



Зберігання та переробка продукції

УДК 663.423:663:41:633.791

© 2023

КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНІСТЬ ХМЕЛЕПРОДУКЦІЇ УКРАЇНСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА НА ОСНОВІ БІОХІМІЧНОЇ ТА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОЦІНОК

С.М. Рижук¹, Н.А. Кошицька², Л.В. Проценко³, О.В. Свірчевська⁴

¹доктор сільськогосподарських наук, професор, академік НААН

²кандидат сільськогосподарських наук

³кандидат технічних наук

Інститут сільського господарства Полісся НААН

шосе Київське, 131, м. Житомир, 10007, Україна

e-mail: ¹isgpo_zt@ukr.net, ²Ninakoshitska@gmail.com,

³Lidiya.procenko@ukr.net, ⁴Svirchevskaya79@ukr.net

ORCID: ¹0000-0002-2931-5458, ²0000-0002-5432-1630,

³0000-0002-7746-0270, ⁴0009-0000-7389-2968

Надійшла 31.03.2023

Мета. Визначити пивоварну якість гранул хмелю тип 90 українського виробництва та встановити їх конкурентоспроможність на основі біохімічної і технологічної оцінок. **Методи.** Фізико-хімічні — для визначення показників якості гранул хмелю, спеціальні і загальноприйняті в хмелярській галузі, математико-статистичні та методики Європейської Пивоварної Конвенції, зокрема високоефективна рідинна хроматографія, капілярна газова хроматографія, кондуктометрія, спектрофотометрія. **Результати.** Дано біохімічну оцінку гранул хмелю тип 90 українських сортів Клон 18, Злато Полісся, Альта за кількістю та складом гірких речовин, ефірної олії та проведено їх порівняння із зарубіжними гранулами сортів Жатецький (Чехія) та Магнум (Німеччина). Відзначено, що в гранулах хмелю ароматичних сортів уміст альфа-кислот змінюється з 3,7% у сорту Клон 18 до 4,5% у гранулах сорту Жатецький. Уміст бета-кислот у досліджуваних гранулах становить від 4,4% (Злато Полісся) до 6% у гранулах сорту Жатецький. У смолах гранул сортів Клон 18, Злато Полісся та Жатецький частка бета-кислот є значно вищою, ніж частка альфа-кислот, тобто в них зберігається позитивний коефіцієнт ароматичності між умістом бета- та альфа-кислот, що становить 1,16 – 1,30. У гранулах тонкоароматичних сортів уміст когумулону — 24,6 – 26,0%. У гранулах хмелю гірких сортів уміст альфа-кислот змінюється з 9,7% у сорту Альта до 16,0% у сорту Магнум. Уміст бета-кислот у цих самих гранулах становить від 5,5% у сорту Альта до 7% у сорту Магнум. Уміст когумулону змінюється в діапазоні від 23,5% у гранулах сорту Альта до 29% у гранулах сорту Магнум.

Доведено, що гранули хмелю українського виробництва за своїми характеристиками відповідають світовим аналогам. Висновки. Установлено, що проаналізовані гранули хмелю тип 90 українського виробництва не поступаються за якістю зарубіжним гранулам і мають перспективу широкого використання в пивоварінні, забезпечуючи високу якість пива.

Ключові слова: *гранули хмелю, якість, гіркі речовини, сорти хмелю, ефірна олія, ксантогумол.*

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202308-08>

Нині в умовах воєнного стану сучасна пивоварна промисловість України намагається працювати на досить високому технологічному рівні. Попри те, що виробництво пива в I кварталі 2022 р. знизилося на 51%, вимоги до асортименту та якості хмелепродукції залишаються високими. Наразі великі пивоварні компанії працюють переважно на імпортній сировині [1, 2].

Хмелепродукти українського виробництва використовують лише регіональні та малі (крафтові) пивоварні. Причиною цього є не відсутність на внутрішньому ринку якісних хмелепродуктів українського виробництва, а зацікавленість компаній і діючих на території України пивоварень у поставці хмелепродуктів саме іноземного виробництва, часто мотивуючи невідповідністю якості української продукції [1].

Світовий ринок хмелю має позитивну динаміку розвитку завдяки високому попиту на хмелепродукцію [1, 2]. Характерними ознаками світового ринку хмелю є інтеграція між виробниками хмелепродукції та переробними заводами, об'єднаними у великомасштабні корпорації, що забезпечує безперервний процес хмелевиробництва (від виробника до споживача хмелю) [3–5]. Наведений досвід інтеграційних зв'язків між хмелярами та пивоварами досить актуальний для українських товаровиробників, особливо в умовах постійного зростання попиту на хмелепродукцію як сировину для виробництва пива [6].

Ефективне використання шишкованого та пресованого хмелю передбачає переробку його в гранули, що забезпечує тривале збереження цінних речовин та зручне транспортування за рахунок зменшення об'ємної маси [7–10]. Найбільш поширеного та раціонального застосування в пивоварінні

набули гранули тип 90 і збагачені лупуліном тип 45 [11, 12]. За хімічним складом вони майже не відрізняються від шишок хмелю [11, 13]. Використання гранул на 10% є економічнішим і зручнішим у пакуванні та дозуванні для сусла [11, 14, 15].

Селекціонерами України створено понад 30 сортів хмелю, особливістю яких є широке різноманіття за вмістом гірких речовин, поліфенолів та ефірної олії [16]. Хімічний склад шишок і виготовлених із них гранул змінюється в дуже широких межах. Він залежить від сорту, ґрунтових і кліматичних умов вирощування, термінів збирання, засобів післязбирального обробітку та умов зберігання хмелю [17].

Для пивоваріння найбільше значення має кількість у гранулах хмелю специфічних сполук, зокрема гірких речовин, яких налічується майже 100, компонентів ефірної олії — 325, поліфенольних сполук — понад 90 [13–15]. Вони надають пиву оригінальної гіркоти, сприяють пінистості та разом з іншими чинниками формують особливості бажаного букета пива [18, 19]. Сполуки хмелю є ефективними інгредієнтами для осадження високомолекулярних азотовмісних речовин із сусла, вони беруть участь в освітленні пива, а також здійснюють бактерицидний і консервувальний вплив на кінцевий продукт, підвищуючи стійкість пива під час його зберігання [12, 18, 20, 21].

За своїм складом гіркі речовини хмелю надзвичайно різноманітні і класифікуються з урахуванням їхнього екстрагування. Серед комплексу сполук, що належать до загальних смол хмелю, найбільш цінними для пивоваріння є альфа-кислоти, кількість яких є основним ціноутворювальним фактором оцінки хмелю та продуктів його переробки і має велике значення в утворенні гіркоти

пива при охмеленні суслу. Залежно від селекційного сорту вміст альфа-кислот становить 1–18% [15].

Українськими та зарубіжними вченими також досліджено лікувальні властивості хмелю і пива при споживанні в розумних межах [3, 4, 22, 23].

В Інституті сільського господарства Полісся НААН майже щороку створюють нові та вдосконалюють наявні високопродуктивні сорти хмелю, які за якісними показниками можуть конкурувати зі світовими сортами. Проте через постійні зміни клімату хмельові насадження зазнають негативного впливу від посухи, ранніх заморозків, шкідників та хвороб, інших несприятливих абіотичних і біотичних факторів, що впливають на зниження вмісту гірких речовин, поліфенолів, ефірної олії. Тому для контролю показників якості хмелю та хмелепродуктів науковцями інституту проводяться дослідження з комплексної оцінки перспективних сортів хмелю на основі біохімічних і технологічних критеріїв, що дає можливість установами їх конкурентоспроможність.

Мета досліджень — визначити пивоварну якість гранул хмелю тип 90 українського виробництва та встановити їх конкурентоспроможність на основі біохімічної і технологічної оцінок.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження проводили в 2020–2022 рр. в умовах акредитованої лабораторії відділу біохімії хмелю і пива та біотехнології Інституту сільського господарства Полісся НААН.

Досліджували гранули хмелю тонкоароматичних сортів української селекції з особливим ніжним ароматом Клон 18, Злато Полісся і чеський сорт Жатецький, а також гіркі сорти з добре вираженим хмельовим ароматом — вітчизняний сорт Альта і німецький сорт Магнум. Гранули хмелю виготовлено на сучасному грануляторі у фермерському господарстві «Еліта-хміль», розташованому в Бердичівському р-ні Житомирської обл., що спеціалізується на вирощуванні та переробці хмелю. Відбір зразків гранул хмелю кожного сорту проводили безпосередньо після їх виготовлення відповідно до чинних нормативних документів [15].

Кількість альфа-кислот (кондуктометричний показник гіркоти в гранулах хмелю)

визначали згідно з методиками Європейської Пивоварної Конвенції за методом EBC 7.4 [15, 24]. Кількість альфа- і бета-кислот, їх гомологи та вміст ксантогумолу визначали методом вискоефективної рідинної хроматографії (EBC 7.7) [15, 24]. Хроматографування здійснювали за допомогою рідинного хроматографа Ultimate 3000 з УФ детектором за температури 35°C. Використовували колонку розміром 100×2,1 мм, заповнену сорбентом Pinnacle ДВ C18 3 мк, як рухоми фазу — розчин метанолу, води та ацетонітрилу в співвідношенні 38:24:38. Для кількісного визначення ксантогумолу використовували стандарт-еталон ксантогумолу з умістом цієї сполуки 99,8%, для визначення гірких речовин — міжнародний стандарт-еталон ICE 3.

Кількість ефірної олії визначали за методом EBC 7.10 [15, 25], що базується на визначенні вмісту ефірної олії в мл на 100 г сухого хмелю шляхом одержання ефірної олії гідродистиляцією з наступною декантацією та збиранням її в спеціальному уловлювачі.

Якісний склад ефірної олії визначали згідно з методикою EBC 7.12 [15, 26] методом газорідинної капілярної хроматографії на 50–60-метрових капілярних кварцових колонках на хроматографі «Кристал 2000 М» із полум'яно-іонізувальним детектором (ПІД). Метод полягає у фракціюванні ефірної олії. Температура термостата програмується 60–220°C зі швидкістю 4°C за хвилину з наступним витримуванням в ізотермічному режимі 40 хв. Після виходу хроматографа на оптимальний режим вводиться проба ефірної олії хмелю в кількості 0,3–0,4 мкл. Витрата хроматографічного інертного газу (аргону, азоту, гелію) становить 20–30 см³, водню — 20 см³ за хвилину. Температура камери для введення проби ефірної олії — 200°C, детектора — 250°C. Створюють такі умови хроматографування, щоб забезпечити розподіл основних компонентів ефірної олії: мірцену, каріофілену, фарнезену і гумулену. Обробка результатів хроматографування та управління роботою хроматографа здійснюється за допомогою комп'ютерної техніки.

Результати досліджень. Дослідження біохімічного складу гранул хмелю тонкоароматичних сортів української селекції Клон 18, Злато Полісся та одного з найкращих

у світі тонкоароматичних сортів чеського сорту Жатецький показали, що для гранул цих сортів властивий майже однаковий вміст гірких речовин — 12–20% (табл. 1).

Також характерною особливістю гранул цих 3-х сортів є значна перевага в складі гірких речовин частки бета-кислоти над часткою альфа-кислоти. Кількість бета-кислот становить 4–6%, що значно перевищує вміст альфа-кислот (2,0–4,4%). Тобто в них зберігається позитивний коефіцієнт ароматичності між кількістю бета- та альфа-кислотами, що більше 1 і є однією з основних ознак при оцінці пивоварної якості хмелю. Бета-кислоти самі по собі не гіркі на смак, але в процесі охмелення суслу утворюють сполуки, що мають приємну м'яку гіркоту [27].

Клон 18 є національним стандартом для ароматичних сортів хмелю, який створено методом клонового добору з місцевих сортопопуляцій жатецького типу. Сорт не високоврожайний, вміст альфа-кислот — на низькому рівні, але завдяки ароматичним властивостям є одним із затребуваних у пивоварів сортів хмелю. Сорт Клон 18 має дуже тонкий аромат із трав'янистими, фруктовими і квітковими нотками. Найчастіше його використовують у світлих сортах пива для надання приємного благородного аромату та гіркоти пиву [28].

Сорт хмелю Злато Полісся створено методом клонованого добору із сорту Клон 18, він гармонійно поєднує помірну гіркоту з нижнім і приємним ароматом. Має оптимальне співвідношення між кількістю бета-кислот та альфа-кислот (майже 1). За складом гірких речовин, ксантогумолу та ефірної олії його можна порівняти із сортом хмелю Жатецький. Використовують хміль сорту Злато Полісся в пивоварінні для надання гіркоти та аромату, а також при випіканні хліба.

Ефірна олія в досліджуваних тонкоароматичних сортах представлена кількістю каріофілену, гумулену, фарнезену та мірцену (див. табл. 1), яка змінюється з 0,6–0,7 мл на 100 г гранул хмелю в українських сортах до 0,4–0,8 мл на 100 г гранул хмелю в сорту Жатецький, причому значна частина припадає на фарнезен, що сприяє одержанню пива з тонким ароматом і високими якістьми.

Застосування сучасних методів, зокрема високоефективної рідинної хроматографії, дало можливість дослідити не лише кількісний вміст гірких речовин, а також їхній якісний склад. На наведених хроматограмах (рис. 1–3) показано подібність у кількісному та якісному складі гірких речовин, що містяться в гранулах досліджуваних сортів.

Гранули цих сортів мають 24,6–25,6% когумолону в складі альфа-кислот, що свідчить

1. Порівняльна характеристика гранул хмелю тонкоароматичних сортів Клон 18, Злато Полісся та Жатецький (2020–2022 рр., середнє ± стандартне відхилення), %

Показник якості гранул хмелю	Гранули сорту хмелю, тип 90		
	Клон 18 (Україна)	Злато Полісся (Україна)	Жатецький* (Чехія)
Загальна кількість гірких речовин	12,7 ± 1,01	18,5 ± 1,16	13,0–20,0
КПГ(масова частка α-кислот, метод EBC 7.5)	3,7 ± 0,53	4,1 ± 0,61	2,5–4,5
Масова частка β-кислот, метод EBC 7.7	4,6 ± 0,60	4,4 ± 0,68	4,0–6,0
Співвідношення β/α-кислот	1,27 ± 0,94	1,16 ± 0,90	1,1–1,3
Когумулон у складі α-кислот	25,6 ± 1,36	24,6 ± 1,26	23,0–26,0
Колупулон у складі β-кислот	42,1 ± 1,98	41,7 ± 1,85	39,0–43,0
Масова частка ксантогумолу	0,27 ± 0,31	0,25 ± 0,36	0,3–0,5
Ефірна олія, мл на 100 г гранул хмелю, у тому числі:			
мірцен	0,6 ± 0,51	0,7 ± 0,48	0,4–0,8
каріофілен	29,5 ± 1,18	28,9 ± 1,24	25,0–40,0
гумулен	8,6 ± 0,87	9,7 ± 0,79	6,0–9,0
фарнезен	26,5 ± 1,13	25,0 ± 1,19	15,0–30,0
фарнезен	16,7 ± 0,97	16,9 ± 1,14	14,0–20,0

*Джерело [28].

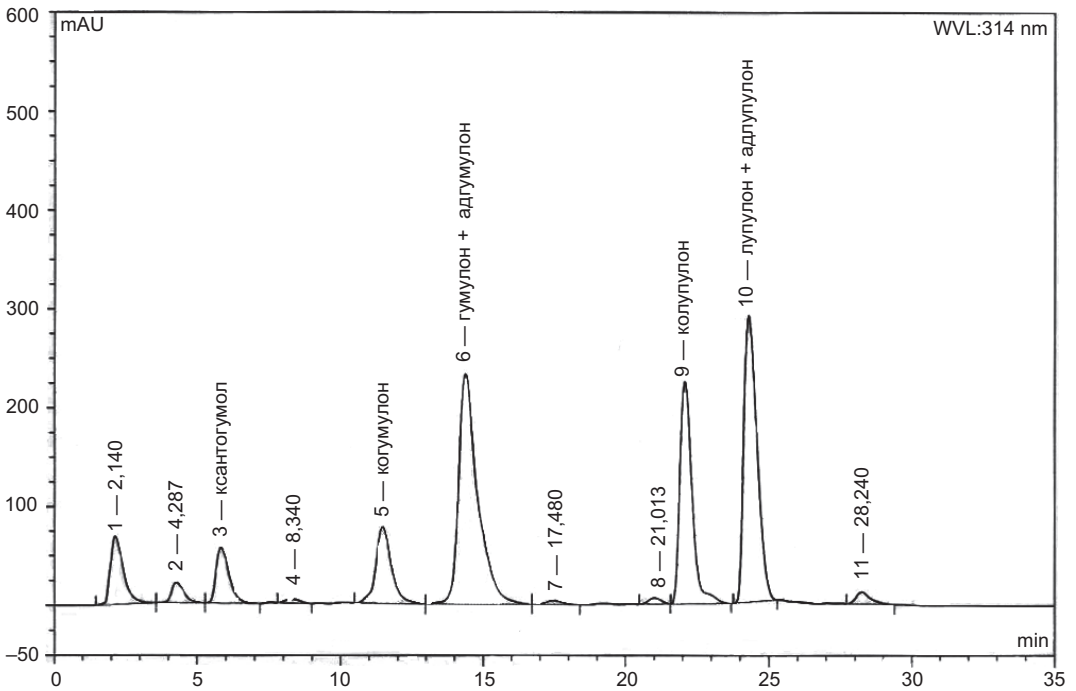


Рис. 1. Хроматограма складу гірких речовин тонкоароматичного сорту хмелю Злато Полісся

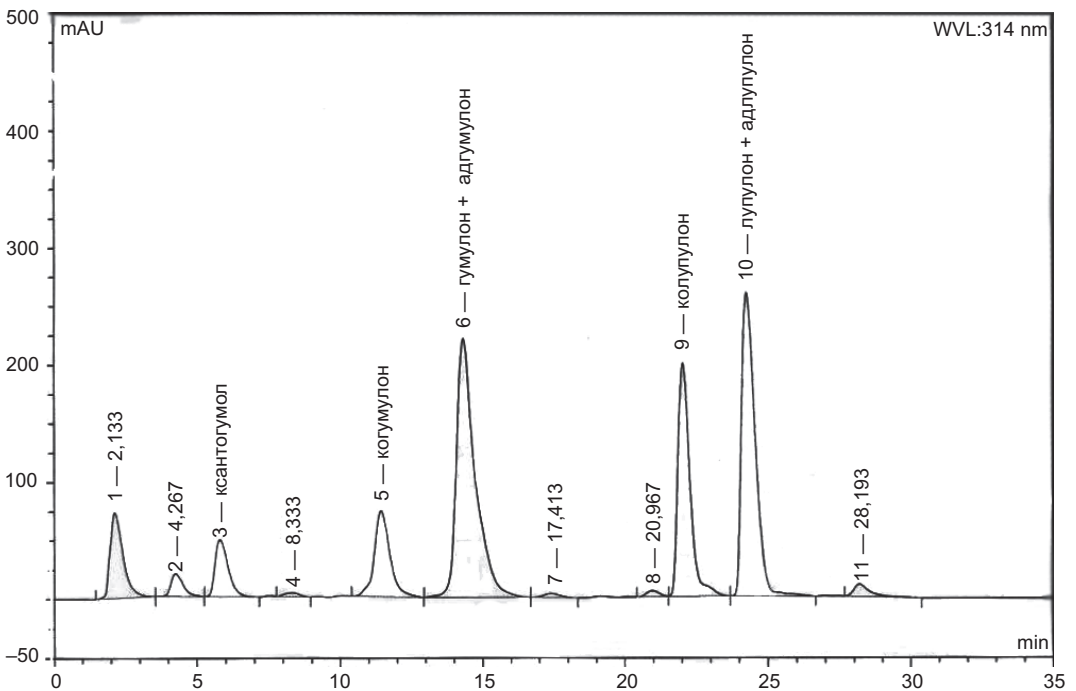


Рис. 2. Хроматограма складу гірких речовин тонкоароматичного сорту хмелю Клон 18

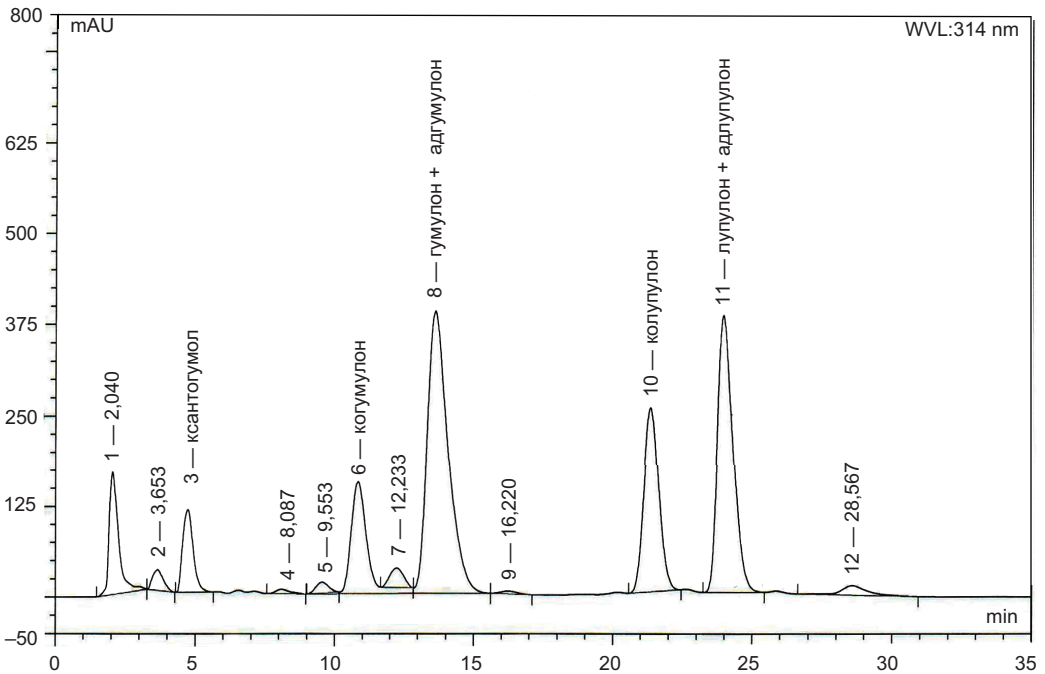


Рис. 3. Хроматограма складу гірких речовин тонкоароматичного сорту хмелю Жатецький

про високу технологічність у них гірких речовин. На думку вчених Чехії, Словенії, Німеччини, США [30–32] та пивоварів-спеціалістів у створенні тонкоароматичних сортів пива, частка когумулону

в складі альфа-кислоти не має перевищувати 30%.

Також досліджено гранули гіркого вітчизняного сорту Альта і німецького сорту Магнум.

2. Порівняльна характеристика гранул хмелю гірких сортів Альта і Магнум (2020–2022 рр., середнє ± стандартне відхилення), %

Показник	Гранули сорту хмелю, тип 90	
	Альта (Україна)	Магнум (Німеччина)
Загальна кількість гірких речовин	23,5±1,69	20–26
КПГ (масова частка α-кислот, метод ЕВС 7.5)	9,7±0,87	11,0–16,0
Масова частка β-кислот, метод ЕВС 7.7	5,5±0,75	5,0–7,0
Співвідношення β/α-кислот	0,5±0,32	0,5–0,6
Когумулон у складі α-кислот	23,5±1,79	21,0–29,0
Колупулон у складі β-кислот	45,7±1,92	38,0–48,0
Поліфеноли: ксантогумол,	0,35±0,31	0,4–0,5
Ефірна олія, мл на 100 г гранул хмелю, у тому числі:	1,6±0,79	1,6–2,6
мірцен	27,5±1,80	30,0–45,0
каріофілен	12,0±0,95	8,0–13,0
гумулен	26,8±1,65	30,0–45,0
фарнезен	<1	<1

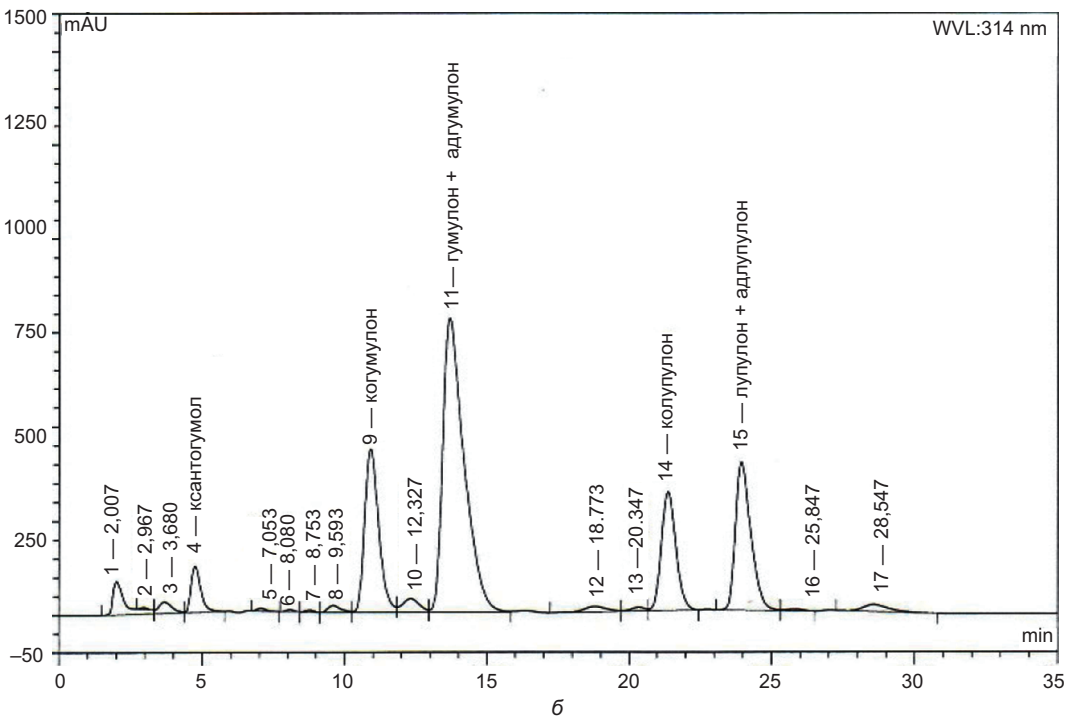
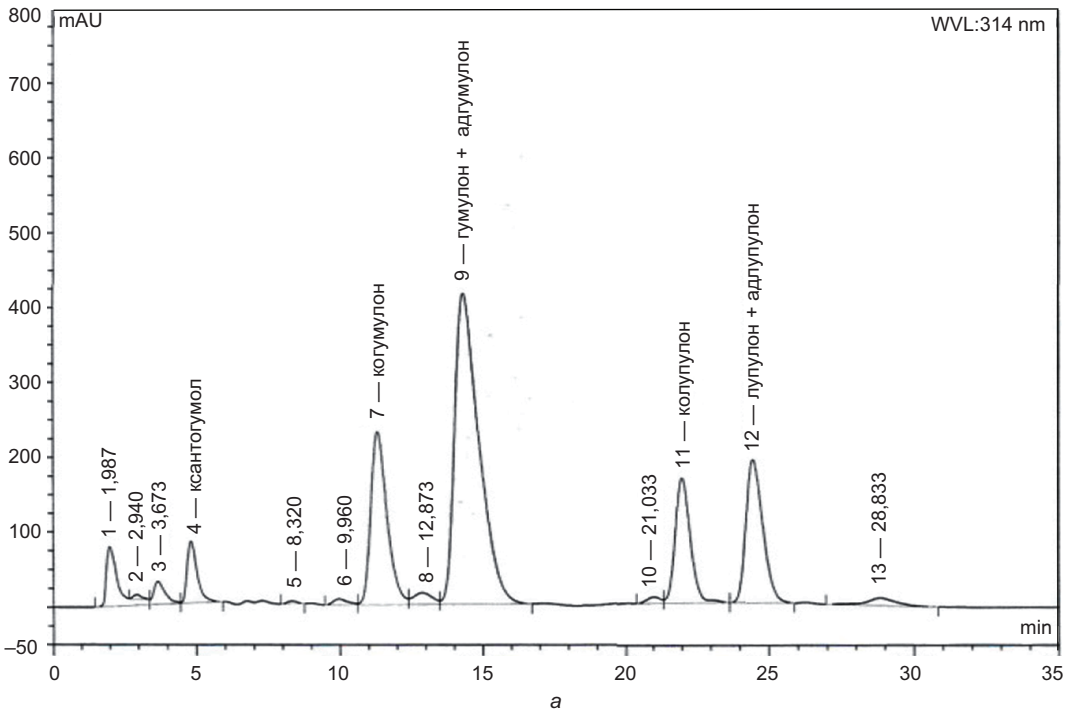


Рис. 4. Хроматограми складу гірких речовин гірких сортів хмелю Альта (а) і Магнум (б)

Ранньостиглий високосмольний сорт Альта за складом гірких речовин та ефірної олії подібний до відомого німецького сорту Магнум, гранули та інші продукти переробки якого користуються широким попитом у пивоварів (табл. 2).

Уміст альфа-кислот у гранулах обох сортів становить у середньому 9,7–16,0%. Порівняно з ароматичними сортами гіркі сорти мають значно нижчий уміст бета-кислот — у середньому 5,5–7,0%, тому їх співвідношення значно менше 1 — 0,5–0,6.

Хроматограми складу гірких речовин досліджуваних гранул хмелю майже не різняться за кількісним умістом альфа- та бета-кислот і їхнім складом (рис. 4).

Уміст когумулолу в гірких сортах становить від 23,5% у сорту Альта до 21–29% у сорту Магнум, тобто вони мають до 30% когумулолу

в складі альфа-кислот, відповідно колулулолу в складі бета-кислот — до 48%. Ці показники перебувають у межах паспортних даних [29].

Гранули сорту Альта з високим умістом альфа-кислот використовують для раннього внесення при варінні сула для надання пиву базової гіркоти. Сорт Альта має пряний смак гіркоти та аромату, який у пиві помірний, пряно-фруктовий з домінуванням тону смородини [29].

Уміст ефірної олії в гірких сортах Альта та Магнум був на рівні 1,6–2,6 мл на 100 г гранул хмелю, що значно вище, ніж у тонкоароматичних сортів.

Уміст ксантогумолу, що належить до групи пренільованих флавоноїдів халконового і флаванонового типів, у досліджуваних сортів українського виробництва був на рівні із зарубіжними аналогами (див. табл. 1, 2).

Висновки

За результатами досліджень кількісного вмісту та якісного складу гірких речовин, ефірної олії, поліфенольних сполук та ксантогумолу в гранулах хмелю українського виробництва встановлено стабільність їх хімічного складу та відповідність паспортним даним сортів хмелю, з якого було виготовлено гранули.

Гранули хмелю тип 90 тонкоароматичних, ароматичних і гірких сортів українського виробництва за біохімічними

і технологічними показниками відповідають вимогам ДСТУ 7028:2009. Гранули хмелю. Технічні умови.

Доведено, що гранули хмелю сортів Клон 18 і Злато Полісся за складом та якістю гірких речовин, поліфенолів та ефірної олії відповідають біохімічним критеріям чеського сорту Жатецький, а гранули хмелю гіркового сорту Альта за характеристикою подібні до гранул німецького сорту Магнум.

Ryzhuk S.¹, Koshytska N.², Protsenko L.³, Svirchevska O.⁴

Institute of Agriculture of Polissia of NAAS, 131 Kyivske shose, Zhytomyr, 10007, Ukraine; e-mail: ¹isgpo_zt@ukr.net, ²Ninakoshitska@gmail.com, ³Lidiya.procenko@ukr.net, ⁴Svirchevska79@ukr.net; ORCID: ¹0000-0002-2931-5458, ²0000-0002-5432-1630, ³0000-0002-7746-0270, ⁴0009-0000-7389-2968

Competitiveness of Ukrainian hop products based on biochemical and technological evaluations

Goal. To determine the brewing quality of hop granules of type 90 of Ukrainian production and to establish their competitiveness based on biochemical and technological assessments.

Methods. Physico-chemical — to determine the quality indicators of hop granules, special and

generally accepted in the hop industry, mathematical-statistical and methods of the European Brewing Convention, in particular, high-performance liquid chromatography, capillary gas chromatography, conductometry, spectrophotometry.

Results. Biochemical evaluation of hop granules of type 90 of Ukrainian varieties Klon 18, Zlato Polissia, and Alta by the amount and composition of bitter substances, essential oil is given and their comparison with foreign granules of varieties Zhatetskyi (Czech Republic) and Magnum (Germany) is carried out. It was noted that the content of alpha acids in hop granules of aromatic varieties varied from 3.7% in the Klon 18 variety to 4.5% in the Zhatetskyi variety. The content of beta acids in the investigated granules ranged from 4.4% (Zlato Polissia) to 6% in the granules of the Zhatetskyi variety. The proportion of beta acids in the resins of the Klon 18, Zlato

Polissia, and Zhatetskyi granules was significantly higher than the proportion of alpha acids, i.e. they retained a positive aromaticity ratio between the content of beta and alpha acids, which was 1.16–1.30. In the granules of fine aromatic varieties, the content of cohumulone was 24.6–26.0%. In hop granules of bitter varieties, the content of alpha acids varied from 9.7% in the Alta variety to 16.0% in the Magnum variety. The content of beta acids in these same granules ranged from 5.5% in the Alta variety to 7% in the Magnum variety. The content of cohumulone varied in the range

from 23.5% in the granules of the Alta variety to 29% in the granules of the Magnum variety. It was proven that Ukrainian-made hop granules corresponded to world analogs in terms of their characteristics. **Conclusions.** It was established that the analyzed hop granules of type 90 of Ukrainian production were not inferior in quality to foreign granules and had the prospect of wide use in brewing, ensuring high-quality beer.

Key words: hop granules, quality, bitter substances, hop varieties, essential oil, xanthohumol.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovnisnyk202308-08>

Бібліографія

1. Приймачук Т.Ю., Проценко А.В., Рудик Р.І., Штанько Т.А. Пивна та хмелева галузі України: кон'юнктура та інтеграція. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 4 (781). С. 61–67.
2. Ангел Є., Гулік А. Як українська промисловість долає воєнні виклики. 2022. URL: <https://zn.ua/ukr/promyshliennost/jak-ukrajinska-promislovist-dolaje-vojenni-vikliki.html>
3. Júlio C., Machado Miguel A. Faria, Isabel M.P.L.V.O. Ferreira. Hops: New Perspectives for an Old Beer Ingredient. *Natural Beverage. The Science of Beverages*. 2019. V. 3. P. 267–301. doi: 10.1016/B978-0-12-816689-5.00010-9
4. Salanță L.C., Coldea T.E., Ignat M.V. et al. Functionality of Special Beer Processes and Potential Health Benefits. *Processes*. 2020. 8(12). 1613. doi: 10.3390/pr8121613
5. Humia B.V., Santos K.S., Barbosa A.M. et al. Beer Molecules and Its Sensory and Biological Properties: A Review. *Molecules*. 2019. 24(8):1568. doi: 10.3390/molecules24081568
6. Ратошнюк Т.М., Ратошнюк В.І. Виробництво хмелепродукції — світовий та український ринки. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2022. № 1. С. 278–283.
7. Sharp D., Qian Y., Clawson J., Shellhammer T. Comparison of the Contributions of Hop Pellets, Supercritical Fluid Hop Extracts, and Extracted Hop Material to the Hop Aroma and Terpenoid Content of Kettle-Hopped Lager Beers. *Tech. Q. Master Brew. Assoc.* 2017. P. 2–10. doi: 10.1094/TQ-54-1-0105-01
8. Srećec S., Rezić T., Šantek B., Marić V. Hop Pellet Type 90: Influence of Manufacture and Storage on Losses of α -Acids. *Acta Aliment.* 2009. 38. P. 141–147. doi: 10.1556/AAlim.2008.0014
9. American Society of Brewing Chemists. Hops-12: Hop Storage Index (HSI). In *ASBC Methods of Analysis*. American Society of Brewing Chemists: St Paul, MN, USA. 2008. URL: <https://www.asbcnet.org/Methods/HopsMethods/pages/default.aspx>
10. Rutnik K., Ocvirk M., Košir I.J. Changes in Hop (*Humulus lupulus* L.) Oil Content and Composition during Long-Term Storage under Different Conditions. *Foods*. 2022. 11(19). 3089. doi: 10.3390/foods11193089
11. Bober A., Liashenko M., Protsenko L. et al. Biochemical composition of the hops and quality of the finished beer. *Potravinarstvo Slovak J. of Food Sciences*, 2020. 14. P. 307–317. doi: 10.5219/1311
12. Protsenko L., Ryzhuk S., Liashenko M. et al. Influence of alpha acids hop homologues of bitter and aromatic varieties on beer quality. *Ukrainian food j.* 2020. № 9 (2). P. 425–436. doi: 10.24263/2304-974X-2020-9-2-13
13. Ting P., Ryder D. The Bitter, Twisted Truth of the Hop: 50 Years of Hop Chemistry. *J. of the American Society of Brewing Chemists*. 2017. 75(3). P. 161–180. doi: 10.1094/ASBCJ-2017-3638-01
14. Forster A., Biendl M., Schönberger C. et al. Hops: Their Cultivation, Composition and Usage, Fachverlag Hans Carl. 2014. 09.
15. Проценко Л.В., Ляшенко М.І., Свірчевська О.В. та ін. Методологія оцінювання хмелю і хмелепродуктів; за ред. Л.В. Проценко. Житомир: Рута, 2020. 272 с. URL: <https://isgpnna.org/vidavnichadiyalnist/226.html>
16. Бобер А.В., Подпрятков Г.І., Колтунов В.А., Венгер О.О. Ресурсний потенціал районів в Україні сортів хмелю та їх конкурентоспроможність. *Біоресурси і природокористування*. 2015. Т. 7. № 1, 2. С. 80–91.
17. Рижук С.М., Сухораба В.П., Надточій П.П. та ін. Стан галузі хмелярства в Україні та можливості підвищення її ефективності у сучасних умовах. *Наукові горизонти*. 2019. № 7 (80). С. 29–40. doi: 10.33249/2663-2144-2019-80-7-29
18. Vocquet L., Sahpa S., Hilbert J.L. et al. *Humulus lupulus* L., a very popular beer in gradient and medicinal plant: Overview of its phytochemistry, its bioactivity, and its biotechnology. *Phytochem. Rev.* 2018. 17. P. 1047–1090. doi: 10.1007/s11101-018-9584y
19. Hieronymus S. For the Love of Hops: The Practical Guide to Aroma, Bitterness and the Culture of Hops, Boulder, Brewers Publications,

a division of the Brewers Association. Colorado, 2012. P. 336.

20. Lamberti L., Grillo G., Gallina L. et al. Microwave-Assisted Hydrodistillation of Hop (*Humulus lupulus* L.) Terpenes: APilot-Scale Study. *Foods*, 2021. 10. 2726. doi: 10.3390/foods10112726

21. Бобер А.В., Завгородній В.М. Порівняльний аналіз пивоварних якостей шишок та гранул хмелю тип 90 ароматичних і гірких сортів. *Науковий вісник НУБіП України*. 2011. № 162. Ч. 1. С. 276–281.

22. Карабин М., Худцова Т., Елинек Л., Досталек П. Биологически активные соединения хмеля и перспективы их использования. *Compr Rev Food Sci Food Saf*. 2016. 1–26. doi: 10.1111/1541-4337.12201

23. Philips N., Samuel P., Lozano T. et al. Effects of *Humulus lupulus* extractorits Componentson Viability, Lipid Peroxidation, and expression of Vascular Endothelial Growth Factorin Melanoma Cells and Fibroblasts. *Madridge J. of Clinical*. 2017. 1 (1): 15–19. doi: 10.18689/mjcr-1000103

24. *Analytica-EBC (AnalyticaEuropeanBreweryConvention) Methods 7.2, 7.4, 7.5, 7.7*. 6th Ed. Nürnberg, Verlag Hans Carl Getränke-Fachverlag., 2006.

25. *Analytica-EBC (European Brewery Convention). Section 7 Hops. Method 7.10-Hop Oil Content of Hops and Hop Products*,; European Brewery Convention; The Brewers of Europe, 2007.

26. *Analytica-EBC (European Brewery Convention) Section 7 Hops, Method 7.12 – Hop*

Essential Oils by Capillary Gas Chromatography Flame Ionization Detection; European Brewery Convention; The Brewers of Europe, 2007.

27. Junguang H., Speers R.A., Heliang F. et al. A review of cyclic and oxidative ditter derivatives of alpha, iso-alpha and beta-hop acids. *J. of the American Society of Brewing Chemists*. 2020. 78:2. P. 89–102. doi: 10.1080/03610470.2020.1712641

28. Nesvadba V., Polončíková Z., Henychová A. et al. Atlas of Czech hop varieties. Chmelařský institut s.r.o., Žatec. 2012. URL: http://invenio.nusl.cz/record/161364/files/nusl-161364_1.pdf

29. Проценко Л.В., Рудик Р.І., Ляшенко М.І. та ін. Атлас українських сортів хмелю. Інститут сільськогосподарства Полісся НААН. Видавець О.О. Євнюк, 2017. 74 с. URL: <https://isgpnaan.org/vidavnicha-diyalnist/231.html>

30. Algazzali V., Shellhammer T. Bitterness Intensity of Oxidized Hop Acids: Humulinones and Hulupones. *J. Am. Soc. Brew. Chem*, 2016. № 74. P. 36–43. doi: 10.1094/ASBCJ-2016-1130-01

31. Jessika De Clippeleer, Guido Aerts. Beer's bitter compounds – A detailed review on iso-alpha-acids: Current knowledge of the mechanisms for their formation and degradation. *Brewing Science*. 2014. 67(11). P. 167–182.

32. Dean G. Hauser, Scott R. Lafontaine, Thomas H. Shellhammer Extraction Efficiency of Dry-Hopping. *J. of the American Society of Brewing Chemists*. 2019. 77(3) doi: 10.1080/03610470.2019.1617622