

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

**ДУБОВА ГАЛИНА ЄВГЕНІЇВНА**

**УДК 602.4:664:637.057**

**БІОТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ РЕГУЛЮВАННЯ ДІЇ ПОПЕРЕДНИКІВ  
АРОМАТУ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ**

Спеціальність 03.00.20 – бітехнологія

**РЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Київ – 2025

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», ВНЗ Укоопспілки «Полтавський університет економіки і торгівлі».

**Науковий консультант:**

доктор біологічних наук, с.н.с., доцент  
**ПОСДИНОК Наталія Леонідівна**,  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор  
**БАЛЬ-ПРИЛИПКО Лариса Вацлавівна**,  
декан факультету харчових технологій та управління  
якістю продукції АПК Національного університету  
біоресурсів і природокористування України, м.Київ

доктор технічних наук, професор  
**КАРПЕНКО Олена Володимирівна**,  
завідувачка відділу хімії і біотехнології горючих  
копалин Відділення фізико-хімії горючих копалин  
Інституту фізико-органічної хімії і вуглехімії  
ім. Л.М. Литвиненка НАН України, м.Львів

доктор технічних наук, професор  
**ФРОЛОВА Наталія Епінетівна**,  
професор кафедри технології ресторанної і  
аюрведичної продукції Національного університету  
харчових технологій, м.Київ

Захист відбудеться 21 березня 2025 р. о 13.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.28 в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою 03056, м. Київ, просп. Берестейський, 37, корп. 1, ауд. 05.

Захист транслюватиметься на YouTube-каналі Вченої ради КПІ ім. Ігоря Сікорського:

<https://www.youtube.com/@vchenaradakpi/streams>

З дисертацією можна ознайомитись у Науково-технічній бібліотеці ім. Г.І. Денисенка Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», за адресою: 03056, м. Київ, проспект Берестейський, 37, та на сайті Вченої ради Університету за адресою: <https://rada.kpi.ua>.

Про дату та місце захисту громадськість проінформовано «14» лютого 2025 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
д.т.н., доцент



Наталія ГОЛУБ

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Сучасні вимоги до харчових продуктів передбачають їх безпеку для здоров'я людей. Це стимулює розвиток індустрії ароматизаторів у напрямку досягнення їхньої максимальної натуральності. Регулярні оновлення положень у законодавчих документах, нормативах, термінах, що стосуються ароматизаторів, свідчать про розвиток цієї сфери. Актуальним завданням залишається зменшення кількості ароматизаторів для продуктів харчування і, разом з цим, пошук альтернативних способів покращення органолептичного профілю. Особливого значення набувають сучасні науково обґрунтовані технології виробництва натуральних ароматизаторів, ефективне використання потенціалу сировини при відновленні втраченого аромату, розробка нових підходів до процесу ароматизації. Бізнес ароматизації є популярним, активно вивчається та сприяє впровадженням інновацій.

Унаслідок високої активності та нестійкості компонентів ароматичні речовини реагують навіть на незначні зміни якості сировини та на всі порушення технологічної переробки. Процеси ароматизації у більшості харчових технологій є необхідними, отже потребують системних наукових досліджень в цьому напрямі. Актуальним питанням залишається розробка наукових основ отримання харчових продуктів із приємним натуральним ароматом для людей похилого віку, хворих на ожиріння і хронічні розлади, військовослужбовців та людей, які перебувають на тривалій дієті. У науковій літературі не виявлені систематичні дослідження щодо ароматизації харчових продуктів шляхом відтворення природних процесів *in vitro* з використанням попередників аромату.

Через використання синтетичних речовин для модифікації харчових продуктів у суспільстві з'являється «хемофобія» – страх перед «хімією». Сучасні технології дозволяють цілеспрямовано посилювати здатність живого організму продукувати певну реакцію отримання харчового продукту без використання харчових добавок. Ароматичні компоненти, притаманні свіжим плодам, містяться у низьких концентраціях (0,5–5,0 %), що ускладнює їхній аналіз та відтворення природних, характерних для сировини відтінків. В законодавчих документах ЄС та України (Регламент ЄС № 1334/2008, Директива 2000/13/ЄС, Закон України «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів» та ін.) введені поняття щодо попередників аромату та ферментативних способів ароматизації.

Щодо можливого відновлення свіжого аромату продуктів існує ідея, заснована на ферментативних процесах їх утворення, згідно з якою відновлення аромату залежить від присутності ароматотвірних ферментів і попередників. Започаткували дослідження в цьому напрямі американські вчені G. Dateo, R. Clapp, E. Hewitt, T. Hasselstrom, S. Bailey, E. Reese, S. Schwimmer, G. Reed. Але подальшого розвитку досліджень відновлення свіжих ароматів у термообробленій сировині за рахунок ферментативних реакцій не відбулось унаслідок інтенсивного вивчення впливу на аромат ферментів у генно-модифікованій сировині. У той же час, знання щодо властивостей рослинних ферментів та відтворення природних процесів формування аромату з їх

допомогою дозволили б модернізувати та покращити процес ароматизації.

Реакції організму на аромат їжі є важливим питанням у визначенні міжкультурних переваг їжі, нейрогастрономії, аромокології. Створено оздоровчі, дієтичні харчові продукти зі зниженим вмістом солі, цукру, жиру, які потребують подолання сенсорного дефіциту для зацікавлення споживачів. Для цього потрібні інноваційні способи ароматизації продуктів. Натепер у світі розвиваються тенденції здорового органічного харчування, в якому відсутні додані ароматизатори. Отже, актуальною проблемою є дослідження дії попередників аромату задля розроблення нових підходів до ароматизації сировини та харчової продукції.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертаційна робота виконувалася в межах: науково-технічної роботи КПІ ім. Ігоря Сікорського за державним замовленням на науково-технічні (експериментальні) розробки та науково-технічну продукцію 0122U200933 «Розроблення методів підвищення біологічної активності харчових продуктів для спеціальних медичних цілей» (№ ДЗ/128 - 2022 від 27 вересня 2022р.) за науковим напрямом «Науки про життя, нові технології профілактики та лікування найпоширеніших захворювань», а також відповідно до науково-дослідної роботи ВНЗ Укоопспілки «Полтавський університет економіки і торгівлі» (2008–2017 рр.), зокрема бюджетних науково-дослідних тем № 292/09, 0110U007146 «Дослідження властивостей рідких натуральних ароматичних речовин, отриманих мікрохвильовим вакуумним сушінням», № 309/10, 0110U007145 «Технології отримання натуральних харчових компонентів із заданими властивостями та перспективи їх використання», № 405/14, 0114U005410 «Технологічні інновації як фактор розвитку нанотехнологій: практичні, економічні і маркетингові дослідження».

**Мета та завдання дослідження.** Метою роботи є наукове обґрунтування біотехнологічних основ використання попередників аромату рослинної сировини та їстівних грибів для розробки умов керованого впливу на процеси ароматизації ферментативним шляхом або шляхом повторення природних процесів.

Для досягнення поставленої мети сформульовані такі завдання:

- Розробити якісно новий підхід до технології ароматизації рослинної сировини та їстівних грибів, який полягає у використанні попередників аромату та рослинних ферментів.
- Визначити зміни ароматичних компонентів міцелію та культуральної рідини їстівних грибів *Hericium erinaceus*, *Lentinula edodes*, *Ganoderma lucidum* після ініціювання ферментативних окисних реакцій попередників аромату ліпідної природи фотостимуляцією посівного міцелію LED опроміненням.
- Встановити кількісні та якісні зміни ароматичних компонентів міцелію та культуральної рідини: при використанні пшеничних висівок в складі поживного середовища для *Pleurotus ostreatus*, при використанні колоїдного розчину наночастинок Ag, Fe, Mg та LED опромінення для *G. lucidum*, при використанні LED опромінення для *Inonotus obliquus*.

- Довести ефективність зниження початкової вологості та концентрації легколетких компонентів рослинної сировини за впливу на попередники аромату для подальшого новоутворення ароматів при технологічній обробці.

- Визначити вплив технологічної обробки, як охолодження, вакуумування, мікрохвильової дії, комбінованої (мікрохвильове нагрівання і вакуумування) на зміни ароматичного профілю рослинної сировини на основі чого встановити залежність реакцій перетворень попередників у ароматичні компоненти від змін площі контакту між ліпофільними субстратами і гідрофільними ферментними системами.

- Визначити закономірності руйнування ароматів термічно оброблених гарбузових плодів та групу втрачених ароматичних речовин задля їх подальшого відновлення ферментативним шляхом.

- Дослідити умови відновлення втраченого аромату через окиснювальні реакції попередників: первинне та вторинне окиснення поліненасичених жирних кислот (ПНЖК) обробленої рослинної сировини, вплив антиоксидантів та прооксидантів на вільно-радикальні процеси окиснення попередників ліпідної природи, визначити здатність плодів до повторного утворення ароматичних компонентів за змінами показників окисно-відновного потенціалу свіжих і термічно оброблених гарбузових плодів.

- Обрати перспективні стабільні джерела ліпоксигеназ, гідропероксидіаз для реакції із похідними ПНЖК та довести можливість рослинних ферментів приймати участь у реакціях з попередниками аромату без очищення та концентрування в умовах посиленого фізичного впливу.

- Сформувати модифікований ароматичний профіль функціональних харчових продуктів із сирової цибулі та картоплі шляхом використання реакцій неконкурентного інгібування ферментативних процесів.

- Довести ефективність желатинових розчинів для посилення ефекту: ароматизації через ініціювання взаємодії між рослинними ферментами та попередниками аромату та деароматизації через бар'єр між ними.

- Встановити взаємозв'язок між змінами характеристик летких сполук ферментованого листя, зібраного в різні періоди розвитку, та здійснити сенсорний і хімічний аналіз летких речовин у напоях із ферментованого листя дерев та ягід.

- Надати науково-практичні рекомендації щодо приготування ароматизованих харчових продуктів. Розробити проекти нормативної документації на ароматизовану харчову продукцію, запровадити результати дослідження у виробництво й навчальний процес, оцінити економічну ефективність запропонованих рішень.

*Об'єкт дослідження* – біотехнологічний процес ароматизації харчової сировини, модифікація та отримання ароматичних речовин шляхом здійснення реакцій між рослинними ферментами та попередниками аромату.

*Предмет дослідження* – попередники аромату ліпідної природи, плодови гомогенати, ферменти, екстраговані з рослинної сировини, умови впливу на попередники аромату (фізичні параметри, способи попередньої обробки плодів, трав, листя), умови реакцій модифікації аромату.

*Методи дослідження* – стандартизовані фізико-хімічні методики, газохроматографічний аналіз, прилад «електронний ніс», аналізатор Malvern Zetasizer Nano ZS для вимірювання гідродинамічного діаметру частинок та їх  $\zeta$ -потенціалу, мікроскопіювання, запатентований метод визначення карбонільних сполук, методи математичної обробки даних та ін.

### **Наукова новизна отриманих результатів дослідження.**

У дисертаційній роботі на основі теоретичних та експериментальних досліджень сформульовано й доведено наукову концепцію: ароматизація харчової сировини може здійснюватись за допомогою регульованих біотехнологічних процесів між попередниками аромату та рослинних ферментів. Використання в харчових технологіях керованих процесів ароматоутворення дозволило сформувати новий науково-практичний напрям, отримати ароматичні гідролати й ароматизовану харчову продукцію.

У межах реалізації наукової концепції на основі узагальнення теоретичних і експериментальних досліджень *уперше*:

- встановлено, що в умовах *in vitro* реакції між попередниками аромату та рослинними ферментами в умовах вакуумного нагрівання (температура  $32 \pm 2^\circ\text{C}$ , розрідження  $6 \pm 3$  кПа) призводять до утворення ароматичних речовин;
- доведено, що внесення пшеничних висівок до рідкого поживного середовища, опромінення LED в умовах чистих культур здатне ініціювати ароматотвірні реакції макроміцетів *P. ostreatus*, *I. obliquus*, *H. erinaceus*, *L. edodes*, *G. lucidum*;
- доведено, що ферментативне утворення аромату *in vitro* з попередників ліпідної природи за ліпоксигеназним шляхом можливе без попереднього виділення та очищення рослинних ферментів;
- встановлено, що для отримання висушеної сировини та дистилятів (гідролатів) з підвищеним вмістом аромату, в умовах розрідження та дії мікрохвильового поля, ефективним є попереднє часткове виділення клітинного соку або вологи з сировини;
- доведено, що процеси ферментативного відновлення аромату в термооброблених баштанних плодах відбуваються завдяки зменшенню антиоксидантної активності та окисно-відновного потенціалу.
- встановлено, що ферментація листя дерев та ягід дозволяє досягти максимального наближення до аромату плодів або цвіту, залежно від періоду збору листя;
- доведено, що гальмування ферментативного утворення аромату цибулі відбувається за участю ферментів порошку гірчиці (переважно мірозінази), хрону (переважно поліфенолоксидази), танінами чорного та зеленого чаю, гальмування ароматоутворення міцелію макроміцетів відбувається шляхом поєднання LED опромінення та використання наночастинок Ag, Fe, Mg.

*Набуло подальшого розвитку:*

- використання прооксидантних властивостей рослинної сировини, синглетного кисню задля керованого впливу ферментативними вільно-радикальними реакціями окиснення;
- дослідження умов ферментативної модифікації попередників аромату білкової природи;
- дослідження міжфазної взаємодії між попередниками аромату та рослинними ферментами в желатиновому желе або гетерогенних дисперсних системах (піни);
- дослідження механоактивації, як ефективного чинника прискорення ферментативних реакцій;
- розроблення технологій подолання сенсорного дефіциту в харчових продуктах альтернативними методами ароматизації.

**Практичне значення одержаних результатів дослідження.** На основі результатів реалізації наукової концепції, проведених теоретичних і експериментальних досліджень розроблено технології отримання ароматизованих продуктів та гідролатів. Обговорення практичного значення результатів відбулось під час підвищення кваліфікації з клінічного харчування в лікарні Health Celebration (США).

Розроблено та затверджено технічні умови «Продукти функціональні харчові на основі рослинної та грибної сировини» ТУ У 10.8-02070921-001:2023, проекти технічних умов та технологічні інструкції: «Натуральні ароматизатори» ТУ У 15.3-01597997-001:2010; «Наповнювачі ароматизовані» ТУ У 10.2–01597997-001:2013, технологічна інструкція на виробництво наповнювачів ароматизованих; «Желе з ароматичною композицією» ТУ У 10.2-01597997-002-2014, технологічна інструкція на виробництво желе з ароматичною композицією; «Ароматизатори FTNF, WONF» ТУ У 10.2-01597997-003:2014; «Ароматизатори на основі концентрату жирних кислот рослинних олій «БІОІЛ» ТУ У 10.2-01597997-001:2016.

*Реалізація досліджень.* Технології апробовано та впроваджено: їдальня Управління Справами Апарату Верховної Ради України (м. Київ), їдальня Могильов-Подільського технолого-економічного коледжу, ПАТ «Харчування» у Вінницькій області (м. Могильов-Подільськ), ресторан «Вулкан» (м. Черкаси), кафе «Екватор плюс» (м. Чернівці), ресторан «Таверна Фрегат» (м. Чернівці), підприємство «Панський двір» (м. Комсомольськ), підприємство «Днепр» (м. Дніпродзержинськ), кафе «У Танюши», (м. Хорол), «Зелена дубрава» (м. Полтава), німецько-українське ТОВ «Злаки» (м. Полтава), «Світанок» (м. Полтава), ТОВ «Науково-виробнича фірма «Стар Трейд Компані Україна» (м. Дніпро), шинок «Диканька», кафе-бар «Ханума» концерт-хол «Версаль», заклад харчування ГПУ «Полтавагазвидобування», ПрАТ «Полтавпиво», їдальня ПДАУ «Золота нива» (м.Полтава).

Результати дисертаційної роботи впроваджено в навчальний процес ВНЗ Укоопспілки «Полтавський університет економіки і торгівлі» під час виконання магістерських кваліфікаційних робіт і викладання дисциплін «Сервісна діяльність», «Барна справа», «Конкурентоспроможність в курортному

бізнесі», «Інноваційні технології в курортній справі» (акт впровадження № 45-12/128 від 19.12.2014 р.).

**Особистий внесок здобувача** полягає в аналізі стану проблеми; формулюванні наукової концепції роботи, її теоретичному й експериментальному підтвердженні; розробці програми досліджень і керівництві при реалізації; проведенні аналітичних, експериментальних досліджень та їх аналізі; формулюванні висновків; розробці нормативної документації. У матеріалах, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать основні ідеї, наукове обґрунтування теоретичних положень, аналіз результатів дослідження, формулювання основних висновків. Дослідження сіалометрії на розроблені ароматизатори проводились у співпраці з доцентами Полтавського державного медичного університету Скикевич М. Г., Волошиною Л. І., ароматизації молочної сироватки – з доцентом Сумського національного аграрного університету Синенко Т.П.

**Апробація результатів дослідження.** Основні результати досліджень доповідалися, обговорювалися та отримали позитивну оцінку науковців і фахівців галузі на V–IX міжнародних науково-практичних конференціях «Харчові технології» ОНАХТ 2009–2015 рр. (м. Одеса), міжнародній науково-практичній конференції «Технічний прогрес в АПК» (м. Харків, 2008 р.), науково-практичній конференції професорсько-викладацького складу Полтавської державної аграрної академії (м. Полтава, 2009 р.), III Всеукраїнській науковій конференції «Хімічні проблеми сьогодення» (м. Донецьк, 2009 р.), міжнародній науково-практичній конференції «Прогресивні технології харчових виробництв, ресторанного та готельного господарства» (м. Полтава, 2009 р.), II Всеукраїнській науково-практичній конференції «Новітні тенденції у харчових технологіях та якість і безпека продуктів» (м. Львів, 2010 р.), міжнародній науково-практичній конференції «Новітні технології оздоровчих продуктів харчування XXI століття» (м. Харків, 2010 р.), V Міжнародному форумі «Трансфер технологій та інновації: інноваційний розвиток та модернізація економіки України» (м. Київ, 2011 р.), міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Сучасний ринок товарів та проблеми здорового харчування» (м. Харків, 2013 р.), науково-практичних семінарах «Нові технології та обладнання харчових виробництв» 2013–2016 рр. (м. Полтава), міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні технології в харчовій промисловості та ресторанному господарстві» (м. Харків, 2014 р.), міжнародній науково-практичній конференції «Оздоровчі харчові продукти та дієтичні добавки: технології, якість, безпека» (м. Київ, 2015 р.), III східно-європейському конгресі харчової промисловості (м. Брашов, Румунія, 2015 р.), II міжнародній науково-практичній конференції «Розвиток науки, технології та техніки для виробництва, пакування, зберігання та дистрибуції харчової продукції» (м. Пловдив, Болгарія, 2015 р.), науковому конгресі «NUTRICON 2015: Food Quality and Safety, Health and Nutrition» (Republic of Macedonia, Skopje, 2015), 8-му центрально-європейському конгресі з харчової науки 2016 «Харчова наука для добробуту» (23–26 травня 2016 р., м. Київ).



Рукопис представлений у науковій лабораторії «Heals Sciences and Psychology» Єльського університету та в мережі «Diamond resorts international» (США, 2014 р., 2016 р.), 77 науковій конференції науково-педагогічного складу ОНАХТ (Одеса, 18-21 квітня 2017 р.), «Вітчизняні товари на сучасному ринку: позиціонування, якість, безпечність у контексті Європейської інтеграції» Всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Львів, 2019 р.) , «Хімія природних сполук» VI Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю (м. Тернопіль, 2022 р.), міжнародній науково-практичній конференції “Nanotechnology and nanomaterials” (NANO-2022, м. Львів), 61 st Annual Science Conference of Ruse University «New Industries, Digital Economy, Society - Projections Of The Future V» (Разград, Болгарія, 2022 р.), міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні та ресурсозберігаючі технології харчових виробництв» (м.Полтава, 2022-2023 р.р.).

**Публікації.** За результатами досліджень опубліковано 76 наукових праць, у тому числі 1 монографія, 40 статей, з них 27 у наукових фахових виданнях, 10 у виданнях, включених до наукометричних баз Scopus та Web of Science, 10 патентів, один з яких патент на винахід, 25 тез доповідей.

**Структура та обсяг дослідження.** Дисертаційна робота викладена на 485 сторінках друкованого основного тексту (без додатків) та включає вступ, огляд літератури, опис матеріалів і методів досліджень, три розділи результатів власних досліджень, висновки, список використаних джерел із 548 найменувань, з яких переважна більшість англomовні. Дисертація містить 86 таблиць, 120 рисунків. Додатки складаються з 34 документів, більшість з яких підтверджує практичні впровадження.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ**

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, визначено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету та завдання дослідження, наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, особистий внесок здобувача, відомості щодо реалізації та апробації результатів дисертації.

У **першому розділі «Аналітичний огляд літератури: сучасний стан і перспективи розвитку технологій ароматизації харчових продуктів»** на підставі аналізу науково-технічної інформації визначено сучасні аспекти виробництва та споживання ароматизаторів у харчовій продукції. Висвітлено роль ароматичних речовин (АР) у фізіології харчування людини, у тому числі надані узагальнені відомості про теорії сприйняття аромату та пов'язані з цим поведінкові аспекти; розглянуто загальну характеристику способів відновлення ароматичних речовин у харчових продуктах. Проаналізовано локалізацію ферментів і шляхи біосинтезу ароматичних речовин у рослинній сировині, а також вплив компонентів харчового середовища на леткість і відчутність ароматичних компонентів. Проведений аналіз ролі фізичних факторів в біотехнологічних процесах та специфічних реакціях макроміцетів.

Узагальнено відомості про вплив попередників аромату – триацилгліцеридів (ТАГ) рослинного походження на реакції утворення аромату. Проведений обґрунтований аналіз реакцій попередників, що утворюють аромати. Конкретизовані модифікації реакцій, що призводять до утворення аромату, характерного для свіжої рослинної сировини. Визначено роль окиснювальних процесів у реакціях біосинтезу ароматичних компонентів фруктів і овочів. Ароматизація харчових продуктів розглянута як аспект розвитку біотехнологій. Показані сучасні способи та перспективи щодо ароматизації харчових продуктів. Наведений аналіз харчових продуктів, ароматизація яких потребує інноваційних біотехнологічних підходів. Узагальнення цих даних стало підґрунтям для формулювання завдань, спрямованих на досягнення мети дисертаційної роботи.

У другому розділі **«Об’єкт, предмети, організація та методи досліджень»** наведено загальну методика проведення теоретичних та експериментальних досліджень за темою роботи, програму їх реалізації і практичного застосування результатів досліджень у технологіях харчової продукції (рис. 1). В основі планування експериментів і прийнятих рішень використаний метасистемний підхід, який дозволив розглядати ароматотвірну систему як сукупність елементів (субстратів, ферментів, антиоксидантів, водних систем) і взаємозв’язків між ними.

Чисті культури базидієвих макроміцетів використані з Колекції культур шапинкових грибів Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України. Для визначення впливу квазімонохроматичного світла як фактору впливу на біосинтетичну активність міцелію використовували установку штучного освітлення на основі матриць світловипромінювальних діодів, розроблену в Інституті фізики НАН України. Колоїдний розчин наночастинок Ag, Fe та Mg був приготований методом електроіскрового диспергування.

Для реалізації дисертаційних досліджень використано дві вакуумні установки для вилучення ароматичних речовин – із мікрохвильовим (МВС-мікрохвильова вакуумна сушарка) і конвективним енергопідводом, глибиною вакууму в установках від 1 до 90 кПа. Використана установка з вихровим шаром феромагнітних частинок (ВШФЧ) з метою досягнення посиленого фізичного впливу та збільшення площі поверхні контакту ліпофільно-гідрофільних компонентів реакцій утворення аромату. У роботі використані стандартні уніфіковані й оригінальні методики фізичних, фізико-хімічних, біохімічних методів дослідження.

Основні дослідження були проведені в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», ВНЗ Укоопспілки «Полтавський університет економіки і торгівлі», Одеському селекційно-генетичному інституті, Національному університеті харчових технологій, Харківському медичному університеті, ДП «Укрметрестандарт» та інших науково-дослідних організаціях.

Аналіз ароматів у паровій фазі проводили на аналізаторі «електронний ніс», газових хроматографах «Цвет-100», Agilent Technologies 7890 A та HP 6890 (Hewlett Packard) з парофазним аналізатором HP 7694, колонка капілярна, Factor Four vf-5 ms (Varian), газ-носії – гелій.

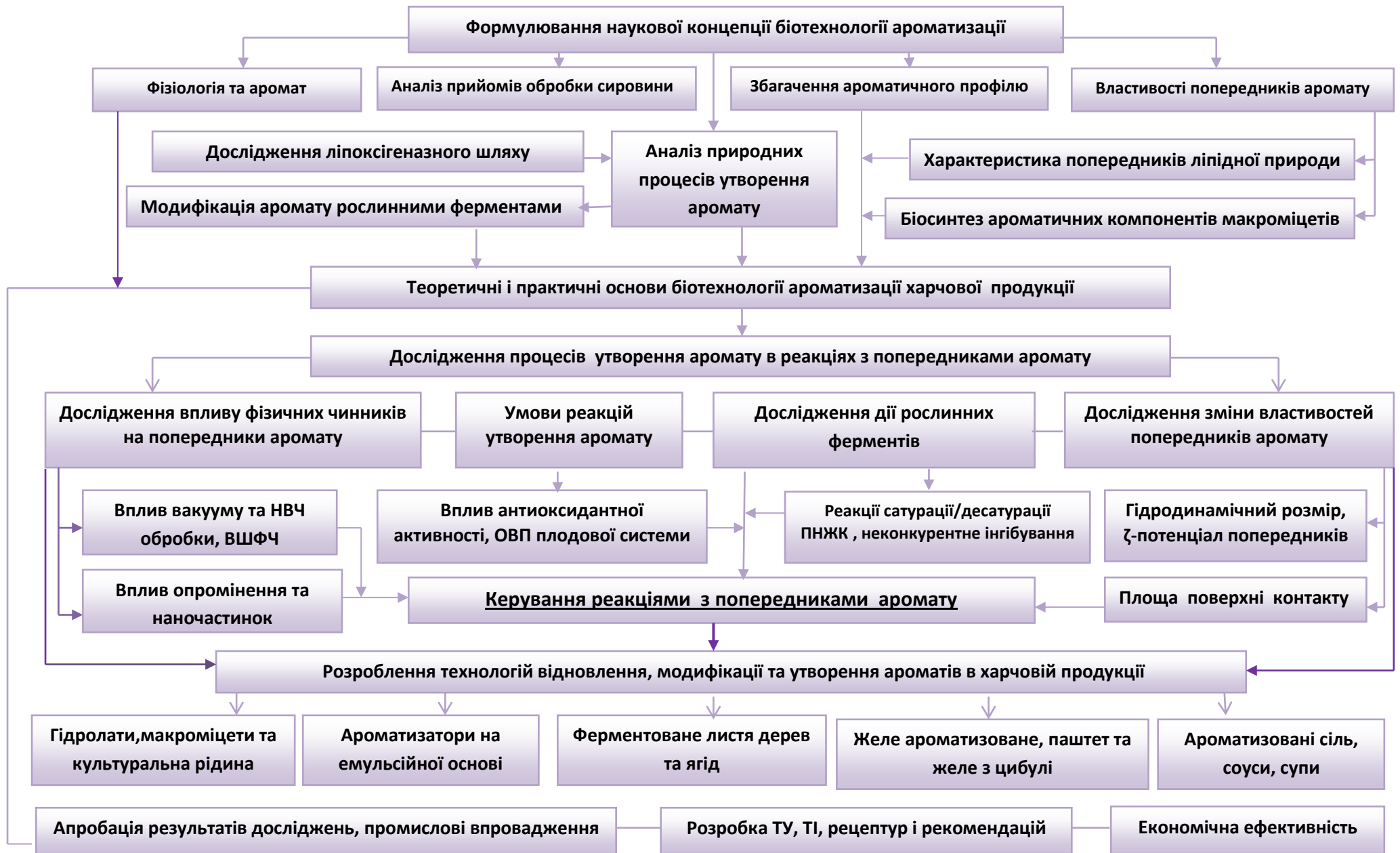


Рисунок 1 – Загальна блок-схема комплексних досліджень

Проведені органолептичні аналізи відновлення ароматів різними методами (парного порівняння, ранжування та ін.). Інтенсивність окиснювальних процесів оцінювали за розробленою методикою, заснованою на реакції карбонільних сполук (КС) із 2,4-дінітрофенілгідразином. Активність ліпоксигеназ, продукти первинного окиснення оцінювали на спектрофотометрі UV1280 Shimadzu або КФК-3, вимірюючи збільшення поглинання світла, викликане утворенням кон'югованих дієнових гідроперекисів за 234 нм.

У дослідженнях використана теорія стабільності колоїдів, відома як теорія ДЛФО. Ефект утворення та відновлення ароматів показано через відповідні зміни електростатичної і молекулярної складових розклинювального тиску. Гістологію та зміни ліпідного шару досліджуваних плодів досліджували за допомогою тринокулярного мікроскопу Micromed XS-4130 з відеокамерою та програмним забезпеченням. Дослідження реологічних властивостей модельних розчинів, рослинних гомогенатів проводили на ротаційному віскозиметрі «Реотест-2», жирнокислотного складу рослинної сировини на газовому хроматографі Shimadzu GS-14В та за класичними методами. Розподіл розміру колоїдної фракції ліпідних попередників та дистилатів, їх дисперсність визначали на аналізаторі Malvern Zetasizer Nano ZS. Визначення малонового діальдегіду, поглинання гідроксильних радикалів та антиоксидантної активності визначали фотометричним методом. Для визначення подразнюючого фактору ароматів використовували специфічний метод дослідження – сіалометрію. Отримані експериментальні дані опрацьовані методами математичної статистики та кореляційного аналізу за допомогою програмних пакетів, у тому числі Table Curve 3D.

У третьому розділі «Теоретичні та практичні аспекти формування ароматів» наведені експериментальні дані з дослідження рідких ароматизаторів – дистилатів (гідролатів), отриманих у МВС, та результати порівняння їх з існуючими промисловими ароматизаторами. Отримані гідролати виготовлені з рослинної сировини (листя базилика, горіхів, перцю, вичавки з огірків, кавунова оболонка) у МВС, за ароматом наближені до натуральної сировини більше, ніж існуючі ароматизатори. Дія попередників і ферментів та відповідні зміни аромату в сировині та конденсаті в МВС починається після  $14 \pm 3$  хв обробки за температури  $43 \pm 2$  °С і розрідження 30 кПа. Баланс ароматичних компонентів як за сировиною ( $AK_{\text{сировина}}$ ), так і за конденсатом ( $AK_{\text{конденсат}}$ ) показує збільшення кількості аромату порівняно зі свіжою сировиною у четвертому періоді:

у конденсаті:  $AK_{\text{конденсат}} 17,0 < 1\Pi_5 + 2\Pi_{16} + 3\Pi_7 + 4\Pi_{20}$ ;

за сировиною:  $AK_{\text{сировина}} 4,0 < 1\Pi_{4,0} + 2\Pi_{3,5} + 3\Pi_{3,0} + 4\Pi_{5,2}$ ,

де  $\Pi_x$  – період (1, 2, 3, 4), час виділення ароматичних компонентів, відповідно 3, 7, 9, 14 хв.

$x$  – число аромату, мл  $Na_2S_2O_3/1$  г.

Утворення аромату у свіжій сировині залежить від перебігу специфічних процесів за участю попередників і має багато особливостей, а теплова обробка сприяє в кожному випадку появі особливих компонентів аромату. У зразках листя базилика з попереднім заморожуванням (№ 1), конвективною (№ 2) та обробкою в МВС (№ 3) виділені як ідентичні компоненти (евкаліптол, гептан-2-

он, евгенол, фенол, 1,6-октадієн-3-ол, моно(2-етілгексил)ефір, 1,2-бензендікарбоксилова кислота), так і специфічні, властиві тільки специфічним процесам з попередниками аромату (табл. 1).

Таблиця 1 – Ароматичні компоненти та характеристика запаху базиліка за різними способами обробки

№ з/п	Компоненти аромату відтіночні	Характеристика запаху
1	1,3,6-октатрієн, 1-гептен-6-он, 7-октен-2-ол, 2-метил-6-метилєн, оцтова кислота, гексиловий ефір, лімонєн, (Е)-2-бутєнілциклопропан, 1,3,6,10-додекатетраєн, 1,4-метанофталазін, 1-циклопєнтен, 6,6-діметилциклоокта-2,4-дієнон	Базиліковий, ефірний, пряний
2	2-амінобензоат, 3-циклогексен-1-метанол, 4-триметил-, (S)-р-мент-1-єн-8-ол, октагідро-7-метіл-3-метілен-4-(1-метілетіл), 2-метіленциклопропіл	Трав'яний, сіна, специфічної гіркоти
3	1,5-гептадієн, 1,3,6-гептатрієн, транс-ізоборніл ацетат, 1-нафталєнол	Насичений базиліковий, свіжий, гвоздичний

Встановлено, що попередники аромату ферментативно продукують аромати завдяки подоланню гідрофільно-ліпофільного бар'єру шляхом зменшення гідратного прошарку при дії МВ енергії. Показаний взаємозв'язок між сенсорною характеристикою плодкових гідролатів, дисперсністю і способом теплової обробки плодів у конвективному та мікрохвильовому полі, відмінності у гідродинамічному розмірі частинок дистилатів з плодів дині й огірка, відповідно  $153 \pm 2$  нм і  $336 \pm 36$  нм, та індексом полідисперсності  $0,211 \pm 0,022$  і  $0,436 \pm 0,083$ . Доведено, що запах кінцевого продукту відрізнятиметься за різного способу підведення тепла (об'ємного та поверхневого) до продукту. В описовій характеристиці ароматів у плодкових гідролатах показана їх наближеність до аромату свіжих плодів та перевага мікрохвильового впливу під час виділення та уловлення ароматичних речовин.

За результатами гістохімічного аналізу, при збільшенні в 40 разів, були виявлені структурні зміни сировини після різних видів теплової обробки, а саме: мікрохвильова обробка листя призвела до значного зменшення розмірів і ущільнення клітин, а за конвективної обробки зразки, навпаки, збільшились за розміром, порівняно зі свіжою сировиною. Атрофічні зміни мають в зразках протилежні значення, що обумовлено різним енергопідводом та впливає на реакції попередників сировини. Утворення різних за хімічним складом або ізомерними формами ароматичних речовин під час мікрохвильового та конвективного нагрівання простежено на листових рослинах, баштанних плодів та іншій рослинній сировині. Встановлені зміни аромату пов'язані з наявністю попередників, активністю комплексу ферментів та накопиченням гідроперекисів ліпідів у результаті теплової обробки.

При оптимальних умовах з попередників аромату має місце новоутворення АР (рис.2), що також було перевірено хроматографічним аналізом зразків. Під час виконання досліджень ароматичні речовини були класифіковані на три групи: легколеткі (Лл) – ароматичні компоненти видаляються за атмосферного тиску та кімнатної температури, азеотропи (Аз) – ароматичні компоненти, що

частково видаляються за високої температури, сухою перегонкою або іншим фізичним впливом, нелеткі (Нл) – ароматичні компоненти, що залишаються у сировині після обробки. Ферменти та попередники аромату не відносяться до ароматичних речовин, але здатні продукувати їх до відчутного значення.

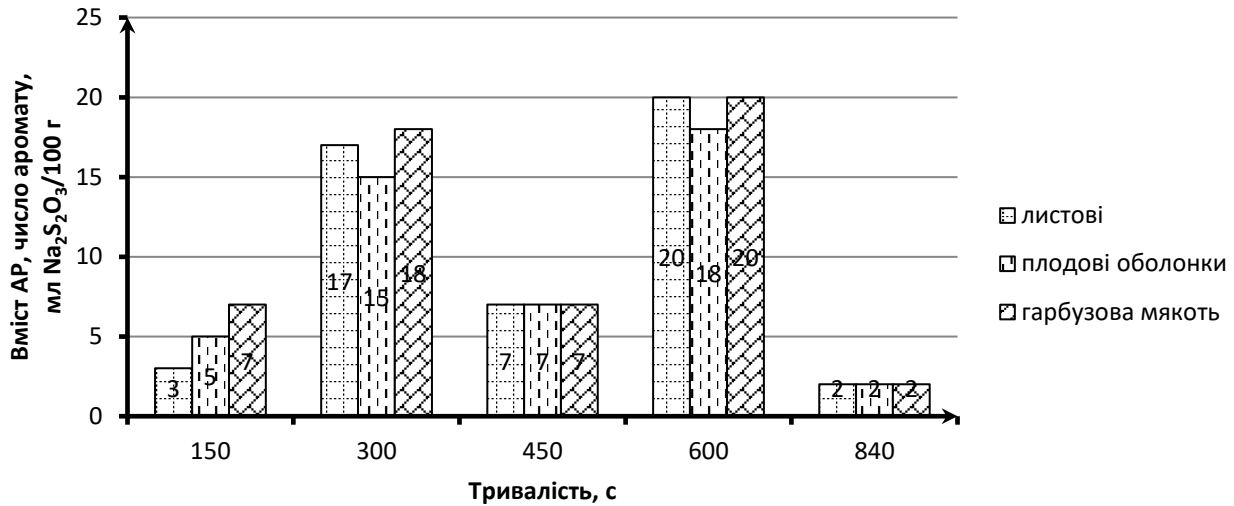


Рисунок 2 – Динаміка виділення АР при обезводненні в МВС

Попереднє видалення Лл та Аз із рослиної сировини або зниження їх рівня, дозволяє встановити умови кінетичної рівноваги, за якої починає відбуватися нове утворення ароматів з попередників. Частково зневоднена сировина при сухій перегонці у вакуумі від 30 до 5 кПа продукує утворення альдегідів, кетонів, похідних спиртів унаслідок збільшення активності мембранозв'язаних гідропероксид ліаз і наявності гідроперекисів – похідних ПНЖК цитоплазматичних мембран. Основний аромат сировини та дистилатів за участю попередників та відповідних ферментів поповнюється відтіочними та додатковими компонентами. Установлено, що такі чинники як: глибина вакууму, активність ферментів, доступність попередників аромату безпосередньо впливають на зміни складу АР. Отримання гідролатів відбувається ефективніше за умов, якщо видалити (відпресувати) частково клітинний сік або вологу (холодне сушіння), оскільки вони накопичують у собі Лл, які стають інгібіторами в процесах наступних утворень АР.

Аналіз ключових ароматичних компонентів м'якоті кавуна та огірка свіжих та після гідротермічної обробки чи заморожування був здійснений за допомогою «електронного носа». Порівняння за площею відбитка доводить, що гідротермічна обробка частково змінює аромат, тому подальший вплив на попередники аромату є обґрунтованим (рис.3). Відбиток аромату після заморожування, на відміну від гідротермічної обробки, має ідентичність з відбитком аромату свіжих плодів. Під час обґрунтування переваг ароматизації на основі попередників аромату була визначена особливість заморожування задля створення прискореної ферментації листя дерев та ягід.

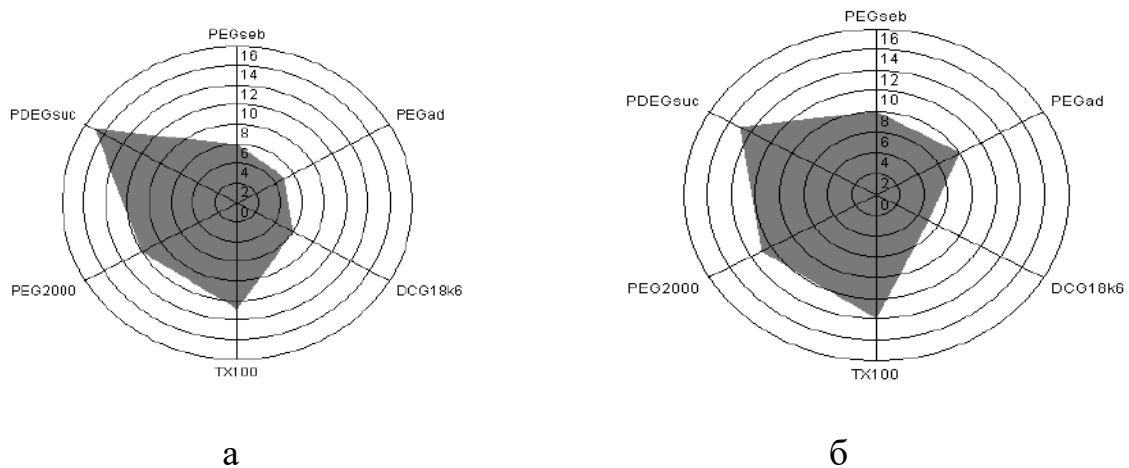


Рисунок 3 – Аромат кавуна: а – відбиток аромату свіжої м'якоти (S=206,11), б – відбиток аромату м'якоти після варіння (S=235,13); позначення: PEGad – поліетиленгліколь адипінат, DCG18k6 – діциклогексан-18-краун-6 TX100 – тритон PEG2000 – поліетиленгліколь PDEGsuc – полідіетиленглікольсукцинат, PEGseb – поліетиленглікольсебацінат

Досліджений процес руйнування аромату: вміст карбонільних сполук (КС) після гідротермічної обробки гарбузових плодів зменшується у 1,5-2,0 рази порівняно зі зразками свіжих плодів, а також порівняно з іншими плодами (томати, солодкий перець, смородина, полуниця). Після термообробки аромат гарбузових відрізняється від приємного через овочевий «варений» тон. Встановлено, що кавуни, огірки, дині після термічної обробки втрачають аромат, оскільки частка їх КС знаходиться у зв'язаному стані з продуктами реакції Майяра. Аромат цих плодів після термообробки має ідентичні характеристики внаслідок спорідненого хімічного складу та подібних реакцій руйнування свіжого аромату.

Аромат продукту після його втрати в результаті теплової обробки (заморожування, консервування або висушування) може бути відновлений водними екстрактами свіжої сировини або внесенням тонкоподрібненої сировини завдяки ферментативним перетворенням (рис. 4).

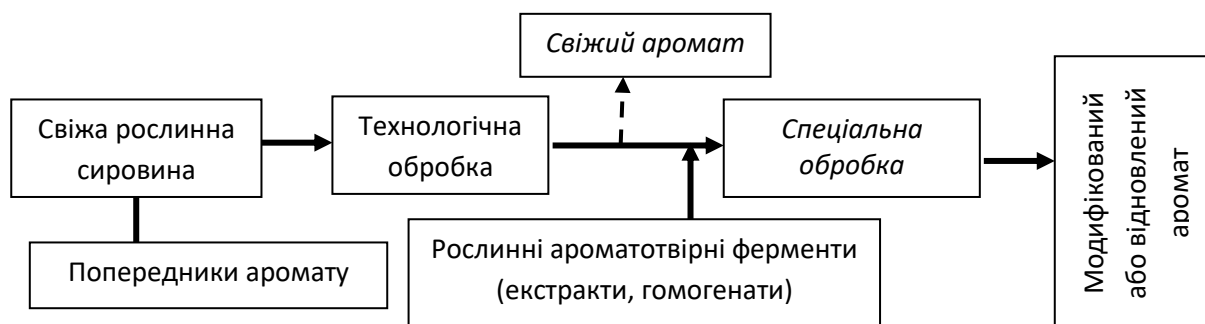


Рисунок 4 – Блок-схема відновлення аромату в продуктах

Встановлено, що узагальнений шлях застосування попередників аромату полягає у використанні тонкоподрібненої рослинної сировини (гомогенатів) з активними рослинними ферментами для збагачення органолептичного профілю термооброблених плодів пюреподібних продуктів.

Установлено, що промислові рідкі ароматизатори динь та кавунів різних видів, виконуючи функцію насичення продукту ароматом, як правило, заповнюють тільки декілька ключових компонентів і лише частково відтворюють аромат плодів. Оскільки впізнаваність і приємні асоціації є факторами, які можуть вплинути на довжину шляху нейронного сигналу і швидкість реакції (виділення слини) були проведені дослідження впливу природи аромату на секрецію слинних залоз. Результати сіалометрії за впливом промислових ароматизаторів, на відміну від лабораторних, у 2,5 рази менше. Присутній зв'язок між натуральністю плодкових рідких ароматизаторів, їх ідентичністю та збільшенням показника сіалометрії під час ретроназального оцінювання.

Установлено, що закономірність відновлення аромату обумовлена таким чинником, як відношення швидкостей взаємодії ферментів з попередниками аромату, їх специфічністю та ізомерними формами. Плоди з невисокою ліпоксигеназною активністю і меншим співвідношенням до субстрату протягом 1 години надають солодкий, фруктовий аромат, а з високою активністю ліпоксигеназ (LOX) та інших ферментів – аромат наближений до свіжих плодів.

Дослідження реакцій попередників свідчить, що у рослинній сировині окиснювальні процеси ПНЖК, викликані рослинними ферментами, проходять швидко, поверхнево і, як наслідок, формують стійкий аромат у продукті на 80–120 хв. або на більш тривалий термін, якщо зміни аромату зафіксувати додатково, наприклад, у середовищі з желатином.

Вилучення та концентрування рослинних ферментів проводили двома способами – традиційним (за методикою Скоупс Р., 70 % спиртом) та розробленим (насиченим розчином кухонної солі). Органолептично аромат кавунової м'якоті після взаємодії з сольовим концентратом ферментів відрізнявся повнотою, інтенсивністю і виразністю, порівняно зі спиртовим концентратом, а число аромату збільшувалось на  $15 \pm 5$  % (рис.5).

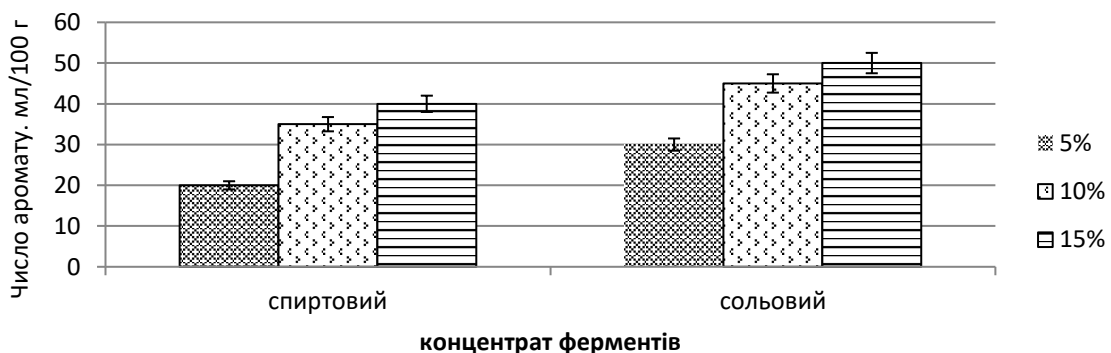


Рисунок 5 – Число аромату м'якоті кавуна з екстрактом ферментів кавунових оболонок

В сольовому розчині ліпідні попередники аромату кавунових шкірок та власний комплекс ферментів призводять до утворення насиченого кавунового аромату. Таким чином, до властивостей попередників аромату ліпідної природи рослинної сировини можна віднести протікання специфічних реакцій у присутності сольових екстрактів рослинних ферментів.



Для розробки факторів керування ароматуванням розглянуті взаємодії попередників із різних рослинних джерел. Взаємодія ліпоксигеназ екстракту ферментів із солодкого перцю з субстратом – ліпідами полуничного пюре (після теплової обробки) призвела до утворення ароматичних речовин. Під час збільшення концентрації ферментів реакцій з попередниками кількість АР збільшується в середньому в 1,5 рази (рис.6).

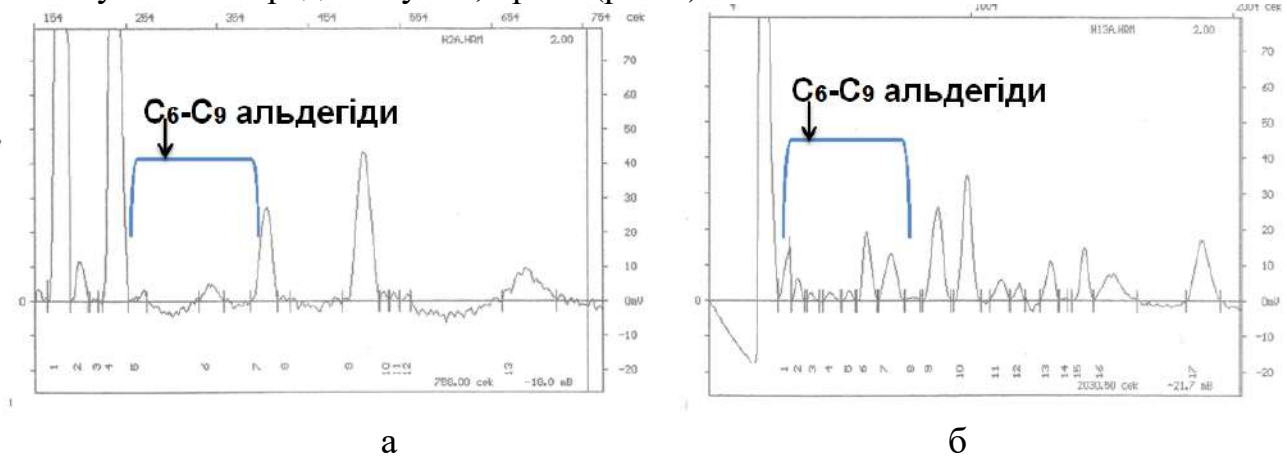


Рисунок 6 – Хроматограма аромату полуниці: а – плоди оброблені гідротермічно, б – плоди оброблені гідротермічно з екстарктом ферментів солодкого перцю.

Під час охолодження гарбузових плодів, а також солодкого перцю, томатів активуються ферменти десатурази, що перетворюють мононенасичені ЖК у поліненасичені ЖК, змінюють місце знаходження подвійних зв'язків у молекулі вищої жирної кислоти. Такі реакції обумовлюють різноманіття утворених альдегідів, кетонів та інших АР. Посилення впливу десатураз підтверджується збільшенням йодного числа (у середньому на 35 г J/100г) охолоджених гомогенатів порівняно зі свіжими, утворенням більшої кількості АР (рис. 7).

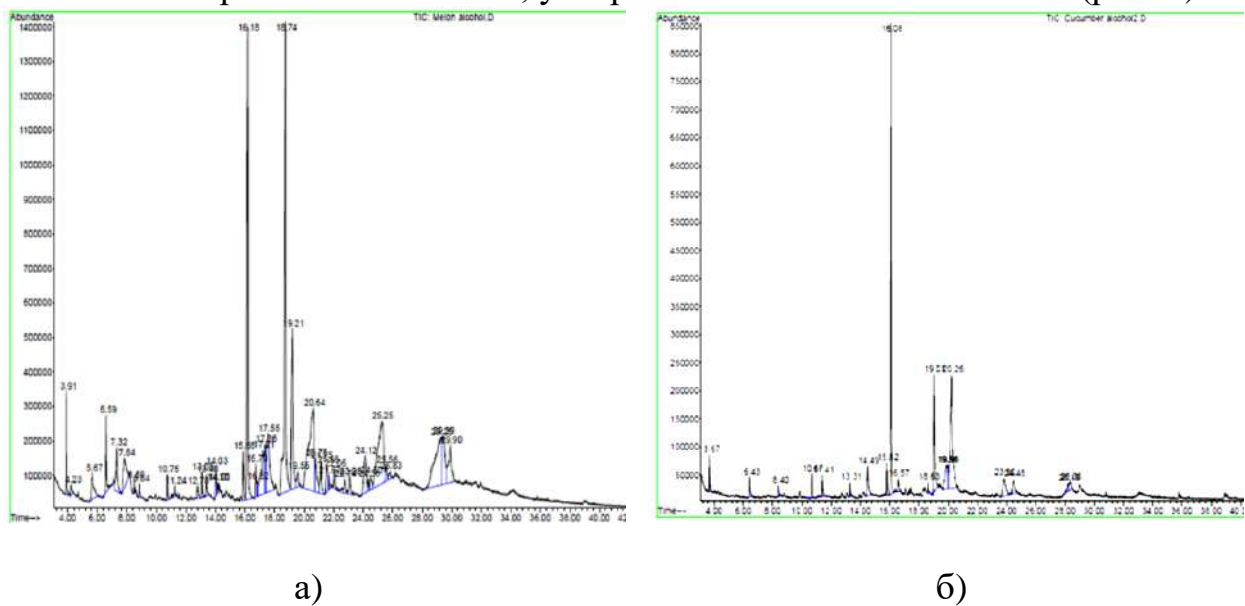


Рисунок 7 – Ароматограма м'якоті свіжозібраних кавунів з попередньою витримкою при позитивних низьких температурах (а) без витримки (б)

Низькі температури від 5 °С до -1 °С в свіжозібраних плодах активізують утворення додаткових подвійних зв'язків або їх зміщення – процес десатурації.

У результаті цих перетворень збільшується концентрація попередників для відновлення аромату. Значення в'язкості гомогенатів в охолоджених зразках у середньому в 1,9 рази нижче порівняно зі зразками, в яких активність десатураз мінімальна або відсутня. У зразках із конвективно нагрітими гомогенатами в'язкість ліпідної фракції стає в 1,6 рази вище, ніж у свіжих гомогенатах.

Запах сирих та оброблених грибів має певні відмінності, які також є результатом взаємодії ферментів з попередниками аромату. Сирі гриби гливи інспектували, очищували, ополіскували водою, нарізали на пластини, відокремлювали контрольний зразок, залишок – пересипали сіллю кухонною. Витримували три доби при температурі  $4\pm 2^\circ\text{C}$ , зливали воду і перевіряли вміст АР (табл.2).

Таблиця 2 – Вміст АР в грибах гливи до і після засолювання ( $p\leq 0,95$ )

Компонент	Концентрація, мкг/мл		Зміна концентрації (+ збільшення, - зменшення)
	сирі	солоні	
C <sub>6</sub> (окрім гексаналу)	81,62	124,2	+ 42,58
C <sub>7</sub>	55,33	12,24	-43,09
Оцтова кислота	1,51	-	-1,51
Гексаналь	0,0019	-	- 0,0019
Стирол	0,0092	0,011	+ 0,0018
1-октен-3-ол	0,0017	-	- 0,0017
Октанол	0,2083	-	- 0,2083
2-пентилфуран	-	0,012	+ 0,012
Всього	138,68	136,46	- 2,22

За результатами встановлено, що після засолювання збільшується вміст C<sub>6</sub> компонентів на 42,6 мкг/мл, а вміст C<sub>7</sub> компонентів зменшується на 43,1 мкг/мл; октанол, 1-октен-3-ол, оцтова кислота і гексаналь відсутні в засолених грибах, а 2-пентилфуран є новоутвореним компонентом. Для розуміння природи цих реакцій були проаналізовані якісні та кількісні зміни жирнокислотного складу зразків (вміст насичених ЖК збільшується на 9,1 %, ненасичених зменшується на 15,5 %, особливо лінолева кислота – на 55 %).

Показано, що аромати свіжого зеленого листя (GLVs – Green Leaf Volatiles) утворюються переважно з попередників, які представлені вільними ПНЖК ліпідів цитоплазматичних мембран, завдяки окиснювальним процесам. Способи перетворень попередників в АР залежать від спільної дії і специфічності комплексу ароматотвірних ферментів. Результати досліджень свідчать про те, що використання комплексу ферментів LOX, HPL (гідропероксид ліаз), присутніх у бобах сої, маш, нуту, гороху відповідає умовам для утворення аромату GLV профілю з вільних ПНЖК («БІОІЛ»). Ізомерні форми ферментів по-різному формували аромат GLV профілю, а саме: екстракти з бобів маш та сої надавали різкий аромат свіжої зелені, скошеної трави, інтенсивність якого зберігалася протягом 10 діб, при використанні екстрактів з нуту і гороху аромат залишався відповідний цим бобовим.

Для зміни аромату цибулі ефективними є рослинні ферменти, такі як мірозінази гірчиці, поліфенолоксидази хрону. Для гальмування процесу утворення цибулевого аромату ефективними є речовини, які містяться в

екстрактах чорного чаю, зеленого чаю, імбиру. За ступенем гальмування ферментативного процесу утворення цибулевого аромату компоненти екстракту імбиру, чорного чаю чинять більш суттєвий вплив, ніж зеленого чаю (табл.3). Запропоновані підходи не потребують виділення рослинних ферментів як таких для участі в реакціях зі зміною аромату кінцевого продукту.

Таблиця 3 – Зміни аромату цибулевого пюре і соку

Спосіб впливу на ферментативні реакції ароматоутворення	Опис аромату пюре через інтервал перевірки		Аромат соку з цибулі	Оцінка дегустаторів
	1-5 годин	6-12 годин		
Екстракт коріння хрону	Ледь відчутний аромат цибулі	Відчутний аромат цибулі	Пекучий з ароматом хрону	3,500±0,051
Суспензія гірчиного порошку	Відсутній цибулевий аромат	Відсутній цибулевий аромат	Пекучий	5,000±0,088
Суспензія гірчиного порошку з інактив. компл. ферментів	цибулевий аромат	цибулевий аромат	Цибулевий аромат	1,136±0,07
З порошком гірчиці	Відсутній цибулевий аромат		Пекучий	4,927±0,03
З імбиром	Аромат імбиру, цибулевий відсутній	Аромат імбиру, цибулевий відсутній	Імбирний, є легкий відтінок цибулі	4,581±0,068
З екстрактом чорного чаю, а після цього суспензією гірчиці	Відсутній цибулевий аромат	Відсутній цибулевий аромат	Овочевий аромат, пекучий відтінок	4,763±0,054

Встановлено, що екстрактивні речовини рослин імбиру, хрону, гірчиці, зеленого та чорного чаю є інгібіторами ароматотвірних ферментів цибулі. Отримані результати дозволяють розробити асортимент харчових продуктів зі свіжої деароматизованої цибулі для систематичного вживання з лікувально-профілактичною метою.

**У четвертому розділі «Наукове обґрунтування біотехнології використання попередників аромату в галузі харчових технологій»** в термооброблених плодах досліджено вплив антиокисних властивостей плодової системи на перебіг реакцій з попередниками аромату. Відповідно до напрямку перебігу вільно-радикальних реакцій відокремлено групу плодів, у яких потенційно можливе відновлення аромату шляхом окиснення ліпідної складової: кавунова м'якоть (червона та біла), гарбуз, диня, капуста, кабачки, солодкий перець, огірки.

Оскільки жирнокислотний склад термооброблених плодів впливає на кінцеві продукти ферментативного розкладання ПНЖК і відповідний аромат, була визначена концентрація та аналіз складу жирних кислот (ЖК) баштанних культур. Аналіз виконаний для прогнозування та моделювання ферментативних процесів за участю ліпоксигеназ, що розщеплюють ЖК до гідроперекисів. Лінолева та ліноленова кислоти становлять у середньому 50–70 % від загальної кількості жирних кислот ліпідів, екстрагованих із кавунової м'якоті та шкірок,

гарбуза (табл. 4). Установлено, що після гідротермічної обробки вміст ПНЖК у плодовій системі змінюється на 3–5 %, має місце утворення насичених ЖК.

Таблиця 4 – Вміст жирних кислот у кавуні та гарбузі, % від загальної кількості (похибка не перевищує 5 %)

Назва жирних кислот	Кавун	Гарбуз	Кавун	Гарбуз
	Свіжі плоди		Оброблені гідротермічно	
Капронова, $C_{6:0}$	5,44	4,83	4,81	3,38
Миристинова, $C_{14:0}$	6,71	-	6,02	-
Пальмітинова, $C_{16:0}$	15,29	11,69	15,68	14,35
Пальмітолеїнова, $C_{16:1}$	-	4,15	-	3,91
Стеаринова, $C_{18:0}$	5,012	6,01	6,74	9,99
Олеїнова, $C_{18:1}$	17,27	20,94	10,25	22,37
Лінолева, $C_{18:2}$	31,81	37,49	33,96	30,92
Ліноленова, $C_{18:3}$	9,15	12,34	10,12	12,92
Арахідонова, $C_{20:0}$	-	0,67	-	-
Інші ЖК	7,03	1,88	10,55	2,81

Установлено, що на проходження реакцій формування аромату з попередників впливає антиоксидантна активність плодів. У свіжій сировині та після різних способів обробки передумови для перебігу реакцій з попередниками різні та залежать від антиоксидантної активності. Значення АОА у свіжих плодах максимальні внаслідок дії декількох ендогенних антиоксидантних систем. Установлено, що в розморожених плодах частка антиоксидантних систем втрачає активність, а варені плоди огірків, гарбуза, кавунів втрачають АОА на 80–90 % на відміну від ягід, солодкого перцю, яблук; найменші показники АОА зафіксовані в екстракті ферментів (рис. 8).

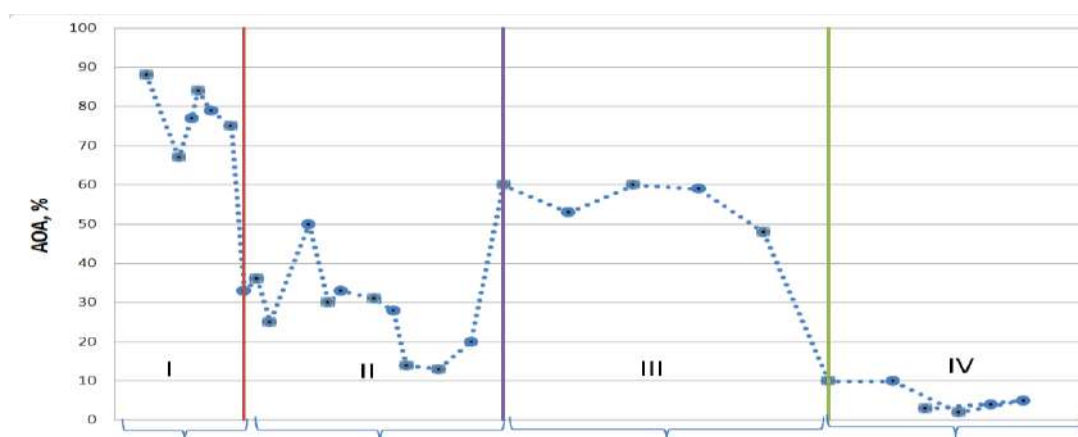


Рисунок 8 – Антиоксидантна активність (АОА) свіжих (I), варених (II), розморожених (III) плодів, екстрактів ферментів (IV)

Гідротермічна обробка баштанних плодів, знижуючи значення АОА, сприяє подальшим окиснювальним реакціям, у тому числі і за участю рослинних ферментів.

Аналіз отриманих результатів показав, що плоди після гідротермічної обробки та заморожування можна умовно розділити на групи з високим і низьким значенням ОВП за діаграмою (рис.9).

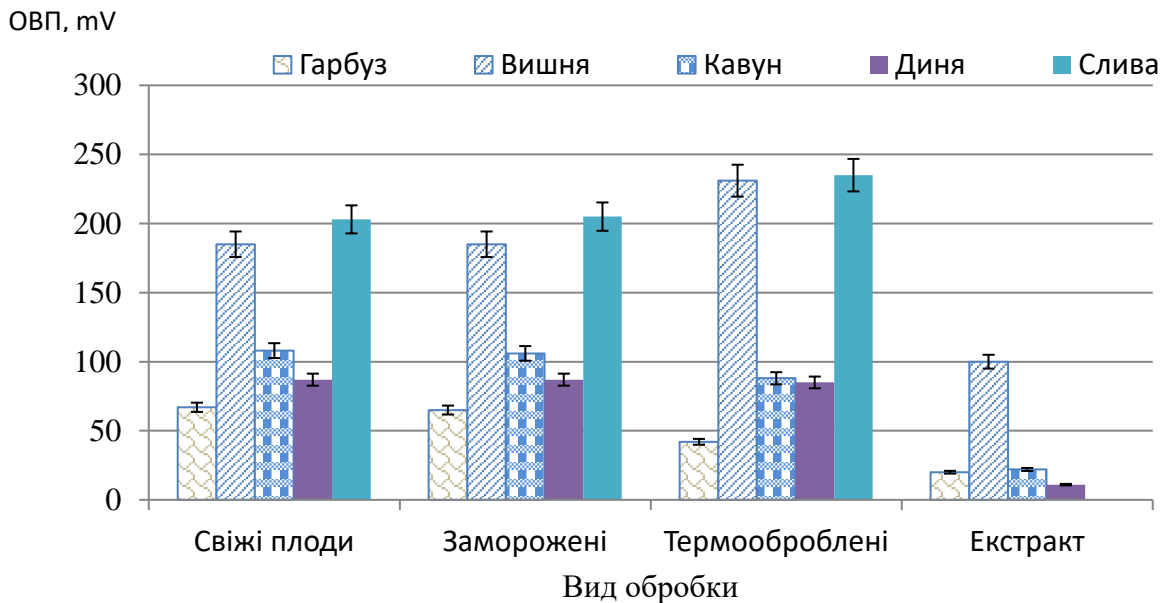


Рисунок 9 – Зміна ОВП у плодах та екстракті рослинних ферментів

Баштанні плоди відносяться до групи з невисоким значенням ОВП 60-110 mV, для плодів із стабільною антиоксидантною системою (слива, вишня) ОВП знаходиться у межах 180-220 mV. Аналіз зміни ОВП довів наступні закономірності: дрібні плоди зі стабільною антиоксидантною системою (вишня, слива) після термообробки мають підвищення значення ОВП на 30-40 mV, у той же час баштанні плоди мають протилежну тенденцію – до зниження ОВП на  $30 \pm 10$  mV. Особливість ОВП полягає в тому, що у свіжих заморожених гарбузових плодів ОВП практично не змінюється після розморожування, а при подальшій термічній обробці свіжий аромат зберігається. Аромат баштанних плодів зберігався при сталому значенні ОВП, втрачався при зниженні ОВП. Установлено, що одним із критеріїв вибору рослинних об'єктів для відновлення втраченого аромату є схильність ліпідних попередників сировини до окиснення. Аналіз антиоксидантної активності, окисно-відновного потенціалу плодів свіжих і після теплової обробки показав тенденції у протіканні окиснювальних процесів. Ці два показники певною мірою визначили здатність плодів до повторного утворення АР з ліпідних попередників.

Оскільки в ланцюгах ненасичених жирних кислот існують численні позиції для утворення гідропероксиду, у результаті реакцій  $\beta$ -розщеплення утворюються різні ароматичні компоненти. Реакції ферментативного утворення ароматичних компонентів із ліпідів істотно відрізняються і залежать від того, що є субстратом-попередником: лінолева кислота чи ліноленова. Крім того, система подвійних зв'язків ПНЖК змінюється при ізомеризації в кон'юговану конфігурацію, наприклад, у 9-цис, 11-транс лінолеву кислоту. Аналіз утворення дієнових кон'югатів і гідроперексидів, малонового діальдегіду був проведений після різних способів технологічної обробки (табл. 5).

Таблиця 5 – Коефіцієнти поглинання світла продуктами первинного та вторинного окиснення ліпідів ( $p \leq 0,95$ )

Продукт	Коефіцієнт поглинання світла	
	Гідропероксиди	Малондіальдегіди (МДА)
Гарбуз сирий	$D_{233} = 0,078$	$D_{532} = 8,27$
варений	$D_{233} = 0,05$	$D_{532} = 15,79$
заморожений	$D_{233} = 0,071$	$D_{532} = 10,13$
Чорна смородина	$D_{233} = 72,00$	$D_{233} = 27,70$
Солодкий перець	$D_{233} = 55,20$	$D_{233} = 18,50$
Вишня	$D_{233} = 64,33$	$D_{233} = 21,65$
Плоди огірка сирі	$D_{233} = 0,016$	$D_{532} = 4,51$
варені	$D_{233} = 0,038$	$D_{532} = 9,02$
заморожені	$D_{233} = 0,025$	$D_{532} = 6,85$
М'якоть кавуна свіжа	$D_{233} = 0,096$	$D_{532} = 27,00$
варена	$D_{233} = 0,015$	$D_{532} = 13,57$
заморожена	$D_{233} = 0,128$	$D_{532} = 35,04$

Ефективність відновлення аромату залежить від кількості утворених 9-, 13-гідроперекисів, які також служать попередниками для ферментів, що утворюють аромат. У розморожених плодах утворення гідроперекисів співпадає з активацією комплексу ферментів, у тому числі HPL, які вступають в реакцію з ними. Тому отримані значення можуть лише частково відображати дійсне накопичення гідроперекисів після розморожування. Утворення МДА у процесі окиснення ліпідів залежить від жирнокислотного складу, причому ступінь ненасиченості жирних кислот із пентадієною системою збільшує МДА. Показано, що метаболічна активність ліпідозалежних ферментів визначається змінами в ліпідному мікрооточенні.

Процеси деструкції ліпідів цитоплазматичної мембрани клітин, як функція зміни площі їх поверхні, впливають на процес відновлення аромату в готовому продукті. Установлено, що зв'язані ліпіди, виділені з м'якоті гідрофільними полярними розчинниками в апараті Сокслета, лише частково впливають на аромат плодової м'якоті. Міцно зв'язані ліпіди також впливають на збереження і відновлення аромату з попередників ліпідної природи: чим більше досягається деструкція ліпідів цитоплазматичної мембрани клітини (до наномасштабних розмірів), тим сильніше виражений аромат у кінцевому продукті. Аналіз результатів гістологічних досліджень показав, що у випадку свіжої та провареної м'якоті забарвлений контур був суцільний і потовщений, а в зразках розмороженої м'якоті спостерігалися розрізнені багаточисельні дифузні включення забарвлених ліпідів.

Установлено взаємозв'язок між фізичними властивостями попередників і кінцевими продуктами ферментативних реакцій утворення ароматів *in vitro*. В умовах вакууму 1–30 кПа має місце розширення локальної ділянки поверхні ліпідного шару, що впливає на зменшення гідродинамічного діаметру до нанометрового діапазону 10-100 нм і збільшення відсотку частинок з такими розмірами (рис. 10).

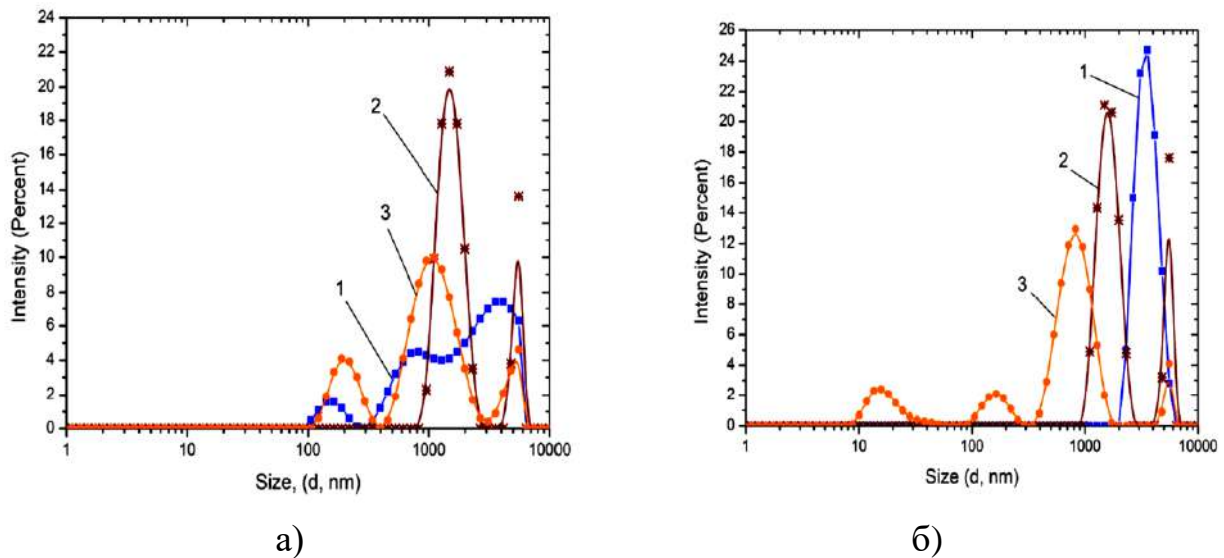


Рисунок 10 – Розподіл часток за розмірами ліпідів із плодів після а) гідротермічної обробки, б) вакуумування (1- без поділу, 2 – поділ у відцентровому полі  $1500 \text{ хв}^{-1}$ , 3 – поділ у відцентровому полі  $4000 \text{ хв}^{-1}$ .)

У зразках дзета-потенціал розподілений у такій послідовності: свіжа сировина < заморожена < гідротермічна обробка. Відповідно до такого розташування можна охарактеризувати стабільність попередників аромату (табл. 6).

Таблиця 6 – Фізико-хімічна характеристика ліпідів огіркового екстракту (похибка не перевищує 5 %)

Назва показника	Свіжі плоди	Заморожені плоди	Гідротермічно оброблені плоди
ζ-потенціал, mV	$-2,87 \pm 0,15$	$-4,11 \pm 0,30$	$-5,50 \pm 0,22$
Розмір, нм	10000...5000	5000...1000	1000...500
Загальний вміст НРОs	8	12	18
Характеристика аромату	Насичений огірковий	Овочевий, грибний відтінок	Трав'яний, суповий
Загальна кількість альдегідів, мг/г	0,079	0,055	0,043

Значення ζ-потенціалу для свіжої та обробленої сировини відрізняються від значень ζ-потенціалу після обробки при розрідженні (значення ζ-потенціалу складає  $-7,53 \pm 0,15 \text{ mV}$ ,  $d_{\text{гідродин}} 15...500 \text{ нм}$ ). Відповідно до таких даних можна охарактеризувати стабільність емульсії з ліпідними попередниками аромату. Розміри часток тригліцеридів, екстрагованих із плодів огірків, розподілені в зворотній послідовності по відношенню до ζ-потенціалу. Зразки баштанних плодів після теплової обробки показали ідентичні закономірності розподілу ζ-потенціалу та гідродинамічного діаметра частинок. Посилення фізичного впливу на ліпідні нанодомени ефективно за умов вакуумування ( $6 \pm 3 \text{ кПа}$ ). У вакуумі має місце розширення локальної ділянки поверхні ліпідного шару, впорядкування гідродинамічних діаметрів – сприятливих умов для ферментолізу.

За результатами гістологічного аналізу попередників аромату показана необхідність збільшення площі попередників ліпідної природи, яка після термічної обробки плодів значно зменшується, що обмежує їх застосування для відновлення аромату. Збільшення площі поверхні контакту впливає на швидкість протікання реакцій ароматоутворення, технологічно забезпечується

диспергуванням системи, яка містить попередники, застосуванням ПАР та розрідженням в межах  $6 \pm 3$  кПа.

Перевірена здатність ферментів, що виділені осадженням у відцентровому полі ( $10000 \text{ хв}^{-1}$ ) з розчинів спирту або кухонної солі, відновлювати аромат у деароматизованому плодovому пюре. Встановлено, що відновлення аромату в плодovому пюре ферментними екстрактами знаходиться в межах 60 %. Для відновлення аромату термообробленої кавунової м'якоті достатньо використовувати сольовий розчин ферментів, екстрагованих з кавунових шкірок. Кількість АР в емульсії олеїнової кислоти з екстрактом ферментів огірка збільшується при ферментації у вакуумі 7 кПа від 0,5 мкг/мл до 15,5 мкг/мл (рис.11).

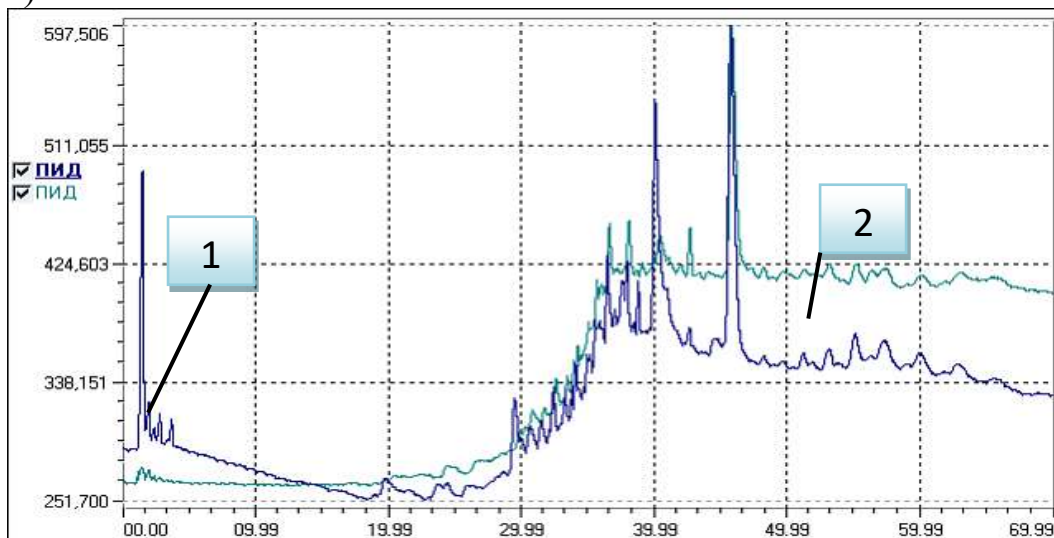
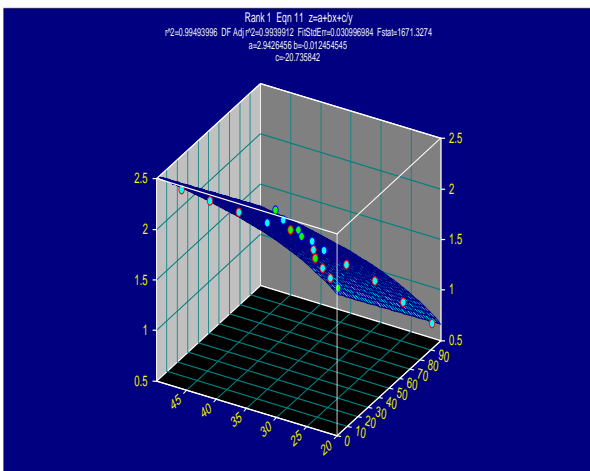


Рисунок 11 – Хроматограма АР за різних умов ферментолізу (1- ферментоліз при атмосферному тиску, 2 – ферментоліз у вакуумі)

Складено модель оптимального перебігу реакцій в системі з попередниками, їх здатності до реакцій утворення ароматичних компонентів (рис. 12). Рівняння регресії, що описує математичну модель:



$$Y = 2,94 - 0,125 \cdot x_1 - 20,73/x_2,$$

де  $x_1$  – тиск, кПа.

Верхній рівень – 91,3 кПа,

нижній рівень – 1,3 кПа,

інтервал варіювання – 10 кПа;

$x_2$  – температура, °C.

Верхній рівень – 46 °C,

нижній рівень – 20 °C,

інтервал варіювання – 3 °C;

y – число аромату, відносні одиниці.

Рисунок 12 – Графічна інтерпретація залежності числа аромату від тиску (P) і температури (t)



Низька стабільність і труднощі очищення HPL є обмежуючим фактором для перетворення похідних вищих ненасичених жирних кислот у бажаний аромат. Установлено, що в анаеробних умовах за глибини вакууму  $6\pm 3$  кПа завдяки дії розклинювального тиску відновлюється група HPL-залежних ароматичних компонентів. Подолання позитивного розклинюючого тиску, сприяє тому, що гідратний прошарок стає тоншим під дією зовнішніх сил і призводить до злипання або злиття дотичних тіл. У випадку колоїдних систем це означає коагуляцію або коалесценцію частинок дисперсної фази, для даного дослідження – взаємодію ферментів з попередниками. Комбінована обробка плодів у вакуумі глибиною  $6\pm 3$  кПа супроводжується оптимальним температурним режимом для активації ферментів плодів ( $32\pm 2$  °C) та їх реакції з попередниками аромату.

Використання неочищених комплексів ферментів, таких як ліпаза та ліпоксигеназа пшеничних висівок, гідропероксид ліази гомогенатів потребує внесення поверхнево-активних речовин або міцелярних розчинів, що викликають зміни в доступності цих ферментів для проведення реакцій (рис. 13).

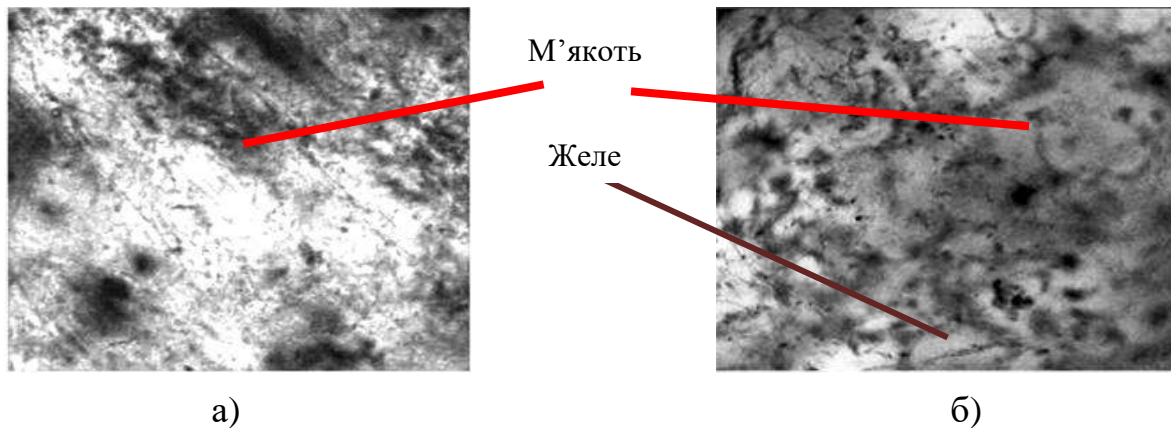
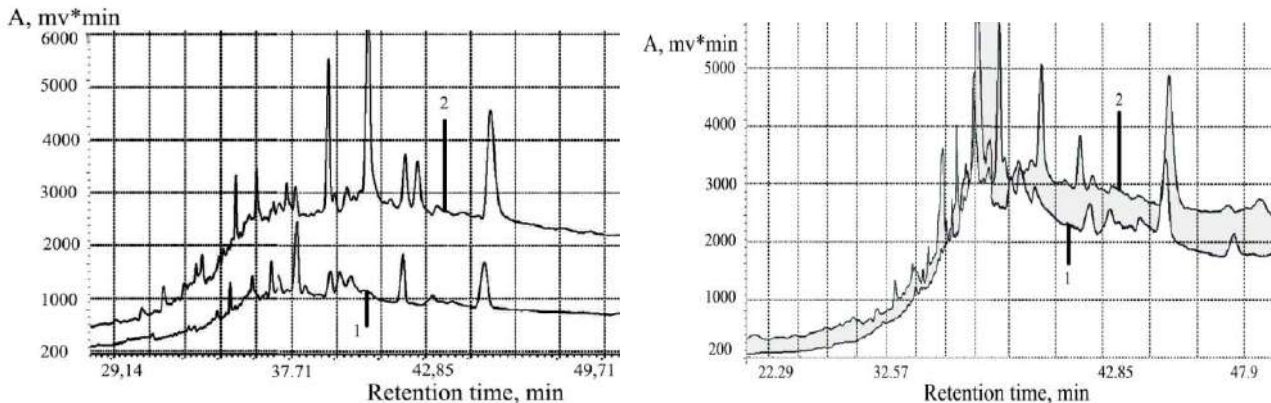


Рисунок 13 – Інтерміцелярний простір кавунової м'якоті (а) та желатинового желе з кавуною м'якоттю (б) (збільшення 40 р)

Установлено, що спосіб уведення екстракту ферментів у розчин желатину та плоду м'якоть суттєво впливає на швидкість і глибину перебігу реакції утворення аромату (екстракт ферментів вносять у желатиновий розчин температурою  $40\pm 2$  °C). Розчин желатину забезпечує максимальну доступність субстрату кавунових волокон до активних центрів ферментів висівок пшениці, збільшуючи число аромату. Желатинове желе, маючи властивості поліелектроліту, посилює взаємодію між білок-білковими асоціатами желатин-фермент і частинками м'якоті за переходом розчину желатину в структуру з потрійними молекулярними ланцюгами при застиганні.

Желатинові розчини здатні іммобілізувати ферменти з водного екстракту, маючи поверхнево-активні властивості, збільшувати поверхню контакту фермент-субстрат і забезпечувати електропритягнення частинок. У період міжфазових переходів гель-золь аромат вивільнюється із харчової матриці та має різні характеристики: у желе (відновлений аромат) переважали свіжі тони, як результат дії ферментів, у желе (адгезія) переважали уварені й овочеві ноти.

Ініціювання впливу на реакції між попередниками аромату та ферментами було досліджено в умовах чистих культур міцелію гриба *P. ostreatus*, (Jacq.) P. Kumm., штам К 17 (рис.14).



а

б

Рисунок 14 – Фрагмент хроматограм АР *P. ostreatus*: а – міцелію, б – культуральної рідини, 1 – стандартне середовище, 2 – стандартне середовище з пшеничними висівками

В культуральній рідині вміст 1-октен-3-олу збільшується в 1,4 рази порівняно зі зразками, культивованими на поживному середовищі без пшеничних висівок; у міцелії, культивованому на поживному середовищі з пшеничними висівками, загальна кількість ідентифікованих АР збільшується в 1,7 рази. Результати цього дослідження підтверджують, що в утворенні основних грибних ароматичних компонентів 1-октен-3-олу, гексаналю брали участь поліненасичені жирні кислоти, а саме лінолева кислота. Її вміст зменшувався протягом культивування в середовищі з пшеничними висівками одночасно з накопиченням ароматичних компонентів. Отримані дані демонструють роль ініціювання ферментативних окислювальних реакцій в зміни аромату *P. ostreatus* при культивуванні на рідкому поживному середовищі.

Усі коливання вмісту SFAs/MUFAs/PUFAs макроміцетів можна розглядати як результат ферментативних реакцій індукцйбельного типу, які синтезуються у відповідь на вплив певного фактора зовнішнього середовища. При аналізі даних щодо концентрації жирних кислот з довжиною ланцюга  $C_{18}$  можна відзначити коливання рівнів вмісту насичених ( $C_{18:0}$ ) та ненасичених сполук ( $C_{18:1\omega-9}$ ;  $C_{18:2\omega-6}$ ) за різних світлових режимів. Опромінення LED впливає на жирнокислотний профіль міцеліальної маси макроміцетів (*H. erinaceus*, *I. obliquus*, *L. edodes*, *G. lucidum*). Зміни відбувались як у кількісному так і якісному складі компонентів ліпідної природи (рис.15), що відобразилось на утворенні аромату. У культуральній рідині *I. obliquus* IBK-1877 при опроміненні 530 нм збільшився вміст АР порівняно до контрольного зразка в 1,24 рази. На гальмування ферментативного утворення аромату в плодкових тілах *I. obliquus* IBK-1877 вплинула наявність меланінового пігменту, який при опроміненні виконав захисну роль в окисних реакціях ПНЖК, що пояснює зменшення АР в дослідних зразках.

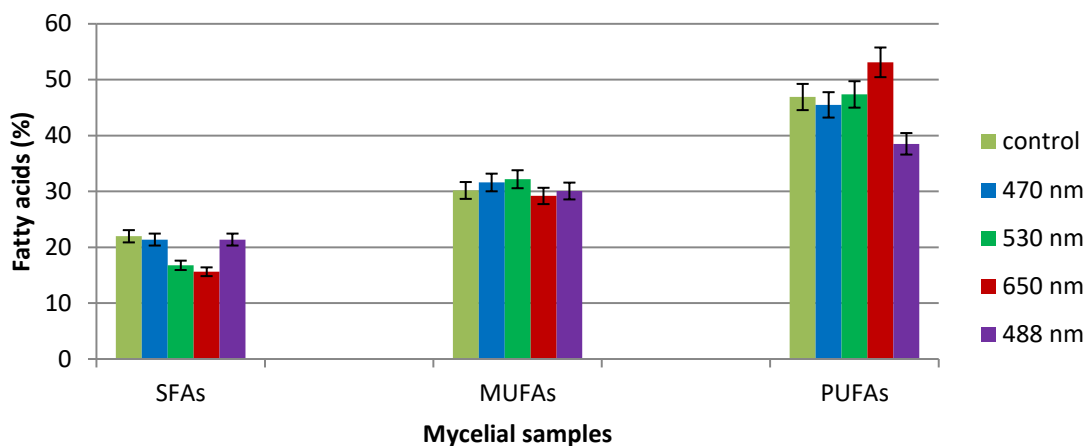


Рисунок 15 – Сумарний вміст насичених, моно- та поліненасичених жирних кислот у міцелії *H. erinaceus* ІВК-977 за різних режимів опромінення.

Найбільші зміни аромату в грибній масі, як і культуральної рідини, відбулися при обробці 530 нм: вміст АР збільшився у 25 разів у біомасі та у 28,5 разів у культуральній рідині для *L. edodes*, в 1,4 рази – для *G. lucidum*, в 2,5 рази – для *H. erinaceus*. Встановлено, що використання колоїдного розчину наночастинок Ag, Fe та Mg у складі стандартного поживного розчину та опромінення LED негативно вплинуло на процеси ароматоутворення міцелію макроміцетів *G. lucidum* ІВК-1621. У той же час вплив колоїдного розчину наночастинок Fe без опромінення дозволив збільшити вміст АР у міцелії порівняно з контролем (без наночастинок та опромінення) в 9 разів.

Систематизовані фактори керованого впливу попередниками аромату в ферментативних процесах модифікації аромату (рис. 16).

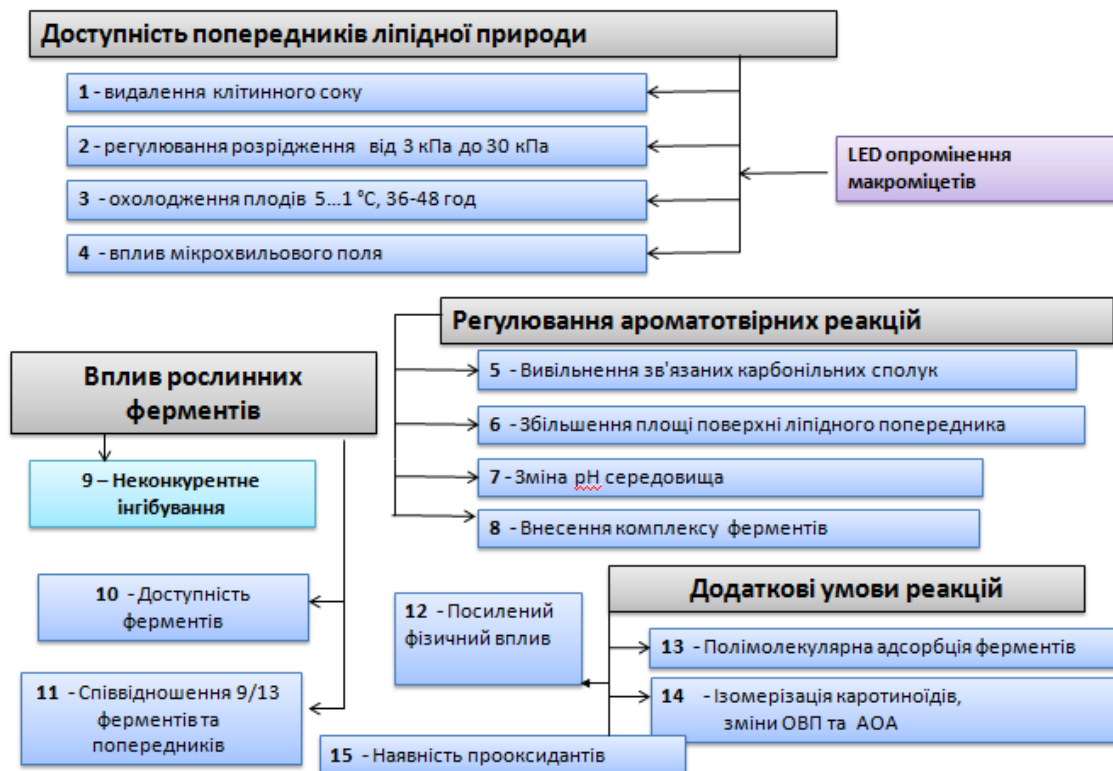


Рисунок 16 – Фактори керованого впливу на процеси утворення аромату

У п'ятому розділі «Практична реалізація біотехнології ароматизації харчових продуктів» узагальнено специфічні умови ферментативних реакцій *in vitro* відновлення втраченого аромату баштанних плодів за участю попередників, модифікації цибулевого аромату. Біотехнологія аромату харчової сировини відбувається за узагальненою схемою (рис. 17).

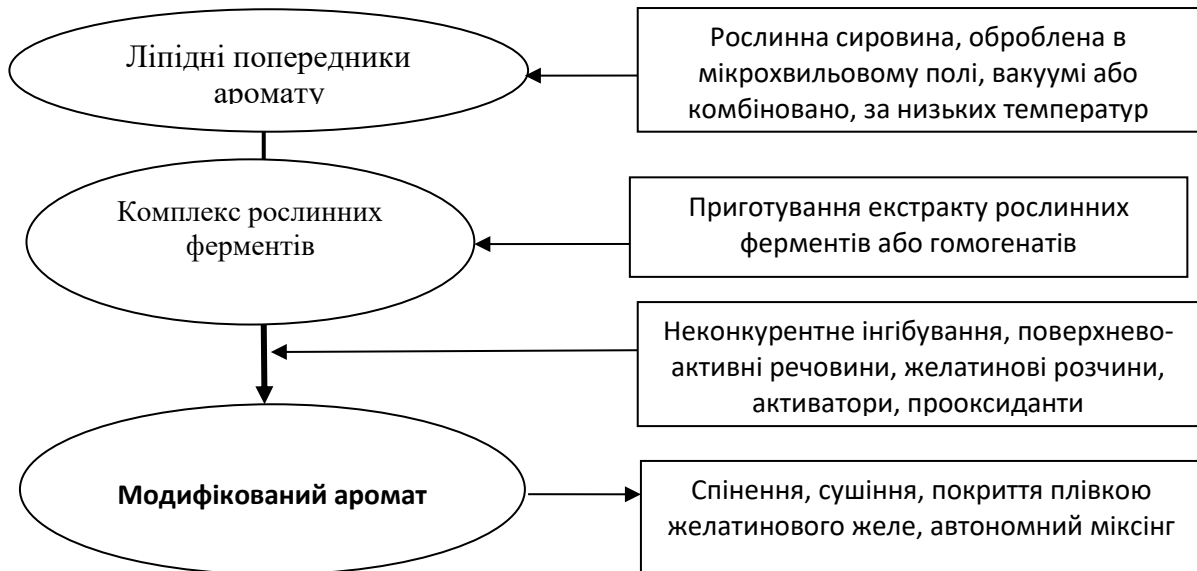


Рисунок 17 – Принципова схема відновлення модифікації аромату рослинної сировини

У розроблених технологіях як готовий ароматизатор використовували гідролати і висушену сировину (рис. 18).

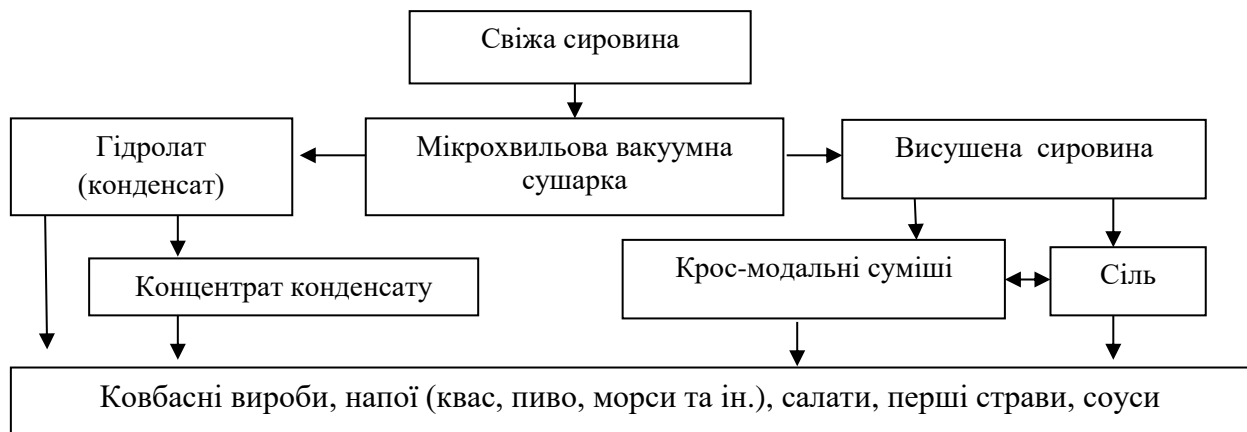


Рисунок 18 – Блок-схема отримання кінцевих продуктів шляхом МВС

Залежно від конструкції МВС варіанти пристроїв для уловлювання конденсату можуть бути різні: вставка-конденсатор, краплеуловлювач, ексикатор (з адсорбентом). Тривалість обробки в МВС: листя буряка – 14...16 хв, бадилля моркви – 11...13 хв, листя перцю, горіха, смородини, м'яти – 10...12 хв, вичавки огірків, ягід калини – 8...10 хв, шкірки кавуна, шкірки дині – 16...20 хв, гарбуз – 14...17 хв. Дистильати, в кількості  $250 \pm 50$  мл, були отримані під час висушування одного виду сировини або суміші за технологічною схемою:

підготовка листя, бадилля, вичавок, шкірки → подрібнення → розміщення сировини в камері → установка режиму розрідження 7–9 кПа → установка режиму МВ нагрів 0,6–0,8 кВт → висушування сировини та збір конденсату → складання крос-модальних сумішей (із висушеної сировини) та концентрація або реалізація конденсату. Розроблені технології отримання рідких ароматизаторів – гідролатів у МВС і їх криоконцентрування. Наведені результати фракціонування дистилятів за низьких температур -12 °С, -18 °С, -20 °С. Визначено оптимальні параметри криообробки дистилятів, які залежать від кількості органічних компонентів, що визначають насиченість аромату, та їх якісного складу: для числа ароматів 2,0–2,5 мл  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3/1$  г оптимальна температура виморожування – мінус 12 °С, у діапазоні 2,6–3,0 мл  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3/1$  г – мінус 18 °С. Фізико-хімічні властивості гідролатів: світла, злегка жовтувата рідина, рН 5,0, питома вага 0,833–0,915, добре розчиняється у спирті й інших органічних розчинниках. У процесі герметичного зберігання гідролати стійкі до мікробного псування і втрати ароматів протягом 3 місяців. Гідролати із концентрацією  $\text{C}_6$ – $\text{C}_9$  альдегідів  $0,8 \pm 0,02$  мг/100г мають антисептичні властивості: кількість бактеріального обсіменіння продуктів зменшується в 3 рази, дріжджів – у 1,4 рази.

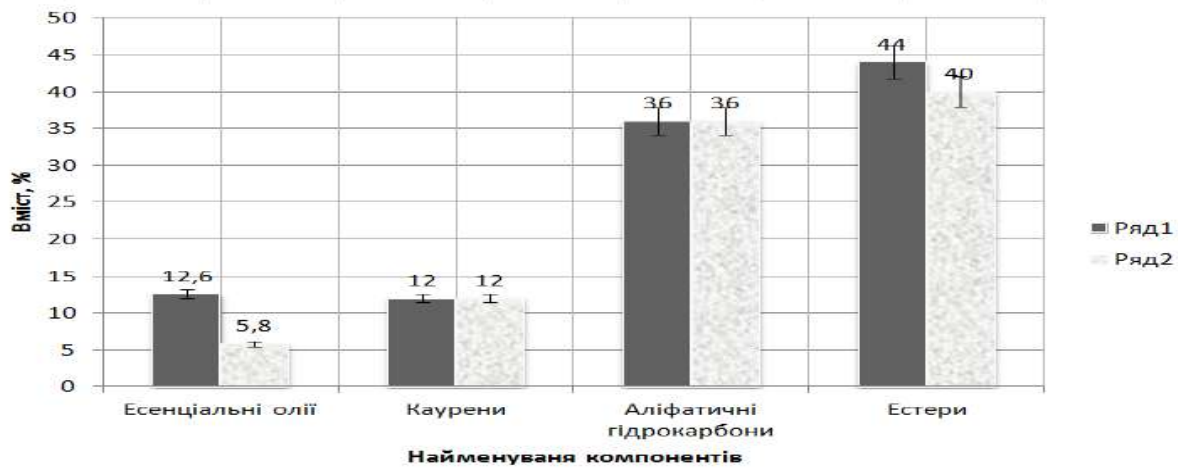
Листя плодкових дерев, липи і ягід ферментували за технологією листя чаю (рис.19). Особливістю ферментативного впливу на попередники аромату при цьому є зав'ялювання і отримання кінцевого аромату подібного до плодів або цвіту. У дослідженнях процес зав'ялювання проводили двома способами: шляхом заморожування та традиційним (для чайного виробництва) способом, відповідно сформувані дві технології подальшої обробки листя - прискореної ферментації та традиційної.



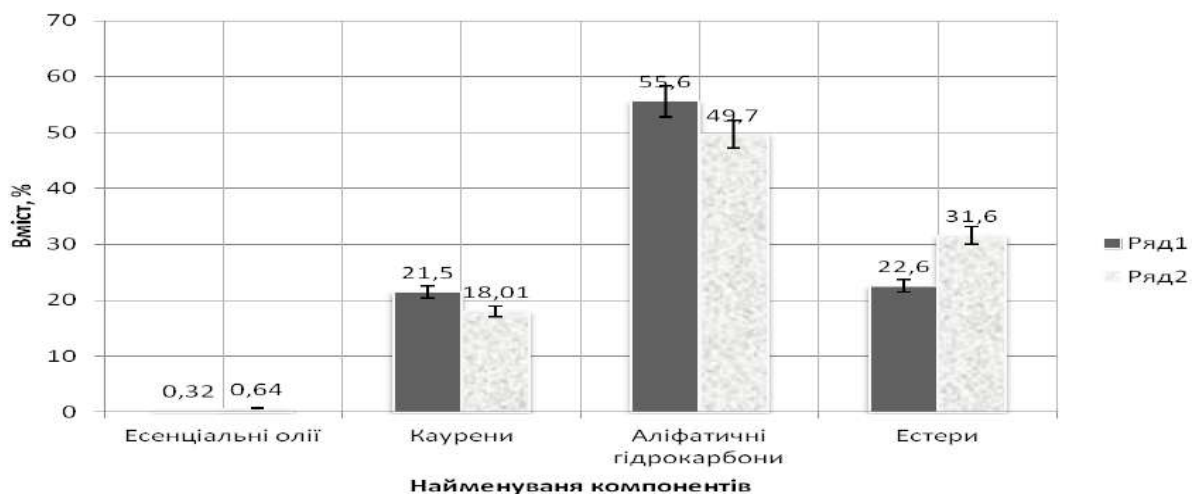
Рисунок 19 – Листя ферментоване (а) та напої з нього (б,в)

Напої з листя, ферментованого за прискореною технологією мали меншу інтенсивність аромату, але у кожному зразку можна було зрозуміти ідентичність листя плодам чи ягодам. Встановлено, що вибір періоду збору листя вишні та липи дозволяє досягти після ферментації максимального наближення до вишневого аромату або цвіту липи (рис.20).

Рослинні ароматотвірні ферменти листя липи мають більший вплив на аромат в період до цвітіння, ніж після цвітіння, а в листі вишні – після плодоношення. Екстрагування ферментованого листя липи водно-спиртовим розчином дозволило зберегти аромат у розчині на період до 6 місяців.



а



б

Рисунок 20 – Вміст ароматичних компонентів та їх попередників в ферментованих листях липи (а) та вишні (б), зібраних в різні періоди. Для листя липи (а) ряд 1 – до цвітіння, ряд 2 – після цвітіння, для листя вишні (б) ряд 1 – до плодоносіння, ряд 2 – після плодоносіння (значення являють собою середнє  $\pm$  стандартне відхилення,  $n = 3$ ,  $p \leq 0,05$ )

Представлені теоретичні положення утворення і відновлення ароматичних компонентів були покладені в основу технології продукції з рослинної сировини. Основні напрями розроблених технологій – модифікація аромату, отримання рідких і емульсійних ароматизаторів, відновлення втрачених ароматів у продукті. Кожен напрям є системою з різними підсистемами, пріоритетами, актуальністю та привабливістю для споживача й виробника.

Перевагою в технологіях із використанням попередників є натуральність і доступність компонентів, відповідність аромату початковому продукту, використання у галузі органічного виробництва харчової продукції. Усі підсистеми відновлення аромату розроблені для проведення основного процесу – реакцій за участю попередників (рис.21). Технологічні рішення щодо використання рідких ароматизаторів і ароматизованих продуктів не універсальні, відрізняються в кожному зі способів ароматизації харчової продукції.

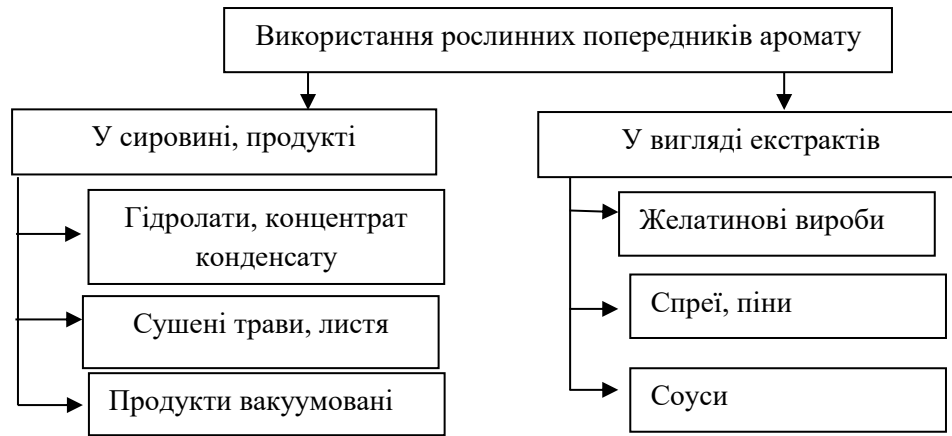


Рисунок 21 – Блок-схема використання попередників у процесах ароматизації. Зі свіжої сировини: шкірки кавуна та дині, огірка, листя перцю, смородини, базилику, горіха, бадилля буряка, моркви готували крос-модальні суміші, що використовували для складання рецептури ароматизованої солі «Sol'ka». Упровадження здійснювалось за такою технологічною схемою:

- підготовка пряно-ароматичних трав;
- підсушування до вологості 55 % у мікрохвильовому полі (0,3 кВт);
- змішування з сіллю (1:1);
- нагрівання у мікрохвильовому полі (0,6–0,8 кВт);
- подрібнення, просіювання.

Процеси утворення аромату з попередників (ПНЖК) і рослинних LOX і НРЛ, що проходять під час поєднання дії мікрохвильового поля і вакууму, дозволяють продукувати достатню кількість ароматичних речовин. Як сорбент для ароматичних компонентів в таких процесах була використана кухонна сіль. Висушування солі та трав (кропу, базилику, бадилля моркви, листя буряка, перцю, горіха) за умов попереднього видалення Лл та впливом МВ енергії сприяло сорбції аромату на сіль.

Запропоновано найбільш раціональне поєднання крос-модальних сумішей для ароматизації солі й отримання відповідних конденсатів:

- листя перцю та базилику (співвідношення 5:2);
- листя горіха та бадилля буряка (співвідношення 1:1);
- бадилля моркви та кавунові шкірки (співвідношення 2:1).

Використання солі ароматизованої «Sol'ka» дозволяє понизити рецептурну кількість солі в стравах без шкоди для ароматичного профілю.

Отримання емульсійних ароматизаторів: ароматизована основа для емульсій виготовляється шляхом вакуумної обробки попередників і джерела рослинних ферментів. Для отримання ароматизованих емульсій шляхом реакцій з попередниками розроблені спеціальні суміші, які складаються із попередників аромату (5–25 %), водних екстрактів ферментів LOX із рослинної сировини (45–65 %), плодівих вичавок (джерело НРЛ) (10–35 %), ПАР або активаторів процесу ферментативного утворення ароматичних компонентів. Отримані основи є густими пюреподібними продуктами, що після змішування обробляють у апараті су-від та вакуумному маринаторі.

Встановлено, що специфічний аромат молочної сироватки, який обмежує її використання в харчовій галузі, піддається модифікації завдяки новим підходам до реакцій із попередниками аромату. Процес отримання модифікованої молочної сироватки (МС) із заданими ароматами залежить від ферментативних та теплових перетворень попередників білкової природи. Ліпіди та вуглеводи молочної сироватки не мають істотного впливу на процеси ароматоутворення. Комплексні ферментативні реакції з компонентами МС призводять до утворення солодких, м'ясних, сирних ароматів різних стадіях розщеплення сироваткових білків.

Експериментальні дослідження щодо властивостей попередників аромату були використані при розробці технології ароматизованих напоїв з сирі картоплі (рис.22). Найбільш активний фермент сирі картоплі ліпоксигеназа-5 обумовлює ліпоксигеназний шлях утворення сирого картопляного запаху. Утворення кавунового аромату або томатного пов'язане саме з активністю ліпоксигеназ, тому була розглянута можливість застосування плазми цих плодів. Рекомендовано для ароматизації застосовувати плодovu плазму отриману шляхом заморожування, білу кавунову м'якоть подрібнювати разом із картоплею і заморожувати.

Напій картопляний з екстрактом ферментованого листа



Напій картопляний з сироваткою



Квас картопляний



Напій картопляний з ароматом кавуна



Напій картопляний з комбучею



Рисунок 22 – Експериментальні зразки напоїв на основі картопляного соку

Внесення невеликої кількості соку пророслих злаків в овочево-термооброблене пюре помітно покращує його ароматичний профіль за допомогою відновлення специфічних рослинних нот. Установлено, що для приготування ароматизованої емульсії «Хвиля свіжості» необхідно використати хлорофіл-білковий комплекс із паростків пшениці. Розроблено технологічні картки, схеми приготування сирних закусок і заправки для салату. Розроблено рецептури та технологічні схеми виробництва ароматизованих соусів дієтичного призначення. Суть технології ґрунтується на здатності екстрактів ферментів сої надавати відвареній м'якоті дині та гарбуза аромату спеціальних добавок (пелюстки троянд, квіти липи та ін.), що втрачається під час уварювання. Визначено, що оптимальна концентрація внесення ферментних екстрактів становить 15 % до кількості плодового пюре. У ресторанній галузі використані динні, яблучні, квіткові, грейпфрутові натуральні аромати, отримані з ферментів сої та пшеничних висівок. Розроблено рецептури соусів «Привіт із осені», «Маківка», «Вінок», «Оптима» та ін. (рис. 23). Встановлено, що використання



гарбуза під час варіння субпродуктів запобігає утворенню салистого аромату, який утворюється під час тривалого варіння.

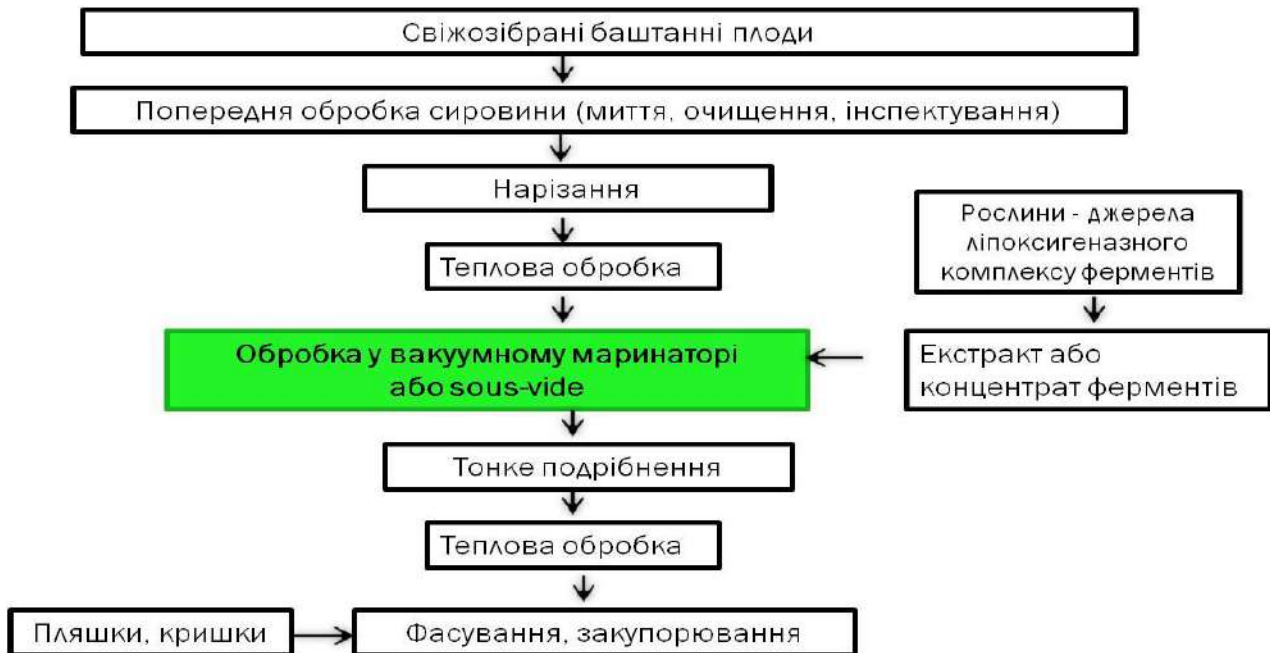


Рисунок 23 – Схема виробництва ароматизованих продуктів

Розроблений асортимент продукції з відновленим ароматом для фасування з автономним міксіном: пюре гарбузове з ароматом пелюстків троянд, пюре кавунове з ароматом свіжого кавуна, пюре дині з ароматом свіжої дині, сік з сирії картоплі з ароматом паростків пшениці, сік паростків пшениці з ароматом свіжого огірка, пюре з капусти з ароматом огірка та ін.

Модифікація аромату плодового термообробленого пюре полягає в збільшенні карбонільних сполук (рис.24).

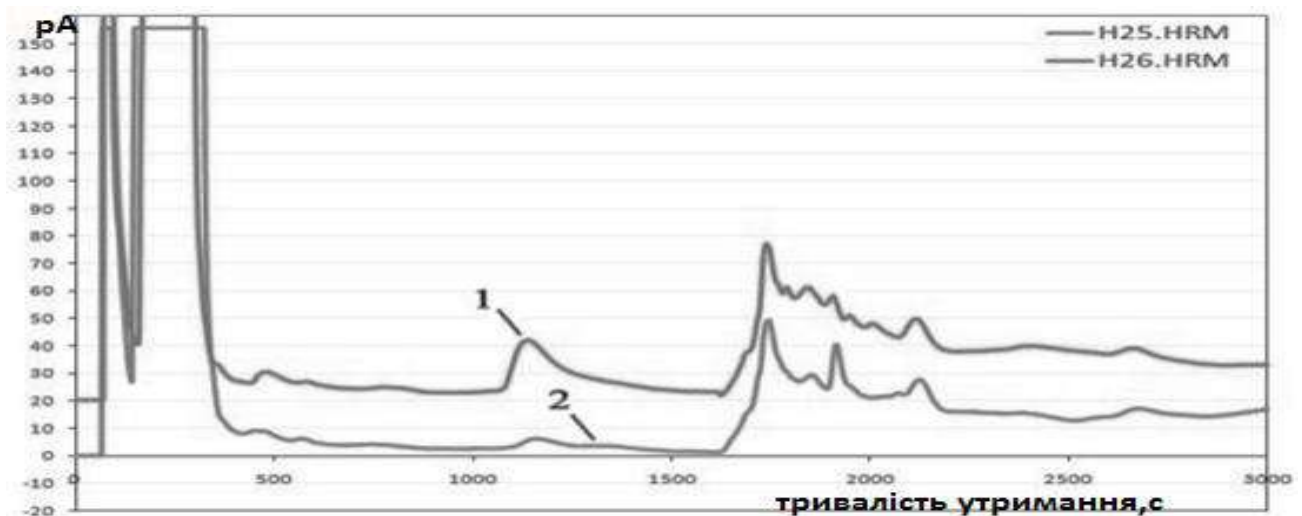


Рисунок 24 – Хроматограма аромату плодового пюре (1 – аромат свіжого кавунового пюре, 2 – ферментативно модифікований аромат термообробленого кавунового пюре)

Розроблені рецептури та технології виробництва ароматизованого желе з цибулі, паштет з цибулі (рис. 25, 26) та желе з кавунової м'якоти.



Рисунок 25 – Ароматизовані продукти на основі реакцій з попередниками (цибулеве желе для закладів ресторанного господарства, паштет з цибулі, цибулеве желе для промислового виробництва, напій з картопляним соком)

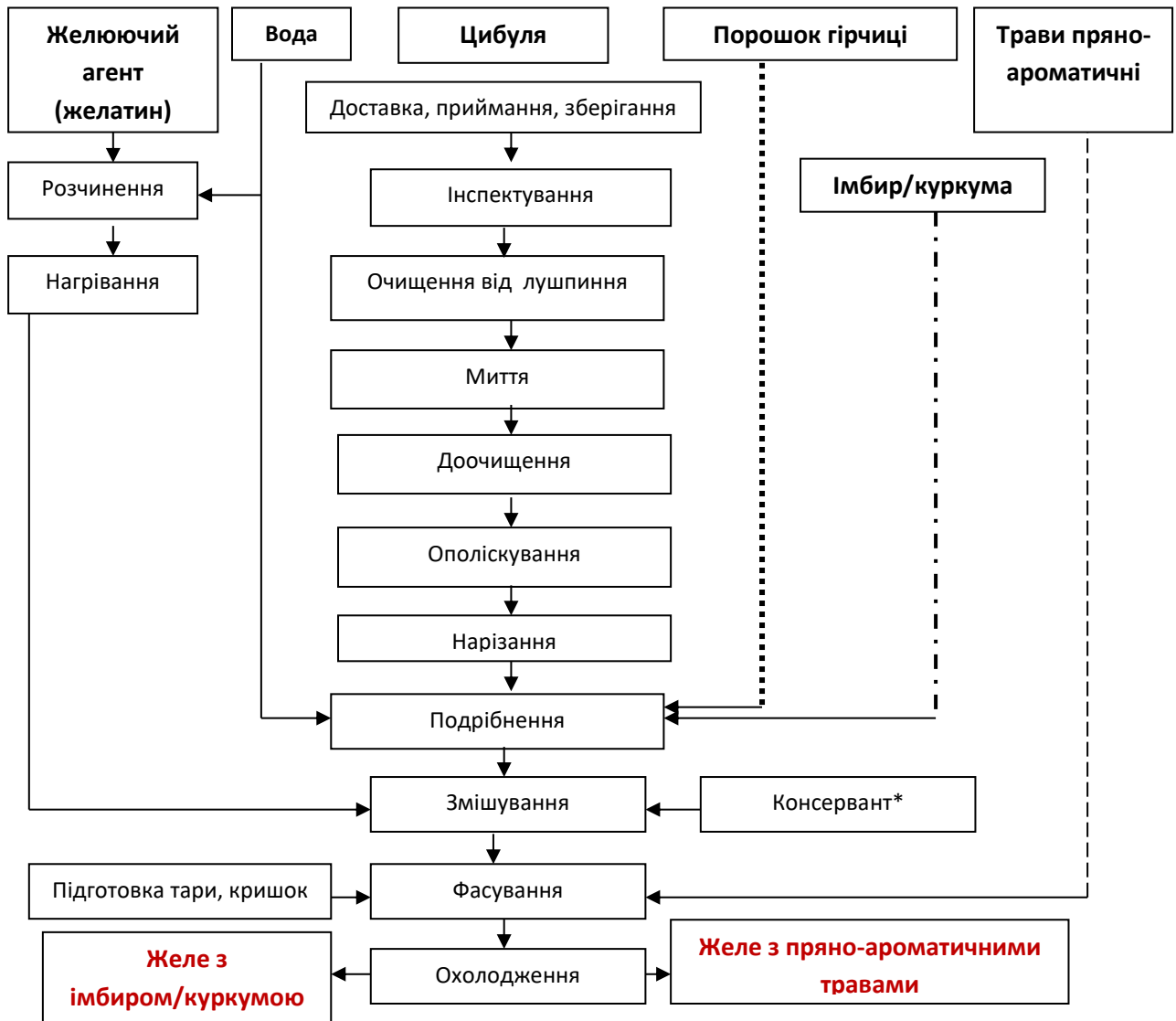


Рисунок 26 – Схема виготовлення желе з цибулевого пюре (\*консервант – для промислового виробництва)

Установлено кореляцію між зменшенням вмісту амінокислот і аромату в подрібненій дині. Відновлення аромату дині відбувається не через окисні процеси ліпідів, а при введенні джерел амінокислот. При використанні бобових, процес відновлення аромату дині стає більш ефективним, особливо з нутом. Компоненти темпурного борошна та гомогенат дині розширюють можливість вивчення процесів зв'язування ароматів у системі «вуглеводи-амінокислоти».

Ароматизовані продукти перевірені дегустаційними комісіями закладів, у яких проводилось впровадження або апробація. Соціальний ефект полягає у збереженні здоров'я населення України та можливості споживання продукції без хімічних добавок. Систематизація дієтичних страв дозволила розділити їх на групи й надати рекомендації стосовно ароматизації харчової продукції (табл. 7).

Таблиця 7 – Рекомендації стосовно ароматизації дієтичних страв

Категорія споживачів, які потребують спеціальної дієти або у стадії ремісії	Найменування страв	Спосіб ароматизації
Хворі на гепатит, ожиріння, панкреатит. Літні люди, вегани, прихильники здорового харчування	Супи на овочевих відварах, соуси, холодні фруктові супи, овочеve пюре	Спреї, піни, гідролати ароматизована сіль, сушена сировина
Хворі, які потребують дієти з кардіопротекторним та імуномодельючим впливом	Желе та паштет з цибулі	Ароматизоване желе на желатині або агарі
Хворі з виразковою хворобою, диспепсичними явищами, які потребують дієти з гастропротекторним впливом та противиразковою дією	Напої з сирі картоплі, грінки, пюреподібні страви з гарбуза	Ароматизовані олії, ароматизована сіль
Діти, хворі на функціональний розлад шлунку	Желе фруктове, холодні фруктові супи	Ароматизоване желе, холодні супи

Враховуючи одноманітність більшості дієт, їх віддаленість від звичайних страв, нами вирішена задача, яка дозволяє притримуватись дієти з меншими зусиллями. Тому запропоновані методи ароматизації рекомендуємо для впровадження в закладах ресторанного господарства оздоровчого напрямку.

Здійснено заходи щодо впровадження науково-технічних розробок у виробництво шляхом випуску ароматизованої харчової продукції. Очікуваний економічний ефект від впровадження дистилятів становить 2396,72 тис. грн., рентабельність проекту висока – 138 %.

## ВИСНОВКИ

1. Розроблена наукова концепція нового підходу до ароматизації та умов керування ферментативними ароматотвірними реакціями рослинної сировини (*in vitro*) та макроміцетів *Hericium erinaceus* IBK-977, *Lentinula edodes* IBK 2541, *Ganoderma lucidum* IBK-1621 в умовах чистих культур шляхом впливу на попередники аромату. За основу концепції прийнято, що в термообробленій рослинній сировині (баштанні плоди, полуниця) або свіжій (цибуля, картопля,

листя дерев, ягід) попередники аромату вступають в реакції з ферментами рослинного походження. Джерелами комплексу рослинних ароматотвірних ферментів можуть бути екстракти сировини у свіжому вигляді, а також з бобів сої, маш, насіння гірчиці.

2. Встановлено, що за фотостимуляції біосинтетичної активності при глибинному культивуванні їстівних грибів *H. erinaceus* IBK-977, *L. edodes* IBK 2541, *G. lucidum* IBK-1621 спостерігаються зміни кількісного і якісного складу жирних кислот та летких ароматичних компонентів. Найбільші зміни аромату відбувалися при обробці 530 нм: вміст ароматичних речовин збільшився у 25 разів у біомасі та у 38,5 разів у культуральній рідині для *L. edodes*, що пов'язано зі збільшенням вмісту поліненасичених жирних кислот в оброблених зразках.

3. Встановлено, що пшеничні висівки, введені як добавка у рідке поживне середовище при культивуванні *Pleurotus ostreatus*, ініціюють утворення грибного аромату: у культуральній рідині вміст 1-октен-3-олу збільшився у 1,4 рази, а загальна кількість АР у міцелії зросла у 1,7 рази щодо контролю. Одночасно встановлений різний характер розподілу попередників аромату у міцелії та культуральній рідині. Фотостимуляція синтетичної активності лікарського макроміцету *Inonotus obliquus* IBK-1877 спричиняє зменшення ароматичних речовин в міцелії, збільшення – в культуральній рідині; поєднання фотостимуляції посівного міцелію *G. lucidum* й обробки колоїдним розчином наночастинок Ag, Fe, Mg негативно впливають на утворення летких ароматичних компонентів з попередників ліпідної природи.

4. Встановлено, що збільшення виходу ароматичних речовин (АР) у дистилаті та висушуваній у вакуумі рослинній сировині відбувається при попередньому зменшенні вологовмісту. Внесення хлориду натрію у концентрації  $12 \pm 3$  % сприяє видаленню вологи з грибів гливи, білої кавунової м'якоті та більш ефективним реакціям ароматоутворення за рахунок зменшення гідратного прошарку між рослинними ферментами та попередниками аромату.

5. Визначено умови впливу на попередники ароматичних рослинної сировини: охолодження ( $t = 1..5$  ° C, 36-48 год), вакуумування ( $6 \pm 3$  кПа), мікрохвильова дія (0,6 кВт), комбіновано (мікрохвильове нагрівання і вакуумування). За дії розрідження має місце розширення локальної ділянки поверхні ліпідного шару, що впливає на зменшення гідродинамічного діаметру до нанометрового діапазону 10-100 нм і збільшення відсотку частинок з такими розмірами. Встановлено, що зменшення розмірів ліпідних попередників аромату від 5000 до 1000 нм при обробці рослинної сировини дозволяє збільшити площу поверхню контакту з гідрофільними ферментами, що відновлюють аромат.

6. Встановлено, що гарбузові плоди мають потенціал для відновлення аромату з попередників. Показано достатню кількість ПНЖК для відтворення природних процесів утворення аромату *in vitro*. Відновлення аромату реалізоване за рахунок ферментативних реакцій, які призводять до збільшення карбонільних сполук C<sub>6</sub>-C<sub>9</sub>.

7. Встановлено, що у плодах, оброблених гідротермічно або заморожуванням, утворюється різна кількість продуктів окиснення ліпідів: у гарбузових плодах їх кількість збільшується у 1,5-2 рази, а окисно-відновний

потенціал та антиоксидантна активність знижується порівняно зі свіжими плодами та з іншою рослинною сировиною. Доведено, що дрібні плоди зі стабільною антиоксидантною системою (вишня, слива) після термообробки мають підвищення значення ОВП на 30-40 mV, у той же час баштанні плоди мають тенденцію до зниження ОВП на  $30 \pm 10$  mV.

8. Встановлено, що ферментативне утворення аромату *in vitro* з попередників ліпідної природи за ліпоксигеназним шляхом можливе без попереднього виділення та очищення рослинних ферментів: комплекс ферментів бобів сої, маш діє одночасно за принципом «каскадних реакцій» з посиленням утворенням аромату при дії механоактивації. Показано антисептичні властивості продуктів із вмістом  $C_6-C_9$  альдегідів  $0,8 \pm 0,02$  мг/100 г (бактеріальне обсіменіння зменшується в 3 рази, а дріжджі – у 1,4 рази).

9. Екстрактивні речовини рослин імбиру, хрону, гірчиці, зеленого, чорного чаю є інгібіторами рослинних ароматотвірних ферментів цибулі. Гальмування ферментативного утворення аромату цибулі відбувається за участю комплексу рослинних ферментів порошку гірчиці (переважно мірозінази), хрону (переважно поліфенолоксидази), танінами чорного та зеленого чаю, складовими компонентами імбиру. На перебіг ферментативних реакцій компонентів соку сирої картоплі впливає зміна рН середовища, зв'язування поліфенолів картоплі білками сироватки, неконкурентне інгібування картопляних ліпоксигеназ плазмою кавуна і томатів.

10. Доведено ефективність використання желатинових розчинів для міжфазної активації (або деактивації) реакцій ферментів з попередниками аромату, для забезпечення притягування часток, іммобілізації рослинних ферментів, збільшення площі поверхні контакту в системі. Умовою ефективною міжмолекулярної взаємодії є внесення екстракту ферментів у желатиновий розчин температурою  $40 \pm 2^\circ\text{C}$ .

11. Доведено, що вибір періоду збору листя вишні та липи дозволяє досягти після ферментації максимального наближення до вишневого аромату або цвіту липи. Рослинні ароматотвірні ферменти листя липи мають більший вплив на аромат в період до цвітіння, ніж після цвітіння, а в листі вишні – після плодоношення. Участь рослинних ферментів в утворенні специфічного аромату ферментованого листя з попередників відкриває нові джерела для отримання ароматизаторів.

12. На основі одержаних результатів розроблено науково-практичні рекомендації щодо виготовлення ароматизованих харчових продуктів: з автономним міксіном, піни, желе, сіль, напої, соуси, гідролати, наповнювачі та начинки, емульсії та ін. Соціальне значення нових способів ароматизації полягає у збагаченні ароматичного профілю страв та розширенні асортименту продуктів функціонального призначення. Технологія отримання дистилатів (гідролатів) є економічно вигідною – рентабельність проекту становить 138 %.

## Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

### Монографія:

1. Dubova H. Ye. *Advances in Research on Food Aroma Recovery* : monograph / H. Ye. Dubova ; edited by A. T. Bezusov ; English Translation : V. I. Voskoboinyk, N. I. Rudenko. 2nd edition. PUET, 2017. 187 p.

### Статті у наукових фахових виданнях України

2. Безусов А. Т., Дубова Г. Е., Кривошей О.И. Новая технология получения ароматических веществ. *Харчова наука і технологія*. 2008. № 4 (5). С. 35–38. (здобувачу належить планування експериментів, аналіз результатів, формування висновків, написання статті).
3. Дубова Г. Е. Роль ферментов в образовании аромата пищевых продуктов. *Харчова наука і технологія*. 2009. № 3 (8). С. 42–45.
4. Дубова Г. Є., Кривошей О. І., Бичков Я. М. Отримання порошкоподібної овочевої сировини з подальшим виготовленням напоїв. *Обладнання та технології харчових виробництв*: темат. зб. наук. пр. Донецьк: ДонНУЕТ, 2009. Вип. 20. С. 201–206. (здобувачу належить ідея, планування експериментів, аналіз результатів, формування висновків, написання статті).
5. Дубова Г. Є. Ферментативне відновлення аромату концентрованого кавунового соку. *Харчова наука і технологія*. 2009. № 4 (9). С. 28–30.
6. Дубова Г. Є. Комбінований спосіб концентрування натуральних ароматичних речовин. *Обладнання та технології харчових виробництв*: темат. зб. наук. пр. Донецьк: ДонНУЕТ, 2010. Вип. 23. С. 172–179.
7. Дубова Г. Е. Ароматизация гомогенизированных продуктов. *Наукові праці ОНАХТ*. Одеса, 2010. Вип. 38. Т. 2. С. 48–51.
8. Дубова Г. Є. Умови використання попередників ароматичних сполук. *Обладнання та технології харчових виробництв*: темат. зб. наук. пр. Донецьк: ДонНУЕТ, 2011. Вип. 26. С. 362–367.
9. Дубова Г. Є. Дослідження шляхів відновлення ароматичних сполук. *Наукові праці ОНАХТ*. Одеса, 2011. Вип. 40. Т. 2. С. 47–51.
10. Дубова Г. Є. Біокатализ у процесах ароматизації рослинної сировини. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*: зб. наук. пр. Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. Харків, 2011. Вип. 1 (13). С. 214–220.
11. Дубова Г. Є., Овчіннікова С. О. Визначення карбонільних сполук у харчових продуктах. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі* : зб. наук. пр. Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. Харків, 2012. Вип. 2 (16). С. 214–220. (здобувачу належить ідея, розробка робочих гіпотез і планування експериментів, аналіз результатів, формування висновків).
12. Дубова Г. Е., Безусов А. Т. Научные основы восстановления естественных ароматов в пищевых продуктах. *Наукові праці ОНАХТ*. Одеса, 2012. Вип. 42. Т. 2. С. 33–38.
13. Дубова Г. Є. Відновлення аромату кави в мікрохвильовому полі. *Обладнання та технології харчових виробництв*: темат. зб. наук. праць. Донецьк: ДонНУЕТ, 2013. Вип. 30. С. 347–351.
14. Дубова Г. Є., Левченко Ю. М. Ароматизація виробів з капусти. *Харчова наука і технологія*, 2013. № 4 (21). С. 60–63. (здобувачу належить ідея, розробка робочих гіпотез і планування експериментів, аналіз результатів, формування висновків, написання статті)
15. Дубова Г. Є., Безусов А. Т., Мельник О. І. Особливості технології харчової ароматизованої солі. *Наукові праці ОНАХТ*. Одеса, 2013. Вип. 44. Т. 2. С. 33–37. (здобувачу належить розробка робочих гіпотез і планування експериментів, аналіз результатів, формування висновків, написання статті)

16. Дубова Г. Е. Перспективы использования растительных гомогенатов в качестве ароматизаторов. *Харчова наука і технологія*, 2013. № 4 (25). С. 62–64.
17. Дубова Г. Є., Левчук І. В., Голубець О. В. Ароматизація темпурних продуктів. *Харчова промисловість*. 2014. № 16. С. 9–14. (здобувачу належить ідея, розробка робочих гіпотез і планування експериментів, аналіз результатів, формування висновків, написання статті).
18. Дубова Г. Є. Характеристика продуктів окиснення ліпідів у реакціях утворення ароматів. *Харчова промисловість*. 2015. № 18. С. 38–42.
19. Сукманов В. О., Маринін А. І., Дубова Г. Є., Куш Л. І. Дослідження характеристик мембранних ліпідів плодової сировини у процесі відновлення аромату. *Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. Серія: Технічні науки*, 2016. (1), 8-14. **категорія Б** (здобувачу належить ідея, розробка робочих гіпотез і планування експериментів, проведення частини експериментів, аналіз результатів, формування висновків, опрацювання літературних даних, написання статті).
20. Sukmanov V., Marynin A., **Dubova H.**, Bezusov A., Voskoboinik V. Study of aroma formation from lipids of the fruit raw material. *Ukrainian Food Journal*. 2016. Vol. 5. Issue 4. P. 629–643. Doi: 10.24263/2304-974X-2016-5-4-3. (**WoS**) (здобувачу належить ідея, розробка робочих гіпотез і планування експериментів, проведення частини експериментів, аналіз результатів, формування висновків, опрацювання літературних даних, написання статті).
21. **Dubova H. Ye.**, Yegorov B.V., Bezusov A.T., Voskoboinyk V. I. Study of factors affecting development of food aromatization. *Food Science and Technology*. 2017. № 3 (11). С. 17-24. <https://doi.org/10.15673/fst.v11i3.603>. (**WoS**) (здобувачу належить наукове обґрунтування теоретичних положень, формулювання висновків та результатів, написання статті).
22. Синенко Т.П., Дубова Г.Є. Характеристика ароматичних дескрипторів продуктів ректифікації молочної сироватки. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі* : зб. наук. пр. Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. Харків, 2019. С.63-74. **категорія Б** (здобувачу належить розробка робочих гіпотез і планування експериментів, аналіз результатів, формування висновків).
23. Synenko T., Bezusov A., **Dubova H.** Research on whey aroma precursors in the technology of flavoured culinary foam. *Food science and technology*. 2020. Vol. 14, Issue 1. P. 70-80. doi.org/10.15673/fst.v14i1.1648. (**WoS, фахове видання категорії А**) (здобувачу належить ідея, розробка робочих гіпотез і планування експериментів, аналіз результатів, формулювання висновків).
24. Lou W. Bezusov A., Li B., **Dubova H.** Recent advances in studying tannic acid and its interaction with proteins and polysaccharides. *Food science and technology*. 2019. Vol. 13, Issue 3. P. 65-69. doi.org/10.15673/fst.v13i3.1452. (**WoS, фахове видання категорії А**) (здобувачу належить проведення частини експериментів, аналіз та обробка результатів).
25. **Dubova H.**, Dotsenko N., Mykchaylova O., Poyedinok N. Study of aromatic components in the course of initiating enzymatic reactions in the edible mushroom *Pleurotus ostreatus*. *Food science and technology*. 2021. Том 15 № 4. С.12-21. doi.org/10.15673/fst.v15i4.2254. (**WoS, фахове видання категорії А**). (здобувачу належить наукове обґрунтування теоретичних положень, формулювання висновків та результатів, написання статті).
26. Дубова Г. Є., Безусов А. Т., Білошицька О. К., Поєдинок Н. Л. Застосування попередників ароматув харчовій рослинній сировині: біотехнологічний аспект. *Innov Biosyst Bioeng*. 2022. Vol.6 (3-4). С. 94-109. doi.org/10.20535/ibb.2022.6.3-4.267094 (**Scopus Q3, фахове видання категорії А**) (здобувачу належить наукове обґрунтування теоретичних положень, формулювання висновків та результатів, написання статті).
27. Бараболя О., Куш Л., Дудник С., Дубова Г. Розробка технології виробів з субпродуктів та гарбуза для крафтового виробництва. *Вісник Уманського національного університету садівництва*, 2022, №1. С.52-57. DOI: 10.31395/2310-0478-2022-1-52-57. **категорія Б**

(здобувачу належить ідея, проведення частини експериментів, аналіз та обробка результатів).

28. **Дубова Г. Є.**, Левчук І.В., Галкін О.Ю., Хмельницька Є.В., Поєдинок Н. Л. Нові підходи до використання рослинних ароматотвірних ферментів. *Innov Biosyst Bioeng.* 2023. Vol.7 (2). С. 42-59 doi.org/10.20535/ibb.2023.7.2.279550 (**Scopus Q3, фахове видання категорії А**) (здобувачу належить ідея, розробка робочих гіпотез і планування експериментів, проведення частини експериментів, аналіз результатів, формування висновків, опрацювання літературних даних, написання статті).

#### Статті у наукових виданнях інших держав

29. Bezysov A. T., **Dubova H. E.**, Nikitchsna T. I. Biotechnological potential of vegetable raw materials and their effective applying in foods. *Journal of Food and Packaging Science, Technique and Technologies.* Year IV. 2015. № 6. P. 39–44. (здобувачу належить проведення частини експериментів, аналіз та обробка частини результатів, написання частини статті).
30. Bezysov A. T., **Dubova H. E.**, Rogova N. V. New methods of plant selection for food aroma recovery aided by oxidation processes. *Acta Universitatis Cibiniensis. Series E: Food Technology.* Vol. 19, Issue 2 (Dec. 2015). P. 15–26. <https://doi.org/10.1515/aucft-2015-0011> (**Scopus Q3**) (здобувачу належить розробка робочих гіпотез і планування експериментів, проведення частини експериментів, аналіз результатів, формування висновків, опрацювання літературних даних, написання статті).
31. Мукчайлова О., **Дубова Н.**, Ломберг М., Негрійко А., Поєдинок Н. Influence of low-intensity light on the biosynthetic activity of the edible medicinal mushroom *Hericium erinaceus* (Bull.: Fr.) Pers. in vitro. *Archives of Biological Sciences*, 2023. 75(4), 489-501. doi.org/10.2298/ABS230821040M (**Scopus Q3**) (здобувачу належить проведення частини експериментів, аналіз та обробка частини результатів).
32. Мукчайлова О., Дубова Н., Негрійко А. et al. Photoregulation of the biosynthetic activity of the edible medicinal mushroom *Lentinula edodes* in vitro. *Photochemical & Photobiological Sciences.* 2024. DOI:10.1007/s43630-023-00529-8 (**Scopus Q2**) (здобувачу належить проведення частини експериментів, аналіз та обробка частини результатів).
33. **Дубова Н.**, Левчук І., Holubets О., Miroshnikov V. Fermentation Technology Of Leaves For Flavored Drinks. *Proceedings Of University Of Ruse. Razgrad.* 2022, vol. 61. book 10.2. P. 16-21. (здобувачу належить ідея, розробка робочих гіпотез і планування експериментів, аналіз результатів, формування висновків, опрацювання літературних даних, написання статті).

#### Патент на винахід

34. **Дубова Г. Є.**, Овчиннікова С. О. Спосіб відновлення свіжого аромату в харчовому продукті: патент на винахід 110149 Україна: МПК С12N 11/18 (2006.01), А23L 1/22 (2006.01), А23L 1/23 (2006.01); № а 201404298; заявл. 8.04.14; опубл. 25.11.2015, Бюл. № 22 (особистий внесок: розробка формули, опрацювання літературних даних, планування і проведення експериментів, аналіз та обробка результатів, формування висновків, написання патенту).

#### Патенти України на корисну модель

35. **Дубова Г. Є.**, Кривошей О. І. Спосіб отримання порошкоподібної овочевої сировини з подальшим виготовленням напоїв. Патент на корисну модель 39265 Україна МПК А23L 1/025 (2006.01), А23P 1/06 (2006.01), А23В 7/02 (2006.01). № у 2008 07472, заявл. 8.04.08, опубл. 25.02.2009, Бюл. № 4 (особистий внесок: розробка формули, опрацювання літературних даних, планування і проведення експериментів, аналіз та обробка результатів, формування висновків, написання патенту).
36. **Дубова Г. Є.**, Антюхова О. М., Рогова А. Л. Спосіб виробництва поліфункціональної солодової добавки та борошняних виробів з її використанням: пат 44630 Україна: МПК<sup>7</sup> А21D 2/38 (2006.01), А21D 8/02(2006.01); № у 200904128; заявл. 27.04.2009; опубл. 12.10.2009, Бюл. №



- 19 (особистий внесок: розробка формули, опрацювання літературних даних, планування і проведення експериментів, аналіз та обробка результатів, формування висновків, написання патенту).
37. **Дубова Г. Є.**, Мельник О. І. Спосіб отримання соковмісного напою «Калинонька» з використанням натуральних ароматизаторів: пат. 44535 Україна: МПК<sup>7</sup> A23L 2/02; № u 2009 04409; заявл. 8.04.09, опубл. 12.10.2009, Бюл. № 19. (особистий внесок: розробка формули, опрацювання літературних даних, планування і проведення експериментів, аналіз та обробка результатів, формування висновків, написання патенту).
38. **Дубова Г. Є.**, Чол Т. Й. Спосіб отримання кавунового желе із збереженням натурального аромату: пат. 53939 Україна: МПК<sup>7</sup> A23L 1/06; № u 201004093; заявл. 8.04.10; опубл. 25.10.2010, Бюл. № 20. (особистий внесок: розробка формули, опрацювання літературних даних, планування і проведення експериментів, аналіз та обробка результатів, формування висновків, написання патенту).
39. **Дубова Г. Є.**, Бондаренко Я. В Спосіб отримання солодкого супу «Тропічна лагуна» із збереженням натурального аромату: пат 67712 Україна: МПК<sup>7</sup> A23L 1/39; № u2011 04409; заявл. 11.04.11; опубл. 12.03.2012, Бюл. № 5. (особистий внесок: розробка формули, опрацювання літературних даних, планування і проведення експериментів, аналіз та обробка результатів, формування висновків, написання патенту).
40. **Дубова Г. Є.**, Овчиннікова С. О. Спосіб визначення карбонільних сполук в паровій фазі харчового продукту: пат 78188 Україна: МПК<sup>7</sup> G01N 33/48; № u 201210608; заявл. 10.09.12, опубл. 11.03.2013, Бюл. № 5. (особистий внесок: розробка формули, опрацювання літературних даних, планування і проведення експериментів, аналіз та обробка результатів, формування висновків, написання патенту).
41. Шевченко О.Ю., Сукманов В.О., **Дубова Г.Є.**, Свінціцька А.І. Спосіб утворення натурального ароматизатора із похідних вищих ненасичених жирних кислот: пат. 133014 Україна: МПК С 12N 9/00, С12N 11/18; u201809120; заявл.12.09.18, опубл. 25.03.2019, Бюл. № 6 (особистий внесок: розробка формули, опрацювання літературних даних, планування і проведення експериментів, аналіз та обробка результатів, формування висновків, написання патенту).
42. **Дубова Г.Є.** Спосіб обробки м'ясних субпродуктів (легень, мозку) для покращення аромату готових виробів з їх використанням: пат.149318 Україна:МПК A23L 13/00, A23L 33/00; № u202103776; заявл. 2.07.2021, опубл. 3.11.2021, Бюл. № 44.
43. **Дубова Г.Є.**, Чернявська О.В., Поєдинок Н.Л., Галкін О. Ю., Будник Н. В., Кайнаш А. П. Спосіб ферментативного перетворення аромату цибулі: пат. № 154357: МПК A23L 33/00, A23L 5/20; № u 2023 01337; заявл. 30.03.2023, опубл. 8.11.2023, Бюл. № 45 (особистий внесок: розробка формули, опрацювання літературних даних, планування і проведення експериментів, аналіз та обробка результатів, формування висновків, написання патенту).

### **Тези, доповіді на наукових конференціях**

44. **Дубова Г. Є.**, Кривошей О. І. Перспективний спосіб зневоднення овочевої сировини. *Проблеми енергоефективності та якості в процесах сушіння харчової сировини*: всеукр. наук.-практ. конференція, 31 жовтня 2008 р. / [редкол.: О. І. Черевко [та ін.]; Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. Харків: ХДУХТ, 2008. С. 17–18. (Здобувачу належить ідея, постановка задачі та експерименту, участь в експерименті, обґрунтування та узагальнення отриманих результатів, написання тез).
45. **Дубова Г. Є.**, Кривошей О. І. Технологія соковмісного напою «Калинонька» з використанням натуральних ароматизаторів. *Прогресивні технології харчових виробництв, ресторанного та готельного господарства*: зб. тез доповідей. Полтава: РВВ ПУСКУ, 2009. С. 154–156. (Здобувачу належить ідея, постановка задачі та експерименту, участь в експерименті, обґрунтування та узагальнення отриманих результатів, написання тез).

46. **Дубова Г. Є.**, Дмитриков В. П. Спосіб збереження ароматичних речовин в консервованих соках і пюре. Підсумки науково-дослідної роботи: матеріали наук.-практ. конференції проф.-викл. складу за 2009 рік, 21–22 квітня 2010 р. Полтава: РВВ ПДАА, 2010. С. 234–236. (*Здобувачу належить ідея, постановка задачі та експерименту, участь в експерименті, обґрунтування та узагальнення отриманих результатів, написання тез*).
47. **Дубова Г. Є.**, Сенько О. С. Визначення параметрів активності ароматичних речовин. *Новітні технології оздоровчих продуктів харчування XXI століття*: міжнар. наук.-практ. конференція, 21 жовтня 2010 р. Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. Харків: ХДУХТ, 2010. С. 329–330. (*Здобувачу належить ідея, постановка задачі та експерименту, участь в експерименті, обґрунтування та узагальнення отриманих результатів, написання тез*).
48. **Дубова Г. Є.**, Вишар Д. М. Технологія виробництва натуральних підсилювачів та ароматизаторів. *Нові технології та обладнання харчових виробництв*: матеріали міжвуз. наук.-практ. семінару 26 квітня 2012 р. Полтава: ПУЕТ, 2012. С. 20–22. (*Здобувачу належить ідея, постановка задачі та експерименту, обґрунтування та узагальнення отриманих результатів, написання тез*).
49. **Дубова Г. Є.**, Мельник О. І. Саногенез і аромат харчових продуктів. *Сучасний ринок товарів та проблеми здорового харчування*: матеріали міжнар. наук.-практ. інтернет-конференції ХДУХТ 13–14 травня 2013 р. Харків: ХДУХТ, 2013. С. 125–126. (*Здобувачу належить ідея, постановка задачі та експерименту, обґрунтування та узагальнення отриманих результатів, написання тез*).
50. **Дубова Г. Є.** Реакції утворення аромату фруктових приправ. *Нові технології та обладнання харчових виробництв*: матеріали міжвуз. наук.-практ. семінару 23 травня 2013 р. Полтава: ПУЕТ, 2013. С. 4–6.
51. **Дубова Г. Є.** Можливості мікросомального окислення в реакціях синтезу ароматичних компонентів. *Нові технології і обладнання харчових виробництв*: матеріали міжвуз. наук.-практ. семінару 20 березня 2014 р. Полтава: ПУЕТ, 2014. С. 13–15.
52. Безусов А. Т., **Дубова Г. Є.** Особенности продуктов с восстановленным ароматом. *Оздоровчі харчові продукти та дієтичні добавки: технології, якість, безпека*: матеріали міжнар. наук.-практ. конференції, 28–29 травня 2015 р. Київ: НУХТ, 2015. С. 13–15. (*Здобувачу належить обґрунтування та узагальнення отриманих результатів, написання тез*).
53. **Дубова Г. Є.** Развитие инноваций в технологии ароматических концентратов. *Актуальні проблеми та перспективи розвитку харчових виробництв, готельно-ресторанного та туристичного бізнесу*: тези доп. міжнар. наук.-практ. конференції, присвяченої 40-річчю заснування факультету ХТГРТБ (м. Полтава, 20–21 листопада 2014 р.). Полтава: ПУЕТ, 2015. С. 142–144.
54. **Дубова Г. Є.**, Овчинникова С. А., Роговая Н. В. Получение ароматических концентратов и перспективы их использования. *Інноваційні технології в харчовій промисловості та ресторанному господарстві*: міжнар. наук.-практ. інтернет-конференція, 12–14 листопада 2014 р.; Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. Харків: ХДУХТ, 2014. С. 221–223. (*Здобувачу належить ідея, постановка задачі та експерименту, участь в експерименті, обґрунтування та узагальнення отриманих результатів, написання тез*).
55. Bezysov A. T., **Dubova H. E.**, Rogova N. V. New Aspects in the Technology of Aromatic Components Formation *Special issue of Journal of EcoAgriTourism*. Transilvania University Press, 2015. P. 97. (*Здобувачу належить ідея, постановка задачі та експерименту, участь в експерименті, обґрунтування та узагальнення отриманих результатів, написання тез*).
56. Sukmanov V., Birca A., Marinin A., Zakharevich V., **Dubova G**, Melnik O. Studies of properties of triacylglycerides in the plant raw material after heat treatment. *NUTRICON 2015. Food Quality and Safety, Health and Nutrition*. Skopje, Republic of Macedonia, 2015. P. 33–34. (*Здобувачу належить ідея, постановка задачі та експерименту, участь в експерименті, обґрунтування та узагальнення отриманих результатів, написання тез*)

57. **Дубова Г. Є.,** Рогова Н. В., Мельник О. І. Оцінка ароматичного напрямку рослин за анатомічною будовою. *Нові технології і обладнання харчових виробництв*: матеріали міжвуз. наук.-практ. семінару 14 квітня 2016 р. Полтава: ПУЕТ, 2016. С. 9–12. (Здобувачу належить ідея, обґрунтування та узагальнення отриманих результатів, написання тез).
58. **Dubova G.,** Sukmanov V, Krukoves L., Prokhorenko Z. Study of volatile biosynthesis condition the emulsion flavors. *8th Central European Congress on Food 2016 Food Science for Well-being (CEFood 2016): Book of Abstracts*. 23–26 May 2016. К.: NUFT, 2016. P. 251. (Здобувачу належить ідея, постановка задачі та експерименту, участь в експерименті, обґрунтування та узагальнення отриманих результатів, написання тез).
59. **Дубова Г. Є.,** Мельник О. І. Використання рослинної нетрадиційної сировини для ароматизації харчових продуктів. *Нові технології і обладнання харчових виробництв*: матеріали міжвуз. наук.-практ. семінару 6 квітня 2017 р. Полтава: ПУЕТ, 2017. С. 10–12. (Здобувачу належить ідея, постановка задачі та експерименту, участь в експерименті, обґрунтування та узагальнення отриманих результатів, написання тез).
60. Скикевич М. Г., Волошина Л. И., **Дубова Г. Е.,** Куц Л. И. Особенности влияния ароматизаторов на секреторную функцию слюнных желез. *Сучасна стоматологія та щелепно-лицева хірургія*: матеріали міжнар. наук.-практ. конференції 12 травня 2017 р. Київ: НАМУ, 2017. С. 145–147. (Здобувачу належить ідея, постановка задачі та експерименту, участь в експерименті, обґрунтування та узагальнення отриманих результатів, написання тез).
61. **Дубова Г.Є.,** Оберемок В.М., Єльніков А.С. Підвищення виходу ароматизаторів GLV профілю для продуктів оздоровчої дії. *Захищене та здорове покоління: збірник тез доповідей Міжвузівського круглого столу, присвяченого Всесвітньому дню охорони праці* (м. Полтава, 27 квітня 2018 року). Полтава: ПУЕТ, 2018. С. 11-13. (Здобувачу належить ідея, постановка задачі та експерименту, участь в експерименті, обґрунтування та узагальнення отриманих результатів, написання тез).
62. **Дубова Г.Є.** Дослідження ліпідів рослинної сировини. *Збірник наукових праць науково-практичної конференції професорсько-викладацького складу Полтавської державної аграрної академії за підсумками науково-дослідної роботи в 2020 році* (м. Полтава, 14 травня 2021 року). Полтава: РВВ ПДАА, 2021. С. 284-286 с.
63. **Дубова Г. Є.,** Прокопенко В. Вплив антиоксидантів на реакції утворення ароматів в умовах гідротермічної обробки сировини. *Інноваційні та ресурсозберігаючі технології харчових виробництв*: матеріали Всеукраїнської наук.-практ. конф. 21 груд., 2021 р. Полтава: ПДАУ, 2021. С. 16-18. (Здобувачу належить ідея, постановка задачі та експерименту, участь в експерименті, обґрунтування та узагальнення отриманих результатів, написання тез).
64. Poyedinok N.L., Galkin O.Yu., Negriyko A.M., **Dubova H.Ye.** Increased synthesis of biologically active components of medicinal mushrooms. The International research and practice conference “*Nanotechnology and nanomaterials*” (NANO-2022). Abstract Book of participants of the International research and practice conference, 25–27 August 2022, Lviv. Kyiv: LLC APF Polygraph Service, 2022. P. 283. (Здобувачу належить обґрунтування та узагальнення отриманих результатів, написання тез).
65. **Dubova H.,** Levchuk I., Holubets O., Miroshnikov V. Fermentation Technology Of Leaves For Flavored Drinks. 61 st Annual Science Conference of Ruse University «*New Industries, Digital Economy, Society - Projections Of The Future V*». Ruse, Razgrad, Silistra. 2022. P.475. (Здобувачу належить ідея, постановка задачі та експерименту, участь в експерименті, обґрунтування та узагальнення отриманих результатів, написання тез).
66. **Дубова Г. Є.,** Мірошніков В. О., Петрашенко А. В. Фактори впливу на смакові характеристики нутріцевтиків з сирої картоплі та цибулі. *Хімія природних сполук: матеріали VI Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю* (м. Тернопіль, 27-28 жовтня 2022 р.). Тернопіль: ТНМУ, 2022. 187 с. (Здобувачу належить

*ідея, постановка задачі та експерименту, участь в експерименті, обґрунтування та узагальнення отриманих результатів, написання тез).*

67. Гулій І.А., Сахацька А.О., **Дубова Г.Є.** Розробка експрес-методу визначення карбонільних сполук в харчових середовищах. *Якість і безпека харчових продуктів: матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції* (м. Київ, 9-10 жовтня 2023 р.). Київ: НУХТ, 2023. 187 с. *(Здобувачу належить ідея, постановка задачі та експерименту, участь в експерименті, обґрунтування та узагальнення отриманих результатів, написання тез).*
68. **Дубова Г.**, Поєдинок Н., Климченко М. Розроблення технології напоїв із соком сирої картоплі. *Оздоровчі харчові продукти та дієтичні добавки: технології, якість та безпека: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції*, 16 листопада 2023 р., м. Київ. К.: НУХТ, 2023. с.80-82 *(Здобувачу належить ідея, постановка задачі та експерименту, участь в експерименті, обґрунтування та узагальнення отриманих результатів, написання тез).*

### **Публікації, що додатково відображають наукові результати дисертації**

69. Кривошей О. І., **Дубова Г. Є.**, Арендаренко В. М. Експериментальне дослідження процесів мікрохвильового сушіння овочевої сировини під вакуумом. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка*. Вип. 75. Харків: ХНУСГ, 2008. Т. 1. С. 179–183. *(здобувачу належить ідея, розробка робочих гіпотез і планування експериментів, аналіз результатів, формування висновків, опрацювання літературних даних, написання статті).*
70. **Дубова Г. Є.** Гайворонська З. М. Кріоконцентрування рідких натуральних ароматичних речовин. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. Полтава: ПДАА, 2009. С. 36–42. *(здобувачу належить ідея, розробка робочих гіпотез і планування експериментів, проведення частини експериментів, аналіз результатів, формування висновків, опрацювання літературних даних, написання статті).*
71. **Дубова Г. Є.**, Чол Т. М. Перспективи використання натуральних ароматизаторів при виробництві плодівих пюре. *Новітні тенденції у харчових технологіях та якість і безпечність продуктів* : зб. статей II Всеукр. наук.-практ. конференції (Львів, 22–23 квітня 2010 р.). Львів, 2010. С. 89–93. *(здобувачу належить ідея, розробка робочих гіпотез і планування експериментів, аналіз результатів, формування висновків, опрацювання літературних даних, написання статті).*
72. **Дубова Г. Е.** Участие ферментов в образовании аромата. *Продукты и ингредиенты*. 2013. № 11 (108). С. 8–9.
73. Безусов А. Т., **Дубова Г. Е.**, Роговая Н. В., Мельник О. И. Аргументация выбора растительных объектов для восстановления аромата. *Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі*. Серія: Технічні науки. 2015. № 1. С. 18-26. *(здобувачу належить ідея, розробка робочих гіпотез і планування експериментів, аналіз результатів, формування висновків, опрацювання літературних даних, написання статті).*
74. Скикевич М. Г., Волошина Л. И., **Дубова Г. Е.**, Куц Л. И. Влияние натуральных ароматизаторов на секреторную функцию слюнных желез. *Клінічна стоматологія*. 2016. № 4 (17). С. 48–54. DOI 10.11603/2311-9624.2016.4.7236. *(здобувачу належить ідея, розробка робочих гіпотез і планування експериментів, аналіз та обробка результатів, написання статті).*
75. **Дубова Г.Е.**, Ліфіренко О. Технологія натурального ароматизатора GLV із похідних вищих ненасичених жирних кислот. *Ресторанный и гостиничный консалтинг. Инновации: науч.сборник*. Киев: Изд.центр КНУКиМ. 2018. С.64-75. DOI: 10.31866/2616-7468.1.2018.147410 *(здобувачу належить ідея, розробка робочих гіпотез і планування експериментів, аналіз результатів, формування висновків, опрацювання літературних даних, написання статті).*

76. Дубова Г.Є., Митченко Т.В., Пушкар І.В. Роль ароматехнологій у збільшенні туристичних пропозицій. *Вітчизняні товари на сучасному ринку: позиціонування, якість, безпечність у контексті Європейської інтеграції*. Збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Львів, 16 квітня 2019 р.) Львів: ЛІЕТ, 2019. С.36-41. (здобувачу належить наукове обґрунтування теоретичних положень, формулювання висновків та результатів).

## АНОТАЦІЯ

**Дубова Г. Є. Біотехнологічні основи регулювання дії попередників аромату харчової сировини. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 03.00.20 – біотехнологія. – ВНЗ УКООПСПЛКИ «Полтавський університет економіки і торгівлі», Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Міністерство освіти і науки України, Київ, 2025.

Дисертацію присвячено теоретичному та експериментальному обґрунтуванню наукових основ якісно нових технологій ароматизації харчової продукції. В основу досліджень покладена наукова гіпотеза про те, що цілеспрямований вплив на попередники аромату під час обробки рослинної сировини або їстівних грибів дозволяє доповнити класичні методи ароматизації. На підставі отриманих результатів досліджень наданий розвиток науково-практичному напрямку – технології харчової продукції, ароматизованої за допомогою впливу на процеси ферментативного формування аромату. За біотехнологічну основу ароматизації харчової продукції прийняті відомі природні реакції рослинних ферментів, відтворені в штучних умовах.

Систематизація відомостей про участь попередників аромату довела перспективність процесів утворення *in vitro* ароматів, затребуваних в харчовій промисловості, летких речовин зеленого листя (Green Leaf Volatiles – GLVs), фруктових, грибних та ін. Темпи зростання органічної продукції, оздоровчого й профілактичного спрямування обумовлюють більш глибоке розуміння філософії їжі під час використання інноваційних технологій ароматизації. Наведений аналіз розвитку виробництва ароматизаторів доводить, що аромат стає одним із основних органолептичних компонентів для розробників продуктів харчування.

Ідея дослідження полягає в тому, що процес ароматизації на основі реакцій попередників є керованим, а за результатами керування дозволяє отримати продукт з показниками аромату наближеними до свіжих плодів. У представлених наукових підходах до ароматизації харчової продукції в якості попередників використані ліпідні емульсії, вищі ненасичені жирні кислоти клітинних мембран свіжих плодів або таких, що пройшли попередню обробку. В якості рослинних ферментів використані водні суспензії бобів сої, бобів маш, рослинних гомогенатів, які володіють достатньою ферментативною активністю ліпоксигеназ, гідропероксидлаз.

Клітинний сік рослин накопичує у собі легколеткі компоненти, які є інгібіторами в процесах утворень *de novo* ароматичних компонентів під час

отримання гідролатів (дистиляту). Запропонований спосіб збільшення виходу ароматичних речовин у дистилят без їх збитку для висушеної сировини полягає в її попередньому частковому зневодненні шляхом холодного сушіння.

Визначено умови полімолекулярної взаємодії і біосинтезу аромату летких речовини в емульсійних ароматизаторах. Обробка рослинних гомогенатів у вакуумі призводить до зближення ліпідних частинок і ферментів, до деформації дифузних оболонок і їх взаємного проникнення. Встановлено, що під час вакуумного нагрівання (температура  $32 \pm 2$  °С, розрідження  $6 \pm 3$  кПа) мембранозв'язані ферменти гідропероксид ліази в суспендованих рослинних гомогенатах не пригнічуються в термооброблених плодах надлишком гідроперекисів. Це пояснюється кращими умовами міжфазної взаємодії між ферментами у реакціях з попередниками ліпідної природи та їх похідними.

Зменшення гідратного прошарку між рослинними ферментами та попередниками аромату забезпечується внесенням хлориду натрію у концентрації  $12 \pm 3$  % та сприяє реакціям ароматоутворення грибів гливи, кавунової оболонки. Встановлено, що екстрактивні речовини рослин імбиру, хрону, гірчиці, зеленого та чорного чаю є інгібіторами рослинних ароматотвірних ферментів цибулі. Гальмування ферментативного утворення аромату цибулі відбувається за участю ферментів порошку гірчиці (переважно мірозінази), хрону (переважно поліфенолоксидази), танінами чорного та зеленого чаю, складовими компонентами імбиру, але в різній мірі, оскільки в процесі ароматоутворення задіяний комплекс рослинних ферментів із різною здатністю до реакцій з попередниками аромату.

Пшеничні висівки, введені як добавка при гідротермічній обробці м'ясних субпродуктів разом із гарбузом суттєво змінюють аромат відвару та м'ясних виробів внаслідок впливу на їх ліпідні компоненти. Екстракт пшеничних висівок введений як добавка при культивуванні *Pleurotus ostreatus* на рідкому поживному середовищі ініціюють ферментативні реакції утворення аромату. У культуральній рідині з пшеничними висівками вміст 1-октен-3-олу (основного компонента, що відповідає за грибний аромат) більш ніж у 1,4 рази. У культивованому міцелії загальна кількість ідентифікованих ароматичних компонентів більше ніж у 1,7 рази порівняно зі зразком, вирощеним без пшеничних висівок. Одночасно із змінами аромату встановлені зміни розподілу попередників між міцелієм та культуральною рідиною.

Встановлено, що режими фотостимуляції біосинтетичної активності у біотехнології глибинного культивування їстівних лікарських макроміцетів *Hericium erinaceus* IBK-977, *Lentinula edodes* IBK-2541, *Ganoderma lucidum* IBK-1621, викликає зміни, як у кількісному, так і якісному складі жирних кислот та летких ароматичних компонентів. Для лікарського макроміцету *Inonotus obliquus* IBK-1877 фотостимуляція негативно вплинула на утворення летких ароматичних компонентів в міцелії. Поєднання обробки посівного міцелію *G. lucidum* IBK-1621 фотостимуляцією з колоїдним розчином наночастинок Ag, Fe, Mg негативно впливають на утворення летких ароматичних компонентів з попередників ліпідної природи.

За результатами досліджень були визначені умови для утворення природних летких речовини зеленого листа з високим виходом насичених і ненасичених шести-дев'ятивуглецевих альдегідів. Особливістю цих умов є застосування посиленого фізичного впливу на компоненти реакцій – механоактивація у вихровому шарі ферромагнітних частинок. Вільні ВНЖК та боби сої, маш утворюють ароматичні компоненти GLV, при цьому ферменти, що містяться у бобах не потребують попереднього очищення, їх активність є достатньою. Ферментативні перетворення попередників аромату залежать від спільної дії і специфічності комплексу LOX/HPL в бобах маш, сої. Диспергування, за рахунок збільшення площі поверхні контакту ферментів з попередниками, прискорює протікання реакцій утворення аромату.

Визначено умови активації ферментативної системи сировини шляхом її попередньої обробки - охолодження ( $t = 1..3$  °C, 5 годин), вакуумування (3-9 кПа), мікрохвильового впливу (0,6 кВт) і комбіновано (мікрохвильового нагрівання і вакуумування) для необхідної зміни аромату або його відновленні. Обґрунтовано можливість участі баштанних культур, після теплової обробки, в процесах відновлення втраченого аромату. Передумовою здійснення процесів продукування свіжого аромату в екстракті ліпідів кавуна, гарбуза, огірків є достатній вміст ВНЖК 30-40 % від загальної кількості жирних кислот, збереження природнього співвідношення лінолевої і ліноленової кислоти.

Аналіз антиоксидантної активності, окисно-відновного потенціалу баштанних (кавуни, гарбуз, огірки) культур свіжих і після теплової обробки показав певні тенденції протікання окислювальних процесів. Ці два показники значною мірою визначають здатність плодів до повторного утворення ароматичних компонентів. Гідротермічна обробка огірків, гарбуза, кавунів, знижуючи окисно-відновний потенціал на  $30 \pm 10$  mV, антиоксидантну активність більш ніж 50 %, сприяє протіканню окиснювальних реакцій за участю ароматотвірних ферментів.

Показано, що плоди, оброблені гідротермічно, у вакуумі та мікрохвильовому полі, заморожуванням у різній мірі утворюють дієнові кон'югати та гідроперекиси, малоновий діальдегід. Баштанні плоди відносяться до групи з невисоким значенням окисно-відновного потенціалу – 60-110 mV. Область значень для плодів зі стабільною антиоксидантною системою (смородина, вишня, солодкий перець) перебуває в межах 180-220 mV. Після термообробляння окисно-відновний потенціал гарбузових плодів знижується, на відміну від плодів зі стабільною антиоксидантною системою, що є фактором для відновлення аромату гарбузових плодів екстрактом рослинних ферментів.

Міжфазна активація реакцій з попередниками аромату здійснюється збільшенням площі поверхні контакту в системі, що їх містить, диспергуванням, міжмолекулярною взаємодією в желатиновому желе, шляхом утворення піни. Встановлена перевага використання желатинових розчинів, яка полягає в здатності іммобілізувати ферменти з водного екстракту, володіючи поверхнево-активними властивостями, багаторазово збільшувати поверхню контакту фермент-субстрат і забезпечувати електропритягання частинок.

Доведено, що вибір періоду збору листа вишні та липи дозволяє досягти після ферментації максимального наближення до вишневого аромату або цвіту

липи. Рослинні ароматоутворюючі ферменти листя липи мають більший вплив на аромат в період до цвітіння, ніж після цвітіння, а в листі вишні – після плодоношення. Участь рослинних ферментів у формуванні специфічного аромату ферментованого листя з попередників аромату відкриває нові джерела для отримання ароматизаторів – листя плодкових дерев та ягід.

На основі наукової концепції, сформульованої в дисертаційній роботі, і узагальнених експериментальних даних, отриманих при її виконанні, надані науково-практичні рекомендації приготування ароматизованих харчових продуктів (піни, желе, сіль з травами, соусів, дистилатів, наповнювачів, емульсії, ароматизованих олій та ін.). Розроблена технологія попередньої обробки трав, яка дозволяє збільшити насичення ароматом солі, одночасно знизивши кількість трав у співвідношенні з сіллю. Наведені пропозиції щодо ароматизації плодового пюре за допомогою фасування з автономним міксингом та рослинними ферментами. Встановлено, що відновлення аромату м'якоті кавуна і дині можливо практично здійснити за рахунок уведення амінокислот нуту і квасолі.

Ароматизовані продукти долають сенсорний дефіцит, пов'язаний зі скороченням солі, цукру, жиру в харчових продуктах. Соціальне значення нових способів ароматизації полягає в розробці продуктів харчування для дітей, літніх людей та людей, схильних до хронічних захворювань. Технологічні розробки присвячені стравам лікувального та дієтичного харчування хронічних хворих, технологіям харчових продуктів зі зміненими рецептурами та таким, які особливо обмежені ароматичними дескрипторами.

**Ключові слова:** *ароматичні компоненти, дистилати (гідролати), макроміцети, рослинні ферменти, попередники аромату, ферментативні реакції, вакуумна обробка, жирнокислотний склад, мікрохвильове поле, желатинове желе, технології, гарбузові плоди.*

## ABSTRACT

**Dubova H. Ye. Biotechnological bases of action regulation of aroma precursors in food raw materials. – Qualification scientific work in the form of a manuscript.**

Thesis for the degree of Doctor of Technical Sciences in specialty 03.00.20 – biotechnology. – UKOOPSPILKA University "Poltava University of Economics and Trade", National Technical University of Ukraine "Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2025.

This dissertation focuses on the theoretical and experimental validation of new technologies for flavoring food products. The research is based on the hypothesis that targeted manipulation of aroma precursors during the processing of plant raw materials and macromycetes can complement traditional flavoring methods. The results presented in this work advance the scientific and practical aspects of food product technology, emphasizing the enzymatic formation of aromas. This biotechnological approach leverages known reactions of plant enzymes, artificially replicated, as the foundation for food flavoring.



The study systematizes information on the role of aroma precursors. It highlights the potential of *in vitro* aroma formation processes, particularly in producing highly desirable volatile substances from sources such as green leaves (Green Leaf Volatiles – GLVs), fruits, and mushrooms. The rising demand for organic products, coupled with an increased focus on health and wellness, has deepened the appreciation of culinary philosophy, particularly in using innovative flavoring technologies. The analysis of flavor production trends suggests that flavor is becoming an increasingly critical organoleptic component for food developers.

The research explores the controlled aromatization process based on precursor reactions, allowing for the creation of aroma profiles that closely replicate those of fresh fruits. In the proposed scientific approaches to food aromatization, lipid emulsions and higher unsaturated fatty acids from the cell membranes of fresh or pre-processed fruits are employed as precursors. Additionally, aqueous suspensions of soybeans, mung beans, and plant homogenates – rich in lipoxygenases and hydroperoxidases – are used as plant enzymes due to their sufficient enzymatic activity.

Plant cell sap accumulates volatile components that inhibit the formation of *de novo* aromatic compounds during hydrolate (distillate) production. To increase the yield of aromatic substances in the distillate without damaging the dried raw material, a method involving preliminary partial dehydration via cold drying is proposed.

The conditions for polymolecular interaction and aroma biosynthesis of volatile compounds in emulsion flavorings were determined. Processing plant homogenates under vacuum facilitates the convergence of lipid particles and enzymes, leading to the deformation of diffuse membranes and their mutual penetration. It was found that during vacuum heating ( $32 \pm 2^\circ\text{C}$ , with a vacuum pressure of  $6 \pm 3$  kPa), membrane-bound hydroperoxide lyase enzymes in suspended plant homogenates are not inhibited by excess hydroperoxides in heat-treated fruits. This phenomenon is attributed to enhanced interphase interactions between enzymes, lipid precursors, and their derivatives.

The reduction of the hydrate shell between plant enzymes and aroma precursors is facilitated by introducing sodium chloride at a concentration of  $12 \pm 3\%$ , enhancing the aroma-forming reactions in oyster mushrooms and watermelon rind. It has been established that the extractive compounds in ginger, horseradish, mustard, and both green and black tea act as inhibitors of the aroma-forming enzymes in onions. The inhibition of onion aroma formation occurs through the activity of enzymes in mustard powder (primarily myrosinase), horseradish (primarily polyphenol oxidase), and tannins in black and green tea, as well as components of ginger. However, the degree of inhibition varies due to the involvement of a complex array of plant enzymes with differing reactivity in the aroma formation process.

The introduction of wheat bran as an additive during the hydrothermal treatment of meat offal and pumpkin significantly alters the aroma of broth and meat products, mainly due to its impact on lipid components. When wheat bran extract is used as an additive during the cultivation of *Pleurotus ostreatus* in a liquid nutrient medium, it stimulates enzymatic reactions involved in aroma formation. In this medium, the concentration of 1-octen-3-ol (the primary compound responsible for the mushroom aroma) is more than 1.4 times higher. Additionally, the total number of identified aromatic components in the cultivated mycelium is over 1.7 times higher compared to

samples grown without wheat bran. These changes in aroma are accompanied by shifts in lipid-based aroma precursors, which show varied distribution between the mycelium and the culture liquid depending on the medium's composition.

It was found that photostimulation regimes used in the deep cultivation of edible medicinal macromycetes – *Hericium erinaceus* IVK-977, *Lentinula edodes* IVK-2541, *Ganoderma lucidum* IBK-1621– induce significant changes in both the quantity and quality of fatty acids and volatile aromatic compounds. In contrast, photostimulation had a negative effect on the formation of volatile aromatic components in *Inonotus obliquus* IBK-1877. Furthermore, combining photostimulation with a colloidal solution of Ag, Fe, and Mg nanoparticles in treating *G. lucidum* IBK-1621 seed mycelium also negatively impacted the formation of lipid-derived volatile aromatic components.

The research identified the optimal conditions for producing natural volatile compounds in green leaves, yielding high levels of saturated and unsaturated six- to nine-carbon aldehydes. A critical factor in these conditions is the use of enhanced physical forces, specifically mechanical activation in a vortex layer of ferromagnetic particles. Free PUFA, along with soybeans and mung beans, contribute to forming the aromatic components of GLV (Green Leaf Volatiles), with the beans' enzymes showing sufficient activity without requiring preliminary purification. The enzymatic transformation of aroma precursors depends on the combined action and specificity of the LOX/HPL complex in mung beans and soybeans. Increased dispersion, due to a larger surface area of contact between enzymes and precursors, accelerates the rate of aroma formation reactions.

The research established optimal conditions for activating the enzymatic system of raw materials through preliminary treatments, such as cooling (1–3°C for 5 hours), vacuuming (3–9 kPa), microwave exposure (0.6 kW), and combined methods (microwave heating and vacuuming) to modify or restore aroma. The study also confirmed the potential for melon crops, after heat treatment, to contribute to restoring lost aroma. For the successful production of fresh aroma in lipid extracts of watermelon, pumpkin, and cucumber, it is crucial to maintain a fatty acid content of 30–40% of the total fatty acids, along with the natural ratio of linoleic to linolenic acids.

The analysis of antioxidant activity and redox potential in melon crops (watermelon, pumpkin, cucumber), both fresh and after heat treatment, revealed notable trends in oxidation processes. These two indicators play a significant role in determining the fruits' capacity to regenerate aromatic components. Hydrothermal treatment of cucumbers, pumpkins and watermelons, which reduces the oxidation-reduction potential by  $30 \pm 10$  mV, antioxidant activity by more than 50 %, promotes oxidation reactions involving aroma-forming enzymes.

The study shows that fruits subjected to hydrothermal, vacuum, microwave, and freezing treatments form diene conjugates, hydroperoxides, and malondialdehyde to varying degrees. Pumpkin, watermelon pulp, for example, falls into the group with low redox potential, ranging from 60–110 mV, while fruits with robust antioxidant systems, such as currants, cherries, and sweet peppers, have redox potential values between 180–220 mV. In the case of pumpkin, heat treatment reduces its oxidation-reduction potential, unlike fruits with a stable antioxidant system, which is a factor in restoring the aroma of pumpkin fruits with plant enzyme extract.

The interphase activation of reactions involving aroma precursors is achieved by increasing the contact surface area within the system, enhancing dispersion, and promoting intermolecular interactions in the gelatin jelly, including through foam formation. A key advantage of using gelatin solutions is their ability to immobilize enzymes from an aqueous extract, which have surface-active properties. This process significantly increases the enzyme-substrate contact area and facilitates the electro-attraction of particles.

Research has shown that selecting the optimal collection period for cherry and linden leaves can closely replicate the natural aroma of cherries or linden blossoms after fermentation. In linden leaves, aroma-forming plant enzymes have a more substantial impact before flowering, while in cherry leaves, this effect is more pronounced after fruiting. The role of plant enzymes in transforming aroma precursors to create the distinctive fragrance of fermented leaves opens up new possibilities for sourcing aromas from the leaves of fruit trees and berry plants.

Drawing on the scientific concepts outlined in the dissertation and the comprehensive experimental data collected, this work offers scientific and practical recommendations for preparing a variety of flavored food products, including foams, jellies, herb-infused salts, sauces, distillates, fillers, emulsions, and flavored oils. A new herb pre-treatment technology has been developed, enabling enhanced aroma saturation in salt while reducing the quantity of herbs used. Additionally, suggestions are provided for flavoring fruit purees through packaging equipped with autonomous mixing and the use of vegetable enzymes. It has also been demonstrated that restoring the natural aroma of watermelon and melon pulp can be effectively achieved by incorporating amino acids derived from chickpeas and beans.

Flavored products help to address the sensory deficits that arise from reducing salt, sugar, and fat in food. The social significance of these new flavoring techniques is essential for creating food products tailored to children, older adults, and individuals with chronic conditions. Technological advancements in this area focus on medical and dietetic meals for chronic patients, specialized nutrition for military personnel, and developing food products with modified recipes, especially those constrained by limited aromatic descriptors.

**Key words:** *aromatic components, distillates (hydrolates), macromycetes, plant enzymes, aroma precursors, enzymatic reactions, vacuum treatment, fatty acid composition, microwave field, gelatin jelly, technologies, pumpkin fruits.*

**Авторка присвячує докторську дисертацію світлій пам'яті д.т.н., професора Безусова Анатолія Тимофійовича.**