



2025

НАУКОВІ ПРАЦІ

НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Том 31 № 5

*Журнал
«Наукові праці Національного університету харчових технологій»
видається з 1938 року*

КИЇВ ✦ НУХТ ✦ 2025

Articles with the results of fundamental theoretical developments and applied research in the field of technical and economic sciences are published in this journal. The scripts of articles are reviewed beforehand by leading specialists of corresponding branch.

The journal was designed for professors, tutors, scientists, post-graduates, students of higher education establishments and executives of the food industry.

Journal "Scientific Works of National University of Food Technologies" is included into the list of professional editions of Ukraine of technical (specialties — 121, 126, 133, 141, 144, 151, 162, 181) and economic sciences (specialties — 051, 073, 075), category "B" (Decree of MES of Ukraine #975 from July 11, 2019), where the results of dissertations for scientific degrees of PhD and candidate of science can be published.

The Journal "Scientific Works of National University of Food Technologies" is indexed by the following scientometric databases:

- Index Copernicus
- EBSCOhost
- Google Scholar

The Journal is recommended for publication of research results by the Ministry of Science and Higher Education of Poland.

Editorial office address:

National University of
Food Technologies
Volodymyrska str., 68,
building B, room 412
01601 Kyiv, Ukraine

Recommended for publication by the Academic Council of the National University of Food Technologies. Protocol No. 3 from 30th of October, 2025

© NUFT, 2025

У журналі публікуються статті за результатами фундаментальних теоретичних розробок і прикладних досліджень у галузі технічних та економічних наук. Рукописи статей попередньо рецензуються провідними спеціалістами відповідної галузі.

Для викладачів, наукових працівників, аспірантів, докторантів і студентів вищих навчальних закладів, керівників підприємств харчової промисловості.

Журнал «Наукові праці Національного університету харчових технологій» включено в перелік наукових фахових видань України з технічних (спеціальності — 121, 126, 133, 141, 144, 151, 162, 181) та економічних наук (спеціальності — 051, 073, 075), категорія «Б» (Наказ МОН України № 975 від 11.07.2019), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук.

Журнал «Наукові праці Національного університету харчових технологій» індексується такими наукометричними базами:

- Index Copernicus
- EBSCOhost
- Google Scholar

Журнал рекомендовано Міністерством науки і вищої освіти Польщі для публікації результатів наукових досліджень.

Адреса редакції:

Національний університет
харчових технологій
вул. Володимирська, 68,
корпус Б, к. 412,
м. Київ, 01601

Рекомендовано вченою радою Національного університету харчових технологій. Протокол № 3 від 30 жовтня 2025 року

© НУХТ, 2025

Редакційна колегія

Склад редакційної колегії журналу

«Наукові праці Національного університету харчових технологій»

Головний редактор

Editor-in-Chief

Олександр Шевченко

Oleksandr Shevchenko

д-р техн. наук, проф., Україна

Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Відповідальний секретар

Managing secretary

Анастасія Шевченко

Anastasiia Shevchenko

д-р техн. наук, доц., Україна

Dr. Sc., As. Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Члени редакційної колегії:

Агота Гедре Райшене

Agota Giedre Raisiene

д-р екон. наук, Литва

Dr. Sc., Lithuanian Institute of Agrarian Economics,
Lithuania

Андрій Маринін

Andrii Marynin

канд. техн. наук, ст. наук. сп., Україна

Ph. D., As. Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Валерій Мирончук

Valerii Myronchuk

д-р техн. наук, проф., Україна

Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Василь Кишенько

Vasyl Kyshenko

канд. техн. наук, доц., Україна

Ph. D., As. Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Василь Пасічний

Vasyl Pasichnyi

д-р техн. наук, проф., Україна

Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

В'ячеслав Іващук

Vyacheslav Ivaschuk

д-р техн. наук, проф., Україна

Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Віктор Стабніков

Viktor Stabnikov

д-р техн. наук, проф., Україна

Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Володимир Зав'ялов

Volodymyr Zavialov

д-р техн. наук, проф., Україна

Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Галина Поліщук

Halyna Polishchuk

д-р техн. наук, проф., Україна

Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Герхард Шльонінг

Gerhard Schleining

д-р техн. наук, Австрія

Dr. Sc., Prof., University of Natural Resources, Austria

Дайва Лескаускайте

Daiva Leskauskaitė

д-р техн. наук, проф., Литва

Dr. Sc., Prof., Kaunas University of Technology, Lithuania

Кристина Сильва

Cristina L. M. Silva

д-р техн. наук, проф., Португалія

Dr.Sc., Prof., University de Catolica, Portuguesa

Лада Шірінян

Lada Shirinyan

д-р екон. наук, проф., Україна

Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Лариса Арсеньева Larisa Arsenyeva	д-р техн. наук, проф., Україна Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Микола Костіков Mykola Kostikov	канд. техн. наук, доц., Україна Ph. D., As. Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Наталія Луцька Nataliia Lutska	канд. техн. наук, доц., Україна Ph. D., As. Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Оксана Скροцька Oksana Skrotska	канд. б. наук, доц., Україна Ph. D., As. Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олександр Бутнік-Сіверський Oleksandr Butnik-Siverskyi	д-р екон. наук, проф., Україна Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олександр Гавва Oleksandr Gavva	д-р техн. наук, проф., Україна Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олена Драган Olena Dragan	д-р екон. наук, проф., Україна Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олена Стабнікова Olena Stabnikova	канд. техн. наук, доц., Україна Ph. D. As., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Ольга Петухова Olga Pietukhova	д-р екон. наук, проф., Україна Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Паола Піттія Paola Pittia	д-р техн. наук, проф., Італія Dr. Sc., Prof., University of Teramo, Italy
Світлана Бондаренко Svitlana Bondarenko	д-р хім. наук, проф., Україна Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Світлана Літвинчук Svitlana Lityunchuk	канд. техн. наук, доц., Україна Ph. D., As. Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Сергій Чумаченко Serhii Chumachenko	д-р техн. наук, ст. наук. сп., Україна Dr. Sc., As. Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Сергій Балута Sergii Baluta	д-р техн. наук, проф., Україна Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Сергій Грибков Sergii Hrybkov	д-р техн. наук, проф., Україна Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Хууб Леліевельд Huub Lelieveld	д-р наук, проф., Нідерланди Dr. Sc., Prof., Founder of the Global Harmonization Initiatives, the Netherlands

Автоматизація та інформаційні технології

Кривець О. Ю., Харкянен О. В. Дослідження інтеграції штучного інтелекту у системи запобігання природно-техногенним загрозам

Погрібняк М. С. Інтелектуальні системи автоматизації виробничих процесів на базі машинного навчання та інтернету речей

Полупан В. В., Міркевич Р. М. Моделювання та візуалізація технологічних процесів з використанням доповненої реальності

Романов М. О. Онтології керування виробничими операціями у пивоварній промисловості

Павлов С. Г., Лисенко В. П., Лендел Т. І., Наконечна К. В. Метод Харрінгтона в системі експрес-оцінки якості біосировини для зброджування

Біотехнології

Лич І. В., Стаднік Г. В. Біотехнології в переробці молочної сироватки: отримання цінних продуктів

Ямковий О. О., Буценко Л. М. Сучасні методи тестування геномодулювальної дії біологічно активних речовин

Економіка, менеджмент і маркетинг

Шеремет О. О., Страшинський В. І. Підвищення якості олійно-жирової продукції як фактор посилення її конкурентоспроможності на ринку

Капінус Л. В., Тур О. В., Лелека О. О. Дослідження впливу цифрових маркетингових технологій на рекламну діяльність підприємств

Механічна та електрична інженерія

Шпак В. В., Романиук В. Т., Зінкевич П. О. Інноваційні технології та перспективи систем накопичення енергії в електроенергетиці

Харчові технології

Максимиук А. І., Павлюченко О. С., Кузьмін О. В. Напрями удосконалення технології, організації виробництва та управління якістю вегетаріанських пудингів спеціального призначення для закладів ресторанного господарства

Automation and information technologies

7 *Kryvets O., Kharkianen O.* Research on the integration of artificial intelligence into systems for preventing natural and technological hazards

23 *Pohribniak M.* Intelligent systems for automation of manufacturing processes based on machine learning and the internet of things

32 *Polupan V., Mirkevych R.* Modeling and visualization of technological processes using augmented reality

44 *Romanov M.* Manufacturing operations management ontologies for brewing industry

63 *Pavlov S., Lysenko V., Lendel T., Nakonechna K.* Harrington's method in a system for rapid quality assessment of biogas feedstock for fermentation

Biotechnologies

75 *Lych I., Stadnik H.* Biotechnology in whey processing: obtaining valuable products

92 *Yamkoviyi O., Butsenko L.* Modern methods of testing the genomodular effect of biologically active substances

Economy, Management and Marketing

111 *Sheremet O., Strashynskiy V.* Improving the quality of oil and fat products as a factor of strengthening its market competitiveness

126 *Kapinus L., Tur O., Leleka O.* Research on the impact of digital marketing technologies on the advertising activities of enterprises

Mechanical and Electrical Engineering

139 *Shpak V., Romaniuk V., Zinkevych P.* Innovative technologies and prospects of energy storage systems in the electric power industry

Food Technologies

153 *Maksymiuk A., Pavliuchenko O., Kuzmin O.* Directions for improving technology, production organization and quality management of special-purpose vegetarian puddings for restaurant enterprises

- Білик О. А., Заброда А. В., Капрельянц Л. В., Непокротова Н. О.* Порівняльне дослідження впливу сухої пшеничної клейковини та ферментного препарату для коригування хлібопекарських властивостей борошна 168
- Bilyk O., Zabroda A., Kaprelyants L., Nepokrytova N.* Comparative study of the influence of dry wheat gluten and enzyme preparation for adjusting the bakery properties of flour
- Мукоїд Р. М., Булій Ю. В., Кириленко Р. Г., Сарана В. В.* Перспективи використання вітчизняних і закордонних сортів хмелю у пивоварінні 186
- Mukoid R., Bulii Yu., Kyrylenko R. Sarana V.* Prospects for the use of national and foreign hop varieties in brewing
- Юкало В. Г., Крупа О. М., Солопа М. Р.* Дослідження казеїнових фракцій для характеристики протеїназ лактококів *L. lactis* ssp. *lactis* 196
- Yukalo V., Krupa O., Solopa M.* Use of casein fractions to characterize proteinases of lactococci *L. lactis* ssp. *lactis*
- Махінько Л. В., Махінько В. М., Грищенко А. М., Ковбаса В. М.* Наукові підходи до оптимізації складу харчових концентратів типу мюслі 206
- Makhynko L., Makhynko V., Hryshchenko A., Kovbasa V.* Scientific approaches to the optimization of muesli food concentrate composition
- Годунко Є. В., Бондаренко Ю. В., Юрчак В. Г.* Роль заквасок у формуванні якості та харчової цінності хлібобулочних і макаронних виробів 218
- Godunko Ye., Bondarenko Yu., Yurchak V.* The role of sourdough starters in shaping the quality and nutritional value of bakery and pasta products
- Демченко В. Л., Куницький Д. В., Маринін А. І., Рибальченко Н. П., Заремба П. Ю.* Особливості структури та властивості полімерних мембран на основі полівінілового спирту і наночастинок Ag/ZnO 236
- Demchenko V., Kunytskyi D., Marynin A., Rybalchenko N., Zarembo P.* Structural features and properties of polymer membranes based on polyvinyl alcohol and Ag/ZnO nanoparticles

Новини освіти і науки

- Доробок українських науковців від видавництва CRC Press 247

УДК 663.43:633.82

PROSPECTS FOR THE USE OF NATIONAL AND FOREIGN HOP VARIETIES IN BREWING

R. Mukoid, Yu. Bulii, R. Kyrylenko

National University of Food Technologies

V. Sarana

The National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Key words:

Beer
Malt
Beer wort
Boiling
Fermentation
Hops
Bitterness
Aroma
Flavor
 α - and β -acids
essential oils

Article history:

Received 11.09.2025

Received in revised form
25.09.2025

Accepted 07.10.2025

Corresponding author:

Yu. Bulii

E-mail:

yvbuliy@gmail.com

Citation: Мукоїд Р. М., Булій Ю. В., Кириленко Р. Г., Сарана В. В. (2025). Перспективи використання вітчизняних і закордонних сортів хмелю у пивоварінні. *Наукові праці НУХТ*, 31(5), 186—195.

DOI: 10.24263/2225-2924-2025-31-5-15

ABSTRACT

The development of the brewing industry in the conditions of market relations and foreign economic activity imposes tough competitive requirements on Ukrainian brewery enterprises. They can be fulfilled only through the introduction of modern technological solutions and the use of progressive equipment. Currently, the brewing industry of Ukraine is characterized by a large number of small craft breweries that create competition between small and medium-sized enterprises.

Today, Ukrainian beer producers face a number of serious challenges. One of the most acute is problem with the raw materials — the lack of domestic speciality malts, which are almost never produced in Ukraine, as well as the need to import diversified hops. Hops are the most expensive component of the brewing industry's raw material base.

The study of physicochemical and sensory properties of domestic and imported hops is a promising direction in brewing, especially given the growing popularity of beers made with the use of cold hop technology.

The following experimental hop varieties were selected for comparison of hop quality parameters and for the process of beer wort hopification: Ukrainian hops *Alta* (bitter) and *Spalt Select* (aromatic), and foreign hops *Herkules* (bitter) and *Hallertau Tradition* (aromatic). It was studied that domestic hop varieties did not differ from their foreign counterparts in terms of acid content, while the bitterness index of pilot beer wort samples differed by 1.4 IBU units. It was found that it is reasonable to use foreign hop varieties for the production of beer with more pronounced intense bitterness, and for obtaining a softer balanced flavour profile of beer it is advisable to use domestic varieties. Their analysis showed that they were of high quality and met the requirements of international standards. The use of domestic hops in brewing will increase the efficiency of hop production in Ukraine.

DOI: 10.24263/2225-2924-2025-31-5-15

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ВІТЧИЗНЯНИХ І ЗАКОРДОННИХ СОРТІВ ХМЕЛЮ У ПИВОВАРІННІ

Р. М. Мукоїд, Ю. В. Булій, Р. Г. Кириленко

Національний університет харчових технологій

В. В. Сарана

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Розвиток пивоварної галузі в умовах ринкових відносин і зовнішньоекономічної діяльності ставить перед українськими пивоварними підприємствами жорсткі вимоги конкуренції. Виконати їх можливо лише завдяки впровадженню сучасних технологічних рішень і використанню прогресивного обладнання. Нині пивоварна галузь України характеризується значною кількістю малих крафтових виробництв, які створюють конкуренцію між малими і середніми підприємствами.

Сьогодні українські виробники пива стикаються з низкою серйозних викликів. Однією з найгостріших є сировинна проблема — нестача вітчизняних спеціальних солодів, які майже не виробляються в Україні, а також необхідність імпорту різнопрофільного хмелю. Саме хміль є найдорожчим компонентом сировинної бази пивоварної галузі.

Дослідження фізико-хімічних і органолептичних властивостей вітчизняного і закордонного хмелю є перспективним напрямом у пивоварінні, особливо з огляду на зростаючу популярність сортів пива, виготовлених із застосуванням технології холодного охмелення.

Для порівняння якісних показників хмелю та проведення процесу охмелення пивного сусла були обрані такі дослідні сорти хмелю: українського виробництва — Альта (гіркий) і Шпальт Селект (ароматичний), зарубіжного — Herkules (гіркий) і Hallertau Tradition (ароматичний). Досліджено, що вітчизняні сорти хмелю за вмістом α -кислот не відрізняються від закордонних аналогів, а показник гіркоти дослідних проб пивного сусла відрізняється на 1,4 одиниці IBU. Встановлено, що закордонні сорти хмелю доцільно використовувати для виробництва пива з більш вираженою інтенсивною гіркотою, а для отримання більш м'якого, збалансованого смакового профілю пива доцільно використовувати вітчизняні сорти. Їх аналіз свідчить про високу якість і відповідність вимогам міжнародних стандартів. Використання вітчизняного хмелю у пивоварінні дасть змогу підвищити ефективність виробництва хмелю в Україні.

Ключові слова: пиво, солод, пивне сусло, кип'ятіння, бродіння, хміль, гіркота, аромат, смак, α - і β -кислоти, ефірні олії.

Постановка проблеми. Однією з ключових проблем сучасної пивоварної галузі є поступове витіснення вітчизняних виробників хмелю закордонною продукцією. Значна частина крафтових пивоварень віддає перевагу закордонним сортам хмелю, оскільки вони характеризуються більш широким спектром смакових і ароматичних властивостей, що надають пиву виразності та індивідуальності. Водночас у технології пивоваріння хміль є одним з основних і найдорожчих компонентів, який визначає повноту, гіркоту та аромат пива.

Понад 90% світового врожаю хмелю використовується у виробництві пива, тому стабільність пивоварної галузі безпосередньо впливає на стан хмелярства (Rytmachuk та ін., 2021). В Україні лише незначна частина хмелю має вітчизняне походження, тоді як більшість обсягів закордонного виробництва. Така ситуація зумовлена домінуванням на ринку іноземних компаній, що використовують власну сировину, а також наявністю низки технологічних, економічних і організаційних проблем у сфері вітчизняного хмелярства (Yablonska, & Malatskovska, 2014).

Попри наявність наукових досліджень, присвячених питанням розвитку хмелярства, аналізу стану ринку та підвищенню ефективності виробництва швидкі темпи розвитку сучасного пивоваріння актуалізують потребу у подальшому вивченні властивостей вітчизняних і закордонних сортів хмелю, а також визначенні їхнього впливу на якість готового пива.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Висвітленню стану світового та вітчизняного ринків хмелю, підвищенню економічної ефективності його функціонування, дослідженню сучасних проблем хмелевої галузі присвячені праці багатьох вітчизняних науковців. (Ляшенко, 2002; Проценко, Сітнікова, & Приймачук, 2015).

Ароматичні сорти мають приємний хмелевий аромат, низький вміст когумулону (до 20%) і високий вміст ароматичних компонентів (каріофілену, фернезєну). Попри невисокий вміст α -кислот (2,5...5,0%) вони є досить коштовними. Найпоширеніші закордонні ароматичні сорти: Herbrucker, Perle, Hallertauer Tradition, Spalter Select та ін. (Рудик, Проценко, & Свірчевська, 2013; Рудик, Проценко, & Пасічник, 2014).

Гіркі сорти характеризуються високим вмістом α -кислот (10...18%) і когумулону (понад 25%). До них належать Hallertauer Magnum, Nugget, Taurus, Northern Brewer, Brewers Gold (Проценко та ін., 2017).

В Україні хміль поділяють на гіркий, ароматичний і тонкоароматичний. До гірких сортів належать Поліський, Альта, Промінь, Оболонський, до ароматичних — Заграва, Гайдамацький, Староволинський, до тонкоароматичних — Клон 18, Національний, Слов'янка, Злато Полісся (Проценко, 2017).

Уже на ранніх стадіях розвитку хмелю формуються β -кислоти з незначною гіркотою, які під час дозрівання частково перетворюються на більш гіркі α -кислоти. Інтенсивність цього процесу залежить від погодних умов: спека і посуха гальмують, а прохолода та вологість сприяють утворенню α -кислот.

Основними сполуками, що формують гіркоту пива, є α -кислоти (гумулони). Однак когумулон надає неприємної різкої гіркоти, тому при селекції прагнуть зменшити його вміст (Проценко, Рудик, & Власенко, 2016). Під час кип'ятіння суслу α -кислоти ізомеризуються в ізо- α -кислоти, які розчиняються і забезпечують гіркоту готового пива. Вони також підвищують стійкість піни і частково пригнічують мікрофлору, хоча їхня антимікробна дія обмежена. Нестійкі α -кислоти під дією кисню, тепла та вологи розкладаються. За температури 18 °C за два місяці втрачається до 25% α -кислот, тому хміль слід зберігати в холоді, сухості та без доступу повітря (Oladokun та ін., 2017).

Подальше розкладання α - і β -кислот призводить до утворення твердих смол, що не мають цінності, та валеріанової кислоти, яка зумовлює запах старого хмелю. Водночас у твердих смолах міститься ксантогумол — сполука з потенційними антионкологічними властивостями, виявлена також у гранулах хмелю та пиві, хоча її вміст незначний.

Найважливішим показником якості та цінності хмелю є вміст α -кислот, тому селекція спрямована на виведення сортів із високою гіркотою. Нині з'являються сорти, що містять 12...15% α -кислот при вмісті когумулону менше 25%. Хміль також містить 0,5...1,2% ефірної олії, до складу якої входить понад 200 летких сполук, відповідальних за його характерний аромат, що формується під час дозрівання разом із лупуліном (Krofta та ін., 2022).

Ефірна олія хмелю — це прозора масляниста рідина з інтенсивним ароматом і без гіркоти. Вона добре розчиняється в ефірах, але майже нерозчинна у воді (1:20000). Її густина становить 0,88 г/см³. Олія летка вже при кімнатній температурі, внаслідок чого хміль втрачає аромат і клейкість. Компоненти ефірної олії поділяють на дві фракції: вуглеводневу (20—40%) та кисневмісну, більшу частину якої складають три основні сполуки — мірцен (монотерпеноїд), каріофілени, гумулени (сесквітерпеноїди) (Protsenko та ін., 2018). Мірцен надає пиву грубий, небагородний відтінок, тому його надмірна кількість небажана. Ця сполука легко окислюється і полімеризується, утворюючи смолисті речовини з різким запахом старого хмелю. Мірцен нерозчинний у спиртах і вуглеводнях.

У технології хмелярства та пивоваріння враховують кореляційні залежності між вмістом у хмелі гумулону та когумулону (α -кислоти) і, відповідно, гумулену та мірцену (ефірної олії). Саме гумулен, мірцен і каріофілен формують до 90% аромату вуглеводневої фракції, частка якої становить близько 31% від загального аромату хмелю. Попри те, що основні компоненти ефірної олії хмелю мають точку кипіння вище 100 °С, під час кип'ятіння сусла вони випаровуються разом із водною парою. За 90 хв кип'ятіння втрачається до 85% ефірної олії. Щоб зберегти частину аромату, частину хмелю додають наприкінці кип'ятіння, однак при цьому зменшується кількість ізомеризованих α -кислот. Саме тому виводять ароматичні сорти хмелю з тонким ароматом і підвищеним вмістом гумулену та фарнезену (Klimczak, Cioch-Skoneczny, & Duda-Chodak, 2023).

У готовому пиві присутні продукти окиснення компонентів ефірної олії хмелю. Ці сполуки є важколеткими та водорозчинними, тому залишаються в суслі й лише частково сорбуються дріжджами. До них належать, зокрема, епоксиди каріофілену та гумулену — продукти окиснення сесквітерпенів.

Найпоширенішими хмелепродуктами є гранульований хміль, який дозволяє краще зберігати цінні компоненти. Для цього шишки розмелюють і пресують у гранули. Розрізняють три типи гранул — тип 90, тип 45 та ізомеризовані гранули. Останні отримують шляхом ізомеризації α -кислот з додаванням оксиду магнію, що забезпечує вищий вихід α -кислот, скорочення часу кип'ятіння та зменшення енерговитрат.

Одним із ключових етапів у виробництві пива є охмелення сусла — процес переходу хмельових речовин у сусло. Більшість цінних компонентів хмелю мають обмежену розчинність, а ефірна олія майже не розчиняється у водному середовищі. Під час кип'ятіння сусла з хмелем (1—2 год) відбуваються важливі фізико-хімічні перетворення, які визначають якість пива: у сусло переходять гіркі та ароматичні сполуки, а білки коагулюють. Процес здійснюють у суслотоварильних апаратах, в яких забезпечують інтенсивне кипіння й отримують гаряче охмелене сусло — основу майбутнього пива (Lutz, & Forster, 2007; Rutnik, Ocvirk, & Košir, 2023).

Під час кип'ятіння сусла з хмелем відбуваються такі основні процеси (Роздобудько, & Хіврич, 2014):

- розщеплення та перетворення хмельових компонентів;
- коагуляція білків і дубильних речовин;
- випаровування надлишкової води і небажаних летких сполук;
- стерилізація сусла та руйнування ферментів;
- підвищення кольоровості й утворення редукуючих речовин;
- зміна вмісту диметилсульфіду (ДМС);
- ізомеризація гірких α -кислот.

Гіркі речовини хмелю мають низьку розчинність і частково видаляються із сусла разом із білково-дубильними комплексами, тому їх використання невисоке. Під час кип'ятіння α -кислоти гумулони ізомеризуються в ізо- α -кислоти — ізогумулон, ізокогумулон та ізоадгумулон, які формують основну гіркоту пива. Ізолупулон та його аналоги на ступінь гіркоти впливають слабше (De Clippeleer, Aerts, & Cooman, 2014). Ефективність використання гірких речовин залежить від складу кислот, дози хмелю, ступеня ізомеризації, тривалості та інтенсивності кип'ятіння, рН і втрат при фільтрації.

Окрім традиційного охмелення, застосовують сухе (пізніє) охмелення, коли хміль додають наприкінці кип'ятіння або після нього. Такий спосіб забезпечує більш стабільний і насичений аромат, оскільки зменшується випаровування ефірних олій. Виділяють три форми сухого охмелення (Кошова, Мукоїд, & Василів, 2018; Titus та ін., 2021; Oladokun та ін., 2017):

- під час первинного бродіння (малоефективне через втрату частини ароматичних речовин разом із CO_2);
- під час вторинного бродіння (оптимальний варіант для збереження аромату і чистоти процесу);
- у готове пиво, хоча надто тривалий контакт може спричинити появу трав'яних чи маслянистих нот.

Для сухого охмелення використовують ароматичні сорти хмелю з низьким вмістом α -кислот (не більше 6%) і високим вмістом ефірних олій. Найчастіше застосовують сорти Chinook і Columbus (Lafontaine, & Shellhammer, 2018).

Метою дослідження є порівняльна оцінка вітчизняних і закордонних сортів хмелю за вмістом α -кислот та показниками гіркоти, визначення їх технологічної придатності у пивоварінні та обґрунтування перспектив використання українських сортів для виробництва пива.

Матеріали і методи. Аналітичні, хімічні, фізико-хімічні з використанням приладів і методик досліджень якості пива згідно з ДСТУ 3888-2015.

Під час експериментальних досліджень використовували мініпивоварню Solodok-30, ваги OHAUS SPX2201, спектрофотометр ULAB 102UV, рефрактометр VAL7 ULAB, термометр електронний Checktemp C Hanna Ist.

Викладення основних результатів дослідження. Якість пива значною мірою залежить від якості основної сировини — води, солоду, хмелю та дріжджів. Пивне сусло виготовлялося в умовах міні-пивоварні Solodok за рецептурою: 94,0% солоду Munich I; 4,3% — Caramunich I, 1,7% — Biscuit Malt. Характеристика солоду, з якого виготовлялося сусло, наведена в табл. 1.

Таблиця 1. Фізико-хімічні показники дослідного пивного сусла

П/н №	Показник	Результат
1.	Кольорність, см ³ розчину йоду концентрацією 0,1 моль/дм ³ на 100 см ³ води	2,0
2.	Кислотність, см ³ розчину NaOH концентрацією 1 моль/дм ³ на 100 см ³ сусла	1,1
3.	Вміст сухих речовин, %	13,5
4.	Повнота оцукрення	Повне

Для охмелення сусла використовували вітчизняні сорти хмелю — Альта та Шпальт Селект, а також зарубіжні сорти – Herkules і Hallertauer Tradition. На першому етапі досліджень сусло кип'ятили окремо з кожним сортом для порівняння їхнього впливу на гіркоту пива.

На другому етапі застосовували комбінацію гіркою та ароматичною сортів хмелю. Кип'ятіння тривало 60 хв: спочатку в сусло додавали гіркий хміль (вітчизняний сорт Альта, закордонний сорт Herkules), а через 40 хв — ароматичні сорти (Шпальт Селект і Hallertau Tradition). Показники якості дослідних зразків хмелю наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Показники якості дослідних сортів хмелю

П/н №	Назва показника	Сорт хмелю			
		гіркий		ароматичний	
		Альта	Herkules	Шпальт Селект	Hallertau Tradition
1.	Вміст α -кислот, %	11,8	12,0	5,3	6,0
2.	Вміст β -кислот, %	4,8	4,7	3,2	4,5
3.	Когуmulон у складі α -кислот, %	25	33,3	24,3	27,2
4.	Когуmulон у складі β -кислот, %	46,7	54,0	42,9	47,4
5.	Індекс окислення	0,38	0,37	0,41	0,43

Із табл. 2 можна зробити висновки, що гіркі сорти (Альта і Herkules) переважно підходять для додання гіркоти пиву завдяки високому вмісту α -кислот і когуmulону. Ароматичні сорти (Шпальт Селект, Hallertau Tradition) більше орієнтовані на ароматичний профіль, мають нижчий вміст α -кислот і трохи вищий індекс окислення, що варто враховувати при використанні у виробництві. Сорт Herkules виділяється серед гірких сортів найвищими показниками за вмістом α , β -кислот та когуmulону, що робить його особливо інтенсивним для гіркоти.

Наступним етапом дослідження був підбір кількості хмелю для додавання його в пивне сусло. Кількість хмелю підбиралася для охмелення 2,50 дм³ сусла. В табл. 3 наведено кількість і варіанти задавання хмелю. Після завершення процесу кип'ятіння проводили дослідження динаміки гіркоти пивного сусла залежно від кількості внесеного хмелю. Для порівняння впливу різних сортів хмелю на процес охмелення здійснювали за однакових умов та кількості хмелю. Результати досліджень наведені на рис. 1.

Таблиця 3. Кількість хмелю, які використовувалися для охмелення пивного сусла

Номер зразка	Кількість хмелю, г	
	Альта/Неркулес (гіркі сорти)	Шпальт Селект / Hallertau Tradition (ароматичні сорти)
Зразок № 1	1,0	2,4
Зразок № 2	1,2	2,6
Зразок № 3	1,4	2,8
Зразок № 4	1,6	3,0

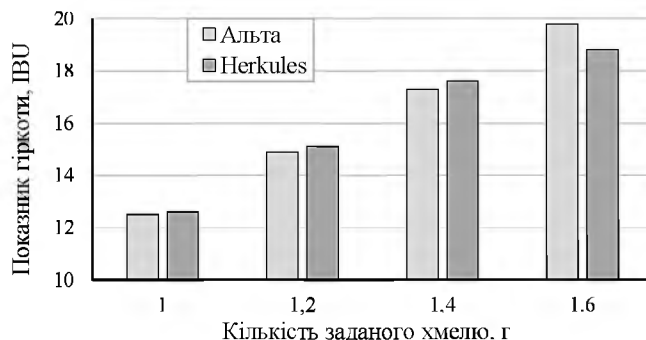


Рис. 1. Динаміка гіркоти пивного сусла при охмеленні гіркими сортами хмелю

Із рис. 1 видно, що в разі внесення невеликої дози (1 г) у сусло дослідних сортів гіркої хмелю Альта і Неркулес різниця в гіркоті сусла не відчувалась. Починаючи з 1,2 г і вище, внесення хмелю сорту Неркулес призводило до підвищення показника гіркоти порівняно із сортом Альта. Це пояснюється більшим вмістом у ньому α -кислот (12,0% проти 11,8%). Однак при максимальній дозі (1,6 г) при внесенні хмелю сорту Альта в суслі досягався вищий рівень гіркоти (19,8 IBU порівняно з Неркулес 18,8 IBU). Це може бути наслідком різниці у складі когумулонів або технологічних особливостей ізомеризації α -кислот.

На наступному етапі досліджень здійснювали охмелення сусла ароматичними сортами хмелю різного походження — вітчизняного та закордонного виробництва. Результати досліджень наведено на рис. 2.

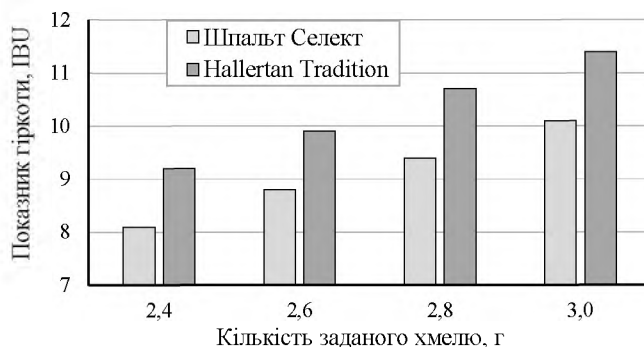


Рис. 2. Динаміка гіркоти пивного сусла при охмеленні ароматичними сортами хмелю

Із рис. 2 видно, що на всіх етапах дозування внесення в сушло хмелю сорту Hallertau Tradition дозволяло досягти вищого показника гіркоти порівняно зі Шпальт Селект. Наприклад, при дозі 2,4 г гіркота становила близько 9,2 IBU для сорту Hallertau Tradition і лише 8,1 IBU для сорту Шпальт Селект, а при 3,0 г — відповідно 11,4 проти 10,1 IBU. Це пояснюється вищим вмістом α -кислот у хмелі сорту Hallertau Tradition (6,0%), ніж у Шпальт Селект (5,3%), що забезпечувало більш ефективну ізомеризацію гірких речовин під час кип'ятіння сусла. У разі збільшення дозування дослідних сортів хмелю спостерігалось майже лінійне зростання показника IBU, що свідчило про стабільне екстрагування α -кислот у процесі кип'ятіння сусла.

На наступному етапі дослідження ефективності охмелення пивного сусла здійснювали шляхом поєднання ароматичних і гірких сортів хмелю вітчизняних та закордонних сортів хмелю, які представлено в табл. 5.

Досліджено, що при всіх рівнях дозування використання закордонних сортів гіркого і ароматичного сортів Herkules та Hallertauer Tradition дозволяло досягати вищих показників гіркоти порівняно з вітчизняними сортами Альта і Шпальт Селект.

Таблиця 5. Порівняльна характеристика показників гіркоти пивного сусла у разі його охмелення вітчизняними і закордонними сортами хмелю

П/н №	Вітчизняні сорти хмелю			Закордонні сорти хмелю		
	Альта (гіркий)	Шпальт Селект (ароматичний)	Показник гіркоти, IBU	Herkules (гіркий)	Hallertauer Tradition (ароматичний)	Показник гіркоти, IBU
1.	1,0	2,4	20,5	1,0	2,4	21,8
2.	1,2	2,6	23,6	1,2	2,6	25,0
3.	1,4	2,8	26,8	1,4	2,8	28,3
4.	1,6	3,0	29,9	1,6	3,0	31,6

Так, при найменшій дозі внесення хмелю (1,0+2,4 г) у разі використання вітчизняних сортів показник гіркоти пивного сусла становив 20,5 IBU, а в разі використання зарубіжних сортів — 21,8 IBU. При максимальній дозі (1,6+3,0 г) — 29,9 IBU та 31,6 IBU відповідно.

Вищі значення IBU сусла при використанні зарубіжних сортів Herkules і Hallertauer Tradition свідчать про більшу концентрацію та кращу ізомеризацію α -кислот у суслі, що робить їх більш ефективними для надання пиву хмелевої гіркоти (Kimura, Tadashi, Hirofumi, & Masahiro, 2021). Тому закордонні сорти хмелю Herkules і Hallertauer Tradition демонструють вищу гіркоту порівняно з вітчизняними Альта і Шпальт Селект при однакових дозах і в однакових умовах. Це свідчить про їхню більшу технологічну ефективність і потенціал для виробництва пива з вираженою, інтенсивною гіркотою. Водночас вітчизняні сорти доцільно використовувати для отримання більш м'якого і збалансованого смакового профілю.

Висновки

1. Встановлено, що вміст α -кислот у вітчизняних сортах хмелю практично не відрізняється від закордонних аналогів. Зокрема, для гірких сортів цей показник

становить: Альта — 11,8%, Herkules — 12,0%, а для ароматичних — Шпальт Селект — 5,3% та Hallertau Tradition — 6,0%.

2. Досліджено, що в однакових умовах (кількість заданого хмелю і час кип'ятіння) динаміка гіркоти пивного сусла, отриманого шляхом його кип'ятіння з вітчизняними і зарубіжними сортами хмелю, була ідентичною, але в разі внесення у сусло хмелю в кількості 0,16 г на 2,50 дм³ при використанні вітчизняного сорту Альта в суслі досягався вищий рівень гіркоти (19,8 IBU) порівняно із зарубіжним сортом Herkules (18,8 IBU).

3. Показник гіркоти дослідних проб пивного сусла, отриманих при охмеленні сумішшю вітчизняних сортів хмелю Альта і Шпальт Селект та зарубіжних Herkules і Hallertau Tradition, у середньому відрізняється на 1,4 одиниці IBU.

4. Дослідні закордонні сорти хмелю Herkules і Hallertauer Tradition доцільно використовувати для виробництва пива з більш вираженою інтенсивною гіркотою. Для отримання більш м'якого, збалансованого смакового профілю пива доцільно використовувати вітчизняні сорти Альта і Шпальт Селект.

5. Аналіз отриманих результатів свідчить про високу якість вітчизняних сортів хмелю та їх відповідність вимогам міжнародних стандартів. Використання вітчизняного хмелю у пивоварінні дасть змогу підвищити ефективність виробництва хмелю в Україні.

Література

Копіова, В. М., Мукоїд, Р. М., Бондаренко, А. Д. (2018). Холодне охмелення пива. *Новітні технології. Збірник наукових праць*, 2(6), 115—121. <https://doi.org/10.31180/2524-0102/2018.2.06>.

Ляшенко, Н. І. (2002). *Биохимия хмеля и хмелепродуктов*. Житомир: Полісся.

Проценко, Л. В., Сітнікова, Т. Ю., Приймачук, Т. Ю. (2015). Формування науково-виробничого регіонального хмелярського кластера. *Вісник аграрної науки*, 6, 67—72. https://agrovisnyk.com/pdf/ua_2015_06_14.pdf.

Рудик, Р. І., Проценко, Л. В., Пасічник І. О. (2014). Чи має перспективу український хміль? *Зерно і хліб*, 2, 67—70.

Проценко, Л. В., Рудик Р. І., Ляшенко, М. І., Штанько, І. П., Цибульський, В. О., Черненко, О. В., Гринюк, Т. П., Власенко, А. С. (2017). *Атлас українських сортів хмелю*. Інститут сільського господарства Полісся НААН: О. О. Євенок.

Проценко, Л. В., Рудик, Р. І., Михайлов, Н. Г., Черненко, Е. В., Гринюк, Т. П., Власенко, А. С. (2016). Технологічна оцінка гранул хмелю українського і закордонного виробництва. *Агропромислове виробництво Полісся*, 8, 72—77.

Роздобудько, Б. В., Хіврич, Б. І. (2014). Технологічні і технічні аспекти утворення диметилсульфіду в пиві. *Наукові праці НУХТ*, 20(1), 181—187. <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/19429>.

Рудик, Р. І., Проценко, О. В., Свірчевська, О. В. (2013). Високопродуктивні сорти — основа інноваційного розвитку галузі хмелярства. *Вісник аграрної науки*, 4, 63—66. https://agrovisnyk.com/oldpdf/visnyk_04_2013.pdf.

De Clippeler, J., Aerts, G., & De Cooman, L. (2014). Beer's bitter compounds — A detailed review on iso- α -acids: Current knowledge of the mechanisms for their formation and degradation. *Brewing Science*, 67(11/12), 167—182. <https://brewingscience.de/index.php/brewingscience/article/view/377>.

Klimczak, K., Cioch-Skoneczny, M., Duda-Chodak, A. (2023). Effects of Dry-Hopping on Beer Chemistry and Sensory Properties — A Review. *Molecules*, 28(18):6648. <https://doi.org/10.3390/molecules28186648>.

- Kimura, M., Tadashi, I., Hirofumi, S., Masahiro, H. (2021). Theoretical study on isomerization of α -acids: A DFT calculation. *Fod Chemistry*, 364(1), 130418. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130418>.
- Krofta, K., Fritschová, G., Mikyška, A., Belešová, K., Vojtěchová, D., Tichá, J. (2022). Alpha acids content in Czech hops from harvest 2021 — forecasts, reality and trends. *Kvasny Prumysl*, 68(1), 564—571. <https://doi.org/10.18832/kp2022.68.564>.
- Lafontaine, S. R., Shellhammer, T. H. (2018). Impact of static dry-hopping rate on the sensory and analytical profiles of beer. *J. Inst. Brew.*, 124, 434—442. <https://doi.org/10.1002/jib.517>.
- Lutz, A., Forster, A. (2007). Influences of the new high alpha hop variety Herkules on beer quality. *Proceedings of the 31st EBC Congress, Venice. Nuremberg: Fachverlag Hans Carl*, 145—152.
- Oladokun, O., James, S., Cowley, T., Smart, K., Hort, J., & Cook, D. (2017). Dry-Hopping: the Effects of Temperature and Hop Variety on the Bittering Profiles and Properties of Resultant Beers. *Brewing Science*, 70(11/12), 187—196. <https://doi.org/10.23763/BrSc17-18oladokun>.
- Protsenko, L., Rudyk, R., Hryniuk, T., Vlasenko, A., Protsenko, A., Litvynchuk, S., Ovadenko, O. (2018). Beer enrichment with biologically active hop compounds. *Ukrainian Food Journal*, 7(1), 65—78. <https://doi.org/10.15407/agrisp5.02.052>.
- Prymachuk, T. Iu., Ratoshniuk, T. M., Shtanko, T. A., Sitnikova, T. Iu., Protsenko, A. V. (2014). Cooperation of Humiculture and Brewing: World and Domestic Perspective. *Bulletin of the Agrarian Science of the Black Sea Region*, 2(78), 72 —79. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201804-10>.
- Rutnik, K., Ocvirk, M., & Košir, I. J. (2023). The Impact of Hop Freshness on Kettle-Hopped Beers. *Foods*, 12(23), 4353. <https://doi.org/10.3390/foods12234353>.
- Titus, B. M., Lemo, L. A., Beaver, J. W., Byrnes, N. K., Heymann, H., & Oberholster, A. (2021). Impact of Dry Hopping on Beer Flavor Stability. *Foods*, 10(6), 1264. <https://doi.org/10.3390/foods10061264>.
- Yablonska, N., Malatskovska, O. (2014). Modern tendencies and problems of development of the beer market of Ukraine. *Scientific Herald of the Odessa National Economic University*, 8(216), 220—228.