeds - a cheap second raw material of oil and fat production. Previous studies have found that a high-efficiency extractant of the specified antioxidant is a solution of ethyl alcohol with a concentration of 60 %, and the optimum temperature of the process of extracting chlorogenic acid from sunflower meal is the boiling point of the extractant. As a result of this study, the regularity of the influence on the extraction degree of chlorogenic acid of such technological parameters as the hydromodule in the system «meal - ethyl alcohol solution 60 %» (hereinafter referred to as «meal – extractant») and the duration of the extraction process were studied. Experiments to determine the dependence of the extraction degree of chlorogenic acid on the hydromodule in the system «meal – extractant» and the duration of extraction were carried out in accordance with the plan of the full factor experiment. Mathematical methods using the Microsoft Office Excel 2003 (USA) and Stat Soft Statistica v6.0 (USA) software packages have been applied for experiment planning and data processing.

The dependence indicated in the paper is a quadratic function that predicts an increase in chlorogenic acid content during extraction, with an increase in the hydromodule in the «meal-extractant» system from 1:5 to 1:10 and a decrease in the extraction time from 60 minutes up to 30 minutes. It is established that for the maximum possible increase in the extraction degree of chlorogenic acid from the meal of sunflower seeds, the optimal value of the hydromodule extraction - 1:10, the duration of extraction - 30 minutes. The obtained results allow to increase the extraction degree of chlorogenic acid from sunflower meal from 2.46 % to 5.58 %. This indicates the possibility of increasing the efficiency of extraction of antioxidant more than 2 times.

Keywords: *sunflower meal extraction, chlorogenic acid, hydromodule, effective antioxidant, duration of extraction.*