

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ПОЛІССЯ НААН

**ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ХМЕЛЮ УКРАЇНСЬКИХ
СОРТІВ У ХЛІБОПЕЧЕННІ**

(Науково методичні рекомендації)

Житомир 2025

Рекомендації розглянуті та схвалені на засіданні Координаційно-методичної ради, протокол № 2 від 03 липня 2025 року.

Рецензент:

А.В. Бобер – кандидат с-г наук, доцент кафедри технології зберігання, переробки та стандартизації продукції рослинництва ім. проф. Б.В. Лесика Національний університету біоресурсів і природокористування України

Рекомендації розроблені під керівництвом кандидата технічних наук Проценко Л.В.

В розробленні рекомендацій прийняли участь:

Проценко Л.В. – кандидат технічних наук, с.н.с., завідувач відділу біохімії хмелю і пива та біотехнології,

Кошицька Н.А. – кандидат с.-г. наук, старший дослідник, провідний науковий співробітник відділу біохімії хмелю і пива та біотехнології,

Свірчевська О.В. – старший науковий співробітник відділу біохімії хмелю і пива та біотехнології,

Гринюк Т.П. – науковий співробітник відділу біохімії хмелю і пива та біотехнології,

Юрківський Й.М. – кандидат с.-г. наук, с.н.с., старший науковий співробітник відділу біохімії хмелю і пива та біотехнології,

Козлова І.В. – лаборант відділу біохімії хмелю і пива та біотехнології,

Особливості використання хмелю українських сортів у хлібопеченні/ [Л.В. Проценко, Н.А. Кошицька, О.В. Свірчевська, Т.П. Гринюк, Й.М. Юрківський, І.В. Козлова]; за ред. Л.В. Проценко. – Житомир: Бук-Друк, 2025., 31 с.

Рекомендації розроблені на основі узагальнених результатів наукових досліджень придатності хмелю найбільш поширених вітчизняних сортів до використання їх у хлібопеченні, впливу компонентів гірких речовин, поліфенольних сполук та ефірної олії хмелю на смакові та споживчі якості хлібобулочних виробів.

Оптимізовано дозування витрат хмелю та запропоновано розрахунок норми його споживання в хлібопеченні з урахуванням вмісту в ньому гірких альфа-кислот. Обґрунтовано вибір сорту хмелю для хлібопечення з наданням смако-ароматичних властивостей та характеристик. Запропонована технологія покращує споживчі властивості та смакові якості хлібобулочних виробів із забезпеченням аромату хмелю та стабільного оптимально-нормалізованого смаку хліба з легкою ніжною гірчинкою, що сприятиме наданню виробам оздоровчої та профілактичної дії.

Рекомендації розраховані на керівників і спеціалістів хлібо заводів та міні-хлібопекарень України різних форм власності, які для виробництва хліба в якості рецептурного компоненту використовують хміль вітчизняних сортів, науковців та викладачів і студентів вищих навчальних закладів.

ISBN

@ Інститут сільського господарства Полісся НААН, 2025

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	4
1. Технологічні та лікувально-профілактичні підстави застосування хмелю у хлібопеченні.....	4
2. Матеріали та методи досліджень.....	11
3. Обґрунтування та підбір сортів хмелю для застосування в хлібопеченні.....	14
4. Оптимізація нормування витрат хмелю для приготування хмельової закваски відповідно до вмісту у ньому альфа-кислот.....	21
5. Соціальна та економічна ефективність виробництва хліба з додаванням хмелю.....	26
ВИСНОВКИ.....	27
Література.....	28

Вступ

Хміль це унікальна рослина, що містить в шишках сотні фітохімічних сполук, які мають широкий спектр фармакологічної дії на організм людини, є природними антиоксидантами та біологічно активними речовинами. Сучасні економічні та ринкові умови передбачають використання хмелю не лише як сировини для пивоваріння, а й в інших галузях харчової промисловості. Однією із таких галузей є хлібопечення, де, поряд із застосуванням сучасних технологій, повертаються до класичних, певною мірою втрачених і забутих технологій виготовлення хліба на хмельових заквасках, які широко використовувались в Україні з давніх часів [1, 2]. На рівні з приватними міні-пекарнями, потужні хлібозаводи вносять корективи у випікання нових сортів пшеничного та житньо-пшеничного хліба, додавши до рецептури шишки цієї унікальної рослини [1, 3]. Намагання фахівців промисловості адаптувати технологію виготовлення хліба з використанням хмелю до сучасних умов виробництва пов'язане також з появою нових наукових даних про функціональні фізіологічні властивості хмелю [2, 4-6] та прагнення збагатити хліб його біологічно активними речовинами [2, 7].

З розвитком нових тенденцій до здорового харчування та для розширення асортименту, на вимогу споживача, бездріжджових хлібобулочних виробів, а також з появою нових сортів хмелю з відмінними від інших сортів смако-ароматичними характеристиками, сьогодні перспективним завданням є вивчення та обґрунтування ефективного використання комплексу технологічно цінних сполук хмелю вітчизняних сортів у випічці, його вплив на якість хліба та оптимізація дозування гірких та поліфенольних сполук для забезпечення високої споживчої якості цільового продукту.

1 Технологічні та лікувально-профілактичні підстави застосування хмелю у хлібопеченні

Хліб є мірилом національного багатства. Він для переважної більшості українців, був і є основною життєдайною їжею, сакральним продуктом. Хліб створений тисячолітньою людською мудрістю, майстерністю і наполегливою тяжкою працею. У кожному шматку хліба – праця сотень людей: хлібороба, мірошника, пекаря, працівників багатьох професій, що забезпечують його виробництво сировиною, паливом, електроенергією тощо.

В Україні хліб належить до основних продуктів харчування. Питома вага хліба в харчуванні населення визначається національними особливостями, економічними можливостями, характером праці та іншими факторами. Добове

споживання в різних країнах складає від 150 до 500 г на людину. Добова норма вживання хліба, що зазначена у споживчому кошику України, складає 277 г на добу. У періоди економічної нестабільності споживання хліба неминуче зростає, оскільки хліб – найдешевший продукт харчування.

У сучасних умовах набуває першорядного значення виготовлення конкурентоздатної продукції, виробництво якої можуть забезпечити прогресивні ресурсозберігаючі технології. Загалом, технології випікання хліба змінювалися разом із змінами суспільства, проте основна сировина залишалася завжди тією самою. Борошно, воду, сіль і дріжджі чи закваску використовували зі століття у століття.

Хмельові екстракти справдавна використовувались для приготування хліба у вигляді хмельових заквасок спонтанного бродіння, гірких заварок тощо. [1]. Ще єгиптяни виготовляли близько 50 видів коржів, прісних хлібів та хлібців, заквашених опарою на хмельовому екстракті [3]. На території нашої країни також закваски для хліба виготовляли із додаванням шишок хмелю, якого в даній місцевості росло дуже багато. Тому господарі широко використовували хміль, який був в наявності – без врахування сортових особливостей [3].

Проте з 30-х рр. ХХ ст. у хлібопекарській промисловості для вдосконалення і спрощення технології, стабілізації біотехнологічних властивостей напівфабрикатів і якості виробів почали застосовувати технічно чисті культури бродильних мікроорганізмів, з'явилися високопродуктивні штами дріжджів і молочнокислих бактерій (МКБ). Традиція хлібопечення на заквасках, у т.ч. хмельових, зі спонтанною мікрофлорою поступово стала зникати [8].

На сьогоднішній день у хлібопекарській галузі зберігається тенденція до скорочення та універсалізації технологічного процесу, застосовування систем автоматичного управління на виробництві, прагнення до підвищення прибутковості на підприємствах. При цьому, як зазначають теоретики і практики хлібопечення, загострилися проблеми, пов'язані з формуванням якості, фізіологічних властивостей хлібобулочних виробів, швидкими темпами їх черствіння та забезпеченням мікробіологічної стабільності під час зберігання [8].

Тому на хлібозаводах, поряд із використанням прискорених сучасних технологій, повертаються до класичних, певною мірою втрачених і забутих рецептів наших предків, що забезпечують високу якість виробів. Однією з таких технологій є виготовлення хліба на хмельових заквасках, яка широко використовувалась в Україні з давніх часів [1, 3, 9-11].

В останні десятиліття завдяки розвитку і досягненням фундаментальних, прикладних наук, більш детальному вивченню хімічного складу хмелю, його

фізіологічних властивостей відмічається відновлення інтересу до нього з огляду використання в харчовій промисловості, у т.ч. в технології хлібопечення.

Хміль – це унікальна рослина, що містить сотні фітохімічних речовин, які мають певний потенційний фармакологічний потенціал. До важливих речовин хмелю в пивоварінні відносять гіркі речовини, поліфеноли та ефірну олію, які насамперед, впливають на формування смаку пива та хід мікробіологічних процесів під час його приготування.

Зважаючи на широкий спектр фізіологічної дії, лікувально-профілактичних, бактерицидних властивостей хмелю, доцільно більш детально розглянути його хімічний склад, функціонально-фізіологічні та функціонально-технологічні властивості в ракурсі використання у хлібопекарському виробництві.

Гіркі речовини, поліфенольні сполуки та ефірна олія хмелю є сильними фітонцидами, що здатні пригнічувати ріст грибків, найпростіших і мають загальностимулюючу, протизапальну, регенеративну, протиалергічну та іншу дію на організм людини [4, 12-15]. Результати досліджень протигрибкових властивостей екстракту хмелю продемонстрували значне пригнічення гіпального росту *Aspergillus niger*, *Aspergillus parasiticus*, *Penicillium polonicum*, *Penicillium paneum*, *Penicillium carneum*, *Penicillium chermesinum* та *Penicillium roque* [2].

Було встановлено, що гіркі речовини хмелю, зокрема: альфа- і бета -кислоти, м'які, тверді смоли та поліфенольні сполуки хмелю мають антиоксидантну дію і є природними консервантами при випіканні хліба. На думку авторів [2] закваска, збагачена екстрактом хмелю, мала значно вищу концентрацію фенолів та антиоксидантну активність порівняно з заквасками без хмелю. Закваска з хмелю, яка використовувалася у виробництві хліба, затримувала зростання патогенної мікрофлори (до 14 днів), сприяючи виробництву хліба, що характеризувався більшою концентрацією вільних амінокислот, антиоксидантною та фітазною активністю порівняно з хлібом, де використовували тільки пекарські дріжджі [2]. Гіркі речовини, зокрема альфа-кислоти та бета-кислоти, є токсичними для кислотоутворюючих мікроорганізмів, інших грампозитивних бактерій та грибків, а у високих концентраціях пригнічують грамнегативні бактерії, а також демонструють антибактеріальну та протигрибкову активність [5, 16, 17]. Гіркі речовини та ефірна олія володіють інсектицидною дією [17, 18,19].

За даними Michiner H. D. та ін. [20] лупулон та гумулон гальмують ріст фітопатогенних грибів *Rhizopus nigricans* та *Sclerotinia fructicola*. В роботі Lewis J. C. [21] зазначено, що лупулон є більш активним *in vitro* відносно *Bacillus subtilis*, *Bac. cereus*, які, як відомо, є основною причиною мікробіологічного

псування пшеничного хліба, а також він пригнічує розвиток *Bac. anthracis*, *Streptococcus aureus*, *Micrococcus lysodeicticus* та ін. Крім того, виявлено ефективність β -гірких кислот проти таких збудників захворювань, як *Helicobacter pylori*, *Mycobacterium tuberculosis*, *Listeria monocytogenes*. Когумулон, адгумулон, колупулон і адлупулон також пригнічують ріст грампозитивних та кислотостійких бактерій. При цьому Kanta Sakamoto та ін. [22] встановлено, що у лактобактерій, таких як *Lactobacillus brevis* та *L. lindneri* – активних учасників бродильних процесів під час дозрівання хлібопекарських напівфабрикатів, функціонують механізми, які забезпечують їх резистентність до хмельових кислот. Ці механізми були пояснені у 2006 р. Jürgen Behr та ін. [23] особливостями метаболізму та структури клітинної стінки молочнокислих бактерій.

У формуванні бактерицидних властивостей хмелю важливу роль також відіграють ефірні олії. Вони активні по відношенню до грампозитивних бактерій та грибків, проте практично не проявляють активності щодо грамнегативних бактерій, наприклад, таких як *Escherichia coli* [8]. Ефірні олії хмелю легко окислюються, погано розчиняються у воді ($0,4 \text{ см}^3/\text{дм}^3$) і повністю у спирті. Незважаючи на те, що основні компоненти ефірної олії хмелю мають точку кипіння вище 100°C , згідно із законами фазової рівноваги вони відганяються водяною парою під час кип'ятіння. За 90 хв екстрагування при температурі 100°C видаляється до 85 % загальної кількості ефірних олій.

В останні десятиліття світова наукова спільнота велику увагу приділяє пренілфлавоноїдам хмелю, які накопичуються у лупуліні. Відомо, що до пренілфлавоноїдів хмелю належить понад 20 сполук, але суттєвий вміст і найбільше значення має ксантогумол [19].

Ксантогумол в біологічних тестах виявився найактивнішою сполукою, що має протиракові та антиоксидантні властивості [19, 24, 25]. Авторами був представлений широкий спектр противірусної та інсектицидної дії ксантогумолу хмелю [26, 27].

У хмелі виявлено рутин, вітаміни С, Е, В1, В3, В6, Н і РР, більшість з яких необхідні для активації ферментів дріжджових клітин, що беруть участь у метаболізмі та спиртовому бродінні. У період дозрівання в шишках хмелю знаходиться 61,2...63,5 мг % (від маси свіжої сировини) аскорбінової кислоти, у т. ч. 15,7...27,9 мг % у відновленій формі. Виявлено вміст каротиноїдів, 20...70 мг % токоферолів, у т. ч. 10...55 мг% α - токоферолу, який є більш фізіологічно активним. Хміль також містить майже повний перелік макро- і мікроелементів, які необхідні для життєдіяльності та розвитку дріжджових клітин – калій, кальцій, магній, сірка, фосфор, кремній, залізо, алюміній, цинк, мідь, молібден, бор, марганець, нікель, йод, селен [8].

Речовини хмелю перешкоджають розвитку таких патогенних мікроорганізмів, як *Staphylococcus aureus*, *M. tuberculosis*, пригнічують розвиток деяких грибків [8, 29-32]. А.Ф. Прокопчук виявив, що *Bacillus mesentericus*, *B. Subtilis*, *Candida albicans*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Aspergillus sp.* та інші пригнічуються при 0,5 %-й концентрації CO₂-екстракту хмелю [8].

Такі селективні бактерицидні властивості складових хмелю викликають інтерес у виробників хлібобулочних виробів, у формуванні якості яких суттєву роль відіграють спиртове та молочнокисле бродіння, з точки зору розробки засобів гальмування розвитку сторонніх потенційно шкідливих мікроорганізмів зі збереженням активності корисної технологічно значущої мікрофлори [8].

Іншою причиною підвищеної уваги до використання хмелю у хлібопеченні є прагнення виробників задовольнити потреби споживача та розширити асортимент хлібобулочних виробів шляхом внесення мікроінгредієнтів – харчових добавок, хлібопекарських покращувачів, різних видів нетрадиційної сировини [1, 2].

У фаховій літературі зустрічаються відомості про способи застосування хмелепродуктів у вигляді хмельових екстрактів при приготуванні рідких дріжджів, заквасок, гірких заварок [8].

Завдяки використанню хмелю покращуються сенсорні характеристики та подовжується термін зберігання хлібобулочних виробів [33]. Вживання закваски з хмелю позитивно впливає на якість хліба, зменшує ризик розвитку патогенної мікрофлори у готовій продукції [33]. Хліб з додаванням хмельового екстракту має сокогінний ефект, тобто активно виділяються з підшлункової залози, печінки, жовчного міхура ферменти, які покращують моторику кишківника. Людина, яка вживає такий хліб, значно рідше хворіє гострими респіраторними захворюваннями, у неї покращується самопочуття, відновлюється імунітет [9].

Крім того, хліб з додаванням хмельового екстракту містить всі незамінні амінокислоти; вуглеводи; клітковину; вітаміни B₁, B₆, PP; мінеральні речовини: солі натрію, калію, фосфору, заліза, кальцію, а також мікроелементи: кобальт, мідь, які беруть участь в утворенні дихальних ферментів [1, 3]. Таким чином, корисні речовини, що входять до складу хмелю, відіграють значну роль в отриманому вищезгаданому продукті.

Хміль використовується як консервант та джерело біологічно активних речовин для збагачення хліба мікроелементами. Екстракти хмелю впливають на реологічні властивості тіста, зокрема призводять до зниження еластичності та ступеня розм'якшення пшеничного тіста [32].

Сотнікова Є.Н. [34] вважає, що в хлібу на хмельовій заквасці, завдяки кислотам, які утворюються під час бродіння, фітин зернових продуктів втрачає

здатність зв'язувати кальцій у нерозчинні комплекси і тим самим поліпшується його засвоюваність. На думку Н. Траутвейна [35], хліб, виготовлений з використанням хмелю, не створює в шлунково-кишковому тракті умов для дисбактеріозу і поповнює організм корисними сполуками і мікроелементами у натуральній формі, чого не має ні в яких інших традиційних сортах хліба.

Проведений аналіз сучасних даних з хімічного складу та фізіологічних властивостей хмелю в цілому та його складових зокрема, дозволяє назвати основні напрямки його використання в хлібопеченні: інтенсифікація мікробіологічних процесів дозрівання борошняних напівфабрикатів шляхом збагачення їх дефіцитними для бродильних мікроорганізмів мікро-нутрієнтами; стабілізація біотехнологічних властивостей, мікробіологічного складу пшеничних заквасок, рідких дріжджів тощо; попередження мікробіологічного псування готових виробів; підвищення фізіологічних властивостей хлібобулочних виробів.

За останні 10 років проведено ряд науково-дослідних робіт, направлених на адаптацію технологій використання хмелю до сучасних умов його виробництва та функціонування хлібопекарських підприємств. На ринку з'явилися сухі суміші, закваски фірм «IREKS», «PURATOS» які містять сполуки хмелю. Поширенню зацікавленості хмелем серед виробників хліба є наростаючий інтерес споживачів до продуктів харчування з підвищеними фізіологічними властивостями.

Нині декілька українських хлібозаводів вже використовують старовинні рецепти виготовлення хліба, випікаючи хліб на основі закваски, виготовленій з використанням хмелю, адаптувавши її до сучасних умов [35]. При цьому, деякі автори [10] вивчали умови закваски і внесення різних концентрацій хмелю. Відомо кілька способів використання хмелю в хлібопеченні. Деякі з них, передбачають використання хмелю у вигляді екстракту шишок у співвідношенні з водою від 1:50 до 1:400 [10], інші у вигляді порошку шишок хмелю у кількості 0,1–0,2 % до маси борошна [1, 36]. Однак такий підхід не завжди забезпечує достатньої якісно нормованої гіркоти хліба [37]. Виходячи із цього, одним із завдань наших досліджень було вивчення нормування внесення гірких речовин та поліфенольних сполук хмелю при виготовленні хліба із забезпеченням його стабільної якості.

Провівши аналіз технологій застосування хмелепродуктів у хлібопеченні можна резюмувати, що широкому їх впровадженню, незважаючи на всі позитивні сторони, перешкоджає ряд факторів. По-перше, нестабільність функціонально-технологічних властивостей різних партій хмелю, оскільки вони залежать від сорту, умов його вирощування, змінюються в процесі зберігання. Крім того, немає обґрунтування доцільності використання того чи іншого сорту

хмелю в технології хлібопечення. По-друге, тривалість та неоднозначність запропонованих в різних розробках параметрів процесу екстракції значно гальмує підприємства на шляху впровадження таких технологій. По-третє, більшість робіт, щодо використання хмелю та продуктів його первинної обробки в хлібопеченні були присвячені вивченню їх здатності підвищувати мікробіологічну стабільність напівфабрикатів та готових виробів.

Але аналіз хімічного складу, вміст у хмелепродуктах таких парафармацевтиків, як гіркі речовини, ефірні олії, поліфенольні сполуки, глікозиди, органічні кислоти, широкий перелік амінокислот, вітамінів, макро-, мікроелементів можуть забезпечити формування різних технологічних та фізіологічних властивостей, які дозволять комплексно вирішувати проблеми підприємств хлібопекарської галузі щодо забезпечення випуску конкурентоспроможної продукції.

Велику кількість досліджень з питань екстракції гірких речовин хмелю було проведено в галузі пивоваріння. Відомо, що гіркі речовини хмелю (альфа-кислоти) в пивному суслі не розчиняються [12]. Але при інтенсивному кип'ятінні сусла з хмелем впродовж 90–120 хв. проходить процес ізомеризації окремих фракцій гірких речовин хмелю, без чого ні одна із фракцій в екстракт перейти не може. Встановлено, що після 120-хвилинного кип'ятіння перетворення альфа-кислот в ізомеризовані сполуки зупиняється [13]. У пивоварінні за вмістом гірких речовин при виготовленні пива проводять нормування внесення хмелю та контроль за режимом охмеління сусла. Проте у хлібопекарському виробництві таких досліджень проводилось дуже мало [8, 10, 35].

Найчастіше хміль для хлібопечення вибирають той, що є в наявності або коштує дешевше. І зазвичай, це хміль високосмольних грубих сортів, що містить велику кількість гірких речовин. Надлишок такого хмелю призведе до створення гіркого смаку хліба. Тобто, обмежуючим фактором для використання хмелю у випічці є його дозування через наявність інтенсивної гіркоти в сировині хмелю. Оскільки, сорти хмелю істотно відрізняються за біохімічними показниками, і використання хмелю різних сортів по-різному вплине на смак хліба, тому обґрунтування застосування типу та сорту хмелю, що використовується для виготовлення хліба, є питанням актуальним і важливим та потребує детального підходу до нормування хмелю в хлібопеченні.

На жаль, хміль у хлібопекарській галузі використовують ще дуже мало. На нашу думку, його слід ширше використовувати у сільських та районних пекарнях, насамперед, у зонах вирощування хмелю [36]. Це дозволило б урізноманітнити асортимент хлібобулочних виробів, краще задовольнити потреби населення в цьому головному харчовому продукті і підняти престиж

українського хмелю.

Тому обґрунтування особливостей ефективного використання комплексу технологічно цінних сполук хмелю українських сортів та продуктів його переробки у хлібопеченні, дозування гірких та поліфенольних сполук для забезпечення хмелевого аромату та стабільного оптимально-нормованого присмаку хліба з легкою ніжною гірчинкою, що сприятиме підвищенню його якості і споживчих властивостей, а також наданню виробам оздоровчої та профілактичної дії, є актуальним завданням сьогодення.

2 Матеріали та методи досліджень

Дослідження проводились у 2021-2024 роках у акредитованій лабораторії відділу біохімії хмелю і пива та біотехнології Інституту сільського господарства Полісся Національної академії аграрних наук України. Досліджувались біохімічні показники якості шишок тонкоароматичного сорту хмелю Перлина та пшеничний хліб, виготовлений на основі хмелевої закваски даного сорту.

В роботі використовувались сучасні міжнародні фізико-хімічні методи аналізу гірких речовин, поліфенольних сполук та ефірної олії хмелю: високоефективна рідинна хроматографія, спектрофотометрія та інші методи контролю якості хмелесировини та готових хлібобулочних виробів.

Кожна серія дослідів була проведена не менше, ніж у трьох повторюваннях. У таблицях та на рисунках відображені середні значення параметрів визначених величин.

Методи досліджень гірких речовин хмелю

Органолептичні показники шишок, масову частку вологи визначали згідно міжнародного методу Аналітика ЕВС 7.2. [38, 39]. Кількість альфа-кислот в них – кондуктометричний показник гіркоти – за міжнародним методом Аналітика ЕВС 7.4 [38, 39]. Метод базується на кондуктометричному титруванні гексанового екстракту гірких речовин хмелю розчином оцтовокислого свинцю та розрахунком масової частки альфа-кислот.

Вміст і склад альфа-, бета-кислот та ксантогумолу – визначали методом високоефективної рідинної хроматографії згідно міжнародної методики ЕВС 7.7. [38, 39]. Гіркі речовини хмелю: альфа- та бета-кислоти та їх складові, зокрема, когумулон, колупулон та ксантогумол з хмелю екстрагували органічним розчинником – метанолом. Співвідношення між масою хмелю та екстрагентом становило 1:10. Кількість альфа- та бета-кислот та вміст когумулоу та ксантогумолу визначали методом високоефективної рідинної хроматографії. Хроматографування здійснювали за допомогою рідинного хроматографа

Ultimate 3000 з УФ детектором за температури 35 °С. Використовували колонку розміром 100 x 2.1 мм, що була заповнена сорбентом Pinnacle ДВ C18 3 мк. В якості рухомої фази використовували розчин метанолу, води та ацетонітрилу в співвідношенні 38:24:38. Для кількісного визначення ксантогумолу використовували стандарт-еталон ксантогумолу з вмістом даної сполуки 99,8%, для компонентів гірких речовин: альфа- і бета-кислот – міжнародний еталон ICF-3 [39].

Методи досліджень кількості та якісного складу ефірної олії хмелю
Кількість ефірної олії визначали міжнародним методом Аналітика ЕВС 7.10 [40], який базується на визначенні вмісту ефірної олії в см³ на 100 г повітряно сухої речовини шляхом одержання ефірної олії гідродистиляцією з наступною декантацією та збиранням її у спеціальному уловлювачі.

Хімічний склад ефірної олії аналізували газовою хроматографією, дотримуючись офіційного методу в Analytica-ЕВС 7.12 [41]. Чотири вибрані компоненти (мірцен, каріофілен, фарнезен, гумулен) були ідентифіковані та кількісно визначені за допомогою капілярного газового хроматографа «Кристал-2000 М», оснащеного полум'яно-іонізаційним детектором. Виділену з гранул хмелю ефірну олію розділяли на окремі сполуки методом газової хроматографії на колонках 50-60 м (Restek Stabilwax® виробник USA) з використанням: 20 - 30 см³ хроматографічного інертного газу-носія азоту. Температурна програма була наступною: 60 °С (витримка 1 хв), 60–190°С (4 °С/хв), 190–220 °С витримка в ізотермічному режимі 40 хв). Температура інжектора становила 220°С, об'єм впорскування 0,3 – 0,4 мкл, температура детектора 250°С. Результати виражали як відносний % певної сполуки в ефірній олії.

Приготування екстрактів хмелю для хмельових заквасок.

На екстрагування та накопичення цінних сполук хмелю у розчині впливають тривалість кип'ятіння, наявність зворотного холодильника та інші фактори. За даними досліджень [37] час кипіння для накопичення гірких і поліфенольних сполук хмелю в екстракті (93-95%) становив 60 хвилин. Через 45 хвилин з хмелю було вилучено 85-87% загальної кількості гірких речовин. З метою зменшення споживання енергії та тривалості приготування екстракту хмелю для використання у хлібобулочних виробках, доцільно екстрагувати хміль за температури кипіння впродовж 45 хвилин. Екстракт хмелю готували кип'ятінням шишок хмелю (10 г шишок на 1 л окропу) впродовж 45 хвилин із зворотним холодильником, після чого кількісні параметри екстракту хмелю враховувались при нормалізації споживання хмелю.

Величину гіркоти в хмельовому екстракті визначали спектрофотометричним методом на спектрофотометрі «SECOMAM Uvilight XT

2» [42]. Для визначення вмісту поліфенолів у хмельового екстракту, застосовували метод, який розробив і запропонував аналітичному комітету ЄВС Єруманіс (II варіант) [43].

Приготування заквасок з хмелю для хлібопечення.

До охолодженого та профільтрованого розчину 1 л екстракту хмелю додавали 200 г борошна та 75 г цукру. Закваску поміщали в тепле місце (за температури 30-35°С) на дві доби для проходження процесу бродіння (залежно від температури, процес бродіння може пройти швидше або довше). Готову закваску до використання зберігали в скляній тарі, накривали кришкою з отворами, в холодильнику.

Оцінювання показників якості хліба з хмелем

Вплив хмелю на показники якості хліба визначали лабораторною випічкою. Тісто готували з пшеничного борошна вищого гатунку монофазним методом. У тісто додавали хміль у вигляді закваски. Кількість дріжджів зменшували вдвічі від зазначеної в рецептурі (3% до маси борошна). В якості контрольного зразка був пшеничний хліб без додавання хмельової закваски. Якість хліба, виготовленого з використанням хмелю, та контрольний зразок оцінювали за органолептичними та фізико-хімічними показниками. Органолептичну оцінку хліба проводили згідно ДСТУ 7044 [44], відповідно до п'ятибальної системи якості хлібобулочних виробів. Органолептичні характеристики включали зовнішній вигляд: колір скоринки, стійкість форми виробу, стан поверхні, стан м'якушки, структуру пористості, ступінь випікання, свіжість, запах та смак хліба. При визначенні стану поверхні звертали увагу на форму скоринки та її стан. Поверхня повинна бути гладкою, без тріщин, без підривів. М'якушка повинна бути добре пропечена, еластична, не липка, з розвиненою пористістю, без слідів нерівності та ущільнення крихти. При оцінці стану пористості м'якушки враховувались розмір пор, рівномірність їх розподілу та товщина стінок пор. Еластичність м'якушки оцінювали легким натисканням одним або двома пальцями на розрізану поверхню виробу. Будову крихти спостерігали, видаляючи пальці з поверхні. При повній відсутності залишкової деформації пружність м'якушки була оцінена як хороша; з незначною деформацією – як середня, а зі значною залишковою деформацією та мнотістю м'якушки – як погана. Аромат і смак визначали під час дегустації. Кожен показник оцінювався за п'ятибальною шкалою. Чим кращий показник для кожної вибірки, тим вищий бал за цим показником він отримав.

Фізико-хімічні показники в зразках хліба визначали згідно ДСТУ 7045 [45]. До фізико-хімічних показників якості хліба відносять: вологість, кислотність, пористість, а також вміст цукру і жиру у виробі, які містять цукор і жир за рецептурою. Фізико-хімічні параметри якості хліба визначалися

не раніше ніж через 3 години після випікання і не пізніше 24 годин. Фізико-хімічні властивості включали питомий об'єм, стабільність форми, структурно-механічні властивості крихти, пористість. Об'єм хліба у см^3 вимірювали за принципом вимірювання об'єму сипучого наповнювача, витиснутого хлібом. Питомий об'єм хліба (об'єм 100 г продукту, $\text{см}^3/100 \text{ г}$) визначали шляхом поділу об'єму хліба на його масу. Стабільність форми хліба характеризувалася відношенням його висоти (Н) до діаметра (Г). Об'єм хліба в см^3 вимірювали за принципом вимірювання об'єму насипного наповнювача, екструдованого хлібом. Пористість хліба відображає об'єм пор у певному об'ємі крихти, виражений у відсотках від загального об'єму хліба. Збільшення цього показника свідчить про більший обсяг, кращий зовнішній вигляд, більшу крихкість.

Приготування хліба проводили за наступною технологічною схемою:

- Підготовка сировини до виробництва: зберігання, змішування, підготовка питної води; підготовка хмельової закваски, приготування і темперування розчинів і дріжджових суспензій;
- Приготування хмельової закваски;
- Дозування рецептурних компонентів, заміс і бродіння опари та тіста;
- Оброблення – розподіл дозрілого тіста на порції однакової маси;
- Укладання у форми при випіканні формового;
- Формування тістових заготовок з метою надання їм визначеної форми: кулястої або циліндричної при випіканні подового;
- Розстойка – бродіння сформованих тістових заготовок.
- Гідротермічна обробка тістових заготовок і випікання хліба;
- Охолодження, органолептична оцінка хліба.

3 Обґрунтування та підбір сортів хмелю для застосування в хлібопеченні

Одним з напрямків збагачення хліба біологічно активними сполуками хмелю, розширення асортименту хлібобулочних виробів та покращення їх якості, смаку і аромату є вивчення та використання в хлібопеченні хмельових заквасок, виготовлених на основі водного екстракту шишок тонкоароматичних сортів хмелю.

При виготовленні водного екстракту хмелю під час його кип'ятіння альфа-кислоти ізомеризуються з утворенням ізо-альфа-кислот, які мають більш гіркий смак [46, 47]. При цьому у розчин екстрагуються також інші біологічно активні речовини, зокрема, поліфеноли та ефірні олії [48]. На їх вміст у розчині впливають тривалість варіння, наявність зворотного холодильника та ін.

Вплив гірких речовин, поліфенольних сполук та ефірних олій хмелю на показники якості хліба визначали лабораторною випічкою. Тісто готували з

пшеничного борошна вищого гатунку монофазним методом. Визначальним фактором для встановлення максимально можливої дози хмелю був смак хліба. Дані, отримані у випадку використання шишок хмелю сортів Клон 18, Злато Полісся та Слов'янка показали [21, 32], що у разі дозування хмелю в кількості 0,08% від маси борошна, смак був типовим для хліба з легким смаком і ароматом хмелю. При менших дозах хмелю смак та аромат хліба майже не відрізнялися від контрольної проби. У разі додавання хмелю в кількості більше 0,10% до маси борошна відчувався злегка гіркий тон, який із збільшенням дозування хмелю перетворювався на більш гіркий смак. Таким чином, максимально можлива доза ароматичного хмелю для приготування хліба становила 0,08–0,10% від маси борошна, що приблизно вдвічі перевищувало дозу, відому з літератури (0,04%) [36], за умови, що використовувались гіркі сорти з високим вмістом α -кислот.

Для обґрунтування вибору сортів хмелю з оптимальними біохімічними критеріями, які будуть рекомендуватися для застосування в хлібопеченні, проводили пробні випікання хліба з використанням хмельових відварів сортів тонкоароматичного типу: Клон 18, Злато Полісся, Слов'янка та перспективного сорту хмелю Ксанта з високим вмістом пренілфлавоноїдів. Характеристика сортів хмелю наведена в таблиці 1.

Таблиця 1 – Біохімічні показники якості шишок сортів хмелю

Сорт хмелю	Вміст, % сухої речовини (СР) у шишках хмелю				Уміст ефірні олії, мл/100 г сухої речовини	Фарнезен, % у складі ефірної олії	Індекс ароматичності, β/α
	α -кислот	β -кислот	загальних поліфенолів	ксантогумолу			
Клон 18	2,22 $\pm$ 0.05	2,93 $\pm$ 0.06	4,94 $\pm$ 0.12	0,28 $\pm$ 0.01	0,67 $\pm$ 0.03	18,34 $\pm$ 0.46	1,27
Злато Полісся	2,51 $\pm$ 0.02	3,60 $\pm$ 0.07	5,13 $\pm$ 0,05	0,31 $\pm$ 0.03	0,53 $\pm$ 0.04	17,91 $\pm$ 0.32	1,21
Слов'янка	3,64 $\pm$ 0.07	5,51 $\pm$ 0.03	5,11 $\pm$ 0,10	0,47 $\pm$ 0.01	0,98 $\pm$ 0.05	17,74 $\pm$ 0.41	1,52
Ксанта	8,75 $\pm$ 0.08	7,10 $\pm$ 0.04	5,52 $\pm$ 0,08	0,79 $\pm$ 0.02	1,07 $\pm$ 0.05	<1	0,81

Тісто готували з пшеничного борошна першого гатунку монофазним способом. Хміль вносили у тісто з розрахунку 0,08% до маси борошна у вигляді хмельової закваски, виготовленої з 1% - го відвару хмелю. Тривалість кип'ятіння становила 45 хвилин.

Оскільки в попередніх дослідженнях нами було відмічено, що при використанні хмелю в дослідних зразках зросла формостійкість хліба, тому для приготування тіста у дослідних зразках кількість дріжджів було зменшено на 50% від зазначеної у рецептурі.

Кількість гірких речовин та поліфенольних сполук, внесених із хмельовою закваскою до тіста з розрахунку на 1 кг борошна визначали розрахунковим шляхом, що представлено в табл. 2.

Таблиця 2 – Кількість гірких речовин та поліфенольних сполук в хмельовій заквасці із розрахунку на 1 кг борошна (середнє при $n=3$, $P \geq 0.95$)

Сорт хмелю	Вміст у хмельовому відварі, мг/кг	
	гірких речовин	загальних поліфенолів
Клон 18	15,84±0.10	35,28 ±0.18
Злато Полісся	18,00±0.14	36,72±0.16
Слов'янка	25,92±0.13	36,72±0.14
Ксанта	62,64±0.29	39,60±0.19

Результати досліджень показали, що при використанні хмельової закваски різних сортів з розрахунку 0,08% до маси борошна у вигляді 1%-го хмельового відвару до тіста вноситься різна кількість гірких та поліфенольних сполук хмелю. Найменше гірких речовин нами було внесено з хмелем сорту Клон 18, найбільше – з хмелем сорту Ксанта. Також з хмелем даного сорту було внесено найбільшу кількість поліфенольних сполук, найменше – із Клон 18.

Вплив хмельової закваски, виготовленого з різних сортів хмелю, на фізико-хімічні показники пшеничного хліба представлений на рисунку 1.

Використання різних сортів хмелю при виготовленні хліба не погіршило його фізико-хімічні властивості. У всіх варіантах хліба з додаванням хмельового екстракту спостерігалось підвищене значення пористості, але показник знаходиться у межах норми. Пояснюється це кращим бродінням тіста.

Хліб, виготовлений з використанням хмелю та контрольний варіант оцінювали за органолептичними показниками за п'ятибальною шкалою. Вплив хмельового відвару, виготовленого з різних сортів хмелю на органолептичні показники пшеничного хліба представлений на рис. 1-4.

Всі варіанти хліба, виготовлені з додаванням хмелевого відвару з тонкоароматичних сортів хмелю Клон 18, Злато Полісся та Слов'янка, мали приємний смак та аромат (рис. 1-3). В порівнянні з ними, контрольний варіант мав аромат, властивий лише хлібу. Колір скоринки хліба у дослідних варіантах був від світло-жовтого до золотисто-жовтого. Контрольний варіант мав світло-жовту скоринку.

Проведені нами дослідження показали, що додавання хмелевої закваски, виготовленого з різних сортів хмелю, не погіршує колір та форму хліба, стан та колір м'якушки. Зменшення кількості дріжджів і додавання натомість хмелевої закваски позитивно вплинуло на підняття тіста, що не зменшило форму виробу.

Пористість у контрольному варіанті була рівномірною, дрібною. У дослідних варіантах пористість зростає, що пов'язано з кращим бродінням тіста. Поліпшується структура пористості – вона рівномірна, середня, тонкостінна.

Колір м'якушки у всіх зразках, включаючи контрольний, був світло-кремовим. М'якушка була еластичною, не липкою. Питомий об'єм залишається сталим для всіх варіантів хліба.



Рисунок 1 Профілограма органолептичних властивостей пшеничного хліба за використання закваски хмелю сорту Клон 18.

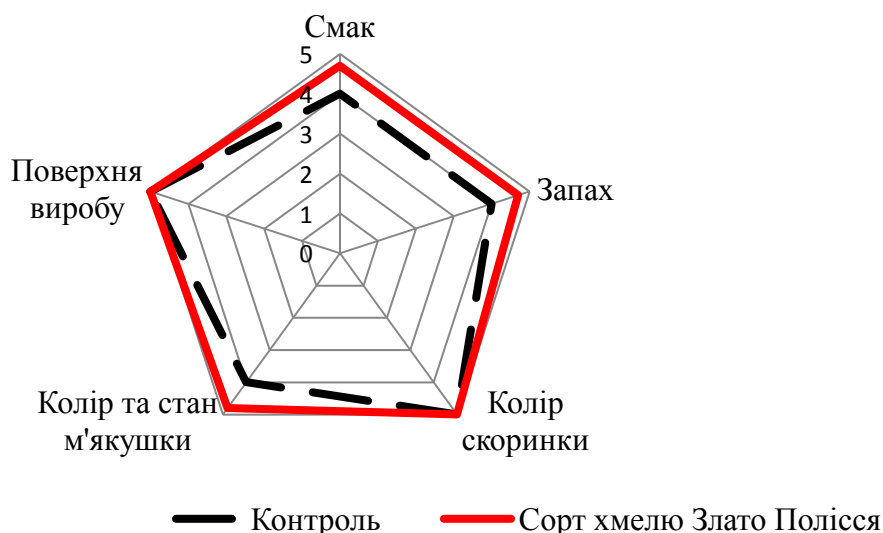


Рисунок 2 Профілограма органолептичних властивостей пшеничного хліба за використання закваски хмелю сорту Злато Полісся

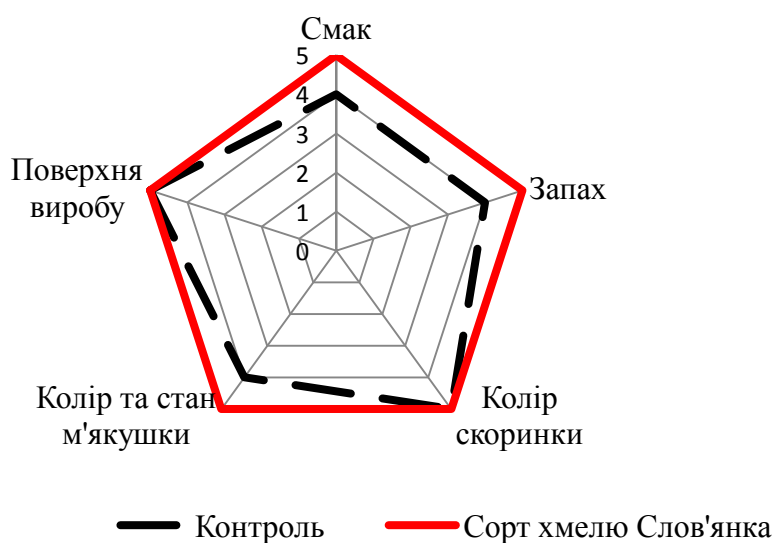


Рисунок 3 Профілограма органолептичних властивостей пшеничного хліба за використання закваски хмелю сорту Слов'янка

Хліб, виготовлений з додаванням хмелевого відвару сорту Ксанта з високим вмістом гірких речовин, мав більш виражений, злегка хмелевий аромат. Незначно підвищується питомий об'єм та зростає формостійкість виробу. Але при цьому смак хліба мав надмірну гіркоту (рис. 4). Тому використання даного сорту хмелю в хлібопеченні можливо лише за умови нижчого вмісту в ньому гірких речовин.

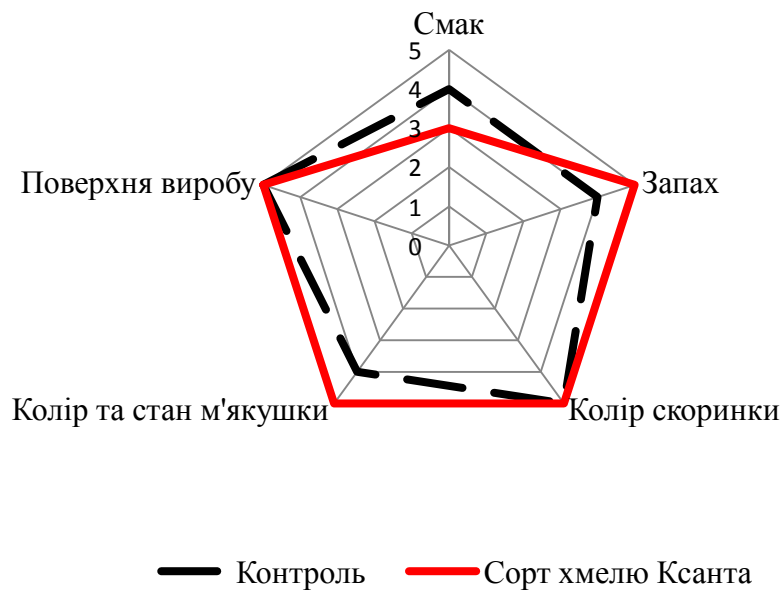


Рисунок 4 Профілограма органолептичних властивостей пшеничного хліба за використання закваски хмелю сорту Ксанта

Отже, додавання до тіста хмельової закваски, виготовленої на основі відварів тонкоароматичних сортів хмелю, покращує якісні показники хліба: поліпшується смак та аромат, зростає його об'єм, пористість, покращується структура пористості та еластичність м'якушки. Сорти хмелю з високим вмістом гірких речовин негативно вплинули на смак виробу, надавши йому значної гіркоти. Тому, для покращення якості хлібобулочних виробів, пропонуємо використовувати хміль тонкоароматичних сортів: Клон 18, Злато Полісся, Слов'янку. За умови використання хмелю гірких сортів необхідно враховувати кількість гірких речовин, внесених до хліба.

Використання хмельової закваски дає змогу зменшити кількість дріжджів, що не вплинуло на підняття тіста та не зменшило форму виробу, тобто не погіршило при цьому якісних показників хліба.

Встановлено об'єктивні критерії придатності сортів хмелю до використання в хлібопеченні, а саме: аромат ніжно-хмельовий; колір від світло-жовто-зеленого до золотисто-зеленого; вміст альфа-кислот 0,5–3,5 %; коефіцієнт ароматичності β/α – 1,2–3,0; вміст поліфенольних сполук 5–9 % і навантаження їх на 1 г альфа-кислот більше 2,0 та фарнезеновий тип ефірної олії.

З розвитком нових тенденцій до здорового харчування та для розширення асортименту, на вимогу споживача, бездріжджових хлібобулочних виробів, а також з появою нових сортів хмелю з відмінними від інших сортів смако-ароматичними характеристиками, сьогодні перспективним завданням є вивчення та обґрунтування ефективного використання комплексу технологічно

цінних сполук хмелю нових сортів у випічці, його вплив на якість хліба та оптимізація дозування гірких і поліфенольних сполук для забезпечення високої споживчої якості цільового продукту.

Тому метою дослідження на даному етапі було вивчити вплив біологічно активних сполук закваски хмелю тонкоароматичного сорту Перлина на якість пшеничного хліба та розробити метод ефективного використання комплексу технологічно цінних сполук хмелю у хлібопекарському виробництві для забезпечення високої споживчої якості хліба.

При дослідженні впливу комплексу технологічно цінних сполук хмелю сорту Перлина на якісні показники хліба, у тісто додавали закваску хмелю даного сорту у дозуванні 0,1% від маси борошна. Біохімічна характеристика хмелю сорту Перлина наведена в таблиці 3.

Таблиця 3 – Біохімічні показники якості шишок сорту хмелю Перлина

Сорт хмелю	Масова частка альфа-кислот, % до СР	Когумулон в складі α -кислот, %	Індекс ароматичності, β/α	Вміст загальних поліфенолів, %	Вміст ксантогумолу, %	Ефірна олія, мл на 100 г сухої речовини	Вміст фарнезену в складі ефірної олії, %
Перлина	5,2 $\pm$ 0,42	24,7 $\pm$ 1,98	0,92 $\pm$ 0,31	4,8 $\pm$ 0,54	0,47 $\pm$ 0,034	1,6 $\pm$ 0,09	13,9 $\pm$ 1,37

Масова частка альфа-кислот досліджуваного хмелю становила 5,2%, поліфенольних сполук – 4,8%. Індекс ароматичності, який характеризується відношенням бета-кислот до альфа-кислот і, яке було більше 0,9, підтверджує, що даний хміль сорту Перлина відноситься до тонкоароматичного типу хмелю. Також досліджуваний хміль мав високий уміст ефірної олії (1,6 мл на 100 г сухої речовини) фарнезенового типу.

Кількість дріжджів зменшували вдвічі від зазначеної в рецепті (3% до маси борошна). В якості контрольного зразка був пшеничний хліб без додавання закваски хмелю. Якість хліба, виготовленого з використанням хмелю, та контрольний зразок оцінювали за органолептичними та фізико-хімічними показниками.

Вплив гірких, поліфенольних речовин та інших біологічно активних сполук закваски, виготовленої з хмелю сорту Перлина, на органолептичні показники пшеничного хліба представлено у вигляді профілограми на рис. 1.

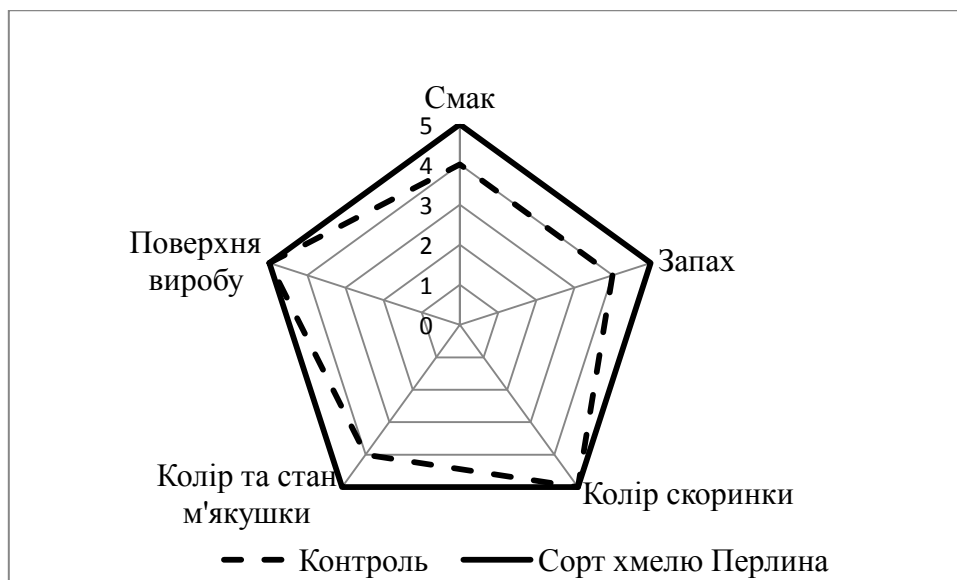


Рисунок 5 – Профілограма органолептичних властивостей пшеничного хліба за використання закваски хмелю шишок сорту Перлина

Усі повторні варіанти виготовленого хліба з додаванням закваски хмелю з ароматичних шишок сорту Перлина мали приємний смак та аромат хмелю. Порівняно з ними, контрольний зразок мав аромат, властивий лише хлібу. Колір хлібної скоринки в експериментальних варіантах коливався від світло-жовтого до золотисто-жовтого. Контрольний зразок мав світло-жовту скоринку. Додавання закваски хмелю не погіршило колір і форму хліба, стан та колір м'якушки, а також її фізико-хімічні властивості. Зменшення кількості дріжджів і додавання замість цього закваски хмелю позитивно вплинуло на бродіння тіста. Пористість у контрольному зразку була рівномірною. В експериментальних зразках пористість була покращена (однорідна, середня, тонка), що було зумовлено кращим бродінням тіста. Характеристики дослідження узгоджуються з результатами досліджень інших вчених [1-3]. Колір м'якушки у всіх зразках, включаючи контрольний зразок, був світло-кремовим. М'якушка була еластичною, не липкою. Питомий об'єм залишався нормальним для всіх варіантів.

4 Оптимізація нормування витрат хмелю для приготування хмельової закваски відповідно до вмісту у ньому альфа-кислот.

У технології приготування закваски з хмелю доцільно було регулювати вміст гірких речовин у ній, що забезпечувало б стабільність смакових характеристик готового продукту та певний рівень бактерицидної дії у ферментаційному середовищі закваски під час формування її мікробіологічного

складу. Виходячи з цього, для забезпечення достатньої якісно нормованої гіркоти хліба, виникла необхідність нормування хмелю з урахуванням вмісту гірких альфа-кислот, що визначало його споживчу та технологічну цінність. Для встановлення використання оптимальної кількості гірких речовин на одиницю борошна було проведено серію експериментів з приготування закваски хмелю сорту Перлина з різним вмістом гірких речовин та поліфенольних сполук. Обґрунтуванням вибору цього сорту стало те, що серед ароматичних сортів сорт Перлина мав високий вміст ефірної олії – до 1,6 мл на 100 г сухого хмелю, яка також володіє антибактеріальними властивостями та впливає на запах продукту.

Експериментальні зразки були відібрані для вивчення формування економічно цінних показників шишок хмелю сорту Перлина з 30 липня по 09 вересня, тобто в період початку формування шишок хмелю, завершуючи стадією повної технічної стиглості. Результати динаміки накопичення гірких речовин, поліфенольних сполук та навантаження поліфенолів на 1 г альфа-кислот показані на рис. 6.

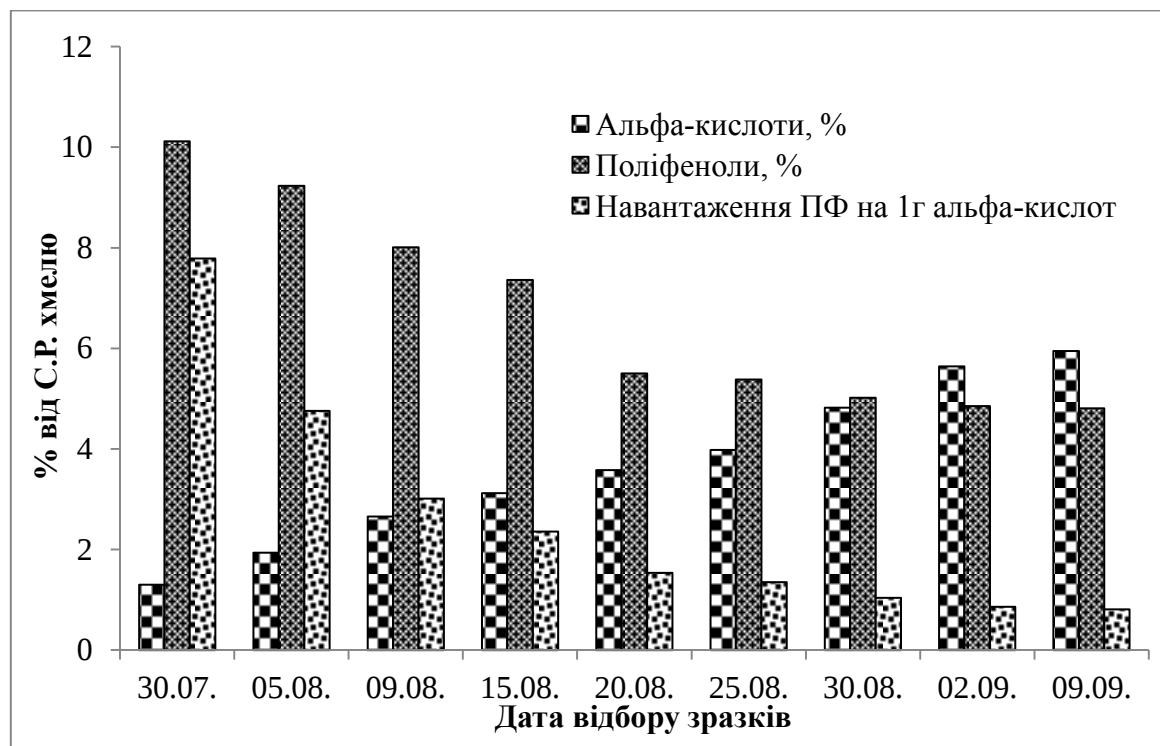


Рисунок 6 – Вміст альфа-кислот і поліфенольних сполук у шишках хмелю сорту Перлина, зібраних на різних стадіях дозрівання.

Як видно з рисунку, шишки хмелю на початку свого формування мали низький уміст гірких речовин, зокрема 1,32% альфа-кислот та високий показник поліфенольних сполук (10,12%). По мірі дозрівання шишок

відбувається синтез гірких речовин, при цьому кількість альфа-кислот збільшується до фази повної технічної стиглості шишок з 1,32% до 5,95%. Кількість поліфенольних сполук, навпаки, зменшується з початку формування шишок до фази повної технічної стиглості з 10,12% до 4,81%. Також значно зменшується коефіцієнт навантаження поліфенольних сполук з розрахунку до 1 г альфа-кислот з 7,7 до 0,8 в технічно стиглих шишках.

З даними зразками хмелю сорту Перлина з різним вмістом альфа-кислот у кількості 0,1% до маси борошна у вигляді закваски і були проведені подальші дослідження.

Вміст гірких речовин та поліфенольних сполук у хлібу визначали шляхом розрахунку, виходячи з умови, що при дозуванні хмелю в кількості 0,1% від маси борошна, для приготування хліба з 1 кг борошна потреба в хмелі з стандартною вологістю 10% становила 1,0 г.

Розрахунок кількості альфа-кислот (АК) та поліфенольних сполук (ПФ) на 1 кг борошна з урахуванням вологості шишок хмелю було показано на прикладі першого зразка хмелю сорту Перлина.

$$AK = 1,0 \times 0,0132 \times 0,9 = 0,01188 \text{ г} = 11,88 \times 10^{-3} \text{ г альфа-кислот}$$

$$ПФ = 1,0 \times 0,1012 \times 0,9 = 0,09108 = 91,08 \times 10^{-3} \text{ г поліфенольних сполук}$$

Результати досліджень представлені в табл. 4.

Таблиця 4 – Технологічна характеристика зразків хмелю та закваски хмелю сорту Перлина

№ зразка	Показники хмелю, % до СР		Внесено з хмельовою закваскою, г /1 кг борошна	
	масова частка альфа-кислот	масова частка поліфенольних сполук	альфа-кислот	поліфенольних сполук
1	1,32±0,01	10,12±0,03	$(11,88 \pm 0,05) \cdot 10^{-3}$	$(91,08 \pm 0,37) \cdot 10^{-3}$
2	1,94±0,01	9,23±0,05	$(17,46 \pm 0,07) \cdot 10^{-3}$	$(83,07 \pm 0,33) \cdot 10^{-3}$
3	2,66±0,01	8,01±0,04	$(23,94 \pm 0,09) \cdot 10^{-3}$	$(72,09 \pm 0,29) \cdot 10^{-3}$
4	3,12±0,01	7,36±0,03	$(28,08 \pm 0,11) \cdot 10^{-3}$	$(66,24 \pm 0,21) \cdot 10^{-3}$
5	3,58±0,01	5,50±0,03	$(32,22 \pm 0,12) \cdot 10^{-3}$	$(49,50 \pm 0,21) \cdot 10^{-3}$
6	3,98±0,02	5,38±0,02	$(35,82 \pm 0,14) \cdot 10^{-3}$	$(48,42 \pm 0,19) \cdot 10^{-3}$
7	4,82±0,02	5,02±0,02	$(43,38 \pm 0,16) \cdot 10^{-3}$	$(45,18 \pm 0,18) \cdot 10^{-3}$
8	5,64±0,02	4,85±0,02	$(50,76 \pm 0,18) \cdot 10^{-3}$	$(43,65 \pm 0,18) \cdot 10^{-3}$
9	5,95±0,03	4,81±0,02	$(53,55 \pm 0,21) \cdot 10^{-3}$	$(43,29 \pm 0,18) \cdot 10^{-3}$

Результати досліджень використання закваски ароматичного хмелю Перлина з різним вмістом альфа-кислот та поліфенольних сполук, а також інших ароматичних сортів, показали, що хліб мав високі смакові якості при додаванні до тіста з 1 кг борошна: від $23,9 \cdot 10^{-3}$ до $35,8 \cdot 10^{-3}$ г гірких речовин та $48,4 \cdot 10^{-3}$ - $72,1 \cdot 10^{-3}$ г поліфенольних сполук. З меншою кількістю гірких речовин та більшою кількістю поліфенолів смак хліба майже не відрізнявся від контрольного зразка, хоча фізико-хімічні показники покращилися. При збільшенні з $35,8 \cdot 10^{-3}$ до $43,4 \cdot 10^{-3}$ г гірких речовин на фоні приємного хмелевого аромату відчувалася ледь помітна гірчинка. При додаванні до тіста з 1 кг борошна більше $50,8 \cdot 10^{-3}$ г гірких речовин хліб набував помітної гіркоти. Таким чином, обґрунтованою нормою гірких речовин хмелю для забезпечення відмінних смакових та споживчих властивостей хліба є діапазон від 23,9 до 43,4 мг внесених альфа-кислот на 1 кг борошна.

Аналіз отриманих результатів показав, що гіркі якості хмелю мали значний вплив на смак хліба. На відміну від цього, поліфенольні сполуки мали менший вплив на смак, але в поєднанні з гіркими речовинами мали значний вплив на споживчі якості, зокрема на мікробіологічну чистоту хліба, що подовжує термін його зберігання, а також збільшило його стабільність та питомий об'єм (рис. 7).

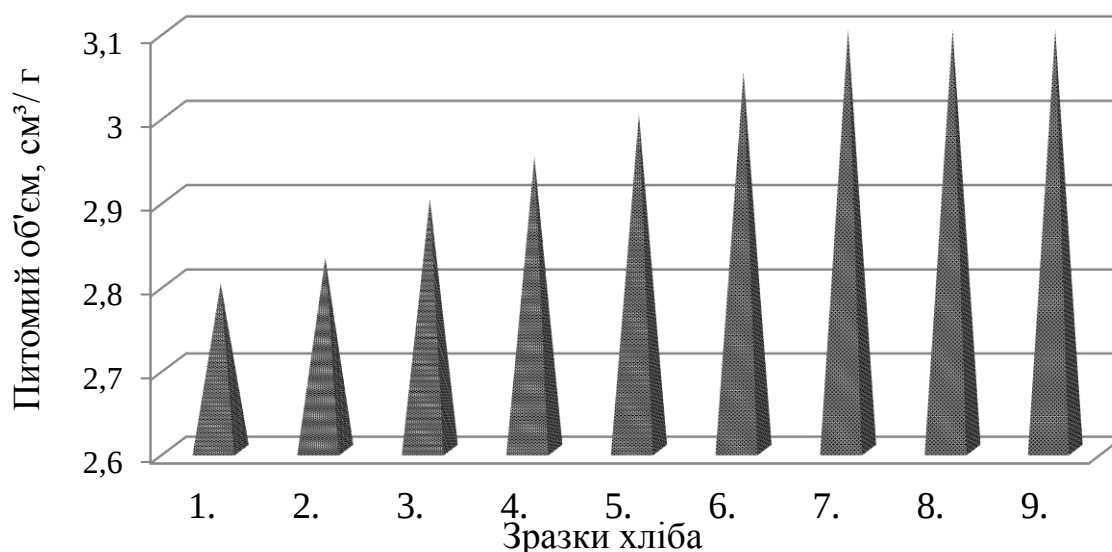


Рисунок 7 – Питомий об'єм зразків хліба, виготовленого з використанням закваски хмелю сорту Перлина з різним вмістом гірких речовин та поліфенольних сполук

При дозуванні хмелю досліджуваних зразків із різним вмістом у ньому гірких речовин, які, представлені альфа-кислотами, до хліба вноситься їх різна кількість, тобто стабільність внесення гірких речовин не забезпечується. Результати досліджень щодо використання хмелевих заквасок на основі

хмелю тонкоароматичного сорту Перлина з різним вмістом альфа-кислот і поліфенольних сполук та результати дегустаційного оцінювання зразків хліба показали, що оптимально обґрунтованою нормою гірких речовин хмелю, яка забезпечує чудові смакові та споживчі властивості хліба, є $(23,9 + 43,4)/2 = 33,7$ мг або $33,7 \times 10^{-3}$ г на 1 кг борошна. Подібні результати були отримані для інших ароматичних сортів [37]. Тому для забезпечення стабільної оптимально-нормованої гіркоти хліба доцільно розраховувати масу внесеного хмелю за вмістом альфа-кислот на одиницю борошна.

Аналіз існуючого в пивоварній промисловості принципу нормалізації витрат використання хмелю показав, що його розрахунок проводився з урахуванням ряду показників, спрямованих на забезпечення приємної гіркоти хмелю для конкретного пива та підвищення його колоїдної стійкості під час зберігання. На основі наведених вище результатів та з урахуванням мети використання заквасок хмелю у випічці, а також споживчих властивостей хліба було запропоновано спрощений метод розрахунку кількості хмелю, г, на 1 кг борошна, як рецептурного компоненту, який дозволить виробляти готову продукцію зі стабільною гіркотою:

$$m_x = \frac{33,7 \times 10^{-3} \times 100 \times 100}{\alpha \times (100-w)}, \text{ г/кг}$$

або

$$m_x = \frac{337}{\alpha \times (100-w)}, \text{ г/кг}$$

де m_x – маса хмелю, г/кг;

α – масова частка альфа-кислот в хмелі, % до СР;

w – масова частка вологи в хмелі (фактична), %.

На 100 кг борошна потреба у хмелі складе:

$$m_x = \frac{337 \times 100}{\alpha \times (100-w)}, \text{ г/100 кг}$$

Наприклад, для приготування пшеничного хліба при застосуванні тонкоароматичного хмелю Перлина із вмістом альфа-кислот 2,7 % та вологістю 9 % за 45-хвилинного кип'ятіння хмельового екстракту на 1 кг борошна необхідно хмелю :

$$m_x = \frac{337}{2,7 \times (100-9)} = 1,4 \text{ г/кг}$$

На 100 кг борошна потреба у хмелі складе:

$$m_x = \frac{337 \times 100}{2,7 \times (100-9)} = 140 \text{ г/100 кг}$$

Таким чином, запропонований спосіб дозволяє розрахувати необхідну кількість хмелю, який потрібно додати у вигляді закваски до борошна, забезпечуючи певний вміст альфа-кислот у готовому хлібі з приємним ароматом та стабільним смаком, що покращить його якість та споживчі властивості.

Це сприятиме розширенню асортименту, наданню виробам профілактично-оздоровчого спрямування, покращенню смаку та аромату хліба, збагаченню хліба біологічно-активними речовинами, подовженню терміну зберігання хлібобулочних виробів та забезпеченню його мікробіологічної чистоти.

5 Соціальна та економічна ефективність виробництва хліба з додаванням хмелю

Завдяки наявності і певному співвідношенню унікальних компонентів гірких речовин, ефірної олії та поліфенольних сполук хміль знаходить все ширше застосовування у різних галузях народного господарства. Із шишок хмелю виготовляють закваски, на основі яких випікають хліб. Хліб на хмелю запашний та смачний.

Зацікавленість фахівців виробництва хліба з додаванням хмелю пояснюється прагненням колективів хлібопекарських підприємств забезпечити конкурентоспроможність продукції, задовольнити найвибагливіші смаки споживачів, збагатити хліб біологічно активними сполуками хмелю, досягти високої якості виробів профілактично-оздоровчого спрямування. Адже відомо, що хліб з додаванням хмельового екстракту має кращий смак і аромат, повільніше черствіє і у меншій мірі ушкоджується сторонньою контамінуючою мікрофлорою.

Найважливішим якісним показником виробництва хліба з додаванням хмельового екстракту є його ефективність. Розрізняють соціальну й економічну ефективність.

Соціальна ефективність виробництва хліба з додаванням хмелю – це відповідність результатів виробничої діяльності основним соціальним потребам суспільства, інтересам окремої людини.

Інтегруючим показником соціальної ефективності виробництва хліба з додаванням хмелю є частка даного продукту народного споживання у загальному обсязі виробництва хліба за певний період, як правило – за один рік.

Соціальна ефективність виробництва хліба з додаванням хмелю досягається за рахунок:

- виваженої кадрової політики, спрямованої на забезпечення виробництва хліба з додаванням хмелю кваліфікованими фахівцями та створення нових робочих місць;
- зменшення вдвоє-троє від норми вмісту дріжджів за рахунок використання хмельової закваски;
- покращення смаку та аромату хліба;
- максимального задоволення якості та потреб споживачів хліба з додаванням хмелю;
- подовжений термін зберігання хліба на хмелю та його мікробіологічна чистота;
- вирішення екологічних проблем виробництва хліба з додаванням екологічно чистого хмелю, науково обґрунтованого контролю за забрудненням навколишнього природного середовища.

Конкретизацією соціальної ефективності є економічна ефективність.

Економічна оцінка ефективності виробництва хліба з додаванням хмелю вказує на доцільність його виготовлення. Збільшується термін придатності до споживання даних виробів та можливість підвищення їх реалізаційної ціни з огляду на профілактично-оздоровче спрямування.

Висновки

Досліджено та експериментально встановлена можливість і доцільність використання у виробництві хліба хмелю тонкоароматичних сортів Слов'янка, Злато Полісся, Клон 18 та Перлина для покращення його смакових і фізико-хімічних показників. Однак при цьому необхідно враховувати особливості біохімічного складу та хіміко-технологічну оцінку хмелю цих сортів.

Встановлено, що гіркі речовини, ефірна олія та поліфенольні сполуки хмелю мали значний вплив на смакові якості хліба. Використання заквасок хмелю тонкоароматичних сортів покращило якість хліба, зокрема його смак та аромат. Також зростає об'єм хліба, пористість, покращується структура пористості та еластичність м'якушки. Зменшення кількості дріжджів не вплинуло на процес бродіння тіста та стабільність форми кінцевого продукту.

Оптимізовано дозування закваски хмелю та запропоновано розрахунок споживання хмелю при випічці з урахуванням вмісту в ньому гірких альфа-кислот. Оптимально обґрунтованою нормою гірких речовин хмелю для

забезпечення відмінних смакових і споживчих властивостей хліба є діапазон внесених альфа-кислот від 23,9 до 43,4 мг на 1 кг борошна. Запропонована технологія покращила споживчі властивості та смакові якості хлібобулочних виробів з наданням аромату хмелю та стабільного оптимально-нормалізованого смаку хліба з легкою ніжною гіркотою. Доцільність використання хмелю полягала в поліпшенні смакових та фізико-хімічних характеристик хліба, наданні йому профілактичних та оздоровчих властивостей.

Література

1. Rak, V., Yurchak, V., Bilyk, O., & Bondar, V. (2018). Investigation of the efficiency of using hop leavens in the technology of wheat bread, *EUREKA: Life Sciences*, 1, 61–68. <https://doi.org/10.21303/2504-5695.2018.00562>
2. Nionelli, L., Pontonio, E., Gobetti, M., & Rizzello, C. G. (2018). Use of hop extract as antifungal ingredient for bread making and selection of autochthonous resistant starters for sourdough fermentation, *International Journal of Food Microbiology*, 266, 173–182. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2017.12.002>
3. Rak, V., Yurchak, V., Bilyk, O., & Bondar, V. (2018). Research into techniques for making wheat bread on hop leaven, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1/11(91), 4–9. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.121677>
4. Protsenko, L., Liashenko, M., Vlasenko, A., Hryniuk, T., & Dobrovolny, O. (2018). Investigation of properties of biologically active substances and their content in cones of Ukrainian hop varieties, *Agricultural Science and Practice*, 5(2), 52–63. <https://doi.org/10.15407/agrisp5.02.052>
5. Van Cleemput, M., Cattoor, K., De Bosscher, K., Haegeman, G., De Keukeleire, D., & Heyerick, A. (2009). Hop (*Humulus lupulus*)-derived bitter acids as multipotent bioactive compounds, *Journal of Natural Products*, 72, 1220–1230. <https://doi.org/10.1021/np800740m>
6. Paventi, G., de Acutis, L., de Cristofaro, A., Pistillo, M., Germinara, G., Rotundo G. (2020). Biological Activity of *Humulus lupulus* (L.) Essential Oil and Its Main Components against *Sitophilus granaries* (L.). *Biomolecules*. 10(8), 1108. <https://doi.org/10.3390/biom10081108>
7. Karabín, M., Hudcová, T., Jelínek, L., Dostálek, P. (2016). Biologically Active Compounds from Hops and Prospects for Their Use. 15(3), 542–567. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12201>
8. Лебеденко Т. Є., Соколова Н., О. В. Кожевнікова (2014) Використання хмелю в хлібопекарському виробництві. Фізіологічні та технологічні аспекти. *Харчова наука і технологія*. 1(26), 24-30.
9. Юрчак В. Г. Дослідження впливу хмелю на мікрофлору хліба /В. Г. Юрчак, В. П. Рак, Н. Грегірчак [та ін.] // Хлібопекарська і кондитерська промисловість України – 2009. № 06 (55). С. 45 –47.
10. Юрчак В. Г. Повертаємося до призабутої технології випікання хліба на хмелевих завасках. / В. Г. Юрчак, В. П. Рак, Б. М. Дахно, Церковна К.: Хлібопекарська і кондитерська промисловість України, 2009. № 03 (51). с. 43.

11. Лебеденко Т. Є. Сучасні погляди щодо удосконалення технології приготування хліба / Т. Є. Лебеденко, О. М. Кананихіна, Н. Ю. Соколова, О. І. Юрескул // Наукові праці випуск 36, том 1. Одеська національна академія харчових технологій. С. 45–56.
12. Hrnčič, M., Španinger, E., Košir, I., Knez, Ž., Bren, U. (2019). Hop Compounds: Extraction Techniques, Chemical Analyses, Antioxidative, Antimicrobial, and Anticarcinogenic Effects. *Nutrients*, 11(2), 257. <https://doi.org/10.3390/nu11020257>
13. Ting, P., Ryder, D. (2017). The Bitter, Twisted Truth of the Hop: 50 Years of Hop Chemistry. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 75(3), 161–180. <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2017-3638-01>
14. Tronina, T., Popłoński, J., & Bartmańska, A. (2020). Flavonoids as phytoestrogenic components of hops and beer, *Molecules*, 25(18), <https://doi.org/10.3390/molecules25184201>
15. Bocquet, L., Rivière, C., Dermont, C., Samaillie, J., Hilbert, J.-L., Halama, P., Siah, A., Sahpaz, S. (2018b). Antifungal activity of hop extracts and compounds against the wheat pathogen *Zymoseptoria tritici*. *Industrial Crops and Products*, 122, 290–297. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.05.061>
16. Jirovetz, L., Bail, S., Buchbauer, G., Denkova, Z., Slavchev, A., Stoyanova, A., Schmidt, E., Geissler, M. (2006). Antimicrobial testings, gas chromatographic analysis and olfactory evaluation of an essential oil of hop cones (*Humulus lupulus* L.) from Bavaria and some of its main compounds. 74, 189–201. <https://doi.org/10.3797/scipharm.2006.74.189>
17. Bedini, S., Flamini, G., Cosci, F., Ascrizzi, R., Benelli, G., Conti, B. (2016). *Cannabis sativa* and *Humulus lupulus* essential oils as novel control tools against the invasive mosquito *Aedes albopictus* and fresh water snail *Physella acuta*. *Industrial Crops and Products*, 85, 318–323. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.03.008>
18. DeGrandi-Hoffman, G., Ahumada, F., Probasco, G., Schantz, L. (2012). The effects of beta acids from hops (*Humulus lupulus*) on mortality of *Varroa destructor* (Acari: Varroidae). *Experimental and Applied Acarology*, 58, 407–421 <https://doi.org/10.1007/s10493-012-9593-2>
19. Wei, S., Sun, T., Du, J., Zhang, B., Xiang, D., & Li, W. (2018). Xanthohumol, a prenylated flavonoid from hops, exerts anticancer effects against gastric cancer in vitro, *Oncology Reports*, 3213–3222. <https://doi.org/10.3892/or.2018.6723>
20. Michener, H.D. Antifungal activity of hop resin constituents and a new method for isolation of lupulon / H. D. Michener, N. Snell, E. F. Jansen // *Archives of biochemistry*.– 1948.– No. 19(2).– P. 199–208.
21. Lewis J. C. Lupulon and humulon – antibiotic constituents of hops / J.C. Lewis, G. Alderton, J.F. Carson, et al. // *Journal of clinical investigation*.–1949.– Vol. 28.– P. 916–919.
22. Sakamoto K. Membrane-Bound ATPase Contributes to Hop Resistance of *Lactobacillus brevis* / K. Sakamoto, H. W. van Veen, Hiromi Saito, et al. // *Applied and Environmental Microbiology*.– 2002.– No. 11.– P. 5374–5378.
23. Behr J. Characterization of a Highly Hop-Resistant *Lactobacillus brevis* Strain Lacking Hop Transport / J. Behr, M.G. Gänzle, R.F. Vogel // *Applied and environmental microbiology*.– 2006.– No. 10.– P. 6483–6492.
24. Wei, S., Sun, T., Du, J., Zhang, B., Xiang, D., & Li, W. (2018). Xanthohumol, a prenylated flavonoid from hops, exerts anticancer effects against gastric cancer in vitro, *Oncology Reports*, 3213–3222. <https://doi.org/10.3892/or.2018.6723>

25. Zhang, X.-L., Zhang, Y.-D., Tao, Wang, Y., Guo, H.-Y., Liu, Q.-M., & Su, H.-X. (2014). Evaluation on antioxidant effect of xanthohumol by different antioxidant capacity analytical methods, *Journal of Chemistry*. <https://doi.org/10.1155/2014/249485>
26. Żołnierczyk, A., Baczyńska, D., Potaniec, B., Kozłowska, J., Grabarczyk, M., Woźniak, E., & Anioł, M. (2017). Antiproliferative and antioxidant activity of xanthohumolacyl derivatives, *Medicinal Chemistry Research*, 26(8), 1764–1771. <https://doi.org/10.1007/s00044-017-1887-9>
27. Aydin, T., Bayrak, N., Baran, E., Cakir, A. (2017). Insecticidal effects of extracts of *Humulus lupulus* (hops) L. cones and its principal component, xanthohumol. *Bulletin of Entomological Research*, 107(4), 543–549. <https://doi.org/10.1017/S0007485317000256>
28. Bernotiene G. Chemical composition of essential oils of hops (*Humulus lupulus* L.) / G. Bernotiene, etc. // CHEMIJA. 2004. № 2. P.31–36.
29. Берестова С. І. Хімічне вивчення ліпофільної фракції з шишок хмелю звичайного / С. І. Берестова і ін. // Вісник фармації. 2006., № 1 С. 22-25.
30. Engelson M. Antimycotic properties of hop extract in reduced water activity media / M. Engelson, M. Solberg, E. Karmas // *Journal of Food Science*.– 2012. Vol. 45, P. 1175-1178.
31. Simpson W. J. Factors affecting antibacterial activity of hop compounds and their derivatives / W. J. Simpson, A. R. Smith // *Journal of Applied Microbiology*. 2004. Vol. 72. P. 327-334.
32. Chaplygina, I. A., Batura, N. G., Matyushev, V. V., Tipsina, N. N., & Shmeleva, Zh. N. (2020). The hop sourdough use to improve bread microbiological safety, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 421(3), Article 032030. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/421/3/032030>
33. Sokolova, N. (2021). Effect of hop extracts on rheological properties of wheat dough, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 1031. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1031/1/012097>
34. Сотникова Е. Н. хлеб «Богородский» из Ногинска – детям Москвы / Е. Н. Сотникова // *Хлебопечение России* – 2001. – №6. – С.24 – 25.
35. Траутвейн Н. Хлеб с использованием шишек хмеля / Н. Траутвейн // *Хлібопекарська і кондитерська промисловість України*. – 2006. – № 10. – С. 10–11.
35. Роль хмелю у виробництві хліба за сучасними технологіями / В. Г. Юрчак, В. П. Рак, Б. М. Дахно, С. М. Церковна // *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. К., 2008. Ч. 1. № 25. С. 23–25.
36. В. П. Рак, В. Г. Юрчак, Л. В. Проценко, І. О. Пасічник Використання хмелю для збагачення хліба біологічно активними речовинами [Електронний ресурс] *Харчова промисловість*, 2010, Вип. 9. С. 39–42. Режим доступу до електронного архіву eNUFTIR Науково-технічної бібліотеки Національного університету харчових технологій : <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/453/1/yvgvhdzhbar.pdf>
37. Protsenko L., Ryzhuk S., Litvynchuk S., Shevchenko A., Bober A. and Shevchenko O. (2022). Application of Valuable Hop Compounds in Bakery. In: Paredes-López, O., Shevchenko, O., Stabnikov, V., Ivanov, V., eds., *Bioenhancement and Fortification of Foods for a Healthy Diet*, CRC Press, Boca Raton, USA p. 29-46. <https://doi.org/10.1201/9781003225287>
38. Проценко Л.В., Ляшенко М.І., Свірчевська О.В., Гринюк Т.П., Власенко А.С. Методологія оцінювання хмелю і хмелепродуктів (за ред. Л.В. Проценко). Житомир. «Рута». 2020. 72с. Режим доступу: <https://isgpnuaan.org/vidavnychia-diialnist/226.html>.

39. Analytica EBC (Analytica European Brewery Convention). Methods 7.2, 7.4, 7.5, 7.7. 6th Ed. Nürnberg, Verlag Hans Carl Getränke-Fachverlag, 2006.
40. Analytica EBC, 7.10 (Analytica European Brewery Convention) (2002). Hop Oil Content of Hops and Hop Products. <https://brewup.eu/ebc-analytica/hops-and-hop-products/hop-oilcontent-of-hops-and-hop-products/7.10>
41. Analytica EBC, 7.12 (2006). Hop Essential Oils by Capillary Gas Chromatography Flame Ionization Detection. <https://brewup.eu/ebc-analytica/hops-and-hop-products/hop-essential-oils-by-capillary-gas-chromatography-flame-ionization-detection/7.12>
42. Ahalitika EBC, European Brebery Convention, fourth edition, 1987, 271 p.
43. Jerumanis G. Über die Veränderung der Polyphenols in Verlauf des Mälzens ind Maisches // Brawissechaft. 1972. T.23, № 10. S. 313 – 318
44. Вироби хлібобулочні. Правила приймання, методи відбирання проб, методи визначання органолептичних показників і маси виробів. ДСТУ 7044:2009. – [Чинний від 2010–01–01] – К.: Держспоживстандарт України 2010. – 9 с. – (Національний стандарт України)
45. Вироби хлібобулочні. Методи визначання фізико-хімічних показників ДСТУ 7045:2009. – [Чинний від 2010–01–01] – К.: Держспоживстандарт України 2010. – 39с. – (Національний стандарт України)
46. Chen, C., & Lv, C. (2025). Interaction Between Iso- α -Acid Extracted from Hops and Protein Z Improves Beer Foam Quality and Stability. *Chemistry*, 7(2), 65. <https://doi.org/10.3390/chemistry7020065>
47. Wang, L.; Hong, K.; I Agbaka, J.; Song, Y.; Lv, C.; Ma, C. Characterization of bitter-tasting and antioxidant activity of dry-hopped beers. *J. Sci. Food Agric.* **2022**, 102, 4843–4853. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11847>
48. Sabbatini, G.; Mari, E.; Ortore, M.G.; Di Gregorio, A.; Fattorini, D.; Di Carlo, M.; Galeazzi, R.; Vignaroli, C.; Simoni, S.; Giorgini, G.; et al. Hop Leaves: From Waste to a Valuable Source of Bioactive Compounds—A Multidisciplinary Approach to Investigating Potential Applications. *Heliyon* **2024**, 10, e37593. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e37593>

Наукове видання

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ХМЕЛЮ УКРАЇНСЬКИХ СОРТІВ У ХЛІБОПЕЧЕННІ

(Науково методичні рекомендації)