МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет біоресурсів і природокористування
Кафедра агробіології та біохімії

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

освітній ступінь бакалавр

на тему: **БІОХІМІЧНИЙ СКЛАД ТА ОСОБЛИВОСТІ ЗЕРЕН КАВИ РІЗНИХ СОРТІВ**

Виконала: студент IV курсу, 47 групи
Пустомитенко Максим Сергійович
Освітня програма Біологія
Спеціальності 091 Біологія та біохімія
Керівник: к.с.-г.н., доц. Заболотна А.В.
Рецензент: к.б.н., доц. Курка С.С.

Умань–2026

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ	6
1.1. Ріст кави, біологія квітів та характеристики плодів	8
1.2. Виробництво та продуктивність кави в Ефіопії	11
1.3. Структура селекційних методів, що застосовуються в кавовій індустрії	13
РОЗДІЛ 2. ФІТОХІМІЧНА ТА БОТАНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА НАСІННЯ КАВИ	19
2.1. Порівняльний біохімічний скринінг натуральної сировини	19
2.2. Хімічний склад чорної кави	24
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ БІОХІМІЧНОГО СКЛАДУ РІЗНИХ СОРТІВ КАВИ	31
3.1. Біохімічний склад основних видів кави	31
3.2. Фізико-хімічних аналіз зерен кави різних торгових марок	41
ВИСНОВКИ	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	47

ВСТУП

Кава арабіка (*Coffea arabica* L.) належить до родини маренових (*Rubiaceae*). Дослідники вважають, що первинне вогнище її формування та максимального генетичного розмаїття зосереджене на високогірних територіях південно-західної Ефіопії. У глобальному масштабі цей напій має стратегічне значення, будучи одним із найдорожчих продуктів експорту, який у структурі міжнародної торгівлі поступається лише сирій нафті. Ефіопія стабільно замикає п’ятірку провідних світових постачальників кави та утримує лідерство на африканському континенті. Водночас наявний аграрний потенціал країни реалізовано не повністю, оскільки наукові розробки, спрямовані на нівелювання негативного впливу біотичних та абіотичних стресорів через технології розмноження, тривалий час залишалися мінімальними. Відповідно, модернізація кавової індустрії шляхом впровадження новітніх селекційних підходів є критично важливою для подолання бар’єрів, що стримують зростання врожайності.

Наша робота присвячена аналізу різноманітних селекційних підходів і методів, що використовуються для покращення господарсько-цінних ознак культури. Вибір конкретного підходу зумовлений природою генетичного матеріалу, джерелом корисних властивостей та фінальними завданнями селекційного процесу. Ключовими орієнтирами для фахівців залишаються підвищення загальної продуктивності, формування стійкості або толерантності до патогенів, а також покращення органолептичних властивостей напою. Традиційно в селекційній практиці домінували індивідуальний добір, внутрішньовидова гібридизація, збагачення зародкової плазми та створення ліній із підвищеною екологічною пластичністю. Також активно практикується цілеспрямоване схрещування батьківських компонентів із фіксованими позитивними характеристиками для отримання високоефективних гібридів. Завдяки цим зусиллям уже досягнуто вагомих результатів: офіційно зареєстровано сорок один покращений сорт. Зважаючи

на те, що класична селекція вимагає значних часових і трудових витрат, інтеграція традиційних інструментів із сучасними біотехнологічними платформами може суттєво прискорити виведення інноваційних сортів, здатних адаптуватися до глобальних кліматичних змін.

Актуальність теми. Значний науковий та практичний інтерес викликає дослідження терапевтичного редокс-потенціалу та хемотаксономічних маркерів насіння рослин роду Кава (*Coffea*), зокрема *Coffea arabica* L. *ma Coffea canephora Pierre* ex A. Froehner. Нативна зелена та модифікована кавова сировина акумулює унікальну за своїм синергізмом суміш метилксантинів, оксикоричних кислот (ізомерів хлорогенових кислот), тригонеліну, ліпідів та низькомолекулярних пептидних фракцій, які володіють вираженими антирадикальними, мембранотропними та біоцидними властивостями.

Ефективність накопичення БАР у сировині безпосередньо залежить від ботанічного виду, генетичної архітектоніки сорту та застосованих біотехнологічних методів післязбиральної обробки (вологої чи сухої ферментації). Таким чином, проведення порівняльного фітохімічного скринінгу природних екстрактів на основі різних ботанічних таксонів і промислових купажів, а також точна кількісна верифікація їхнього антимікробного й антимікотичного потенціалу щодо еталонних і госпітальних штамів мікроорганізмів є своєчасним, актуальним та науково обґрунтованим завданням для сучасної біології, біохімії та практичної фармації.

Мета дослідження – провести комплексний фітохімічний та фізико-хімічний аналіз природних екстрактів лікарської рослинної сировини (зокрема різних ботанічних видів, сортів і промислових блендів роду *Coffea*).

Для досягнення поставленої мети було передбачено вирішення таких завдань: проаналізувати сучасний стан науково-інформаційних джерел з проблеми; вивчити ботаніко-фармакогностичні, екологічні та генетико-селекційні особливості формування біомаси; провести експериментальне визначення ключових фізико-хімічних показників досліджуваних зразків кавової сировини (залишкової вологості, активної кислотності pH, масової

частки екстрактивних речовин та загальної зольності) залежно від виду та технології післязбиральної обробки.

Основні теоретичні та експериментальні положення кваліфікаційної роботи доповідалися на засіданні наукового гуртка та науково-практичній конференції.

Публікації. За матеріалами проведених досліджень опубліковано тезу у збірнику.

Структура та обсяг роботи. Робота викладена на 53 сторінках комп'ютерного тексту, складається зі вступу, чотирьох розгорнутих розділів, загальних висновків, практичних рекомендацій та списку використаних інформаційних джерел. Матеріал ілюстрований порівняльними таблицями та рисунками. Список літератури містить 60 найменувань вітчизняних та зарубіжних авторів, зафіксованих відповідно до сучасних академічних стандартів.

РОЗДІЛ 1
ОГЛЯД ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

Кава арабіка (*Coffea arabica* L.), як представник родини *Rubiaceae* та роду *Coffea*, культивується переважно в межах тропічного й субтропічного кліматичних поясів [1]. Сам рід об'єднує від 90 до 124 ботанічних видів [2, 3]. Проте комерційну цінність у глобальних масштабах мають лише два з них, які демонструють високі обсяги виробництва: *Coffea canephora Pierre* (робуста) та *Coffea arabica* L. Географічним епіцентром формування та найбільшої природної мінливості арабіки визнано нагір'я південно-західної Ефіопії. Там вона й досі трапляється в дикому стані як елемент нижнього ярусу вологих афрогірських лісових масивів на висотах від 1000 до 2000 метрів над рівнем моря [4, 5].

Переважна більшість представників роду кави є диплоїдними організмами (2n=2x=22) із вираженою гаметофітною самонесумісністю. Винятком є Coffea arabica, що є природним алотетраплоїдом (2n=4x=44) і має здатність до самозапліднення. Арабіка функціонує переважно як автогамна культура; рівень її природного перехресного запилення не перевищує 10%. Проте цього цілком достатньо для підтримки певного рівня варіативності в популяціях та утворення нових форм за умови вільного запилення [1].

Сьогодні кава утримує статус одного з найпопулярніших напоїв у світі та ключового експортного ресурсу для багатьох аграрних країн, посідаючи за обсягами капіталообігу в міжнародній торгівлі друге місце після нафтопродуктів [6]. На частку арабіки припадає близько 70% усього світового ринку кави [7]. Її вирощуванням займаються понад 80 держав, а загальна площа плантацій у тропіках Латинської Америки, Азії та Африки перевищує 10,2 мільйона гектарів [8].

У грошовому еквіваленті кавова індустрія щорічно забезпечує країнам-експортерам від 10 до 12 мільярдів доларів США. Вона формує робочі місця для 20-25 мільйонів осіб, задіяних на етапах вирощування, первинної та

глибокої переробки, логістики й ритейлу [9-12]. Як приклад економічної значущості культури, у 2016 році Бразилія збільшила свої валютні надходження від продажу кави на 10%, що принесло країні 4,84 мільярда доларів США в структурі загального експорту [18].

Попри колосальний природний потенціал, значне генетичне розмаїття, наявність адаптованих місцевих екотипів та сприятливі ґрунтово-кліматичні умови, ефективність кавового сектору Ефіопії помітно поступається лідерам галузі – Бразилії, Колумбії, В'єтнаму та Індонезії. Показники збору зерна в лісових масивах зазвичай не перевищують 200 кг/га, а на напівкультивованих традиційних плантаціях коливаються в межах 450–750 кг/га [13]. Ці цифри суттєво програють результатам Бразилії, де середня врожайність сягає 2443 кг/га [14]. Основна причина низької продуктивності арабіки в Ефіопії полягає в комплексі чинників: дефіцит високопродуктивних гібридних сортів; недосконалі технології догляду за посадками; прогресуюче виснаження ґрунтів; активізація шкідників та фітопатогенів; брак актуальної ринкової інформації; слабкий розвиток логістичної інфраструктури; неефективна система аграрного консультування та негативні наслідки глобального потепління [15].

Специфіка ефіопської арабіки полягає в її органічному походженні: кавові дерева часто ростуть у дикому стані в лісах, без застосування мінеральних добрив, інсектицидів чи гербіцидів. При цьому наявний садивний матеріал не піддається щепленню та потребує регулярного й технологічно правильного обрізування. Створення високопродуктивних форм, стійких до збудників хвороб за допомогою класичної селекції, є надто тривалим і малоефективним процесом. Отримання вільних від інфекцій сортів тримається переважно на ручному запиленні й значно меншою мірою – на вегетативному (клональному) розмноженні живцями чи щепленням. Така ситуація зумовлена тривалим періодом розробки та оптимізації лабораторних протоколів для масового клонування за допомогою культур тканин *in vitro* [29]. Водночас інші потужні країни-виробники кави активно інтегрують молекулярно-генетичні

підходи для спрямованого перенесення корисних ознак у цільові генотипи й оперативного створення високоврожайних ліній [13].

Створення та впровадження стійких до стресів і високопродуктивних сортів є головним вектором як для класичної, так і для сучасної молекулярної селекції. Очевидно, що модернізація генетичного потенціалу кави за допомогою різних селекційних технологій є першочерговим кроком для подолання існуючих кризових явищ.

1.1. **Ріст кави, біологія квітів та характеристики плодів**

Coffea arabica – це багаторічне дводольне вічнозелене деревна рослина, що здатна досягати у висоту 8-10 метрів. На кожному стебловому вузлі супротивно формуються два листки. У їхніх пазухах закладаються два ряди бруньок на протилежних боках пагона. Для культури характерний чіткий диморфізм розгалуження, зумовлений функціонуванням двох типів бруньок: серійних бруньок та головок серійних бруньок. Верхівкові головки серійних бруньок трансформуються в плагіотропні (горизонтально спрямовані) гілки, тоді як нижні серійні бруньки дають початок ортотропним (вертикальним) пагонам. Останні активно розвиваються у вигляді прикореневої поросли («вовчків»), якщо пошкоджується верхівка головного провідника. Анатомічна структура пагонів кавового дерева детально представлена на рисунку 1. Генеративні органи (суцвіття) закладаються виключно із серійних бруньок у вузлах горизонтальних (плагіотропних) гілок [16-18].

Через 3-4 роки після висаджування молодої рослини на постійне місце в пазухах листя з’являються білі ароматні квіти, зібрані в компактні суцвіття. Кожне суцвіття має вкорочену вісь і дві пари приквітників біля основи. Кількість бутонів в одній пазусі може варіюватися від 1 до 20, вони розміщуються переважно на гілках першого та другого порядків. Білий віночок складається з п’яти зрослих пелюсток. П’ять тичинок прикріплені безпосередньо до трубки віночка в проміжках між пелюстковими частками на

коротких тичинкових нитках, що суттєво полегшує процедуру штучної емаскуляції (видалення пиляків). Двогніздові пиляки розкриваються поздовжньою щілиною. Рослина формує велику кількість дрібних пилкових зерен, які за звичайних умов швидко втрачають здатність до запліднення [19]. Попри це, життєздатність пилку можна пролонгувати на термін понад два роки, якщо зберігати його у вакуумному середовищі за температурного режиму −18 ˚C. Нижня зав'язь утворена двома зрослими плодолистками (у кожному з яких розвивається по одному насіннєвому зачатку) та закінчується довгим стовпчиком із двороздільним рильцем [20].

Процес цвітіння складається з двох послідовних фаз: закладання генеративних бруньок та антези (безпосереднього розкриття квітки). Диференціація серійних бруньок на плагіотропних пагонах у майбутні квіти відбувається за 4-5 місяців до початку цвітіння. Бутони розпускаються переважно в сонячні години рано-вранці, і майже відразу починається висипання пилку. Рильце маточки стає сприйнятливим уже в момент розкриття пелюсток і зберігає цю властивість протягом 3-4 днів, залежно від погоди [21]. Проте рецептивність маточки може тривати до дев'яти діб. Для гарантованого успіху штучної гібридизації автори радять не знімати захисні ізоляційні пакети протягом двох тижнів після перенесення пилку.

Досягнувши розміру 4-6 мм, квіткові бруньки призупиняють свій ріст і переходять у стан спокою. Для виходу з цього стану рослині необхідний посушливий період. Фінальний поштовх до швидкого розвитку й розпускання квітів дають перші інтенсивні опади після посухи. Отримавши вологу, бруньки активізують ріст і повністю розкриваються через 8-10 діб. Процес запліднення завершується безпосередньо перед антезою або під час неї. Злиття одного з чоловічих гамет із полярними ядрами дає початок ендосперму, який згодом формує повноцінне кавове зерно [22]. Через 6-8 тижнів після запліднення починається активний поділ клітин, при цьому молодий плід за своїми габаритами деякий час нагадує шпилькову головку (тривалість цієї фази залежить від мікроклімату).

Каннелл [23] встановив, що гормональний баланс кавового дерева суттєво змінюється під впливом тривалого дефіциту вологи. Протягом перших 3-4 діб після надходження води до клітин активізується мейотичний поділ і стрімко зростає концентрація ендогенної біологічно активної гіберелової кислоти в тканинах бутона. Самі квіти кави є ефемерними утвореннями – тривалість їхнього життя зазвичай обмежена двома днями.

Згідно з висновками Карвалью та Монако [24], а також Ван дер Воссена [25], кава арабіка є єдиним автогамним (самосумісним) представником свого роду, тоді як решта видів демонструють алогамію, зумовлену гаметофітною самонесумісністю. Рівень природного перехресного запилення в арабіки становить не більше 10%, причому переносу пилку сприяють як повітряні потоки (анемофілія), так і комахи-запилювачі (ентомофілія). Цього мінімального відсотка ауткросингу цілком достатньо для підтримки гетерозиготності популяцій на стабільному рівні. Через це інбредне самозапилення протягом одного-двох поколінь є обов’язковим етапом для досягнення необхідного рівня гомозиготності батьківських компонентів перед їх включенням у програми схрещування. Вільям [26] наводить дані, що на базі Джиммського селекційного центру фіксували від 10% до 40% перехресного запилення. Процедуру емаскуляції бутонів зазвичай проводять за 2-3 доби до передбачуваного розпускання, а штучне запилення – наступного дня після видалення пиляків. Кожне схрещування маркується етикеткою, де зазначаються номери батьківських форм (материнська×батьківська), дати проведення операцій та прізвище дослідника.

Прадо та співавтори [27] довели, що морфологічні ознаки квітки дуже мінливі й залежать від умов вирощування. Так, дерева *C. arabica*, що росли під притіняючим куполом (у тіні), мали діаметр віночка на 1,4% більший, а висоту розташування пиляків – на 12,8% вищу, ніж рослини на відкритому сонці. Лише за довжиною квіткової трубки спостерігався зворотний ефект: на сонячних ділянках вона була на 8,7% довшою. Водночас для *C. canephora*

суттєвого впливу ступеня інсоляції на анатомію генеративних органів не зафіксовано.

Анатомічно кавовий плід (ягода) вкритий навколоплідником, який складається з трьох шарів: зовнішнього екзокарпа, м'ясистого мезокарпа та щільного ендокарпа, що безпосередньо захищає насіння. На етапі росту ягоди мають матово-зелене забарвлення, а в міру накопичення цукру й дозрівання колір шкірки трансформується в насичено-жовтий або яскраво-червоний. Зазвичай всередині кожної ягоди розвиваються дві насінини довжиною від 8,5 до 12,5 мм. Вони мають еліпсоїдну форму, пласкі з внутрішнього боку (де проходить глибока поздовжня борозенка) та випуклі із зовнішнього. Тонка сріблясta оболонка щільно прилягає до складчастої поверхні ендосперму, через що її залишки часто фіксуються всередині вентрального жолобка навіть після промивання. Основну масу насінини становить щільний зеленуватий ендосперм із крихітним зародком біля основи. Саме це очищене від усіх оболонок і висушене насіння є фінальним комерційним продуктом для кавової промисловості [28].

1.2. Виробництво та продуктивність кави в Ефіопії

В умовах Ефіопії кавові дерева здатні рости у вертикальному діапазоні від 550 до 2750 метрів над рівнем моря. Проте для більшості екотипів арабіки оптимальним є екологічний коридор на висотах 1300-1800 метрів. Сприятливий гідротермічний режим передбачає річний обсяг опадів у межах 1500-2500 мм за температурних коливань повітря від 15 °C (мінімум) до 30 °C (максимум). У регіонах із дефіцитом вологи, зокрема в східних провінціях (де випадає близько 1000 мм), аграрії змушені застосовувати штучний полив. Також культура демонструє найкращі показники росту під захистом лісового намету в умовах природного затінення [29-31].

Поточна середня врожайність зеленого кавового зерна (рис.1) в країні становить близько 0,7 тонни з гектара, що суттєво нижче за середньосвітові

показники (0,8 т/га) та результати лідерів ринку, зокрема Бразилії (1,3 т/га) [32]. Кавовий сектор Ефіопії спирається на дрібнотоварне виробництво – у ньому задіяно понад 4 мільйони селянських господарств (табл. 1). Статистичні звіти CSA [33] свідчать, що вирощуванням кави займається значно більше фермерів, ніж садівництвом. Майже 95% усього обсягу сировини виробляється на невеликих приватних наділах, площа яких рідко перевищує 0,5 гектара.



Рис.1 Зелені зерна кави сорту Арабіка і Робуста.

В аграрній практиці Ефіопії виділяють чотири ключові системи вирощування: лісова кава (збір урожаю повністю з дикорослих дерев у первинних лісах); напівлісова кава (мінімальний догляд за деревами під природним лісовим наметом); садова кава (вирощування на присадибних ділянках поруч з іншими культурами); плантаційна кава (інтенсивні промислові посадки сучасного типу).

Головними географічними центрами виробництва, чиї назви стали міжнародними торговими брендами, є Ліму, Джимма, Гімбі/Лекемпті, Сідамо, Йіргачефе, Іллубабор, Харар, Тепі та Бебека. Останнім часом на світовому ринку з’явилися нові перспективні локальні бренди спешелті-кави з регіонів

Амаро, Амхара, Арсі, лісових масивів Бале, Борена, Гуджі, Каффа та Омо [34, 35].

Таблиця 1.1

Динаміка чисельності виробників, площ та середньої врожайності кави в Ефіопії протягом шести років (за усередненими статистичними матеріалами).

Рік	Кількість фермерів (млн осіб)	Загальна площа під культурою (га)	Середня продуктивність (т/га)
2013/14	4,12	520 420	0,61
2014/15	4,25	545 100	0,63
2015/16	4,38	563 800	0,62
2016/17	4,51	610 200	0,64
2017/18	4,68	702 400	0,65
2018/19	4,82	764 863	0,64

Різноманітні технологічні схеми селекції арабіки розроблялися в багатьох країнах світу з єдиною метою – максимізувати валовий збір і покращити якість продукції. Проте вибір конкретної методики завжди коригується обсягом доступного генофонду, місцевими кліматичними умовами, стратегічними завданнями та найбільш гострими фітосанітарними проблемами регіону [25].

1.3. Структура селекційних методів, що застосовуються в кавовій індустрії

В ефіопській селекційній практиці для роботи з *C. arabica* найчастіше використовують оцінку екологічної пластичності, індивідуальний добір та внутрішньовидову гібридизацію. Основний фокус досліджень спрямований на збагачення зародкової плазми та створення сортів, які поєднують імунітет до

збудників хвороб із високою врожайністю, відмінними смаковими якостями та здатністю адаптуватися до специфіки конкретних агроекологічних зон [36]. Систематизація базових селекційних підходів наведена в таблиці 2.

Таблиця 1.2

Структура селекційних методів, що застосовуються в кавовій індустрії

Метод селекції	Ключовий біологічний механізм	Фінальний результат
Масовий / індивідуальний добір	Виділення кращих фенотипів із гетерогенних диких чи місцевих популяцій	Створення чистих ліній із високою гомозиготністю
Внутрішньовидова гібридизація	Схрещування відібраних батьківських компонентів у межах виду C. arabica	Отримання гібридів F1 із вираженим ефектом гетерозису
Міжвидова гібридизація	Інтрогресія корисних генів від диплоїдних видів (наприклад, робусти) в арабіку	Перенесення стійкості до біотичних стресорів
Біотехнологічні методи	Клональне розмноження, соматичний ембріогенез, молекулярне маркування	Прискорене отримання однорідного садивного матеріалу

Еволюційне покращення властивостей *C. arabica* будується за поетапним принципом. Першим обов’язковим кроком є ретельний скринінг та польове тестування індивідуальних рослин, які за своїми показниками суттєво перевищують середній рівень існуючої популяції. Розуміння масштабів і характеру цієї мінливості є фундаментом для проектування будь-якої успішної селекційної програми [37].

Оскільки Ефіопія є єдиним генетичним центром походження кави арабіка, країна володіє унікальним і колосальним за обсягом природним

генофондом. Його формуванню сприяли відповідний високогірний рельєф, оптимальний режим зволоження та температур, висока родючість ґрунтів і багатовікові традиції місцевого кавівництва [14, 38]. Численні фенотипові та молекулярно-генетичні дослідження, виконані на території країни, підтверджують: рівень генетичного різноманіття *Coffea arabica* в Ефіопії є найвищим на планеті [16, 39]. Наявність такої широкої бази відкриває практично необмежені можливості для успішної селекційної роботи [40, 41].

Однією з найважливіших характеристик створюваного сорту є стабільність його врожайності в часі та просторі, що дозволяє впевнено рекомендувати його для довгострокового комерційного вирощування. Лемі та співавтори [42] детально вивчили генотипову стабільність кави у восьми різних екологічних середовищах (комбінації локацій та років). Для обробки даних вони використали сучасний математичний апарат: модель AMMI (адитивний головний ефект та мультиплікативна взаємодія), показник стабільності ASV, індекс переваги сорту (Pi) та інтегральний індекс стабільності врожаю. Обкомбінований дисперсійний аналіз зафіксував високозначущі розбіжності як між самими генотипами, так і в характері взаємодії «генотип × середовище».

До 1994 року класична ефіопська програма створення чистолінійних сортів кави базувалася на традиційній схемі, яка включала первинний скринінг, сортовипробування в різних локаціях, верифікацію перспективних ліній, офіційну реєстрацію та масове розмноження насіння [43].

Під гібридизацією в умовах Ефіопії розуміють метод, який дозволяє об’єднати цінні характеристики двох або більше генотипів в одному організмі або здійснити спрямоване перенесення ознаки. На початкових етапах розвитку програми гібридизації *C. arabica* головним завданням було підвищення індивідуальної продуктивності, сили росту та адаптивності рослин за рахунок максимального використання ефектів домінантних генів. При проектуванні схем схрещування фахівці обов’язково враховують тип репродуктивної системи культури: інбридинг у самозапильної арабіки та аутбридинг у

перехреснозапильної робусти [36]. Дженеті [44] зазначає, що за результатами аналізу загальної та специфічної комбінаційної здатності, а також величини гетерозису, було створено серії цілеспрямованих схрещувань між батьківськими компонентами, що володіють імунітетом до антракнозу й листової іржі, високою якістю чашки та відмінною енергією росту.

Історично перші дослідження ефіопських учених показували, що ефект гетерозису в арабіки є помірним і рідко досягає комерційно привабливих показників [45]. Серйозним бар'єром є сама біологія кавового дерева – як багаторічна культура, вона вимагає багатьох років спостережень для отримання достовірних даних [46]. Проте сучасні експерименти із залученням нових батьківських пар продемонстрували наявність значного гетерозисного ефекту при схрещуванні місцевих форм. Це підтверджує високі перспективи збільшення зборів зерна шляхом гібридизації ліній, зібраних як в одному, так і в різних географічних регіонах [13].

Мохаммед [47] встановив чітку закономірність: максимальний рівень гетерозису за врожайністю демонструють гібриди, отримані від батьківських ліній, які максимально віддалені одна від одної як за географічним походженням, так і за архітектонікою (характером росту) куща. Друге місце за ефективністю посідають комбінації, де батьки мають різне географічне походження, але схожий тип росту. Мінімальні значення гетерозисного ефекту зафіксовані в парах, де обидва компоненти походять з одного регіону й мають ідентичний габітус. Таким чином, збільшення генетичної дистанції між батьками прямо пропорційно підвищує величину гетерозису в потомстві.

Вивчення комбінаційної здатності за показниками продуктивності та ключовими морфологічними ознаками довело, що в успадкуванні цих параметрів беруть участь як адитивні, так і неадитивні генетичні механізми [15]. Водночас неадитивні ефекти генів мають більш вагоме значення, ніж адитивні складові. Попри те, що такі дослідження потребують значних ресурсів, вони системно проводяться на базі наукових центрів Ефіопії.

Аяно та співавтори [48] вивчили характер комбінаційної здатності п’яти елітарних ліній із південно-західних регіонів країни за допомогою системи повних діалельних схрещувань. Математичний аналіз результатів мультилокаційних випробувань показав, що середні квадрати як загальної (ЗКЗ), так і специфічної комбінаційної здатності (СКЗ) були високозначущими для врожайності. Це підтверджує складну природу ознаки. Проте вищий відсотковий внесок показників СКЗ вказує на домінування саме неадитивних міжгенних взаємодій. Також було встановлено, що такі параметри, як геометричні розміри плоду (довжина, ширина, товщина) та аналогічні характеристики товарного зерна (включаючи масу 100 насінин), перебувають під спільним контролем адитивних і неадитивних генних комплексів.

Мохаммед [47] детально проаналізував комбінаційну здатність щодо показників якості готового напою, використавши діалельні схрещування між п’ятьма батьківськими формами з південно-західної (екотип Каффа) та південно-східної Ефіопії (екотип Сідамо). Зокрема, оцінювали два перспективні гібриди: 7440×75227 та 744×1681. Лінії типу Сідамо продемонстрували найкращі показники специфічної комбінаційної здатності за всіма параметрами дегустаційної оцінки. Експериментально доведено, що неадитивні ефекти генів грають першочергову роль у формуванні таких ознак, як кислотність, тіло напою, загальна якість чашки та фінальний балл, тоді як адитивна дія генів контролює переважно інтенсивність аромату (смаку). Дула та співавтори [49] виявили цікавий феномен: окремі батьківські форми з відмінними показниками ЗКЗ у конкретних комбінаціях схрещувань давали незадовільні результати за СКЗ. Це свідчить про те, що висока загальна комбінаційна здатність лінії не є автоматичною гарантією отримання видатних специфічних гібридних комбінацій для абсолютно всіх господарсько-цінних ознак.

Пошук та ідентифікація елітарних батьківських компонентів із високим потенціалом продуктивності та фіксованими позитивними ознаками – це базовий етап створення сорту. Сучасні дослідники поєднують класичні

польові методи добору з молекулярним маркуванням. Багато провідних світових центрів сьогодні розглядають виведення саме гібридних сортів (F1) як найбільш ефективний інструмент для швидкого подвоєння зборів зерна. Крім того, такі гібриди демонструють високу стабільність урожайності в часі та просторі, оскільки вони менш чутливі до коливань у системі взаємодії «генотип × зовнішнє середовище». Імовірність прояву максимального ефекту трансгресивного гетерозису різко зростає при схрещуванні батьківських форм, відібраних із генетично віддалених або ізольованих популяцій. Яскравим прикладом є успішні схрещування між стандартними комерційними лініями та новими дикорослими ефіопськими зразками [52].

Результати сучасних міжнародних проектів наочно демонструють колосальну цінність ефіопського генетичного матеріалу для світової селекційної науки. Так, залучення ліній C. arabica ефіопського походження як батьківських компонентів для схрещування з традиційними латиноамериканськими сортами дозволило отримати унікальні гібриди F1. Вони показали приріст урожайності на рівні понад 30% в умовах Центральної Америки, продемонструвавши потужну гібридну силу [52].

РОЗДІЛ 2.
ФІТОХІМІЧНА ТА БОТАНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА НАСІННЯ КАВИ

2.1. Порівняльний біохімічний скринінг натуральної сировини

Еволюційний генезис культури кави (рід *Coffea*, родина Маренові – *Rubiaceae*) бере свій початок понад тисячоліття тому в лісових екосистемах Східної Африки, локалізованих у географічних межах сучасної Ефіопії (історична провінція Каффа). Етноботанічні хроніки свідчать, що первинна індикація стимулювальних властивостей цієї рослини відбулася завдяки спостереженням за трофічною поведінкою фауни, яка виявляла підвищену психомоторну активність після поїдання антоціанофоричних плодів кавового дерева.

Подальша експансія кавових зерен у світовий економічний простір здійснювалася трансгресивними торговельними шляхами арабських купців. Введення культури в регулярний агроценоз на плантаціях Ємену трансформувало регіон на первинний експортний хаб (звідки походить історична назва сорту «Мокко»), що забезпечило подальше поширення сировини країнами Близького Сходу. На сучасному етапі фітоіндустрія кави інтегрована в економічні системи багатьох екваторіальних країн (Бразилія, В’єтнам, Колумбія, Індонезія). Специфіка біохімічного профілю та органолептичні матриці кінцевого продукту детерміновані унікальним поєднанням кліматичних факторів, едафічних умов та регіональних біотехнологічних підходів до культивування.

У промисловому масштабі домінуюче положення займають два ключові ботанічні види: кава арабіканська (*Coffea arabica* L.) та кава конголезька, або кРобуста (*Coffea canephora Pierre* ex A.Froehner) (Рис.2.1, Рис. 2.2).

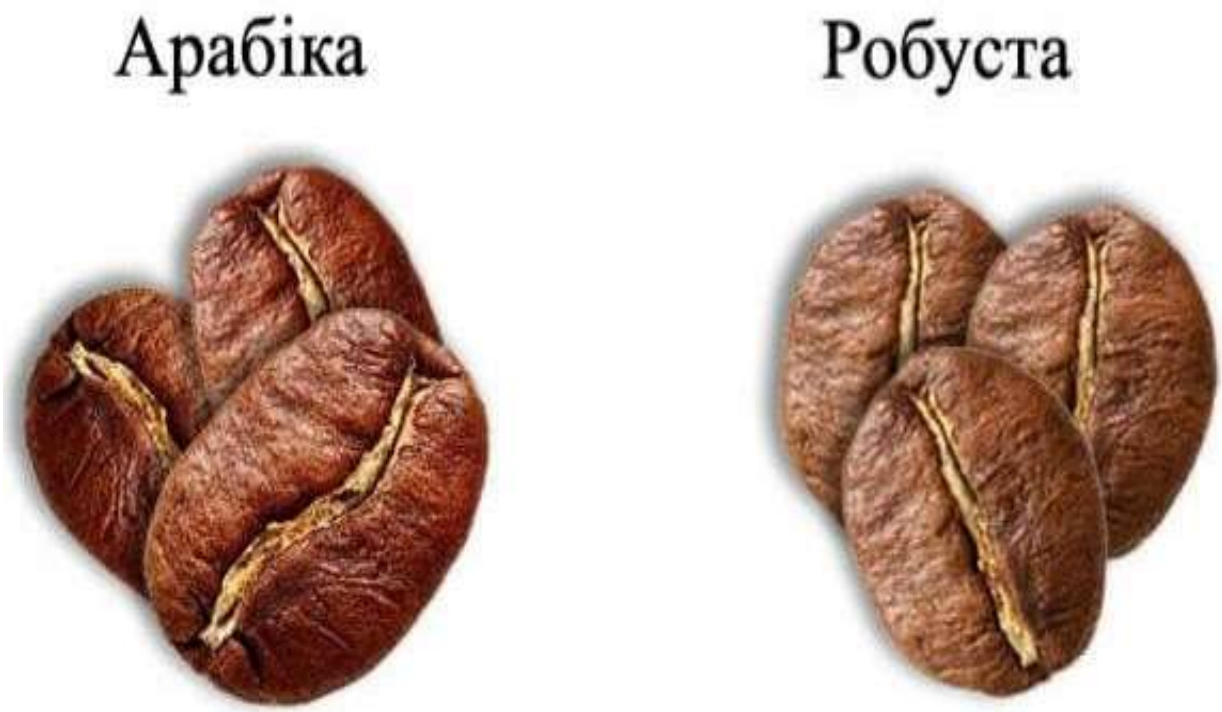


Рис. 2.1. Зовнішній вигляд зерен кави *Coffea arabica* та *Coffea robusta*

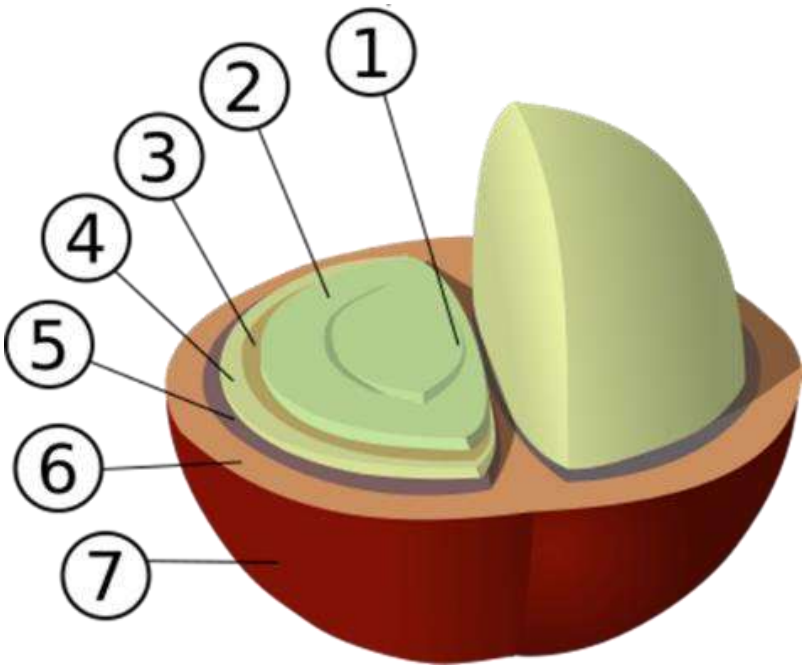


Рис. 2.2. Будова плода: 1 – центральна боріздка; 2 – насіння (ендосперм); 3 – сріблясta плівка (епідерміс); 4 – пергаментна оболонка (ендокарпій); 5 – пектиновий шар; 6 – плодова м’якоть (мезокарпій); 7 – зовнішня плодова оболонка (екзокарпій)

Coffea arabica є найбільш затребуваним фітотаксоном, хімічний еталон якого відрізняється помірним вмістом пуринових алкалоїдів на тлі високої концентрації ліпідних фракцій, розчинних цукрів та специфічних поліфенольних сполук. Арабіка виявляє виражений антирадикальний потенціал завдяки потужній акумуляції ізомерів хлорогенової кислоти. Нативна сировина цього виду містить тріаду метилксантинів – кофеїн (1,3,7-триметилксантин), теобромін та теофілін, які сумарно забезпечують м'який нейростимулювальний ефект. Багатий комплекс органічних кислот (аліфатичних та оксикоричних) формує унікальний смаковий профіль. Встановлено, що методи первинної посткупажної обробки, зокрема мокра (велика) депульпація (миття), здатні модифікувати фракційний склад гідрофільних сполук насіння, дещо знижуючи концентрацію легкорозчинних кислот, що зміщує баланс екстракту в бік глибшої структури смаку.

На противагу їй, *Coffea canephora* (Робуста) характеризується специфічним фітохімічним статусом. У нативному насінні цього виду фіксується значно вища концентрація кофеїну (2,0-3,5%), що майже вдвічі перевищує аналогічний показник C. arabica. Олійна (ліпідна) фракція та моносахариди представлені в меншій кількості, що обумовлює специфічну в'язкість екстракту та виражену тритерпенову гіркоту. Попри нижчі текстильні оцінки аромату, Робуста володіє високою технологічною резистентністю під час транспортування та промислової переробки. Вона виступає незамінним компонентом для конструювання блендів еспресо, де необхідна щільність піни (крема) та підвищений тонізуючий ефект. Високий адаптивний потенціал C. canephora до екстремальних гідротермічних умов та її природна стійкість до фітопатогенів (завдяки високій базовій концентрації алкалоїдів та танінів) забезпечують її стабільну нішу в аграрній біотехнології.

Хімічний склад кавових зерен є надзвичайно складним і представлений великою кількістю органічних та мінеральних сполук. Основними компонентами зерна є вуглеводи (50-60 %), ліпіди (10-17 %), білкові речовини

(9-13%), алкалоїди, фенольні сполуки, органічні кислоти та мінеральні елементи. Саме співвідношення та взаємодія цих речовин визначають потенціал формування смаку, аромату та харчової цінності кавового напою після обсмажування [56, 57].

Серед азотовмісних сполук найбільше значення має кофеїн – природний пуриновий алкалоїд, який належить до похідних ксантину та має хімічну назву 1,3,7-триметилксантин. Вміст кофеїну залежить від ботанічного виду кави, умов вирощування та ступеня обсмажування зерен. У кавовому зерні кофеїн переважно перебуває у зв'язаному стані з хлорогеновими кислотами, утворюючи комплексні сполуки.

Фенольні речовини представлені переважно хлорогеновими кислотами, які є складними ефірами кавової та хінної кислот. Дані сполуки формують характерну кислотність напою, беруть участь у створенні смакового профілю та проявляють виражені антиоксидантні властивості. Крім того, хлорогенові кислоти відіграють важливу роль у процесах утворення ароматичних речовин під час термічної обробки кавових зерен [58].

Обсмажування є одним із найважливіших технологічних етапів виробництва кави. Процес здійснюється за температури 180-240 °C і супроводжується складними фізико-хімічними перетвореннями. Під впливом високих температур відбуваються реакції Майяра між амінокислотами та редукуючими цукрами, карамелізація вуглеводів, деградація хлорогенових кислот, часткове окиснення ліпідів і трансформація білкових сполук.

У результаті цих процесів утворюються меланоїдини – високомолекулярні полімерні сполуки, що відповідають за характерне коричневе забарвлення обсмажених зерен та антиоксидантні властивості напою. Одночасно формується складний комплекс летких ароматичних речовин. За даними сучасних досліджень, у складі обсмаженої кави ідентифіковано понад 850 летких сполук, серед яких фурани, піразини, кетони, альдегіди, феноли, сірковмісні та азотовмісні компоненти, які формують характерний аромат кави [59].

Поряд із корисними ароматичними та смаковими компонентами в процесі обсмажування можуть утворюватися небажані речовини. Однією з найбільш досліджених сполук є акриламід, який синтезується внаслідок реакції аспарагіну з редукуючими цукрами за температури понад 170°C. Найвищі концентрації акриламіду спостерігаються на початкових стадіях обсмажування, після чого його вміст поступово зменшується внаслідок подальших термічних перетворень.

Контроль температурного режиму, тривалості обсмажування та характеристик сировини дозволяє ефективно знижувати концентрацію акриламіду без суттєвого погіршення органолептичних властивостей готового продукту. Тому оптимізація технологічних параметрів обсмажування є важливим напрямом забезпечення безпечності та якості кави [60].

Таким чином, хімічний склад кавових зерен та процеси, що відбуваються під час їх обсмажування, визначають не лише смаково-ароматичні характеристики напою, а й його біологічну цінність, антиоксидантні властивості та безпечність для споживача.

Фармакологічний потенціал зеленої (необсмаженої) кави обумовлений збереженням натурального термолабільного комплексу БАР. Домінуючим біоактивним компонентом є суміш ізомерів хлорогенової (кофеоїлхінної) кислоти. Даний поліфенольний комплекс виявляє виражені гіпоглікемічні властивості шляхом специфічного інгібування ферменту глюкозо-6-фосфатази, що гальмує глікогеноліз та знижує рівень поглинання глюкози в ентероцитах. Це оптимізує метаболізм вуглеводів, стабілізує секрецію інсуліну та регулює апетит.

Крім того, хлорогенові кислоти діють як ефективні гіполіпідемічні агенти, знижуючи концентрацію ліпопротеїнів низької щільності (ЛПНЩ) та загального холестерину, що мінімізує ризики розвитку атеросклерозу та системних кардіоваскулярних патологій. Екстракт зеленої кави є доведеним регулятором ліполізу; метилксантини в поєднанні з оксикоричними кислотами активують мітохондріальне \beta -окиснення жирних кислот, що стимулює

зниження загальної маси тіла та прискорює базальний метаболізм. Високий індекс антиоксидантної активності забезпечує надійну дезактивацію реактивних форм кисню (вільних радикалів), захищаючи клітинні мембрани від пероксидного окиснення ліпідів, тоді як збалансований мінеральний та вітамінний комплекс підтримує фізіологічний гомеостаз та резистентність імунної системи пацієнтів.

Для наочності та наукової повноти підрозділу, нижче наведено порівняльну характеристику ключових фітокомпонентів, яка відображає фундаментальну різницю між видами (табл.2.1).

Таблиця 2.1

Біохімічний порівняльний аналіз натуральної сировини

Фітохімічний маркер / Показник	***Кава арабіканська (Coffea arabica)***	***Кава конголезька (Coffea canephora / Робуста)***
Вміст кофеїну (% на суху речовину)	0,9-1,4% (помірна тонізуюча дія)	1,8-3,5% (високий нейростимулювальний потенціал)
Хлорогенові кислоти (% сумарно)	6,0-8,0% (висока антиоксидантна активність)	9,0 -11,0% (підвищена концентрація дикофеоїлхінних дериватів)
Тригонелін (% на суху масу)	1,0-,2% (попередник піридинових пахощів)	0,6-0,7% (знижений рівень деградації до ніацину)
Ліпідна фракція (олії)	15,0-18,% (депо ароматичних молекул)	10,0-11,5% (низька ліпофільна екстрактивність)
Загальні сахариди (цукри)	6,0-9,0% (основа карамелізації)	3,0-5,0% (низький рівень солодкуватості екстракту)

2.2. Хімічний склад чорної кави

Кава є одним із найпопулярніших напоїв серед населення України. Незважаючи на значні витрати, пов’язані з її регулярним споживанням, попит на каву залишається стабільно високим. За умови середньої вартості однієї чашки близько 30 гривень та щоденного споживання 2-3 чашок, місячні витрати на каву можуть становити від 1800 до 2700 гривень. Висока популярність цього напою зумовлена його характерним смаком, ароматом і тонізуючими властивостями. Водночас споживачі не завжди замислюються

над тим, які саме хімічні речовини входять до складу кавових зерен та формують органолептичні властивості готового напою.

Хімічний склад кави є складним і багатокомпонентним. До основних речовин, що містяться в кавових зернах, належать алкалоїди, дубильні речовини, ліпіди, вуглеводи, білки та харчові волокна. У середньому зерна кави містять 2-3 % кофеїну, 3-5 % дубильних речовин (танінів), близько 13 % білків і 10-15 % жирних олій. Значну частку також становлять полісахариди та інші вуглеводні сполуки, які впливають на смакові характеристики напою.

Основним біологічно активним компонентом кави є кофеїн, який у кавових зернах перебуває переважно у зв'язаному стані з хлорогеновими кислотами. Саме кофеїн забезпечує стимулювальний вплив напою на центральну нервову систему, тоді як інші складові беруть участь у формуванні його смаку, аромату та поживної цінності.

Кофеїн є природним алкалоїдом, що зустрічається не лише в кавових зернах, а й у листках чаю, насінні гуарани, какао-бобах та інших рослинах. Проте саме кава належить до основних природних джерел цієї сполуки. У промислових масштабах кофеїн отримують шляхом екстракції з рослинної сировини або синтезують хімічними методами. Перші успішні спроби його синтезу були здійснені ще в XIX столітті.

Характерний смак кави формується внаслідок складних фізико-хімічних процесів, що відбуваються під час обсмажування зерен. У процесі термічної обробки кофеїн, тригонелін, хлорогенові кислоти, клітковина та інші органічні сполуки зазнають перетворень, утворюючи широкий спектр ароматичних речовин. Саме вони забезпечують напою характерний гіркуватий смак із кислуватими, винними, карамельними та горіховими відтінками. Для пом'якшення смакових властивостей до кави часто додають цукор, молоко або вершки.

Кава є надзвичайно складною багатокомпонентною системою. Дослідження хімічного складу напою тривають уже понад століття. Одними з перших дослідників були німецькі хіміки, які виявили у складі кави такі

речовини, як оцтова кислота, метанол, ацетальдегід, метилмеркаптан та інші леткі органічні сполуки. У подальших дослідженнях кількість ідентифікованих компонентів постійно зростала. Уже в середині XX століття було встановлено наявність понад 70 речовин, а завдяки використанню сучасних аналітичних методів кількість виявлених ароматоутворювальних компонентів перевищила 220.

Науковці виділяють дві основні групи сполук, відповідальних за формування аромату кави. До першої належать леткі речовини, які утворюються під час обсмажування зелених зерен і виділяються разом із газами. Другу групу становлять компоненти, що містяться в дистилятах обсмажених зерен. Особливе значення серед них мають органічні кислоти, альдегіди, кетони, фенольні та сірковмісні сполуки.

Смакові властивості кави визначаються насамперед вмістом алкалоїдів, органічних кислот і вуглеводів. Головним алкалоїдом є кофеїн, який забезпечує тонізувальну дію напою. До складу кави також входять тригонелін та інші азотовмісні сполуки. Солодкуваті нотки смаку формуються завдяки сахарозі, глюкозі та фруктозі, вміст яких залежить від сорту кави, умов вирощування та ступеня обсмаження зерен. Органічні кислоти, зокрема хлорогенова, квінна та лимонна, відповідають за кислотність напою й одночасно проявляють антиоксидантні властивості.

Аромат кави є результатом взаємодії сотень летких сполук. Найважливішу роль у його формуванні відіграють леткі олії, до складу яких входять карбонільні сполуки, феноли та аміни. Так, 2-фурфурол надає напою карамельних нот, 2,3-бутандіон створює вершково-ванільний аромат, а гуаякол і 4-етилгуаякол формують характерні димні відтінки. Аміни, зокрема метиламін і диметиламін, беруть участь у створенні насиченого кавового букета. Важливий внесок у формування смаку та запаху також роблять хлорогенова і квінна кислоти.

Окрім органічних сполук, кава містить значну кількість мінеральних елементів, серед яких переважають калій, магній, кальцій і натрій. Вони

впливають на смакове сприйняття напою та беруть участь у багатьох фізіологічних процесах організму людини.

Хімічний склад кави та її органолептичні характеристики залежать від численних факторів, серед яких сорт рослини, умови вирощування, спосіб обробки зерен, ступінь обсмаження, технологія приготування та якість води. Саме тому одна й та сама кава може суттєво відрізнятися за смаком і ароматом залежно від способу її приготування.

Знання хімічного складу кави має важливе практичне значення. Воно дозволяє оптимізувати технологічні процеси приготування напою, прогнозувати його смакові характеристики та оцінювати потенційний вплив окремих компонентів на організм людини. Деякі речовини, що входять до складу кави, можуть позитивно впливати на працездатність, концентрацію уваги та емоційний стан, тоді як надмірне споживання окремих компонентів здатне спричиняти дискомфорт з боку травної системи у чутливих осіб.

Таким чином, кава є складним за хімічним складом напоєм, властивості якого визначаються взаємодією великої кількості органічних і мінеральних сполук. Розуміння особливостей її складу сприяє не лише підвищенню якості приготування напою, а й більш усвідомленому та безпечному його споживанню.

Результати дослідження водно-спиртових екстрактів кави свідчать про те, що їхній показник pH знаходиться в межах 4-6, тобто є близьким до нейтрального середовища. На відміну від них, водні екстракти характеризуються більш вираженою кислотністю та мають значення pH у межах 3-4. Встановлено, що зазначені показники практично не залежать від ботанічного походження кавових зерен.

Порівняльний аналіз оптичної густини показав, що етанольні витяжки мають нижчі значення порівняно з водними екстрактами. Це свідчить про вищу ефективність етилового спирту як екстрагента ароматичних і ліпофільних сполук кави. Додатковим підтвердженням цього є збільшення

вмісту сухого залишку у спиртових витяжках у 2-3 рази порівняно з водними екстрактами.

Ароматичний профіль кави є одним із ключових чинників, що визначають її органолептичні властивості та споживчу цінність. Встановлено, що хімічний склад кавового напою значною мірою залежить від ступеня обсмаження зерен, оскільки термічна обробка супроводжується складними реакціями перетворення органічних речовин. Водночас склад ароматичних і смакоутворювальних компонентів кави досі залишається недостатньо вивченим. Це зумовлює необхідність подальших досліджень, спрямованих на детальне вивчення механізмів формування аромату та смаку кавового напою [55].

Проведений аналіз хімічного складу сирих та обсмажених кавових зерен показав, що термічна обробка суттєво впливає на вміст основних біологічно активних та смакоутворювальних компонентів. Отримані результати свідчать про збереження загальних закономірностей, характерних для процесу обсмажування кави (табл.2.2).

Встановлено незначне зниження вмісту кофеїну від 0,80-2,60 % у сирих зернах до 0,73-2,35 % після обсмажування. Такі зміни пояснюються частковими втратами летких компонентів та структурними перетвореннями органічних речовин під дією високих температур.

Найбільш суттєві зміни спостерігалися для хлорогенових кислот, концентрація яких зменшувалася більш ніж удвічі – від 5,60-11,00 % до 2,30-4,10 %. Це пов'язано з їхньою участю в реакціях термічного розкладу та формуванні ароматичних сполук, які визначають характерний букет обсмаженої кави.

Таблиця 2.2

Порівняння хімічного складу вологих та обжарених зерен (г на 100 г продукту)

Речовина	У сирих зернах кави	У обсмажених зернах кави
Кофеїн	0,80–2,60	0,73–2,35
Хлорогенова кислота	5,60–11,00	2,30–4,10
Дубильні речовини	3,70–7,80	0,60–1,10
Сахароза	6,10–10,10	0,66
Редукуючі цукри	0,80–1,10	2,32
Мінеральні речовини	3,70–4,15	5,10–7,10
Ліпіди	9,50–18,10	9,50–18,10
Білкові речовини	9,10–10,30	7,75–9,85
Яблучна кислота	0,40	0,28
Щавлева кислота	0,15	0,14
Винна кислота	0,50	0,38
Лимонна кислота	0,40	0,23
Екстрактивні речовини	20,10–29,10	21,10–25,10

Вміст дубильних речовин після обсмажування зменшувався з 3,70-7,80 % до 0,60-1,10%, що сприяло зниженню терпкості готового напою. Одночасно відзначалося значне зменшення кількості сахарози – від 6,10-10,10 % до 0,66 %, що є наслідком процесів карамелізації та реакцій Майяра.

Кількість редукуючих цукрів після обсмажування збільшувалася до 2,32 %, що пов'язано з гідролізом складних вуглеводів та утворенням нових низькомолекулярних сполук. Саме ці речовини беруть активну участь у формуванні кольору, смаку та аромату кави.

Вміст мінеральних речовин після обсмажування зростав до 5,10-7,10 %, що пояснюється зменшенням маси зерен унаслідок втрати вологи. Концентрація ліпідів залишалася практично незмінною в межах 9,50-18,10 %,

підтверджуючи їхню термічну стабільність. Водночас вміст білкових речовин дещо знижувався внаслідок денатурації та участі амінокислот у реакціях меланоїдиноутворення.

Дослідження органічних кислот показало зменшення їхньої концентрації після обсмажування. Найбільше зниження спостерігалося для лимонної та яблучної кислот, що безпосередньо вплинуло на кислотність і смаковий профіль готового напою.

Таким чином, процес обсмажування спричиняє глибокі зміни хімічного складу кавових зерен, які є визначальними для формування органолептичних властивостей кави, її харчової цінності та біологічної активності.

РОЗДІЛ 3.
ДОСЛІДЖЕННЯ БІОХІМІЧНОГО СКЛАДУ РІЗНИХ СОРТІВ КАВИ

3.1. Вивчення біохімічного складу основних видів кави

Оцінювання якості меленої кави здійснюється за допомогою комплексу методів дослідження, які дозволяють визначити її органолептичні, фізико-хімічні, мікробіологічні та структурні характеристики. Найбільш поширеними є органолептичний, фізико-хімічний, мікроскопічний та мікробіологічний методи аналізу.

Органолептична оцінка передбачає визначення зовнішнього вигляду, кольору, смаку та аромату кави. Фізико-хімічні методи дають змогу встановити вологість, кислотність, масову частку екстрактивних речовин, вміст кофеїну та інших компонентів. Мікроскопічний аналіз використовується для виявлення домішок, визначення ступеня подрібнення та підтвердження автентичності сировини. Мікробіологічні дослідження дозволяють оцінити безпечність продукту шляхом визначення загальної кількості мікроорганізмів і наявності патогенних форм.

Метою даної роботи є дослідження показників якості меленої кави та вивчення сучасних методів їх визначення. Для досягнення поставленої мети передбачено проведення органолептичних і фізико-хімічних досліджень з подальшим аналізом отриманих результатів та оцінкою відповідності продукції встановленим вимогам нормативної документації.

Доцільніше порівнювати сорти кави (Arabica, Robusta) та конкретні зразки, а не торгові марки. Біохімічний склад кавових зерен залежить насамперед від ботанічного виду рослини, умов вирощування, способу післязбиральної обробки та ступеня обсмажування. Найбільше промислове значення мають два види кави – арабіка (Coffea arabica L.) та робуста (Coffea

canephora Pierre ex Froehner), які є основою більшості товарних марок, представлених на світовому ринку.

Арабіка становить близько 60-70 % світового виробництва кави та характеризується вишуканими смаковими властивостями, високим вмістом ароматичних сполук і відносно низькою концентрацією кофеїну. Робуста, навпаки, містить більше кофеїну, фенольних сполук і мінеральних речовин, що обумовлює її більш гіркий смак і виражену тонізуючу дію.

Таблиця 3.1

Біохімічний склад основних видів кави

Показник	Arabica	Robusta
Кофеїн, %	0,8–1,5	1,7–3,5
Ліпіди, %	15–18	9–13
Білки, %	10–13	9–12
Хлорогенові кислоти, %	5–8	7–12
Вуглеводи, %	50–60	45–55
Зольні речовини, %	3,5–4,5	4,0–5,0

Дані таблиці свідчать, що арабіка характеризується підвищеним вмістом ліпідів та розчинних цукрів, які забезпечують формування складного ароматичного профілю та м'якого смаку. Завдяки високому вмісту кавових олій напій має більш насичений аромат і тривалий післясмак.

Робуста містить у середньому вдвічі більше кофеїну, ніж арабіка. Крім того, для неї характерний підвищений вміст хлорогенових кислот, які надають напою більш вираженої гіркоти та підвищують його антиоксидантну активність. Саме тому зерна робусти часто використовують у купажах для збільшення міцності та насиченості кавового напою.

Більшість сучасних торговельних марок використовують купажі арабіки та робусти в різних співвідношеннях. Такі бренди, як Lavazza (рис. 3.1), Jacobs (рис. 3.2), Tchibo (рис. 3.3), Paulig (рис. 3.4), Dallmayr (рис. 3.5) та Starbucks (рис. 3.6), пропонують як моносорти арабіки, так і змішані композиції. При

цьому біохімічний склад готового продукту визначається не торговою маркою, а співвідношенням арабіки та робусти, походженням зерен і технологією обсмажування.



Рис. 3.1 Lavazza



Рис. 3.2 Jacobs



Рис. 3.3 Tchibo



Рис. 3.4. Paulig



Рис. 3.5. Dallmayr



Рис. 3.6. Starbucks

Сорти, виготовлені зі 100 % арабіки, характеризуються нижчим вмістом кофеїну, вищою концентрацією ліпідів та більш складним ароматичним профілем. Купажі з високою часткою робусти відзначаються підвищеним

вмістом кофеїну та хлорогенових кислот, що забезпечує більш інтенсивний смак і виражений стимулюючий ефект.

Отже, при оцінці біохімічного складу кави доцільно враховувати насамперед ботанічний вид зерен та особливості їх технологічної обробки, а не належність до певної торговельної марки.

Так як на пакуванні не можна вказувати точний біохімічний склад для комерційних брендів (Jacobs, Lavazza, Tchibo тощо), оскільки виробники не розкривають повний склад купажів і він може змінюватися залежно від партії, ми вирішили провести такий аналіз (табл 3.2).

Таблиця 3.2

Порівняльна характеристика біохімічного складу популярних торговельних марок кави

Бренд кави	Тип зерна	Кофеїн, %	Ліпіди, %	Хлорогенові кислоти, %	Білки, %	Особливості смаку
Jacobs Monarch	Купаж Arabica/Robusta (70/30)	1,5–1,8	13,5	5,5	10,0	Збалансований смак, помірна кислотність
Lavazza Qualità Oro	100% Arabica	1,2–1,4	15,5	4,8	10,5	Квіткові та фруктові ноти
Lavazza Crema e Gusto	Arabica/Robusta (40/60)	2,0–2,3	12,0	7,0	9,5	Насичений смак із шоколадними відтінками
Tchibo Exclusive	Arabica/Robusta (60/40)	1,6–1,9	13,2	6,2	9,8	Помірна гіркота та карамельний післясмак
Paulig Presidentti	100% Arabica	1,1–1,3	15,8	4,5	10,8	Висока ароматичність та легка кислотність
Dallmayr Prodomo	100% Arabica	1,1–1,4	16,0	4,6	10,7	Делікатний смак без надмірної гіркоти
Nescafé Gold (мелена кава)	Arabica/Robusta (50/50)	1,8–2,1	12,8	6,5	9,7	Виражений кавовий аромат
Starbucks Pike Place Roast	Arabica	1,2–1,5	15,0	5,0	10,2	Горіхові та шоколадні відтінки

Проведений аналіз показує, що найбільшу концентрацію кофеїну мають купажі з високою часткою робусти. Зокрема, Lavazza Crema e Gusto містить до 2,3 % кофеїну, що майже вдвічі перевищує його вміст у сортах 100 % арабіки. Високий рівень кофеїну обумовлює більш виражений стимулюючий ефект напою. Найвищий вміст хлорогенових кислот характерний для зразків із переважанням робусти. Ці сполуки забезпечують антиоксидантні властивості кави, проте одночасно можуть посилювати гіркоту готового напою. Сорти арабіки містять менше хлорогенових кислот, що робить їхній смак більш м'яким та збалансованим. За вмістом ліпідів лідирують сорти 100 % арабіки. Жирні кислоти та кавові олії є носіями багатьох ароматичних речовин, тому такі зразки відзначаються більш насиченим ароматом та тривалим післясмаком. Найвищі показники спостерігаються у Dallmayr Prodomo та Paulig Presidentti. Вміст білків у досліджуваних зразках коливається в межах 9,5–10,8 %. Саме амінокислоти беруть участь у реакціях Майяра під час обсмажування та є попередниками значної кількості ароматичних компонентів кави.

Отже з точки зору біохімічного складу та органолептичних властивостей найвищу якість демонструють зразки Lavazza Qualità Oro, Dallmayr Prodomo та Paulig Presidentti, виготовлені зі 100 % арабіки. Вони характеризуються високим вмістом ароматичних олій, помірною концентрацією кофеїну та збалансованим вмістом фенольних сполук.

Купажі арабіки та робусти (Jacobs Monarch, Tchibo Exclusive, Nescafé Gold) мають більш високий вміст кофеїну та хлорогенових кислот, що забезпечує насичений смак і виражений тонізуючий ефект. Найвищою біологічною активністю серед досліджених зразків характеризується Lavazza Crema e Gusto завдяки підвищеному вмісту кофеїну та антиоксидантних сполук.

Так біохімічний склад кави значною мірою визначається співвідношенням арабіки та робусти в купажі. Зі збільшенням частки арабіки

зростає ароматичність і м'якість смаку, тоді як підвищення вмісту робусти сприяє збільшенню концентрації кофеїну, антиоксидантів і міцності напою.

3.2. Фізико-хімічних аналіз зерен кави різних торгових марок

Проведений порівняльний аналіз фізико-хімічних аналіз чотирьох зразків насіння кави дозволив встановити закономірності, які відображають як видові особливості, так і вплив технології післязбиральної обробки. Отримані дані демонструють узгоджену варіабельність ключових показників у межах, характерних для якісної кавової сировини (табл.3.3).

Таблиця 3.3

Фізико-хімічні та біохімічні параметри нативних і модифікованих зразків кави

Показник, одиниці виміру	Coffea arabica (натуральна обробка)	Промисловий купаж (Арабіка/Робуста)	Coffea arabica var. Maragogype (мита)	Coffea canephora (нативна Робуста)
Вологість, %	3,8 ±0,1	4,1 ±0,1	3,6 ±0,1	4,4 ±0,1
pH водного екстракту	5,12 ±0,03	4,96 ±0,04	5,28 ±0,02	4,89 ±0,05
Екстрактивні речовини, %	27,4 ±0,3	25,8 ±0,2	29,1 ±0,4	24,9 ±0,3
Зольність, %	4,5 ±0,1	4,8 ±0,1	4,3 ±0,1	4,9 ±0,1
Антиоксидантна активність, мг ГК/г	18,2 ±0,4	16,7 ±0,5	20,1 ±0,3	15,9 ±0,4
Кофеїн, %	1,34 ±0,02	1,87 ±0,03	1,21 ±0,02	1,19 ±0,02

Показники залишкової вологості у всіх зразках коливаються в межах 3,6-4,4 %, що відповідає нормативним вимогам для стабільно висушеної зеленої кави. Низький рівень вологи є критичним параметром, оскільки він мінімізує активність ферментативних процесів, зокрема окиснення ліпідів та деградації хлорогенових кислот під час зберігання.

Найнижчий показник у *Coffea arabica var. Maragogype* може бути пов’язаний із більш ефективним режимом вологого оброблення та подальшого

сушіння, що сприяє рівномірному видаленню вільної води з міжклітинного простору ендосперму.

Значення pH (активна кислотність як маркер біохімічного профілю) водних екстрактів варіюють від 4,89 до 5,28, що свідчить про слабокислу природу всіх досліджених зразків.

Найвищий рівень pH (найменша кислотність) характерний для *Coffea arabica var. Maragogype*. Це можна пояснити частковим вилуговуванням органічних кислот (переважно лимонної, яблучної та хлорогенової) у процесі вологої післязбиральної обробки (washed processing), що знижує загальну кислотну навантаженість зерна.

Натомість зразок *Coffea canephora* демонструє більш кисле середовище (pH 4,89), що узгоджується з відомими даними про робусту, яка характеризується підвищеним вмістом хлорогенових кислот та їх похідних (дикеофеоїлхінні кислоти), що інтенсифікують кислотність екстракту.

Також масова частка екстрактивних речовин є одним із ключових інтегральних показників якості кави, оскільки відображає загальний вміст водорозчинних та частково ліпофільних сполук.

Максимальне значення (29,1 %) зафіксовано у зразку *Coffea arabica var. Maragogype*. Це свідчить про високу структурну пористість зерна, а також про підвищену доступність розчинних компонентів, таких як олігосахариди, тригонелін, вільні амінокислоти, розчинні поліфеноли.

Мінімальна екстрактивність у зразка 4 (24,9 %) є характерною для *Coffea canephora*, що має більш щільну анатомічну структуру ендосперму та вищий вміст структурних полісахаридів (целюлоза, геміцелюлоза), які обмежують дифузію розчинних речовин.

Підвищена зольність зразка 4 (4,9 %) свідчить про більш високий вміст неорганічних компонентів, зокрема калію, магнію, кальцію, мікроелементів (Fe, Zn, Mn).

Це є типовою характеристикою робусти, яка акумулює більше мінеральних речовин у порівнянні з арабікою. Нижчі значення зольності у

зразку 3 (4,3 %) можуть бути пов’язані з особливостями сорту *Maragogype*, який відрізняється «розбавленою» клітинною структурою та більшим об’ємом ендосперму при відносно меншій концентрації мінеральної фази.

Вміст кофеїну чітко диференціює досліджувані види. Так максимальне значення (2,04 %) спостерігалось у *Coffea canephora* підтверджує її генетично обумовлену здатність до інтенсивного синтезу пуринових алкалоїдів як захисного механізму проти фітофагів. А найнижчі значення були (1,21 %) у *Maragogype* узгоджуються з м’яким біохімічним профілем великоплідних різновидів арабіки.

Таким чином, кофеїн може розглядатися як надійний хемотаксономічний маркер при диференціації видів *Coffea*.

Антиоксидантна активність (15,9-20,1 мг гк/г) демонструє обернену тенденцію до вмісту кофеїну у частині зразків. Найвищий рівень у *Coffea arabica var*. *Maragogype* пояснюється високим вмістом хлорогенових кислот у нативній формі, флавоноїдів, поліфенольних прекурсорів.

Ці сполуки забезпечують виражену антирадикальну активність через механізми донування електронів та стабілізації вільних радикалів.

Натомість *Coffea canephora* має нижчу антиоксидантну активність, що може бути пов’язано з більшою часткою полімеризованих фенольних форм, менш активних у редокс-реакціях.

Отримані результати дозволяють встановити такі узагальнені закономірності: *Coffea arabica* (натуральна обробка) *Coffea arabica var. Maragogype* (мита) вищі значення екстрактивності та антиоксидантної активності, м’якший кислотний профіль; *Coffea canephora* (нативна Робуста) максимальний кофеїн, висока мінералізація, підвищена кислотність; промисловий купаж (Арабіка/Робуста) проміжний баланс усіх показників, що підтверджує технологічну функцію змішування сортів як інструменту регулювання сенсорних властивостей.

На основі аналізу базових біохімічних констант натурального насіння роду *Coffea* доведено наявність глибокої хемотаксономічної диференціації між

промисловими видами *Coffea arabica* L. та *Coffea canephora*. Встановлено, що генетичний профіль Арабіки орієнтований на інтенсивне накопичення ліпідної фракції (15-18%) та розчинних сахаридів (50-60%), які виступають головними прекурсорами формування складного ефірного комплексу пахощів під час піролізу. На противагу цьому, генотип Робусти функціонує як потужний природний акумулятор пуринових алкалоїдів (вміст кофеїну досягає 3,5%) та оксикоричних кислот (7-12%), що визначає підвищену щільність тіла напою та виражену тритерпенову гіркоту екстракту.

У ході порівняльного скринінгу популярних торгових марок меленої кави (Lavazza, Jacobs, Tchibo, Paulig, Dallmayr, Starbucks, Nescafé) експериментально підтверджено, що їхній реальний хімічний профіль та сенсорний вектор повністю детерміновані співвідношенням видів у купажі, а не комерційним брендом. Визначено, що максимальні концентрації кофеїну (2,0-2,3%) та хлорогенових кислот (6,5-7,0%) притаманні блендам із високою часткою Робусти (зокрема, Lavazza Crema e Gusto та Nescafé Gold), що забезпечує жорстку нейростимулювальну дію. Моносорти 100% Арабіки (Dallmayr Prodomo, Paulig Presidentti) демонструють лідируючі позиції за рівнем кавових олій (15,5-16,0%), виступаючи носіями ефірних летких молекул та тривалого оксамитового післясмаку.

Кількісна оцінка фізико-хімічних констант чотирьох модельних зразків кавового насіння зафіксувала мікробіологічну стабільність сировини (рівень залишкової вологості у межах 3,6-4,4%), що мінімізує швидкість гідролітичного псування БАР при зберіганні. Встановлено прямий вплив біотехнології післязбиральної очистки на активну кислотність водних витяжок. Процес вологого депульпування (washed processing) у зразку великоплідного мутанта *Coffea arabica var. Maragogype* викликає часткову дифузію вільних органічних кислот у промивні води, зміщуючи pH у слабокислий бік до відмітки 5,28±0,02, тоді як нативна Робуста демонструє найбільш кисле середовище (pH4,89±0,05).

ВИСНОВКИ

Coffea arabica є вічнозеленою дводольною деревною рослиною. Її ароматні білі квіти формуються у вигляді компактних суцвіть у пазухах листі пагонів. Це єдиний самосумісний (автогамний) представник свого роду. Водночас наявний рівень природного перехресного запилення (близько 10%) є біологічно достатнім для підтримання необхідного рівня гетерозиготності та пластичності диких і культурних популяцій.

Вибір конкретної селекційної технології завжди визначається природою цільової ознаки, генетичним джерелом корисних властивостей та фінальними завданнями проекту. Традиційний комплекс методів включає індивідуальний добір та внутрішньовидову гібридизацію, орієнтовані на створення високоврожайних ліній із відмінними смаковими характеристиками, комплексним імунітетом до антракнозу й листяної іржі та високою екологічною стійкістю. Завдяки реалізації цих підходів в Ефіопії на сьогодні вже офіційно зареєстровано 41 сорт.

Проте базовим інструментом покращення кави в країні досі залишається класична селекція, яка є тривалим і капіталомістким процесом. В умовах, коли глобальні кліматичні зміни створюють пряму загрозу для плантацій в усіх куточках планети, наука має оперативно переорієнтуватися на створення посухо- та термостійких форм. Інтеграція класичного досвіду й знань місцевих екотипів із сучасними геномними та молекулярними технологіями здатна забезпечити реальний прорив у створенні інноваційних сортів кави, готових до кліматичних викликів майбутнього.

Проведене дослідження підтверджує, що фізико-хімічні параметри насіння кави мають чітку видово-обумовлену природу та формують комплексний біохімічний профіль, який визначає не лише якість сировини, але й потенційні органолептичні властивості готового напою. Найбільш стабільними маркерами видової диференціації є вміст кофеїну, зольність та профіль антиоксидантної активності.

Генетичний код *Coffea arabica* орієнтований на синтез ліпідів, що формують ефірний аромат; генотип Робусти функціонує як акумулятор кофеїну (до 3,5%) та хлорогенових кислот (7–12%), які забезпечують гіркоту та щільність напою. Хімічний профіль та органолептичний вектор торгових марок залежать суто від частки Робусти у купажі, яка максимізує вміст кофеїну та тонізуючий ефект (Lavazza Crema e Gusto), тоді як моносорти 100% Арабіки (Dallmayr, Paulig) лідирують за ароматичними оліями

Виявлено зворотну кореляцію між рівнем кофеїну та редокс-активністю: найвищу антирадикальну силу має Арабіка Марагоджип завдяки збереженню нативних мономерів поліфенолів, а використання промислових блендів є ефективним інструментом штучного моделювання тонізуючих та антиоксидантних властивостей кінцевих субстанцій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Berthaud, J.; Charrier, A. Genetic resources of Coffea. In Coffee Agronomy; Clarke, R.J., Macrae, R., Eds.; Elsevier Applied Science: London, UK, 1988; pp. 1-41.
2. Wrigley, G. Coffee; Longman Scientific and Technical: London, UK, 1988; p. 639.
3. Davis, A.P. Psilanthus mannii, the Type Species of Psilanthus, Transferred to Coffea. Nord. J. Bot. 2011, 29, 471–472.
4. Charrier, A.; Berthaud, J. Botanical classification of coffee. In Coffee, Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage; Clifford, M.N., Wilson, K.C., Eds.; Croom Helm: London, UK, 1985; pp. 13–47
5. Thomas, A.S. The Wild Arabica coffee on the Boma Plateau of Anglo-Egyptian Sudan. Empir. J. Exp. Agric. 1942, 10, 207–212.
6. Conway, J. Export Volumes of Coffee-Producing Countries December. Available online: https://www.statista.com/statistics/268135/ranking-of-coffee-exporting-countries
7. Philippe, L.; Benoít, B.; Hervé, E. Breeding coffee (Coffea arabica) for Sustainable production. In Breeding Plantation Tree Crops: Tropical Species; Springer: New York, NY, USA, 2009; pp. 525–543.
8. Mishra, M.K.; Slater, A. Recent Advances in the Genetic Transformation of Coffee. Biotechnol. Res. Int. 2012, 2012, 580857.
9. ITC. Coffee: An Exporter's Guide; International Trade Centre: Geneva, Switzerland, 2002.
10. ICO. International Coffee Organization. Coffee Market Report 2004. Available online: https://www.ico.org/show_news.asp?id=14
11. ICO. Annual Review. 2010. Available online: http://www.ico.org
12. Food and Agricultural Organization of United Nations (FAO). Analysis of Price Incentives for Coffee in Ethiopia; Technical Notes Series; FAO: Rome, Italy, 2004; p. 49.

13. MoA. Plant Variety Release, Protection and Seed Quality Control Directorate. Crop Variety Register; Issue No. 22; MoA: Addis Ababa, Ethiopia, 2019.
14. Abebaw, Y.M.; Tobiaw, D.C.; Abate, B.A.; Eshete, B.K.; Seymour, S.K.; Tesfaye, K. Plant Tissue Culture Research and Development in Ethiopia: A Case Study on Current Status, Opportunities, and Challenges. Adv. Agric. 2021, 2021, P. 49.
15. Bayetta, B.; Pierre, J.L. Arabica coffee (Coffea arabica L.) Landrace Variety Development Strategy in Its Center of Origin and Diversity. In Proceedings of the 21th International Scientific Colloquium on Coffee, Montpelier, France, 11 September 2006.
16. Meyer, F.G.; Fernie, L.M.; Narasimhaswamy, R.L.; Monaco, L.C.; Greathead, D.J. FAO Coffee Mission to Ethiopia 1964–1965; FAO: Rome, Italy, 1968.
17. Wintgens, J.N. Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production. A Guidebook for Growers, Processors, Traders and Researchers; Wiley-Vch Verlag Gmbh and Co. Kgaa: Hoboken, NJ, USA, 2009; p. 996.
18. Thiago, F.; Joel, S.; Rubens, G.; Adriana, F. Introduction to Coffee Plant and Genetics. In Coffee: Production, Quality and Chemistry; Royal Society of Chemistry: London, UK, 2019; pp. 1–25.
19. Carvalho, A. Principles and Practice of Coffee Plant Breeding for Productivity and Quality factors: Coffea arabica. In Coffee: Agronomy; Clarke, R.J., Macrae, R., Eds.; Elsevier Applied Sciences Publishers Ltd.: London, UK, 1988; Volume 4, pp. 129–165.
20. Walyaro, D.J.; Van Der Vossen, H.A.M. Pollen longevity and artificial cross-pollination in Coffea arabica L. Euphytica 1977, 26, 225–231.
21. Carvalho, A.; Ferwerda, F.P.; Frahm-lelived, J.A.; Medina, D.M.; Monaco, L.C. Coffee (C. arabica L. and C. canephora Pierre ex Froehner); IITA: Ibadan, Nigeria, 1969; pp. 186–244.

22. Bossolasco, L. A Study Case on Coffee (Coffea arabica L.) Limu Coffee. Sous la Dir. de François Verdeaux 2009. Available online: https://core.ac.uk/download/pdf/39837832.pdf
23. Cannell, M.G.R. Physiology of the Coffee Crop; Clifford, M.N., Willson, K.C., Eds.; AVI Publishing Co.: Westport, CT, USA, 1985; p. 108.
24. Carvalho, A.; Monaco, L.C. Natural cross pollination in Coffea arabica L. Int. Soc. Hort. Sci. 1962, 4, 447–449.
25. Van der Vossen, H.A.M. Agronomy I: Coffee breeding practices. In Coffee; Clark, R.J., Vitzthum, Eds.; Recent Development Black Well Science Ltd.: London, UK, 2001; pp. 184–189.
26. William, H.U. All about Coffee; Benediction Classic: London, UK, 2009; ISBN 1849029121.
27. Prado, S.G.; Collazo, J.A.; Stevenson, P.C.; Irwin, R.E. A Comparison of Coffee Floral Ttraits under Two Different Agricultural Practices. Sci. Rep. 2019, 9, 7331.
28. Orwa, C.A.; Mutua, K.R.; Jamnadass, R.S.; Anthony. Agroforestree Database. 2009. Available online: http://www.worldagroforestry.org/sites/treedbs/treedatabases.asp
29. Tesfaye, T.; Bizuayehu, T.; Girma, A. Coffee Production Constraints and Opportunities at Major Growing Districts of Southern Ethiopia. Cogent Food Agric. 2020, 6, 1741982.
30. Aerts, R.; Gazahegni, B.; Gijbels, P.; Kittessa, H.; Van Glabeke, S.; Vandepitte, K.; Muys, B.; Roldan-Ruiz, I.; Honnay, O. Genetic Variation and Risks of Introgression in the Wild Coffea arabica gene pool in South-Western Ethiopian Montane Rain Rorests. Evol. Appl. 2013, 6, 243–252.
31. Habtamu, G.; Gizachew, A.; Meseret, D.; Ashenafi, A. Arabica Coffee (Coffea arabica L.) Hybrid Genotypes evaluation for Growth

Characteristics and Yield Performance under Southern Ethiopian Growing Condition. Acad. Res. J. Agri. Sci. Res. 2018, 6, 89–96.

32. FAO. Major Food and Agricultural Commodities and Producers-Countries by Commodity. 2012. Available online: http://www.fao.org
33. CSA (Central Statistical Agency). Reports on Area and Production of Crops (Private Peasant Holdings, Meher Season); CSA: Addis Ababa, Ethiopia, 2017.
34. Labouisse, J.P.; Kotecha, S. Preserving diversity for specialty coffees. A focus on production systems and genetic resources of arabica coffee in Ethiopia. In Proceedings of the SCAA 20th Annual Conference, Minneapolis, MN, USA, 2–5 May 2008.
35. Labouisse, J.P.; Bayetta, B.; Kotecha, S.; Bertrand, B. Current status of coffee (Coffea arabica L.) genetic resources in Ethiopia: Implications for conservation. Genet. Resour. Crop Evol. 2008, 55, 1079–1093.
36. EIAR. Research on Coffee and Tea. 2020. Available online: http://www.eiar.gov.et/jarc/index.php/jarc-research/coffee-and-tea
37. Sharma, J.Q. Statistical and Biometrical Techniques in Plant Breeding; New Age International Pvt Ltd.: Delhi, India, 1998; p. 67.
38. Yeshitila, K. Prospects of forest genetic resources conservation. In Proceedings of the Public Meeting on Integrated Forest Policy Dervelopment in Ethiopia, Forum for Environment (FfE), Addis Ababa, Ethiopia, 27–29 November 2002; Institute of Biodiversity: Addis Ababa, Ethiopia, 2004.
39. Mesfin, K.; Bayetta, B. Phenotypic Diversity in the Hararge Coffee (Coffea arabica L.) Germplasm for Quantitative Traits. East Afr. J. Sci. 2008, 2, 13–18.
40. Sant'Ana, G.C.; Pereira, L.F.P.; Pot, D.; Ivamoto, S.T.; Domingues, D.S.; Ferreira, R.V. Genome-wide association study reveals candidate genes influencing lipids and diterpenes contents in Coffea arabica L. Sci. Rep. 2018, 8, 465.

41. Abdi, A.; Hussein, M.; Amsalu, A. Phenotypic Diversity for Quantitative Characters in Arabica Coffee Landraces from Eastern Ethiopia. Pelagia Research Library. Asian J. Plant Sci. Res. 2020, 10, 51–57.
42. Lemi, B.; Ashenafi, A.; Sentayew, A. Genotype × Environment Interaction and Yield Stability of Arabica coffee (Coffea arabica L.) Genotypes. Insights Aquac. Biotechnol. 2019, 3, 1–2.
43. Fekadu, T.; Melaku, A.; Bayetta, B.; Behailu, A.; Tadesse, B.; Ashenafi, A. Developing Improved Pure Line Coffee Varieties for Different Coffee Growing Areas of Ethiopia. In Proceedings on Four Decades of Coffee Research and Development in Ethiopia, A National Workshop, Addis Ababa, Ethiopia, 14–17 August 2007; pp. 14–17.
44. Geneti, D. Progress of Coffee (Coffea arabica L) Hybridization Development Study in Ethiopia: A Review. Food Sci. Qual. Manag. 2019, 92, 22–28.
45. Falconer, D.S.; Mackay, F.C. Introduction to Quantitative Genetics; Longman: New York, NY, USA, 1996; p. 464.
46. Cilas, C.; Bouharmont, P.; Boccara, M.; Eskes, A.B.; Baradat, P.H. Prediction of Genetic value for Coffee Production in Coffea arabica from a Half diallel with Lines and Hybrids. Euphytica 1998, 104, 49–59.
47. Mohammed, W. Heterosis and Combining Ability Analysis for Coffee Quality in Diallel Crosses of Diverse Coffee (Coffea arabica L.) Parents in Origin. East Afr. J. Sci. 2011, 5, 12–21.
48. Ayano, A.; Sentayehu, A.; Abush, T. Combining Ability for Yield and Morphological Characters in Southwestern Ethiopian Origin Coffee Hybrids. Sky J. Agric. Res. 2014, 3, 128–136.
49. Dula, G.; Bayetta, B.; Ermias, H. Heterosis and Combining Ability Analysis for Morphological Characters in Western Ethiopian Origin

Coffee (Coffea arabica L.). Master's Thesis, Ambo University College of Agriculture and Veterinary Science, Ambo, Ethiopia, 2018.

50. Clarke, R.; Vitzthum, O.G. Coffee: Recent Developments; John Wiley and Sons: Hoboken, NJ, USA, 2008.
51. Kumar, V.; Naidu, M.M.; Ravishankar, G.A. Developments in coffee biotechnology-in vitro plant propagation and crop improvement. Plant Cell Tissue Organ. Cult. 2006, 87, 49–65.
52. Lashermes, P.; Trouslot, P.; Anthony, F.; Combes, M.C.; Charrier, A. Genetic Diversity for RAPD Markers between Cultivated and Wild Accessions of Coffea arabica. Euphytica 1996, 87, 59–64.
53. Hrushinsky N.P. Gravimetry *Physical encyclopedia* M.: Soviet encyclopedia, 1990. T. 2 – Dobrotnost. Magneto-optics. 704 p.
54. Бічо, Н. К. та Мендонса молодший, Ф. Дж. (2018). Аромат кави: огляд. Напої, 4(3), 54р.
55. Moroz A.S., Yavorska L.P., Lutsevich D.D. Biophysical and colloid chemistry. Vinnytsia: New book, 2007. p. 453-457.
56. Собакарь Є. М., Шитова Л. В. Оцінка якості кави. *Молодий вчений*. 2021. № 8 (96). С. 13–16.
57. Савчак А. М., Ковальчук Х. І. Фальсифікація кави та кавових напоїв і способи її виявлення. Актуальні проблеми теорії і практики експертизи товарів : матеріали II Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (18–20 березня 2015 року). Полтава : ПУЕТ, 2015. С. 189–192.
58. Бажай-Жежерун С. А., Дегтярьов Л. С. Дослідження вмісту поліфенольних сполук та антиоксидантної активності популярних напоїв. Актуальні проблеми розвитку харчових виробництв, готельного, ресторанного господарств і торгівлі : тези доп. Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів, 25 квітня 2013 р.; Харків : ХДУХТ, 2013. Ч. 1. С. 111.

59. Воронов С. А., Стецишин Ю. Б., Панченко Ю. В., Когут А. М., Курисько Т. С. Лабораторний практикум з токсикології продуктів харчування : навчальний посібник / за ред. С. А. Воронова. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2018. 192 с.
60. Шаповалова Н. П., Кравченко О. В. Фактори формування та зберігання якості кави натуральної смаженої. *Молодий вчений*. 2016. № 5. С. 272–276