

# ЕНЕРГЕТИЧНІ ТРАНСФОРМАЦІЇ МАТЕРІАЛЬНИХ ПОТОКІВ У ВИРОБНИЦТВІ СОЛОДІВ

І.М. Миколів, О.О. Бойко, А.І. Соколенко, доктор технічних наук, В.А. Піддубний, доктор технічних наук, В.В. Малиновський старший викладач, О.А. Білик кандидат технічних наук НУХТ м. Києва

Виробництво ячмінного солоду має багатовікову історію, яка була доповнена переробкою таких зернових культур, як кукурудза, пшениця, жито, овес тощо, а віднедавна до них додано ще і сою та горох.

В узагальненому розумінні солодами називають пророщене в штучних умовах зерно, а поштовхом на таке пророщування є підвищення вологості зернової маси до 42-48 %.

Ячмінні солоди є традиційною складовою у виробництві пива, солоди інших зернових культур використовуються у виробництві спирту, ячмінно-солодового і полісолодового екстрактів, концентратів квасного сусла і хлібного квасу, деяких сортів хліба.

Солоди, ферментовані зернові та солодові екстракти використовуються в різних харчових технологіях. Так в дослідженнях Пасічного В.М. і Кремешної І.В. [1] вивчаються можливості стабілізації технологічних властивостей ферментованого рису для потреб у виробництві м'ясопродуктів. Помітним є зростання інтересу до солодів, одержаних з бобових культур [2] для трансформації харчових низькокалорійних продуктів з високою біологічною цінністю [3, 4]. Для білкового збагачування хлібобулочних виробів використовують солоди сої, гороху та люпину [5, 6], досліджено і встановлено можливість застосування солодових і полісолодових екстрактів як біологічно активних добавок у виробництві продуктів ко-екструзії. Солодові і полісолодові екстракти є натуральними біологічно активними продуктами поліфункціонального призначення. У солодах містяться важливі для раціонального харчування білки, вуглеводи, клітковина, вітаміни, поліфенольні сполуки, рослинні ферменти і гормони, мінеральні речовини. Білки у їх складі різняться не лише кількісним складом, а і співвідношеннями амінокислот, що

визначає рівень їх біологічної цінності і біологічної дії на організм людини.

Сфера використання ячмінно-солодових екстрактів поширилася на технологію одержання знежирених кисломолочних сирів, для підвищення піноутворюючих і піностабілізуючих властивостей у виробництві морозива. Характерною ознакою нашого часу стало поширення в асортименті харчування сої. Солодування цієї культури сприяє активації різних ферментних систем, а саме ліполітичних ферментів тощо. Виробництво солоду відмічених зернових культур здійснюється (за винятком жита) за однаковою технологічною схемою, кожен з етапів якої має своє призначення.

Першим таким етапом є збільшення вологості зерна до 42-48 % і активізація його життєдіяльності. Метою наступного етапу пророщування солоду є накопичення в зерні активних ферментів і гідроліз його складових речовин. До числа необхідних умов цього етапу є підтримання вологості зернової маси, створення аеробних умов дихання, видалення синтезованого в процесі дихання діоксиду вуглецю і стабілізація температурних режимів. Третім етапом є сушіння солоду, в якому відбувається зниження вмісту вологи до 3-6 % і накопичення речовин, які надають солоду специфічний аромат, смак і колір.

У виробництвах пива, ячмінно-солодового і полісолодового екстрактів використовують сухий солод, який одночасно є основною сировиною і оцукрюючим матеріалом. У виробництві концентрату квасного суслу ячмінний солод виконує роль оцукрюючого матеріалу, рівно як і зелені солоди у виробництві спирту.

Перебіг хімічних і біохімічних процесів у названих етапах вивчений на рівнях, які дозволяють прогнозувати їх кінцеві результати з точки зору динаміки перетворень речовин, можливостей впливу на такий перебіг та енергетичне їх супроводження. При цьому останнє повинно мати подвійну оцінку, оскільки з одного боку екзотермічні реакції трансформації матеріальних потоків означають відповідні втрати їх енергетичних ресурсів. З іншої сторони вимога стабілізації температур означає необхідність зовнішніх енергетичних впливів і відповідних витрат.

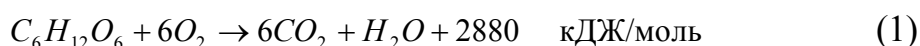
У зв'язку з викладеним метою цієї частини досліджень визначено поглиблений аналіз співвідношень матеріальних і енергетичних потоків у виробництвах солодів на окремих етапах солодування.

Основна частина енергетичного «ресурсу» зернівки знаходиться у ендоспермі, який складається із стабільних клітин з зернами крохмалю. При цьому стінки клітин мають структуру густопереплетеної целюлози і високомолекулярних білків, які з'єднуються ланцюжками р-глюкана. В клітинах знаходяться великі і малі зерна крохмалю. Великі клітини (тип А) мають у діаметрі 20-30 мкм, а малі (тип Б)- 3-5 мкм. При цьому кількість останніх складає 70-95 % від загальної кількості клітин в ендоспермі, але їх маса складає лише 3-10% від загальної маси крохмалю. Проміжний простір між окремими клітинами заповнений матрицею ендосперму, яка у своєму складі має білки. Оболонки, що оточують крохмальні клітини є помітно стабільними і їх товщина в значній мірі визначає швидкість розчинення.

У зерні вологістю до 14 % вода знаходиться тільки у зв'язаному стані і тому вона підтримує лише його життєдіяльність. Збільшення вологості приводить до розчинення живильних речовин та їх переміщення до зародка. Останнє відбувається під дією ферментів, які каталізують гідроліз полімерних сполук зернівки в розчинні речовини, що засвоюються зародком, прискорюють біохімічні процеси, посилюють дихання, що у свою чергу активує діяльність ферментів на новому рівні.

Трансформації матеріальних потоків у зернівці на етапі замочування в основному пов'язані зі змінами, що відбуваються з органічними полімерами, які після їх гідролізу до рівня моноцукрів в першу чергу залучаються до процесів дихання. При цьому присутність кисню в середовищі є обов'язковою для підтримання аеробного типу дихання, оскільки накопичення продуктів анаеробної діяльності приводить до порушення структури тканин зернівки і автолізу.

Замочування зерна супроводжується втратою сухих речовин на рівні одного відсотка, що у першому наближенні дозволяє оцінити енергетичні втрати:



У перерахунку на 100 кг зернової маси з початковою вологістю 15 % втрати цукрів становитимуть 8,5 кг. Це означає, що у відповідності до записаного рівняння енерговиділення складуть 13,6 МДж, а з розрахунку на всю оброблювану масу зерна  $M_{\text{зер}}$  і на весь цикл замочування енерговиділення становитиме

$$Q = 13,6 \frac{M_{\text{зер}}}{100}, \text{ МДж} \quad (2)$$

При цьому середня потужність теплового потоку за кількості діб замочування  $D$  визначається за формулою:

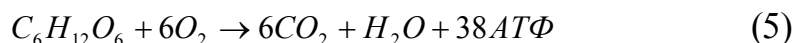
$$N = 0,136 \cdot 10^6 \frac{M_{\text{зер}}}{24 \cdot 3600 D} = 1,574 \frac{M_{\text{зер}}}{D}, \text{ Вт} \quad (3)$$

а кількість синтезованого діоксиду вуглецю становитиме

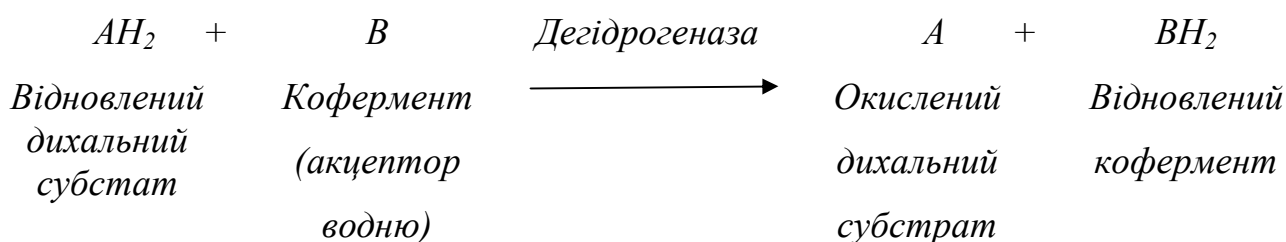
$$M_{CO_2} = 146,7 \frac{M_{\text{зер}}}{100} = 1,467 M_{\text{зер}}, \text{ кг} \quad (4)$$

де 146,7- кількість  $CO_2$ , кг, що виділяється в процесі замочування 100 кг зернової маси.

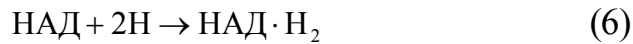
У зв'язку з викладеним виникає питання щодо оцінки ефективності енергетичних перетворень в процесах з різними формами дихання. Для такого порівняння умову (1) запишемо у формі



В останньому записі є складові, які потребують додаткових роз'яснень. За аеробного дихання окислювання глюкози відбувається шляхом послідовних реакцій дегідрування. При кожному дегідруванні відщеплений водень використовується для відновлення коферменту



Більша частина цих реакцій відбувається в мітохондріях, де акцептором водню частіше є кофермент НАД (нікотинамідаденіндинуклеотид):



Після цього  $\text{НАД} \cdot \text{H}_2$  повертається у дихальний ланцюг і знову підлягає окисленню, де знову перетворюється в НАД, а відщеплений від нього водень передається на кінець ланцюга, де з'єднується з молекулярним киснем, утворюючи воду.

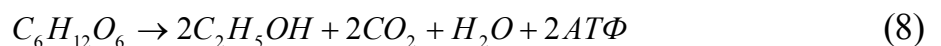
Перехід водню по такому дихальному ланцюгу складається з ряду окисно-відновлювальних реакцій, в деяких з них виділяється достатньо енергії для утворення АТФ (аденозинтрифосфат). Чистий вихід на одну молекулу глюкози при повному її окисленні до води і  $\text{CO}_2$  складає 38 молекул АТФ (що знайшло своє відображення в рівнянні (5), синтезованого з АДФ (аденозиндіфосфат) і неорганічного фосфату. При цьому дві молекули АТФ дає гліколіз, дві - цикл Кребса і 34 - дихальний ланцюг.

Для синтезу АТФ з АДФ і фосфату потрібно 30,6 кДж/моль енергії, а зміна вільної енергії системи в умовах аеробного дихання складає  $\Delta G = -2880$  кДж/моль.

Тоді енергетичну ефективність перетворень зазначимо у формі

$$E_e = \frac{38(-30,6)}{-2880} \cdot 100 = 40,37 \quad \% \quad (7)$$

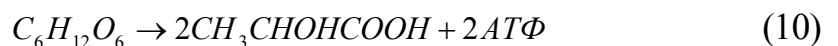
Анаеробному диханню в умовах дріжджового спиртового бродіння відповідає рівняння



В цьому процесі  $\Delta G = -210$  кДж/моль

$$E_e = \frac{2(-30,6)}{-210} \cdot 100 = 29,14 \quad \% \quad (9)$$

Аналогічно для молочнокислого бродіння запишемо



і ефективність складає при  $\Delta G = -150$  кДж/моль

$$E_e = \frac{2(-30,6)}{-150} \cdot 100 = 40,8 \quad \% \quad (11)$$

Наведені результати вказують на те, що ефективність енергетичних трансформацій в наведених схемах є достатньо високою (наприклад, в порівнянні з аналогічними показниками теплових двигунів).

Проте активація процесів життєдіяльності в зернівках означає, що поруч з процесами окислення полімерів відбувається паралельний синтез нових складових, пов'язаний з розвитком ростка, перебудовою компонентів, утворенням нових клітин тощо. Інформація про перебіг таких процесів синтезу лежить за межами інтересів цього дослідження, однак наведемо одне порівняння, яке стосується процесів фотосинтезу. Відомо, що в ідеальних умовах швидкість фотосинтезу в зелених тканинах рослин приблизно в 30 разів перевищує трансформації, пов'язані з диханням. При цьому загальний висновок, який узагальнює двохсотрічний досвід досліджень в галузі фотосинтезу і наступних перетворень органічних сполук приводить до форми: *не існує загадки синтезу*, а має місце цілий ряд ключових питань.

Однак початкові і кінцеві результати технологічних процесів, пов'язаних з замочуванням і пророщуванням зернової маси є відомими, рівно як і вплив зовнішніх факторів і параметрів їх перебігу. Забезпечення в підтриманні таких факторів потребує відповідного енергетичного підґрунтя, що пов'язано з необхідністю подолання окремих протиріч. Існування останніх пояснюється особливостями перебігу термодинамічних і масообмінних процесів у їх сполученні, принципом Ле Шательє, законом найбільш вірогідного стану, незворотністю процесів та їх нелінійністю, неадекватністю використовуваних моделей реальним процесам тощо.

Умова (1) дозволяє також знайти співвідношення матеріальних потоків. З неї витікає, що на окислення 8,5 кг сухих речовин витрачається 9,07 кг O<sub>2</sub>. Разом з тим за даними джерела [7] сумарні витрати повітря на повний цикл замочування 1 т. зерна складають біля 150 м<sup>3</sup> повітря або в перерахунку на вагу - 193,95 кг. При цьому масова частка кисню у цій кількості повітря складе

$$193,95 \cdot 0,21 = 40,73 \text{ кг} \quad (12)$$

Якщо орієнтуватися на вказану потрібну кількість 9,07 кг O<sub>2</sub> і матеріальний баланс, то це означатиме ефективність аераційної системи на рівні

$$E_e = \frac{9,07}{40,73} \cdot 100 = 22,3 \text{ \%} \quad (13)$$

Для порівняння наведемо інформацію щодо подібного показника для барботажних аераційних систем і рідинної фази з фізико-хімічними характеристиками, близькими до води. У таких випадках і за висоти рідинної фази над барботажними елементами 3,5 м. досягається значення  $E_{a.c.} \approx 3-3,5 \%$ .

Розходження наведених показників потребує певних пояснень.

Дійсно, аерація зерно-водяної суміші має суттєву фізичну відмінність від випадку аерації рідинної фази. Очевидно, що взаємодія спливаючого під дією Архимедових сил масиву диспергованої газової фази з зерновою фазою системи приведе до підвищення рівня ефективності процесів аерації. Проте разом з цим виникають сумніви щодо повної достовірності наведених питомих витрат повітря  $150 \text{ м}^3$  на 1 т. зерна за весь цикл замочування.

Отже, проведений аналіз дозволив визначити співвідношення між матеріальними та енергетичними потоками у виробництві солоду.

Так, ефективність енергетичних перетворень, що протікають при аеробному диханні складає  $E_e = 40,37 \%$ . При анаеробному диханні за умови спиртового бродіння  $E_e = 29,14 \%$ , а за умови молочнокислого бродіння  $E_e = 40,8 \%$ .

Для масообмінних процесів досліджено втрату корисних сухих речовин у вихідній сировині, розраховано кількість вуглекислого газу, що виділяється при пророщуванні солоду та кількість кисню, що поглинається. Також визначено теоретичну ефективність процесу аерації по кисню.

Витрати сухих речовин в процесі пророщування солодів досягає 4% від їх початкової маси, що у нашому випадку складає  $85 \cdot 0,04 = 3,4 \text{ кг}$ . При цьому енерговиділення складає

$$Q_o = \frac{3,4 \cdot 2880}{0,18} = 54400 \text{ кДж} = 54,4 \text{ МДж} \quad (14)$$

а з розрахунку на оброблювану масу  $M_{\text{зер}}$  загальне енерговиділення становитиме

$$Q = 54,4 \frac{M_{\text{зер}}}{100} = 0,544 \cdot M_{\text{зер}}, \text{ МДж} \quad (15)$$

Середня потужність теплового потоку, що виділяється становить

$$N = 0,544 \cdot 10^6 \frac{M_{\text{зер}}}{24 \cdot 3600 \text{Дпр}} = 6,296 \frac{M_{\text{зер}}}{\text{Дпр}}, \text{ Вт} \quad (16)$$

де Дпр - кількість діб пророщування зерна.

Так, для кількості пророщуваного зерна 10 000 кг. за восьмидобового пророщування одержуємо

$$N = 6,296 \frac{10000}{8} = 7870 \text{Вт} = 7,87 \text{ кВт} \quad (17)$$

і відповідно

$$Q = 54,4 \frac{10000}{100} = 5440 \text{ МДж} \quad (18)$$

Вказана кількість теплової енергії відводиться від зернової маси в режимі аерації. Додатковим завданням останньої є відведення утворюваного CO<sub>2</sub> і доставка в середовище кисню.

**Висновки.** Отримані результати дають змогу визначити величини енергетичних та масових перетворень в процесі замочування та пророщення зерна. Також досліджено ефективність енергетичних перетворень, що протікають в зерновій масі при аеробному диханні, спиртовому та молочному бродінні.

Ці величини дають можливість в подальшому визначити кількість повітря необхідного для нормального перебігу даних процесів, дослідити можливість рециркуляції використаного повітряної та рекуперації його теплової енергії.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Пасічний В.М., Кремешна І.В. Стабілізація технологічних властивостей ферментованого рису для виробництва м'ясопродуктів // Наукові праці НУХТ. - К.: 2004. - №15. - с. 49-50.
2. Арсеньева Л.Ю., Борисенко О.В., Махинько В.М., Хіврич Б.І., Доценко В.Д. Склад і перетравлюваність білкових речовин продуктів перероблення бобових // Наукові праці НУХТ. - К.: - 2004. - №15. - с. 15-52.
2. Дробот В.І. Технологія хлібопекарських виробництва. - К.: Логос, 2002. - 365 с.
3. Хіврич Б.І., Фролова Н.Е., Домарецький В.А. та ін. Інгібітори



трипсину гороху та ступінь руйнування їх при вирощуванні солоду // Наукові праці

4. Jankiewicz M., Kedzior Z., Kiryluk J. Chemical technological characteristics and baking applicability of protein preparation obtained from peas and faba beans using atr classification method // Act aliment Pol. - 1985. 15, №4 P. 291-298.

5. Travagini M., Travagini D., Araliacaoda qualiologa proteica do creeds processados do tipo desjejum emcombinacae com uma belida tm po a bast de extroto de soja // Bol. Just technjl. Alim - 1984. - 21, №4 P. 509-510

6. Маринченко В.О., Домарецький В.А., Шиян П.Л., Швець В.П., Циганков П.С., Жолнер І.В. Технологія спирту. - К.: - НУХТ. - 2003. - 496 с.