

УДК 621.798

І.М. МИКОЛІВ

О.Ю. ШЕВЧЕНКО, доктор технічних наук

В.А. ПІДДУБНИЙ, доктор технічних наук

О.А. БІЛИК, кандидат технічних наук

Національний університет харчових технологій

ОСОБЛИВОСТІ ТРАНСФОРМАЦІЇ МАТЕРІАЛЬНИХ І ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОТОКІВ В БРОДИЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

Метою цього дослідження є аналіз співвідношень рівнів трансформації матеріальних і енергетичних потоків з точки зору інтересів обмеження їх втрат.

Вхідні матеріальні потоки спиртової і пивоварної галузей стосуються крохмалевмісткої сировини, переробка якої пов'язана з використанням оцукрюючих матеріалів, які містять, як правило, комплекси ферментів для гідролізу крохмалю, білків, пектинових речовин, пентозанів, целюлози та ін. В якості оцукрюючих матеріалів використовують солод, ферментні препарати рослинного походження або суміші з них.

Вуглеводовмісткі крохмаль і целюлоза використовуються як джерела вуглецю для мікробіологічного синтезу етанолу і біомаси дріжджів. Більшість компонентів подрібненої зернової маси є нерозчинними, а тому гідролізом вони перетворюються у моно- або діцукриди. При цьому у харчовій промисловості застосовується тільки ферментативний гідроліз. Ферменти є каталізаторами біологічного походження, вони знижують енергію активації, яка потрібна для здійснення хімічних реакцій, спрямовуючи їх через проміжні реакції, які потребують значно меншої енергії [1]. Вони прискорюють швидкість реакції, не втрачаються і не входять у склад кінцевих продуктів, надзвичайно ефективні і проявляють високу каталітичну активність за помірних температур і тисків і невисокої (близько до нейтральної) кислотності середовища.

Суттєвою відмінністю ферментів є те, що їх активність у клітинах контролюється як на генетичному рівні, так і за допомогою низькомолекулярних сполук, а саме субстратів і продуктів реакцій, які відбуваються за їх присутності. Кожний фермент сприяє певним змінам у структурі молекули даної речовини, після чого діє інший фермент.

За зберігання зерноприпасів ферменти в них не активні. Їх активація досягається за рахунок підвищення вологості. Такі процеси є типовими для всіх зернових і бобових, коренеплодів або насіння за їх зволоження. Більша вологість зерна забезпечує розчинення поживних речовин та переміщення їх до зародка. В ендосперм поступають ферменти, які каталізують гідроліз полімерів зерна в розчинні речовини, прискорюються біохімічні процеси, посилюється дихання і активується діяльність ферментів.

Головним призначенням наступного етапу солодородження є утворення і накопичення ферментів, які є безумовно необхідними для розщеплення високомолекулярних сполук в наступних етапах.

Процеси замочування і пророщування зернових припасів здійснюються в режимах аерації середовищ, що потребує відповідних енергетичних витрат. Рівень останніх визначається не тільки величинами матеріальних потоків повітря, а одночасно і температурами газової фази, оскільки оптимальні температури солодородження знаходяться в межах від 12 до 18 °С. При цьому на аерацію окрім доставки кисню покладаються задачі відведення теплової енергії ресинтезу складних органічних сполук до рівня цукрів і розчинних декстринів та відведення утворюваного діоксиду вуглецю. Втрати сухих речовин зерна в процесах замочування досягають 1 %, а при пророщуванні – до 6 %. В перерахунку на 100 кг зерна з початковою вологістю 14 % енергетичний еквівалент по втратах сухих речовин становить $8,5 \cdot 10^6$ кДж у процесах пророщування і $1,42 \cdot 10^6$ кДж у процесах замочування.

Наступним етапом, в якому будуть мати місце перетворення речовин, є процеси бродіння. За випадків спиртового та пивоварного виробництв зброджування має за мету мікробіологічне перетворення розчинених цукрів у етиловий

спирт і діоксид вуглецю. При цьому на 180 масових одиниць глюкози утворюється 88 одиниць діоксиду вуглецю і 92 одиниці етилового спирту. Якщо за масову одиницю прийнято 1 грам, то в результаті відмічених трансформацій при перетвореннях речовин виділиться 117,6 кДж теплової енергії.

При загальній втраті маси вхідної речовини (глюкози) 48,9 % на утворення CO_2 втрати вуглецю при цьому складатимуть одну третину. За бродіння у виробництві спирту синтезована кількість CO_2 у більшості випадків (у першому наближенні) дійсно оцінюється втратами. Передумова про перше наближення пов'язана з тим, що певна частина вхідного матеріального потоку витрачається на приріст біомаси дріжджів. Разом з тим у виробництві шампанських вин і пива утворення діоксиду вуглецю входить до числа задач процесу. При цьому у виробництві шампанського організація процесів вторинного бродіння здійснюється з розрахунком такої кількості цукру на процес, яка відповідає нормованій кількості CO_2 після його завершення, а вміст необхідної кількості алкоголю досягається дозуванням коньячного спирту в суміші з цукром для одержання сухого, напівсухого, напівсолодкого та солодкого шампанського. Та обставина, що операція вторинного бродіння має за мету повне зброджування цукрів і досягнення номінального вмісту CO_2 з одержанням абсолютно сухого шампанського (брюту), саме і визначає відсутність матеріальних втрат (діоксиду вуглецю). Такий підхід до організації процесів стосується як класичного методу зброджування тиражних сумішей в пляшках, так і безперервного методу зброджування в акратофорах.

В обох названих випадках досягнення концентрацій CO_2 до величини 10 г/л за заданих температур бродіння потребує підвищення до 0,4–0,6 МПа тисків, які створюються утворюваним діоксидом вуглецю. Наявність розчиненої газової фази в рідинному середовищі за вказаних тисків означає присутність певного енергетичного потенціалу, який, однак, безпосередньо у виробництві шампанського не використовується.

Технології зброджування пивного суслу не можливо привести до аналогії у виробництві шампанських вин, оскільки початкова концентрація зброджува-

них СР складає біля 13 %. Разом з тим для одержання стандартної концентрації розчиненого діоксиду вуглецю потрібно було б мати початкову концентрацію цукру 0,82 %. Це означає, що за таких початкових умов втрати вуглецю є немінучими, рівно як і у процесах збродження виноградного суслу на підприємствах первинного виноробства та в технологіях виробництва спирту. Проте утилізація потоку утворюваного CO_2 не тільки можлива, а й бажана в умовах виробництва пива, оскільки діоксид вуглецю використовується для створення з нього газових прошарків між пивом, бродильними апаратами в період відбирання з них напою, в комунікаціях, форфасах, напірних баках фасувальних автоматів тощо. Газовий бар'єр з CO_2 дозволяє виключити контактування пива з киснем атмосфери, що забезпечує його підвищену колоїдну стійкість. При цьому за даними В.Кунце [2] кількості синтезованого CO_2 , що скидаються в навколишнє середовище і ті, що потрібні для вказаних цілей, практично співпадають.

Спиртове анаеробне бродіння є важливою складовою виробництва хліба. На стадії дозрівання тіста в ньому відбуваються глибокі зміни у вуглеводно-амілазному і білково-протеїназному комплексах борошна [3]. В основі цих процесів лежать життєдіяльність мікроорганізмів, активізація ферментативної діяльності, взаємодія полімерів тіста з водою. В результаті у тісті накопичуються речовини, що беруть участь у формуванні смаку і аромату готових виробів.

До основних процесів дозрівання тіста відносяться спиртове і молочно-кисле бродіння, що обумовлені взаємодією ферментів дріжджів і кислоутворювальних бактерій тіста і ферментів борошна. При цьому дріжджові клітини та молочнокислі бактерії споживають речовини, розчинені у рідкій фазі тіста і виділяють у тісто продукти бродіння. Спиртове бродіння, викликане дріжджами, забезпечує розпушення тіста і суттєво впливає на формування його структурно-механічних властивостей. Процес синтезу CO_2 починається під час замішування тіста, продовжується при його дозріванні, обробленні, вистоюванні та в перші хвилини випікання, поки температура тістової заготовки не досягне 45–50 °С.

Хлібопекарські дріжджі *Saccharomyces cerevisiae* зброджують всі основні цукри тіста: глюкозу, фруктозу, сахарозу і мальтозу після їх ферментативного розкладу на моносахариди. Під дією амілолітичних ферментів має місце гідроліз крохмалю, що завершується безперервним накопиченням мальтози, яка є основним енергетичним матеріалом в життєдіяльності мікроорганізмів. На інтенсивність бродіння впливають температура тіста, наявність живильних та мінеральних речовин, вітамінів, концентрація солі NaCl, склад рецептури тощо. Підвищена концентрація солі і цукрів гальмують бродіння у зв'язку з осмотичними тисками.

На процес бродіння впливає діоксид вуглецю, який частково розчиняється у волозі (2 г/л) і частково адсорбується на поверхні клітини. За час дозрівання тіста його маса зменшується на 1,5–3,5 % у зв'язку з втратою вологи, а також у зв'язку зі зброджуванням сухих речовин. Вважається, що під час зброджування пшеничного хліба, виготовленого на густих опарах, втрати складають від 3,0 до 3,3 %, а на рідких – від 2,5 до 2,8 %.

Вологість тіста з борошна низьких сортів досягає 46–49, а тіста з борошна вищого і першого сортів вона складає 42–44 %.

Розрахунки показують, що за зброджування СР, які містяться у 1 кг борошна утворюється біля 12–15 г CO₂. За повного утримання в тісті і виробках концентрація діоксиду вуглецю складала б біля 10 г/кг, що неможливо за термодинамічними умовами. Це означає, що значна частина CO₂ буде утримуватися в утворюваних кавернах виробів при помітних втратах його в навколишнє середовище. Незважаючи на вказані співвідношення і втрати сухих речовин біохімічний спосіб розпушування тіста залишається найбільш поширеним, хоча відомими є спроби перевести цей процес на механічне насичення тіста повітрям, киснем або діоксидом вуглецю, які під тиском подаються у герметично закриту тістомісильну машину [4]. Разом з тим врахування особливостей взаємодії газової і рідинної фаз приводить до висновку про доцільність організації зброджування тіста під тиском, що підвищить рівень розчинності CO₂, а при зниженні тиску до атмосферного приведе до активного утворення газових ка-

верн на підвищеному рівні.

Висновки. 1. Доцільним є критичний перегляд використовуваних технологій з точки зору оцінки їх енергетичних балансів і визначення нетрадиційних напрямків у використанні енергій хімічних або біохімічних перетворень. Необхідність останнього пояснюється тим, що процеси переробки вхідних сировинно-матеріальних потоків у значній кількості випадків пов'язані з трансформаціями складних органічних сполук у напрямках від складних до більш простих, наприклад, стосовно вуглеводнів аж до утворення CO_2 і H_2O .

2. На особливу увагу заслуговують технології анаеробного бродіння у виробництві спирту, пива, шампанського або аеробного синтезу мікроорганізмів, очищення стічних вод з органічними сполуками тощо, які супроводжуються перетвореннями на рівні екзотермічних реакцій. При цьому супроводжуючий енергетичний тепловий потенціал не тільки не використовується, а для його компенсації з метою підтримання оптимальних температурних режимів середовищ доводиться здійснювати додаткові енергетичні, матеріальні і, у кінцевому рахунку, економічні витрати.

3. Заслуговують на подальший розвиток технології, пов'язані з накопиченням енергетичних потенціалів середовищ і використанням енергетичних концентраторів з метою досягнення впливів високих рівнів потужностей.

ЛІТЕРАТУРА

1. Домарецький В.А. Технологія солоду та пива. – К.: – Урожай. – 1999. – 542 с.
2. Кунце В. Технологія солоду і пива. – С.-Пб.: – Профессия. – 2001. – 912 с.
3. Беккер М.Е. Введение в біотехнологию. – М.: Пищевая пром-сть. – 1978. – 267 с.
4. Дробот В.І. Технологія хлібопекарського виробництва. – К.: – Техніка. – 2006. – 408 с.