

АНАЛІЗ ВПЛИВУ МАТЕРІАЛУ УПАКОВКИ НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ПИВА

Івченко Вікторія Дмитрівна

кандидат технічних наук, доцент

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0002-5985-9712

ivchenkovd@gmail.com

Іншина Наталія Миколаївна

кандидат біологічних наук, доцент

Сумський державний університет, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0002-8204-8547

inshyna.n@gmail.com

Швець Ольга Григорівна

кандидат педагогічних наук, доцент

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0001-9872-3829

olgvasenko@gmail.com

Пономарьова Людмила Миколаївна

кандидат хімічних наук, доцент

Сумський державний університет, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0002-1637-3229

l.ponomarova@chem.sumdu.edu.ua

Большаніна Світлана Борисівна

кандидат технічних наук, доцент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0002-9482-8620

s.bolshanina@chem.sumdu.edu.ua

Мироненко Вікторія Олегівна

студентка

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

vikamirocosinus2021@gmail.com

У статті наведені результати дослідження впливу матеріалу упаковки (скло, пластик, метал) на фізико-хімічні показники якості світлого пива, виготовленого трьома виробниками: ПрАТ «Оболонь» («Охтирське світле»), ПрАТ «Carlsberg Ukraine» («Львівське 1715») і ТОВ «Перша приватна броварня» («Закарпатське оригінальне»). Дослідження здійснювали з метою визначення оптимального матеріалу упаковки для зберігання пива, що забезпечує найкращі характеристики напою протягом його терміну придатності. Для визначення змін основних показників якості пива використовували аналітичні методи. Показники прозорості та кольору пива оцінювали фотокolorиметричним методом, загальну кислотність визначали титриметричним методом, а густину – ареометричним методом. Окисно-відновний потенціал пива визначали за допомогою іоніру I–160MI. Дослідження проводили у стандартизованих умовах, що дозволило об'єктивно оцінити вплив матеріалу упаковки на якість пива протягом його зберігання. Аналіз отриманих даних свідчить, що скляна тара є оптимальним вибором для зберігання пива. Вона забезпечує стабільність основних фізико-хімічних показників, зокрема піноутворення, окисно-відновного балансу та збереження антиоксидантних властивостей напою. Скляна упаковка також забезпечує відсутність взаємодії між матеріалом тари та складовими пива, що є важливим для збереження його органолептичних властивостей. За результатами проведених досліджень як альтернатива скляній може розглядатися металева упаковка, що має певні переваги. Вона ефективно захищає пиво від фотохімічних змін, сприяє кращому утриманню вуглекислого газу, що позитивно впливає на формування піни. Однак підвищені значення рН і титрованої кислотності пива «Закарпатське оригінальне» в металевій банці можуть свідчити про можливу взаємодію компонентів напою з поверхнею упаковки. Це може впливати на хімічний склад напою, що потребує подальших досліджень. Найменш придатними для зберігання пива виявилися ПЕТ–пляшки. Вони сприяють проникненню кисню та світла, що активізує окиснювальні процеси, змінює колір напою, погіршує його органолептичні властивості та загальну якість. Крім того, ПЕТ–упаковка сприяє швидкій втраті вуглекислого газу, що негативно позначається на стабільності піни. Отримані результати

підтверджують необхідність посилення вимог до терміну зберігання та умов реалізації пива в ПЕТ-упаковці. Це дозволить мінімізувати втрати смакових і корисних властивостей напою та зберегти його якість протягом усього періоду придатності.

Ключові слова: Фізико-хімічні методи аналізу, титрована кислотність пива, піностійкість, окисно-відновний потенціал, пивоваріння, ПЕТ-упаковка, біотехнологія слабоалкогольних напоїв.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2025.1.5>

Вступ. Пиво є одним з найпопулярніших напоїв у світі завдяки унікальному складу та смаковим характеристикам (Blishch, 2024; Hoshko, 2023). До складу пива входять амінокислоти, білки, вуглеводи, вітаміни, мікроелементи, антиоксиданти, що мають позитивний вплив на здоров'я людини (Meza-Márquez, 2024; Li et al., 2020). Аналіз світового ринку пива свідчить про поширення попиту на безалкогольне пиво (Adamenko et al, 2020; Samoiluk et al., 2023). Це обумовило необхідність розробки і впровадження новітніх технологій виробництва пива з низьким вмістом алкоголю (Bellut & Arendt, 2019; Johansson. et al., 2021) та створення сортів пива з додаванням фруктів (Gasiński, A. et al., 2020; Mohanasundaram et al., 2021; Imaizumi et al., 2022). В Україні досить активно розвивається крафтове виробництво пива, оскільки споживачі надають перевагу продукції преміум-категорії. Виробники постійно працюють над удосконаленням якості пива, дотримуючись найвищих стандартів (Blishch, 2021). Сучасні методи аналізу дозволяють оперативно визначати хімічні, фізичні та органолептичні характеристики продукту на різних етапах виробництва і зберігання (Benadouda et al., 2023; Sohrabvandi et al., 2020; Nahurna et al., 2020; Gonzalez Viejo et al., 2020).

Якість пива та його органолептичні характеристики значною мірою залежать від якості компонентів сировини (Meza-Márquez et al., 2024; Nahurna et al., 2023), води (Ludyn, 2023; Yevtushenko, 2020), особливостей технологічного процесу (Herez et al., 2021; Blishch, 2023; Michiels et al., 2023) та умов зберігання (Habschied et al., 2022). Зниження якості та споживчих характеристик напою відбувається внаслідок активізації окиснювальних процесів, що можуть посилюватися при контакті пива з певними сполуками, що входять до складу упаковки (Gagula, 2020).

Метою даної роботи є з'ясування впливу матеріалу упаковки (скло, метал, пластик) на фізико-хімічні показники якості світлого пива.

Матеріали і методи досліджень. У дослідженні використовували зразки пива: «Охтирське світле» світле фільтроване непастеризоване (виробник ПрАТ «Оболонь» на потужностях ПрАТ «Охтирський пивоварний завод» (м. Охтирка, Сумська обл.)), «Львівське 1715» світле пастеризоване (виробник ПрАТ «Carlsberg Ukraine, м. Запоріжжя»), «Закарпатське оригінальне» світле фільтроване пастеризоване (виробник ТЗОВ «Перша приватна броварня», м. Львів) упаковані в скляні пляшки темного скла з кронен-кришкою, ПЕТ-пляшки темно-зеленого кольору з пластиковим ковпачком та алюмінієві бляшані банки.

Визначення якості піноутворення (висота піни та піностійкість) проводилось відповідно до ДСТУ 7103:2020 Пиво. Методи визначення органолептичних показників,

об'єму продукції та герметичності закупорювання. Вимірювали висоту піни в мм та фіксували час її осідання у хвилинах (ДСТУ 7103:2020).

Густину продукту вимірювали аерометричним методом за температури 20 °С.

Визначення кольору пива здійснювали відповідно до ДСТУ 4851:2020 ПИВО. Використовували фотоелектроколориметр КФК 2 при довжині хвилі 540 нм з товщиною поглинаючого шару 1 см.

Вимірювання рН проводили відповідно до ДСТУ 4112.24-200 Вина і виноматеріали за допомогою рН-метру рХ-150, обладнаного хлорсрібним електродом.

Титровану кислотність пива визначали алкаліметричним прямим титруванням з індикатором фенолфталеїном згідно ДСТУ 4852:2007 Пиво. Методи визначення кислотності. Значення кислотності пива (К) виражали в см³, 1 моль/дм³ розчину гідроксиду натрію у перерахунку на 100 см³ пива.

Для визначення антиоксидантної активності пива проводили вимірювання його окисно-відновного потенціалу.

Метод вимірювання окислювально-відновного потенціалу (ОВП) водних розчинів виконували за допомогою іономіру І-60МІ з робочим (платиновим) електродом та хлорсрібним електродом порівняння.

З метою встановлення стійкості в споживчій тарі зразки примусово піддавали старінню, залишаючи відкорковане пиво в споживчій тарі при температурі 18–20 °С у темному місці впродовж 7 діб і визначали зміну окислювально-відновного потенціалу.

Результати. З метою оцінки якості пива досліджували характеристики піноутворення, стійкості піни, показники кольору, кислотності та окисно-відновний потенціал трьох сортів пива у тарі зі скла, пластику та металу. Оцінювали закономірності зміни показників залежно від матеріалу упаковки.

Піноутворення є одним із ключових показників якості пива. Густа та стійка піна свідчить про високу якість напою, а також забезпечує його свіжий і насичений смак. При оцінці пінистості ми враховували такі параметри, як висота піни та піностійкість. Стійкість піни – важлива характеристика пива, яка визначається тривалістю часу до її повного розпаду. Вона залежить від поверхневого натягу та наявності колоїдних речовин (Sejnar et al. 2017, Li et al, 2020). Серед фізичних факторів, що впливають на стабільність піни, слід відзначити густину пива. У напоях з вищою густиною бульбашки СО₂ піднімаються повільніше, поглинаючи більше речовин, що підвищують стійкість піни. Результати наших досліджень показали, що металева тара сприяє кращому піноутворенню та стійкості пива (табл. 1).

Таблиця 1

Показники пінності та густини пива

№	Сорт пива	Висота піни (h), мм			Піностійкість, хв			Густина, г/см³		
		Матеріал упаковки			Матеріал упаковки			Матеріал упаковки		
		скло	пластик	метал	скло	пластик	метал	скло	пластик	метал
1	Охтирське світле	50	40	55	5:00	4:30	5:00	1,007	1,008	1,005
2	Львівське 1715	50	25	65	4:00	3:00	4:30	1,005	1,007	1,005
3	Закарпатське оригінальне	45	30	60	2:30	2:00	3:00	1,007	1,007	1,008

Основним фактором, який визначає колір пива, є склад солодової засипки. Проте навіть при виробництві світлого пива одного типу із використанням солоду однакового кольору неможливо досягти повністю ідентичної кольорової інтенсивності та відтінку. Значні відхилення від стандартного забарвлення та нечіткі відтінки найчастіше спостерігаються саме у світлих сортів пива. Всі досліджені сорти відповідають національному стандарту (ДСТУ 3888:2015), який регламентує для світлого пива з вмістом масової частки спирту 4,2–4,6 % колір у межах 0,2–1,8 см³ 0,1 моль/дм³ розчину йоду на 100 см³ води (табл. 2).

Кислотність є одним із ключових параметрів, що визначають якість пива. Природно висока кислотність сприяє оптимальному перебігу виробничих процесів, зокрема прискорює гідролітичне розщеплення під час затирання солоду, сприяє ефективному осадженню та освітленню суслу на етапах обробки, покращує смакові характеристики та збільшує стійкість пива до псування (Puligundla et al., 2020). Згідно із стандартом (ДСТУ 3888:2015), титрована кислотність світлого розливного пива з масовою часткою спирту 4,2–4,6 % має становити 1,6–4,5 см³ 1 моль/дм³ розчину NaOH на 100 см³ пива. Нормальний pH пива коливається від 4,4 до 4,6, що узгоджується з отриманими результатами (табл. 3).

Окислювально-відновний потенціал характеризує ступінь активності електронів в окислювально-відновних реакціях. Чим вище концентрація компонентів, здатних до окислення, по відношенню до концентрації компонентів, що можуть відновлюватися, тим вище показник ОВП. Показник gH^2 (редокс-потенціал у водних системах) відображає окисно-відновний стан середовища та співвідношення між окисленими та відновленими формами речовин. gH^2 є безрозмірною величиною, яка пов'язана з ОВП (Eh), активністю протонів (pH) і парціальним тиском водню (P_{H_2}). Значення gH^2 дозволяє оцінити окисно-відновний баланс у водних розчинах: чим менше gH^2 , тим вище відновлююча здатність розчину. Під час зістарення напоїв у тарі впродовж 7 діб спостерігали підвищення окисних процесів для всіх досліджуваних сортів, особливо при використанні пластикової тари (табл. 4).

Обговорення. Піну розглядають як дисперсну систему, що складається з бульбашок вуглекислого газу, вкритих тонкою плівкою пива, яка містить поверхнево-активні колоїдні речовини. У складі пива присутня не лише значна кількість розчиненого вуглекислого газу, що поступово вивільняється у вигляді дрібних бульбашок, але й різні колоїдні компоненти, зокрема білки, хмелеві смоли, декстрини, гуміноутворюючі речовини, пентози та меланоїдини (Scheurer & Nöddler, 2021;

Таблиця 2

Фотоколориметричні показники прозорості та кольоровості пива

№	Сорт пива	Оптична густина			Колір, в см³ 0,1 мольекв/дм³ розчину I ₂		
		Матеріал упаковки			Матеріал упаковки		
		скло	пластик	метал	скло	пластик	метал
1	Охтирське світле	0,055	0,08	0,075	0,730	1,070	1,017
2	Львівське 1715	0,06	0,1	0,06	0,800	1,333	0,800
3	Закарпатське оригінальне	0,05	0,065	0,045	0,667	0,867	0,600

Таблиця 3

Показники кислотності пива

№	Сорт пива	pH			Титрована кислотність, см³, 1 моль/дм³ розчину NaOH на 100 см³ пива		
		Матеріал упаковки			Матеріал упаковки		
		скло	пластик	метал	скло	пластик	метал
1	Охтирське світле	4,37	4,39	4,31	1,815	1,750	1,680
2	Львівське 1715	4,27	4,25	4,25	1,625	1,585	1,585
3	Закарпатське оригінальне	4,35	4,31	4,48	1,550	1,513	1,750

Показники окислювально-відновного потенціалу пива

№	Сорт пива	Свіжо відкупорене пиво			Зістарене в тарі впродовж 7 діб		
		Потенціал gH_2			Потенціал gH_2		
		Матеріал упаковки			Матеріал упаковки		
		Скло	пластик	метал	скло	пластик	метал
1	Охтирське світле	15,17	15,7	14,86	15,8	16,7	15,6
2	Львівське 1715	14,94	14,06	15,85	16,4	16,2	16,1
3	Закарпатське світле	15,30	14,50	15,07	16,5	15,7	15,9

Zhang et al., 2020). Стабільність пін зазвичай пов'язана з міжфазними властивостями використовуваних білків та інших поверхнево-активних речовин у пиві (Wierenga et al., 2023). Дослідження впливу матеріалу упаковки на піноутворення показало, що пиво розлите у скляну тару забезпечує найбільш стабільні показники піноутворення: висота піни 45–50 мм, піностійкість до 5 хв (табл. 1), що відповідає вимогам для пива, розлитого у пляшки – висота піни не менше 30 мм, піностійкість не менше 4 хв. Разом з тим металева упаковка бляшаних банок та найбільш герметична їх закупорка забезпечила найбільшу висоту піни всіх сортів. Металева упаковка сприяє кращому збереженню розчиненого CO_2 , що покращує піноутворення. Найменшу висоту і стійкість піни спостерігалася у зразках, розлитих в ПЕТ-пляшки, особливо у "Львівського 1715" та найменшу стійкість піни. Це пояснюється особливістю пластикового матеріалу, що має вищу проникність для газів (Ramos et al., 2015). Дещо вища густина пива в пластиковій тарі може також бути пов'язаною з швидшим вивітрюванням CO_2 , що зменшує кількість розчиненого газу і робить рідину більш щільною. «Закарпатське оригінальне» має вищу густину (1,008 г/см³ у металі), що може свідчити про більший залишковий екстракт.

Оптична густина та колір пива можуть змінюватися під впливом окислення, полімеризації поліфенолів, розчинення газів і світлового впливу. До впливу світла особливо чутливі світлі сорти пива, які в результаті можуть не лише темніти, а й погіршувати смак (Gagula et al., 2020). Найвищі показники оптичної густини і кольору демонстрували зразки в пластиковій упаковці (табл. 2), оскільки вона допускає вплив світла, що може змінювати колір пива та пропускає кисень, що сприяє окисленню поліфенолів (Pavlečić et al., 2012). Дещо вища оптична густина «Охтирського світлого» пояснюється присутністю колоїдних частинок, що допустимо для непастеризованого пива (Sejnar et al., 2017).

Величина рН виявилася найбільш стабільною для всіх аналізованих сортів пива не залежно від матеріалу тари. Привертає увагу найвище значення рН для пива "Закарпатське оригінальне" у металевій упаковці (табл. 3), що може свідчити про взаємодію пива з алюмінієвою поверхнею банки або зміну карбонізації але дане твердження потребує додаткових досліджень.

Титрована кислотність є важливим показником, що визначає кислотний баланс пива, його смакові характеристики та стабільність під час зберігання. Вона

залежить від вмісту органічних кислот (молочної, оцтової, лимонної), вуглекислоти та вихідної сировини і технології виготовлення напою (Blishch, 2023). Оптимальна титрована кислотність для світлого пива з масовою часткою спирту 4,0–5,0 % нормується Національним стандартом України «Пиво. Загальні технічні умови» в межах 1,5–3,2 см³, 1 моль/дм³ розчину гідроксиду натрію на 100 см³ пива. Цей показник відповідає вимогам для всіх досліджуваних зразків незалежно від тари пакування (таб. 3). Разом з тим, ми відмічали зниження титрованої кислотності пива у ПЕТ-пляшках, порівняно з скляною тарою, що вказує на можливий вплив кисню через проникність матеріалу упаковки.

Окисно-відновні потенціали E_h (мВ) та gH_2 є важливими параметрами, що характеризують електрохімічний стан середовища та визначають рівень окиснення або відновлення і впливають на біохімічні процеси. Досліджені нами зразки мають gH_2 середовища в межах 10–20, тобто належать до помірно відновних, що свідчить про наявність органічних речовин та низький вміст кисню (табл. 4). Разом з тим дослідження ілюструють інтенсифікацію процесів окиснення та втрату органічних компонентів у пиві з часом (Gagula et al., 2020). Під час зістарення напоїв у тарі впродовж 7 днів для всіх сортів констатували зростання gH_2 . При цьому максимальні зміни потенціалу ми відмічали у напоях, розлитих в пластикові пляшки, а мінімальне зростання – у напоях з алюмінієвих банок. Найбільш показовим в цьому контексті виявився сорт «Львівське 1715», який демонстрував зростання gH_2 в пластиковій тарі на 2,14 одиниці gH_2 , а в металічній банці лише на 0,25 пункти. Отже, металева тара забезпечує найкращу стабільність, а пластик найменш придатний для зберігання відкритого пива.

Окислення органічних складових пива негативно позначається на смакових якостях пива через зміни у складі органічних сполук (Yevtushenko et al., 2020; Benadouda et al., 2023). Деякі хмелеві компоненти можуть перетворюватися на альдегіди під час витримки, особливо якщо пиво контактує з киснем. При тривалому зберіганні поліфеноли й білки в пиві можуть вступати в окисно-відновні реакції, сприяючи утворенню альдегідів. Одним із головних винуватців старіння пива є транс-2-ноненаль – альдегід з низьким порогом сприйняття (~0,1 мкг/л), тому навіть незначні його концентрації значно впливають на смак і аромат напою, перетворюючи його на затхлий з паперовим відтінком.

Він утворюється переважно окисленням лінолевої кислоти та ліноленової кислоти, які містяться у зернових культурах (ячмені, пшениці). (Pavlečić et al., 2012).

Пластикова тара має свої переваги при транспортуванні (Marrucci et al., 2024) але вона проникна для ультрафіолетових променів та газів (пропускає кисень всередину та випускає вуглекислий газ). Тому термін зберігання пива в ПЕТ-пляшці менший, хоча в Україні допускається термін реалізації до шести місяців. Найрозповсюдженішою ємністю для скляної пляшки та алюмінієвої банки вважається 0,5 л або 0,33 л, а от стандартний об'єм ПЕТ-пляшок пива більший – 1 л, 1,5 л, 2 л. До того ж полімерну пляшку можна закрити повторно, на відміну від скляної чи бляшаної банки. Але пиво у відкритій пластиковій тарі швидко окиснюється, тому його варто споживати одразу.

Висновки. Аналіз фізико-хімічних показників якості пива різних виробників залежно від матеріалу упаковки свідчить, що скляна тара є оптимальним вибором для зберігання продукту, оскільки забезпечує збалансовані характеристики піноутворення і стабільності піни,

підтримує стабільний окисно-відновний стан і сприяє кращому збереженню антиоксидантних властивостей напою.

Металева упаковка ефективно запобігає фотохімічним змінам пива та сприяє кращому збереженню вуглекислого газу, що підтверджується низькими значеннями окисно-відновного потенціалу і максимальними показниками висоти піни. Разом з тим, найвищі значення рН і титрованої кислотності пива "Закарпатське оригінальне", порівняно з іншими сортами, свідчать про можливі реакції компонентів напою з металевою поверхнею банки, що потребує додаткового дослідження.

Зразки пива у пластиковій тарі мали найнижчі показники висоти і стійкості піни. Пластик є найменш придатним для збереження пива, оскільки допускає проникнення світла та кисню, що може змінювати колір, активізувати окиснювальні процеси, і, як наслідок, погіршення якості та органолептичних характеристик напою. З метою збереження смакових властивостей пива та вмісту в ньому корисних нутрієнтів варто посилити вимоги щодо терміну зберігання та умов реалізації пива, розлитого в ПЕТ-пляшки.

Бібліографічні посилання:

1. Adamenko, K., Kawa-Rygielska, J., & Kucharska, A. Z. (2020). Characteristics of Cornelian cherry sour non-alcoholic beers brewed with the special yeast *Saccharomyces ludwigii*. *Food Chemistry*, 312, 125968. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125968>
2. Bellut, K., & Arendt, E. K. (2019). Chance and Challenge: Non-Saccharomyces Yeasts in Nonalcoholic and Low Alcohol Beer Brewing – A Review. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 77(2), 77–91. <https://doi.org/10.1080/03610470.2019.1569452>
3. Benadouda, K., Sajid, S., Chaudhri, S.F., Tazally, K.J., Marcus, & Bala Krishna Prabhala. (2023). Current State of Sensors and Sensing Systems Utilized in Beer Analysis. *Beverages*, 9(1), 5–5. <https://doi.org/10.3390/beverages9010005>
4. Blishch, R. O. (2023). Tekhnolohichni aspekty oderzhannia funktsionalnogo pyva [Technological aspects of obtaining functional beer]. *Herald of Lviv University of Trade and Economics Technical Sciences*, 33, 33–39. <https://doi.org/10.36477/12522-1221-2023-33-05> (in Ukrainian).
5. Blishch, R. O. (2024). Analiz ryzykiv ta krytychnykh kontrolnykh tochok (NASSR) pry vyrobnytstvi pyva nefiltrovanoho [Analysis of risks and critical control points (HACCP) in the production of unfiltered beer]. *Herald of Lviv University of Trade and Economics. Technical Sciences*, 39, 31–37. <https://doi.org/10.32782/2522-1221-2024-39-04> (in Ukrainian).
6. Blishch, K. O., Petryshyn, N. Z., & Babych, I. M. (2021). Alternatyva khameliu u vyrobnytstvi pyva [An alternative to hops in beer production]. *Herald of Lviv University of Trade and Economics Technical Sciences*, 25, 31–37. <https://doi.org/10.36477/2522-1221-2021-25-04> (in Ukrainian).
7. Cejnar, R., Hložková, K., Jelínek, L., Kotrba, P., & Dostálek, P. (2017). Development of engineered yeast for biosorption of beer haze-active polyphenols. *Applied microbiology and biotechnology*, 101(4), 1477–1485. <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7923-8>
8. DSTU 3888:2015 Beer. General technical conditions – K.: SE "UkrNDNC", 2015 -17 p.
9. Gagula, G., Mastanjević, K., Mastanjević, K., Krstanović, V., Horvat, D., & Magdić, D. (2020). The influence of packaging material on volatile compounds of pale lager beer. *Food Packaging and Shelf Life*, 24, 100496. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100496>
10. Gasiński, A., Kawa-Rygielska, J., Szumny, A., Czubaszek, A., Gąsior, J., & Pietrzak, W. (2020). Volatile Compounds Content, Physicochemical Parameters, and Antioxidant Activity of Beers with Addition of Mango Fruit (*Mangifera Indica*). *Molecules*, 25(13), 3033. <https://doi.org/10.3390/molecules25133033>
11. Gonzalez Viejo, C., Fuentes, S., Godbole, A., Widdicombe, B., & Unnithan, R. (2020). Development of a low-cost e-nose to assess aroma profiles: An artificial intelligence application to assess beer quality. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 308, 127688. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2020.127688>
12. Habschied, K., Krstanović, V., & Mastanjević, K. (2022). Beer Quality Evaluation—A Sensory Aspect. *Beverages*, 8(1), 15. <https://doi.org/10.3390/beverages8010015>
13. Herez, A., Dulka, O., & Prybylskyi, V. (2021). Ways to increase beer stability. *Débats Scientifiques et Orientations Prospectives Du Développement Scientifique*, 3, 35–36. <https://doi.org/10.36074/logos-05.02.2021.v3.09>
14. Hoshko, T. (2023). Vyrobnystvo ta spozhyvannia pyva v rannomodernomu Polskomu korolivstvi [Beer Production and Consumption in the Early Modern Kingdom of Poland]. *Ukrainian Historical Review*, 2, 35–59. <https://doi.org/10.47632/2786-717x-2023-2-35-59> (in Ukrainian).
15. Imaizumi, V. M. (2022). Jabuticaba fruit beer: physicochemical and sensory evaluation. *Revista Tecnológica*, 30(1), 1–8. <https://doi.org/10.4025/revtecnol.v30i1.57643>

16. Johansson, L., Nikulin, J., Juvonen, R., Krogerus, K., Magalhães, F., Mikkelsen, A., Nuppenen-Puputti, M., Sohlberg, E., de Francesco, G., Perretti, G., & Gibson, B. (2021). Sourdough cultures as reservoirs of maltose-negative yeasts for low-alcohol beer brewing. *Food Microbiology*, 94, 103629. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2020.103629>
17. Li, M., Du, J., & Zhang, K. (2020). Profiling of carbohydrates in commercial beers and their influence on beer quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(7), 3062–3070. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10337>
18. Ludyn, A. M. (2023). Ions composition of mash water and their influence on beer quality. *Chemistry Technology and Application of Substances*, 6(1), 45–53. <https://doi.org/10.23939/ctas2023.01.045>
19. Meza-Márquez, O. G., Rodríguez-Hijar, A. R., Gallardo-Velázquez, T., Osorio-Revilla, G., & Ramos-Monroy, O. A. (2024). The Prediction of Quality Parameters of Craft Beer with FT-MIR and Chemometrics. *Foods*, 13(8), 1157. <https://doi.org/10.3390/foods13081157>
20. Michiels, P., Winok Debyser, Courtin, C., & Niels Langenaeken. (2023). Filtration enzymes applied during mashing affect beer composition and viscosity. *Journal of the Institute of Brewing*, 129(3), 176–191. <https://doi.org/10.58430/jib.v129i3.27>
21. Mohanasundaram, S., Ramirez-Asis, E., Quispe-Talla, A., Bhatt, M. W., & Shabaz, M. (2021). Experimental replacement of hops by mango in beer: production and comparison of total phenolics, flavonoids, minerals, carbohydrates, proteins and toxic substances. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 13(S1), 132–145. <https://doi.org/10.1007/s13198-021-01308-3>
22. Nahurna, N., Osypenkova, I., & Chepurna, O. (2020). Khemoretseptsiia u sviti pyva [Chemoreception in the world of beer]. *Innovations and Technologies in the Service Sphere and Food Industry*, 1, 32–39. <https://doi.org/10.24025/2708-4949.1.2020.206438> (in Ukrainian).
23. Nahurna, N., Osypenkova, I., Chepurna, O., & Kurylenko, Y. (2023). Formuvannia smaku pyva [Beer flavor formation]. *Innovations and Technologies in the Service Sphere and Food Industry*, 1(7), 48–56. [https://doi.org/10.32782/2708-4949.1\(7\).2023.9](https://doi.org/10.32782/2708-4949.1(7).2023.9) (in Ukrainian).
24. Pavlečić M, Tepalović D, Ivančić Šantek M, Rezić T, Šantek B. (2012). The effect of total oxygen concentration in the bottle on the beer quality during storage. *Croat J Food Technol Biotech Nut* 7:118-125. <https://hrcak.srce.hr/file/126551>
25. Puligundla, P., Smogrovicova, D., Mok, C., & Obulam, V. S. R. (2020). Recent developments in high gravity beer-brewing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 64, 102399. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102399>
26. Ramos, M., Valdés, A., Mellinas, A., & Garrigós, M. (2015). New Trends in Beverage Packaging Systems: A Review. *Beverages*, 1(4), 248–272. <https://doi.org/10.3390/beverages1040248>
27. Samoilyk, Iu., Mykolenko, I. ., Zyma, V., & Kolesnyk, V. (2023). Potentsial vyrobnytstva pyvovarnoho yachmeniu: transformatsiini tendentsii, chynnyky, efektyvnist [The malting barley production potential: transformational trends, factors, efficiency]. *Ahrosvit*, 20, 51–58. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2023.20.51> (in Ukrainian).
28. Scheurer, M., & Nödler, K. (2021). Ultrashort-chain perfluoroalkyl substance trifluoroacetate (TFA) in beer and tea – An unintended aqueous extraction. *Food Chemistry*, 351, 129304. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129304>
29. Sohrabvandi, S., Mortazavian, A. M., & Rezaei, K. (2020). Advanced analytical methods for the analysis of chemical and microbiological properties of beer. *Journal of Food and Drug Analysis*, 19(2). <https://doi.org/10.38212/2224-6614.2228>
30. Wierenga, P. A., Basheva, E. S., & Delahaije, R. J. B. M. (2023). Variations in foam collapse and thin film stability with constant interfacial and bulk properties. *Advances in colloid and interface science*, 312, 102845. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2023.102845>
31. Yevtushenko, V., Semenchenko, O., & Bezpalcenko, V. (2020). Doslidzhennia yakosti pyva svitloho vitchyznianoho vyrobnytstva [Quality study of light beer of the domestic production]. *Naukovyi visnyk Poltavskoho universytetu ekonomiky i torhivli*. 1(96), 47–53. <https://doi.org/10.37734/2518-7171-2020-1-6> (in Ukrainian).
32. Zhang, H., Zou, G., Liu, W., & Zhou, Z. (2020). Beer Taste Detection Based on Electronic Tongue. *Sensors and Materials*, 32(9), 2949. <https://doi.org/10.18494/sam.2020.2710>

Ivchenko V. D., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Inshyna N. M., Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Sumy State University, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Shvets O. G., Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Ponomarova L. M., Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Sumy State University, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Bolshanina S. B., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Sumy State University, Sumy, Ukraine

Myronenko V. O., Student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Analysis of the impact of packaging material on beer quality indicators

The article presents the results of a study on the influence of packaging materials (glass, plastic, metal) on the physicochemical quality indicators of pale beer produced by three manufacturers: PJSC "Obolon" ("Okhtyrskye Svitle"), PJSC "Carlsberg Ukraine" ("Lvivske 1715"), and LLC "Persha Pryvatna Brovarnia" ("Zakarpatske Oryhinalne"). The study aimed to determine the optimal packaging material for beer storage that ensures the best characteristics of the beverage throughout its shelf life. Analytical methods were used to assess changes in the key quality indicators of beer. Transparency and color parameters were evaluated using a photocolorimetric method, total acidity was determined by the titrimetric method, and density was measured by the hydrometric method. The redox potential of beer was assessed using the I–160MI ion meter.

The research was conducted under standardized conditions, which allowed for an objective evaluation of the impact of packaging material on beer quality during storage. The analysis of the obtained data indicates that glass containers are the optimal choice for beer storage. They ensure the stability of the main physicochemical indicators, including foam formation, redox balance, and the preservation of the beverage's antioxidant properties. Glass packaging also prevents interactions between the container material and beer components, which is crucial for maintaining the organoleptic properties of the drink. Based on the research findings, metal packaging can be considered a viable alternative to glass, offering certain advantages. It effectively protects beer from photochemical changes and helps retain carbon dioxide better, which positively influences foam formation. However, the elevated pH values and titrated acidity of "Zakarpatske Oryhinalne" beer in a metal can may indicate potential interactions between the beverage components and the packaging surface. This could affect the chemical composition of the drink and requires further investigation. PET bottles were found to be the least suitable for beer storage. They allow oxygen and light penetration, which accelerates oxidation processes, alters the color of the beverage, and degrades its organoleptic properties and overall quality. Additionally, PET packaging leads to a faster loss of carbon dioxide, negatively impacting foam stability. The obtained results confirm the need to strengthen requirements for the storage duration and sales conditions of beer in PET packaging. This will help minimize losses in taste and beneficial properties of the beverage and preserve its quality throughout the entire shelf life.

Key words: Physicochemical analysis methods, titrated beer acidity, foam stability, oxidation-reduction potential, brewing, PET packaging, biotechnology of low-alcohol beverages.