



UDC 637:523

EXTRACTION OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES FROM ONION PEEL WITH THE SUBCRITICAL WATER IN A STATIC MODE

Valerii A. Sukmanov,^{1,2} Andrey V. Suprun^{1*}¹ Sumy National Agrarian University, 160 H. Kondratieva Str., Sumy, 40021, Ukraine² Poltava State Agrarian Academy, 1/3 Skovorody str. Poltava, 36003, Ukraine

Received 20 February 2021; accepted 30 April 2021; available online 20 July 2021

Abstract

This work is devoted to the study of the use of the subcritical water as an extractant for the extraction of biologically active substances from the yellow onion peel (*Allium cepa*). The aim of the study is to determine the optimal conditions for the extraction of biologically active substances from the yellow onion peel with the subcritical water in static mode. Optimal conditions were determined by changing the parameters of the factors: temperature 145–185 °C, extraction time 10–20 minutes, the ratio of the raw materials mass to the extraction (hydromodule) mass) 1 : 30 – 1 : 60. Other parameters of the factors remained unchanged for each experiment, namely the given pressure of 8 MPa and the degree of raw materials grinding ...0.5 mm. To obtain the samples of onion peel extracts, an experimental setup based on a high-pressure reactor "РВД-2-500" was used. The content of dry substances, the total content of polyphenols, the total content of flavonoids, and antioxidant activity were determined in the obtained samples of extracts. As a result, the highest average value of these indicators was found in the extracts obtained at a temperature of 164 °C, the extraction duration of 20 minutes, and the hydromodule 1 : 32. The static processing of experimental data was performed using the software package STATISTICA 10. In order to optimize the response function, regression equations were obtained. According to the obtained equation, it was concluded that the interaction between the factors was absent. The values of the determination and correlation coefficients were close to unity, which led to the conclusion that the equations were adequate. Subcritical water extraction was compared in efficiency with two other methods. It was found out that the indicators of the extracts obtained by subcritical water extraction were 1.36 and 1.96 times higher than the dry matter content of extracts, 1.66 and 1.28 times higher than the total content of polyphenols, 1.72 and 1.31 times higher than the total content of flavonoids obtained by 70 % ethanol and hot water extraction methods, respectively. Therefore, the extraction of biologically active substances from the yellow onion peel with the subcritical water in a static mode is a good alternative to other extraction methods.

Keywords: onion peel; extraction; subcritical water; biologically active substances; reactor; high pressure.

ЕКСТРАГУВАННЯ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН З ЛУШПИННЯ ЦИБУЛІ СУБКРИТИЧНОЮ ВОДОЮ В СТАТИЧНОМУ РЕЖИМІ

Валерій О. Сукманов,^{1,2} Андрій В. Супрун¹¹ Сумський національний аграрний університет, вул. Герасима Кондратьєва, 160, Суми, Сумська обл., 40021, Україна² Полтавська державна аграрна академія, вул. Сковороди, 1/3, Полтава, Полтавська обл., 36003, Україна

Анотація

Дана робота присвячена дослідженню використання субкритичної води як екстрагента для екстрагування біологічно активних речовин з лушпиння жовтої цибулі (*Allium cepa*). Мета дослідження – визначення оптимальних умов екстрагування біологічно активних речовин з лушпиння жовтої цибулі субкритичною водою у статичному режимі. Оптимальні умови були визначені шляхом зміни параметрів факторів: температури 145–185 °C, тривалості екстрагування 10–20 хв., відношення маси сировини до маси екстрагента (гідромодуль) 1 : 30 – 1 : 60. Інші параметри факторів залишалися незмінними для кожного експерименту, а саме: установлений тиск 8 МПа та ступінь подрібнення сировини ...0.5 мм. Для отримання зразків екстрактів лушпиння цибулі було використано експериментальну установку на базі реактора високого тиску «РВД-2-500». В отриманих зразках екстрактів був визначений вміст сухих речовин, загальний вміст поліфенолів, загальний вміст флавоноїдів та антиоксидантну активність. У результаті найбільше середнє значення цих показників було виявлено в екстрактах, отриманих за температури 164 °C, тривалості екстрагування 20 хв. та гідромодулі 1 : 32. Статистичну обробку експериментальних даних проводили за допомогою програмного пакету STATISTICA 10.

*Corresponding author: e-mail: suprun9111@gmail.com

© 2021 Oles Honchar Dnipro National University

doi: 10.15421/jchemtech.v29i2.225749

З метою оптимізації функції відгуку були отримані рівняння регресії. Згідно з отриманими рівняннями зроблено висновок про відсутність взаємодії між факторами. Значення коефіцієнтів детермінації та кореляції близькі до одиниці, що дозволило зробити висновок про адекватність обраних рівнянь. Ефективність екстрагування субкритичною водою порівнювали з двома іншими методами. Встановлено, що показники екстрактів, отриманих екстрагуванням субкритичною водою, в 1.36 та в 1.96 разів перевищували показники вмісту сухих речовин екстрактів, в 1.66 та в 1.28 перевищували показники загального вмісту поліфенолів, в 1.72 та в 1.31 перевищували показники по загального вмісту флавоноїдів, отриманих методами екстрагування 70 %-вим етанолом та гарячою водою відповідно. Отже, екстрагування біологічно активних речовин з лушпиння жовтої цибулі субкритичною водою в статичному режимі є гарною альтернативою іншим методам екстрагування.

Ключові слова: лушпиння цибулі; екстрагування; субкритична вода; біологічно активні речовини; реактор; високий тиск.

ЭКСТРАГИРОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ЛУКОВОЙ ШЕЛУХИ СУБКРИТИЧЕСКОЙ ВОДОЙ В СТАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

Валерий А. Сукманов,^{1,2} Андрей В. Супрун¹

¹ Кафедра инженерных технологий пищевых производств, Сумской национальной аграрный университет, ул. Герасима Кондратьева 160, Сумы, 40021, Украина

² Кафедра пищевых технологий, Полтавская государственная аграрная академия, улица Сквороды, 1/3, Полтава, 36003, Украина

Аннотация

Данная работа посвящена исследованию использования субкритической воды в качестве экстрагента для извлечения биологически активных веществ из шелухи желтого лука (*Allium séra*). Цель исследования – определение оптимальных условий для извлечения биологически активных веществ из шелухи желтого лука субкритической водой в статическом режиме. Оптимальные условия были определены путем изменения параметров факторов: температуры 145–185 °С, продолжительности экстрагирования 10–20 мин., соотношение массы сырья к массе экстрагента (гидромодуль) 1:30 – 1:60. Другие параметры факторов оставались неизменными для каждого эксперимента, а именно: установленное давление 8 МПа и степень измельчения сырья ...0.5 мм. Для получения образцов экстрактов шелухи лука была использована экспериментальная установка на базе реактора высоко давления «РВД-2-500». В полученных образцах экстрактов были определены: содержание сухих веществ, общее содержание полифенолов, общее содержание флавоноидов и антиоксидантная активность. В результате наибольшее среднее значение этих показателей было определено в экстрактах, полученных при температуре 164 °С, продолжительности экстрагирования 20 мин. и гидромодуле 1:32. Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась с помощью программного пакета STATISTICA 10. С целью оптимизации функции отклика были получены уравнения регрессии. Согласно полученным уравнениям сделан вывод об отсутствии взаимодействия между факторами. Значения коэффициентов детерминации и корреляции близки к единице, что позволило сделать вывод об адекватности использованных уравнений. Эффективность экстрагирования субкритической водой сравнивали с двумя другими методами. Показатели экстрактов, полученных экстрагированием субкритической водой, в 1.36 и в 1.96 раз превышали показатели по содержанию сухих веществ экстрактов, в 1.66 и в 1.28 превышали показатели общего содержания полифенолов, в 1.72 и в 1.31 превышали показатели по общему содержанию флавоноидов, полученных методами экстрагирования 70 %-ным этанолом и горячей водой соответственно. Итак, экстрагирование биологически активных веществ из шелухи желтого лука субкритической водой в статическом режиме является хорошей альтернативой другим методам извлечения.

Ключевые слова: шелуха лука; экстрагирование; субкритическая вода; биологически активные вещества; реактор; высокое давления.

Вступ

Вирощування жовтої цибулі (*Allium séra*) розповсюджено не лише на території України, а і у всьому світі. Цибуля має сильний характерний аромат та присмак, тому вона є важливим інгредієнтом у харчуванні людини [1]. У результаті переробки даної культури щорічно у світі утворюється більше ніж 0.55 млн. т відходів. Лушпиння цибулі (ЛЦ) – відходи, що утворились під час висихання та самовільного відлучення поверхневого шару цибулини при зберіганні. За утилізації ЛЦ виникає ряд проблем, оскільки воно не підходить в якості кормів для тварин та для удобрення посівних земель, а, отже, в

подальшому стає екологічною проблемою, бо зазвичай потрапляє на сміттєзвалище [2]. Однак доведено, що ЛЦ містить велику кількість біологічно активних речовин (БАР), більшу, ніж у їстівній частині цибулини [3; 4]. У ЛЦ виявлено велику кількість різних флавоноїдів, в першу чергу таких як: глікозид кверцитину (рутин), кверцетин [5]. Дані флавоноїди мають високу антиоксидантну активність, мають протизапальну, антигістамінну, антиалергічну, протипухлинну здатність. Крім того, вони мають антитромбозну активність та здатність попереджувати серцево-судинні захворювання [6–9]. Враховуючи вищевказане, доцільно

використовувати ЛЦ як сировину для отримання екстрактів, що містять у собі БАР.

Зазвичай для екстрагування БАР використовують органічні розчинники, котрі потребують працезатратних процедур для їх видалення в процесі виготовлення екстрактів. Крім того, самі розчинники мають високу ціну. Отже, існує потреба в розробці екологічно чистих та бюджетних методів екстрагування. Було проведено дослідження щодо екстрагування БАР з ЛЦ різними методами: мацерацією, за допомогою мікрохвиль [10] та ультразвуком [11]. Але ці методи трудомісткі та недостатньо ефективні. Мацерація характеризується значною тривалістю проходження процесу, як і екстрагування за допомогою мікрохвиль, а за екстрагування ультразвуком спостерігається занадто високий рівень деградації БАР [12]. Альтернативою даним методам виступає екстрагування субкритичною водою (СКВ).

Екстрагування СКВ – ефективний та екологічний метод, в якому в ролі екстрагенту використовується рідка вода за температури вище атмосферної точки кипіння (100 °С, 0.1 МПа), але нижче критичної точки кипіння води (374 °С, 22.1 МПа). СКВ залишається в рідкому стані за критичної температури через прикладений зовнішній тиск, який піднімає точку кипіння. Основною перевагою СКВ як розчинника є здатність змінювати фізико-хімічні властивості (діелектричну сталу, дифузійну властивість та густину) за умови збільшення температури і тиску [13; 14]. Діелектрична стала води є мірою її полярності або здатності ізолювати іони один від одного. За підвищення температури та тиску до субкритичних умов, знижуються діелектрична стала води, полярність, в'язкість та збільшується дифузія, що призводить до більшої розчинності неполярних речовин, збільшення масопередачі та посилення властивостей води як розчинника [15; 16].

На даний час проведено велику кількість досліджень щодо екстрагування СКВ БАР з вторинної сировини рослинного походження [17–19]. Аналіз літературних джерел показав, що дослідження пов'язані з використанням СКВ для отримання екстрактів з ЛЦ проводились, але в незначній кількості. Науковцями досліджувався вплив зміни температури, тривалості екстрагування [20–23], рН в середовищі СКВ [20], ступеня подрібнення сировини [20] та інтенсивності імпульсного світла [21] на вихід БАР з ЛЦ за

екстрагування СКВ у динамічному режимі. Оптимальні параметри становили: температура екстрагування 160–170 °С, тривалість екстрагування 15–20 хв, рН 10, ступінь подрібнення сировини – найменший. Також доведено, що зі збільшенням інтенсивності імпульсного світла збільшується вихід БАР в процесі екстрагування СКВ [22]. Порівнювалась ефективність екстрагування СКВ БАР з ЛЦ у динамічному режимі зі статичним [24]. Вихід кверцетину в динамічному режимі екстрагування СКВ ЛЦ за температури 250 °С та тривалості екстрагування 60 хв. склав 21.6 мг/г ЛЦ. У статичному режимі вихід кверцетину за температури 120 °С та тривалості екстрагування 60 хв., склав 20.7 мг/г ЛЦ. Різниця між виходом кверцетину в статичному та динамічному режимах за даних умов невелика. Але з вищевказаних джерел відомо, що температура, яка використовувалась у статичному режимі (120 °С) замала для оптимальної. Отже за умови невеликої кількості досліджень процесу екстрагування СКВ БАР з ЛЦ, в особливості у статичному режимі, стає необхідним дослідження процесу екстрагування СКВ БАР з ЛЦ у статичному режимі.

Метою даного дослідження було визначення оптимальних умов для екстрагування БАР СКВ з ЛЦ у статичному режимі шляхом вивчення впливу на вихід БАР наступних параметрів: температури (145...185 °С), тривалість екстрагування (10...20 хв), гідромодуля (30 : 1...60 : 1), за тиску 8 МПа та ступеня подрібнення сировини ...0.5 мм.

Експериментальна частина

Матеріали та обладнання. ЛЦ отримали від магазину продуктових товарів м. Суми. ЛЦ землю та пилом, пошкоджені шкідниками, хворобами та дією мікроорганізмів піддавали інспекції, а саме: видалляли занадто забруднені частини ЛЦ. Проінспектоване ЛЦ занурювали в посудину та замочували в воді протягом 5 хв. для розмочування пилу та бруду. Далі воду, в якій замочували, видалляли шляхом віджиму через перфоровану посудину та промивали ЛЦ проточною водою, до тих пір, доки вода, що стікає через отвори перфорованої посудини з ЛЦ, не стане візуально чистою. ЛЦ піддавали сушінню у лабораторній сушарці протягом 20 год. за 60 °С до 5 % вмісту вологи. Висушене ЛЦ подрібнювали в кухонному блендері та за

допомогою розділювача типу «грохот» отримували фракцію $s = 0.5$ мм по діагоналі.

Всі реактиви, хімічні речовини, включаючи деіонізовану воду та стандартні БАР, що використовувались для проведення дослідів, були придбані в ТОВ «ХІМЛАБОРРЕАКТИВ» м. Бровари. Для отримання екстрактів використовували реактор високого тиску (РВТ) РВД-2-500 (НПП «УКРОРГСИНТЕЗ», м. Київ, Україна). Для фотоколориметричного аналізу зразків екстрактів використовували фотоелектричний концентраційний колориметр КФК-2-УХЛ4.2 (АТ «ЗОМЗ», м. Сергеев Посад, Росія). Для визначення вмісту сухих речовин використовувалася сушильна шафа СЭШ-ЗМК (ТОВ «Укрналітика», м. Харків, Україна).

Екстрагування субкритичною водою.
Екстрагування проводили на

експериментальній установці на базі РВТ РВД-2-500 (рис. 1). На вагах зважували необхідну кількість ЛЦ, деіонізовану воду розігрівали до температури $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ та зважували необхідну кількість для встановленого гідромодуля 1 : 30; 1 : 45; 1 : 60 (г, ЛЦ : г, води). Термоблок 16 помістили на магнітну мішалку 14 з підігрівом «РІВА-04.3», та регулятором 2 встановили температуру нагріву платформи $250\text{ }^{\circ}\text{C}$. У термоблок встановили стакан реактора 3 та розігрівали до температури $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, видалили стакан реактора, термоблок залишили на магнітній мішалці для подальшого розігріву. У стакан реактора заливали деіонізовану воду, помістили обертовий елемент магнітної мішалки 15, додали підготоване ЛЦ, суміш перемішали.

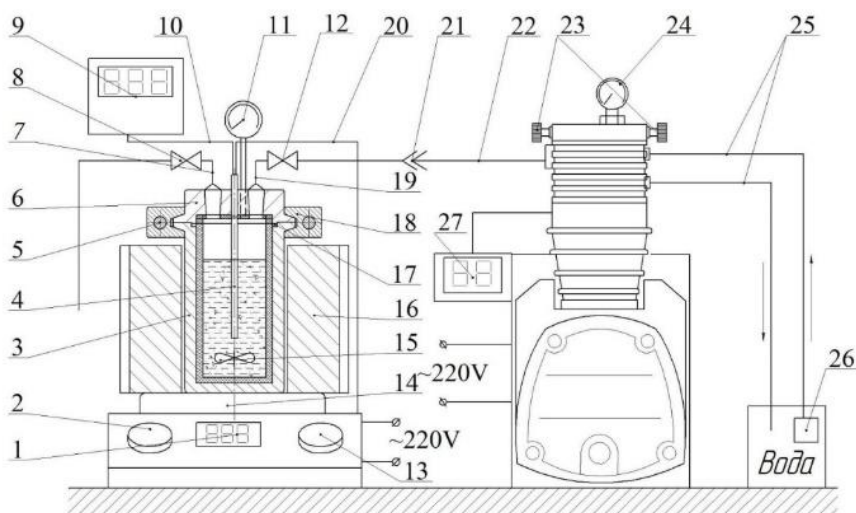


Fig. 1. Schematic representation of the experimental installation, based on HPR «РВД-2-500»

Рис. 1. Схематичне зображення експериментальної установки на базі РВТ «РВД-2-500»

У стакан реактора встановили фторопластову прокладку 17, далі на стакан встановили кришку реактора 6. На вінці стакану та кришки реактора встановили хомут 18 та рівномірно затягнули гвинтами 5. За допомогою з'єднання високого тиску 21 під'єднали шланг 22 високого тиску компресора до впускного каналу 19 РВТ. Закрили вентиль 8 випускного каналу 7, відкрили вентиль 12 впускного каналу 19. Помістили насос 26 системи охолодження компресора разом з елементами водопроводу 25 в ємкість з холодною водою. Відкрутили спускні гвинти 23 компресора, увімкнули компресор та плавно закрутили їх. Тиск нагнітали до 8 МПа, керуючись показниками манометра реактора 11 та манометра компресора 24. По закінченню нагнітання

тиску вимкнули компресор, закрили вентиль 12 впускного каналу 19, спустили тиск зі шлангу високого тиску компресора, відкручуючи спускні гвинти 23 компресора. Роз'єднали з'єднання високого тиску, вимкнули живлення компресора. Встановили РВТ в розігрітий термоблок 16, встановили в термоблок 16 провід 20 основного датчика температури, котра відображається на дисплеї 1, або провід 10 допоміжного датчика температури 9. Обидва датчики відображують температуру всередині РВТ. Регулятором 2 відповідну температуру екстрагування, увімкнули нагрів. Регулятором 13 магнітної мішалки виставили необхідну кількість обертів, увімкнули мішалку. Задали регулятором 2 відповідну температуру екстрагування, увімкнули нагрів. Регулятором 13 магнітної мішалки виставили необхідну кількість обертів, натиском на

регулятор увімкнули мішалку. Регулятором задали температуру екстрагування, відповідну вимогам експерименту, увімкнули нагрів.

Після екстрагування вимкнули підігрів та магнітну мішалку. Видалили РВТ з термоблоку, установили на підставку. Охолоджували реактор, доки його температура не досягла приблизно 90...95 °С. За допомогою вентиля спускного каналу повільно зменшили тиск з РВТ. Відкрутили гвинти, зняли хомут, кришку зі стакану реактора. Перелили вміст стакану в ємкість для збору готових екстрактів, видалили обертовий елемент магнітної мішалки та залишили охолоджуватись до кімнатної температури. Охолоджені екстракти фільтрували через фільтрувальний папір та проводили подальші дослідження.

Екстрагування традиційними методами. Екстрагування БАР з ЛЦ 70 % етанолом (ЕЛ), проводили за температури 60 °С протягом 3 годин. Під час екстрагування суміш перемішували (~3 рази на 1 год.). Екстрагування гарячою водою (ГВ) проводили протягом 1 години за температури 100 °С, суміш перемішували як при екстрагуванні етанолом. По завершенню екстрагування суміш охолоджували до кімнатної температури в ексікаторі та відфільтровували екстракт, після чого досліджували його [25].

Визначення вмісту сухих речовин (ВСР). Аналізовані екстракти лабораторною піпеткою наливали в просушену та зважену скляну ємність. Потім зважували ємність з екстрактом на аналітичних вагах та поміщали до сушильної шафи. Зразки висушували до постійної маси за температури 60 °С. Висушування і зважування повторювали, доки різниця в масі не досягне 0.001 г. Після висушування ємності зі зразками поміщували в ексікатор для охолодження до кімнатної температури. Охолоджені зразки зважували. Розрахунок ВСР проводили за формулою:

$$ВСР = \frac{(m_в - m_т)100}{m_б - m_т}, \% \quad (1)$$

де, $m_б$ – маса ємності зі зразком екстракту; $m_т$ – маса ємності; $m_в$ – маса ємності з висушеним зразком.

Визначення загального вмісту поліфенольних сполук (ЗВПФ). Для визначення ЗВПФ використано метод спектрофотометрії з реактивом Folin-Ciocalteu. Метод заснований на відновленні суміші фосфорно-

вольфрамової і фосфорномолібденової кислот у лужному середовищі, і він є основним методом для визначення загального фенольного індексу в рослинній сировині та харчових продуктах [26]. Кількісне визначення загального вмісту поліфенольних сполук проведено в перерахунку на галлову кислоту.

У мірну колбу на 50 мл поміщали 0.5 мл отриманих екстрактів і доводили об'єм розчину до мітки екстрагентом. У мірну колбу на 25 мл поміщували 2 мл отриманого розчину, додавали 1 мл реактиву Folin-Ciocalteu, 10 мл води і доводили об'єм розчину до мітки 10.6 %-вим розчином натрію карбонату. Через 30 хвилин вимірювали оптичну густину досліджуваного розчину за довжині хвилі 760 нм у кюветі з товщиною шару 10 мм, використовуючи як розчин (рідину? Бо вода таки не розчин) для порівняння – воду.

Паралельно вимірювали оптичну густину стандартного розчину галлової кислоти. У мірну колбу місткістю 100 мл поміщали 0.05 г галлової кислоти, розчиняли у воді і доводили об'єм розчину до мітки. У мірну колбу на 100 мл поміщали 5 мл отриманого розчину і доводили об'єм до мітки (стандартний розчин).

Загальний вміст поліфенольних сполук в екстрактах визначали за формулою:

$$ЗВПФ = \frac{A_x m_{ст} 2500}{A_{ст} V_x}, \text{ мг/мл} \quad (2)$$

де, A_x – оптична густина досліджуваного розчину; $A_{ст}$ – оптична густина стандартного розчину галлової кислоти; $m_{ст}$ – маса навішення галлової кислоти (г), V_x – об'єм досліджуваного екстракту (мл).

Визначення загального вмісту флавоноїдів (ЗВФ). У мірну колбу на 100 мл поміщали 2 мл досліджуваних екстрактів і доводили об'єм розчину до мітки 70 %-вим етанолом. У мірну колбу місткістю 25 мл поміщали 2 мл отриманого розчину, додавали 2 мл 1 %-го розчину алюмінію хлориду в 95 %-му етанолі, 0.5 мл 33 %-го розчину оцтової кислоти і доводили об'єм розчину 95 %-ним етанолом до мітки. Для приготування розчину порівняння в іншу колбу місткістю 25 мл поміщали 2 мл досліджуваного розчину, 0.5 мл 33 %-го розчину оцтової кислоти і доводили до мітки 95 % етанолом. Вимірювання

оптичної густини проводили через 20 хв за довжини хвилі 410 нм в кюветі з товщиною шару 10 мм [27].

Паралельно вимірювали оптичну густину стандартного розчину рутин. Для цього 2 мл 0.02 %-го стандартного розчину поміщали в мірну колбу 25 мл, додавали 2 мл 1 %-го розчину алюмінію хлориду, 0.5 мл 33 %-го розчину оцтової кислоти і доводили до мітки 95 %-ним етанолом. Розчин порівняння – 95 %-вий етанол.

Загальний вміст флавоноїдів в досліджуваних екстрактах в перерахунку на рутин вираховували за формулою:

$$\text{ЗВФ} = \frac{A_x C_{\text{ст}} 5000}{A_{\text{ст}} V_x}, \text{ мг/мл} \quad (3)$$

де A_x – оптична густина досліджуваного розчину; $A_{\text{ст}}$ – оптична густина стандартного розчину рутин; $C_{\text{ст}}$ – концентрація стандартного розчину рутин (%), V_x – об'єм досліджуваного екстракту (мл).

Визначення антиоксидантної активності в екстрактах. В отриманому екстракті визначали антиоксидантну активність (АОА) титруванням [28]. Для визначення об'єму розчину кверцетину та екстракту ЛЦ, витраченого на титрування 1 мл 0.05 Н розчину KMnO_4 , 0.05 г кверцетину розчинили в 40 мл 95 %-го етанолу, перенесли в мірну колбу ємністю 100 мл, довели до мітки спиртом та перемішали. У колбу для титрування ємністю 50 мл внесли 8 мл дистильованої води, 1 мл H_2SO_4 , 1 мл 0.05 Н розчину KMnO_4 , титрували з мікробюретки

розчином кверцетину та екстрактом ЛЦ до втрати рожевого кольору. Далі проводили розрахунок АОА за формулою:

$$B = \frac{C_k V_k}{V_x}, \text{ мг/мл} \quad (4)$$

де B – концентрація біологічно активних речовин, що відновлює характер досліджуваного об'єкта, витраченого на титрування 1 мл 0.05 Н розчину перманганату калію, мг/мл; C_k – концентрація кверцетину в розчині, який витрачено на титрування 1 мл 0.05 Н розчину перманганату калію, мг/мл; V_k – об'єм розчину кверцетину, який витрачено на титрування 1 мл 0.05 Н розчину KMnO_4 , мл; V_x – об'єм розчину досліджуваного об'єкта, який витрачено на титрування 1 мл 0.05 Н розчину перманганату калію, мл;

Планування експерименту та статистичний аналіз. Вплив основних параметрів екстрагування БАР вивчали за зміни температури в інтервалі 145–185 °С, тривалості екстрагування 10–20 хв. та гідромодуля 1:30–1:60. Раніше проведені дослідження [29] щодо впливу на ефективність екстрагування СКВ ЛЦ зміни параметрів тиску та фракції подрібнення вказують, що оптимальні значення факторів екстрагування становили: тиск $P = 8$ МПа, фракція подрібнення $s = \dots 0.5$ мм. Ці значення факторів використані у плануванні експерименту як незмінні (табл. 1). Кожен набір параметрів був повторений у трьох однакових експериментах. Для дослідження використовували дробовий факторний план.

Table 1

Experiment planning matrix and optimization parameters

Таблиця 1

Матриця планування експерименту та параметри оптимізації

№ досл.	Фактори					Параметри оптимізації			
	Температура $t, ^\circ\text{C}$	Тривалість τ , хв.	Гідромодуль W	Фракція S , мм	Тиск p , МПа	ВСР, %	ЗВПФ, мг/мл	ЗВФ, мг/мл	АОА, мг/мл
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	y_1	y_2	y_3	y_4
1.	145	10	1:30	...0.5	8	0.77	120.36	5.34	3.293
2.	145	15	1:60			0.76	106.64	5.16	3.182
3.	145	20	1:45			0.91	153.76	7.44	4.588
4.	165	10	1:60			0.99	161.2	7.8	4.81
5.	165	15	1:45			0.98	157.48	7.62	4.699
6.	165	20	1:30			1.02	163.68	7.92	4.884
7.	185	10	1:45			0.73	102.92	4.98	3.071
8.	185	15	1:30			0.86	147.56	7.14	4.403
9.	185	20	1:60			0.74	104.16	5.04	3.108

Статистична обробка експериментальних даних проводилась за допомогою програмного пакету STATISTICA 10.

Результати та їх обговорення

В отриманих екстрактах визначали ВСР, ЗВПФ, ЗВФ та АОА отримані результати наведені в таблиці 1 ($y_1...y_4$). Дослідження кожного екстракту проводили тричі.

З метою оптимізації функції відгуку були отримані рівняння регресії (5–8):

$$BCP = -12.7825 + 0.1655t - 0.0005\tau + 0.0140W - 0.0005t\tau + 0.0049tW - 0,0001\tau W \quad (5)$$

$$ЗВПФ = -2226 + 30.63t - 0.10\tau - 12.53W + 0.43t\tau + 1.29tW - 0.02\tau W \quad (6)$$

$$ЗВФ = -112.3950 + 1.553t - 0.005\tau - 0.8W - 0.027t\tau + 0.089tW - 0,001\tau W \quad (7)$$

$$AOA = -69.6524 + 0.9575t - 0.0030\tau - 0.4933W + 0.0168t\tau + 0.0551tW - 0.0008\tau W \quad (8)$$

Згідно з отриманими рівняннями можна зробити висновок, що взаємодія між факторами відсутня. Адекватність рівнянь (5–8) перевіряли методом дисперсійного аналізу, результати якого наведені в табл. 2.

Дані, наведені в табл. 2, та значення коефіцієнту детермінації (R^2) та кореляції (r), що близькі до одиниці, дозволяють зробити висновок про адекватність рівнянь 5–8.

Table 2

Dispersion analysis of equations

Таблиця 2

Дисперсійний аналіз рівнянь

Фактор		ВСР				
		Сума квадратів, SS	Ступінь свободи, df	Середнє значення квадрата, MS	F-критерій (критерій Фішера)	Рівень значущості, p
Температура (K)	t	0.002017	1	0.002017	0.2373	0.65664
Температура (L)	t	0.081339	1	0.081339	10.7813	0.081566
Тривалість τ (K)		0.05400	1	0.005400	0.715	0.486622
Тривалість τ (L)		0.000089	1	0.000089	0.01478	0.223472
Гідромодуль (K)	W	0.004267	1	0.004267	0.56554	0.530494
Гідромодуль (L)	W	0.000556	1	0.000556	0.07364	0.81155
Чиста похибка		0.015089	2	0.007544		
Загальна сума квадратів		0.108756	8			
Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,86126$						
Коефіцієнт кореляції $r = 0,92804$						
ЗВПФ						
Температура (K)	t	1942.560	1	1942.560	18.91790	0.074007
Температура (L)	t	2921.537	1	2921.537	28.45180	0.033396
Тривалість τ (K)		16.401	1	16.401	0.15972	0.728052
Тривалість τ (L)		229.837	1	229.837	2.23830	0.273287
Гідромодуль (K)	W	172.378	1	172.378	1.67872	0.324476
Гідромодуль (L)	W	33.949	1	33.949	0.33062	0.623360
Чиста похибка		205.367	2	102.684		
Загальна сума квадратів		5522.629	8			
Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0.96281$						
Коефіцієнт кореляції $r = 0.98122$						
ЗВФ						
Температура (K)	t	3.744460	1	3.7444600	9.03620	0.095136
Температура (L)	t	7.44980	1	7.449800	17.97732	0.051377
Тривалість τ (K)		0.03840	1	0.038400	0.09266	0.789571
Тривалість τ (L)		0.92480	1	0.924800	2.23166	0.2737796
Гідромодуль (K)	W	0.69360	1	0.693600	1.67375	0.325021

Гідромодуль (L)	W	0.15680	1	0.156800	0.37838	0.601138
Чиста похибка		0.82880	2	0.414400		
Загальна сума квадратів		13.83680	8			
Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0.9401$						
Коефіцієнт кореляції $r = 0.96959$						
АОА						
Температура (K)	t	1.423988	1	1.423988	9.03620	0.095136
Температура (L)	t	2.832993	1	2.832993	7.97732	0.051377
Тривалість (K)	c τ	0.014603	1	0.014603	0.09266	0.789571
Тривалість (L)	τ (L)	0.351681	1	0.351681	2.23166	0.273796
Гідромодуль (K)	W	0.263761	1	0.263761	1.67375	0.325021
Гідромодуль (L)	W	0.059628	1	0.059628	0.37830	0.601138
Чиста похибка		0.3151174	2	0.157587		
Загальна сума квадратів		5.261828	8			
Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0.9401$						
Коефіцієнт кореляції $r = 0.96959$						

Описаний рівняннями 5–8 сукупний вплив факторів (температури, тривалості екстрагування та гідромодуля) на ВСР, ЗВПФ, ЗВФ, та АОА отриманих екстрактів, представлений на рис. 2–5.

Досліджено вплив температури екстрагування в інтервалі 145–185 °C на вихід БАР при екстрагуванні СКВ. Показники ВСР, ЗВПФ, ЗВФ та АОА значно більші у температурному діапазоні 160–170 °C (рис. 2–5 А). За підвищення температури вище 170 °C показники екстрактів зменшуються, що вказує на зменшення виходу БАР. Дані результати подібні до раніше проведених дослідів авторами [20–24]. Це пов'язано з деградацією БАР в екстрактах за високих температур [30; 31]. Також це вплинуло на органолептичні показники екстракту: отриманий за температури 185 °C екстракт менш має менш інтенсивне забарвлення, ніж той, що отриманий за температури 165 °C, тривалість екстрагування та гідромодуль були однаковими (рис. 6). Отримані результати вказують, що температура 164 °C є оптимальною для екстрагування СКВ БАР з ЛЦ.

Визначення оптимальної тривалості екстрагування процесу проводили протягом 10, 15 і 20 хв. Показники ВСР, ЗВПФ, ЗВФ та АОА збільшувались зі збільшенням тривалості екстрагування (рис. 2–5 Б). Найменші показники були за екстрагування протягом 10 хв., найбільші – за 20 хв. в умовах варіювання температури від 145 до 185 °C, та гідромодулі від 1 : 30 до 1 : 60. З аналізу даних встановили, що оптимальна тривалість екстрагування СКВ БАР з ЛЦ становить 20 хв.

Зміна гідромодуля також суттєво впливає на вихід БАР з ЛЦ в процесі екстрагуванні СКВ. Показники ВСР, ЗВПФ, ЗВФ та АОА за гідромодуля 1 : 30 значно більші, ніж за 1 : 45 та 1 : 60, в умовах варіювання температури від 145 до 185 °C та тривалості екстрагування від 10 до 20 хв. (рис. 2-5 А, Б). Ці результати пов'язані зі збільшенням маси сировини відносно маси екстрагента. Однак, якщо екстрагента замало, сировина вбере в себе всю масу екстрагента, що приведе до пригнічення процесу масообміну. Отже, результати вказують, що оптимальні значення гідромодуля для екстрагування СКВ БАР з ЛЦ становлять 1 : 32.

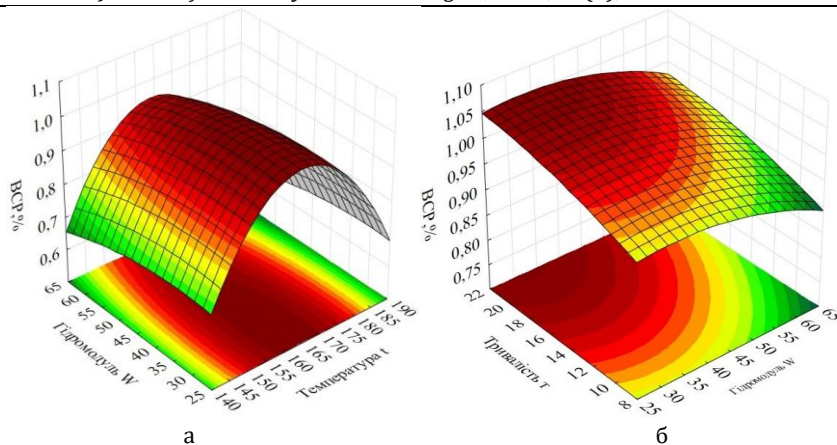


Fig. 2. Dependences of DMC extracts obtained by SCW extraction on temperature, extraction time and *hydromodule*
 a – dependence of DMC on the *hydromodule* and temperature; b – dependence of DMC on the extraction time and *hydromodule*.

Рис. 2. Залежності ВСР екстрактів, отриманих екстрагуванням СКВ від температури, тривалості екстрагування та гідромодуля.

а – залежність ВСР від гідромодуля та температури; б – залежність ВСР від тривалості екстрагування та гідромодуля;

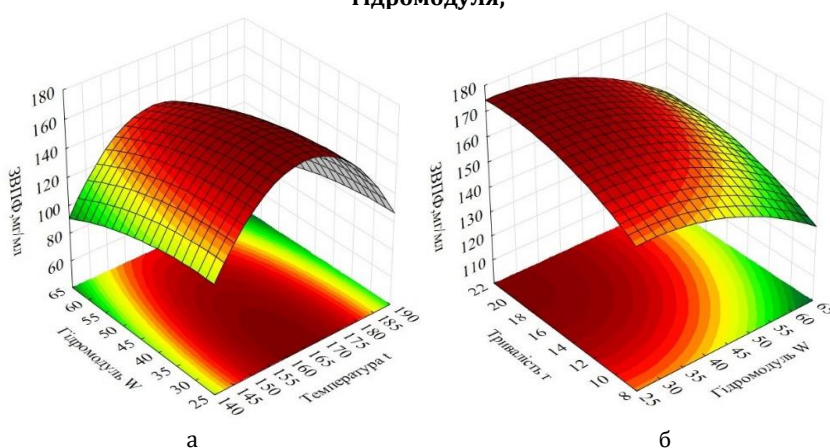


Fig. 3. Dependences of TPPC extracts obtained by SCW extraction on temperature, extraction time and *hydromodule*
 a – dependence of TPPC on the *hydromodule* and temperature; b – dependence of TPPC on the extraction time and *hydromodule*.

Рис. 3. Залежності ЗВПФ екстрактів, отриманих екстрагуванням СКВ від температури, тривалості екстрагування та гідромодуля.

а – залежність ЗВПФ від гідромодуля та температури; б – залежність ЗВПФ від тривалості екстрагування та гідромодуля;

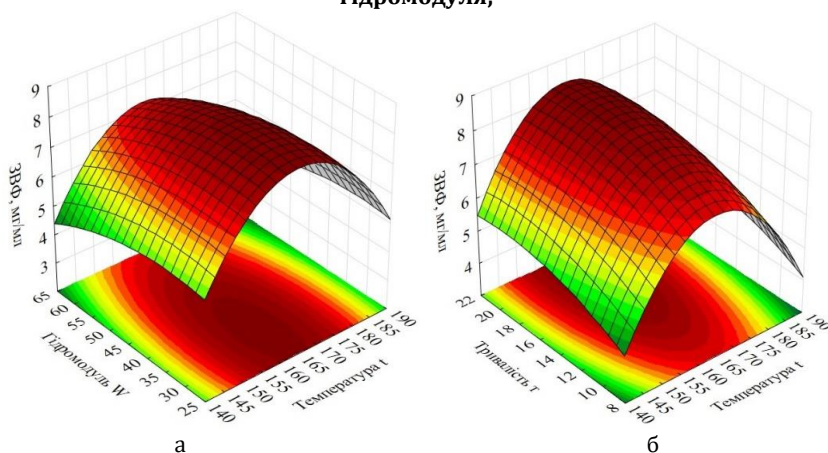


Fig. 4. Dependences of TFC extracts obtained by SCW extraction on temperature, extraction time and *hydromodule*
 a – dependence of TFC on the *hydromodule* and temperature; b – dependence of TFC on the extraction time and temperature.

Рис. 4. Залежності ЗВФ екстрактів, отриманих екстрагуванням СКВ від температури, тривалості екстрагування та гідромодуля.

а – залежність ЗВФ від гідромодуля та температури; б – залежність ЗВФ від тривалості екстрагування та температури;

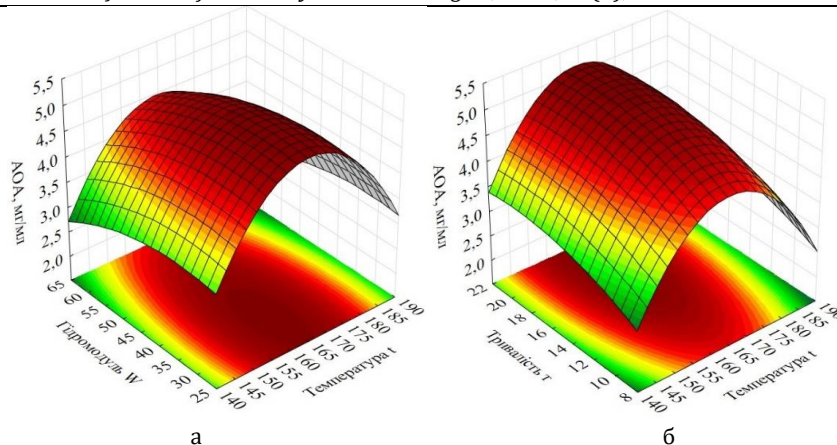


Fig. 5. Dependences of AOA extracts obtained by SLE extraction on temperature, extraction duration and hydromodule
 a – dependence of AOA on the hydromodule and temperature; b – dependence of AOA on the extraction time and temperature.

Рис. 5. Залежності АОА екстрактів, отриманих екстрагуванням СКВ від температури, тривалості екстрагування та гідромодуля.

а – залежність АОА від гідромодуля та температури; б – залежність АОА від тривалості екстрагування та температури.

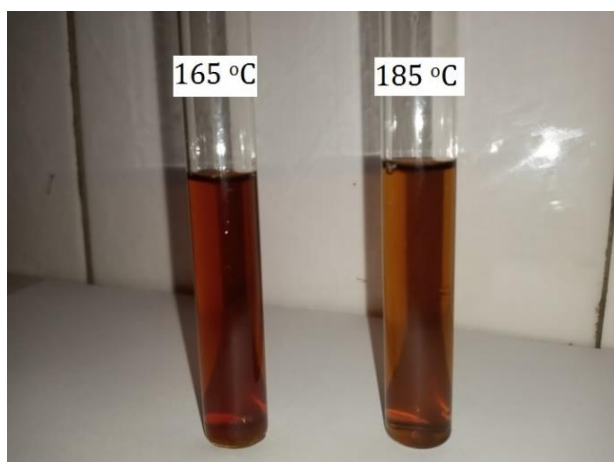


Fig. 6. Comparison of color extracts of OP obtained at different temperatures of SCW extraction
 Рис. 6. Порівняння кольору екстрактів ЛЦ отриманих за різних температур екстрагуванням СКВ

Порівняння екстрагування СКВ з іншими методами екстрагування. Показники ефективності екстрагування СКВ порівнювали з екстрагуванням 70 %-им ЕЛ та ГВ (100 °C). Умови екстрагування наведені в табл. 3. Екстрагування 70 %-им ЕЛ та ГВ здійснювалися за набагато нижчих температури та тиску, ніж екстрагування СКВ, але протягом тривалого часу. В отриманих екстрактах визначали ВСР, ЗВПФ, ЗВФ.

Результати показали, що СКВ екстрагує більше БАР з ЛЦ, ніж ЕЛ 70 % та ГВ (рис. 7). ВСР екстрактів, отриманих ГВ на 0.23 %, перевищував вміст отриманих за допомогою 70 %-го ЕЛ, а ВСР, отриманих екстрагуванням СКВ, був вищим на 0.27 %, ніж в екстрактах, отриманих способом екстрагування ГВ.

Table 3

Extraction parameters by different types of extractants

Таблиця 3

Параметри екстрагування різними методами екстрагування

Параметри	Екстрагент		
	СКВ	ЕЛ 70 %	ГВ
Температура t, °C	164	60	100
Тривалість τ, хв	20	180	60
Гідромодуль W	1:32	1:32	1:32
Тиск p, МПа	8	0.101325	0.101325
Фракція S, мм	...0.5	...0.5	...0.5

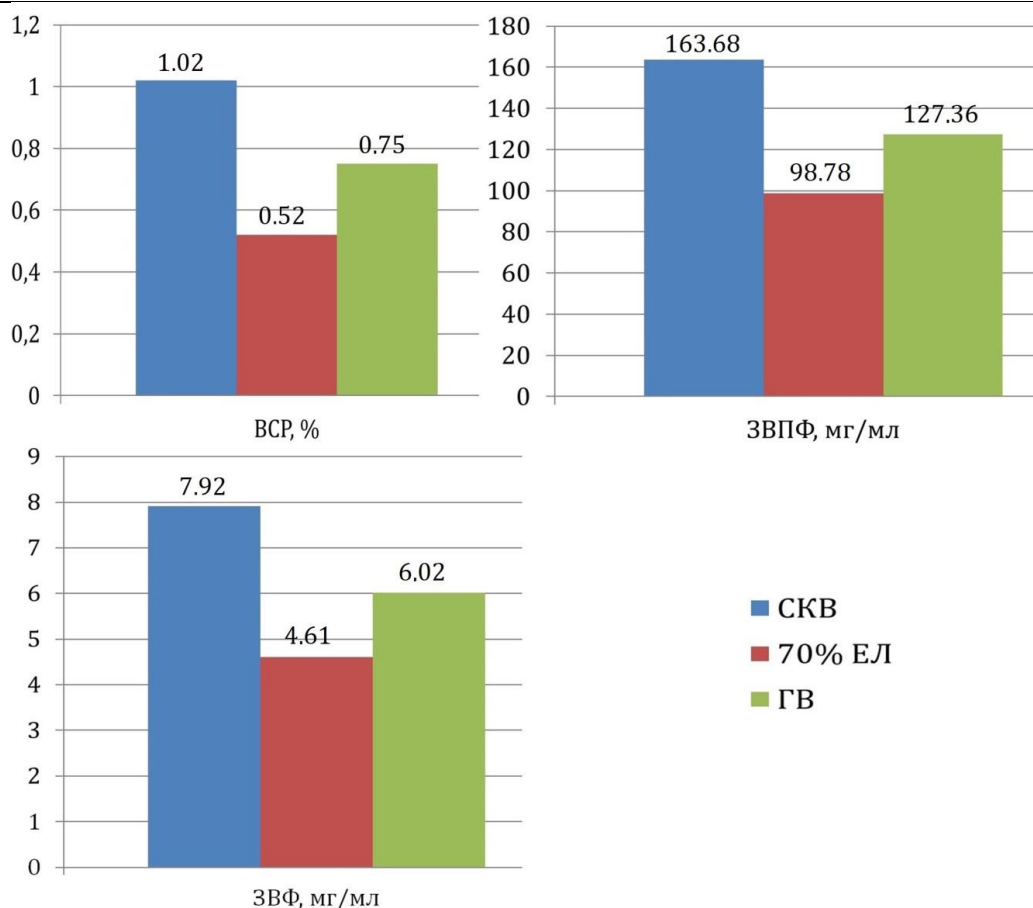


Fig. 7. Comparison of the results of different extraction methods
Рис. 7. Порівняння результатів різних методів екстрагування

ЗВПФ екстрактів, отриманих ГВ, на 28.58 мг/мл перевищував вміст отриманих за допомогою 70 %-го ЕЛ, а ЗВПФ отриманих екстрагуванням СКВ, був вищим на 36.32 мг/мл, ніж в екстрактах, отриманих способом екстрагування ГВ. ЗВФ екстрактів, отриманих ГВ на 1.41 мг/мл, перевищував вміст отриманих за допомогою 70 %-го ЕЛ, а ЗВФ, отриманих екстрагуванням СКВ, був вищим на 1.9 мг/мл, ніж в екстрактах, отриманих способом екстрагування ГВ. Ці результати вказують на те, що висока температура і тиск підвищують здатність води екстрагувати полярні сполуки. Полярність екстрагента повинна відповідати полярності цільової речовини, що екстрагується. Отже, тип розчинника є найважливішим фактором, що визначає ефективність екстрагування. Результати дослідження свідчать, що отримання екстрактів ЛЦ екстрагуванням СКВ є гарною альтернативою традиційним методам та методам екстрагування органічними розчинниками.

Висновки

Екстрагування СКВ у статичному режимі було успішно використано для екстрагування

БАР з ЛЦ. Отримані наступні оптимальні параметри: температура 164 °С, тривалість екстрагування 20 хв, гідромодуль 1 : 32. ВСР в екстракті, отриманому за оптимальних параметрів, склав 1.01 %, ЗВПФ – 163.24 мг/мл, ЗВФ – 7.87, АОА – 4.79 мг/мл. У порівнянні з іншими методами екстрагування показники екстрактів, отриманих екстрагуванням СКВ, були значно вищими. Екстрагування СКВ в статичному режимі є гарною альтернативою іншим методам екстрагування.

Список літератури

- [1] Traditional and modern uses of onion bulb (*Allium cepa* L.): a systematic review / J. D. Teshika, A. M. Zakariyyah, T. Zaynab, [at al.] // *Critical reviews in food science and nutrition*. - 2019. - Vol.59, N 1. - P. 39-70.
- [2] Onion skin waste as a valorization resource for the by-products quercetin and biosugar / I. S. Choi, E. J. Cho, J. H. Moon, H. J. Bae // *Food Chemistry*. - 2015. - Vol. 188. - P. 537-542.
- [3] Rodrigues A. S. Onions: a source of flavonoids / A. S. Rodrigues, D. P. Almeida, J. Simal-Gándara, // *Flavonoids: From Biosynthesis to Human Health*. - 2017. - P. 439.
- [4] Optimization of extraction process of antioxidant compounds from yellow onion skin and their use in functional bread production / T. Piechowiak, K. Grzelak-

- Błaszczak, R. Bonikowski, M. Balawejder // LWT. – 2020. – Vol. 117. – P. 108614.
- [5] Sharma K. Economical and environmentally-friendly approaches for usage of onion (*Allium cepa* L.) waste / K. Sharma, N. Mahato, S. H. Nile // Food & function. – 2016. – Vol.7, N 8. – P. 3354–3369.
- [6] Karak P. Biological activities of flavonoids: an overview // International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. – 2019. – Vol. 10, N 4. – P. 1567–1574.
- [7] Antioxidant activities of quercetin and its complexes for medicinal application / D. Xu, M.J. Hu, Y.Q. Wang, Y. L. Cui // Molecules. – 2019. – Vol. 24, N. 6. – P. 1123.
- [8] Utilization of quercetin and quercetin glycosides from onion (*Allium cepa* L.) solid waste as an antioxidant, urease and xanthine oxidase inhibitors / S.H. Nile, A.S. Nile, Y. S. Keum, K. Sharma // Food chemistry. – 2017. – Vol.235. – P. 119–126.
- [9] Nayak A. An overview of the recent trends on the waste valorization techniques for food wastes / A. Nayak, B. Bhushan // Journal of environmental management. – 2019. – Vol.233. – P. 352–370.
- [10] Microwave-assisted extraction of flavonoids: a review / W. Routray, V. Orsat // Food and Bioprocess Technology. – 2012. – Vol. 5, N 2. – P. 409–424.
- [11] Ultrasound-assisted extraction of quercetin from onion solid wastes / M. Jang, L. Asnin, S. H. Nile [at al.] // International journal of food science & technology. – 2013. – Vol. 48, N 2. – P. 246–252.
- [12] Different effects of microwave and ultrasound on the stability of (all-E)-astaxanthin / L. Zhao, G. Zhao, F. Chen [at al.] // Journal of agricultural and food chemistry. – 2006. – Vol.54, N 21. – P. 8346–8351.
- [13] Субкритична вода як екстрагент у процесах екстрагування біологічно активних речовин із рослинної сировини / В.О.Сукманов, Ю.М. Петрова, В.Б. Захаревич, А.І. Марінін // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі. – 2015. – N1. – С. 410-429.
- [14] Subcritical water extraction of flavanones from defatted orange peel / D. Lachos-Perez, A. M. Basseggio, P. C. Mayanga-Torres [at al.] // The Journal of Supercritical Fluids. – 2018. – T. 138. – С. 7–16.
- [15] Recent advances in the extraction of bioactive compounds with subcritical water: A review / J. Zhang, C. Wen, H. Zhang // Trends in Food Science & Technology. – 2020. – Vol.95. – P. 183–195.
- [16] Optimization of various extraction methods for quercetin from onion skin using response surface methodology / E. Y. Jin, S. Lim, S. oh Kim [at al.] // Food Science and Biotechnology. – 2011. – Vol.20, N 6. – P. 1727–1733.
- [17] Study of aroma formation from lipids of the fruit raw material / V.Sukmanov, A.Marynin, H. Dubova, A.Bezusov, V.Voskoboinik // Ukrainian Food Journal. – 2016. – Vol. 5. Is. 4. – P. 629–643.
- [18] Research of extraction of biologically active substances from grape pomace by subcritical water / V Sukmanov. V. Zavyalov., A Marynin // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2017. – N 5 (11). – С. 70-80.
- [19] Субкритична екстракція біологічно активних речовин із виноградних вичавок: моногр. / В.О. Сукманов, А.І. Українець, В.Л. Зав'ялов [та ін.] — К.: НУХТ, 2019. —415 с.
- [20] Subcritical water extraction of bioactive compounds from waste onion skin / M.T. Munir, H. Kheirkhah, S. Baroutian [at al.] // Journal of Cleaner Production. – 2018. – Vol.183. – P. 487-494.
- [21] Subcritical water extraction of flavonol quercetin from onion skin / M. J. Ko, C. I. Cheigh, S. W. Cho, M. S. Chung // Journal of Food Engineering. – 2011. – Vol. 102, N 4. – P. 327–333.
- [22] Kim S. W. Extraction of the flavonol quercetin from onion waste by combined treatment with intense pulsed light and subcritical water extraction / S. W. Kim, M. J. Ko, M. S. Chung // Journal of cleaner production. – 2019. – Vol.231. – P. 1192–1199.
- [23] Subcritical Water Extraction of Phenolic Compounds from Onion Skin Wastes (*Allium cepa* cv. Horcal): Effect of Temperature and Solvent Properties / Ó. Benito-Román, B. Blanco, M. T. Sanz, S. Beltrán // Antioxidants. – 2020. – Vol.9, N 12. – P. 1233.
- [24] Лекарь А. В. Извлечение биофлавоноидов из шелухи лука в среде субкритической воды / А. В. Лекарь, О. В. Филонова, С. Н. Борисенко // Сверхкритические флюиды: Теория и практика. – 2012. – Т. 7, N 4. – С. 4–15.
- [25] Antioxidant activities of onion (*Allium cepa* L.) peel extracts produced by ethanol, hot water, and subcritical water extraction / K. A. Lee, K. T. Kim, H. J. Kim [at al.] // Food Science and Biotechnology. – 2014. – Vol. 23, N 2. – P. 615–621.
- [26] Антиоксидантна и антирадикальная активность in vitro экстрактов травы *sanguisorbaofficinalisl.*, собранной в различные фазы развития / Е.М. Мальцева, Н. О. Егорова, И. Н. Егорова, Р. А. Мухамадияров // Медицина в Кузбассе. – 2017. – Т. 16, N 2. – С. 32–37.
- [27] Maltseva E. M. Quantitative determination of total content of flavonoids in the grass of Burnet / E. M. Maltseva, N. O. Egorova, I. N. Egorova // Bulletin of the Ural medical academic science. – 2011. – Vol. 3, N 1. – P. 68.
- [28] Восстановительная способность экстрактов биологически активных веществ лекарственных растений-компонентов эмульсионных систем / О. П. Чжу, Е. Г. Шубенкова, Е. А. Гусева, М. А. Земцова // Динамика систем, механизмов и машин. – 2012. – N 5.
- [29] Сукманов В. О. Пролонгація строків зберігання м'ясних продуктів шляхом включення в їх рецептуру екстракту лушпиння цибулі / В. О. Сукманов, А. В. Супрун // Інноваційні технології та перспективи розвитку м'ясопереробної галузі. – С. 64.
- [30] Alothman M. Antioxidant capacity and phenolic content of selected tropical fruits from Malaysia, extracted with different solvents / M. Alothman, R. Bhat, A. A. Karim // Food chemistry. – 2009. – Vol.115, N3. – P. 785–788.
- [31] Temperature-dependent studies on the total phenolics, flavonoids, antioxidant activities, and sugar content in six onion varieties / K. Sharma, E. Y. Ko, A. D. Assefa [at al.] // Journal of food and drug analysis. – 2015. – Vol. 23, N 2. – P.243–252.

References

- [1] Teshika, J. D., Zakariyyah, A. M., Zaynab, T., Zengin, G., Rengasamy, K. R., Pandian, S. K., & Fawzi, M. M. (2019). Traditional and modern uses of onion bulb (*Allium cepa* L.): a systematic review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 59(1), 39–70. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1499074>
- [2] Choi, I. S., Cho, E. J., Moon, J. H., & Bae, H. J. (2015). Onion skin waste as a valorization resource for the by-products quercetin and biosugar. *Food Chemistry*, 188,

- 537–542.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.05.028>
- [3] Rodrigues, A. S., Almeida, D. P., Simal-Gándara, J., Pérez-Gregorio, M. R. (2017). Onions: a source of flavonoids. *Flavonoids: From Biosynthesis to Human Health*, 439.
<https://doi.org/10.5772/intechopen.69896>
- [4] Piechowiak, T., Grzelak-Błaszczak, K., Bonikowski, R., Balawejder, M. (2020). Optimization of extraction process of antioxidant compounds from yellow onion skin and their use in functional bread production. *LWT*, 117, 108614.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108614>
- [5] Sharma, K., Mahato, N., Nile, S. H., Lee, E. T., Lee, Y. R. (2016). Economical and environmentally-friendly approaches for usage of onion (*Allium cepa* L.) waste. *Food & function*, 7(8), 3354–3369.
<https://doi.org/10.1007/s13205-018-1184-4>
- [6] Karak, P. (2019). Biological activities of flavonoids: an overview. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 10(4), 1567–1574.
[http://dx.doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.10\(4\).1567-74](http://dx.doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.10(4).1567-74)
- [7] Xu, D., Hu, M. J., Wang, Y. Q., Cui, Y. L. (2019). Antioxidant activities of quercetin and its complexes for medicinal application. *Molecules*, 24(6), 1123.
- [8] Nile, S. H., Nile, A. S., Keum, Y. S., Sharma, K. (2017). Utilization of quercetin and quercetin glycosides from onion (*Allium cepa* L.) solid waste as an antioxidant, urease and xanthine oxidase inhibitors. *Food chemistry*, 235, 119–126.
<https://doi.org/10.3390/molecules24061123>
- [9] Nayak, A., Bhushan, B. (2019). An overview of the recent trends on the waste valorization techniques for food wastes. *Journal of environmental management*, 233, 352–370.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.12.041>
- [10] Routray, W., Orsat, V. (2012). Microwave-assisted extraction of flavonoids: a review. *Food and Bioprocess Technology*, 5(2), 409–424.
<https://doi.org/10.1007/s11947-011-0573-z>
- [11] Jang, M., Asnin, L., Nile, S. H., Keum, Y. S., Kim, H. Y., Park, S. W. (2013). Ultrasound-assisted extraction of quercetin from onion solid wastes. *International journal of food science & technology*, 48(2), 246–252.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03180.x>
- [12] Zhao, L., Zhao, G., Chen, F., Wang, Z., Wu, J., Hu, X. (2006). Different effects of microwave and ultrasound on the stability of (all-E)-astaxanthin. *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(21), 8346–8351.
<https://doi.org/10.1021/jf061876d>
- [13] Sukmanov, V.O., Petrova, J. M., Zakharevich, V.B., Marinin, A.I. (2015). Subcritical water as an extractant in the processes of extraction of biologically active substances from plant raw materials. *Advanced Techniques and Technologies of Food Production, Restaurant Management and Trade*, 1, 410–429.
- [14] Lachos-Perez, D., Baseggio, A. M., Mayanga-Torres, P. C., Junior, M. R. M., Rostagno, M. A., Martínez, J., Forster-Carneiro, T. (2018). Subcritical water extraction of flavanones from defatted orange peel. *The Journal of Supercritical Fluids*, 138, 7–16.
<https://doi.org/10.1016/j.supflu.2018.03.015>
- [15] Zhang, J., Wen, C., Zhang, H., Duan, Y., Ma, H. (2020). Recent advances in the extraction of bioactive compounds with subcritical water: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 95, 183–195.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.11.018>
- [16] Jin, E. Y., Lim, S., oh Kim, S., Park, Y. S., Jang, J. K., Chung, M. S., Choi, Y. J. (2011). Optimization of various extraction methods for quercetin from onion skin using response surface methodology. *Food Science and Biotechnology*, 20(6), 1727–1733.
<https://doi.org/10.1007/s10068-011-0238-8>
- [17] Sukmanov, V., Marynin, A., Dubova, H., Bezusov, A., & Voskoboinik, V. (2016). Study of aroma formation from lipids of the fruit raw material. *Ukrainian food journal*, (5, 4), 629–643.
- [18] Sukmanov, V., Ukrainets, A., Zavyalov, V., Marynin, A. (2017). Research of extraction of biologically active substances from grape pomace by subcritical water. *Eastern European Journal of Advanced Technology*, (5 (11)), 70-80.
- [19] Sukmanov, V.O., Ukrainets, A.I., Zavyalov, V.L., Marinin A.I., Solovey L.V. (2019). [Subcritical extraction of biologically active substances from grape pomace]. Kiev, Ukraine: NUHT (in Ukrainian)
- [20] Munir, M. T., Kheirkhah, H., Baroutian, S., Quek, S. Y., Young, B. R. (2018). Subcritical water extraction of bioactive compounds from waste onion skin. *Journal of Cleaner Production*, 183, 487–494.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.166>
- [21] Ko, M. J., Cheigh, C. I., Cho, S. W., Chung, M. S. (2011). Subcritical water extraction of flavonol quercetin from onion skin. *Journal of Food Engineering*, 102(4), 327–333. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.09.008>
- [22] Kim, S. W., Ko, M. J., Chung, M. S. (2019). Extraction of the flavonol quercetin from onion waste by combined treatment with intense pulsed light and subcritical water extraction. *Journal of cleaner production*, 231, 1192–1199.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.280>
- [23] Benito-Román, Ó., Blanco, B., Sanz, M. T., Beltrán, S. (2020). Subcritical Water Extraction of Phenolic Compounds from Onion Skin Wastes (*Allium cepa* cv. Horcal): Effect of Temperature and Solvent Properties. *Antioxidants*, 9(12), 1233.
<https://doi.org/10.3390/antiox9121233>
- [24] Lekary, A.V., Filonova, O.V., Borisenko, S.N., Maksimenko, E.V., Vetrova, E.V., Borisenko, N.I., Minkin, V.I. (2012). [Extraction of bioflavonoids from onion peel in subcritical water]. *Supercritical Fluids: Theory and Practice*, 7 (4), 4–15. (in Russian).
- [25] Lee, K. A., Kim, K. T., Kim, H. J., Chung, M. S., Chang, P. S., Park, H., Pai, H. D. (2014). Antioxidant activities of onion (*Allium cepa* L.) peel extracts produced by ethanol, hot water, and subcritical water extraction. *Food Science and Biotechnology*, 23(2), 615–621. <https://doi.org/10.1007/s10068-014-0084-6>
- [26] Maltseva, E. M., Egorova, N. O., Egorova, I. N., Mukhamadiyarov, R. A (2017). [Antioxidant and antiradical activity in vitro of extracts of the herb *sanguisorbaofficinalis*], *Collected in different stages of development. Medicine in Kuzbass*, 16(2), 32–37. (in Russian).
- [27] Maltseva, E. M., Egorova, N. O., Egorova, I. N. (2011). Quantitative determination of total content of flavonoids in the grass of Burnet. *Bulletin of the Ural medical academic science*, 3(1), 68.
- [28] Zhu, O. P., Shubenkova, E. G., Guseva, E. A, Zemtsova, M. A (2012). [Reducing ability of extracts of biologically active substances of medicinal plants-components of emulsion systems]. *Dynamics of systems, mechanisms and machines*, 5. (in Russian).
- [29] Sukmanov, V.O., Suprun, A.V. [Prolongation of terms of storage of meat products by inclusion in their recipe of

- onion husk extract]. *Innovative technologies and prospects for the development of the meat processing industry*, 64. (in Ukrainian).
- [30] Alothman, M., Bhat, R., Karim, A. A. (2009). Antioxidant capacity and phenolic content of selected tropical fruits from Malaysia, extracted with different solvents. *Food chemistry*, 115(3), 785–788.
- [31] Sharma, K., Ko, E. Y., Assefa, A. D., Ha, S., Nile, S. H., Lee, E. T., Park, S. W. (2015). Temperature-dependent studies on the total phenolics, flavonoids, antioxidant activities, and sugar content in six onion varieties. *Journal of food and drug analysis*, 23(2), 243–252. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2014.10.005>
- <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.12.005>