

UDC 663. 935 : 641

## THE POTENTIAL OF USING SPENT COFFEE GROUNDS IN THE TECHNOLOGIES OF FUNCTIONAL FOOD PRODUCTS. REVIEW

Valerii O. Sukmanov<sup>1</sup>, Oleksii M. Komar<sup>2</sup>, Oleksandr V. Sukmanov<sup>2</sup>, Tetiana I. Yudina<sup>3</sup><sup>1</sup>Poltava State Agrarian University, str. Skovorody, 1/3, Poltava, 36003, Ukraine<sup>2</sup>LLC «Foodtemplum», Rusanivska embankment, bldg. 12, office 138, Kyiv, 02147, Ukraine<sup>3</sup>State University of Trade and Economics, 19, Kyoto str., Kiev, 02156, Ukraine

Received 10 August 2024; accepted 10 September 2024; available online 20 October 2024

### Abstract

Analytical review was conducted on information provided in 336 articles, books, laws, patents, and Internet publications included in the Scopus, Web of Science, PubMed, and Google Scholar databases using a wide range of search terms, including spent coffee grounds, nutritional value, biologically active compounds, food products, functional properties, consumer health, therapeutic effects. The growth of global coffee consumption and the mass production of spent coffee grounds (SCG), which contain a large number of valuable organic compounds, are a powerful antioxidant and have a positive effect on human health, led to the need for a comprehensive study of the properties of SCG and technologies for its use in food production. The work carried out an analytical review of the scientific literature, summarized the available information on the chemical and mineral composition of SKG, the content of amino acids, carbohydrates, non-protein nitrogenous compounds, caffeine, lipids, minerals and phenolic compounds, dietary fibers, other biologically active substances, which can be effectively used in various industries food industry. Data on the functional properties of SCG and its antioxidant potential, porosity, granulometric composition of SCG, microbiological safety of SCG are summarized, which allows positioning this product as a raw material for providing desired functional properties to food products. Examples of the use of SCG in the technologies of functional products are given. The impact of the use of some SCG biologically active compounds on human health has been analyzed, which makes it possible to reasonably use SCG in the technologies of various functional products with powerful therapeutic effects and a positive impact on the health of consumers.

*Keywords:* spent coffee grounds; nutritional value; biologically active compounds; food products; functional properties; consumer health; therapeutic effects.

## ПОТЕНЦІАЛ ВИКОРИСТАННЯ КАВОВОЇ ГУЩІ У ТЕХНОЛОГІЯХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ. ОГЛЯД

Валерій О. Сукманов<sup>1</sup>, Олексій М. Комар<sup>2</sup>, Олександр В. Сукманов<sup>2</sup>, Тетяна І. Юдіна<sup>3</sup><sup>1</sup>Полтавський державний аграрний університет, вул. Сковороди, 1/3, Полтава, 36003, Україна<sup>2</sup>ТОВ «Фудтемплум», Русанівська наб., буд. 12, офіс 138, Київ, 02147, Україна<sup>3</sup>Державний торговельно-економічний університет, вул. Кіото, 19, Київ, 02156, Україна

### Анотація

Аналітичний огляд проведено за інформацією, наведеною у 336 статтях, книгах, законах, патентах та публікаціях в Інтернеті, які включено до баз даних Scopus, Web of Science, PubMed і Google Scholar з використанням широкого спектру пошукових термінів, зокрема кава гуща, харчова цінність, біологічно активні сполуки, харчові продукти, функціональні властивості, здоров'я споживача, терапевтичні ефекти. Зростання світового споживання кави та масове утворення кавової гущі (КГ), яка містить велику кількість цінних органічних сполук, є потужним антиоксидантом та має позитивний вплив на здоров'я людини, призвело до необхідності комплексного вивчення властивостей КГ та технологій її використання у харчовому виробництві. В роботі проведено аналітичний огляд наукової літератури, узагальнено наявну інформацію про хімічний, мінеральний склад КГ, вміст амінокислот, вуглеводів, небілкових азотистих сполук, кофеїну, ліпідів, мінералів та фенольних сполук, харчових волокон, інших біологічно активних речовин, які можуть ефективно використовуватися в різних галузях харчової промисловості. Узагальнено дані про функціональні властивості КГ та її антиоксидантний потенціал, пористість, гранулометричний склад КГ, мікробіологічну безпечність КГ, що дозволяє позиціонувати цей продукт як сировину для надання бажаних функціональних властивостей харчовим продуктам. Наведено приклади використання КГ в технологіях продуктів функціонального призначення. Проаналізовано вплив вживання деяких біологічно активних сполук КГ на здоров'я людини, що дозволяє обґрунтовано використовувати КГ в технологіях різних продуктів функціонального призначення з потужними терапевтичними ефектами та позитивним впливом на здоров'я споживачів.

*Ключові слова:* кавова гуща; харчова цінність; біологічно активні сполуки; харчові продукти; функціональні властивості; здоров'я споживача; терапевтичні ефекти.

\*Corresponding author: e-mail: [Sukmanovvaleri@gmail.com](mailto:Sukmanovvaleri@gmail.com)

© 2024 Oles Honchar Dnipro National University; doi: 10.15421/jchemtech.v32i3.309754

## **Вступ**

Для цього огляду був проведений електронний пошук літератури, в тому числі в базах даних Scopus, Web of Science, PubMed і Google Scholar. Був використаний широкий спектр пошукових термінів, зокрема кава, кавова м'якоть, кавове листя, зелена кава, кавове лушпиння, кавові квіти, кавові побічні продукти, використана кавова гуща, кавова вишня, кавова срібляста шкірка. У процесі пошуку було виявлено 336 статей, книг, законів, патентних специфікацій та публікацій в Інтернеті. Переглядалося лише харчове використання побічних продуктів кави. Інші види використання, такі як промислове використання кавової деревини або кавових гілок для отримання енергії, були виключені.

## **Результати пошуку та їх аналіз**

### **1. Кавова гуща як вторинна сировина після заварювання кави**

З 1600-х років кава, яку вирощують приблизно у 80 країнах, поступово стала одним з найпопулярніших напоїв у світі, як товар поступаючись тільки нафті [1], з величезним виробництвом і продажами по всьому світу. Згідно з останніми статистичними даними Міжнародної організації кави у 2023 році, світове споживання кави перевищило 198.39 млн мішків по 60 кг [2]. У 2018 році у всьому світі було вироблено близько 9.5 млн тонн кави, і на кожний 1 г меленої кави припадає 0.91 г кавової гущі [3; 4].

Відпрацьована кавова гуща (КГ) (англ – spent coffee grounds – SCG) є твердими відходами, які являють собою залишок (45 %), отриманий у процесі заварювання кави, і у всьому світі КГ утворюються щорічно в обсязі близько  $6 \times 10^6$  т. Половина цього обсягу припадає на промислове виробництво розчинної кави (650 кг КГ на тонну сирих кавових зерен та 2 кг вологої КГ на кілограм розчинної кави) [5].

Масове утворення харчових відходів стає глобальною проблемою, та посилює актуальність тези «Відходи як ресурс». Крім того, зростає турбота про навколишнє середовище, що спонукає промисловість виробляти більше екологічно чистих та натуральних продуктів. КГ містять велику кількість органічних сполук (кофеїн, дубильні речовини, целюлозу та інші полісахариди тощо), які перетворилися б на токсичні речовини, якби потрапили безпосередньо в

навколишнє середовище, але які ми можемо використовувати як джерело продукції з доданою вартістю.

На сьогодні КГ використовується у агрономії та компостуванні, ферментації, біоремедіації, біоенергетиці, виробництві разового посуду, косметичі. Але, враховуючи властивості КГ, слід констатувати, що цей вторинний продукт має великий потенціал для широкого застосування та сталого розвитку багатьох галузей харчової промисловості.

Україна знаходиться на 25 місці у світі за обсягом споживання кави. У цілому в 2021 році обсяг ринку натуральної та розчинної кави в Україні склав 75 000 тонн, валове споживання становило 3.3 % від світового, а імпорт склав 1379 тисяч мішків.

Станом на 2020 рік середній українець споживає 3 кг меленої кави на рік [6] та 100 чашок кави поза домом, що є найменшим показником у Європі. Втім, за даними Pro Consulting, Україна показує один з найвищих темпів зростання споживання натуральної зернової кави серед країн ЄС [7].

Під час обробки кави утворюється кілька видів залишків. Країни-виробники кави утворюють залишки від плодів кави, що становлять понад 50 % від маси плодів [8]. КГ – залишок, отриманий під час процесу заварювання [9], та велика кількість залишків, що утворюється щорічно під час виробництва розчинної кави містить значну кількість органічних сполук (жирних кислот, лігніну, целюлози, та інших полісахаридів), які можна використовувати як джерело продуктів з доданою вартістю.

Кавове лушпиння, шкірка та м'якоть, які становлять майже 45 % вишні, є основними побічними продуктами кавової агропромисловості та можуть бути цінним матеріалом для кількох цілей, зокрема для вилучення кофеїну та поліфенолів. Згідно зі статистичними даними FAO, лушпиння та шкірка кави продаються як продукти рослинництва та тваринництва з діапазоном експорту та імпорту 857–27 209 та 490–11 474 тонн з 2000 по 2012 рік. Цей експорт та імпорт за той самий період оцінювалися у 2.2–62.7 та 1.7–24.3 млн. доларів США відповідно. Інші побічні продукти обробки кави, такі як солодкий пектиновий шар, були менш вивчені; однак вони є потенційними джерелами важливих інгредієнтів. М'якоть легко ферментується дріжджами або

метаболізується молочнокислими бактеріями, які виробляють алкогольні напої та оцет. Крім того, смажену кавову сріблясту шкірку було оцінено для використання як харчового волокна, багатого інгредієнта з антиоксидантними властивостями. Нарешті КГ вивчали здебільшого щодо їх антиоксидантної активності [10]. Ці антиоксиданти пов'язані з користю для здоров'я [11; 12].

Розробка технологій використання КГ у харчовому виробництві може стати більш здійсненним підходом до обмеження шкоди навколишньому середовищу та здоров'ю від кавових відходів, оскільки ці методи, найімовірніше, будуть запроваджені у розвинених країнах.

Тим не менш, існує мало досліджень, що вивчають користь КГ для здоров'я, хоча існує зростаючий інтерес до його потенціалу через наявність в КГ багатьох біологічно активних сполук [13; 14]. Мета цього огляду полягає в тому, щоб ідентифікувати відходи виробництва та споживання кави; оцінити потенційну користь КГ для здоров'я, використовуючи дослідження кави як напою та сполук, виявлених у КГ; зрозуміти користь для здоров'я людини під час вживання функціональних продуктів харчування з використанням КГ за доступними цінами як легкодоступних продуктів. Функціональні харчові продукти приносять, крім їхньої поживної цінності, користь для здоров'я, і, таким чином, можуть знизити ризик хронічних захворювань. У якості додаткової переваги використання КГ у функціональних продуктах харчування можна відзначити тезу про зниження забруднення навколишнього середовища.

## **2. Харчовий статус кавової гущі як нового харчового продукту в Європейському Союзі (ЄС)**

Широкий попит на КГ як цінну харчову сировину та її використання у харчовому секторі привело до необхідності нового погляду на цей продукт. Для маркетингу в Європейському Союзі (ЄС) надзвичайно важливо з'ясувати, чи потребують ці побічні продукти отримання дозволу в якості нового харчового продукту.

Термін «новий харчовий продукт» означає харчові продукти та/або харчові інгредієнти, які є порівняно новими на європейському ринку, і тому не мають історії використання як безпечні харчові продукти для споживання

людиною. Для захисту здоров'я людини та інтересів споживачів застосовується правова база Європейського нового харчового продукту. Регламент визначає «новий харчовий продукт» як будь-який харчовий продукт, що не використовувався для споживання людиною в значній мірі в межах Союзу до 15 травня 1997 року [15].

Стаття 3(2а) Регламенту (ЄС) № 2015/2283 визначає категорії харчових продуктів, з яких можуть походити нові харчові продукти; у випадку побічних продуктів кави – рослинні продукти, зазначені в підрозділі (iv), є особливо важливими для демонстрації відсутності ризику безпеки здоров'я людини [15].

Відпрацьована кавова гуща утворюється як під час екстракції кавового порошку гарячою водою для виробництва кавового напою, так і під час виробництва розчинної кави [16]. На кожен кг розчинної кави утворюється 2 кг вологої відпрацьованої кавової гущі, що відповідає річній кількості близько 6 000 000 т у всьому світі [16; 17].

У харчовій промисловості кавову гущу можна використовувати як джерело харчових волокон [18; 19] або в хлібобулочних виробках [20–22], а також для виробництва алкогольних дистилатів [23]. Після сушіння відпрацьованої кавової гущі або екстракції за допомогою надкритичного CO<sub>2</sub> та стерилізації виходить «кавове борошно», яке має високу волокнистість, високий вміст білка та не містить глютену. Він призначений для використання в якості нового харчового інгредієнта в солоних і солодких рецептах, хлібобулочних виробках, кондитерських виробках, закусках і готових до вживання продуктах [24].

Полісахариди є основним компонентом відпрацьованої кавової гущі, з них геміцелюлози становлять приблизно 39 г/100 г сухої маси, а целюлоза – 12 г/100 г сухої маси [25–27]. Крім цукрів, білків і мінералів, КГ також містить жир, який можна витягти у вигляді кавової олії, і містить дитерпени кафестол та кахвеол [28; 29]. Завдяки добрій розчинності кофеїну, його вміст в КГ (0.007–0.5 %) менший, ніж у смаженій каві. Вміст кофеїну залежить від сорту кави та процесу екстракції [30; 31].

Два забруднювачі харчової промисловості – акриламід і гідроксиметилфурфурол – є результатом реакції Майяра під час смаження кави [32]. КГ містить  $37.2 \pm 0.4$  мкг/кг

акриламід та  $61.3 \pm 0.4$  мг/кг гідроксиметилфурфуролу (суха маса), відповідно [21]. З алкілпіразинів, які утворюються під час обсмажування за реакцією Майяра, близько 70–80 % переходить у кавовий напій [33]. Решта залишається у використаній кавовій гущі. У людини алкілпіразини метаболізуються до відповідних карбонових кислот і майже повністю виводяться нирками [34]. КГ чутлива до забруднення мікотоксинами; проведені дослідження не змогли виявити афлатоксин В1 і еніатин В, але виявили охратоксин А в кількості 2.31 мкг/кг [34].

Загалом продукти харчування можна розміщувати на ринку Європейського Союзу (ЄС) без попереднього дозволу. Виняток зроблено для нових харчових продуктів, які не використовувалися для споживання людиною в значній мірі в межах ЄС до 15 травня 1997 року [15].

Для кавового борошна, виготовленого із знежиреної КГ та кавового лущиння, було подано заявки на нові харчові продукти відповідно до статті 10 Регламенту (ЄС) № 2015/2283. Запит на кавове борошно не стосується використання КГ як такої, а стосується подальшої обробки (висушеного, знежиреного, стерилізованого) продукту, виготовленого з неї та призначеного для використання в солоних і солодких рецептах, у пекарні, кондитерських виробках, закусках, і готових до споживання продуктах [24]. Відповідно до веб-переліку заявок, які наразі опрацьовує Європейська комісія, немає жодної заявки щодо використаної кавової гущі, яка очікує на розгляд [35].

### **3. Біологічно активні інгредієнти КГ**

Першим кроком у практичному використанні складної суміші, такої як КГ, є розуміння сполук, присутніх у суміші, враховуючи хімічні зміни у процесі обсмажування. За визначенням, сполуки, присутні в КГ з обсмаженого кавового порошку, є сполуками, які не були екстраговані під час виробництва напою. Низькомолекулярні біологічно активні сполуки, що екстрагуються в каву як напій, включають кофеїн, хлорогенові кислоти (CGA), тригонеллін, алкалоїди триптофану та дитерпени, такі як кафестол і кахвеол [36]. Крім того, кава як напій, виготовлений за допомогою процесів гарячого заварювання, містить близько 1000 летких органічних сполук, які варіюються в залежності від умов вирощування та післязбиральних умов [37].

Кава холодного заварювання відрізняється від кави гарячого заварювання кількістю сполук, що витягуються під час заварювання, а не присутніми сполуками [38]. Обсмаження приводить до утворення меланоїдинів з неферментативної реакції Майяра, які становлять близько 13–25 % сухої маси обсмаженого кавового порошку [39; 40]. Хімічна структура багатьох меланоїдинів відома лише частково, але ці сполуки включають полісахариди, такі як галактоманнани та арабіногалактани, денатуровані білки та CGA [39]. Після обсмажування кавовий порошок також містить вуглеводи (38–42 %), білки (8–14 %), фенольні сполуки (3–4 %), ліпіди (11–17 %), мінеральні речовини (5 %), жирні кислоти (3 %), кофеїн (1–2 %) та тригонеллін (1 %) [37]. До продуктів розкладання під час обсмажування належить акриламід – канцероген. Запропоновано практичні рішення щодо зниження утворення акриламідів [41]. КГ, що залишається після виробництва кави гарячого заварювання, включає вуглеводи, такі як 8–15 % целюлози та 30–40 % геміцелюлоз, 20–30 % лігніну, 7–21 % ліпідів та мінералів та 13–17 % білків, а також фенольні сполуки (12 мг/г), кофеїн (14.5 мкг/г) та CGA (31.8 мкг/г) [42]. Аналогічна інформація про КГ, що утворюються після холодної екстракції, відсутня.

Хімічний склад кави, отриманої за допомогою процесів гарячого або холодного заварювання, змінюватиметься залежно від факторів, включаючи методи ведення сільського господарства та методи екстракції. Відмінності в концентраціях між процесами екстракції мають на увазі, що вміст біологічно активних сполук, включаючи кофеїн і CGA, що залишаються в КГ, буде залежати від методу екстракції, який використовується під час виробництва напою. Основні сполуки в каві, які екстрагуються за допомогою процесів гарячого або холодного заварювання, включають кофеїн, CGA, тригонеллін і дитерпени кахвеол і кафестол [37; 43–45]. Процеси гарячого заварювання кави ефіопської арабіки показали найвищі концентрації кофеїну та CGA у каві еспресо, до 3–6 разів вище, ніж у каві моку та фільтрованій каві [45]. Найбільш ефективні методи приготування еспресо використовували 14 г дрібнодисперсного порошку та екстракцію протягом однієї хвилини за температури 93 °C

та тиску 9 бар [45]. Найвища екстракція кофеїну з суміші 95 % робусти і 5 % арабіки була в еспресо-машині з використанням 7.5 г порошку і 25 мл води за температури 92 °C і тиску 7 бар [43]. Холодне заварювання стає все більш популярним методом заварювання кави. Кава готується за кімнатної температури — від 20 до 25 °C і нижче. Весь процес заварювання займає від кількох до 24 годин. Ця кава має характерний смак та аромат завдяки тривалому часу заварювання. Вміст кофеїну в напоях, приготованих з використанням цього методу, для кави, звареної протягом 6 годин (20 г кави, 200 мл дистильованої води, кімнатної температури води) становив від  $1,036 \pm 0,019$  г/л для арабіки середнього обсмажування до  $1,962 \pm 0,041$  г/л для арабіки сильного обсмажування. [43]. Екстракція кофеїну та CGA за допомогою процедур холодного заварювання за кімнатної температури досягала стабільного стану приблизно через 400 хв [44]. Крім того, вміст кофеїну та CGA на чашку був вищим у процесах холодного заварювання, ніж у гарячій каві

еспресо [45]. Найвищі бали в органолептичній оцінці кави холодного заварювання, що характеризується сильною насолодою, фруктовим та квітковим смаком, середньою гіркотою та кислотністю, а також кремовою консистенцією, були отримані після 14-годинної екстракції кави грубого помелу середньої обсмажування за кімнатної температури 20 °C.

#### 4. Властивості кавової гущі як харчового інгредієнту

##### 4.1. Склад КГ

КГ містить целюлозу (12.4 %), геміцелюлози (39.1 %), лігнін (23.9 %), жир (2.29 %), білок (13–17 %), а також загальні харчові волокна (60.46 %) і такі мікроелементи, як калій, кальцій, магній, сірка, фосфор, залізо, марганець, бор і мідь, які є цікавими сполуками для різних застосувань у промислових масштабах [25]. Вміст білка в КГ становить 12–17 %, що відносно вище, ніж у обсмаженої кави – 3.1 % (w/w). Хімічний склад КГ наведено в табл. 1.

Table 1

Chemical composition of SCG, (g/100 g of dry weight) [46-48]

Таблиця 1

Хімічний склад КГ, (г/100 г сухої маси) [46-48]											
Волога	Білок	Азот	Жир	Вуглеводи	Целюлоза	Геміцелюлози	Лігнін	Зола	Нерозчинні харчові волокна	Розчинні харчові волокна	
9.4	13.50	2.79	2.29	71.7	12.40	39.10	23.90	1.30	50.78	9.68	

Приблизний склад КГ є відходами з низьким вмістом води, близько 9.4 %. Автори робіт [46–48] повідомили про різний діапазон хімічного компонентного складу (табл. 1). Повідомлялося, що КГ є багатим джерелом харчових волокон (приблизно 61 %); вміст геміцелюлози є найбільшим (39 %), що має загальний вміст вуглеводів приблизно 72 %, включаючи цукри, целюлозу, геміцелюлози та лігнін. Крім того, КГ містить 13.5 % білка, 2.3 %

жиру і 1.3 % золи. Ця зольність також відображає значний вміст мінералів у КГ. Під час заварювання кави має місце часткова екстракція складових, відповідно неекстраговані сполуки залишаються в залишковій біомасі. Це можливе пояснення вищого вмісту білка в КГ порівняно з кавовими зернами. Дані про мінеральний склад КГ наведено в табл. 2.

Table 2

Mineral composition of SCG [46]

Таблиця 2

Мінеральний склад КГ [46]			
Мінеральний елемент	Склад (мг/кг сухого матеріалу)	Мінеральний елемент	Склад (мг/кг сухого матеріалу)
Калій	11.700±0.01	Бор	8.40±1.10
Кальцій	1.200±0.00	Цинк	8.40±0.20
Магній	1.900±0.00	Кобальт	15.18±0.05
Сірка	1.600±0.00	Йод	< 0.10
Фосфор	1.800±0.00	Нікель	1.23±0.59
Залізо	52.00±0.50	Хром	<0.54
Алюміній	22.30±3.50	Молібден	<0.08
Стронцій	5.90±0.00	Ванадій	<0.29
Барій	3.46±0.05	Свинець	1.60

Мідь	18.66±0.94	Селен	1.60
Натрій	33.70±8.75	Галій	<1.47
Марганець	28.80±0.70	Олово	<1.30
		Кадмій	<0.15

#### 4.2. Вуглеводи

Кавові зерна є багатим джерелом полісахаридів (50 % сухої ваги зеленої квасолі), яке здебільшого складається з мананів або галактоманнанів, арабіногалактанів II типу і целюлози. Манан, основний полісахарид екстракту кави, відповідає за його високу в'язкість, яка, в свою чергу, негативно впливає на технологічні процеси виробництва розчинної кави.

Полісахаридна фракція в бобах робусти становить 48 % сухої ваги і здебільшого складається з трьох полімерів: арабіногалактан, маннан, целюлоза. Арабіногалактан має  $\beta 1 \rightarrow 3$ -пов'язаний основний ланцюг галактану з частими арабінозними та галактозними залишками, що містять бічні ланцюги, тоді як маннан нагадує целюлозу тим, що має лінійну структуру  $\beta 1 \rightarrow 4$ . У фракції маннана присутні лише випадкові бічні ланцюги. Бічні ланцюги містять залишки арабінози та галактози з арабінозою в якості кінцевого залишку. Ці зв'язки характерні для арабіногалактану II типу, де полімер зазвичай ковалентно пов'язаний з білком [49]. Полісахаридні композиції робусти та арабіки схожі; єдина суттєва різниця – більш високий вміст (приблизно 3 %) арабіногалактану в першому типі.

Процес смаження збільшує як арабіногалактан бобів, так і розчинність маннану шляхом послаблення структури клітинної стінки в міру її набухання і шляхом деполімеризації полісахаридів [50]. Водорозчинні полісахариди, які з'являються після обсмажування, відіграють важливу роль у збереженні летких речовин і сприяють підвищенню в'язкості кави [51].

Ці галактоманнани та арабіногалактани екстрагуються під час обсмажування кави та під час приготування напою за допомогою гарячої води під тиском [52]. Однак більшість цих полісахаридів залишаються як нерозчинний матеріал, зв'язаний з матрицею КГ [53; 54]. Галактоманнани виявляють різні фізико-хімічні властивості, і тому використовуються в багатьох сферах застосування [55].

Мелена кави багата полімеризованими цукрами структур целюлози та геміцелюлоз,

які складають до майже половини (45.3 %, мас./мас., суха маса) матеріалу. КГ містить 46.8 % манози, 30.4 % галактози, 19 % глюкози і 3.8 % арабінози, з маннаном як основним полісахаридом [53]. Однак подальше дослідження тієї ж групи [56] виявили нижчий (у 2.2 рази) склад цукрів для тієї ж КГ, що складався з 21.2 % манози, 13.8 % галактози, 8.6 % глюкози і 1.7 % арабінози. Цю КГ гідролізували (100 мг  $H_2SO_4$ /г сухої речовини; співвідношення рідина/тверда речовина 10 г/г; 163 °C, 45 хв) і ефективно (> 85 %) ферментували до етанолу дріжджами [56]. Автори роботи [57] повідомили про наявність манози (57 %), а потім галактози (26 %), глюкози (11 %) і арабінози (6 %) та припустили, що відмінності в хімічному складі КГ ймовірно відображають різноманіття бобів і процеси, які використовуються для смаження і добування. Попереднє дослідження [58] показало, що манан більш поширений, ніж целюлоза в КГ, по суті, окремо від активації целюлози виробництво чистого гідролізату маннану. Це гідролізат дає високий (40 %) вихід маніту з сорбітом як побічний продукт.

Маноолігосахариди (MOS), неперетравлювані олігосахариди, що складаються переважно з манози, також були отримані шляхом гідролізу маннану в КГ за високої температури (220 °C) і тиску [59]. Основними компонентами манноолігосахаридів були маннобіоза, маннотріоза та маннотетраоза. Дослідження в Японії [60] показали, що MOS може сприяти збільшенню біфідобактерій в кишківнику і поліпшенню характеристик фекалій у людей. Крім того, щоденне споживання 300 мл напою, що містить MOS (1 або 2 г/100 мл) знижує рівень абдомінального та підшкірного жиру у людей за умови щоденного споживання протягом дванадцяти тижнів. Подальші дослідження показали, що MOS пригнічує утворення кишкового жиру шляхом зменшення накопичення жиру в параметральній жировій тканині та печінці, одночасно збільшуючи виділення жиру. MOS з кави був розроблений як активний пребіотик-інгредієнт в Японії (Aginomoto Co. Inc.) і схвалений як харчовий олігосахарид спеціального призначення (FOSHU).

Вуглеводний склад КГ відновлюється лугом лише до двох мономерів: глюкози (59.2 і 62.9 % загальних цукрів) і манози (40.8 і 37.1 %) [56]. Однак дані про геміцелюлози, повідомлені цими авторами, контрастують з попередніми дослідженнями [53; 57], що свідчать про наявність галактози та арабінози в КГ. Ймовірно, ці два моносахариди легко гідролізуються під час екстракції лугом.

КГ здебільшого складається з нейтрально-детергентних волокон (45.2 %) у вигляді геміцелюлоз, целюлози, лігнін-асоційованої сполуки та кислотного-детергентних волокон (29.8 %), що складається з целюлози та лігніну [61]. Виділення харчових волокон із побічних рослинних продуктів може супроводжуватися відновленням інших складових, таким як антиоксиданти або білки; КГ, наприклад, містить 43 % загальної кількості клітковини (35 % і 8 % розчинної і нерозчинної відповідно) [62]. Крім того, волокна з КГ виявляють антиоксидантні властивості: 2.4 ммоль тролоксу/100 г сухої ваги [62], що подібне до добре відомого харчового антиоксиданту, такі як червоне вино (43 %) і персики (36 %). Тому харчові волокна з КГ можна класифікувати як антиоксидантні харчові волокна, корисні як потенційна дієтична добавка.

#### 4.3. Білки

КГ в середньому містить 13.6 % білків. Загальна кількість білків навіть на стадії обжарки знаходиться в межах 8.5–13.6 %. Це показує, що білок та інші азотисті сполуки в КГ залишаються стабільними навіть після різних процедурах обробки [63]. Вміст сирого білка, про яке повідомляють [64], в залишках кави еспресо вар'юється від 12.8 до 16.9 %. Більший вміст білка в КГ у порівнянні з кавовими зернами обумовлено концентрацією неекстрагованих компонентів під час приготування розчиненої кави. Через вміст інших азотовмісних речовин, таких як кофеїн, тригонеллін, вільні аміни та амінокислоти, вміст білка в КГ може бути підвищено [65]. Тим не менш, багато авторів повідомляли про такий самий вміст білка, що змінюється від 6.7 % до 9.9 % і до 14 % [66; 67]. Білок 11S, запасний білок, становить близько 45 % від загальної кількості білків в ендоспермі кави, або 5–7 % від маси сухих зерен. Двумірні профілі білків зеленої кави показали, що 11S-білок складається з молекулярних суб'єктів з високим молекулярним вмістом 32 кДа  $\alpha$  і

низьким молекулярним суб'єдиницею  $\beta$ -22 кДа [68].

Білок КГ має високе співвідношення лізину/аргініну, що вказує на те, що він може спровокувати фізіологічні ефекти, які є гіперхолестеринемічними та атерогенними. Три амінокислоти – аргінін, глутамін і гістидин, – які, як відомо, надають значний вплив на імунну систему організму, також в достатку містяться в білку КГ. Високий рівень цистеїну та метіоніну в деяких білках КГ може підвищувати рівень антиоксидантів в організмі, стабілізуючи ДНК під час делітації клітин і знижуючи ймовірність розвитку деяких типів раку товстої кишки [11; 28].

Білок КГ має найбільшу концентрацію амінокислот з розчинним ланцюгом (ВСАА) і більш високим коефіцієнтом Фішера (в складі деяких). Білки з високим коефіцієнтом ВСАА, коефіцієнтом Фішера і низьким вмістом ароматичних амінокислот можна використовувати у виробництві фізіологічно функціональних продуктів харчування для певних потреб, наприклад, у пацієнтів з недостатнім харчуванням, пов'язаних з раком, опіками, травмами і печінковою недостатністю, а також для харчової підтримки дітей з хронічною або ускладненою діареєю або алергією на молочний білок [28; 69]. Білок КГ може бути використаний для приготування харчових продуктів з багаточисельними перевагами для здоров'я людини з захворюваннями печінки, окиснювальному стресі та гіпертонії. Пацієнти з печінковою енцефалопатією отримували лікування білками з коефіцієнтом аромату Фішера вище 20 і амінокислотами (АБК) менше 2 % [28; 70].

#### 4.4 Білок КГ як джерело біоактивних пептидів

КГ є багатим джерелом целюлози, геміцелюлоз, лігніну, ліпідів і білків та може використовуватися для виробництва продуктів з високою доданою вартістю завдяки вмісту білка. Біоактивний пептид, отриманий після гідролізу білка, має великий потенціал у якості антиоксидантного, протимікробного та антимулагенного агента. Пептиди КГ можуть бути цікавою заміною рослинного білка з певними функціональними властивостями в харчовій промисловості.

Крім цих основних компонентів, КГ також містить сполуки з доданою вартістю, такі як жирні кислоти, кафестол, вітаміни та ліпіди [71]. Ці сполуки, з використанням різних

методів екстракції, можна виділити та використати в комерційних цілях у різних комерційних секторах, таких як косметика, харчова промисловість та фармацевтика. Валоризація КГ для виробництва комерційно цінних сполук все ще недостатньо вивчена і потребує оцінки більш ефективного виробництва різних функціональних продуктів. Крім процесу екстракції, попередня обробка є важливим методом, який необхідно враховувати під час утилізації відходів КГ. Попередня обробка побічних продуктів КГ N-метилморфоліном N-оксидом (NMMO) сприяла біоконверсії лігноцелюлозних компонентів відходів у метан та інші важливі сполуки [72].

Хімічний склад КГ залежить від ефективності екстракції, яка залежить від різних факторів, включаючи вид кави, температуру обсмажування, ступінь помелу, співвідношення кави та води, якість води, температури, тиску та часу перколяції [73]. Таким чином, різні процеси екстракції приведуть до хімічно різноманітних кінцевих продуктів, а також КГ з різними властивостями.

Метод екстракції відіграє важливу роль у відновленні функціональних метаболітів із КГ. Відповідно до наявної літератури, на сьогоднішній день для екстракції метаболітів КГ використовують традиційні методи, такі як ферментація пробіотиків, ферментативний гідроліз [74], екстракція розчинником, екстракція за допомогою мікрохвильової печі [75] та інші.

Бактеріальна ферментація КГ індукує вивільнення потенційно біоактивних пептидів.

Ефективним альтернативним методом отримання білкових гідролізатів є ферментація. Білки в їжі гідролізуються мікробними протеолітичними системами з вивільненням пептидів і амінокислот. Цей метод був використаний в останні роки для отримання гідролізатів харчового рослинного білка, який має інші переваги для здоров'я і функціонує як інгібітори ферменту, що бере участь в етіології метаболічних синдромів.

Білкові гідролізати під час бактеріальної ферментації КГ можуть виробляти біоактивні пептиди, однак на даний час інформація про це відсутня. В якості заміни отримання потенційно корисних сполук для профілактики хронічних захворювань автори роботи [76] стимулювали вивільнення пептидів із переварених білкових гідролізатів

КГ, ферментованих *Bacillus clausii*, ідентифікували їх та оцінювали потенціал їх біологічної активності за допомогою аналізу *in silico* їх пептидних послідовностей. Процедура ферментації підвищила вміст загальних білків, розчинних білків і білкових гідролізатів у 2.7, 2.2 і 1.2 рази відповідно. Сім'я пептидів з можливими антиоксидантними властивостями, ангіотензинперетворюючим ферментом (АПФ) і дипептидилпептидаза-IV (DPP-IV) з інгібіторною дією були більш поширені у ферментованих зразках КГ. Ймовірність того, що кожен пептид буде біологічно активним, була представлена PeptideRanker з більш високими показниками (0.97) пептидних послідовностей YGF і GMCC, за якими слідує наступні пептиди YWRYDCQ (0.65) і RMYRY (0.60) [76].

Білок, отриманий з КГ (12–17%), може служити багатим джерелом пептидів. У дослідженні [77] було визначено вміст пептидів (аналіз ОРА), антиоксидантну активність та інгібіторну *in vitro* АПФ активність гідролізату білка КГ. Результати показали, що саме високий вміст білка отримується з еспресо КГ, а також має антиоксидантну та інгібіторну активності АПФ [77]. В іншому дослідженні [78] повідомлялося про 15.97% загального вмісту білка, отриманого з КГ, що продемонструвало відповідність різного вмісту білка сортам і умовам процесу заварювання [78].

Автори роботи [80] оцінили біоактивний потенціал білка, вилученого із зелених і обсмажених кавових зерен і КГ. Вони помітили, що як зелені кавові зерна, так і молотий білок обробленої кави показали високу ефективність інгібування АПФ і, як наслідок, мають високий антигіпертензивний потенціал. Це може бути пов'язано з низькомолекулярними пептидами, вивільненими з харчових продуктів. Крім того, висока антиоксидантна активність може бути приписана взаємодії, що проходить між білками і меланоїдинами під час обжарки. Відзначено, що антигіпертензивний і антиоксидантний потенціали були виражені в білковій фракції обробленої КГ. Таким чином, використання цього білка в харчуванні може бути важливою стратегією як для глікемічних, так і для гіпертонічних споживачів, і навіть може бути розглянуто для запобігання окиснювальним пошкодженням, викликаним метаболічними порушеннями [79]. Компанія Febrianto вивела білок і використала



антиоксидантні метаболіти з КГ шляхом гідролізу білка з папаїном. Дослідження показало багатообіцяючий результат з вилученням білка 67.38 %, а високий вміст гідролізату також сприяє високій антиоксидантній активності. Отримані дані показали, що використання сирової папаїни підтвердило свою ефективність для гідролізу КГ з його оптимальною концентрацією 6 % і 2-годинним часом інкубації [80].

Меланоїдини – ще один цінний біоактивний метаболіт, одержуваний із КГ. Під час обжарки білковий склад кави змінюється, коли білки розщеплюються, полімеризуються і включаються в меланоїдини. Обжарка і варка арабіки мають загальний вміст амінокислот 10.1 і 6.4 % сухої маси відповідно, що вказує на те, що КГ має 3.7 % сухої маси амінокислот [81].

Меланоїдини – високомолекулярні гетерогенні полімерні сполуки коричневого кольору, що утворюються під час термічної кулінарної обробки продуктів з невеликою кількістю (< 6 %) амінокислот; глутамінова кислота і гліцин здебільшого утворюються в результаті кислотного гідролізу. Кофейні меланоїдини мають мультицензійні властивості та пов'язані з декількома біологічними діями, включаючи антиоксидантну, антибактеріальну, антикарієсогенну, протизапальну, антигіпертензивну та антиглікативну дії [82]. Виявлено, що хелатні властивості меланоїдів обумовлюють їх антибактеріальну дію проти кількох бактеріальних штамів трьома способами. За низьких концентрацій вони проявляють бактеріостатичну активність за рахунок хелатування заліза з живильним середовищем, однак не можна виключати можливості секвестрації додаткових життєво важливих катіонів. Крім того, було показано, що меланоїдини можуть хелатувати комплекс сидерофор- $\text{Fe}^{3+}$  для бактеріальних штамів, які можуть виробляти сидерофори для поглинання заліза, тим самим знижуючи вірулентність таких шкідливих бактерій. Нарешті, у високих концентраціях меланоїдини здатні руйнувати клітинну мембрану за рахунок елімінації катіонів  $\text{Mg}^{2+}$  із зовнішньої мембрани, що призводить до витікання внутрішньоклітинної молекули [83].

Загальний вміст азоту в каві (8.5–13.6 %) є відносно стабільним, незалежно від сорту або від часу смаження [84]. За даними роботи [64], вміст сирового протеїну в залишках кави еспресо

коливається від 12.8 до 16.9 %. Середній вміст білку КГ становить 13.6 % після приготування розчинної кави [85; 86].

Згідно з [87], смажена кави містить у середньому 3.1 мас% білка. Вміст білка в КГ вищий, ніж у кавових зернах через концентрацію неекстрагованих компонентів під час приготування розчинної кави. Вміст білка в КГ може бути завищеним через наявність інших азотовмісних речовин (кофеїн, тригонеллін, вільні аміни та амінокислоти) [88], однак багато авторів повідомляють про подібний вміст білка, який коливається від 6.7 % до 9.9 % [89] і до 14 % [90].

Дані про вміст амінокислот обмежені одним звітом [89]. КГ була зібрана від трьох виробників розчинної кави за допомогою чотирьох різних екстракторів. Протеїн КГ має аналогічні або вищі рівні незамінних амінокислот лейцину, валіну, фенілаланіну та ізолейцину, ніж звичайні кормові продукти, такі як соевий шрот (табл. 3).

Вміст ізолейцину, лейцину та валіну в КГ більш ніж у два рази вищий у порівнянні з соєвим шротом. Вміст лізину в КГ низький, хоча він містить так само багато кавової м'якоті та білка 11S, як і в соєвому шроті [93]. Незамінні амінокислоти складають майже половину (49 %) загальної кількості амінокислот КГ; лейцин становить 13 або 21 % від загального вмісту. Вміст більшості амінокислот КГ, крім аргініну, аспарагінової кислоти, лізину, фенілаланіну, серину і треоніну значно вищий, ніж у м'якоті зерна кави та/або білку 11S. Білок 11S, подібний до інших запасних білків рослин, відповідає приблизно 45 % від загальної кількості білків у тканині ендосперму кави, що становить 5–7 % маси сухого зерна кави (за оцінками – 11–15 % білка). Цей запасний білок складається з високої (~ $\alpha$ -компонент, ~32 кДа) і низької ( $\beta$ -компонент, ~22 кДа) молекулярної субодиниці, яку легко розпізнати на двовимірних профілях білків зеленої кави [91]. Низький рівень гідроксиламінокислот серину та треоніну в КГ порівняно з тими, що містяться в м'якоті зерна кави та/або білка 11S, відображає їх реактивність під час процесу заварювання з утворенням легких гетероциклічних сполук, алкілпіразинів [94].

#### 4.5. Небілкові азотисті сполуки

Азотисті сполуки (вільні амінокислоти, пептиди, алкалоїди) значно сприяють розвитку аромату та якості кави під час

обсмажування. Білковий профіль кави які фрагментуються, полімеризуються та змінюється під час обсмажування, протеїни, інтегруються в меланоїдини.

Table 3

**Amino acid content (% protein) and protein characteristics of coffee and by-products [89; 92]**

Таблиця 3

**Вміст амінокислот (% білка) і характеристики білка кави та побічних продуктів [89; 91; 92]**

Амінокислоти	КГ, мін	ЕГ, макс	М'якоть бобів	11S	Соєве борошно
Аланін	4.8	5.4	3.5	3.5	2.3
Аргінін <sup>a</sup>	0.1	0.2	2.8	8.4	4.0
Аспарагінова кислота	0.2	1.9	7.1	4.0	6.3
Цистин	Н.в.	5.1	0.3	1.0	0.8
Глутамінова кислота	11.5	13.8	7.7	8.6	9.8
Гліцин	2.4	7.9	4.2	5.0	2.3
Гістидин <sup>a</sup>	0.1	5.3	2.5	2.1	1.4
Ізолейцин <sup>a</sup>	5.1	5.3	3.3	4.3	2.3
Лейцин <sup>a</sup>	10.6	10.9	4.7	8.7	4.2
Лізин <sup>a</sup>	1.9	2.3	3.4	6.4	3.3
Метіонін <sup>a</sup>	1.0	1.9	0.3	0.3	0.8
Фенілаланін <sup>a</sup>	0.5	6.7	3.0	7.3	2.6
Пролін	3.1	4.7	3.7	4.3	3.0
Серин	0.9	1.2	3.3	4.5	3.1
Треонін <sup>a</sup>	0.3	2.2	3.1	2.9	1.7
Тирозин	2.9	4.0	1.9	2.8	1.8
Валін <sup>a</sup>	6.0	6.8	3.7	5.7	2.4
BCAA (Валін+Лейцин+Ізолейцин)	21.7	23.0	11.7	18.7	8.9
AAA (Фенілаланін + Тирозин)	0.9	8.9	6.1	10.2	4.3
Коефіцієнт Фішера (BCAA/AAA)	24.1	2.6	1.9	1.8	2.1
Лізин/Аргінін	19.0	11.5	1.2	0.8	0.8
Аргінін+Глутамін к-та+Гістидин	11.8	19.3	13.0	19.1	15.2
Метміоглобін + Цистин	1.0	7.0	0.6	1.3	1.6
EAI (%)	79.3	128.8	74.7	117.3	58.2

<sup>a</sup> - Незамінна амінокислота.

Н.в. - не виявлено.

Інші білкові компоненти, такі як пептиди та вільні амінокислоти, складають до 1.5 % зеленої кави, тоді як алкалоїди (3–4 %), з яких тригонеллін становить близько 1 %, трансформуються під час смаження [94]. Згідно з [94], загальна кількість амінокислот в зелених зернах арабіки та обсмажених становить 10.1 та 6.4 % сухої ваги, відповідно.

#### 4.6. Кофеїн

Кофеїн, 1,3,7-триметил-ксантин, пуриновий алкалоїд, квінтесенція єдиної найпопулярнішої сполуки, визначеної в каві та кавових продуктах/інгредієнтах. Цей алкалоїд видаляється з кавових зерен шляхом

декофеїнізації, який зазвичай використовується в промислових масштабах. Хоча вміст кофеїну в кавових відходах нижчий, ніж у кавових зернах, все ще велика кількість його залишається в КГ. Високий вміст кофеїну можна отримати з кавового лушпиння [95] або м'якоті кави [62; 96] у порівнянні з КГ. Концентрація кофеїну коливається від 0.734 до 41.3 мг/мг витраченої меленої кави в екстрактах, які отримані екстракцією під низьким тиском (ультразвуком і Сокслетом) і екстракцією CO<sub>2</sub> – надкритичною рідиною (SFE) з різним виходом від 9 до 15 % (табл. 4) [97].

Table 4

**Caffeine content in SCG and in fried coffee**

Таблиця 4

**Вміст кофеїну в КГ та в смаженій каві**

Екстракція	Розчинник/умови	(мг/мг екстракту)	Вихід (%)	Вміст (%)	Посилання
Ультразвукова	Гексан	0.734	9	0.007	
	Дихлорметан	38.2	9.9	0.378	
	Етанол	25.7	12.2	0.314	
Сокслет	Гексан	3.27	12	0.039	[97]

				Продовження табл. 4		
	Дихлорметан	25.9	10.8	0.28		
	Етанол	11.8	15	0.177		
				Продовження табл. 4		
	SFE CO <sub>2</sub>	200 бар/331.15 К	27.2	9.1	0.248	
		300 бар/331.15 К	41.3	10.5	0.434	
	КГ (Arabica-Ar)	H <sub>2</sub> O(92 ± 5 °C/6 г)	25 ± 2		0.5	
	КГ (Robusta-Rb)	H <sub>2</sub> O(92 ± 5 °C/6 г)	10 ± 3		0.2	
	Смажена кави (Ar)	Середнього обсмаження			1.6	[98]
	Смажена кави (Rb)	Середнього обсмаження			2.4	
	КГ			0.02 ± 0.1	[96]	
	КГ (espresso)			0.18	[64]	

Полярні розчинники – дихлорметанові екстракти – вилучають найбільше кофеїну під низьким тиском, тоді як SFE за високого тиску (300 бар) є більш ефективним як з точки зору отримання більшого виходу кофеїну, так і з точки зору впливу на навколишнє середовище. Кофеїн, отриманий з КГ, еквівалентний 18–48 % того, що було екстраговано з кавових зерен надкритичним CO<sub>2</sub> [99] або 8–31 % кофеїну, екстрагованому зі смаженої кави [100]. Надкритичний CO<sub>2</sub> вже давно використовувався для очищення кавових зерен від кофеїну, тому даний метод екстрагування може бути інтегрований в технологію обробки КГ. Повідомлялося про різні концентрації кофеїну (0.007–0.5 %), залежно від процесу екстракції та джерела КГ [64; 96–98]. Таким чином, вміст кофеїну для арабіки в діапазоні від 0.9 до 1.6 %, для робусти (1.4–2.9 %), для суміші (60 арабіка/40 робуста) – (1.7 %). Під час приготування еспресо для вилучення кофеїну з клітинної структури доступний дуже короткий час, що приводить до виходу екстракції 75–85 % із залишком лише 15–25 % кофеїну в КГ [101].

Кавові екстракти обох сортів, арабіки і робусти, містили менше кофеїну (0,5 % та 0,2 % відповідно), ніж екстракти з низькосортних зелених кавових зерен (1.7 %) [98]. Проте високий вміст кофеїну (6–11.5 мг/г сухої речовини) було виявлено в екстрактах КГ; більша кількість спостерігалася в КГ з робусти, та була майже вдвічі більшою, у порівнянні з КГ арабіки [102]. Кофеїну в екстрактах КГ було мало з капсул (отриманих з автоматичної еспресо-машини), (0.96–0.97 мг/г сухого зразка) [102]. До того ж вміст кофеїну становив 1.94 до 7.88 мг/г (сухої ваги), із середнім значенням 4.53 мг/г (сухої ваги) у каві еспресо [64]. Коефіцієнт екстракції кофеїну в каві еспресо становить 75–85 %, тому ці цифри відповідають прогнозованому середньому вмісту кофеїну 22.5 мг/г (сухої ваги) в

оригінальних смажених зернах, відповідно до літератури [103; 104].

#### 4.7. Сполуки коричневого кольору

Азотисті сполуки кави коричневого кольору є результатом неферментативної реакції потемніння (Майяра) між відновними цукрами і сполуками з вільними амінокислотами, що утворює різні продукти, включаючи меланоїдини [105]. Продукти реакції Майяра можуть бути корисними для функціонального застосування в харчових продуктах та/або як харчові консерванти, оскільки вони виявляють антиоксидантну здатність і пригнічують перекисне окиснення ліпідів [106]. Меланоїдини є високомолекулярними сполуками (HMW) коричневих продуктів, що містять азот, кінцеві продукти реакції Майяра [107] з невеликими кількостями (< 6 %), перш за все амінокислот – глутамінової кислоти і гліцину, що виділяються кислотним гідролізом. Під час варіння кави лише 33 % білка з вихідної зеленої кави екстрагують гарячою водою, залишковий білок залишається нерозчинним частково через денатурацію та асоціацію з арабіногалактанами клітинної стінки, що представляють майже 92 % загального азоту, присутнього у меланоїдинах з високомолекулярною масою (HMWM) [107]. HMWM, розчинна в етанолі (70–80 %), має найвищий рівень вмісту білка, але амінокислотний склад схожий у всіх фракціях меланоїдину. Амінокислотний склад цих фракції меланоїдину (велика кількість аланіну, аспарагінової кислоти/аспарагіну, глутамінової кислоти/глутаміну і гліцину) подібний до результатів робіт інших авторів, які досліджували смажені кавові зерна та смажену каву.

Індекс потемніння КГ екстрактів з арабіки (0.165) і робусти (0.145) з кавоварки з фільтром, була в 3–5 разів вищою, ніж отримані від еспресо та плунжерної кавоварки [108]. Водні витяжки з розчинної КГ мають

нижчий індекс потемніння (0.271) до смаженої кави (0.305) [109]. Крім того, твердо-рідинний метод було запропоновано як ефективну екстракцію коричневих сполук, виміряну поглинанням за 420 нм (від 0.090 до 0.160) [110]. Автори [111] припустили, що КГ складається з 16 % меланоїдинів, хімічний склад яких не ще встановлено [112].

#### 4.8. Ліпідів

Повідомлялося, що КГ містять 10–15 % [113], а інколи вище, в середньому 20 % (діапазон 19.9–27.8 %) ліпідів [89], або 13.9–29.2 % ефірного екстракту на основі сухої маси [114]. У процесі заварювання ліпідів прилипають до КГ і відфільтровуються як у фільтрованому домашньому заварюванні, так і в виробництві розчинної кави [101]. Вихід ліпідів (7–13 % сухої маси) є низьким, коли КГ суспензовані у свіжому стані гептану (вагове співвідношення 1:10) та перемішано (3 години) за кімнатної температури [113]. КГ екстрагували гексаном з високим виходом олії (15.3 %) з низькими значеннями вмісту кислоти (3.65 %) і числа омилення (173). Дані параметри важливі для жирних кислот у виробництві метилового естеру (FAME) [115]. Комерційний етанол (99 %) використовувався для відновлення ліпідів з промислової КГ з вмістом олії 25.6 %. (екстракція сухої ваги петролейним ефіром). Максимум виходу масла (82 %) був отриманий за співвідношення КГ : спирт 1 : 7, 75 °C, не залежав від часу екстракції (1 або 2 години) і попередньої обробки (подрібнення або екструзія). Екстрагована олія мала характеристики, подібні до екстракту петролейного ефіру [116].

Вміст загальних ліпідів КГ коливаються від 9.3 до 16.2 %, 10–15 % і 14–15.4 % із залишків кави еспресо, фільтрованої та промислової розчинної кави відповідно [116–118]. Крім того, вихід жирів КГ під час екстрагування за допомогою Сокслета, є функцією умов екстракції, зокрема вибору розчинника і тривалості екстракції. Надкритичний вуглекислий газ виділяє до 85 % від загальної кількості олії з КГ через 3 години (що відповідає максимальному виходу 15.4 моль/100 г сухої КГ) [117].

Хоча гексан є найбільш широко і часто використовуваним розчинником, сучасна екологічно безпечна технологія SFE все частіше використовується для вилучення жирів КГ. Кава, приготовлена різними способами, показала, що ліпідів (90.2 %) в основному залишалися в КГ з наступним

ліпідним складом (% загальних ліпідів), 84.4 % триацилгліцеролів, 12.3 % ефірів дитерпенового спирту, 1.9 % стеринів, 1.3 % полярних матеріалів і 0.1 % стеринових естерів. Ліпідний склад подібний до вареної або фільтрованої кави з 87–93 % тригліцеридів, 7–13 % естерів дитерпенового спирту, 0.2–0.9 % стеролів і до 0.8 % полярного матеріалу [119]. Однак ліпідний склад КГ може змінюватися аналогічно до олії зеленої кави залежно від джерела, хоча зазвичай до 80–90 % олії є гліцеридами, в тому числі вільні жирні кислоти, а решта ліпідів, що містять терпени, – стерини та токоферолі [113]. Сире масло зеленої кави складається з: триацилгліцеринів (75 %), терпенових естерів (14 %), часткові ацилгліцеролі (5 %), вільні жирні кислоти (1 %), вільні стерини (1.5 %), стеринових естерів (1 %) і полярних ліпідів (<1 %) [120]. Автори роботи [121] надають огляд попередніх досліджень сирової та смаженої олії з кавових зерен, їх характеристик і складу. Жирнокислотний склад КГ складається переважно з лінолевої, пальмітинової, стеаринової та олеїнової кислот (табл. 5).

Арахідова (7 %) і ліноленова (< 5 %) кислоти також присутні в більшості жирів КГ, тоді як лауринова та міристинова кислоти виявляються рідко, залежно від умов екстракції, обробки та походження. Контрастний профіль жирних кислот є прикладом ефектів між двома процесами, які використовуються для отримання жирів КГ [126]. Жири КГ можна розділити на дві категорії (кластери) на основі їх профілю жирних кислот: з низьким вмістом пальмітинової (< 40 %) і високої лінолевої (> 40 %) кислот і навпаки, з високим вмістом пальмітинової (> 40 %) і низьким лінолевої (< 40 %) кислоти (табл. 5). Ці кластери приводять до співвідношення поліненасичених/насичених < 1 або > 1 екстрагованого олії. Жири КГ із співвідношенням поліненасичені/насичені > 1 менш атерогенні та тромбогенні, ніж ті, що мають співвідношення < 1 через потенційно сприятливе зниження концентрації холестерину та запобігання атеросклерозу та хворобам серця [130]. Фактор підвищення рівня холестерину в кавових зернах приписують присутності та/або концентрації дитерпенів кахеолу і кафестолу, яке змінюється залежно від кількох факторів [131], включаючи процес вилучення жирів [127].

Жири КГ з високим вмістом пальмітинової кислоти є джерелом пальмітинової кислоти для виробництва мила та/або самої кислоти, згідно з [132]. Крім того, поєднання високої концентрації лінолевої (44 %), пальмітинової (36 %) і олеїнової (9 %) кислот, які переважають в жирах КГ, можуть призвести до утворення біомаси та полігідроксилалканоатів (РНА) – як альтернативи повністю біорозкладної синтетички полімерних виходів [133].

Жири КГ також містять незначні ліпідні компоненти, такі як стероли, добре відомі своїм ефектом зниження рівню холестерину в сироватці крові шляхом зменшення всмоктування холестерину в кишківнику. Стерини складають приблизно 5.4 % від загальної кількості ліпідів у каві арабіка і складаються з ситостеролу (53 %), стигмастерину (21 %), кампестолу (11 %), циклоартенолу (8 %) та решти стеролів, кожен з яких становить 5 % або менше від загальної фракції стеролів [134]. Вміст стеролів в КГ залежить від походження і джерела смаженої кави (табл. 6) з ситостерином, стигмастерином і кампестеролом як найбільш поширеними стеролами.

#### 4.9. Мінерали

КГ містить золу (1.6 %), яка, згідно з аналізом ICP-AES, складається з кількох мінералів. Калій є найпоширенішим елементом, за яким йдуть фосфор і магній [135; 136]. Калій також є переважаючим мінералом у кавових зернах, що відповідає 40 % оксидної золи [137]. Більшість мінералів легко екстрагуються під час приготування кави гарячою водою.

Загальний мінеральний склад (К, Mg, P, Ca, Na, Fe, Mn і Cu) в КГ еспресо змінюється від 0.82 до 3.52 %, що підтверджує вилуговування мінералів протягом приготування кави еспресо, хоча й не настільки повне, як з розчинною кавою [64]. Калій, головний мінерал КГ еспресо, коливається від 3.12 до 21.88 мг/г [64]. Промислова КГ містить меншу

абсолютну (3.55 мг/г) і відносну (22 %) кількість цього елемента. Кава вважається важливим джерелом Mg, що становить 11 % мінералів КГ, знову ж таки вищий, ніж у промисловій КГ [136].

#### 4.10. Фенольні сполуки

Фенольні сполуки, які у високих концентраціях містяться в рослинах, є основним визначальним фактором антиоксидантного потенціалу [138]. Останнім часом зріс інтерес до натуральних продуктів рослинного походження, оскільки синтетичні антиоксиданти мають кілька недоліків. КГ містить кілька сполук, пов'язаних зі здоров'ям людини, таких як фенольні сполуки з продемонстрованими антиоксидантною, антибактеріальною, протівірусною, протизапальною та антиканцерогенною дією [139].

Відновлено фенольні сполуки з побічних продуктів кавової промисловості, їх антиоксидантну активність досліджено нещодавно. Фенольні сполуки побічних продуктів кави (кавова м'якоть, лушпиння, срібляста шкірка та КГ) екстрагували сумішшю розчинників ізопропанолу та води [140]. Субпродукти кави містять близько 1–1.5 % загальної кількості поліфенолів з найвищим виходом для срібної шкірки (25 %), потім за їх вмістом – відпрацьовані відходи (19 %) і вишневе лушпиння (17 %) після попередньої обробки віскозимом. Хлорогенова кислота (CGA) була основним фенольним компонентом під час аналізу за допомогою вискоефективної рідинної хроматографії. Насправді фенольні сполуки в основному містяться в зелених кавових зернах як CGA (до 12 % твердих речовин) [141].

Хлорогенові кислоти (CGA) являють собою серію фенольних естерів, отриманих в результаті об'єднання естеру кавової кислоти та хінної кислоти. Вміст хлорогенової кислоти в зеленій каві становить 7 % і досягає 4 % після обсмажування. Об'єм 200 мл смаженої та меленої кави може забезпечити від 70 до 350 мг хлорогенової кислоти.

Table 5

#### Fatty acid composition of SCG

Таблиця 5

#### Жирнокислотний склад КГ

Джерело	C12:0	C14:0	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	C20:0	НЖК (насічені жирні кислоти)	ПНЖК, поліненасічені жирні кислоти	ПНЖК/НЖК	ІА індекс атерогенності	ТІ, тромбогенний індекс
[122]	Н.в.	0.05	32.45	8.35	9.00	45.04	4.12	Н.в.	41.0	50.0	1.22	0.55	1.26
[123]	Н.в.	Н.в.	37.37	7.07	8.31	44.67	1.42	1.16	45.6	46.1	1.01	0.69	1.44
[124]	Н.в.	0.1	32.80	7.10	10.30	44.20	1.50	2.60	42.5	45.7	1.08	0.58	1.25

Продовження табл. 5													
[113] Після заварювання Drip-кави	Н.в.	Н.в.	35.40	6.70	6.70	22.00	Н.в.	0.00	42.1	22.0	0.52	1.23	2.93
[113] Після заварювання еспрессо	Н.в.	Н.в.	41.40	13.50	24.00	49.90	1.40	1.50	56.4	51.3	0.91	0.55	1.49
Продовження табл. 5													
[125] Після заварювання Drip-кави	3.58	2.00	43.64	6.55	8.18	32.35	1.31	2.39	58.2	33.7	0.58	1.32	2.15
[126] Після заварювання еспрессо	Н.в.	0.4	0.50	0.30	12.90	56.90	8.50	9.80	21.7	65.4	3.01	0.03	0.01
[126] Після заварювання еспрессо	Н.в.	0.3	1.00	28.00	0.60	24.90	5.50	37.80	69.0	30.4	0.44	0.07	0.33
Надкритична флюїдна екстракція (SFE)													
[127]	Н.в.	Н.в.	35.78	6.25	Н.в.	46.53	2.02	Н.в.	42.2	49.1	1.16	0.62	1.32
[123]	Н.в.	Н.в.	37.48	6.02	9.53	44.52	0.99	1.46	45.0	45.5	1.01	0.68	1.45
[128]	Н.в.	Н.в.	34.04	5.45	5.45	25.83	Н.в.	1.89	41.4	25.8	0.62	1.09	2.52
[129]	Н.в.	Н.в.	35.86	5.26	7.56	35.35	Н.в.	1.53	42.7	9.9	0.24	0.84	1.92
[128]	11.6	4.36	36.86	11.32	15.87	44.15	2.16	6.91	71.1	46.3	0.65	1.06	1.43
[129]	7.4	2.42	41.87	10.4	15.79	41.19	1.88	4.29	66.4	46.7	0.91	1.00	1.91

Н.в. – не визначено

Table 6

## Stoerin (%) composition of SCG and fried coffee [89]

Таблиця 6

## Стериновий (%) склад КГ та смаженої кави [89]

Стерини	КГ1	КГ2	Кава 1	Кава 2
Вміст олії (%)	26.74	20.34	5.84	5.74
Неомілювані речовини (% DW)	2.12	1.37	1.23	0.79
Стерини (% жиру)				
Кампестерол	16.08	18.36	15.66	16.83
Стигмастерол	21.75	22.48	22.82	21.94
Ситостерин	52.66	48.00	52.27	48.78
$\Delta^5$ Авенастерол	5.30	9.07	4.05	8.81
$\Delta^7$ Стигмастенол	1.65	0.62	2.01	1.68
$\Delta^7$ Авенастерол	1.42	0.80	1.74	0.70

Кавові зерна містять більше 40 хлорогенових кислот, особливо естери хінної кислоти, такі як CQA, di-CQA та FQA. Ці сполуки мають значну антиоксидантну здатність, а також стимулюючу та оздоровчу дію на організм людини. Крім того, хлорогенова кислота є більшою молекулою, ніж кофеїн; його молярна маса становить 354.31 г/моль, а його топологічна полярна поверхня становить 165 Å<sup>2</sup>, тоді як для кофеїну розраховані значення – 194.19 г/моль і 58.4 Å<sup>2</sup> відповідно.

Кофеїлхінні кислоти (CQA) є найпоширенішими фенольними сполуками в каві. Монокофеїлхінні кислоти (3-CQA, 4-CQA, 5-CQA) та дикафеїлхінові кислоти (3,4-diCQA, 3,5-diCQA, 4,5-diCQA) були ідентифіковані та кількісно визначені в отриманих зразках КГ від різних кавоварок (фільтр, еспресо, плунжерні та мокко) і у відповідних варіннях кави [108]. Усі зразки КГ, за винятком КГ з кавоварки мокко, мають відповідну кількість загальної кофеїлхінової кислоти в діапазоні

від 11.05 мг (еспресо) до 13.24 мг (фільтр) на грам КГ арабіки і від 6.22 мг (фільтр) до 7.49 мг (еспресо) на грам КГ робусти. КГ Espresso демонструє високу варіабельність із 5-CQA в діапазоні від 0.397 до 2.642 мг/г (сухої ваги) і загального CGA коливається від 2.12 до 7.66 мг/г (сухої ваги) [64].

Антиоксидантні фенольні сполуки з КГ екстрагували звичайним твердо-рідинним методом. Наприклад, екстракція КГ 60 %-вим метанолом, при співвідношенні розчинник/тверда речовина 40 мл/г та тривалості екстрагування 90 хв, дає високий вміст фенолу в отриманому екстракті (16 мг-еквівалентів галової кислоти (GAE)/г КГ) з високою антиоксидантною активністю (FRAP 0.10 мМ Fe(II)/г) одночасно [136]. Фенольні сполуки з КГ (зразки КГ-1 та КГ-2) були видобуті екологічно чистим і економічно ефективним процесом з використанням водного етанолу при відносно низьких температурах для збереження активності

фенольних сполук [142]. Загальний фенольний вміст КГ-1 і КГ-2 становив 17.75 і 21.56 мг GAE/г відповідно.

Таким чином, фенольні екстракти можуть бути отримані з КГ за допомогою екологічно безпечної та простої процедури екстракції розчинником. Етанол також вплинув на вилучення природних антиоксидантів із відпрацьованого фільтра за допомогою мікрохвильової обробки кави [143]. Найвищий вміст загальних фенольних сполук (399 мг GAE/г екстракту, суха речовина) було отримано з 20 %-вим водним етанолом лише за 40 с мікрохвильового випромінювання (80 Вт), що означає, що метод дуже ефективний, заощаджує час і хімікати. Екстракти (20 мг/мл) продемонстрували високу інгібуючу антиоксидантну активність *in vitro* 90 % радикалів DPPH, що підтримує їх біологічну стабільність. Пізніше ця дослідницька група виявила, що загальні фенольні сполуки КГ сильно корелюють з їх DPPH, і, отже, здебільшого відповідають за антиоксидантну активність. Система UHPLC-PDA-TOF-MS використовувався для розділення, ідентифікації та кількісного визначення фенольних і нефенольних сполук в екстрактах КГ. Високий вміст CGA та споріднених сполук, а також кофеїну демонструють високий потенціал КГ, відходів, що широко доступні в світі, як джерело натуральних фенольних антиоксидантів [144].

### 5. Функціональні та технологічні властивості КГ

Використання КГ в харчових технологіях передбачає вивчення його функціональних властивостей (здатність до утримання води та жиру, емульгуючі властивості) та їх антиоксидантний потенціал, що дозволить позиціонувати цей продукт як сировину для надання бажаних функціональних властивостей харчовим продуктам [46; 145].

Водоутримуюча здатність (WHC) і маслоутримуюча здатність (OHC) є важливими

властивостями, які слід враховувати в технологіях продуктів харчування. Ці властивості можна визначити як здатність сировини утримувати воду або масло після прикладення зовнішньої відцентрової сили тяжіння або стиснення. На думку деяких авторів, WHC і OHC можуть бути пов'язані з розміром частинок матеріалу: ємність утримання збільшується, коли використовуються менші розміри частинок, як наслідок – має місце найвища щільність упаковки дрібніших частинок [140].

Під час дослідження функціональних властивостей КГ автори [146; 147] використовували продукт з розміром частинок діаметром  $\leq 500$  мкм, оскільки цей розмір вважається ідеальним для оцінки цих властивостей [146; 147]. У даному випадку площа контакту між поверхнею частинки КГ та рідиною збільшується. Однак структура окремої частинки КГ та її склад також можуть сприяти розподілу води або масла та впливати на значення показників WHC і OHC [148].

Повідомляється, що WHC КГ має вищі показники завдяки більшому вмісту харчових волокон у порівнянні з іншою рослинною сировиною [147]. Це узгоджується з результатами, отриманими в іншому дослідженні, яке показало, що КГ має достатньо високий вміст харчових волокон, TDF і WHC. Крім того, зразки КГ демонструють більшу WHC, ніж такі матеріали як рисове лушпиння, пшенична солома та окара [147], що також може бути пов'язано з більшим вмістом харчових волокон у КГ, ніж у цих матеріалах. Щодо OHC також повідомлялося, що вона залежить від деяких властивостей зразків КГ, включаючи властивості поверхні частинок, товщини шару кави під час екстрагування, загальної густини порції заварюваної кави та гідрофобної природи зразків [149]. На думку деяких авторів, зразки, багаті лігніном, демонструють вищі значення OHC [150].

Table 7

#### Functional properties of SCG [46]

Таблиця 7

#### Функціональні властивості КГ [46]

Функціональні та фізіологічні властивості	КГ
Водоутримуюча здатність, WHC (г води/г сухого зразка)	5.73±0.10
Маслоутримуюча здатність, OHC (г масла/г сухого зразка)	5.20±0.30
Емульгуюча активність, EA (%)	54.72±0.90
Стабільність емульсії, ES (%)	92.38±0.90
Антиоксидантний потенціал	
DPPH (мкмоль тролокс/г сухого матеріалу)	20.04±0.05
FRAP (ммоль Fe(II)/г сухого матеріалу)	0.102±0.01

Аналіз значень WNC і OHC дозволив зробити висновок, що залишки кави є матеріалами з великою здатністю до набування, яка є однією з найбільш бажаних параметрів функціональності харчових волокон. WNC, наприклад, вважається важливим параметром, що впливає на властивості харчових волокон, включених у раціон людини [151]. З іншого боку, OHC є фундаментальним для стабілізації продуктів і емульсій з високим вмістом жиру [152]. Обидва показники, WNC і OHC, відіграють важливу роль під час приготування, обробки та зберігання харчових продуктів. Крім того, вони можуть впливати на поживні та сенсорні характеристики їжі та її фізичні властивості [152].

Емульгуюча активність (EA) – це здатність сполуки до утворення однорідної дисперсії двох незмішуваних рідин або емульсії, тоді як стабільність емульгування (ES) – це ефективність молекули стосовно підтримки термодинамічної стабільності емульсії [153]. КГ мають високі значення EA (54.72 %), водночас ES мала значення (92.38 %). Слід зазначити, що залишки кави мають вищі значення ES і є ціннішими, ніж інші матеріали, такі як лімська квасоля (28.25 %) [146], борошно з ядра папайї (58 %), кукурудзяні качани (80 %) і пшенична солома (86.94 %) [154]. Така поведінка безпосередньо пов'язана з типом клітковини і відсотком розчинних і нерозчинних волокон у складі матеріалу. Крім того, білкова фракція, присутня в залишках,

також відіграє важливу роль у закріпленні частини волокна на поверхні розділу нафти або води [149]. Таким чином, КГ є продуктом з чудовою емульгуючою активністю та стабільністю емульсії, тому має великий потенціал для використання в якості емульгатора в різних продуктах харчування, включаючи напої, молочні продукти, випічку, кондитерські вироби або продукти для годівлі тварин, які вимагають тривалої стійкості емульсії.

Деякі дослідження, в яких пропонується використовувати КГ у твердому вигляді та у формі екстракту в деяких харчових продуктах, підсумовані в табл. 8.

*Антиоксидантна активність* КГ є природним джерелом антиоксидантів, застосовним до кількох чутливих до окиснення харчових продуктів, таких як олії та жири, фруктові соки, молочні продукти з високим вмістом жиру та багато іншого. Кілька фенольних антиоксидантів, таких як дубильна кислота, хлорогенова кислота, кофеїн, антиоксидантні полісахариди та меланоїдини (сполука, що утворюється під час обсмажування кави), можуть бути хорошими функціональними антиоксидантними – харчовими інгредієнтами. Останнім часом люди більше прагнуть використовувати такі нові функціональні інгредієнти в різних рецептурах солодоців, хлібобулочних виробів, напоїв, кондитерських виробів, готових до вживання, та закусок [170; 171].

Table 8

## Use of SCG in foodstuffs [46]

Таблиця 8

## Використання КГ у харчових продуктах [46]

Активні сполуки	застосування	Активна функція	Джерело інформації
Антиоксидантні харчові волокна	печиво	Покращує хронотип і циркадіанну рухову активність	[155]
Харчові волокна	Хлібобулочний виріб	Антиоксидантні властивості	[156]
Харчові волокна	Цукри (маноза, галактоза, арабіноза, гомополімер глюкози)	Харчова цінність та функціональні властивості	[136]
Антиоксидант, нерозчинна клітковина, незамінні амінокислоти, цукри з низьким глікемічним показником	печиво	Профілактичні властивості - ризик хронічних захворювань, таких як ожиріння та діабет	[157]
Антиоксидантні фенольні сполуки	Ферментовані та дистильовані напої	Харчова цінність та функціональні властивості напоїв	[158]



Ароматичні сполуки (спирти, складні ефіри, альдегіди та кислоти)	Дистильовані алкогольні напої	Харчова цінність та функціональні властивості	[159]
Фенольні сполуки, хлорогенова кислота, кофеїн і харчові волокна	Інгредієнти харчових продуктів, що зміцнюють здоров'я	Харчова цінність та функціональні властивості	[160]
Лігноцелюлоза	Цукор, біоактивні сполуки	Нутрицевтики або харчові добавки	[161]
Поліфеноли, кофеїн, антиоксиданти	Біоактивні сполуки	Харчова цінність та функціональні властивості	[162]
Антоціани та харчові волокна	Біоактивні сполуки	Харчова добавка	[163]
борошно	Харчовий інгредієнт, як сиропи і алкогольні напої	Сирий матеріал	[164]
Харчові волокна і поліфеноли	Солоне печиво	Високий вміст клітковини та антиоксидантів	[165]
Антоціани	Харчовий інгредієнт	Натуральний барвник	[166]
Екстракт каскара	Йогурти	Інгібування $\alpha$ -глюкозидази	[167]
Дієтичні волокна кави (cascara)	Хліб	Безглютеновий продукт	[168]
Борошно	Хлібобулочні вироби	Джерело харчових волокон і антиоксидантна здатність	[169]

Аналіз наявної інформації показує, що значна частка досліджень описує антиоксидантну здатність КГ з різних сортів кави. За результатами досліджень антиоксидантної здатності КГ сортів арабіки, робусти та ліберіки [172] доведено, що КГ робусти мала вищу здатність поглинати радикали, а далі – КГ сортів арабіки та ліберіки. Це збігається з висновками [173; 174]. На рис. 1 представлено результати трьох

тестів на антиоксиданти трьох різних зразків КГ. Автори [175] показали, що використання гарячої води (WE), екстрагування етанолом з нагріванням (HEE) та без нагрівання (SEE) під час екстрагування КГ показали значну потенційну антиоксидантну та радикальну активність та перспективу щодо створення емульсій на основі олії та їх використання в технологіях м'ясних (варених і сирих) продуктів.

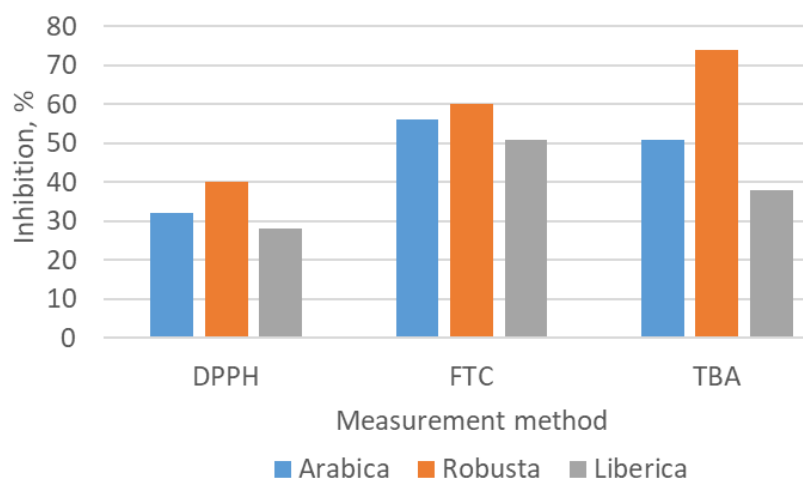


Fig. 1. Antioxidant activity of SCG from different varieties of coffee, measured by DPPH methods, thiocyanate of iron (FTC), thibarbituric acid TBA [172]

Рис. 1. Антиоксидантна активність КГ з різних сортів кави, виміряна методами DPPH, тїоціанату залїза (FTC), тїобарбітурової кислоти TBA [172]

Для того, щоб оцінити антиоксидантну активність КГ, у роботі [176] екстракти були отримані твердо-рідинною екстракцією з використанням метанолу, який вважався одним із найкращих розчинників для вилучення антиоксидантних сполук з природних джерел, враховуючи такі властивості, як полярність, в'язкість і здатність сприяти високому виходу при екстракції [176]. За результатами аналізу DDPH було визначено антиоксидантний потенціал на рівні 20.04 мкмоль тролокс/г сухого матеріалу. Проте аналіз FRAP виявив 0.102 ммоль Fe(II)/г сухого матеріалу. За даними сучасної літератури, для оцінки антиоксидантної активності в харчових та біологічних системах можна використовувати різні методи. Втім, доцільно визначати антиоксидантний потенціал зразка різними методами для кращої інтерпретації результатів. Антиоксидантні сполуки мають численні застосування в харчовій, косметичній та фармацевтичній сферах, бо вони можуть захистити від хронічних і дегенеративних захворювань, таких як рак та цукровий діабет, а також, серед інших, зменшити фактори ризику серцево-судинних захворювань [177].

Автори роботи [178] екстрагували антиоксиданти з КГ за допомогою системи високого тиску та температури з подальшим захопленням екстракту в ліпосоми за допомогою надкритичного сприяння утворенню ліпосом, що призвело до гарної інкапсуляції з 93 % навантажувальної антиоксидантної активності. Дослідники антиоксидантної активності КГ [179] спостерігали приблизно 500 ммоль-екв. тролоксу/г. Незалежно від вмісту кавових меланоїдинів у КГ, її можна віднести до продуктів з потужними антиоксидантними властивостями.

Відновлення відповідних природних антиоксидантів для використання в якості харчових добавок, харчових продуктів або косметичних добавок може бути досягнуто шляхом екстракції КГ за допомогою екологічно чистих процедур. Автори [180; 181] оптимізували умови екстракції за допомогою мембранної технології та рідинної екстракції під тиском відповідно. Екстракт був багатий на кофеїн (0.9 мг/г сухої маси), який можна було надалі використовувати як натуральну харчову добавку, антимікробний агент і барвник у кількох харчових рецептах [182].

Автори роботи [183] повідомили про значення WHC (5.73 г) і OHC (5.20 г). Згідно з деякими авторами, WHC і OHC пов'язані з розміром частинок матеріалу; отже, коли використовуються менші частинки, їх утримувальна здатність збільшується завдяки вищій щільності упаковки [173]. Крім того зазначено, що КГ має більшу WHC порівняно з іншими рослинними матеріалами, такими, як лушпиння злаків [183]. Це можна пояснити високим вмістом клітковини.

Стабілізація продуктів і емульсій з високим вмістом жиру регулюється OHC [184]. І WHC, і OHC є важливими параметрами функціональності харчових волокон під час обробки, приготування та зберігання харчових продуктів. Крім того, вони також впливають на харчові, сенсорні характеристики та фізичну поведінку харчових продуктів.

Таким чином, з точки зору технологічних і функціональних властивостей, кавова гуща та борошно з неї демонструють хорошу здатність до утримання води та олії, емульсійну активність і стабільність, а також антиоксидантний потенціал, і тому є чудовими кандидатами для використання в харчовій індустрії. Порівняльні дані харчової цінності борошна з кавової гущі наведені в табл. 9.

## **6. Мікробіологія кавової гущі як харчової сировини**

Не тільки комерційна мелена кави, а й відходи після її заварювання – кавова гуща – як інгредієнт рецептурних складів у різних харчових технологіях має бути безпечними для споживання та відповідати нормам безпечності. Однак існує ризик псування цвіллю комерційної меленої кави, особливо токсигенною цвіллю, що походить від кавових вишень або зелених зерен. У роботі [186] було оцінено поширеність псування пліснявою в п'ятнадцяти марках меленої кави, до та після її заварювання; у кавовій гущі після традиційного заварювання (заварювання без фільтрації). Підрахунки цвілі були проведені на дихлоран-гліцериновому 18 %-вому агарі методом розсіпання.

Прояви плісняви також були морфологічно ідентифіковані після ізоляції на агарі з солодовим екстрактом і агарі з картопляною декстрозою. Результати показали, що у всіх зразках виявлено низьку кількість цвілі перед варінням – в діапазоні від 10 до 200 КУО/г. Всього виявлено одинадцять родів

мікроорганізмів. *Aspergillus*, *Cladosporium* і *Penicillium* були виявлені як переважаючі роди. Після заварювання загальна кількість зменшилася до рівня від «не зареєстровано» до середнього (3 КУО/мл).

Table 9

## Comparative data of food value of flour from SCG [185]

Таблиця 9

## Порівняльні дані харчової цінності борошна з КГ [185]

Тип борошна/ Харчовий склад	борошно з кавової гуцці	борошно кіноа	рисове борошно (коричневе)	рисове борошно (біле)	борошно кукурудзяне (цільнозернове, жовте)	борошно сорто (цільнозернове)	вівсяне борошно	соеве борошно (повножирне, сире)	борошно гречане (цільнозернове)	борошно пшеничне (цільнозернове)	картопляне борошно	борошно тефф (біле)	Борошно з цвіркунів	мигдалеве борошно	кокосове борошно
Калорій	236.5	400	363	366	361	359	404	436	335	340	357	350	458	600	429
Жирів, г.	1.25	6.7	2.8	1.4	3.9	3.3	9.1	20.7	3.1	2.5	0.3	2.9	24	50	14.3
Насичених жирів, г	0.45	0.7	0.6	0.4	0.5	0.5	1.6	3	0.7	0.4	0.1	0.72	0.24	3.3	14.3
Мононенасичених, г.	< 0.2	1.6	1	0.4	1	0.9	2.9	4.6	0.9	0.3	0	0.7	-	-	-
Поліненасичених, г.	0.6	3.3	1	0.4	1.8	1.4	3.3	11.7	0.9	1.2	0.2	1.35	-	-	-
Вуглеводів, г.	5.5	70	76.5	80.1	76.9	76.6	65.7	35.2	70.6	72	83.1	67.7	8.4	16.7	60
Цукрів, г	< 0.1	6.7	0.9	0.1	0.6	1.9	0.8	7.5	2.6	0.4	3.5	1.4	0.53	3.3	5.7
Харчові волокна, г	72.6	6.7	4.6	2.4	7.3	6.6	6.5	9.6	10	10.7	5.9	7.1	6	10	37.1
Білок, г.	15.5	13.3	7.2	6	6.9	8.4	14.7	34.5	12.6	13.2	6.9	9.6	59	23.3	17.1
Кальцій, мг	66.7	66.7	11	10	7	-	55	206	41	34	65	180	145	266.7	57
Магній, мг.	164	-	112	35	93	123	144	429	251	137	65	-	126	-	-
Фосфор, мг.	125	-	337	98	272	278	452	494	337	357	168	-	-	-	-

Дослідження мікрофлори комерційної кави до і після заварювання є важливим з позиції безпечності для споживання кави та інших продуктів харчування, виготовлених із використанням КГ.

Якість кавових зерен може вплинути на характерну для кавових напоїв якість та сенсорні характеристики смаженої та вареної кави, надаючи небажані атрибути [187]. Була виявлена наявність ниткоподібних форм колоній грибів в кавових зернах, оброблених в Бразилії, Малайзія, Філіппіни, Таїланд і Саудівська Аравія [188–192]. Спори грибів *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* і *Cladosporium* були знайдені як забруднювачі натуральної кави в Бразилії [188], і присутні в кавових зернах з поля, під час бродіння та сушіння на складах. У [192] також повідомили, що чотирнадцять родів мікроорганізмів були виділені з кавового зерна на Філіппінах після збирання та сушіння. Внаслідок цього на кавових зернах може з'явитися цвіль, як результат порушення умов збору врожаю і неналежного сушіння. Різноманітність забруднюючої цвілі також може залежати від

регіону, звідки походять кавові зерна [189; 193].

Хоча температура обсмажування кавових зерен може усунути забруднюючу цвіль, однак деякі спори не повністю знищуються і будуть переноситися в кавові продукти. Автори роботи [191] повідомили, що все ще зустрічаються цвілі різних родів на восьми з двадцяти комерційних порошків чорної кави (зразки з Малайзії). *Fusarium sp.* домінували як забруднювачі, а потім ідуть *Penicillium sp.*, *Aspergillus sp.*, і *Cladosporium spp.* У [190] також повідомляється, що дев'ять видів з п'яти родів були вилучені з 21 зразка смажених кавових зерен з роздрібних ринків на Філіппінах. *Aspergillus*, *Penicillium*, *Chrysosporium*, *Microascus* і *Rhizopus* були знайдені як забруднювачі кави.

Зазвичай каву вживають після гарячого заварювання, приготування за допомогою кавомашини або кавоварки, де включено фільтрування [194], однак, незважаючи на різні сучасні технології заварювання кави, популярним залишається традиційний процес заварювання [195].

Загальна кількість цвілі в комерційній меленій каві знаходилася в діапазоні від 10 КУО/г до 200 КУО/г. Ці показники зменшилися після заварювання, від невиявленого рівня (без колонії) до середнього 3 КУО/мл. Раніше рН був у діапазоні від 5.12 до 6.12 у меленій кави до заварювання і трохи зменшувався після заварювання до інтервалу 5.04–5.88. Справа в тому, що низька кількість цвілі все ще виявляється після заварювання в деяких зразках кави, ймовірно, є спори деяких цвілевих грибів стійкі до термічної обробки під час заварювання.

Результати досліджень різних авторів не сперечаються між собою. Так, [190] повідомили, що загальна кількість цвілі у смажених зернах кави на Філіппінах була в діапазоні  $5.3 \cdot 10^1$  до  $1.4 \cdot 10^2$  КУО/г. В [191] повідомили, що комерційні зразки порошку чорної кави з Малайзії були забруднені цвіллю в діапазоні <100 до  $1.2 \cdot 10^3$  КУО/г.

Після обсмажування загальна кількість цвілі в кавових зернах зменшилася значно, на 93–97 % [190]. Наявність плісняви після смаження може бути пов'язана з забрудненням на етапі попередньої обробки сировини, відносно високою термостійкістю спор цвілі або з недостатнім нагріванням обробки під час смаження.

Перед заварюванням було виявлено одинадцять родів мікроорганізмів серед яких *Cladosporium*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Alternaria*, *Geothricum*, *Phoma*, *Rhizopus*, *Chrysonilia*, *Curvularia*, *Pestalotiopsis* і *Fusarium*.

Цвіль *Alternaria* sp. було виявлено в п'яти зразках, тоді як *Aspergillus* sp. було виявлено в двох зразках КГ. Наявність *Alternaria* sp. показала, що вони, ймовірно, виробляли спори, які можна вважати термостійкими. Спороутворюючі *Aspergillus* разом з *Byssochlamys*, *Talaromyces*, і *Penicillium*, як повідомили [196], належать до найпоширеніших жаростійких форм.

Було доведено, що заварювання кави у промислових кавомашинах або традиційним заварюванням за температури 70 °C протягом 10 хв може інактивувати *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Mucor* і *Rhizopus* [197]. Однак [198] повідомили, що *A. fumigatus*, *Aspergillus nidulans*, *Eupenicillium baarnense* та *Ulocladium spp.* були відновлені після термічної обробки за 80 °C протягом 60 хв. Було зафіксовано факти існування *Acremonium sclerotigenum*, *A. ochraceus*, *Botryotrichum piluliferum*, *Byssochlamys fulva*, *Gilmaniella humicola*,

*Neosartorya fischeri*, *Nodulisporium sp.* і *Talaromyces avellaneus* після нагрівання за 90 °C протягом 10 хв.

Крім того, термостійкість форм із роду *Aspergillus*, які були виділені з пастеризованого продукту, була описана [199]. Значення D (D-критерій - це час, необхідний для зниження концентрації мікробіальної популяції в 10 разів, при мінімальній температурі обробки відповідного продукту; критерій стійкості окремих бактеріальних видів) у розчині глюкози *Aspergillus hiratsukae* ( $\equiv$  *Neosartorya hiratsukae*), *A. Neoglaber* ( $\equiv$  *Neosartorya glabra*) і *A. Thermomutatus* ( $\equiv$  *Neosartorya pseudofischeri*) були в діапазоні від 3.7 до 13.5 хв за 87 °C; 1.5–3.5 хв за 90 °C, і 0.3–0.4 хв за 95 °C.

В цілому це дослідження показало низький рівень цвілі, що міститься в комерційній меленій каві перед заварюванням – в діапазон від 10 до 200 КУО/г. *Cladosporium*, *Aspergillus* і *Penicillium* були відновлені як поширені і важливі роди у меленій каві перед заварюванням. Однак процес заварювання зменшує кількість цвілі та її різноманітність. *Aspergillus* sp. і *Alternaria* sp. було виявлено в дуже низьких кількостях, які не представляють ризик для здоров'я. Це дослідження також підкреслило, що якість і безпека комерційної кави повинні регулярно перевірятися, щоб отримати та/або підтримувати в безпеці кавову продукцію для споживачів.

## 7. Особливості впливу вживання КГ на здоров'я людини

Білок КГ посідає високе місце в основному розгалуженому ланцюзі амінокислот (ВСАА) і коефіцієнт Фішера вищий, ніж у соєвого шроту або соєвого білка. Деякі білки КГ з низьким (<1 %) вмістом ароматичних амінокислот мають високий коефіцієнт Фішера, подібний до тих, які зазвичай отримують гідролізом і інтенсивним процесом очищення. Білки з високим ВСАА, коефіцієнт Фішера та низький вміст ароматичних амінокислот корисні для виробництва фізіологічно функціональних харчових продуктів для особливих потреб, наприклад, для пацієнтів із недоїданням, пов'язаним із раком, опіками, травмами та печінковою недостатністю, а також для підтримки харчування дітей із хронічною або гострою діареєю або алергією на молочний білок [200]. Білок із коефіцієнтом Фішера більше 20 і ароматичних амінокислот (ААА) – менше 2 % використовували для лікування пацієнтів з печінковою енцефалопатією [201].

Таким чином, білок КГ можна використовувати для створення функціональних харчових продуктів для людей при захворюванні печінки, окисного стресу та гіпертонії. Співвідношення лізин/аргінін, визначальний фактор холестеринемічного та атерогенного ефектів білка, є високим для білка КГ, що свідчить про те, що він може сприяти гіперхолестеринемічній та атеро-генній фізіологічній дії. Білок КГ також є чудовим джерелом аргініну, глутаміну і гістидину. Ці три відомі амінокислоти сильно впливають на імунні функції організму.

Високий вміст цистеїну та метіоніну в КГ потенційно може підвищити рівень антиоксидантів в організмі, стабілізувати ДНК під час ділення клітин і знизити ризик деяких форм раку товстої кишки. Есенціальний аміноіндекс КГ є високим (79–129 %) відносно білка сої та вище, ніж у соєвого шроту, що пов'язано насамперед з внеском лейцину та ізолейцину.

### 8. Пористість, гранулометричний склад кавової гущі та його залежність від способу заварювання кави

Гранулометричний склад КГ залежить від помолу кави під час заварювання та є одним з важливих її показників, що впливає на технологічні та поживні властивості продуктів харчування, виготовлених із використанням кавової гущі або борошна з неї.

Враховуючи, що в багатьох технологіях продуктів харчування (хлібобулочні та кондитерські вироби, соуси та ін.) використовують саме борошно з кавової гущі, під час проведення оцінки його гранулометричного складу доцільно провести

порівняння з фракційним складом борошна пшеничного, яке частково (або повністю) замінюють на борошно з кавової гущі.

Крупність помелу характеризує міру подрібнення зерна й позначається на технологічних властивостях борошна. Борошно вищого ґатунку має розміри частинок борошна 30–40 мкм; борошно 1-го ґатунку – від 30 до 60 мкм; борошно 2-го ґатунку 30–200 мкм. Оббивне борошно має дуже неоднорідні розміри частинок – від 30–40 до 500–600 мкм [202].

На сьогоднішній день на практиці найчастіше виділяють наступні основні види помелу кави, виходячи з використовуваного обладнання для його заварювання [202] (рис. 2, табл. 10):

- турка – найдрібніший помел. Тактильно та візуально: борошно, какао-порошок. (30–40 мкм);
- еспресо – дрібний помел. Візуально та тактильно: крупна цукрова пудра, сіль-пудра;
- гейзерна кавоварка (моку) – середній помел. Візуально та тактильно: сіль дрібного помелу;
- аеропрес, сифон – середній помел. Візуально та тактильно: трохи менше цукрової піску (0,2–2,5 мм,);
- кемекс – грубий помел. Візуально і тактильно: сіль грубого помелу;
- френч-прес – грубий помел. Візуально і тактильно: дрібні хлібні крихти, ячна крупа. (до 0.8 мм).

Дослідження пористості дозволило визначити питому площу поверхні КГ (SBET) (4.3 м<sup>2</sup>/г), що є відносно низьким значення та свідчить про малу кількість мікропор, загальний обсяг яких становив 0.004 см<sup>3</sup>/г.

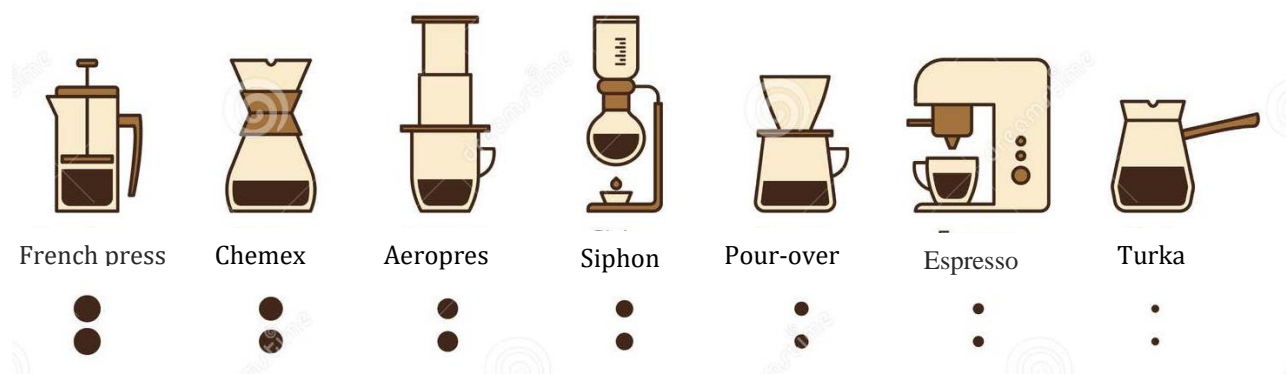


Fig. 2. The degree of grinding coffee depending on the method of brewing [202]

Рис. 2. Ступінь помелу кави в залежності від способу заварювання [202]

Аналіз розподілу мезопор за розмірами методом ВЈН (метод розрахунку розподілу пор

за розмірами в пористому матеріалі за результатами аналізу ізотерм адсорбції або

десорбції) показав чітко визначений профіль з більшістю мезопор приблизно 3 і 12 нм ( $r = 10$  і  $60 \text{ \AA}$  відповідно) і незначною кількістю мезопор розміром понад 18 нм. Ці аналізи підтверджують, що КГ є матеріалом з дуже низькою пористістю, який містить мезопори менше 12 нм, питома поверхня від 2 до  $5 \text{ м}^2/\text{г}$ , а питомий об'єм пор – між  $0.003$  і  $0.004 \text{ см}^3/\text{г}$ . Низька пористість цього матеріалу може бути

перевагою в залежності від кінцевої мети застосування. З іншого боку, коли потрібні матеріали з більшою пористістю, альтернативою для покращення пористості КГ було б піддавання цих матеріалів будь-якій обробці з метою сприяння повній або частковій деградації целюлозно-лігнінової матриці, що зменшувало б їх кристалічність, збільшуючи пористість як наслідок [25].

Table 10

The size of the coffee grinding [202]

Таблиця 10

Розміри помелу кави [202]			
Розмір помелу	Розмір частинок, мм	Консистенція схожа на	Найкраще для
Екстра-грубий	1.5	Кам'яна сіль	Холодний напій
Грубий	1	Крупна морська сіль	Френч-прес, перколятори
Середній	0.75	Пісок пляжу	Наливна, Chemex, крапельна кавоварка
Середній тонкий	0.5	Кухонна сіль	Мока пот (варочний еспресо), AeroPress, сифонна заварка, наливний конус
Тонкий	0.3	Дрібний цукор-пісок	Еспресо
Надтонкий	0.1	Борошно	кава по-турецьки

Під час дослідження морфології КГ авторами [25] були отримані зображення за допомогою скануючої електронної мікроскопії (рис. 3).

Дослідження змін у структурі КГ за теплової обробки відбувалося шляхом будівництва термограм, і показало [25] термічні переходи зразків від  $25$  до  $600 \text{ }^\circ\text{C}$ , отриманих в ході нагрівання зі швидкістю  $10 \text{ }^\circ\text{C}/\text{хв}$  в атмосфері азоту. Термограми, отримані для SCG, демонстрували дві фази: початкова – ендотермічна фаза, наступна – екзотермічна. Спостерігалася рання ендотермічна фаза з піком за  $76.89 \text{ Дж/г}$ , асоційована зміна

ентальпії становила  $192.80 \text{ Дж/г}$ . Ця фаза пов'язана загрегатним переходом, плавленням, яке відбувається у зазначеному діапазоні температур через наявність домішок у пробі, до випаровування води (вказує на наявність гідрофільних груп і кристалічної природи матеріалів). Друга фаза відповідає екзотермічному переходу, що відбувається за  $303 \text{ }^\circ\text{C}$ , і супроводжується зміною ентальпії  $\Delta H = 68.38 \text{ Дж/г}$ . Процес, що відбувається в діапазоні температур  $220\text{--}310 \text{ }^\circ\text{C}$ , пов'язаний з термічною деполімеризацією та розгалуженням зразків, [203].

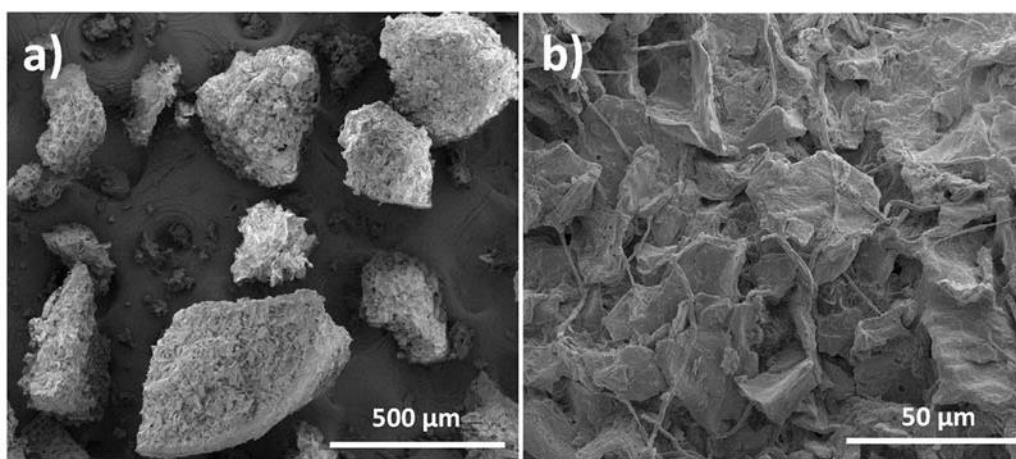


Fig. 3. Microphotography by scanning electron microscopy (SEM) of used SCG. Increase 200 times (a) and 2000 times (b) [25]

Рис. 3. Мікрофотографія КГ за допомогою скануючої електронної мікроскопії (SEM). Збільшення у 200 разів (a) і 2000 разів (b) [25]

Криві термограм показали втрати ваги зразків за нагрівання до  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  з трьома

визначеними етапами втрат маси [25]. Перший починається приблизно з  $60.60 \text{ }^\circ\text{C}$ , що

відповідає м'якій втраті ваги, приблизно 7.77 %, в результаті випаровування води (зневоднення проби). Найбільше перетворення і втрати маси відбуваються під час другої стадії, приблизно за 300 °С. На цій стадії відбувається деполімеризація і розкладання полісахаридів і деяких масел у зразку, забезпечуючи втрати маси 43.50 %. Нарешті, третя і остання термічна стадія, пов'язана з розкладанням зразків, починається з 499.29 °С і її результатом є втрата ваги 33.08 %.

Аналіз FTIR (Інфрачервона спектроскопія з Фур'є перетворенням) показав [25], що КГ мають смуги поглинання, типові для лігноцелюлозних матеріалів, хоча ширина цих смуг є індивідуальною для кожного зразка. Широкий пік між 3600 і 3200  $\text{cm}^{-1}$  пов'язаний з валентним коливанням -ОН групи. Область між 3000 і 2800  $\text{cm}^{-1}$  з двома інтенсивними смугами на 2923 і 2852  $\text{cm}^{-1}$  приписують валентним коливанням групи -С-Н. Проявність цих смуг в спектрах смажених зразків кави арабіки та робусти раніше повідомлялося в роботі [204], і у смаженому кавовому лушпинні – в роботі [205]. Крім того, FTIR дослідження напоїв з кофеїном, таких як чай, кава та безалкогольні напої, показали піки в тій самій області (2882 і 2829  $\text{cm}^{-1}$ ), які пов'язані з асиметричним коливанням зв'язків С-Н метильної - $\text{CH}_3$  групи в молекулі кофеїну. Даний метод можна успішно використовувати для розробки прогностичної моделі кількісного аналізу кофеїну [206]. Смуга між 1700 і 1600  $\text{cm}^{-1}$  чітко асоціюється з хлорогеновими кислотами та кофеїном [207]. Пік поглинання за 1654  $\text{cm}^{-1}$  можна віднести до цих сполук, бо пік більш інтенсивний, якщо їх концентрації в зразку збільшуються. Широка смуга між 1135 і 952  $\text{cm}^{-1}$  є результатом валентних коливань С-О у зв'язках С-О-Н, таких як глікозидні зв'язки, пов'язані з галактоманнанами полісахаридних цукрів [208].

### 9. Використання кавової гущі та борошна з кавової гущі в технологіях харчових продуктів.

«Кавове борошно», яке виробляється після сушки КГ з подальшою екстракцією кавового жиру, є високоволокнистим, багатим білком і не містить глютену. Воно призначено для використання в якості нового харчового інгредієнта в рецептах солодошів, випічок, закусок і готових до використання продуктів [209].

КГ також може бути використана для виробництва спирту, і дана технологія складається з трьох етапів. На першому етапі ароматичні сполуки вилучають з КГ шляхом гідротермічної обробки; на другому етапі додається сахароза, що потім ферментується в етанол, і далі отриманий ферментований бульйон дистилується сахарозою та ферментується до етанолу, а отриманий ферментований бульйон потім дистилується. Хімічний аналіз визначив, що спирт, виготовлений з КГ, має органолептичну якість, придатну для споживання людиною [210].

Зелені кавові зерна мають багато харчових властивостей, як і їх побічний продукт від КГ. Хлорогенові кислоти (ХГА), у тому числі кофеїлхінові кислоти, є найбільш вивченими серед таких молекул з харчовими властивостями [211]. Такі відходи також можуть бути багатим джерелом дієтичних гідрофільних біоактивних антиоксидантів. Майже всі зразки КГ, створені або фільтром, або плунжером, або кавоваркою типу еспрессо, містять значну загальну кількість кофеїлхінової кислоти, в основному дікофеїлхінової кислоти, приблизно в 4–7 разів більше, ніж у заварках. Крім того, спостерігалася протипухлинна та антиалергенна дія екстракту КГ, яка відкрила нові можливості в фармацевтичному застосуванні [212].

Перелік харчових технологій з використанням КГ постійно розширюється завдяки відкритим новим можливостям та властивостям КГ. У табл. 11 наведено короткий огляд інноваційних продуктів і/або процесів із використанням КГ, або кавових продуктів, у тому числі КГ.

Table 11

#### Innovative products and/or processes using kg or coffee products including SCG [213]

Таблиця 11

#### Інноваційні продукти та/або процеси з використанням КГ або кавових продуктів, включаючи КГ [213]

Компонент	Мета використання	Джерело
Летючі сполуки з КГ	Ароматичні смакові компоненти (діацетил і ацетальдегід) відновлюються з ароматичного потоку, утвореного термічним гідролізом частково екстрагованої смаженої та меленої кави. Ароматизатор можна використовувати як натуральний інгредієнт та/або для обробки розчинної кави.	[213]

Сира та висушена КГ	Жири відновлюється з гідролізованої КГ, одночасно використовуючи залишковий водний гідролізат як економічно цінну розчинну тверду речовину кави під час обробки розчинної кави.	[214]
Залишок екстракції кави	Процес приготування недорогих високовихідних манно-сахаридних спиртів, таких як маніт (дорогий спеціальний харчовий, хімічний і фармацевтичний інгредієнт із доданою вартістю)	[215]
Відпрацьована кавова гуща	Терпени, що містять кахвеол і кафестол (10.7 і 14.7 мг/г жиру КГ відповідно), екстрагують із КГ.	[216]

Жири КГ є найбільш економічно цінним компонентом, який легко видобути, і потенційно недорогим високоякісним джерелом сировини для метилових естерів жирних кислот при виробництві шляхом прямої одноетапної переетерифікації КГ олії в надкритичному метанолі [116]. Якість жирів можна покращити для використання в косметичних і фармацевтичних цілях, або як джерело в технологіях інших цінних продуктів, таких як кофеїн, стерини, терпени та токоферолі за умови відповідності їх властивостей властивостям фракціонованої олії зеленої кави [217]. Фракціонована олія або її компоненти можуть бути стабілізовані шляхом сушіння розпиленням, що використовується для інкапсуляції олії зеленої кави, особливо застосовно до неомілюваної фракції, що містить дитерпени для медичних та фармакологічних застосувань.

Крім того, знежирення відпрацьованої кави та ліофілізація екстракту дозволяє отримати порошок екстракту КГ з високою антиоксидантною здатністю, який можна використовувати як інгредієнт або добавку в харчовій промисловості з потенціалом тривалого зберігання та корисними функціональними властивостями [110].

Ферментна технологія (гідроліз) може бути використана для гідролізу полісахаридів КГ в цінні харчові добавки такі як маніт і вищі манносахаридні спирти [218]. Виробництво спирту схоже на процес, який зазвичай використовується в дистильованих напоях, утворює напій з 40% спирту етанолу, що можна порівняти з лікерами, такими як горілка і текіла з приємним запахом і смаком кави [213]. Крім того, залишковий твердий матеріал, отриманий після гідротермального процесу, багатий цукру, які можна повторно використовувати як сировину для виробництва інших цінних продуктів, що дало б додаткове використання КГ в концепції біорафінади.

Крім того, фракції целюлози та геміцелюлози КГ мають потенційне

застосування в сорбіті, гідроксиметил-фурфуролі, леуліновій кислоті, мурашиній кислоті, ксиліті, арабітолі, виробництво маніту, галактиту, фурфуролу та емульгаторів [219]. Гідроліз КГ під високим тиском і температурою генерує MOS, який уже продається в Японії як функціональна їжа, головним чином як пробіотик для здоров'я травлення [220]. Відходи від приготування кави можуть бути цінним ресурсом для виробництва гідрофільних біоактивних антиоксидантів для дієтичної добавки за даними іспанських дослідників [108]. Вся КГ (з фільтра, плунжера і кавоварки типу еспресо) мали відповідну кількість загальних кофеїлхінових кислот (6.22–13.24 мг/г КГ), головним чином дикофеїлхінових кислот (3.31–5.79 мг/г КГ), вміст яких був в 4-7 разів вищим, ніж у відповідних кавових напоях. Розчинна суміш ізопропанолу та води може вибірково витягувати фенольний антиоксидантний допоміжний засіб для харчової промисловості з SCG та інших побічних продуктів кави [221]. Меланоїдини, інший антиоксидантний компонент, проявляють бактеріостатичну дію при низьких концентраціях, знижує вірулентність патогенної мікрофлори і може розглядатися в якості природних антимікробних агентів при термічній обробці продукти харчування [222]. Протипухлинна та антиалергенна (пригнічення вивільнення гістаміну) активності екстракту КГ [223] надає ще нові можливості для його фармацевтичного використання.

При розробці інноваційних технологій продуктів функціонального призначення з використання КГ або борошна з неї, перш за все слід оцінити потенційну користь КГ для здоров'я людини та користь вживання харчових продуктів з доданою вартістю [224].

#### 10. Додана вартість харчових продуктів з КГ

Використання побічних продуктів кави, включаючи КГ, у промисловості є темою досліджень у всьому світі [225]. Будучи цінним промисловим ресурсом [27], промислове



використання може забезпечити експертні знання щодо очищення сполук з КГ для подальшого використання в різних галузях харчової промисловості при виробництві харчових продуктів з доданою вартістю.

КГ, поряд з іншими відходами кавових плантацій, успішно використовується як стійка, економічно ефективна і здорова харчова добавка в хлібобулочних виробках, мюслі, стравах, приготованих на повільному вогні, приправах для барбекю і десертів [226-230]. Виробництво харчових добавок є галуззю, що зростає, оборот якої наближається до 45 мільярдів доларів США на рік [231]. КГ використовуються при приготуванні хлібобулочних виробів, таких як печиво та торти, а також у виробництві напоїв, у тому числі алкогольних напоїв [232]. Печиво, приготовлене з використанням КГ, показало наявність кофеїну, фенольних кислот та поліфенолів, таких як CGA [229]. Крім того, екстракти CGA з кави використовуються в смажених пончиках, соєвому молоці, пшеничному хлібі, рідкому хаску, темному шоколаді, йогурті і навіть розчинній каві, що може збільшити користь для здоров'я цих продуктів [233]. Підвищена увага до використання КГ, як харчової добавки, допоможе забезпечити стійкі економічні можливості для фермерів, які вирощують каву, та знизити вплив на навколишнє середовище [232; 234].

Оскільки КГ є гарним джерелом кофеїну, поліфенолів, таких як CGA та меланоїдинів, їх можна використовувати як сировину для виділення цих сполук. Для отримання цих сполук з КГ використовувався ряд методів екстракції [235; 236]. Деякі з цих методів включають традиційну екстракцію розчинником, екстракцію за допомогою високого гідростатичного тиску, ультразвукову екстракцію та мікрохвильову екстракцію [235-238]. Крім того, методи екстракції також були вивчені для кавової олії, яка є багатим джерелом жирних кислот та кофеїну [239; 240]. КГ після екстракції кавової олії може бути використаний для екстракції галактоманнану, дитерпенів та маннози [240-244].

### **11. Користь вживання КГ для здоров'я людини**

Незважаючи на те, що існує відносно мало досліджень, які описують фізіологічні ефекти КГ, вони припускають, що прийом КГ може покращити здоров'я та є безпечним [245-248].

Продемонстровано, що КГ після гарячого заварювання підтримує та сприяла здоров'ю кишечника шляхом модуляції складу його мікробіоти меланоїдинами, знижувала масу тіла, абдомінальну жирову масу, систолічний артеріальний тиск і тригліцериди плазми, покращувала толерантність до глюкози і покращувала структуру серця і печінки в щурів [249-251]. Кава та КГ були пов'язані зі змінами в мікробіоті кишечника, включаючи збільшення *Bifidobacterium* та зниження *Clostridium* та *Escherichia coli* [252-255]. Крім того, CGA з кави показав пребіотичні ефекти на основі неполісахаридів у дослідженні *in vitro* шляхом селективного зростання фекальної мікробіоти людини [256]. Ці корисні зміни можуть допомогти покращити профіль коротколанцюгових жирних кислот, що виробляються мікробіотою кишечника, і, отже, покращити їх склад та функцію. Пілотні дослідження на людях показали: споживання печива, збагаченого КГ, що містить пребіотики, сприяло короточасному насиченню та зниженню загального споживання енергії навіть без інших змін способу життя [257]. Дослідження КГ на людях включають невелике рандомізоване контрольне дослідження в одній сліпій паралельній групі та пілотне перехресне рандомізоване одинарне сліпе контрольне дослідження. В обох дослідженнях спостерігалися найкращі результати, коли учасники приймали екстракт антиоксидантної клітковини КГ. Проте КГ також показала позитивні ефекти проти плацебо [257; 258]. Дослідження *in vitro* показало, що пребіотична клітковина КГ збільшує вироблення коротколанцюгових жирних кислот, що приводить до модуляції мікробіоти кишечника [259]. Невелике клінічне дослідження на людях, яке вивчає хронотип та циркадну локомоторну активність у молодих людей, показало, що споживання антиоксидантної клітковини з КГ покращує якість та тривалість сну. Це пов'язане з підвищеною ферментацією в товстій кишці та коротколанцюжковими жирними кислотами [258]. Крім того, включення КГ як джерело клітковини та поліфенолів разом з безглютенним борошном (рисом) у печиво покращило органолептичну прийнятність одночасно з підвищенням поживної цінності [260]. Таким чином, КГ має потенційну користь для здоров'я (надлишкова вага, діабет, серцево-

судинні захворювання, рак, захворювання кішківника, хвороби печінки), засновану на існуючих експериментальних даних про КГ.

## 12. Вплив деяких сполук у складі КГ на здоров'я людини

Біологічно активні сполуки, виявлені в КГ, досліджувалися більше 20 років, представляючи докази терапевтичних ефектів [261; 262]. Користь для здоров'я, пов'язана із споживанням цих сполук, безпосередньо

пов'язана з дозою та частотою, а також із джерелом сполук (наприклад, ізольована чиста сполука порівняно зі сполукою у формі кави). Зведені результати та типи досліджень представлені в табл. 12. У цьому розділі роз'яснюються існуючі дані про сполуки, присутні у КГ, та робиться висновок про користь для здоров'я, пов'язану із споживанням КГ.

Table 12

### Research analyzing the impact of SCG use on human health

Таблиця 12

Дослідження, що аналізують вплив вживання КГ на здоров'я людини		
Сполуки	Тип досліджень	Результат
Хлорогенова кислота	За участю людей	Регулювання артеріального тиску [263]; поліпшення секреції інсуліну, засвоєння глюкози клітинами кишечника; поліпшення секреції інсуліну [264]; поліпшення дисліпідемії та функції ендотелію [265]; підвищення рівня глюкози натщесерце у пацієнтів з порушенням толерантності до глюкози; зниження маси тіла та зменшення окружності талії [266]
	<i>In vitro</i> (штучні умови, поза організмом чи природним середовищем)	Поліпшення ліпазної реакції [267]
	На тваринах	Зменшення накопичення жиру в печінці та зниження рівня ліпідів у крові; поліпшення маси тіла і зменшення вісцерального жиру [268]
Кофеїн	За участю людей	Покращення когнітивного здоров'я у пацієнтів з дегенеративними захворюваннями [269]; покращення результатів в тестах при вікових когнітивних порушеннях [269]; покращення пам'яті і когнітивних здібностей у молодих людей [270]
	На тваринах	Покращення специфічної функції нейронів [271]; поліпшення пам'яті у мишей, індукованих хворобою Альцгеймера [272]; уповільнює окиснювальний стрес і запалення в головному мозку [271; 273]; зниження рівня глюкози в крові та підвищення рівня ліпідів у метаболічних хворих тварин [274]
Тригонелін	<i>In vitro</i> (штучні умови, поза організмом чи природним середовищем)	Сприяють регенерації нейронної мережі за рахунок вирощування нейритів [275]
	<i>In vitro</i> (штучні умови, поза організмом чи природним середовищем)	Антиоксидантна активність [276]; антибактеріальна активність щодо грамнегативних та грампозитивних бактерій [277]; антиоксидантна активність та активація інших генопротекторних механізмів у різних клітинних лініях [278]
Меланоїдини	<i>Ex vivo</i> (експерименти у живій тканині, перенесеній з організму в штучне середовище)	Антиоксидантна активність та активація інших генопротекторних механізмів у тканинах кишечника людини [278]; ферментація кишкових бактерій, активація антиоксидантних шляхів та модуляція популяції кишкових бактерій [279]

### 12.1. Хлорогенова кислота

Хлорогенова кислота (CGA) – це поширений поліфенол, що міститься у рослинній їжі. Кава є основним джерелом CGA для людини, її кількість варіюється від 0.5–6 г на 100 г сухої кави до процесу заварювання [282]. CGA також є в КГ, і попередні експерименти з використанням КГ вказують на активність цих сполук [261; 262].

Під час отримання з кави, CGA впливає на здоров'я серцево-судинної системи,

метаболізм глюкози та ожиріння [242; 262; 264; 265; 267; 268; 280–282]. Загалом основними діями, пов'язаними з CGA, є антиоксидантна та протизапальна.

Вплив на здоров'я серцево-судинної системи включає потенційну користь у регулюванні артеріального тиску, функції ендотелію та дисліпідемії [242; 262; 264; 265]. Специфічні механізми дії, за допомогою яких CGA може безпосередньо впливати на артеріальний тиск і функцію ендотелію,

включають збільшення біодоступності оксиду азоту (NO) за рахунок інгібування активних форм кисню (АФК), НАДФН-оксидази та генерації супероксид-аніонів [283]. Інші механізми дії для покращення серцево-судинних факторів ризику, таких як дисліпідемія, включають підвищене поглинання жирних кислот у печінці та зниження холестерину ліпопротеїнів низької густини в плазмі крові як у дослідженнях на тваринах, так і в пілотних дослідженнях на людях [283].

Вплив CGA на метаболізм глюкози може забезпечити альтернативний та неінвазивний підхід до лікування та профілактики хронічних метаболічних захворювань, таких як цукровий діабет 2 типу [280]. CGA знижувала концентрацію глюкози в крові натще у пацієнтів з порушенням толерантності до глюкози за різних доз та тривалості лікування [266]. CGA може діяти аналогічно метформіну, одному з найчастіше призначуваних фармацевтичних препаратів для лікування діабету 2 типу, як сенсibilізатор інсуліну [284]. Механізми дії CGA щодо сприяння метаболізму глюкози включають поліпшення всмоктування глюкози в кишківнику та адипоцитах, потенційне зниження концентрації глюкози в плазмі, а також вплив на глікемічну дію продуктів харчування та вивільнення вуглеводно-специфічних травних ферментів [266].

CGA знижувала ожиріння, інгібувала ферментативну дію ліпази *in vivo* та запобігала абсорбції ліпідів [267; 268; 281; 282]. У щурів CGA покращувала масу тіла, накопичення вісцерального жиру та функцію печінки, а також зменшувала інфільтрацію запальних клітин у щурів з ожирінням та гіпертонією, яких тримали на дієті з високим вмістом жирів та вуглеводів [268]. У людей повідомлялося про зниження маси тіла та більшості маркерів, пов'язаних з ожирінням, метаболізмом глюкози та ліпідів [282].

### 12.2. Кофеїн

Кофеїн широко відомий своїми м'якими стимулюючими ефектами, тимчасовим припливом енергії, іноді – змінами настрою [285]. Всмоктування кофеїну відбувається через 30–45 хвилин після вживання, і на підвищення концентрації кофеїну у крові може знадобитися до двох годин [286]. Кофеїн в основному споживається у вигляді кави в нашому раціоні, в середньому подвійна порція

кави містить близько 150 мг [285; 287], а також міститься у КГ [261].

Як і CGA, кофеїн може впливати на здоров'я серцево-судинної системи. Вплив кофеїну на здоров'я серцево-судинної системи залежить від таких факторів, як доза, час прийому, коливання абсорбції та метаболізм печінки [288]. Механізми дії, за яких кофеїн впливає на серцево-судинну систему, можуть включати зниження цитоплазматичної концентрації кальцію в клітинах гладком'язових судин за рахунок циклічного аденозинмонофосфату і його збільшення в ендотеліальних клітинах, що сприяють ендогенному синтезу NO [288]. Основним серцево-судинним ефектом кофеїну є підвищення концентрації NO, отже, розширення судин.

Вплив кофеїну на нервову систему широко вивчений. Один з механізмів дії, за яким кофеїн впливає на мозок, полягає в антагонізації аденозинових рецепторів за збільшення вивільнення збудливих нейротрансмітерів, таких як глутамат та норадреналін [289; 290]. Кофеїн потенційно покращує когнітивні симптоми та має захисні характеристики щодо нейродегенеративних захворювань, таких як хвороба Паркінсона [290–294].

Поширеною проблемою кофеїну є потенційні негативні ефекти у людей із існуючими серцево-судинними захворюваннями [294; 295]. Тим не менш, споживання до шести чашок кави з кофеїном на день не було пов'язане з підвищеним ризиком серцево-судинних наслідків, навіть у тих, хто має в анамнезі гіпертонію та інші серцево-судинні захворювання [287]. Крім того, мета-аналіз показав, що ті, хто споживає від трьох до п'яти чашок кави з кофеїном на день, мають нижчу захворюваність на ішемічну хворобу серця, інсульт і смерть від серцево-судинних причин [296]. Тим не менш, тривале або надмірне споживання кофеїну може спричинити залежність, безсоння, мігрень та інші побічні ефекти [297].

### 12.3. Тригонеллін

Тригонеллін являє собою піридинову алкалоїдну сполуку та продукт метилювання вітаміну В3, ніацин [298], міститься в рослинних продуктах, таких як ячмінь, дині, кукурудза, цибуля, соєві боби, помідори, горох, насіння пажитника, кава та КГ [299]. Об'єм завареної кави об'ємом 250 мл забезпечує 27 мг тригонеліну [300]. Більш високі концентрації тригонелліну виявляються в

зелених кавових зернах виду *C. arabica*, а тригонеллін перетворюється на N-метилпіридиній та ніотинову кислоту під час обсмажування [301; 302].

У нервовій системі тригонеллін покращує функцію певних нейронів, інколи ж і здатність до регенерації певних нейронів. Таким чином, це можливе втручання під час нейровегетативних захворювань, які нині невиліковні [271; 272; 275; 303]. Накопичення  $\beta$ -амілоїдного пептиду є поширеним фактором ризику та причиною хвороби Альцгеймера [304]. Подібність тригонелліну з котинином, препаратом проти хвороби Альцгеймера, підштовхнула до досліджень, в яких перевірялося, чи тригонеллін має спорідненість до взаємодії з пептидом  $\beta$ -амілоїду, і результати були багатообіцяючими. Тригонеллін був ефективний у придушенні окиснювального стресу, активності астроцитів та запалення для запобігання втраті нейронів у гіпокампі для полегшення хвороби Альцгеймера у мишей [261]. Нейрозапалення також робить свій внесок у розвиток хвороби Альцгеймера [306]. Дослідження тригонелліну на тваринах показало протизапальні ефекти та покращення пам'яті на тлі обробленого ліпосахаридами мозку дорослих мишей [273]. Позитивні результати можуть бути обумовлені вищими концентраціями нейротрофічного фактора головного мозку, зниженням окиснювального стресу та зниженням концентрації фактора некрозу пухлини  $\alpha$ , інтерлейкіну 6 та ацетилхолінестерази [273]. Недавнє всебічне дослідження на тваринах підтвердило, що тригонеллін відновлює функцію пам'яті в мишачій моделі хвороби Альцгеймера [272]. Протиальцгеймерові ефекти тригонелліну в цьому дослідженні були підтверджені реконструкцією нейронних мереж після пошкодження головного мозку.

#### 12.4. Кафестол та Кахвеол

Кафестол та кихвеол є основними дитерпенами, і їх вміст становить близько 15 % від загальної кількості ліпідів у каві [307]. Кихвеол в основному міститься в бобах *C. arabica*, а естер 16-O-метилкафестола зустрічається в основному в *C. robusta* [308]. Тим не менш, кафестол зустрічається як у *C. arabica*, так і у *C. robusta* [309]. Споживання кави асоціювалося з підвищеною концентрацією холестерину в сироватці крові через присутність естерів кафестолу та

кахвеолу [310; 311]. Дитерпени витягуються з кави в процесі заварювання, а під час фільтрації кави дитерпени видаляються практично повністю. У КГ наявність цих сполук також залежатиме від способу приготування.

Є мало даних про біодоступність та фармакокінетику кафестолу та кихвеолу, особливо щодо захворювань, причому більшість даних отримано від здорових людей. За оцінками, 30 % кафестолу розщеплюється у шлунку шлунковим соком, інші 70 % всмоктуються в дванадцятипалій кишці зі швидкістю 84–93 % [312]. Кихвеол має аналогічну швидкість всмоктування та всмоктується у тонкому кишківнику з вищою швидкістю 91–95 % [312].

Більшість доказів користі цих сполук для здоров'я пов'язані з їхньою здатністю пригнічувати активність, міграцію та проліферацію ракових клітин. Кихвеол ацетат і кафестол пригнічували проліферацію та міграцію клітин раку передміхурової залози, в той час як інші сполуки кави не показали такого ж ефекту [313]. Синергічні ефекти обох сполук можуть дозволити більш низьким концентраціям цих сполук бути ефективними в інгібуванні прогресування раку передміхурової залози. Ці результати можуть бути важливими для тих, хто споживає нефільтровану каву, оскільки концентрація дитерпенів там набагато вища, ніж у фільтрованій каві.

Ангіогенез відіграє важливу роль у проліферації та міграції ракових клітин. Проти, за результатами опублікованих результатів експериментів *in vitro*, кафестол та кихвеол мають антиангіогенезну активність та захисні ефекти при проліферації та міграції раку в ендотеліальних клітинах [314].

Інші корисні властивості кафестолу та кихвеолу включають протидіабетичну та протизапальну активність [315]. Ці сполуки виявляють антидіабетичну дію, збільшуючи секрецію інсуліну та поглинання глюкози скелетними м'язами, а також активацію АМФ-активованої протеїнкінази, яка імітує дію метформіну [316; 317]. Обидві сполуки показали здатність інгібувати медіатори запалення, такі як простагландин E2 та NO у ліпополісахарид-активованих макрофагах, що вказує на їх протизапальну активність [317].

#### 12.5. Меланоїдини

Меланоїди являють собою азотовмісні полімери, що утворюються в ході

неферментативної реакції потемніння Майяра, і це робить ці сполуки маркером диференціації між зеленими та обсмаженими кавовими зернами, присутніми в кавових напоях та КГ. Меланоїдини не є унікальними для кави або КГ, оскільки інші продукти, такі як хліб, смажене какао та пиво, піддаються реакції Майяра під час підготовки з утворенням меланоїдинів [318]. Гаряча кава, ймовірно, є основним джерелом меланоїдинів у раціоні людини [319]. Концентрація меланоїдину в каві може змінюватись в обсмажених кавових зернах, становлячи близько 25 % сухої ваги або трохи вище в процесі більш темного обсмажування, і близько 29 % у завареній каві [320]. Меланоїди надають продуктам специфічні характеристики, такі як смак і коричневий колір [244]. Опублікована біологічна активність меланоїдинів включає антиоксидантну, антимікробну, а також здатність змінювати ферментативну активність ксенобіотиків, пребіотичну клітковину та антигіпертензивну дію [318, 320].

У дослідженні [321] було зроблено висновок про те, що меланоїди з кави також піддаються незначному перетравленню у верхніх відділах шлунково-кишкового тракту. Меланоїди можуть ферментуватися кишковими бактеріями і виробляти коротколанцюгові жирні кислоти, модулюючи бактеріальну популяцію. Ця ферментація також може вивільняти фенольні сполуки, які можуть бути поглинені, збільшуючи абсорбцію фенольних сполук з продуктів, що містять меланоїдини. Модуляція кишкових бактерій шляхом виробництва коротколанцюгових жирних кислот зменшувала симптоми метаболічних захворювань [322; 323].

Потенційна антиоксидантна активність меланоїдинів на здоров'я людини була пов'язана із захистом від окисних ушкоджень і була тісно пов'язана зі ступенем обсмажування [324]. Їх здатність пов'язувати небажані харчові метали також запобігає окислювальному пошкодженню [325]. Високомолекулярні фракції кави здатні повністю інгібувати перекисне окислення ліпідів у мікросомах печінки щурів [326]. Тим не менш, після того, як ізольовані з'єднання були протестовані, вони не змогли відтворити захисну дію поодинці, тому дві немеланоїдинові з'єднання можуть бути

відповідальні за захисну дію. У різних методах *in vitro* продукти реакції Майяра, такі як меланоїдини, можуть мати антиоксидантні сполуки, аналогічні поліфенольним сполукам попередньої або легкої обсмажування, виявленим у каві проти окислення ліпопротеїнами людини низької щільності [320].

Існують обмежені дані, опубліковані про антиоксидантні ефекти споживання кави *in vivo*, які не пов'язані безпосередньо з індивідуальним ефектом меланоїдинів, оскільки вони також містять поліфеноли в каві, такі як CGA. Антиоксидантні ефекти обсмаженої та завареної кави були в основному приписані меланоїдинам, оскільки інші антиоксидантні сполуки в каві зменшуються під час нагрівання від процесів обсмажування та заварювання [327]. Інші застосування меланоїдинів, що походять з продуктів, відмінних від кави, такі як антиоксидант і модулятор ферментів I і II фаз для детоксикації, були коротко описані в огляді, який може бути застосований до кави [327].

Незважаючи на існування переконливих доказів того, що ці сполуки отримані з кави, необхідні дослідження для аналізу кожної сполуки та їхньої біологічної активності в ході їх отримання в складі КГ. Розуміння біологічних реакцій сполук, включаючи кофеїн, CGA, тригонеллін, поліфеноли, меланоїдини та інші антиоксиданти, отримані з КГ, а не з кави (напою), може надати варіанти для перевірки терапевтичних властивостей цих сполук. КГ може бути стійким ресурсом для біологічно активних сполук із встановленою користю для здоров'я, безпекою та ефективністю для споживання людиною.

### 13. Методи екстрагування у вилученні цінних сполук із КГ

*Мікрохвильова екстракція (MAE)*. Було показано, що MAE є одним із найпотужніших методів вилучення, вважається передовим і кращою альтернативою традиційним і іншим методам. Ефективний і швидкий нагрів, що виділяється під час MAE, пов'язаний з діелектричними властивостями зразків. Діелектричний нагрів швидко підвищує температуру матриці зразків і, як наслідок, скорочує час нагріву. Будучи закритою системою, MAE контролює температуру і тиск, а також запобігає пошкодженню летючих матеріалів і екстракційного розчинника, на

відміну від відкритої системи. Незважаючи на це, на ефективність процесу МАЕ впливають багаточисельні фактори, такі як природа матриці, потужність мікрохвильового освітлення, температура та час екстракції, вибір розчинника та співвідношення розчинник/тверда речовина, хоча вплив останнього можна зменшити, забезпечуючи перемішування в процесі екстракції [328].

**Надкритична флюїдна екстракція (CFE).** На ефективність надкритичної екстракції (SCF) можуть впливати різні параметри, включаючи тиск, температуру та час [329]. Екстракція розчинника по Сокслету була базовим методом, який використовувався в кількох попередніх дослідженнях, за винятком екстракцію ліпідів із КГ, і н-гексан був визнаний найбільш ефективним з ряду розчинників [330]. Удосконалений метод CFE є екологічно чистим і екологічно чистим підходом, у якому використовуються розчинники на кшталт CO<sub>2</sub> у надкритичних умовах для вилучення різних цінних речовин, таких як масла, поліфеноли або пігменти.

**Ферментація пробіотиків.** Враховуючи склад КГ і наявність нерозчинних компонентів, ці побічні продукти повинні надавати інтригуючу дію на кишкову флору. Наскільки було виявлено, КГ підвищує рівень *Lactobacillus spp.* і *Bifidobacterium spp.* У рамках ферментації *in vitro* [331] виявили вплив мікробної ферментації на гідролізовану відпрацьовану кавову гущу, відстеження зміни мікробного складу та синтезу коротколанцюгових жирних кислот, які, як відомо, мають корисні властивості.

**Ферментативний гідроліз.** Автори [332] вважають, що використання ферментного коктейлю (маннаназа, ендоглюканаза, екзо-глюканаза, ксиланаза і пектиназа) для гідролізу частинок КГ може збільшити вихід розчинених твердих речовин у розчиненій каві або послужити сировиною для виробництва біоетанолу та харчових добавок (манніту). Ферментативний гідроліз має перевагу в порівнянні з хімічною попередньою обробкою, включаючи кращий вихід полісахаридів, більш м'які умови роботи, більш високу селективність і менші витрати енергії.

**Ультразвукова екстракція (УЗЕ)** – це швидкий і недорогий метод, який використовується для вилучення цінних фенольних сполук із вихідних речовин SCG [333]. Цей процес універсальний з точки зору

використовуваних розчинників і вимагає невеликих інвестицій у порівнянні з іншими методами, такими як надкритична флюїдна екстракція (SFE) або екстракція розчинником під тиском. ОАЕ допускають використання різних розчинників і не обмежені ні полярністю сполук, ні вологістю матриці [334].

Ультразвукова екстракція, яка використовується в якості попередньої обробки до звичайної екстракції, була використана для вилучення білка з обробленої кавової гущі. За даними [335], отримано найбільшу антиоксидантну активність (933.92–976.03 мМ екв/г білкового екстракту Trolox) і загальний вміст фенольних сполук (267.66–304.81 мг ГАЕ/г білкового екстракту). після 20-хвилинного часу екстракції. Основна фенольна сполука в КГ, хлорогенова кислота, була вилучена з використанням екологічно безпечних методів екстракції в ОАЕ. Максимально виявлена концентрація хлорогенової кислоти склала 85.0±0.6 мг/кг свіжої ваги з використанням ОАЕ за амплітуди 60 % протягом 15 хв. Крім того, під час ультразвукової автоклавної екстракції з амплітудою 40 % протягом 10 хв було виявлено, що загальний вміст сахару і знижений вміст сахару в екстрактах сахара КГ становить 529.25 мг глюкози/г екстракту і 361.25 мг маннози/г екстракту відповідно [335]. Було виявлено, що гідролізат КГ містить 2016.4 мг/л редукуючих цукрів (464.2 мг/л маннози, 947.1 мг/л глюкози та 256.3 мг/л галактози) із загальним вмістом фенольних речовин 401.70 мг/л. Крім того, гідролізат демонструє антиоксидантну активність із вмістом антиоксидантів 564.3 мг/л еквіваленту аскорбінової кислоти [336].

## Висновки

Світове споживання кави перевищило 198.39 млн мішків по 60 кг, на кожний 1 г меленої кави припадає 0.91 г кавової гущі, і у всьому світі КГ утворюється щорічно в обсязі близько 6×10<sup>6</sup> т.

Масове утворення КГ стає глобальною проблемою та посилює актуальність тези «Відходи як ресурс», зростає турбота про навколишнє середовище, що спонукає промисловість виробляти більше екологічно безпечних та натуральних продуктів. КГ містить велику кількість цінних органічних сполук, тому комплексне вивчення властивостей КГ та розробка технологій її використання у харчовому виробництві є актуальною проблемою.

Аналіз хімічного, мінерального складу КГ та вивчення особливостей білку (вмісту амінокислот), вуглеводів, небілкових азотистих сполук, кофеїну, ліпідів, мінералів та фенольних сполук, харчових волокон, інших біологічно активних речовин свідчить, що КГ є цінною харчовою сировиною, яка може ефективно використовуватися в різних галузях харчової промисловості.

Використання КГ в харчових технологіях передбачає вивчення функціональних властивостей КГ (здатність до утримання води та жиру, емульгуючі властивості, стабільність емульсії) та їх антиоксидантний потенціал, дозволить позиціонувати цей продукт як сировину для надання бажаних функціональних властивостей харчовим продуктам. Дані властивості корелюють з розміром частинок КГ, що привело до необхідності вивчення пористості, гранулометричного складу КГ та його залежності від способу заварювання кави та технологій екстрагування з КГ біологічно активних речовин.

Дослідження мікробіологічної безпечності КГ як харчового продукту свідчить про відповідність даного продукту існуючим

вимогам, за дотримання певних умов її переробки і зберігання.

Одним з важливих напрямів досліджень проблеми використання КГ в технологіях продуктів функціонального призначення є аналіз особливості впливу вживання КГ на здоров'я людини. Аналіз впливу вживання деяких сполук КГ (хлорогенова кислота, кофеїн, тригонеллін, кафестол, кахвеол та меланоїдини) на здоров'я людини дозволяє обґрунтовано використовувати КГ в технологіях різних продуктів функціонального призначення.

На даний час КГ використовується в технологіях багатьох продуктів харчування, але подальший розвиток наукових досліджень в даній галузі дозволить розширити перелік функціональних продуктів харчування та розробити нові харчові технології, що базуються на використанні властивостей КГ.

Таким чином, КГ може зробити свій внесок у виробництво широкого спектру екологічно безпечних продуктів функціонального призначення з потужними терапевтичними ефектами та позитивним впливом на здоров'я споживачів.

## References

- [1] Singh, A., Sharma, R. (2020). A review on sustainable management of coffee industry by-products Health & Environmental Research Online (HERO). *Coffee Market Report*, 7(10), 686–691.
- [2] Coffee Market Report March 2024 ICO, 2023; <https://icocoffee.org>.
- [3] Tun, M. M., Raclavská, H., Juchelková, D., Růžicková, J., Safar, M., Strbová, K., Gikas, P. (2020). Spent coffee ground as renewable energy source: evaluation of the drying processes. *J Environ Manage*, 275, 111204. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111204>.
- [4] Barrios, C., Fernández-Delgado, M., López-Linares, J. C., García-Cubero, M. T., Coca, M., Lucas, S. (2022). A techno-economic perspective on a microwave extraction process for efficient protein recovery from agri-food wastes. *Ind. Crops. Prod.*, 186, 115166. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115166>.
- [5] Nan, Z., Zhongyang, L., Ting, Y., Fujie, Y. (2024). Spent coffee grounds: Present and future of environmentally friendly applications on industries-A review. *Trends in Food Science & Technology*, 143, 104312. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104312>.
- [6] Ринок кави в Україні - аналітичний огляд від Pro-Consulting спеціально для InVenture. pro-consulting.ua (укр.). <https://pro-consulting.ua/ua/pressroom/rynok-kofe-v-ukraine-analiticheskij-obzor-ot-pro-consulting-specialno-dlya-inventure>.
- [7] Coffee Consumption by Country 2024. <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/coffee-consumption-by-country>
- [8] Genming, L., Liqian, S., Pengke, Z., Yuzhu, W., Chencan, M., Xinyu, S. (2020). Preparation and Identification of Carbon Materials from Coffee Grounds. *Journal of Physics: Conference Series*, 1622, 012047. <http://doi.org/10.1088/1742-6596/1622/1/012047>.
- [9] Cruz, R., Cardoso, M. M., Fernandes, L., Oliveira, M. (2012). Espresso coffee residues: a Valuable source of Unextracted Compounds. *J Agri Food Chem*, 60(32), 7777–7784. <https://doi.org/10.1021/jf3018854>.
- [10] Esquivel, P., Jimenez, V. M. (2012). Functional properties of coffee and coffee by-products. *Food Res Int*, 46(2), 488–495. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.05.028>.
- [11] Campos-Vega, R., Oomah, B. D., Loarca-Pina, G., Vergara-Castaneda, H. A. (2013). Common beans and their non-digestible fraction: cancer inhibitory activity dan overview. *Foods*, 2(3), 374–392. <https://doi.org/10.3390/foods2030374>.
- [12] Campos-Vega, R., Loarca-Piña, G., Vergara-Castañeda, H. A., Oomah, B. D. (2015). Spent coffee grounds: a review on current research and future prospects. *Trends Food Sci Technol*, 45(1), 24–36. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.04.012>.
- [13] Iriondo-DeHond, A., Iriondo-DeHond, M., Del Castillo, M. D. (2020). Applications of compounds from coffee processing by-products. *Biomolecules*, 10, 1219. <https://doi.org/10.3390/biom10091219>.
- [14] Stylianou, M., Agapiou, A., Omirou, M., Vyrides, I., Ioannides, I. M., Maratheftis, G., Fasoula, D. (2018). Converting environmental risks to benefits by using spent coffee grounds (SCG) as a valuable resource. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 25, 35776–35790. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2359-6>.
- [15] Soloway, B. (2016). In Brazil's Coffee Industry, Some Workers Face 'Conditions Analogous to Slavery'.

- Foreign Policy*.  
<https://foreignpolicy.com/2016/04/13/in-brazils-coffee-industry-some-workers-face-conditions-analogous-to-slavery>
- [16] Chanakya, H. N., De Alwis, A. A. P. (2004). Environmental issues and management in primary coffee processing. *Process Saf. Environ. Prot.*, 82, 291–300.  
<https://doi.org/10.1205/095758204323162319>.
- [17] Ding, M., Bhupathiraju, S. N., Satija, A., van Dam, R. M., Hu, F. B. (2014). Long-term coffee consumption and risk of cardiovascular disease: A systematic review and a dose-response meta-analysis of prospective cohort studies. *Circulation*, 129, 643–659.  
<https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.113.005925>
- [18] Campos-Vega, R. (2016). *Patent No. MX/a/2016008578*. Proceso de obtencion de fibra dietaria antioxidante natural de subproductos mediante calentamiento ohmico y compuesto alto en fibra dietaria antioxidante natural de cafe usado.
- [19] Campos-Vega, R., Vázquez-Sánchez, K., Martinez-Saez, N., Castillo, M. (2016). Antioxidant coffee dietary fiber for gastrointestinal health and diabetes. In Proceedings of the 20th International Conference of FFC and 8th International Symposium of Academic Society of Functional Foods and Bioactive Compounds. *Boston, MA, USA*, 22–23.
- [20] del Castillo, M. D., Ibanez, M. E., Amigo-Benavent, M., Herrero, M., Plaza, M., Ullate, M. (2011). *Patent No. WO2013004873A1*. Aplicacion de Productos de la Cascarrilla del Cafe en Cosmetica Antienvejecimiento y Alimentacion Funcional.
- [21] Martinez-Saez, N., García, A. T., Pérez, I.D., Rebollo-Hernanz, M., Mesías, M., Morales, F. J., Martín-Cabrejas, M. A., Del Castillo, M. D. (2017). Use of spent coffee grounds as food ingredient in bakery products. *Food Chem.* 216, 114–122.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.173>.
- [22] Vázquez-Sánchez, K., Martinez-Saez, N., Rebollo-Hernanz, M., Del Castillo, M. D., Gaytán-Martínez, M., Campos-Vega, R. (2018). In vitro health promoting properties of antioxidant dietary fiber extracted from spent coffee (*Coffea arabica L.*) grounds. *Food Chem.* 261, 253–259.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.064>.
- [23] Sampaio, A., Dragone, G., Vilanova, M., Oliveira, J. M., Teixeira, J. A., Mussatto, S. I. (2013). Production, chemical characterization, and sensory profile of a novel spirit elaborated from spent coffee ground. *LWT Food Sci. Technol.*, 54, 557–563.  
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.05.042>.
- [24] Kaffe Bueno ApS. Coffee Flour (Defatted Coffee Arabica Seed Powder)  
[https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/novel-food\\_sum\\_ongoing-app\\_2018-0698.pdf](https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/novel-food_sum_ongoing-app_2018-0698.pdf)
- [25] Ballesteros, L. F., Teixeira, J. A., Mussatto, S. I. (2014). Chemical, functional, and structural properties of spent coffee grounds and coffee silverskin. *Food Bioprocess. Technol.* 7, 3493–3503.  
<https://doi.org/10.1007/s11947-014-1349-z>.
- [26] Del Castillo, M. D., Fernandez-Gomez, B., Martinez-Saez, N., Iriondo-DeHond, A., Mesa, M. D. (2019). Coffee By-products (chapter 12). In *Coffee: Production, Quality and Chemistry*. *Royal Society of Chemistry*, 309–334.  
<http://dx.doi.org/10.1039/9781782622437-00309>
- [27] Janissen, B., Huynh, T. (2018). Chemical composition and value-adding applications of coffee industry by-products: A review. *Resour. Conserv. Recycl.*, 128, 110–117.
- [28] Campos-Vega, R., Loarca-Piña, G., Vergara-Castañeda, H. A., Oomah, B. D. (2015). Spent coffee grounds: A review on current research and future prospects. *Trends Food Sci. Technol.*, 45, 24–36.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2015.04.012>
- [29] Iriondo-DeHond, A., Cornejo, F. S., Fernandez-Gomez, B., Vera, G., Guisantes-Batan, E., Alonso, S.G., Andres, M. I. S., Sanchez-Fortun, S., Lopez-Gomez, L., Uranga, J. A., et al. (2019). Bioaccessibility, metabolism, and excretion of lipids composing spent coffee grounds. *Nutrients*, 11, 1411.  
<https://doi.org/10.3390/nu11061411>.
- [30] Ramalakshmi, K., Rao, L. J. M., Takano-Ishikawa, Y., Goto, M. (2009). Bioactivities of low-grade green coffee and spent coffee in different in vitro model systems. *Food Chem.*, 115, 79–85.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.11.063>.
- [31] Andrade, K. S., Gonçalves, R. T., Maraschin, M., Ribeiro-Do-Valle, R. M., Martínez, J., Ferreira, S. R. S. (2012). Supercritical fluid extraction from spent coffee grounds and coffee husks: Antioxidant activity and effect of operational variables on extract composition. *Talanta*, 88, 544–552.  
<https://doi.org/10.1016/j.talanta.2011.11.031>.
- [32] Lachenmeier, D. W., Schwarz, S., Teipel, J., Hegmanns, M., Kuballa, T., Walch, S. G., Breitling-Utzmann, C. M. (2018). Potential antagonistic effects of acrylamide mitigation during coffee roasting on furfuryl alcohol, furan and 5-hydroxymethylfurfural. *Toxics*, 7, 1.  
<https://doi.org/10.3390/toxics7010001>.
- [33] Pickard, S., Wilms, H., Richling, E. (2014). Alkylpyrazine contents of coffee beverages using stable isotope dilution gas chromatography–mass spectrometry. *LWT Food Sci. Technol.* 58, 188–193.  
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.02.049>.
- [34] Kremer, J. I., Pickard, S., Stadlmair, L. F., Glaß-Theis, A., Buckel, L., Bakuradze, T., Eisenbrand, G., Richling, E. (2019). Alkylpyrazines from coffee are extensively metabolized to pyrazine carboxylic acids in the human body. *Mol. Nut. Food Res.*, e1801341.  
<https://doi.org/10.1002/mnfr.201801341>.
- [35] European Union. Summary of Applications and Notifications.  
[https://ec.europa.eu/food/safety/novel\\_food/authorisations/summary-applications-and-notifications\\_en](https://ec.europa.eu/food/safety/novel_food/authorisations/summary-applications-and-notifications_en).
- [36] Hu, G. L., Wang, X., Zhang, L., Qiu, M. H. (2019). The sources and mechanisms of bioactive ingredients in coffee. *Food Funct.* 10, 3113–3126.  
<https://doi.org/10.1039/C9FO00288J>.
- [37] Wang, X., Wang, Y., Hu, G., Hong, D., Guo, T., Li, J., Li, Z., Qiu, M. (2022). Review on factors affecting coffee volatiles: From seed to cup. *J. Sci. Food Agric.*, 102, 1341–1352.  
<https://doi.org/10.9734/CJAST/2023/v42i134112>.
- [38] Claassen, L., Rinderknecht, M., Porth, T., Röhnisch, J., Seren, H. Y., Scharinger, A., Gottstein, V., Noack, D., Schwarz, S., Winkler, G., et al. (2021). Cold brew coffee—Pilot studies on definition, extraction, consumer preference, chemical characterization and microbiological hazards. *Foods*, 10, 865.  
<https://doi.org/10.3390/foods10040865>.
- [39] Moreira, A. S., Nunes, F. M., Domingues, M. R., Coimbra, M. A. (2012). Coffee melanoidins: Structures, mechanisms of formation and potential health impacts.



- Food Funct.* 3, 903–915.  
<https://doi.org/10.1039/c2fo30048f>.
- [40] Iriondo-DeHond, A., Rodríguez Casas, A., Del Castillo, M. D. (2021). Interest of coffee melanoidins as sustainable healthier food ingredients. *Front. Nutr.* 8, 730343. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.730343/>
- [41] Schouten, M. A., Tappi, S., Romani, S. (2020). Acrylamide in coffee: Formation and possible mitigation strategies—A review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 60, 3807–3821. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1708264>.
- [42] Bomfim, A. S., de Oliveira, D. M., Walling, E., Babin, A., Hersant, G., Vaneekhaute, C., Dumont, M. J., Rodrigue, D. (2022). Spent coffee grounds characterization and reuse in composting and soil amendment. *Waste*, 1, 2–20. <https://doi.org/10.3390/waste1010002>.
- [43] Olechno, E., Pus'cion-Jakubik, A., Zujko, M. E., Socha, K. (2021). Influence of various factors on caffeine content in coffee brews. *Foods*, 10, 1208. <https://doi.org/10.3390/foods10061208>.
- [44] Fuller, M., Rao, N. Z. (2017). The effect of time, roasting temperature, and grind size on caffeine and chlorogenic acid concentrations in cold brew coffee. *Sci. Rep.* 7, 17979. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18247-4>.
- [45] Angeloni, G., Guerrini, L., Masella, P., Bellumori, M., Daluiso, S., Parenti, A., Innocenti, M. (2019). What kind of coffee do you drink? An investigation on effects of eight different extraction methods. *Food Res. Int.* 116, 1327–1335. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.022>.
- [46] Ballesteros, L. F., Teixeira, J. A., Mussatto, S. I. (2014). Chemical, functional, and structural properties of spent coffee grounds and coffee silverskin. *Food Bioprocess Technol.* 7(12), 3493–3503. <https://doi.org/10.1007/s11947-014-1349-z>.
- [47] Narita, Y., Inouye, K. (2014). Review on utilization and composition of coffee silverskin. *Food Res Int.* 61, 16–22. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.01.023>.
- [48] Kourmentza, C., Economou, C. N., Tsafrakidou, P., Kornaros, M. (2018). Spent coffee grounds make much more than waste: Exploring recent advances and future exploitation strategies for the valorization of an emerging food waste stream. *J Clean Prod.* 172, 980–992. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.088>.
- [49] Bradbury, A. G., Halliday, D. J. (1990). Chemical structures of green coffee bean polysaccharides. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38(2), 389–392. <https://doi.org/10.1021/jf00092a010>.
- [50] Wei, F., Furihata, K., Koda, M., Hu, F., Miyakawa, T., Tanokura, M. (2012). Roasting process of coffee beans as studied by nuclear magnetic resonance: time course of changes in composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(4), 1005–1012. <https://doi.org/10.1021/jf205315r>.
- [51] Illy, A., Viani, R. (1995). Espresso coffee: The chemistry of quality (1st ed.). *New York: Academic Press*, 105e106.
- [52] Nunes, F. M., Coimbra, M. A. (2010). Role of hydroxycinnamates in coffee melanoidin formation. *Phytochemistry Reviews*, 9(1), 171–185. <https://doi.org/10.1007/s11101-009-9151-7>.
- [53] Mussatto, S. I., Carneiro, L. M., Silva, J., Roberto, I. C., Teixeira, J. A. (2011). A study on chemical constituents and sugars extraction from spent coffee grounds. *Carbohydrate Polymers*, 83(2), 368–374. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.07.063>.
- [54] Simões, J., Nunes, F., Domingues, R., Coimbra, M. (2013). Extractability and structure of spent coffee ground polysaccharides by roasting pre-treatments. *Carbohydrate Polymers*, 97(1), 81–9. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.04.067>.
- [55] Prajapati, V. D., Jani, G. K., Moradiya, N. G., Randeria, N. P., Nagar, B. J., Naikwadi, N. N., et al. (2013). Galactomannan: a versatile biodegradable seed polysaccharide. *International Journal of Biological Macromolecules*, 60, 83–92. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.05.017>.
- [56] Mussatto, S. I., Machado, E., Carneiro, L. M., Teixeira, J. A. (2012). Sugars metabolism and ethanol production by different yeast strains from coffee industry wastes hydrolysates. *Applied Energy*, 92, 763–768. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.08.020>.
- [57] Simoes, J., Madureira, P., Nunes, F. M., Domingues, M. R., Vilanova, M., Coimbra, M. A. (2009). Immunostimulatory properties of coffee mannans. *Molecular Nutrition & Food Research*, 53(8), 1036–1043. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200800385>.
- [58] Stahl, H., Bayha, R., Fulger, C. V. (1984). *U.S. Patent 4484012*. Production of mannitol and higher mannosaccharide alcohols.
- [59] Asano, I., Nakamura, Y., Hoshino, H., Aoki, K., Fujii, S., Imura, N., et al. (2001). Use of manno oligosaccharides from coffee mannan by intestinal bacteria. *Nippon Nogeikagaku Kaishi*, 75(10), 1077–1083. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200800385>.
- [60] Takao, I., Fujii, S., Ishii, A., Han, L., Kumao, T., Ozaki, K., et al. (2006). Effects of manno oligosaccharides from coffee mannan on fat storage in mice fed a high fat diet. *Journal of Health Science Tokyo*, 52(3), 333. <https://doi.org/10.3136/fstr.10.93>.
- [61] Vardon, D. R., Moser, B. R., Zheng, W., Witkin, K., Evangelista, R. L., Strathmann, T. J., et al. (2013). Complete utilization of spent coffee grounds to produce biodiesel, bio-oil, and biochar. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 1(10), 1286e1294. <https://doi.org/10.1021/sc400145w>.
- [62] Murthy, P. S., Naidu, M. M. (2012). Recovery of phenolic antioxidants and functional compounds from coffee industry byproducts. *Food and Bioprocess Technology*, 5(3), 897e903. <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0363-z>.
- [63] Belitz, H. D., Grosch, H., Schieberte, P. (2004). Food chemistry. *Berlin, Germany: Springer*, 939–969.
- [64] Cruz, R., Cardoso, M. M., Fernandes, L., Oliveira, M., Mendes, E., Baptista, P., et al. (2012). Espresso coffee residues: a valuable source of unextracted compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(32), 7777e7784. <https://doi.org/10.1021/jf3018854>.
- [65] Gao, L., Volpe, M., Lucian, M., Fiori, L., Goldfarb, J. L. (2019). Does hydrothermal carbonization as a biomass pretreatment reduce fuel segregation of coal-biomass blends during oxidation? *Energy Convers Manag*, 181, 93–104. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.12.009>
- [66] Franca, A. S., Oliveira, L. S. (2022). Potential uses of spent Coffee Grounds in the Food Industry. *Foods*, 11(14), 2064. <https://doi.org/10.3390/foods11142064>.
- [67] Bevilacqua, E., Cruzat, V., Singh, I., Rose'Meyer, R. B., Panchal, S. K., Brown, L. (2023). The potential of spent Coffee Grounds in Functional Food Development. *Nutrients*, 15(4), 994. <https://doi.org/10.3390/nu15040994>.
- [68] Acuna, R., Bassuner, R., Beilinson, V., Cortina, H. (2002). Coffee seeds contain 11S storage proteins. *Physiol Plant*,

- 105(1), 122-131. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.1999.105119.x>.
- [69] Master, P. B. Z., Macedo, R. C. O. (2021). Effects of Dietary Supplementation in Sport and Exercise: a review of evidence on milk proteins and amino acids. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 61, 1225-1239. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1756216>.
- [70] Bhattarai, R. R., Al-Ali, H., Johnson, S. K. (2022). Extraction, isolation and nutritional quality of coffee protein. *Foods*, 11(20), 3244. <https://doi.org/10.3390/foods11203244>.
- [71] Battista, F., Zuliani, L., Rizzoli, F., Fusco, S., Bolzonella, D. (2021). Biodiesel, biogas and fermentable sugars production from spent coffee grounds: a cascade biorefinery approach. *Biores Technol*, 342, 125952. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125952>.
- [72] Oliva, A., Tan, L. C., Papirio, S., Esposito, G., Lens, P. N. L. (2022). Use of N-Methylmorpholine N-Oxide (NMMO) pretreatment to enhance the bioconversion of lignocellulosic residues to methane. *Biomass Conv Bioref*. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03173-x>.
- [73] Olechno, E., Puścion-Jakubik, A., Zujko, M. E., Socha, K. (2021). Influence of various factors on Caffeine Content in Coffee Brews. *Foods*, 10(6), 1208. <https://doi.org/10.3390/foods10061208>.
- [74] Roukas, T., Kotzekidou, P. (2022). From food industry wastes to second generation bioethanol: a review. *Rev Environ Sci Biotechnol*, 21, 299-329. <https://doi.org/10.1007/s11157-021-09606-9>.
- [75] Wu, C. T., Agrawal, D. C., Huang, W. Y., Hsu, H. C., Yang, S. J., Huang, S. L., Lin, Y. S. (2019). Functionality analysis of spent coffee ground extracts obtained by the hydrothermal method. *J Chem*, 4671438. <https://doi.org/10.1155/2019/4671438>.
- [76] Ramirez, K., Pineda-Hidalgo, K. V., Rochin-Medina, J. J. (2021). Fermentation of spent coffee grounds by *Bacillus clausii* induces release of potentially bioactive peptides. *LWT Food Sci Technol*, 138, 110685. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110685>.
- [77] Valdés, A., Castro-Puyana, M., Marina, M. L. (2020). Isolation of proteins from spent coffee grounds. Polyphenol removal and peptide identification in the protein hydrolysates by RP-HPLC-ESI-Q-TOF. *Food Res Int*, 137, 109368. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109368>.
- [78] Samsalee, N., Sothornvit, R. (2021). Physicochemical, functional properties and antioxidant activity of protein extract from spent coffee grounds using ultrasonic-assisted extraction. *AIMS Agric Food*, 6(3), 864-878. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2021052>.
- [79] Ribeiro, E., de Souza Rocha, T., Prudencio, S. H. (2021). Potential of green and roasted coffee beans and spent coffee grounds to provide bioactive peptides. *Food Chem*, 348, 129061. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129061>.
- [80] Febrianto, N. A. (2018). Liberation of protein and antioxidative compound from spent coffee ground through protein hydrolysis. *Res Journal*, 34(2), 95-103. <https://doi.org/10.22302/icri.jur.pelitaperkebunan.v34i2.318>.
- [81] Ginz, M., Balzer, H. H., Bradbury, A. G. W., Maier, H. (2000). Formation of aliphatic acids by carbohydrate degradation during roasting of coffee. *Eur Food Res Technol*, 211, 404-410. <https://doi.org/10.1007/s002170000215>.
- [82] Iriondo-DeHond, A., Casas, A. R., del-Castillo, M. D. (2021). Interest of coffee melanoidins as sustainable healthier food ingredients. *Front Nutr*, 8, 730343. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.730343>.
- [83] Rufián-Henares, J. A., de la Cueva, S. P. (2009). Antimicrobial activity of Coffee Melanoidins A Study of their metal-chelating Properties. *J Agric Food Chem*, 57(2), 432-438. <https://doi.org/10.1021/jf8027842>.
- [84] Belitz, H. D., Grosch, H., Schieberte, P. (2004). Food chemistry. *Berlin, Germany: Springer*, 939e969.
- [85] Mussatto, S. I., Ballesteros, L. F., Martins, S., Teixeira, J. A. (2011). Extraction of antioxidant phenolic compounds from spent coffee grounds. *Separation and Purification Technology*, 83, 173-179. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2011.09.036>.
- [86] Silva, V. M., Vieira, G. S., Hubinger, M. D. (2014). Influence of different combinations of wall materials and homogenisation pressure on the microencapsulation of green coffee oil by spray drying. *Food Research International*, 61, 132-143. <https://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2014.01.052>.
- [87] Arya, M., Rao, L. J. M. (2007). An impression of coffee carbohydrates. *Critical reviews in Food Science and Nutrition*, 47(1), 51-67. <https://doi.org/10.11598/btb.2023.30.3.1940>.
- [88] Delgado, P. A., Vignoli, J. A., Siika-aho, M., Franco, T. T. (2008). Sediments in coffee extracts: composition and control by enzymatic hydrolysis. *Food Chemistry*, 110(1), 168-176. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.01.029>.
- [89] Lago, R. C. A., Antoniassi, R., Freitas, S. C. (2001). Centesimal composition and amino acids of raw, roasted and spent ground of soluble coffee. In *II Simposio de Pesquisa dos Cafes do Brasil Vitoria, ES. Resumos*, 104.
- [90] Ravindranath, R., Khan, R., Obi Reddy, T., ThirumalaRao, S. D., Reddy, B. R. (1972). Composition and characteristics of Indian coffee bean, spent grounds and oil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 23(3), 307-310. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740230306>.
- [91] Rogers, W. J., Bezard, G., Deshayes, A., Meyer, I., Petiard, V., Marraccini, P. (1999). Biochemical and molecular characterization and expression of the 11S-type storage protein from *Coffea Arabica* endosperm. *Plant Physiology and Biochemistry*, 37(4), 261-272. [https://doi.org/10.1016/S0981-9428\(99\)80024-2](https://doi.org/10.1016/S0981-9428(99)80024-2).
- [92] Karr-Lilienthal, L. K., Kadzere, C. T., Grieshop, C. M., Fahey, G. C., Jr. (2005). Chemical and nutritional properties of soybean carbohydrates as related to nonruminants: a review. *Livestock Production Science*, 97(1), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2005.01.015>.
- [93] Elias, L. G. (1979). Chemical composition of coffee-berry by-products. In J. E. Brahman, & R. Bressani (Eds.), Coffee pulp composition, technology, and utilization. *Ottawa, Canada: International Development Research Centre*, 11-16. <https://doi.org/10.12691/jfnr-7-9-2>.
- [94] Oestreich-Janzen, S. (2010). Chemistry of coffee. In L. Mander, & H.-W. Liu (Eds.), Comprehensive natural products II chemistry and biology. Development & modification of bioactivity. *Oxford, UK: Elsevier*, 3, 1085-1117.
- [95] Tello, J., Viguera, M., Calvo, L. (2011). Extraction of caffeine from Robusta coffee (*Coffeacanephora* var. Robusta) husks using supercritical carbon dioxide. *The Journal of Supercritical Fluids*, 59, 53-60. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2011.07.018>.

- [96] Murthy, P. S., Naidu, M. M. (2012). Sustainable management of coffee industry by-products and value addition. A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 66, 45–58. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.06.005>.
- [97] Andrade, K. S., Goncalves, R. T., Maraschin, M., Ribeiro-Valle, R. M., Martinez, J., Ferreira, S. R. (2012). Supercritical fluid extraction from spent coffee grounds and coffee husks: antioxidant activity and effect of operational variables on extract composition. *Talanta*, 88, 544–552. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2011.11.031>.
- [98] Ramalakshmi, K., Rao, L., Takano-Ishikawa, Y., Goto, M. (2009). Bioactivities of low-grade green coffee and spent coffee in different in vitro model systems. *Food Chemistry*, 115(1), 79–85. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.11.063>.
- [99] Saldana, M. D., Mohamed, R. S., Baer, M. G., Mazzafera, P. (1999). Extraction of purine alkaloids from mate (*Ilex paraguariensis*) using supercritical CO<sub>2</sub>. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(9), 3804–3808. <https://doi.org/10.1021/jf981369z>.
- [100] Ramalakshmi, K., Rao, L., Takano-Ishikawa, Y., Goto, M. (2009). Bioactivities of low-grade green coffee and spent coffee in different in vitro model systems. *Food Chemistry*, 115(1), 79–85. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.11.063>.
- [101] Oestreich-Janzen, S. (2010). Chemistry of coffee. In L. Mander, H.-W. Liu (Eds.), *Comprehensive natural products II chemistry and biology. Development & modification of bioactivity*, 3, 1085–1117.
- [102] Panusa, A., Zuorro, A., Lavecchia, R., Marrosu, G., Petrucci, R. (2013). Recovery of natural antioxidants from spent coffee grounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(17), 4162–4168. <https://doi.org/10.1021/jf4005719>.
- [103] Bicho, N. C., Leitao, A. E., Ramalho, J. C., Lidon, F. C. (2011). Identification of chemical clusters discriminators of the roast degree in Arabica and Robusta coffee beans. *European Food Research and Technology*, 233(2), 303–311. <https://doi.org/10.1007/s00217-011-1518-5>.
- [104] Casal, S., Oliveira, M. B. P. P., Alves, M. R., Ferreira, M. A. (2000). Discriminate analysis of roasted coffee varieties for trigonelline, nicotinic acid, and caffeine content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(8), 3420–3424. <https://doi.org/10.1021/jf990702b>.
- [105] Moreira, A. S., Nunes, F. M., Domingues, M. R., Coimbra, M. A. (2012). Coffee melanoidins: structures, mechanisms of formation and potential health impacts. *Food & Function*, 3(9), 903–915. <https://doi.org/10.1039/C2FO30048F>.
- [106] Jung, W. K., Park, P. J., Ahn, C. B., Je, J. Y. (2014). Preparation and antioxidant potential of maillard reaction products from (MRPs) chitoooligomer. *Food Chemistry*, 145, 173–178. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.042>.
- [107] Portillo, O.R., Arévalo, A. C. (2022). Coffee's Melanoidins. A critical review of contemporary scientific literature. *Revis Bionatura*, 7(3), 4. <http://dx.doi.org/10.21931/RB/2022.07.03.4>.
- [108] Bravo, J., Juaniz, I., Monente, C., Caemmerer, B., Kroh, L. W., De Pena, et al. (2012). Evaluation of spent coffee obtained from the most common coffeemakers as a source of hydrophilic bioactive compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(51), 12565–12573. <https://doi.org/10.1021/jf3040594>.
- [109] Yen, W. J., Wang, B. S., Chang, L. W., Duh, P. D. (2005). Antioxidant properties of roasted coffee residues. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(7), 2658–2663. <https://doi.org/10.1021/jf0402429>.
- [110] Bravo, J., Monente, C., Juaniz, I., De Pena, M. P., Cid, C. (2013). Influence of extraction process on antioxidant capacity of spent coffee. *Food Research International*, 50(2), 610–616. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2011.04.026>.
- [111] Passos, C. P., Coimbra, M. A. (2013). Microwave superheated water extraction of polysaccharides from spent coffee grounds. *Carbohydrate Polymers*, 94(1), 626–633. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.01.088>.
- [112] Nunes, F. M., Coimbra, M. A. (2010). Role of hydroxycinnamates in coffee melanoidin formation. *Phytochemistry Reviews*, 9(1), 171–185. <https://doi.org/10.1007/s11101-009-9151-7>.
- [113] Jenkins, R. W., Stageman, N., Fortune, C., Chuck, C. J. (2014). Effect of the type of bean, processing and geographical location on the biodiesel produced from waste coffee grounds. *Energy Fuels*, 28, 1166–1174. <http://dx.doi.org/10.1021/ef4022976>.
- [114] Silva, M. A., Nebra, S. A., Machado Silva, M. J., Sanchez, C. G. (1998). The use of biomass residues in the Brazilian soluble coffee industry. *Biomass and Bioenergy*, 14(5), 457–467. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(97\)10034-4](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(97)10034-4).
- [115] Al-Hamamre, Z., Foerster, S., Hartmann, F., Kroger, M., Kaltschmitt, M. (2012). Oil extracted from spent coffee grounds as a renewable source for fatty acid methyl ester manufacturing. *Fuel*, 96, 70–76. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.01.023>.
- [116] Calixto, F., Fernandes, J., Couto, R., Hernandez, E. J., Najdanovic-Visak, V., Simoes, P. C. (2011). Synthesis of fatty acid methyl esters via direct transesterification with methanol/carbon dioxide mixtures from spent coffee grounds feedstock. *Green Chemistry*, 13(5), 1196–1202. <https://doi.org/10.1039/C1GC15101K>.
- [117] Couto, R. M., Fernandes, J., da Silva, M. D. R., Simoes, P. C. (2009). Supercritical fluid extraction of lipids from spent coffee grounds. *The Journal of Supercritical Fluids*, 51(2), 159–166. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2009.09.009>.
- [118] Kondamudi, N., Mohapatra, S. K., Misra, M. (2008). Spent coffee grounds as a versatile source of green energy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(24), 11757–11760. <https://doi.org/10.1021/jf802487s>.
- [119] Ratnayake, W. M. N., Hollywood, R., O'Grady, E., Stavric, B. (1993). Lipid content and composition of coffee brews prepared by different methods. *Food and Chemical Toxicology*, 31(4), 263–269. [https://doi.org/10.1016/0278-6915\(93\)90076-B](https://doi.org/10.1016/0278-6915(93)90076-B).
- [120] De Azevedo, A. B. A., Kieckbush, T. G., Tashima, A. K., Mohamed, R. S., Mazzafera, P., Melo, S. A. B. (2008). Extraction of green coffee oil using supercritical carbon dioxide. *The Journal of Supercritical Fluids*, 44(2), 186–192. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2007.11.004>.
- [121] Khan, N. A., Brown, J. B. (1953). The composition of coffee oil and its component fatty acids. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 30(12), 606–609. <https://doi.org/10.1007/BF02640975>.
- [122] Acevedo, F., Rubilar, M., Scheuermann, E., Cancino, B., Uquiche, E., Garces, M., et al. (2013). Spent coffee grounds as a renewable source of bioactive compounds. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 7(3), 420–428. <https://doi.org/10.1166/jbmb.2013.1369>.

- [123]Chemat, A., Ravi, H. K., Hostequin, A. C., Burney, H., Tomao, V., Fabiano-Tixier, A.-S. (2022). Valorization of spent coffee grounds by 2-methyloxolane as bio-based solvent extraction. Viable pathway towards bioeconomy for lipids and biomaterials. *OCL*, 29, 7-8. <https://doi.org/10.1051/ocl/2021052>.
- [124]Cruz, M. V., Paiva, A., Lisboa, P., Freitas, F., Alves, V. D., Simoes, P., et al. (2014). Production of polyhydroxyalkanoates from spent coffee grounds oil obtained by supercritical fluid extraction technology. *Bioresource Technology*, 157, 360-363. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.02.013>.
- [125]Ahangari, B., Sargolzaei, J. (2013). Extraction of lipids from spent coffee grounds using organic solvents and supercritical carbon dioxide. *Journal of Food Processing and Preservation*, 37(5), 1014-1021. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2012.00757.x>
- [126]Todaka, M., Kowhakul, W., Masamoto, H., Shigematsu, M., Onwona-Agyeman, S. (2013). Thermal decomposition of biodiesel fuels produced from rapeseed, jatropha, and coffee oils with different alcohols. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 113(3), 1355-1361. <https://doi.org/10.1007/s10973-013-3056-9>.
- [127]Acevedo, F., Rubilar, M., Scheuermann, E., Cancino, B., Uquiche, E., Garces, M., et al. (2013). Spent coffee grounds as a renewable source of bioactive compounds. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 7(3), 420-428. <https://doi.org/10.1166/jbmb.2013.1369>.
- [128]Ahangari, B., Sargolzaei, J. (2013). Extraction of lipids from spent coffee grounds using organic solvents and supercritical carbon dioxide. *Journal of Food Processing and Preservation*, 37(5), 1014-1021. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2012.00757.x>.
- [129]Couto, R. M., Fernandes, J., da Silva, M. D. R., Simoes, P. C. (2009). Supercritical fluid extraction of lipids from spent coffee grounds. *The Journal of Supercritical Fluids*, 51(2), 159-166. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2009.09.009>.
- [130]Rudel, L. L., Parks, J. S., Sawyer, J. K. (1995). Compared with dietary monounsaturated and saturated fat, polyunsaturated fat protects African green monkeys from coronary artery atherosclerosis. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, 15(12), 2101-2110. <https://doi.org/10.1161/01.ATV.15.12.2101>.
- [131]Urgert, R., Schulz, A. G., Katan, M. B. (1995). Effects of cafestol and kahweol from coffee grounds on serum lipids and serum liver enzymes in humans. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 61(1), 149-154. <https://doi.org/10.1093/ajcn/61.1.149>.
- [132]Ravindranath, R., Khan, R., Obi Reddy, T., ThirumalaRao, S. D., Reddy, B. R. (1972). Composition and characteristics of Indian coffee bean, spent grounds and oil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 23(3), 307-310. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740230306>.
- [133]Obruca, S., Petrik, S., Benesova, P., Svoboda, Z., Eremka, L., Marova, I. (2014). Utilization of oil extracted from spent coffee grounds for sustainable production of polyhydroxyalkanoates. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 1-8. <https://doi.org/10.1007/s00253-014-5653-3>.
- [134]Spiller, M. A. (1998). The chemical components of coffee. In G. A. Spiller (Ed.), *Caffeine*. Boca Raton, FL: CRC Press, 97e161.
- [135]Mussatto, S. I., Ballesteros, L. F., Martins, S., Teixeira, J. A. (2011). Extraction of antioxidant phenolic compounds from spent coffee grounds. *Separation and Purification Technology*, 83, 173-179. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2011.09.036>.
- [136]Mussatto, S. I., Carneiro, L. M., Silva, J., Roberto, I. C., Teixeira, J. A. (2011). A study on chemical constituents and sugars extraction from spent coffee grounds. *Carbohydrate Polymers*, 83(2), 368-374. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.07.063>.
- [137]Grembecka, M., Malinowska, E., Szefer, P. (2007). Differentiation of market coffee and its infusions in view of their mineral composition. *Science of the Total Environment*, 383(1), 59-69. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.04.031>.
- [138]Balasundram, N., Sundram, K., Samman, S. (2006). Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry*, 99(1), 191-203. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.042/>
- [139]de Souza, A. L., Garcia, R., Cabral, L., Bernardino, F. S., Zervoudakis, J. T., Rocha, F. C., et al. (2004). Coffee hulls in diets of dairy cows: nitrogenous compounds balance. *Poultry Science*, 83, 51. [https://doi.org/10.1016/S0022-5347\(18\)37457-3](https://doi.org/10.1016/S0022-5347(18)37457-3).
- [140]Murthy, P. S., Naidu, M. M. (2012). Recovery of phenolic antioxidants and functional compounds from coffee industry byproducts. *Food and Bioprocess Technology*, 5(3), 897-903. <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0363-z>.
- [141]Esquivel, P., Jimenez, V. M. (2012). Functional properties of coffee and coffee by-products. *Food Research International*, 46(2), 488-495. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.05.028>.
- [142]Zuorro, A., Lavecchia, R. (2012). Spent coffee grounds as a valuable source of phenolic compounds and bioenergy. *Journal of Cleaner Production*, 34, 49-56. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.12.003>.
- [143]Pavlovic, M. D., Buntic, A. V., Siler-Marinkovic, S. S., DimitrijevicBrankovic, S. I. (2013). Ethanol influenced fast microwave-assisted extraction for natural antioxidants obtaining from spent filter coffee. *Separation and Purification Technology*, 118, 503-510. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2013.07.035>.
- [144]Panusa, A., Zuorro, A., Lavecchia, R., Marrosu, G., Petrucci, R. (2013). Recovery of natural antioxidants from spent coffee grounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(17), 4162-4168. <https://doi.org/10.1021/jf4005719>.
- [145]Shalini, S. A., Rahul, V., Pavankumar, R. M., Poornima, V. (2021). The wastes of coffee bean processing for utilization in food: a review. *J Food Sci Technol*. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05032-5>.
- [146]Betancur-Ancona, D., Peraza-Mercado, G., Moguel-Ordoñez, Y., Fuertes-Blanco, S. (2004). Physicochemical characterization of lima bean (*Phaseolus lunatus*) and Jack bean (*Canavalia ensiformis*) fibrous residues. *Food Chemistry*, 84(2), 287-295. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-41376-7\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-41376-7_9).
- [147]Raghavendra, S. N., Rastogi, N. K., Raghavarao, K. S. M. S., Tharanathan, R. N. (2004). Dietary fiber from coconut residue: Effects of different treatments and particle size on the hydration properties. *European Food Research and Technology*, 218(6), 563-567. <http://dx.doi.org/10.1007/s00217-004-0889-2>.
- [148]Robertson, J. A., Monredon, F. D., Dysseler, P., Guillon, F., Amado, R., Thibault, J. F. (2000). Hydration properties of dietary fibre and resistant starch: a European collaborative study. *LWT - Food Science and Technology*, 33(2), 72-79. <https://doi.org/10.12691/ajfn-1-3-2>.

- [149]Kuan, Y.-H., Liong, M.-T. (2008). Chemical and physicochemical characterization of agrowaste fibrous materials and residues. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(19), 9252–9257. <https://doi.org/10.1021/jf802011j>.
- [150]Femenia, A., Lefebvre, A.-C., Thebaudin, J.-Y., Robertson, J. A., Bourgeois, C.-M. (1997). Physical and sensory properties of model foods supplemented with cauliflower fiber. *Journal of Food Science*, 62(4), 635–639. <https://doi.org/10.12691/ajfn-1-3-2>.
- [151]Cummings, J. H., Branch, W., Jenkins, D. J. A., Southgate, D. A. T., Houston, H., James, W. P. T. (1978). Colonic response to dietary fiber from carrot, cabbage, apple, bran, and guar gum. *The Lancet*, 1(8054), 5–9. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(78\)90357-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(78)90357-4).
- [152]Tiwari, U., Cummins, E. (2011). Pulse foods: Processing, quality and nutraceutical applications. *San Diego: Academic*, 121-156.
- [153]Sánchez-Zapata, E., Fuentes-Zaragoza, E., Fernández-López, J., Sendra, E., Sayas, E., Navarro, C., Pérez-Álvarez, J. A. (2009). Preparation of dietary fiber powder from tiger nut (*Cyperus esculentus*) milk ("Horchata") byproducts and its physicochemical properties. *J Agric Food Chem*, 57(17), 7719-25. <https://doi.org/10.1021/jf901687r>.
- [154]Kuan, C.-Y., Yuen, K.-H., Bhat, R., Liong, M.-T. (2011). Physicochemical characterization of alkali treated fractions from corncob and wheat straw and the production of nanofibres. *Food Research International*, 44(9), 2822–2829. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.06.023>.
- [155]Oseguera-Castro, K. Y., Madrid, J. A., Madrid, M. J. M., García, O. P., Del Castillo, M. D., Campos-Vega, R. (2019). Antioxidant dietary fibre isolated from spent coffee (*Coffea arabica* L.) grounds improves chronotype and circadian locomotor activity in young adults. *Food Funct*, 10(8), 4546–4556. <https://doi.org/10.1039/C9FO01021A>.
- [156]Del Castillo, M. D., Martínez-Saez, N., Ullate, M. (2014). *International Patent Application No. WO2014128320A1*. Healthy bakery products with high level of dietary antioxidant fibre.
- [157]Martínez-Saez, N., García, A. T., Pérez, I. D., Rebollo-Hernanz, M., Mesías, M., Morales, F. J., Martín-Cabrejas, M. A., Del Castillo, M. D. (2017). Use of spent coffee grounds as food ingredient in bakery products. *Food Chem*, 216, 114–122. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.173>.
- [158]Machado, E., Mussatto, S. I., Teixeira, J., Vilanova, M., Oliveira, J. (2018). Increasing the sustainability of the coffee agro-industry: spent coffee grounds as a source of new beverages. *Beverages*, 4(4), 105. <https://doi.org/10.3390/beverages4040105>.
- [159]Sampaio, A., Dragone, G., Vilanova, M., Oliveira, J. M., Teixeira, J. A., Mussatto, S. I. (2013). Production, chemical characterization, and sensory profile of a novel spirit elaborated from spent coffee ground. *LWT-Food Sci Technol*, 54(2), 557–563. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.05.042>.
- [160]Iriondo-De Hond, A., García, N. A., Fernandez-Gomez, B., GuisantesBatan, E., Escobar, F. V., Blanch, G. P., San Andres, M. I., SanchezFortun, S., del Castillo, M. D. (2019). Validation of coffee byproducts as novel food ingredients. *Inno Food Sci Emerg Tech*, 51, 194–204. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.06.010>.
- [161]Scully, D. S., Jaiswal, A. K., Abu-Ghannam, N. (2016). An investigation into spent coffee waste as a renewable source of bioactive compounds and industrially important sugars. *Bioengineering*, 3(4), 33. <https://doi.org/10.3390/bioengineering3040033>.
- [162]Bresciani, L., Calani, L., Bruni, R., Brighenti, F., Del Rio, D. (2014). Phenolic composition, caffeine content and antioxidant capacity of coffee silverskin. *Food Res Int*, 61, 196–201. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.10.047>.
- [163]Murthy, P. S., Madhava Naidu, M. (2012). Sustainable management of coffee industry by-products and value addition - A review. *Resour Conserv Recycl*, 66, 45–58. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.06.005>.
- [164]Ramirez Velez, A., Jaramillo Lopez, J. C. (2015). *US patent publication no. 20150017270, 15*. Process for obtaining honey and/or flour of coffee from the pulp or husk and the mucilage of the coffee bean.
- [165]Moreno, J., Cozzano, S., Mercedes Pe´rez, A., Arcia, P., Curutchet, A. (2019). Coffee pulp waste as a functional ingredient: effect on salty cookies quality. *J Food Nutr Res*, 7, 632–638. <https://doi.org/10.12691/jfnr-7-9-2>.
- [166]Prata, E. R., Oliveira, L. S. (2007). Fresh coffee husks as potential sources of anthocyanins. *LWT Food Sci Technol*, 40, 1555–1560. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.10.003>.
- [167]Iriondo-De Hond, M., Iriondo-DeHond, A., Herrera, T., Fernández, A. M., Sorzano, C. O. S., Miguel, E., Castillo, M. D. D. (2020). Sensory acceptance, appetite control and gastrointestinal tolerance of yogurts containing coffee-cascara extract and inulin. *Nutrients*, 12(3), 627. <https://doi.org/10.3390/nu12030627>.
- [168]Rios, M. B., Iriondo-DeHond, A., Iriondo-DeHond, M., Herrera, T., Velasco, D., Gómez-Alonso, S., Callejo, M. J., Del Castillo, M. D. (2020). Effect of coffee cascara dietary fiber on the physicochemical, nutritional and sensory properties of a gluten-free bread formulation. *Molecules*, 25(6), 1358. <https://doi.org/10.3390/molecules25061358>.
- [169]Cubero-Castillo, E., Bonilla-Leiva, A. R., García-Velasques, E. (2017). Coffee berry processing by-product valorization: coffee parchment as a potential fiber source to enrich bakery goods abstract. *J Food Nutr Popul Health*, 1, 1–7.
- [170]Jiménez-Zamora, A., Pastoriza, S., Rufián-Henares, J. A. (2015). Revalorization of coffee by-products. Prebiotic, antimicrobial and antioxidant properties. *LWT-Food Sci Technol*, 61(1), 12–18. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.11.031>.
- [171]Panusa, A., Zuurro, A., Lavecchia, R., Marrosu, G., Petrucci, R. (2013). Recovery of natural antioxidants from spent coffee grounds. *J Agri Food Chem*, 61(17), 4162–4168. <https://doi.org/10.1021/jf4005719>.
- [172]Zainol, M. K., Mohd Subri, I., Zamri, A. I., Mohd Zin, Z., Faisal, A., Mamat, H. (2020). Antioxidative properties and proximate analysis of spent coffee ground (SCG) extracted using ultrasonic-methanol assisted technique as a potential functional food ingredient. *Food Res*, 4(3), 636–644. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.4\(3\).358](https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(3).358).
- [173]Murthy, P. S., Madhava Naidu, M. (2012). Sustainable management of coffee industry by-products and value addition - A review. *Resour Conserv Recycl*, 66, 45–58. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.06.005>.
- [174]Malik, N. H., Zin, Z. M., Razak, S. B. A., Ibrahim, K., Zainol, M. K. (2017). Antioxidative activities and flavonoids contents in leaves of selected mangrove species in Setiu wetlands extracted using different solvents. *J Sustain Sci Manag*, 3, 14–22.

- [175] Kim, J. H., Ahn, D. U., Eun, J. B., Moon, S. H. (2016). Antioxidant effect of extracts from the coffee residue in raw and cooked meat. *Antioxidants*, 5(3), 21. <https://doi.org/10.3390/antiox5030021>.
- [176] Mussatto, S. I., Carneiro, L. M., Silva, J. P., Roberto, I. C., Teixeira, J. A. (2011). A study on chemical constituents and sugars extraction from spent coffee grounds. *Carbohydr Polym*, 83(2), 368-374. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.07.063>.
- [177] Ao, C., Higa, T., Khanh, T. D., Upadhyay, A., Tawata, S. (2011). Antioxidant phenolic compounds from Smilax sebena Miq. *LWT - Food Science and Technology*, 44(7), 1681-1686. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.02.001>.
- [178] Pettinato, M., Trucillo, P., Campardelli, R., Perego, P., Reverchon, E. (2020). Bioactives extraction from spent coffee grounds and liposome encapsulation by a combination of green technologies. *Chem Eng Process-Process Intensif*, 151, 107911. <https://doi.org/10.1016/j.ccep.2020.107911>.
- [179] Jime nez-Zamora, A., Pastoriza, S., Rufia n-Henares, J. A. (2015). Revalorization of coffee by-products. Prebiotic, antimicrobial and antioxidant properties. *LWT-Food Sci Technol*, 61(1), 12-18. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.11.031>.
- [180] Brazinha, C., Cadima, M., Crespo, J. G. (2015). Valorisation of spent coffee through membrane processing. *J Food Eng*, 149, 123-130. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.07.016>.
- [181] Shang, Y. F., Xu, J. L., Lee, W. J., Um, B. H. (2017). Antioxidative polyphenolics obtained from spent coffee grounds by pressurized liquid extraction. *South Afr J Botany*, 109, 75-80. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.12.011>.
- [182] Klingel, T., Kremer, J. I., Gottstein, V., Rajcic de Rezende, T., Schwarz, S., Lachenmeier, D. W. (2020). A review of coffee by-products including leaf, flower, cherry, husk, silver skin, and spent grounds as novel foods within the european union. *Foods*, 9(5), 665. <https://doi.org/10.3390/foods9050665>.
- [183] Ballesteros, L. F., Teixeira, J. A., Mussatto, S. I. (2014). Chemical, functional, and structural properties of spent coffee grounds and coffee silverskin. *Food Bioprocess Technol*, 7(12), 3493-3503. <https://doi.org/10.1007/s11947-014-1349-z>.
- [184] Tiwari, U., Cummins, E. (2011). Functional and physicochemical properties of legume fibers. In: Tiwari BK, Gowen A, McKenna BM (eds) Pulse foods: processing, quality and nutraceutical applications. *Academic Press, Waltham, MA*, 121-156.
- [185] Introducing Kaffe Bueno Coffee Flour. <https://www.kaffebueno.com/post/introducing-kaffe-bueno-coffee-flour>.
- [186] Kusumaningrum, H. D., Rasyidah, M. M. (2019). Prevalence of spoilage mold in coffee before and after brewing. *Food Research*, 3(6), 720-726. [https://www.myfoodresearch.com/uploads/8/4/8/5/84855864/13\\_fr-2019-142\\_kusumaningrum\\_4.pdf](https://www.myfoodresearch.com/uploads/8/4/8/5/84855864/13_fr-2019-142_kusumaningrum_4.pdf).
- [187] Iamanaka, B. T., Teixeira, A. A., Teixeira, A. R. R., Copetti, M. V., Bragagnolo, N., Taniwaki, M. H. (2014). The microbiota of coffee beans and its influence on the coffee beverage. *Food Research International*, 62, 353-358. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.02.033>.
- [188] Silva, C. F., Batista, L. R., Schwan, R. F. (2008). Incidence and distribution of filamentous fungi during fermentation, drying and storage of coffee (*Coffea arabica* L.) beans. *Brazilian Journal of Microbiology*, 39, 521-526. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822008000300022>.
- [189] Noonin, P., Mahakarnchanakul, W., Nielsen, K. F., Frisvad, J. C., Samson, R. A. (2008). Isolation, identification and toxigenic potential of ochratoxin A - producing *Aspergillus* species from coffee beans grown in two regions of Thailand. *International Journal of Food Microbiology*, 128(2), 197-202. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2008.08.005>.
- [190] Alwindia, D. G., Acda, M. A. (2010). Mycoflora of coffee beans in the Philippines. *Journal International Society for Southeast Asian Agricultural Sciences (ISSAAS)*, 16(2), 116-125.
- [191] Rahim, S. H. A., Ayob, M. K., Ramli, N. (2011). Fungal contamination of commercial coffee powder. *International Seminar on The Current Research Progress in Sciences and Technology 2011 (ISSTECH 2011)*. <https://www.researchgate.net/publication/266322185>.
- [192] Al-Abdalall, A. H. A., Al-Talib, E. J. (2012). Incidence and distribution of filamentous fungi during storage of coffee beans in eastern region, Kingdom of Saudi Arabia. *International Journal of Applied Agricultural Research*, 7(2), 83-98. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822008000300022>.
- [193] Couto, F. A., de Souza, S. C., Monteiro, M. C. P., da Silva, D. M., Cirillo, M. A., Batista, L. R. (2014). Diversity and association of filamentous fungi in coffee beans under organic and conventional cultivation. *African Journal of Microbiology Research*, 8(26), 2505-2512. <https://doi.org/10.5897/AJMR2013.6571>.
- [194] Verst, L. M., Winkler, G., Lachenmeier, D. W. (2018). Dispensing and serving temperatures of coffee-based hot beverages. Exploratory survey as a basis for cancer risk assessment. *Ernahrungs Umschau*, 65(4), 64-70. <https://doi.org/10.4455/eu.2018.014>.
- [195] Sudiyanto, S., Widayanti, S., Kresna, D. M. (2012). Consumer behavior of kopi tubruk and instant coffee. *Journal of Social and Agricultural Economics*, 6(3), 1-11.
- [196] Pitt, J. I., Hocking, A. D. (2009). Fungi and Food Spoilage. 3rd ed. *New York: Springer Science and Business Media*. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-92207-2>.
- [197] Yaguchi, T., Imanishi, Y., Matsuzawa, T., Hosoya, K., Hitomi, J., Nakayama, M. (2012). Method for identifying heat-resistant fungi of the genus *Neosartorya*. *Journal of Food Protection*, 75(10), 1806-1813. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP12-060>.
- [198] Jesenska, Z., Pieckova, E., Bernat, D. (1993). Heat resistance of fungi from soil. *International Journal of Food Microbiology*, 19(3), 187-192. [https://doi.org/10.1016/0168-1605\(93\)90076-S](https://doi.org/10.1016/0168-1605(93)90076-S).
- [199] Berni, E., Tranquillini, R., Scaramuzza, N., Brutti, A., Bernini, V. (2017). *Aspergilli* with *Neosartorya* type ascospores: heat resistance and effect of sugar concentration on growth and spoilage incidence in berry products. *International Journal of Food Microbiology*, 258, 81-88. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2017.07.008>.
- [200] Oomah, B. D. (2001). Flaxseed as a functional food source. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(9), 889-894. <https://doi.org/10.1002/jsfa.898>.
- [201] Udenigwe, C. C., Aluko, R. E. (2011). Food Protein-Derived Bioactive Peptides: Production, Processing, and Potential Health Benefits. *Journal of Food Science*, 77(1), 11-24. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02455.x>.

- [202] Coffee Grind Size Chart: How Grind Size Affects Coffee Flavor. <https://www.masterclass.com/articles/coffee-grind-size-chart>.
- [203] Sperling, L. H. (2006). Introduction to physical polymer science (4th ed.). *New Jersey: Wiley*.
- [204] Kemsley, E. K., Ruault, S., Wilson, R. H. (1995). Discrimination between *Coffea arabica* and *Coffea canephora* variant *robusta* beans using infrared spectroscopy. *Food Chemistry*, 54(3), 321–326. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(95\)00030-M](https://doi.org/10.1016/0308-8146(95)00030-M).
- [205] Reis, N., Franca, A. S., Oliveira, L. S. (2013). Discrimination between roasted coffee, roasted corn and coffee husks by Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform Spectroscopy. *LWT - Food Science and Technology*, 50(2), 715–722. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.07.016>.
- [206] Paradkar, M. M., Irudayaraj, J. (2002). Rapid determination of caffeine content in soft drinks using FTIR-ATR spectroscopy. *Food Chemistry*, 78(2), 261–266. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00116-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00116-4).
- [207] Ribeiro, J. S., Salva, T. J., Ferreira, M. M. C. (2010). Chemometric studies for quality control of processed Brazilian coffees using DRIFTS. *Journal of Food Quality*, 33(2), 212–227. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2010.00309.x>.
- [208] Figueiró, S. D., Góes, J. C., Moreira, R. A., Sombra, A. S. B. (2004). On the physic-chemical and dielectric properties of glutaraldehyde crosslinked galactomannan—Collagen films. *Carbohydrate Polymers*, 56(3), 313–320. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.01.011>.
- [209] Klingel, T., Kremer, J. I., Gottstein, V., Rajcic de Rezende, T., Schwarz, S., Lachenmeier, D. W. (2020). A review of Coffee By-Products including Leaf, Flower, Cherry, Husk, Silver skin, and spent Grounds as Novel Foods within the European Union. *Foods*, 9(5), 665. <https://doi.org/10.3390/foods9050665>.
- [210] Sampaio, A., Dragone, G., Vilanova, M., Oliveira, J. M., Teixeira, J. A., Mussatto, S. I. (2013). Production, chemical characterization, and sensory profile of a novel spirit elaborated from spent coffee ground. *LWT Food Sci Technol*, 54(2), 557–563. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.05.042>.
- [211] Fanali, C., Posta, S. D., Dugo, L., Gentili, A., Mondello, L., De Gara, L. (2020). Choline-chloride and betaine-based deep eutectic solvents for green extraction of nutraceutical compounds from spent coffee ground. *J Pharm Biomed Anal*, 189, 113421. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2020.113421>.
- [212] Valdés, A., Castro-Puyana, M., Marina, M. L. (2020). Isolation of proteins from spent coffee grounds. Polyphenol removal and peptide identification in the protein hydrolysates by RP-HPLC-ESI-Q-TOF. *Food Res Int*, 137, 109368. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109368>.
- [213] Campos-Vega, R., Loarca-Piña, G., Vergara-Castañeda, H. A., Oomah, B. D. (2015). Spent coffee grounds: A review on current research and future prospects. *Trends in Food Science & Technology*, 45(1), 24–36. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.04.012>.
- [214] Gottesman, M. (1985). *U.S. Patent 4544567*. Simultaneous coffee hydrolysis and oil extraction.
- [215] Stahl, H., Bayha, R., Fulger, C.V. (1984). *U.S. Patent 4484012*. Production of mannitol and higher mannose-saccharide alcohols.
- [216] Baechler, R. (2002). *E.P. Patent 0819385 B1*. Process for extracting terpenes from spent coffee grounds.
- [217] De Azevedo, A. B. A., Kieckbush, T. G., Tashima, A. K., Mohamed, R. S., Mazzafera, P., Melo, S. A. B. (2008). Extraction of green coffee oil using supercritical carbon dioxide. *The Journal of Supercritical Fluids*, 44(2), 186–192. <https://doi.org/10.1590/S0104-66322008000300012/>
- [218] Jooste, T., García-Aparicio, M. P., Brienzo, M., van Zyl, W. H., Görgens, J. F. (2013). Enzymatic hydrolysis of spent coffee ground. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 169(8), 2248–2262. <https://doi.org/10.1007/s12010-013-0134-1/>
- [219] Mussatto, S. I., Carneiro, L. M., Silva, J., Roberto, I. C., Teixeira, J. A. (2011). A study on chemical constituents and sugars extraction from spent coffee grounds. *Carbohydrate Polymers*, 83(2), 368–374. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.07.063>.
- [220] Fukami, H. (2010). Functional Foods and Biotechnology in Japan. In D. Bagchi, F. C. Lau, D. K. Ghosh (Eds.), *Biotechnology in Functional Foods and Nutraceuticals*. Taylor and Francis Group, LLC. Boca Raton, FL., 29–49.
- [221] Murthy, P. S., Naidu, M. M. (2012). Recovery of phenolic antioxidants and functional compounds from coffee industry by-products. *Food and Bioprocess Technology*, 5(3), 897–903. <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0363-z>.
- [222] Rufian-Henares, J. A., de la Cueva, S. P. (2009). Antimicrobial Activity of Coffee Melanoidins: A Study of Their Metal-Chelating Properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(2), 432–438. <https://doi.org/10.1021/jf8027842>.
- [223] Ramalakshmi, K., Rao, L., Takano-Ishikawa, Y., Goto, M. (2009). Bioactivities of low-grade green coffee and spent coffee in different in vitro model systems. *Food Chemistry*, 115(1), 79–85. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.11.063>.
- [224] Bevilacqua, E., Cruzat, V., Singh, I., Rose Meyer, R. B., Panchal, S. K., Brown, L. (2023). The Potential of Spent Coffee Grounds in Functional Food Development. *Nutrients*, 15, 994. <https://doi.org/10.3390/nu15040994>.
- [225] Dattatraya Saratale, G., Bhosale, R., Shobana, S., Banu, J. R., Pugazhendhi, A., Mahmoud, E., Sirohi, R., Kant Bhatia, S., Atabani, A. E., Mulone, V., et al. (2020). A review on valorization of spent coffee grounds (SCG) towards biopolymers and biocatalysts production. *Bioresour. Technol.*, 314, 123800. <https://doi.org/10.3390/polym14030437>.
- [226] Martínez-Saez, N., García, A. T., Pérez, I. D., Rebollo-Hernanz, M., Mesías, M., Morales, F. J., Martín-Cabrejas, M. A., del Castillo, M. D. (2017). Use of spent coffee grounds as food ingredient in bakery products. *Food Chem*, 216, 114–122. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.173>.
- [227] Klingel, T., Kremer, J. I., Gottstein, V., Rajcic de Rezende, T., Schwarz, S., Lachenmeier, D. W. A. (2020). review of coffee by-products including leaf, flower, cherry, husk, silver skin, and spent grounds as novel foods within the European Union. *Foods*, 9, 665. <https://doi.org/10.3390/foods9050665>.
- [228] Gaston, S. (2021). 12 Delicious Food Recipes with Coffee Grouds in Them <https://www.roastycoffee.com/recipes-with-ground-coffee/>.
- [229] Castaldo, L., Lombardi, S., Gaspari, A., Rubino, M., Izzo, L., Narváez, A., Ritieni, A., Grosso, M. (2021). In vitro bioaccessibility and antioxidant activity of polyphenolic

- compounds from spent coffee grounds-enriched cookies. *Foods*, *10*, 1837. <https://doi.org/10.3390/foods10081837>.
- [230] Pourfarzad, A., Mahdavian-Mehr, H., Sedaghat, N. (2013). Coffee silverskin as a source of dietary fiber in bread-making: Optimization of chemical treatment using response surface methodology. *LWT Food Sci. Technol.* *50*, 599–606. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.08.001>.
- [231] Gaille, B. (2018). 18 Food Additives Industry Statistics and Trends. <https://brandongaille.com/18-food-additives-industry-statistics-and-trends/>.
- [232] Franca, A. S., Oliveira, L. S. (2022). Potential uses of spent coffee grounds in the food industry. *Foods*, *11*, 2064. <https://doi.org/10.3390/foods11142064>.
- [233] Rojas-González, A., Figueroa-Hernández, C. Y., González-Ríos, O., Suárez-Quiroz, M. L., González-Amaro, R. M., Hernández-Estrada, Z. J., Rayas-Duarte, P. (2022). Coffee chlorogenic acids incorporation for bioactivity enhancement of foods: A review. *Molecules*, *27*, 3400. <https://doi.org/10.3390/molecules27113400>.
- [234] Arya, S. S., Venkatram, R., More, P. R., Vijayan, P. (2022). The wastes of coffee bean processing for utilization in food: A review. *J. Food Sci. Technol.* *59*, 429–444. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05032-5>.
- [235] Okur, I., Soyler, B., Sezer, P., Oztop, M. H., Alpas, H. (2021). Improving the recovery of phenolic compounds from spent coffee grounds (SCG) by environmentally friendly extraction techniques. *Molecules*, *26*, 613. <https://doi.org/10.3390/molecules26030613>.
- [236] Bouhlal, F., Aqil, Y., Chamkhi, I., Belmaghraoui, W., Labjar, N., Hajjaji, S. E., Benabdellah, G. A., Aurag, J., Lotfi, E. M., Mahi, M. E. (2020). GC-MS analysis, phenolic compounds quantification, antioxidant, and antibacterial activities of the hydro-alcoholic extract of spent coffee grounds. *J. Biol. Active Prod. Nat.*, *10*, 325–337. <https://doi.org/10.3390/nu15040994>.
- [237] Coelho, J. P., Robalo, M. P., Boyadzhieva, S., Stateva, R. P. (2021). Microwave-assisted extraction of phenolic compounds from spent coffee grounds. Process optimization applying design of experiments. *Molecules*, *26*, 7320. <https://doi.org/10.3390/molecules26237320>.
- [238] Al-Dhabi, N. A., Ponmurugan, K., Maran Jeganathan, P. (2017). Development and validation of ultrasound-assisted solid-liquid extraction of phenolic compounds from waste spent coffee grounds. *Ultrason. Sonochem.* *34*, 206–213. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.05.005>.
- [239] Leow, Y., Yew, P. Y. M., Chee, P. L., Loh, X. J., Kai, D. (2021). Recycling of spent coffee grounds for useful extracts and green composites. *RSC Adv.*, *11*, 2682–2692. <https://doi.org/10.1039/D0RA09379C>.
- [240] Jin Cho, E., Gyo Lee, Y., Song, Y., Nguyen, D.-T., Bae, H.-J. (2022). An integrated process for conversion of spent coffee grounds into value-added materials. *Bioresour. Technol.*, *346*, 126618. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126618>.
- [241] Hu, G. L., Wang, X., Zhang, L., Qiu, M. H. (2019). The sources and mechanisms of bioactive ingredients in coffee. *Food Funct.* *10*, 3113–3126. <https://doi.org/10.1039/C9FO00288J>.
- [242] Wang, X., Wang, Y., Hu, G., Hong, D., Guo, T., Li, J., Li, Z., Qiu, M. (2022). Review on factors affecting coffee volatiles: From seed to cup. *J. Sci. Food Agric.*, *102*, 1341–1352. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11647>.
- [243] Claassen, L., Rinderknecht, M., Porth, T., Röhnisch, J., Seren, H. Y., Scharinger, A., Gottstein, V., Noack, D., Schwarz, S., Winkler, G., et al. (2021). Cold brew coffee—Pilot studies on definition, extraction, consumer preference, chemical characterization and microbiological hazards. *Foods*, *10*, 865. <https://doi.org/10.3390/foods10040865>.
- [244] Moreira, A. S., Nunes, F. M., Domingues, M. R., Coimbra, M. A. (2012). Coffee melanoidins: Structures, mechanisms of formation and potential health impacts. *Food Funct.* *3*, 903–915. <https://doi.org/10.1039/C2FO30048F>.
- [245] Iriundo-DeHond, A., Rodríguez Casas, A., Del Castillo, M. D. (2021). Interest of coffee melanoidins as sustainable healthier food ingredients. *Front. Nutr.*, *8*, 730343. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.730343>.
- [246] Schouten, M. A., Tappi, S., Romani, S. (2020). Acrylamide in coffee: Formation and possible mitigation strategies – A review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, *60*, 3807–3821. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1708264>.
- [247] Bomfim, A. S., de Oliveira, D. M., Walling, E., Babin, A., Hersant, G., Vaneckhaute, C., Dumont, M.-J., Rodrigue, D. (2022). Spent coffee grounds characterization and reuse in composting and soil amendment. *Waste*, *1*, 2–20. <https://doi.org/10.3390/waste1010002>.
- [248] Olechno, E., Pus'cion-Jakubik, A., Zujko, M. E., Socha, K. (2021). Influence of various factors on caffeine content in coffee brews. *Foods*, *10*, 1208. <https://doi.org/10.3390/foods10061208>.
- [249] Fuller, M., Rao, N. Z. (2017). The effect of time, roasting temperature, and grind size on caffeine and chlorogenic acid concentrations in cold brew coffee. *Sci. Rep.*, *7*, 17979. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18247-4>.
- [250] Angeloni, G., Guerrini, L., Masella, P., Bellumori, M., Daluiso, S., Parenti, A., Innocenti, M. (2019). What kind of coffee do you drink? An investigation on effects of eight different extraction methods. *Food Res. Int.*, *116*, 1327–1335. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.022>.
- [251] Bhandarkar, N. S., Mouatt, P., Goncalves, P., Thomas, T., Brown, L., Panchal, S. K. (2020). Modulation of gut microbiota by spent coffee grounds attenuates diet-induced metabolic syndrome in rats. *FASEB J.*, *34*, 4783–4797. <https://doi.org/10.1096/fj.201902416RR>.
- [252] Nakayama, T., Oishi, K. (2013). Influence of coffee (*Coffea arabica*) and galacto-oligosaccharide consumption on intestinal microbiota and the host responses. *FEMS Microbiol. Lett.*, *343*, 161–168. <https://doi.org/10.1111/1574-6968.12142>.
- [253] Nehlig, A. (2022). Effects of coffee on the gastrointestinal tract: A narrative review and literature update. *Nutrients*, *14*, 399. <https://doi.org/10.3390/nu14020399>.
- [254] González, S., Salazar, N., Ruiz-Saavedra, S., Gómez-Martín, M., de Los Reyes-Gavilán, C. G., Gueimonde, M. (2020). Long-term coffee consumption is associated with fecal microbial composition in humans. *Nutrients*, *12*, 1287. <https://doi.org/10.3390/nu12051287>.
- [255] Pérez-Burillo, S., Pastoriza, S., Fernández-Arteaga, A., Luzón, G., Jiménez-Hernández, N., D'Auria, G., Francino, M. P., Rufián-Henares, J. Á. (2019). Spent coffee grounds extract, rich in mannoooligosaccharides, promotes a healthier gut microbial community in a dose-dependent manner. *J. Agric. Food Chem.*, *67*, 2500–2509. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b06604>.
- [256] Mills, C. E., Tzounis, X., Oruna-Concha, M. J., Mottram, D. S., Gibson, G. R., Spencer, J. P. (2015). In



- vitro colonic metabolism of coffee and chlorogenic acid results in selective changes in human faecal microbiota growth. *Br. J. Nutr.*, *113*, 1220–1227. <https://doi.org/10.1017/S0007114514003948>.
- [257] Campos-Vega, R., Arreguín-Campos, A., Cruz-Medrano, M. A., Del Castillo Bilbao, M. D. (2020). Spent coffee (*Coffea arabica* L.) grounds promote satiety and attenuate energy intake: A pilot study. *J. Food Biochem.* *44*, e13204. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13204>.
- [258] Oseguera-Castro, K. Y., Madrid, J. A., Martínez Madrid, M. J., García, O. P., Del Castillo, M. D., Campos-Vega, R. (2019). Antioxidant dietary fiber isolated from spent coffee (*Coffea arabica* L.) grounds improves chronotype and circadian locomotor activity in young adults. *Food Funct.*, *10*, 4546–4556. <https://doi.org/10.1039/C9FO01021A>.
- [259] López-Barrera, D. M., Vázquez-Sánchez, K., Loarca-Piña, M. G., Campos-Vega, R. (2016). Spent coffee grounds, an innovative source of colonic fermentable compounds, inhibit inflammatory mediators in vitro. *Food Chem.*, *212*, 282–290. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.175>.
- [260] Oliveira Batista, J., Car Cordeiro, C., Klososki, S. J., Mongruel Eleutério Dos Santos, C., Leão, G. M. C., Pimentel, T. C., Rosset, M. (2022). Spent coffee grounds improve the nutritional value and technological properties of gluten-free cookies. *J. Culin. Sci. Technol.* <https://doi.org/10.1080/15428052.2022.2026266>.
- [261] Ramón-Gonçalves, M., Gómez-Mejía, E., Rosales-Conrado, N., León-González, M. E., Madrid, Y. (2019). Extraction, identification and quantification of polyphenols from spent coffee grounds by chromatographic methods and chemometric analyses. *Waste Manag.*, *96*, 15–24. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.07.009>.
- [262] Angeloni, S., Nzekoue, F. K., Navarini, L., Sagratini, G., Torregiani, E., Vittori, S., Caprioli, G. (2020). An analytical method for the simultaneous quantification of 30 bioactive compounds in spent coffee ground by HPLC-MS/MS. *J. Mass Spectrom.*, *55*, e4519. <https://doi.org/10.1002/jms.4519>.
- [263] Watanabe, T., Arai, Y., Mitsui, Y., Kusaura, T., Okawa, W., Kajihara, Y., Saito, I. (2006). The blood pressure-lowering effect and safety of chlorogenic acid from green coffee bean extract in essential hypertension. *Clin. Exp. Hypertens.*, *28*, 439–449. <https://doi.org/10.1080/10641960600798655>.
- [264] Johnston, K. L., Clifford, M. N., Morgan, L. M. (2003). Coffee acutely modifies gastrointestinal hormone secretion and glucose tolerance in humans: Glycemic effects of chlorogenic acid and caffeine. *Am. J. Clin. Nutr.*, *78*, 728–733. <https://doi.org/10.1093/ajcn/78.4.728>.
- [265] Lara-Guzmán, O. J., Álvarez, R., Muñoz-Durango, K. (2021). Changes in the plasma lipidome of healthy subjects after coffee consumption reveal potential cardiovascular benefits: A randomized controlled trial. *Free Radic. Biol. Med.*, *176*, 345–355. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2021.10.012>.
- [266] Roshan, H., Nikpayam, O., Sedaghat, M., Sohrab, G. (2018). Effects of green coffee extract supplementation on anthropometric indices, glycaemic control, blood pressure, lipid profile, insulin resistance and appetite in patients with the metabolic syndrome: A randomised clinical trial. *Br. J. Nutr.*, *119*, 250–258. <https://doi.org/10.1017/S0007114517003439>.
- [267] Narita, Y., Iwai, K., Fukunaga, T., Nakagiri, O. (2012). Inhibitory activity of chlorogenic acids in decaffeinated green coffee beans against porcine pancreas lipase and effect of a decaffeinated green coffee bean extract on an emulsion of olive oil. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* *76*, 2329–2331. <https://doi.org/10.1271/bbb.120518>.
- [268] Zhong, Y., Ding, Y., Li, L., Ge, M., Ban, G., Yang, H., Dai, J., Zhang, L. (2020). Effects and mechanism of chlorogenic acid on weight loss. *Curr. Pharm. Biotechnol.* *21*, 1099–1106. <https://doi.org/10.2174/1389201021666200318124922>.
- [269] Walters, E. R., Lesk, V. E. (2015). Time of day and caffeine influence some neuropsychological tests in the elderly. *Psychol. Assess.* *27*, 161–168. <https://doi.org/10.1037/a0038213>.
- [270] Sherman, S. M., Buckley, T. P., Baena, E., Ryan, L. (2016). Caffeine enhances memory performance in young adults during their non-optimal time of day. *Front. Psychol.*, *7*, 1764. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01764>.
- [271] Fahanik-Babaei, J., Baluchnejadmojarad, T., Nikbakht, F., Roghani, M. (2019). Trigonelline protects hippocampus against intracerebral A $\beta$ (1-40) as a model of Alzheimer's disease in the rat: Insights into underlying mechanisms. *Metab. Brain Dis.* *34*, 191–201. <https://doi.org/10.1007/s11011-018-0338-8>.
- [272] Farid, M. M., Yang, X., Kuboyama, T., Tohda, C. (2020). Trigonelline recovers memory function in Alzheimer's disease model mice: Evidence of brain penetration and target molecule. *Sci. Rep.*, *10*, 16424. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73514-1>.
- [273] Chowdhury, A. A., Gawali, N. B., Munshi, R., Juvekar, A. R. (2018). Trigonelline insulates against oxidative stress, proinflammatory cytokines and restores BDNF levels in lipopolysaccharide induced cognitive impairment in adult mice. *Metab. Brain Dis.*, *33*, 681–691. <https://doi.org/10.1007/s11011-017-0147-5>.
- [274] Liu, L., Du, X., Zhang, Z., Zhou, J. (2018). Trigonelline inhibits caspase 3 to protect  $\beta$  cells apoptosis in streptozotocin-induced type 1 diabetic mice. *Eur. J. Pharmacol.*, *836*, 115–121. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2018.08.025>.
- [275] Tohda, C., Nakamura, N., Komatsu, K., Hattori, M. (1999). Trigonelline-induced neurite outgrowth in human neuroblastoma SK-N-SH cells. *Biol. Pharm. Bull.*, *22*, 679–682. <https://doi.org/10.1248/bpb.22.679>.
- [276] Rufián-Henares, J. A., Morales, F. J. (2007). Effect of in vitro enzymatic digestion on antioxidant activity of coffee melanoidins and fractions. *J. Agric. Food Chem.*, *55*, 10016–10021. <https://doi.org/10.1021/jf0718291>.
- [277] Rufián-Henares, J. A., de la Cueva, S. P. (2009). Antimicrobial activity of coffee melanoidins—A study of their metal-chelating properties. *J. Agric. Food Chem.*, *57*, 432–438. <https://doi.org/10.1021/jf8027842>.
- [278] Sauer, T., Raithel, M., Kressel, J., Münch, G., Pischetsrieder, M. (2013). Activation of the transcription factor Nrf2 in macrophages, Caco-2 cells and intact human gut tissue by Maillard reaction products and coffee. *Amino Acids*, *44*, 1427–1439. <https://doi.org/10.1007/s00726-012-1222-1>.
- [279] Reichardt, N., Gniechowitz, D., Steinhart, H., Bunzel, M., Blaut, M. (2009). Characterization of high molecular weight coffee fractions and their fermentation by human intestinal microbiota. *Mol. Nutr. Food Res.* *53*, 287–299. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200700509>.

- [280]Tajik, N., Tajik, M., Mack, I., Enck, P. (2017). The potential effects of chlorogenic acid, the main phenolic components in coffee, on health: A comprehensive review of the literature. *Eur. J. Nutr.* 56, 2215–2244. <https://doi.org/10.1007/s00394-017-1379-1>.
- [281]Kong, L., Xu, M., Qiu, Y., Liao, M., Zhang, Q., Yang, L., Zheng, G. (2021). Chlorogenic acid and caffeine combination attenuates adipogenesis by regulating fat metabolism and inhibiting adipocyte differentiation in 3T3-L1 cells. *J. Food Biochem.* 45, e13795. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13795>.
- [282]Pimpley, V., Patil, S., Srinivasan, K., Desai, N., Murthy, P. S. (2020). The chemistry of chlorogenic acid from green coffee and its role in attenuation of obesity and diabetes. *Prep. Biochem. Biotechnol.* 50, 969–978. <https://doi.org/10.1080/10826068.2020.1786699>.
- [283]Wan, C. W., Wong, C. N., Pin, W. K., Wong, M. H., Kwok, C. Y., Chan, R. Y., Yu, P. H., Chan, S. W. (2013). Chlorogenic acid exhibits cholesterol lowering and fatty liver attenuating properties by up-regulating the gene expression of PPAR- $\alpha$  in hypercholesterolemic rats induced with a high-cholesterol diet. *Phytother. Res.* 27, 545–551. <https://doi.org/10.1002/ptr.4751>.
- [284]McCarty, M. F. (2005). A chlorogenic acid-induced increase in GLP-1 production may mediate the impact of heavy coffee consumption on diabetes risk. *Med. Hypotheses*, 64, 848–853. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2004.03.037>.
- [285]Cappelletti, S., Piacentino, D., Sani, G., Aromatario, M. (2015). Caffeine: Cognitive and physical performance enhancer or psychoactive drug? *Curr. Neuropharmacol.* 13, 71–88. <https://doi.org/10.2174/1570159X13666141210215655>.
- [286]Institute of Medicine (US) Committee on Military Nutrition Research. 2. Pharmacology of caffeine. In Caffeine for the Sustainment of Mental Task Performance: Formulations for Military Operations <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK223808/>.
- [287]van Dam, R. M., Hu, F. B., Willett, W. C. (2020). Coffee, caffeine, and health. *N. Engl. J. Med.* 383, 369–378. <https://doi.org/10.1056/NEJMr1816604>.
- [288]Echeverri, D., Montes, F. R., Cabrera, M., Galán, A., Prieto, A. (2010). Caffeine's vascular mechanisms of action. *Int. J. Vasc. Med.* 2010, 834060. <https://doi.org/10.1155/2010/834060>.
- [289]Nehlig, A., Daval, J. L., Debry, G. (1992). Caffeine and the central nervous system: Mechanisms of action, biochemical, metabolic and psychostimulant effects. *Brain Res. Brain Res. Rev.* 17, 139–170. [https://doi.org/10.1016/0165-0173\(92\)90012-B](https://doi.org/10.1016/0165-0173(92)90012-B).
- [290]Sharma, K., Fallon, S. J., Davis, T., Ankrett, S., Munro, G., Christopher, G., Coulthard, E. (2022). Caffeine and attentional control: Improved and impaired performance in healthy older adults and Parkinson's disease according to task demands. *Psychopharmacology*, 239, 605–619. <https://doi.org/10.1007/s00213-021-06054-9>.
- [291]Munoz, D. G., Fujioka, S. (2018). Caffeine and Parkinson disease: A possible diagnostic and pathogenic breakthrough. *Neurology*, 90, 205–206. <https://doi.org/10.1212/WNL.000000000000489>.
- [292]Ren, X., Chen, J. F. (2020). Caffeine and Parkinson's disease: Multiple benefits and emerging mechanisms. *Front. Neurosci.* 14, 602697. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.602697>.
- [293]Ross, G. W., Abbott, R. D., Petrovitch, H., Morens, D. M., Grandinetti, A., Tung, K. H., Tanner, C. M., Masaki, K. H., Blanchette, P. L., Curb, J. D., et al. (2000). Association of coffee and caffeine intake with the risk of Parkinson disease. *JAMA*, 283, 2674–2679. <https://doi.org/10.1001/jama.283.20.2674>.
- [294]Wilson, P. W., Bloom, H. L. (2016). Caffeine consumption and cardiovascular risks: Little cause for concern. *J. Am. Heart Assoc.* 5, e003089. <https://doi.org/10.1161/JAHA.115.003089>.
- [295]Zulli, A., Smith, R. M., Kubatka, P., Novak, J., Uehara, Y., Loftus, H., Qaradakh, T., Pohanka, M., Kobylak, N., Zagatina, A., et al. (2016). Caffeine and cardiovascular diseases: Critical review of current research. *Eur. J. Nutr.* 55, 1331–1343. <https://doi.org/10.1007/s00394-016-1179-z>.
- [296]Ding, M., Bhupathiraju, S. N., Satija, A., van Dam, R. M., Hu, F. B. (2014). Long-term coffee consumption and risk of cardiovascular disease: A systematic review and a dose-response meta-analysis of prospective cohort studies. *Circulation*, 129, 643–659. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.113.00592>.
- [297]Saimaiti, A., Zhou, D.-D., Li, J., Xiong, R.-G., Gan, R.-Y., Huang, S.-Y., Shang, A., Zhao, C.-N., Li, H.-Y., Li, H.-B. (2022). Dietary sources, health benefits, and risks of caffeine. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2074362>.
- [298]Zhou, J., Chan, L., Zhou, S. (2012). Trigonelline: A plant alkaloid with therapeutic potential for diabetes and central nervous system disease. *Curr. Med. Chem.* 19, 3523–3531. <https://doi.org/10.2174/092986712801323171>.
- [299]Mohamadi, N., Sharififar, F., Pournamdari, M., Ansari, M. (2018). A review on biosynthesis, analytical techniques, and pharmacological activities of trigonelline as a plant alkaloid. *J. Diet. Suppl.* 15, 207–222. <https://doi.org/10.1080/19390211.2017.1329244>.
- [300]Belayneh, A., Molla, F. (2020). The effect of coffee on pharmacokinetic properties of drugs: A review. *Biomed. Res. Int.* 2020, 7909703. <https://doi.org/10.1155/2020/7909703>.
- [301]Garg, R. C. (2016). Fenugreek: Multiple Health Benefits. In Nutraceuticals; Gupta, R.C., Ed.; Academic Press: Cambridge, MA, USA, 44, 599–617. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802147-7.00044-9>.
- [302]Koshiro, Y., Zheng, X.-Q., Wang, M.-L., Nagai, C., Ashihara, H. (2006). Changes in content and biosynthetic activity of caffeine and trigonelline during growth and ripening of *Coffea arabica* and *Coffea canephora* fruits. *Plant Sci.* 171, 242–250. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2006.03.017>.
- [303]Socała, K., Szopa, A., Serefko, A., Poleszak, E., Wlaziński, P. (2020). Neuroprotective effects of coffee bioactive compounds: A review. *Int. J. Mol. Sci.* 22, 107. <https://doi.org/10.3390/ijms22010107>.
- [304]National Institute of Aging. What Causes Alzheimer's Disease? National Institute of Health <https://www.nia.nih.gov/health/what-causes-alzheimers-disease>.
- [305]Makowska, J., Szczesny, D., Lichucka, A., Giełdon, A., Chmurzynski, L., Kalisz, R. (2014). Preliminary studies on trigonelline as potential anti-Alzheimer disease agent: Determination by hydrophilic interaction liquid chromatography and modeling of interactions with  $\beta$ -amyloid. *J. Chromatogr. B Analyt. Technol.*

- Biomed. Life Sci.* 968, 101–104. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2013.12.001>.
- [306] Heppner, F. L., Ransohoff, R. M., Becher, B. (2015). Immune attack: The role of inflammation in Alzheimer disease. *Nat. Rev. Neurosci.* 16, 358–372. <https://doi.org/10.1038/nrn3880>.
- [307] Oestreich-Janzen, S. (2010). Chemistry of Coffee. In Comprehensive Natural Products II; Liu, H.-W., Mander, L., Eds. Elsevier: Oxford, UK, 3.25, 1085–1117.
- [308] Finotello, C., Forzato, C., Gasparini, A., Mammi, S., Navarini, L., Schievano, E. (2017). NMR quantification of 16-O-methylcafestol and kahweol in Coffea canephora var. robusta beans from different geographical origins. *Food Cont.* 75, 62–69. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.12.019>.
- [309] Gunning, Y., Defernez, M., Watson, A. D., Beadman, N., Colquhoun, I. J., Le Gall, G., Philo, M., Garwood, H., Williamson, D., Davis, A.P., et al. (2018). 16-O-methylcafestol is present in ground roast Arabica coffees: Implications for authenticity testing. *Food Chem.* 248, 52–60. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.12.034>.
- [310] Urgert, R., Katan, M. B. (1997). The cholesterol-raising factor from coffee beans. *Annu. Rev. Nutr.* 17, 305–324. <https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.17.1.305>.
- [311] Thelle, D. S., Arnesen, E., Førde, O. H. (1983). The Tromsø heart study. Does coffee raise serum cholesterol? *N. Engl. J. Med.* 308, 1454–1457. <https://doi.org/10.1056/NEJM198306163082405>.
- [312] De Roos, B., Meyboom, S., Kosmeijer-Schuil, T. G., Katan, M. B. (1998). Absorption and urinary excretion of the coffee diterpenes cafestol and kahweol in healthy ileostomy volunteers. *J. Intern. Med.* 244, 451–460. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2796.1998.00386.x>.
- [313] Iwamoto, H., Izumi, K., Natsagdorj, A., Naito, R., Makino, T., Kadomoto, S., Hiratsuka, K., Shigehara, K., Kadono, Y., Narimoto, K., et al. (2019). Coffee diterpenes kahweol acetate and cafestol synergistically inhibit the proliferation and migration of prostate cancer cells. *Prostate*, 79, 468–479. <https://doi.org/10.1002/pros.23753>.
- [314] Okubo, Y., Motohashi, O., Nakayama, N., Nishimura, K., Kasajima, R., Miyagi, Y., Shiozawa, M., Yoshioka, E., Suzuki, M., Washimi, K., et al. (2016). The clinicopathological significance of angiogenesis in hindgut neuroendocrine tumors obtained via an endoscopic procedure. *Diagn. Pathol.* 11, 128. <https://doi.org/10.1186/s13000-016-0580-5>.
- [315] Ren, Y., Wang, C., Xu, J., Wang, S. (2019). Cafestol and kahweol: A review on their bioactivities and pharmacological properties. *Int. J. Mol. Sci.* 20, 4238. <https://doi.org/10.3390/ijms20174238>.
- [316] Mellbye, F. B., Jeppesen, P. B., Hermansen, K., Gregersen, S. (2015). Cafestol, a bioactive substance in coffee, stimulates insulin secretion and increases glucose uptake in muscle cells: Studies in vitro. *J. Nat. Prod.* 78, 2447–2451. <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.5b00481>.
- [317] Zhang, B. B., Zhou, G., Li, C. (2009). AMPK: An emerging drug target for diabetes and the metabolic syndrome. *Cell Metab.* 9, 407–416. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2009.03.012>.
- [318] Wang, H.-Y., Qian, H., Yao, W.-R. (2011). Melanoidins produced by the Maillard reaction: Structure and biological activity. *Food Chem.* 128, 573–584. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.03.075>.
- [319] Fogliano, V., Morales, F. J. (2011). Estimation of dietary intake of melanoidins from coffee and bread. *Food Funct.* 2, 117–123. <https://doi.org/10.1039/C0FO00156B>.
- [320] Bekedam, E. K., Loots, M. J., Schols, H. A., Van Boekel, M. A., Smit, G. (2008). Roasting effects on formation mechanisms of coffee brew melanoidins. *J. Agric. Food Chem.* 56, 7138–7145. <https://doi.org/10.1021/jf800999a>.
- [321] Pérez-Burillo, S., Rajakaruna, S., Pastoriza, S., Paliy, O., Ángel Rufián-Henares, J. (2020). Bioactivity of food melanoidins is mediated by gut microbiota. *Food Chem.* 316, 126309. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126309>.
- [322] Blaak, E. E., Canfora, E. E., Theis, S., Frost, G., Groen, A. K., Mithieux, G., Nauta, A., Scott, K., Stahl, B., van Harselaar, J., et al. (2020). Short chain fatty acids in human gut and metabolic health. *Benef. Microbes*, 11, 411–455. <https://doi.org/10.3920/BM2020.0057>.
- [323] Zhao, L., Zhang, F., Ding, X., Wu, G., Lam, Y. Y., Wang, X., Fu, H., Xue, X., Lu, C., Ma, J., et al. (2018). Gut bacteria selectively promoted by dietary fibers alleviate type 2 diabetes. *Science*, 359, 1151–1156. <https://doi.org/10.1126/science.aao5774>. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29590046/>
- [324] Gómez-Ruiz, J. Á., Ames, J. M., Leake, D. S. (2008). Antioxidant activity and protective effects of green and dark coffee components against human low density lipoprotein oxidation. *Eur. Food Res. Technol.* 227, 1017–1024. <https://doi.org/10.1007/s00217-007-0815-5>.
- [325] O'Brien, J., Morrissey, P. A. (1997). Metal ion complexation by products of the Maillard reaction. *Food Chem.* 58, 17–27. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(96\)00162-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(96)00162-8).
- [326] Daglia, M., Papetti, A., Aceti, C., Sordelli, B., Gregotti, C., Gazzani, G. (2008). Isolation of high molecular weight components and contribution to the protective activity of coffee against lipid peroxidation in a rat liver microsome system. *J. Agric. Food Chem.* 56, 11653–11660. <https://doi.org/10.1021/jf802018c>.
- [327] Brown, L., Caligiuri, S. P. B., Brown, D., Pierce, G. N. (2018). Clinical trials using functional foods provide unique challenges. *J. Funct. Foods*, 45, 233–238. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.01.024>.
- [328] Coelho, J. P., Robalo, M. P., Boyadzhieva, S., Stateva, R. P. (2021). Microwave-assisted extraction of Phenolic Compounds from Spent Coffee Grounds. Process optimization applying design of experiments. *Molecules*, 26(23), 7320. <https://doi.org/10.3390/molecules26237320>.
- [329] Sharma, A., Ray, A., Singhal, R. S. (2021). A biorefinery approach towards valorization of spent coffee ground: extraction of the oil by supercritical carbon dioxide and utilizing the defatted spent in formulating functional cookies. *Future Foods*, 4, 100090. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100090>.
- [330] Efthymiopoulos, I., Hellier, P., Ladamatos, N., Kay, A., Mills-Lamptey, B. (2019). Effect of solvent extraction parameters on the recovery of oil from spent Coffee Grounds for Biofuel Production. *Waste Biomass Valor*, 10, 253–264. <https://doi.org/10.1007/s12649-017-0061-4>.
- [331] Panzella, L., Perez-Burillo, S., Pastoriza, S., Martín, M., Cerruti, P., Goya, L., Ramos, S., Rufián-Henares, J. S., Napolitano, A., d'Ischia, M. (2017). High antioxidant action and prebiotic activity of hydrolyzed spent coffee grounds (HSCG) in a simulated digestion-fermentation

- model: toward the development of a novel food supplement. *J Agric Food Chem*, 65(31), 6452–6459. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b02302>.
- [332] Jooste, T., García-Aparicio, M. P., Brienza, M., Van Zyl, W. H., Görgens, J. F. (2013). Enzymatic hydrolysis of spent coffee ground. *Appl Biochem Biotechnol*, 169(8), 2248–2262. <https://doi.org/10.1007/s12010-013-0134-1>.
- [333] Tiwari, B. K. (2015). Ultrasound: a clean, green extraction technology. *Trac Trends Anal Chem*, 71, 100–109. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2015.04.013>.
- [334] Rastogi, N. K. (2011). Opportunities and challenges in application of ultrasound in food processing. *Cri Rev Food Sci Nutr*, 51, 705–722. <https://doi.org/10.1080/10408391003770583>.
- [335] Samsalee, N., Sothornvit, R. (2021). Physicochemical, functional properties and antioxidant activity of protein extract from spent coffee grounds using ultrasonic-assisted extraction. *AIMS Agric Food*, 6(3), 864–878. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2021052>.
- [336] Ho, H. M., Tran, H. L. N., Tran, T. T. T., Nguyen, A. T. V., Trinh, L.T. P. (2022). Evaluating the extraction of oil and sugars from spent coffee grounds. *J Agric Dev*, 21(1), 28–39. <https://doi.org/10.52997/jad.4.01.2022>.