

Технологічні особливості процесів замочування зерна

Соколенко А.І., доктор технічних наук, Максименко І.Ф., Білик О.А., Бабіч О.В., кандидати технічних наук

За зберігання ячменю й інших зернових культур їхні ферменти, важливі в процесах солодовирощування, не активовані. Активація відбувається під час замочування зерна. Одночасно підсилюється дихання і збільшується потреба у кисні. Переважно використовують повітряно-водяне замочування, при якому зерно почергово знаходиться то під шаром води, то без нього. Замочування супроводжується фізико-хімічними та біохімічними процесами, результатом яких є значні зміни у зерні [1].

У замочувальних апаратах зерно зволожується до 40-48%. Кліткова (м'якинна) оболонка на початку замочування непроникна, і вода проходить тонкими капілярами-трахоїдами зародкової частини, яка не покрита цією оболонкою. Вода надходить у зерно через напівпроникну плодову і насінневу оболонки, тому важливе значення мають процеси ультрафільтрування та осмодифузії. Через деякий час вимиваються інкрустуючі речовини, і м'якинна оболонка стає проникною.

Зародок поглинає воду швидше, ніж інші частини зерна, тому, що він має гідрофільні білкові речовини, а також повітряні прошарки і капіляри. Тому вологість структур біля зародка сягає 47%, у самому зародку – 68-75%, у середині зерна – 40%.

Різні складові речовини зерна здатні поглинати різну кількість води: гумі-речовини – до 800%, крохмаль – до 70%, клітко-

вина – до 30%. Максимально зерна ячменю може поглинути до 68% води [1]. Водопоглинання залежить від часу замочування, температури, розмірів зернівок, сорту ячменю, особливостей року його збирання, іонного складу води.

Чим тепліша вода для замочування, тим швидше вона поглинається. Наприклад, для досягнення вологості 42% тривалість процесу має складати:

- при 5°C - 100 год.;
- при 10°C - 75 год.;
- при 15°C - 50 год.

Зерно ячменю і вівса замочують за температури води 18-20°C. За більш високої температури збільшується ймовірність розвитку мікроорганізмів, необхідна більш чиста вода та енергійне аерування.

На швидкість вологопоглинання впливають розміри зерна. Так, за 88-годинного замочування ячмінні зерна досягають такої вологості (табл.).

Для замочування доцільно використовувати воду із жорсткістю до 7 мг-екв/дм³. У більш жорсткій воді тривалість замочування збільшується.

У зерні, вологість якого менша 14%, вода знаходиться тільки у зв'язаному стані, і тому її достатньо тільки для підтримання

життєдіяльності зерна. Збільшення вологості приводить до розчинення живильних речовин і переміщення їх до зародка. В ендосперм надходять ферменти, які каталізують гідроліз полімерів зерна в розчинні речовини, що засвоюються зародком, прискорюють біохімічні процеси, посилюється дихання, активується діяльність ферментів.

Розмір зернівки, мм	Вологість, %	Розмір зернівки, мм	Вологість, %
2,9	43,1	2,4	44,7
2,8	43,3	2,3	45,6
2,7	43,6	2,2	48,9
2,6	43,7	2,1	47,8
2,5	43,7	2,0	49,0

Кінетика зволоження зерна. В процесі зволоження волога переміщується в напрямку від периферії зернівок до їхніх центрів. Таке переміщення вологи (міграція) – в основному дифузійний процес, рушійною силою якого є різниця концентрацій вологи в різних точках матеріалу. Однак цей процес дещо ускладнюється тепловими процесами, оскільки замочування органічно пов'язане із життєдіяльністю і екзотермічним виділенням теплової енергії.

Моделювання перебігу зволоження під дією тільки різниці концентрацій вологи зводиться до дифузійного процесу, що на основі рівняння вологопровідності може бути записаний подібно до рівняння Фур'є:

$$m_w = -K_w F \left(\frac{dc}{dx} \right) \tau,$$

де m_w – кількість вологи, що проходить через поверхню F за час τ при градієнті концентрації dc/dx ;

K_w – коефіцієнт, що залежить від характеристик матеріалу і характеру зв'язку з ним вологи.

За температур і тисків, що відповідають замочуванню зерна, слід сподіватися на те, що волога переміщується в матеріалі у вигляді рідинної фракції, а утворення парової фази є маловірогідним. Осмотична волога мігрує через стінки клітин.

Теплота, що генерується за солодоращення, визначає величину температурного градієнта. У вологому матеріалі останній суттєво впливає на механізм міграції вологи. За наявності температурного градієнта у вологому матеріалі створюється гальмівна дія вологопровідності. Експериментально доведено [2], що під дією температурного градієнта у вологих матеріалах волога переміщується у напрямку теплового потоку. До причин такого явища належать:

- термодифузія, тобто молекулярний рух рідини;
- зменшення поверхневого натягу σ з підвищенням температури, внаслідок чого в капілярах пористих матеріалів відбувається рух рідини в бік менших температур, тобто у напрямку теплового потоку;
- вплив так званого защемленого в капілярах повітря, яке розширюється і проштовхує вологу в напрямку, де тиск повітря менший, тобто у напрямку меншої температури.

Загальна кількість вологи, що переміщується під дією температурного градієнта dt/dx , узагальнюється рівнянням:

$$m_i = -K_i F \left(\frac{dt}{dx} \right) \tau,$$

де K_i – коефіцієнт, аналогічний K_w з попереднього рівняння.

Сумарна кількість вологи, що переміщується за наявності обох градієнтів:

$$m_w - m_i = m.$$

Дихання зерна потребує безперервного споживання кисню, розчиненого у воді. Під час замочування концентрація кисню у воді швидко зменшується, і за відсутності аерації протягом 15-20 хв. він повністю зникає. Останнє вказує на те, що доставка кисню в зернову масу здійснюється двома шляхами. По-перше, насичена O_2 вода сама виконує роль його переносника. По-друге, зниження концентрації кисню у замочувальній воді приводить до висновку про самостійну дифузію через поверхню поділу рідинної та твердої фаз.

Якщо порівнювати час повної десорбції кисню 15-20 хв. з можливістю відновлення насиченого стану за допомогою сучасних аераційних систем, то слід визнати, що ці два процеси не тільки співрозмірні, а і можливим є суттєве перевищення швидкості розчинення кисню. Іншими словами, динаміка біохімічних процесів не лімітується аераційними процесами на рівні масообміну газорідинної системи. На рівні гіпотези слід очікувати, що послідовність і подовження у часі біохімічних процесів визначаються взаємодією ферментних систем зі складовими ендосперму, зародка тощо. Ферменти знижують енергію активації, яка потрібна для здійснення хімічних реакцій, і прискорюють їх. При цьому вони мають високу специфічність дії по відношенню до природи субстрату і типу хімічної реакції. Іншими словами, кожний фермент каталізує в основному тільки одну хімічну реакцію. Суттєвою особливістю ферментів є те, що їхня активність у клітинах контролюється як на генетичному рівні, так і за допомогою низькомолекулярних сполук: субстратів і продуктів реакцій, які відбуваються за присутності цих самих ферментів. Кожен фермент забезпечує певні зміни у структурі молекули даної речовини, після чого діє наступний фермент. Саме це забезпечує упорядкований обмін речовин у живому організмі й час їхнього перебігу.

Відсутність розчиненого кисню в рідинній фракції є причиною переходу на анаеробний тип дихання. Накопичення продуктів анаеробної діяльності приводить до порушення структури тканин зерна й автолізу.

Замочування зерна супроводжується його незначними хімічними змінами, частина вуглеводів перетворюється в CO_2 та інші продукти, речовини оболонки зерна частково розчиняються. У водне середовище переходять цукри, пентозани, азотисті та мінеральні речовини. Їхні загальні втрати при замочуванні складають близько 1% за масою сухих речовин зерна.

Кисень повітря є активатором енергії проростання зерна, і тому передбачається аерація кожні 3-4 год. після кожного спуску води протягом 5-7 хв. через кожну годину [1]. Сумарні витрати стисненого повітря на повний цикл замочування складають 140-160 m^3 на 1 тону зерна за тиску 0,15-0,2 МПа. Останній показник має корегуватися відповідно до гідростатичного тиску, і тому величина 0,15-0,2 МПа [1] є дещо завищеною. Проте, слід звернути увагу на ту обставину, що за конічної нижньої частини замочувальних апаратів барботажні труби розміщуються саме на конічній поверхні, тобто величина гідростатичного тиску відносно труб буде різною. При цьому зростання перепадів тисків у трубопроводах і гідростатичних тисків супроводжується термодинамічними процесами.

Аерація середовища характеризується введенням в нього енергії, величина якої визначається залежністю [3]:

$$E = p_1 \bar{V}_1, \quad (1)$$

де p_1 – тиск повітря, що подається на аерацію, Па;

\bar{V}_1 – об'єм газу, який подано на аерацію, m^3 .

Враховуючи відносно подовжений час перебування повітряних бульбашок у водно-зерновому середовищі, процес їхнього розширення будемо вважати ізотермічним.

Тоді робота ізотермічного розширення повітря складе:

$$A = p_1 V_1 \ln \frac{p_1}{p_2}, \quad (2)$$

де p_2 – тиск повітря в газовій фазі замочувального апарата.

Оскільки в ізотермічному процесі $t = \text{const}$, то зміна внутрішньої енергії не відбувається, тобто:

$$\Delta u = c(t_1 - t_2) = 0. \quad (3)$$

Це означає, що кількість теплоти, яка передається газу для забезпечення ізотермічного перебігу процесу його розширення, становить:

$$Q = A. \quad (4)$$

Одержана залежність означає, що підтримання процесу розширення газу за стабілізованої температури супроводжується охолодженням водно-зернової суміші.

Оцінка енергетичних рівнів процесів має здійснюватися з урахуванням усіх трансформацій, які відбувалися з повітрям. Першим етапом при цьому вважатимемо адіабатне стискання повітря від початкового тиску P_0 до величини P_1 . Тоді маємо співвідношення:

$$\frac{p_1}{p_0} = \left(\frac{V_0}{V_1'} \right)^k. \quad (5)$$

Звідси знайдемо:

$$\frac{V_0}{V_1'} = \sqrt[k]{\frac{p_1}{p_0}}; \quad V_1' = V_0 \sqrt[k]{\frac{p_1}{p_0}}. \quad (6)$$

У зв'язку з тим, що у виробничих умовах для потреб аерації замочних чанів використовуються повітряні системи загального призначення, то це означає, що після адіабатного стискання має місце ізобаричне охолодження стисненого повітря. Завершенню адіабатного стискання відповідало співвідношення:

$$\frac{T_1'}{T_0} = \left(\frac{V_0}{V_1'} \right)^{k-1}. \quad (7)$$

Тоді кінцева температура адіабатного процесу становитиме:

$$T_1' = T_0 \left(\frac{V_0}{V_1'} \right)^{k-1}. \quad (8)$$

Ізобаричне охолодження повітря до температури T_1 також супроводжується зменшенням його об'єму:

$$\frac{V_1'}{V_1} = \frac{T_1'}{T_1}; \quad V_1 = V_1' \frac{T_1}{T_1'}. \quad (9)$$

Виконавши підстановки, отримаємо:

$$V_1 = V_1' \frac{T_1}{T_0 \left(\frac{V_0}{V_1'} \right)^{k-1}} = V_1' \frac{T_1}{T_0} \left(\frac{V_1'}{V_0} \right)^{k-1}; \quad (10)$$

$$V_1 = V_0 \sqrt[k]{\frac{p_0}{p_1}} \frac{T_1}{T_0} \left(\frac{V_0 \sqrt[k]{\frac{p_0}{p_1}}}{V_0} \right)^{k-1} = V_0 \sqrt[k]{\frac{p_0}{p_1}} \frac{T_1}{T_0} \left(\sqrt[k]{\frac{p_0}{p_1}} \right)^{k-1}. \quad (11)$$

Тоді робота ізотермічного розширення:

$$A = p_1 V_0 \sqrt[k]{\frac{p_0}{p_1}} \frac{T_1}{T_0} \left(\sqrt[k]{\frac{p_0}{p_1}} \right)^{k-1} \ln \frac{p_1}{p_2} = p_1 \ln \frac{p_1}{p_2} \cdot \frac{T_1}{T_0} V_0 \left(\sqrt[k]{\frac{p_0}{p_1}} \right)^{2k-1}. \quad (12)$$

У нашому випадку слід вважати, що $p_0 = p_2$, і тому остаточно запишемо:

$$A = p_1 \ln \frac{p_1}{p_0} \cdot \frac{T_1}{T_0} V_0 \left(\sqrt[k]{\frac{p_0}{p_1}} \right)^{2k-1}. \quad (13)$$

Таким чином, робота ізотермічного розширення повітря за барботажу зерно-водних середовищ визначається співвідношеннями тисків і температур.

У випадку аерації зернової маси в режимі повітряної паузи барботаж як процес виключається, і має місце розширення стисненого повітря до атмосферного тиску. Зважаючи на те, що зернове середовище є несучільним, слід використовувати надалі таке поняття, як аналог гідростатичного тиску. При цьому процес розширення газу слід розглядати як політропний на першій фазі, а після створення температурного поля, наближеного до температурних показників повітря, – як наближений до адіабатного. Це означає, що в режимі подовженої аерації слід очікувати охолодження зерна, оскільки за адіабатного розширення матимемо температуру повітря:

$$T_2 = T_1 \left(\sqrt[k]{\frac{p_0}{p_1}} \right)^{k-1}. \quad (14)$$

Висновки

Динаміка зміни вологи у процесах замочування зернової маси залежить від температури середовища, розмірів зернівок, рівня екзотермічного виділення теплової енергії. Підвищення швидкості водопоглинання вимагає збільшення рівня аерації.

Доставка кисню в зернівки здійснюється за рахунок самої вологи, яка виконує роль переносника кисню, а також за рахунок його власної дифузії через поверхню поділу фаз.

Інтервал повного вилучення кисню з рідинної фази за 15-20 хв. визначає подовженість і частоту фаз аерації середовищ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Маринченко В.О., Домарецький В.А., Шиян П.Л., Швець В.М., Циганков П.С., Жолнер І.Д. *Технологія спирту*. – К.: НУХТ, 2003. – 496 с.
2. Стабников В.Н., Лысянский В.М., Попов В.Д. *Процессы и аппараты пищевых производств*. – М.: «Агропромиздат», 1985. – 503 с.
3. Піддубний В.А. *Розробка методів розрахунку і удосконалення обладнання систем виробництва солоду*. Автореф. дис... кан-та техн. наук. – К.: НУХТ, 2003. – 17 с.