

Л. Я. Паляниця, Н. І. Березовська, Р. Б. Косів
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра технології органічних продуктів
liubapal@ukr.net

ВПЛИВ УМОВ БІОКОНВЕРСІЇ ЗЕРНОВОЇ СИРОВИНИ НА СКЛАД ЛЕТКИХ РЕЧОВИН ДИСТИЛЯТІВ

<https://doi.org/10.23939/ctas2022.01.117>

Досліджено якісний і кількісний склад летких речовин дистилятів, одержаних біоконверсією пшениці та жита за умов використання різних комплексів ферментних препаратів. Показано, що вміст вищих спиртів у дистилятах із жита та пшениці зростає на 33 і 39 % відповідно, для одержання яких використано додатково Laminex BG2 як джерело целюлази, а концентрація фурфуролу збільшується у 2,2–3,5 рази. Концентрація летких речовин у дистилятах свідчить, що грибна Protease GS106 ефективніша щодо біоконверсії обох зернових культур, ніж бактеріальна Neutrase 1,5 MG.

Ключові слова: біоконверсія; пшениця; жито; етанол; леткі речовини; ферментні препарати; зброджування сусла; бражні дистиляти.

Вступ

Біоконверсією зернової сировини одержують етиловий спирт, вуглекислий газ і велику гаму вторинних і побічних продуктів. Результати досліджень вказують на наявність у бражних дистилятах понад 200 різних сполук, з яких ідентифіковано велику кількість [1, 2]. Все ж важливими серед виявлених залишаються леткі органічні речовини, що визначають органолептичні властивості алкогольних напоїв. До них загалом належать: вищі спирти (сивушна фракція), естери, карбонільні сполуки та органічні кислоти.

Кількісний та якісний склад вторинних і побічних продуктів під час зброджування зернового сусла залежить від багатьох чинників: 1) ботанічних особливостей рослинної сировини [3, 4]; 2) якості зерна та його мікрофлори [5]; 3) умов термоферментативного оброблення (ТФО) зернових замісів [4, 6]; 4) концентрації та рН сусла [6]; 5) вибору штаму та умов культивування дріжджів [7, 8]; 6) температури бродіння [4, 6, 9] тощо.

Серед карбонільних сполук у бражних дистилятах, одержаних із зернової сировини, домінуючим є етаналь (ацетальдегід), що синтезується переважно під час ферментації. Його концентрація залежить, зокрема, від типу сировини,

штаму дріжджів, температури, рН та концентрації цукру в субстраті. Використання недоброякісного зерна може спричинити накопичення у бражці проп-2-еналю (акролеїну), що належить до канцерогенних і токсичних речовин, сильно подразнює слизові оболонки, очі та верхні дихальні шляхи [10]. Фуран-2-альдегід (фурфурол) переважно утворюється з геміцелюлози або з інших пентозовмісних полісахаридів (ксиланів, мананів, ксилоглюканів і β -глюканів) [11].

Накопичення вищих спиртів, зокрема пропан-1-олу (н-пропанолу), пропан-2-олу (ізопропанолу), бутан-1-олу (н-бутанолу), 2-метилпропан-1-олу (ізобутанолу), 3-метилбутан-1-ол (ізоамілового спирту), пентан-1-олу (н-пентанолу), під час бродіння може відбуватися декількома шляхами.

За схемою Ерліха дріжджі перетворюють лейцин, ізoleyцин, триптофан і тирозин до відповідних спиртів, переносячи аміногрупи на кетокислоти (найчастіше пірвіноградну) з подальшим окиснювальним дезамінуванням, декарбоксілюванням і відновленням альдегіду до спирту [12]. Якщо в середовищі є надлишок амінокислот, то переважає катаболічний шлях утворення вищих спиртів із продуктів розкладу вуглеводів, оскільки синтез амінокислот гальмується. Недостатня концентрація амінокислот спричиняє альтернативний анаболічний шлях біосинтезу

вищих спиртів з α -кетокислот як проміжних продуктів нагромадження біомаси дріжджів [9]. Вищі спирти утворюються також із вторинних продуктів бродіння та побічних продуктів, що містяться у вихідній сировині. Проте головними вихідними речовинами у синтезі вищих спиртів залишаються α -кетокислоти.

У роботі [8] встановлено, що підвищення температури бродіння, як правило, сприяє більшому вмісту вищих спиртів у бражці. Протилежні закономірності отримали автори [4], що може свідчити про складність узагальнення результатів, оскільки якісний і кількісний склад сивушної фракції залежать від багатьох чинників.

Шляхи накопичення органічних кислот у продуктах бродіння пов'язані із вторинними та побічними процесами, а також із життєдіяльністю сторонньої мікрофлори, що наявна у зерновій сировині. Крім етанової (оцтової) кислоти, можуть утворюватися й інші леткі кислоти, зокрема метанова (мурашина), пропанова (пропіонова), 2-метилпропанова (ізомасляна), 3-метилбутанова (ізовалеріанова) та інші.

Естери утворюються під час бродіння, насамперед наприкінці процесу, із накопичених органічних кислот і спиртів. З-поміж них найбільше синтезується етилацетату, значно менше метилацетату, 2-метилпропілацетату (ізобутилацетату), 3-метилбутилацетату (ізоамілацетату) тощо. Ці речовини відіграють важливу роль у формуванні сенсорних характеристик спиртних напоїв, надаючи їм приємних фруктових тонів. З'ясовано, що температура термоферментативного оброблення та дисперсність зернової сировини не впливають на концентрацію естерів у бражних дистилятах [4].

На склад і концентрацію летких речовин впливає вид зернових культур. У дистилятах, отриманих із сорго, вівса та проса, синтезується найбільше метилового спирту, вищих спиртів – у дистилятах із жита, а естерів – у дистилятах із рису та сорго [4].

У спиртовій бражці, одержаній із тритикале, міститься доволі невелика кількість кислот, естерів, метанолу та вищих спиртів порівняно з житніми дистилятами [13].

Кількісний та якісний склад летких речовин у дозрілих бражках залежить від багатьох чинників. Тому актуальні дослідження впливу

умов термоферментативного оброблення зернової сировини з використанням різних комплексів ферментних препаратів на біосинтез летких домішок у бражках.

Мета роботи. Дослідження впливу умов біоконверсії зернової сировини із вибором ефективних комплексів ферментних препаратів на склад летких речовин бражних дистилятів.

Матеріали та методи досліджень

Пшениця (*Triticum aestivum*) сорту “Поліська” (Україна) з такими показниками: вологість $12,6 \pm 0,1$ %, зараженість шкідниками – не заражена, засміченість сміттєвими домішками – $1,0$ %, крохмалистість – $58 \pm 0,5$ %, прохідність помелу крізь сито з отворами діаметром 1 мм $100 \pm 1,0$ %.

Жито (*Secale cereale*) сорту “Стоір” (Україна) з такими показниками: вологість $13,9 \pm 0,1$ %, зараженість шкідниками – не заражене, засміченість сміттєвими домішками – $2,0$ %, крохмалистість – $52 \pm 0,5$ %, прохідність помелу крізь сито з отворами діаметром 1 мм становила $96 \pm 1,0$ %.

Ферментні препарати: Amylex 4T (α -амілаза, продуцент – штами бактерій *Bacillus licheniformis*, Данія) гідролізує внутрішні α -1,4-глюкозидні зв'язки крохмалю та продуктів його послідовного розщеплення з утворенням декстринів різної молекулярної маси.

Diazyme SSF (глюкоамілаза, продуцент – штами плісєневих грибів *Aspergillus niger*, Данія) гідролізує α -1,4- і α -1,6-глюкозидні зв'язки крохмалю, декстринів та олігосахаридів, утворюючи глюкозу.

Protease GS106 (кисла протеаза, продуцент – гриби *Aspergillus oryzae*, Німеччина) розщеплює білкові речовини до низькомолекулярних сполук.

Neutralse 1,5MG (нейтральна ендопроtease, продуцент – штами бактерій *Bacillus amyloliquefaciens*, Данія), гідролізує протеїни до пептидів.

Laminex BG2 (целюлаза, продуцент – штами грибів *Trichoderma reesei*, Данія) гідролізує β -глюкани, ксилани та целюлозу.

Сухі спиртові дріжджі *Saccharomyces cerevisiae* – “Deltaferm AL-18” (Німеччина).

Готували заміс із помелу зерна та води (гідромодуль 3,5) за температури 48 ± 2 °C, вносили у нього відповідний об'єм розчину

Amylex 4T та продовжували нагрівати до 80 ± 2 °C. Тривалість розріджування становила 2,5 год. Після охолодження розрідженої маси до 68 ± 1 °C вносили розчин ферментного препарату Diazyme SSF та здійснювали оцукрювання за цієї температури протягом 40 хв (варіант 1). Протеолітичні ферментні препарати Protease GS106 та Neutrase 1,5MG додавали на початку оцукрювання (варіанти 2 і 3 відповідно до вказаних ферментів). Розчин Laminex BG2 вносили на стадії розріджування (варіант 4). Надалі оцукрену масу охолоджували до температури бродіння 31 ± 1 °C і вносили у колби з гідрозатворами. Сухі спиртові дріжджі Deltaferm AL-18 перед бродінням реактивували у зерновому суслі та у вигляді суспензії вносили у колби для бродіння (початкова концентрація у суслі становила 25 ± 5 млн клітин/см³). Зернове сусло зброджували протягом 68–72 год за температури 33 ± 1 °C. Після завершення бродіння етанол відганяли із бражки за допомогою лабораторної дистиляційної установки.

Аналіз основних показників зернових культур та бражки здійснювали методами, рекомендованими для спиртової галузі, відповідно до нормативних документів [14, 15].

Аналіз летких сполук в отриманих дистилятах здійснювали за допомогою газового хроматографа “Кристал 200 М”. Капілярна колонка HP FFAP (50 м × 0,32 мм × 0,52 мкм). Швидкість подавання газу-носія (гелію) через колонку становила 5,5 мл/хв. Стандарти для газової хроматографії були придбані у Sigma-Aldrich.

Результати досліджень та їх обговорення

Вибір сировини для біоконверсії до етанолу здійснено на основі таких критеріїв: обсяги вирощування в регіоні та в Україні загалом, асортимент сировинної бази спиртового виробництва, вміст крохмалю та некрохмальних полісахаридів у зерні [16–18]. Хоча зерно пшениці та жита належить до голозерних культур і загалом має однакову анатомічну будову, проте хімічний склад його окремих частин відрізняється. Так, у житі виявлено менший вміст ендосперму, проте більше оболонки та алейронового шару. Особливістю структури цієї культури є наявність слизу та гумі-речовин, що підвищує в'язкість середовища

на стадії термоферментативного оброблення житніх заторів у виробництві спирту.

Варто зазначити, що білки жита за амінокислотним складом кращі для життєдіяльності дріжджів, ніж пшениці, оскільки у них більший вміст незамінних амінокислот, зокрема лізину, треоніну та фенілаланіну, хоча менше триптофану та ізолейцину [19].

Отже, дослідження впливу типу сировини та умов її термоферментативного оброблення перед зброджуванням до етанолу на якісний і кількісний склад летких речовин у дистиляті доповнять відомості про шляхи утворення летких домішок у спиртових бражках.

Низькотемпературна схема виробництва етанолу передбачає використання ферментних препаратів, до складу яких входять α -амілаза, глюкоамілаза, що гідролізують крохмаль до ди- і моносахаридів, які зброджуються дріжджами *Saccharomyces cerevisiae* до цільових продуктів. Тому в роботі запропоновано як джерело α -амілази – Amylex 4T (0,5 дм³/т крохмалю), глюкоамілази – Diazyme SSF (0,5 дм³/т крохмалю). Норми витрати ферментних препаратів відповідали рекомендованим фірмою-виробником.

У зернових культурах, крім крохмалю, містяться інші біополімери, зокрема білки, які через високий вміст зменшують доступність до вуглеводів як під час термоферментативного оброблення зернового суслу, так і у ході ферментації. Внесення протеолітичних ферментних препаратів у середовище зумовлює гідроліз білкових сполук з утворенням пептидів та амінокислот. Останні можуть використовуватися дріжджами для їх метаболізму [20]. Для росту ці мікроорганізми можуть використовувати лише низькомолекулярні нітрогеновмісні сполуки, такі як: неорганічні солі амонію, карбамід, амінокислоти та невеликі пептиди [21]. Для досліджень використано два протеолітичні препарати – Protease GS106 (0,5 од. ПЗ/г сировини) і Neutrase 1,5MG (0,4 од. ПЗ/г сировини), що відрізнялися природою продуцентів та умовами їх дії. Ферментний препарат Protease GS106 спричиняє протеоліз білків переважно до низькомолекулярних фракцій, а саме до пептидів і амінокислот. Препарат Neutrase 1,5MG спричиняє лише частково гідроліз білків, продукти якого майже не засвоюються дріжджами [21].

Зернові культури, використані у роботі, відрізняються не лише за вмістом крохмалю, але й за вмістом некрохмальних полісахаридів. До них належать: целюлоза, геміцелюлоза, гуміречовини (слиз) та пектинові речовини. Гідроліз цих речовин може зменшувати в'язкість зернового суслу, покращуючи цим доступність вуглеводів до дріжджових клітин, а також збільшувати вихід етанолу за рахунок додаткового джерела засвоюваних вуглеводів [22]. Тому для приготування житнього суслу доцільно використовувати ферментні препарати целюлолітичної дії. Відповідно до попередніх досліджень було вибрано Laminex BG2 (0,2 кг/т зерна) [23].

Варіанти експериментів залежно від умов термоферментативного оброблення (ТФО) зернових замісів подано у таблиці.

Варіанти експериментів

Варіанти	Умови біокаталізу зернової сировини
<i>Зернова сировина: пшениця, жито</i>	
B-1	Amylex 4T, Diazyme SSF
B-2	Amylex 4T, Diazyme SSF, Protease GS106
B-3	Amylex 4T, Diazyme SSF, Neutrase 1,5MG
B-4	Amylex 4T, Diazyme SSF, Laminex BG2

Отримані бражні дистиляти аналізували хроматографічним методом на вміст таких летких сполук, як: альдегідів (ацетальдегіду і фурфуролу); спиртів (метанолу, н-пропанолу, ізопропанолу, н-бутанолу, ізобутанолу, н-пентанолу та ізоамілового спирту); естерів (метилацетату та етилацетату). Назви спиртів подано відповідно до зразків хроматограм, наведених на рис. 1-4.

Варто зазначити, що серед вищих спиртів газохроматографічним методом не виявлено пропан-2-олу (ізопропілового спирту), що може свідчити про ведення досліджень в умовах, наближених до стерильних, і про використання молоді дріжджової культури. Старі культури дріжджів синтезують більше ізопропілового спирту, який важче відділити від етилового під час ректифікації. Тому його наявність у бражних дистилятах небажана.

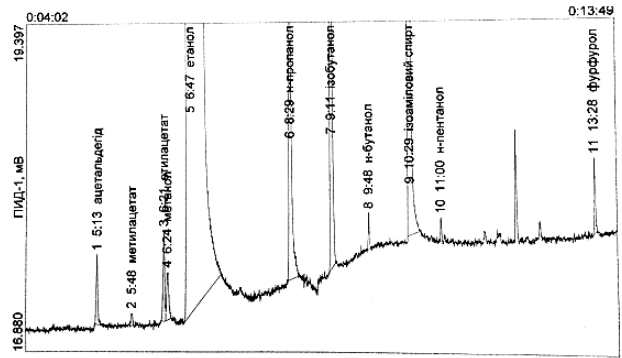


Рис. 1. Хроматограма дистиляту, одержаного з пшеничної сировини, під час термоферментативного оброблення якої використано Amylex 4T (джерело амілази) і Diazyme SSF (джерело глюкоамілази)

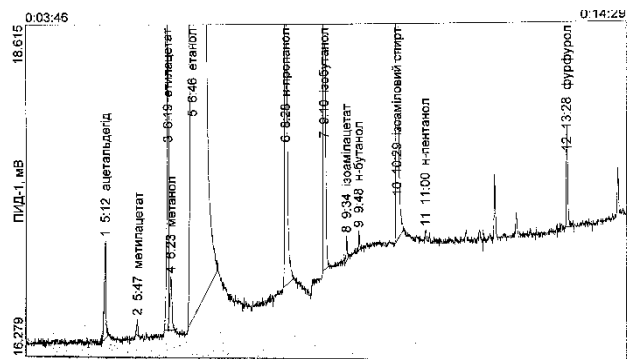


Рис. 2. Хроматограма дистиляту з пшеничної сировини, під час термоферментативного оброблення якої використано Amylex 4T (джерело амілази) і Diazyme SSF (джерело глюкоамілази), Protease GS106 (джерело протеази)

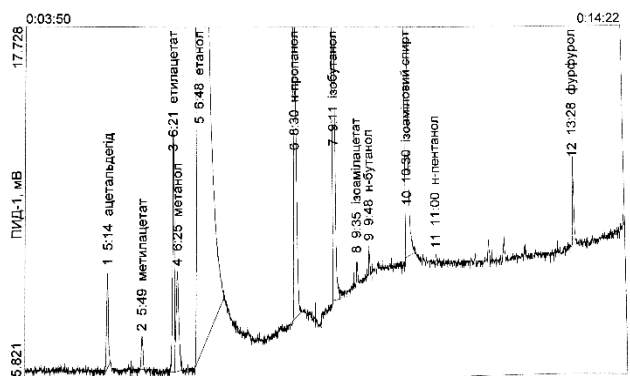


Рис. 3. Хроматограма дистиляту, одержаного з житньої сировини, під час термоферментативного оброблення якої використано Amylex 4T (джерело амілази) і Diazyme SSF (джерело глюкоамілази)

Вплив умов біоконверсії зернової сировини на склад летких речовин дистилатів

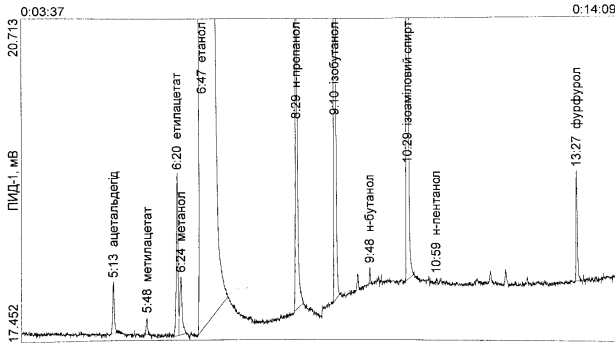


Рис. 4. Хроматограма дистилату з житньої сировини, під час термоферментативного оброблення якої використано Amylex 4T (джерело амілази) і Diazyme SSF (джерело глюкоамілази), Protease GS106 (джерело протеази)

Концентрація вищих спиртів у бражних дистилатах, отриманих із пшениці та жита за участі Amylex 4T (джерело амілази), Diazyme SSF (джерело глюкоамілази) і Protease GS106 (джерело протеази), була майже однаковою. Використання Neutrased 1,5MG на стадії біокаталізу пшеничної та житньої сировини зменшувало концентрацію вищих спиртів у дистилаті з жита в 2,9 рази порівняно з варіантом 1, що можна пояснити неоднаковим впливом цього ферментного препарату на нітрогенвмісні сполуки різних злакових культур.

У дистилаті, для одержання якого використано целюлолітичний ферментний препарат

Laminex BG2 на стадії термоферментативного оброблення пшеничного та житнього замісів, спостерігали збільшення вмісту спиртів на 39 і 33 % відповідно. Можливо, реалізується альтернативний анаболічний шлях біосинтезу вищих спиртів з α -кетокислот як проміжних продуктів нагромадження біомаси дріжджів [24].

З вищих спиртів у дистилатах міститься найбільше 3-метилбутан-1-олу (ізоамілового спирту), у біосинтезі якого бере активну участь лейцин. За результатами аналізу одержаних дистилатів спостерігали аналогічну до сумарної кількості вищих спиртів закономірність (рис. 6). Ізоаміловий спирт і його ацетат належать до смакових компонентів готового продукту з-поміж інших речовин.

На рис. 7 наведено залежність концентрації пропан-1-олу в дистилатах від ферментних комплексів, використаних для біоконверсії пшеничної та житньої сировини. Спостерігається збільшення вмісту цього спирту у варіантах 2 і 4, за винятком варіанта 3 (рис. 7), де додатковим ферментним препаратом у біоконверсії зернових замісів була протеаза Neutrased 1,5MG. Пропан-1-ол є первинним метаболітом, що утворюється в результаті розмноження *Saccharomyces cerevisiae*, за участі амінокислот і синтезу пірувату під час бродіння [24].

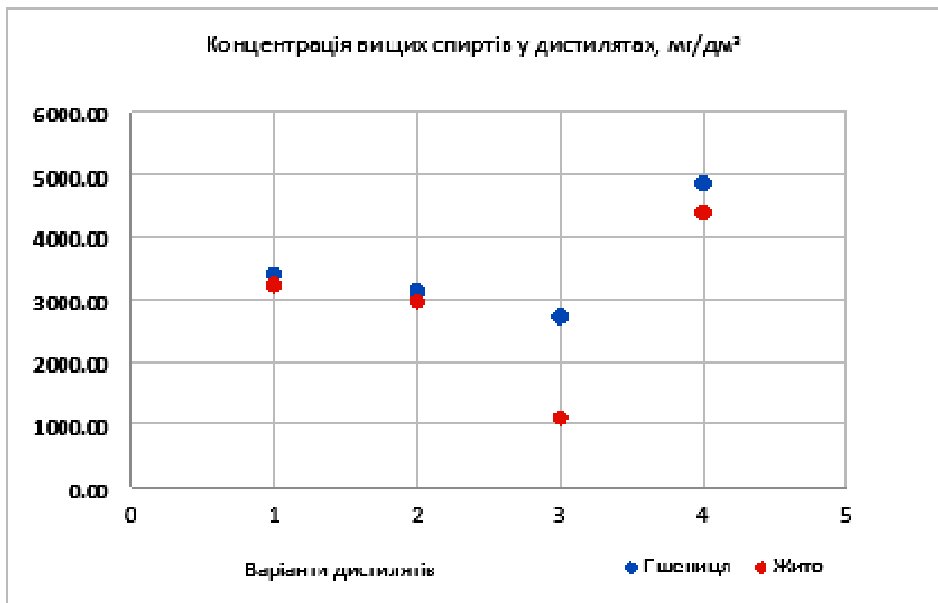


Рис. 5. Залежність концентрації вищих спиртів у дистилатах від ферментних комплексів, використаних для біоконверсії пшеничної та житньої сировини

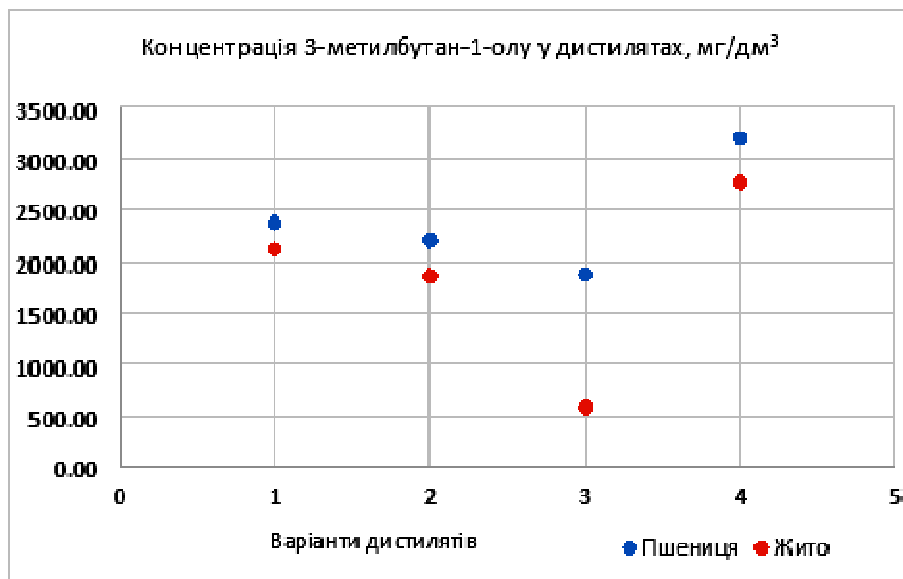


Рис. 6. Залежність концентрації 3-метилбутан-1-олу у дистилятах від ферментних комплексів, використаних для біоконверсії пшеничної та житньої сировини

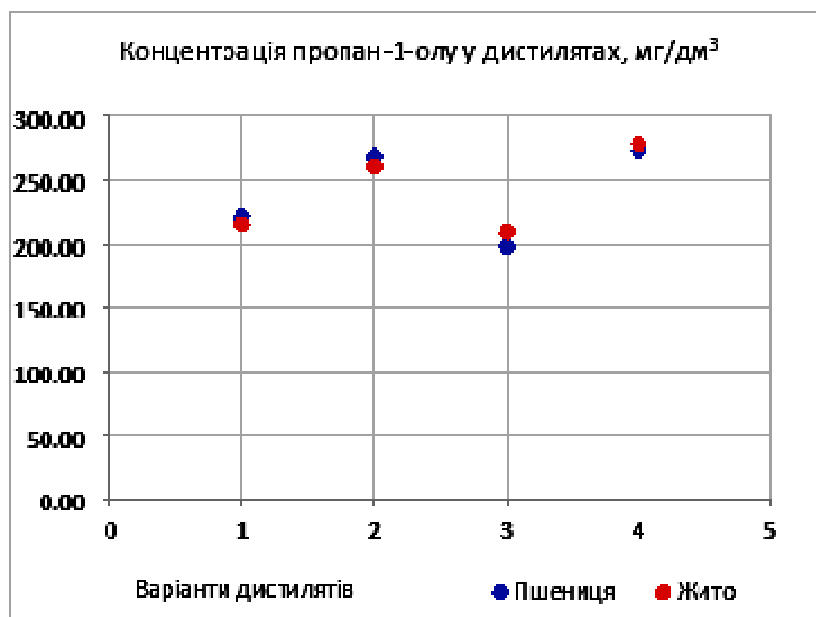


Рис. 7. Залежність концентрації пропан-1-олу в дистилятах від ферментних комплексів, використаних для біоконверсії пшеничної та житньої сировини

Зміна концентрації решти спиртів: бутан-1-олу (н-бутанолу), 2-метилпропан-1-олу (ізобутанолу) та пентан-1-олу (н-пентанолу) була аналогічною до 3-метилбутан-1-олу.

Інтенсивність біосинтезу ацетальдегіду під час зброджування пшеничного суслу, одержаного з використанням на стадії термоферментативного оброблення додаткових ферментних препаратів

протеолітичної (Protease GS106) і целюлолітичної (Laminex BG2) дії, зростає, тому концентрація його у бражних дистилятах з пшениці збільшується в 1,4–1,6 разу, відповідно (рис. 8, варіанти 2 і 4). А з жита зменшується незначно – в 1,1–1,2 разу. Це можна пояснити тим, що дія цих додаткових ферментних препаратів сприяє покращенню реологічних властивостей пшеничного

сусла за рахунок гідролізу біополімерів – білків та некрохмальних полісахаридів до низькомолекулярних сполук, збільшенню вмісту нітрогенвмісних речовин, що використовують дріжджі як джерело живлення. Відповідно, підвищується бродильна активність дріжджів, що метаболізують пірвіноградну кислоту до ацетальдегіду. Натомість, у бражних дистилятах, де сусло готували з внесенням додаткової нейтральної протеази Neutrase 1,5MG, спостерігали зменшення концентрації ацетальдегіду в 1,8 разу для пшениці (рис. 8, варіант 3) і в 2,3 разу – для жита

(рис. 8, варіант 3). Варто зазначити, що точка концентрації ацетальдегіду в дистилятах за умов зброджування пшеничного та житнього сусла у варіанті 3 перекривається. Ймовірно, що продукти протеолізу за участі цього ферменту – пептиди з високою та середньою молекулярною масою, не засвоюються дріжджами, оскільки їхня позаклітинна протеолітична активність незначна, і це сповільнює ферментацію. Крім цього, високомолекулярні продукти гідролізу білків можуть збільшувати в'язкість середовища.

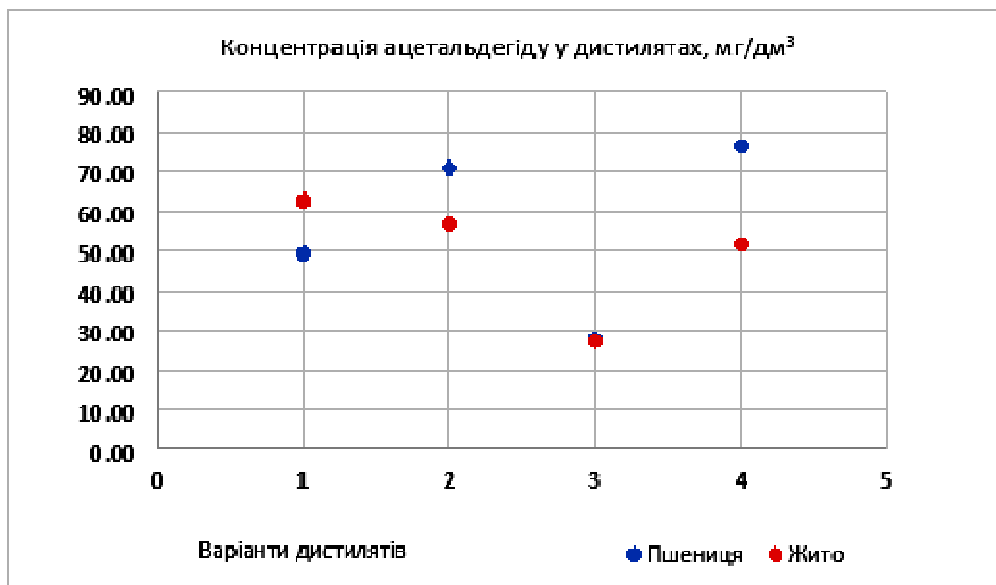


Рис. 8. Залежність концентрації ацетальдегіду в дистилятах від ферментних комплексів, використаних для біоконверсії пшеничної та житньої сировини

Концентрація утворених під час бродіння естерів залежить від відносної кількості відповідних спиртів та ацил-КоА. Оскільки використання додаткових ферментних препаратів протеолітичної дії (Protease GS106 і Neutrase 1,5MG) для біокаталізу пшеничних і житніх замісів призвело до зниження концентрації вищих спиртів, то можна було очікувати й зменшення концентрації естерів у дистилятах (рис. 9, варіанти 2 і 3). Це підтвердилося для дистилятів, отриманих із пшениці та жита за участі Neutrase 1,5MG, де концентрація естерів була найнижчою та становила відповідно $32,59 \pm 1,63$ та $36,65 \pm 1,83$ мг/дм³ (рис. 9). Проте у пшеничному дистиляті (рис. 9, варіант 2) виявили удвічі більший вміст естерів. Це може бути пов'язано з тим, що дія протеази

продовжена ще й під час бродіння, тому вже наприкінці процесу накопичуються естери.

Варто зазначити, що концентрація естерів у пшеничних дистилятах, одержаних лише з використанням амілолітичного (Amylex 4T) і глюколлітичного (Diazyme SSF) ферментних препаратів, була майже удвічі меншою, ніж у житніх за однакових умов біокаталізу, що, очевидно, зумовлено вищою кислотністю житніх заторів (рис. 9, варіант 1). Внесення як до пшеничних, так і до житніх замісів ферментного препарату Laminex BG2 (джерело целюлази) під час їх термоферментативного оброблення показало, що концентрація естерів, насамперед етилацетату, в обидвох дистилятах (рис. 9, варіант 4) збільшується в два – три рази. Можливо, що фер-

ментативний розклад некрохмальних полісахаридів до зброджуваних цукрів забезпечує додаткове джерело утворення дріжджами етанолу, який із ацетил-КоА утворює етилацетат.

У досліджуваних дистилятах також було виявлено фурфурол. Використання під час термоферментативного оброблення зернових

замість поряд з амілазами та глюकोамілазами ферментних препаратів, що розщеплюють некрохмальні полісахариди, спричинило збільшення концентрації фурфуролу в дистилятах, одержаних із пшениці, в 1,3–2,0 рази, а в дистилятах, одержаних із жита, в 2,2–3,5 разу (рис. 10).

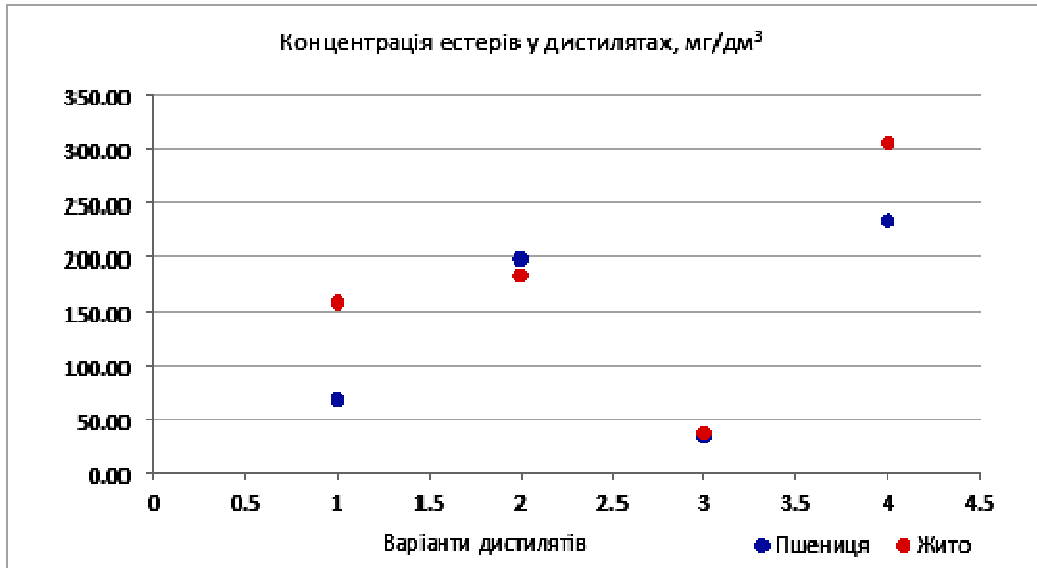


Рис. 9. Залежність концентрації естерів у дистилятах від ферментних комплексів, використаних для біоконверсії пшеничної та житньої сировини

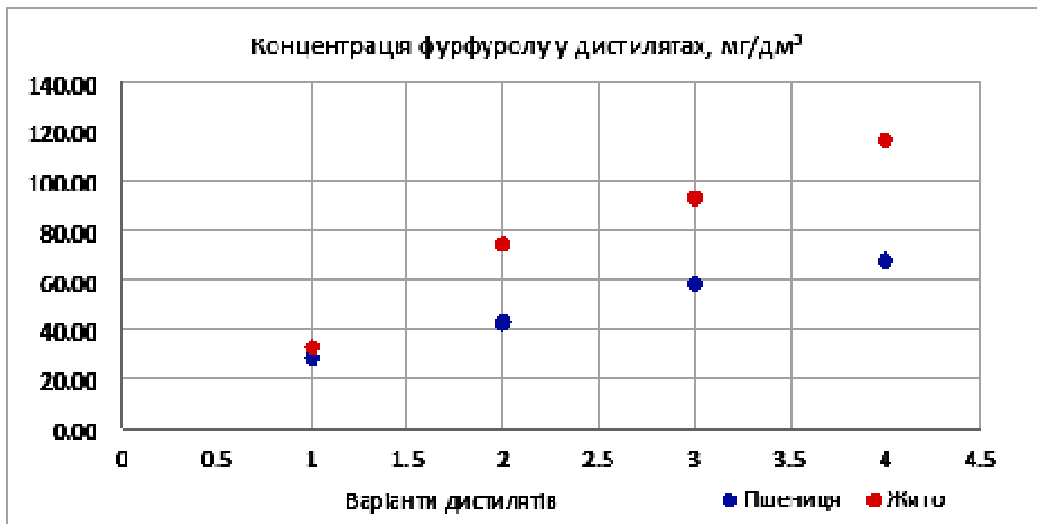


Рис. 10. Залежність концентрації фурфуролу в дистилятах від ферментних комплексів, використаних для біоконверсії пшеничної та житньої сировини

Це пояснюється тим, що вміст геміцелюлози та інших пентозовмісних полісахаридів, з яких синтезується фурфурол, саме у житі

більший, ніж у пшениці [25], тому в дистилятах, одержаних із використанням ферментних препаратів целюлолітичної дії, спостерігається

максимальне нагромадження цього альдегіду ($116,20 \pm 1,98$) мг/дм³. Найнижчу концентрацію фурфуролу ($28,16 \pm 1,09$) мг/дм³ виявлено в дистиляті, отриманому з пшеничного суслу (без додаткових ферментних препаратів).

Висновки

Досліджено якісний і кількісний склад летких сполук дистилятів, одержаних зброджуванням суслу із пшеничної та житньої сировини з використанням композицій ферментних препаратів амілолітичної, протеолітичної й целюлолітичної дії та спиртових дріжджів *Saccharomyces cerevisiae*.

Встановлено, що якісний склад вищих спиртів, карбонільних сполук та естерів у дистилятах, для отримання яких із пшениці та жита використано Amylex 4T (джерело амілази), Diazyme SSF (джерело глюкоамілази), Protease GS106 і Neutrase 1,5MG (джерело протеази) та Laminex BG2 (джерело целюлази), залишається постійним. Водночас кількісний склад летких речовин дистилятів змінюється залежно від природи ферментів, проте закономірності для пшениці та жита загалом схожі.

Досліджено, що вміст вищих спиртів зростає на 39 і 33 % відповідно у дистилятах з пшениці та жита, для одержання яких використано додатковий ферментний препарат Laminex BG2 (джерело целюлази) на стадії термоферментативного оброблення зернових замісів, що можна пов'язати зі збільшенням бродильної активності дріжджів.

Визначено, що концентрація ацетальдегіду в бражних дистилятах, одержаних з пшеничного суслу та з використанням на стадії термоферментативного оброблення додаткових ферментних препаратів Protease GS106 і Laminex BG2, збільшується в 1,4–1,6 разу. Проте у бражних дистилятах, сусло яких готували з внесенням додаткової нейтральної протеази Neutrase 1,5MG, виявлено зменшення концентрації ацетальдегіду в 1,8 разу в пшеничній бражці та в 2,3 разу – в житній.

З'ясовано, що внесення як до пшеничних, так і до житніх замісів ферментного препарату целюлолітичної дії під час їх термоферментативного оброблення зумовлює збільшення кон-

центрації естерів, насамперед етилацетату, в обидвох дистилятах у два – три рази.

Показано, що використання Laminex BG2 під час біокаталізу житніх замісів поряд із амілазами та глюкоамілазами збільшує концентрацію фурфуролу в дистилятах у 2,2–3,5 разу за рахунок геміцелюлози та інших пентозовмісних полісахаридів.

Кількісний склад летких речовин у дистилятах свідчить, що протеолітичний ферментний препарат грибного походження Protease GS106 проявляє вищу ефективність дії на біоконверсію і пшениці, й жита, ніж Neutrase 1,5MG бактеріальної природи, що узгоджується із даними щодо різних спектрів продуктів гідролізу білків за їх участі.

References

1. Plutowska, B., Biernacka, P., Wardencki, W. (2010). Identification of volatile compounds in raw spirits of different organoleptic quality. *Journal of the Institute of Brewing*, 116(4), 433–439.
2. Cao, Yu, Guangfa, Xie, Chun, Wu, Jian, Lu (2010). Study on characteristic flavor compounds in traditional chinese rice wine – guyue longshan rice wine. *Journal of the Institute of Brewing*, 116(2), 182–189.
3. Biernacka, P., Wardencki, W. (2012). Volatile composition of raw spirits of different botanical origin. *Journal of the Institute of Brewing*, 118: 393–400. DOI: 10.1002/jib.55.
4. Shyian, P. L., Sosnytskyi, V. V. & Oliinichuk, S. T. (2009). *Innovatsiini tekhnologii spirtovoi promyslovosti. Teoriia i praktyka: monohr.* K.: Vydavnychiy dim "Askaniia", 424 s.
5. Pielech-Przybylska, K., Balcerk, M., Nowak, A. & Patelski, P. (2017). The effect of different starch liberation and saccharification methods on the microbial contaminations of distillery mashes, fermentation efficiency, and spirits quality. *Molecules*, 22(10), 1647. DOI: 10.3390/molecules22101647.
6. Kyrylenko, R. H., Shyian, P. L., Mudrak, T. O. ta in. (2005). Vplyv tekhnolohichnykh parametriv zbrodzhuvannya susla na nakopychennia letkykh orhanichnykh domishok spirtovoi brazhky. *Novi tekhnologii ta tekhnichni rishennia v kharchovii ta pererobnii promyslovosti : sohodnennia i perspektyvy: IX Mizhn. nauk.-tekhn. konf.*, 17–19 zhovtnia 2005, 61–62.
7. Oliinichuk, S. T., Lysak, T. I., Marynchenko, L. V. (2015). Zalezhnist nakopychennia hlitserolu ta zbrodzhuvannya hidrolizativ krokhmalevmisnoi syrovyny vid kontsentratsii susla. *Biotechnologia Acta*, 8, 4, 128–134. DOI: 10.15407/biotech8.04.128.

8. Walker, G. M. (1998). *Yeast physiology & Biotechnology*; John Wiley & Sons: Chichester, UK; New York, NY, USA.
9. Walker, G. M. (2016). *Saccharomyces cerevisiae* in the production of fermented beverages. *Beverages*, 2016, 2, 30. DOI:10.3390/beverages2040030.
10. Christoph, N., Bauer-Christoph, C. (2007). *Flavour of spirit drinks: raw materials, fermentation, distillation, and ageing, flavour frag*, 219–225, Springer, Berlin.
11. Ebringerová, A. (2005). Structural diversity and application potential of hemicelluloses. *Macromol. Symp.* 232, 1–12. DOI: 10.1002/masy.200551401.
12. Hazelwood, L. A., Daran, J. M., Maris, A., Pronk, J. T., Dickinson, J. R. (2008). The Ehrlich pathway for fusel alcohol production: a century of research on *Saccharomyces cerevisiae* metabolism. *Appl. Environ. Microbiol.*, 74, 2259–2266.
13. Pietruszka, M., Pielech-Przybylska, K., Szopa, J. S. (2010). Synthesis of higher alcohols during alcoholic fermentation of rye mashes. *Zeszyty Naukowe Chemia Spożywcza i Biotechnologia*, 74, 51–64.
14. DSTU HOST 29144:2009 (YSO 711-85 Zerno i zernoprodukty. Vyznachannia volohosti (bazovyi kontrolnyi metod) (YSO711-85).
15. HSTU 46.045.2003 Zerno. *Metody vyznachennia umovnoi krokhmalystosti*. Kyiv: Ministerstvo ahrarnoi polityky Ukrainy. Chynnyi vid 01.01.2004. 23 s. (Haluzevyi standart Ukrainy).
16. Swanston, J. S., Smith, P. L., Gillespie, T. L. & Reginald, C. Agu (2007). Associations between grain – Characteristics and alcohol yield among soft wheat varieties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(4), 676–683. DOI: 10.1002/jsfa.2767.
17. Hromov, O. (2021). *Pryzabute zhyto: sohodennia ta maibutnie*. <http://agro-business.com.ua/>
18. Protsan, N. V., & Tkachenko, L. V. (2021). Aktyvatsiia fermentiv pid chas rozvariuvannia zhytnikh zamisiv pidvyshchenoi kontsentratsii. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii*, 1(19), 241–249. DOI: 10.25140/2411-5363-2020-1(19)-241-249.
19. Németh, R. N., Tömösközi, S. (2021). Rye: current state and future trends in research and applications/ *Acta Alimentaria*, 50, 4, 620–640. DOI: 10.1556/066.2021.00162.
20. Lekkas, C., Hill, A. E., Taidi, B., Hodgson, J., Stewart, G. G. (2009). The role of small wort peptides in brewing fermentations. *J. Inst. Brew.*, 115, 134–13943.
21. Salari, R., Salari, R. (2017). Investigation of the best *Saccharomyces cerevisiae* growth condition. *Electron Physician.*, Jan 25. DOI: 10.19082/3592.
22. Battista, F., Bolzonella, D. (2018). Some critical aspects of the enzymatic hydrolysis at high dry-matter content: a review. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 12 (4), 711–723. DOI: 10.1002/bbb.1883.
23. Palianytsia, L. Ia., Berezovska, N. I., Pikh, Z. H. (2020). Spelta yak syrovyna u biotekhnolohichnykh protsesakh. *Chemistry, Technology and Application of Substances*, 3, 2, 75–78. DOI: 10.23939/ctas2020.02.073.
24. Barbosa, C., Mendes-Faia, A., Mendes-Ferreira, A. (2012). The nitrogen source impacts major volatile compounds released by *Saccharomyces cerevisiae* during alcoholic fermentation. *Int. J. Food Microbiol.*, 160, 87–93.
25. Ebringerová, A. (2005). Structural diversity and application potential of hemicelluloses. *Macromol. Symp.*, 232, 1–12. DOI: 10.1002/masy.200551401.

L. Ya. Palianytsia, N. I. Berezovska, R. B. Kosiv

Lviv Polytechnic National University,
Department of Organic Products Technology

INFLUENCE OF BIOCONVERSION CONDITIONS OF GRAIN RAW MATERIALS ON THE VOLATILE SUBSTANCES COMPOSITION OF DISTILLATES

The qualitative and quantitative composition of volatile substances of distillates obtained by bioconversion of wheat and rye under the conditions of using different enzyme preparations complexes were studied. It is shown that the content of higher alcohols in rye and wheat distillates increases by 33 and 39 %, respectively, for which Laminex BG2 was additionally used as a source of cellulase, and the concentration of furfural increases by 2.2–3.5 times. The concentration of volatile substances in distillates indicates that the fungus Protease GS106 is more effective in bioconversion of both cereals than the bacterial Neutrase 1.5 MG.

Key words: bioconversion; wheat; rye; ethanol; volatile substances; enzymes; wort fermentation; distillates.