

The background features a complex, layered design of stylized leaves and organic shapes. The leaves are rendered in shades of light green, olive, and grey, with some having white outlines. A prominent feature is a wide, flowing ribbon in shades of orange and red that curves across the lower half of the image. The overall aesthetic is modern and graphic.

**14th International Specialized
Scientific and Practical Conference**

**Trends in LEAN food production
and packaging**

**14-а Міжнародна спеціалізована
науково-практична конференція**

**Тренди Lean-виробництва та
пакування харчових продуктів**

Київ 2025 Київ

УДК 621.56:664

Використання холодильних і сушильних технологій на підприємствах бродильної галузі

Булій Ю.В., Куц А.М.

Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ

Оброблення холодом і сушіння є найпоширенішими способами консервування харчових продуктів для збереження їхньої харчової і біологічної цінності протягом тривалого часу. Використання раціональних способів і режимів оброблення холодом і сушіння сировини, напівфабрикатів і готової продукції у бродильних виробництвах вирішують завдання регулювання фізичних, ферментативних, біологічних і окисно-відновних процесів для отримання різних типів солоду, зброджування сусла на пиво, вино, квас, спирт, накопичення біомаси дріжджів тощо. Для цього слід знати склад і властивості харчових продуктів, технології їх виробництва, які зміни відбуваються у сировині і продуктах під час оброблення їх холодом або в процесі сушіння [1,2].

В технології солоду важливе значення має процес сушіння свіжопророслого солоду, який не придатний для тривалого зберігання і не має характерних якісних властивостей для приготування пива. Відповідні властивості солоду формуються лише під час його термічної обробки. Сушіння солоду за регламентованими температурними режимами забезпечує формування необхідної структури і крихкості солоду, утворення меланоїдинів та інших барвних і ароматичних речовин. Термічна обробка солоду дозволяє відокремити від нього паростки, які мають гіркий смак через окислення жирів і містять алкалоїд горденін, який є попередником нітрозамінів із канцерогенними властивостями. Для виробництва барвних солодів (карамельного, темного, паленого) використовують солодосушарки періодичної і безперервної дії, в яких підтримують оптимальні технологічні режими (температуру і тривалість) [3].

Сушильні технології широко використовують у виробництві хлібопекарських і кормових дріжджів, а також для отримання цінного кормового продукту із рідких залишкових пивоварних дріжджів із лагерного осаду. Пресовані хлібопекарські дріжджі отримують на мелясних спиртових заводах. Вони містять близько 75 % води і тому швидко псуються за звичайних температур, їх не можливо транспортувати на значні відстані і зберігати тривалий час. Сухі хлібопекарські дріжджі мають вологість не більше 10 %, підйомну силу не більше 90 хв і стійкість під час зберігання не менше 5 міс. Для висушування дріжджів використовують стрічкові, шахтні, барабанні, вібраційні та флюїтизаційні (висушування у киплячому шарі) сушарки. Кормові дріжджі вирощують, як на мелясній, так і на зерновій барді. Вихід сухих кормових дріжджів становить 1,5–2,5 кг/дал спирту, виробленого із меляси, і 2,5–3,5 кг/дал – із зерна. Їх висушування здійснюють на розпилувальних або валкових сушарках.

Вибір системи охолодження і холодильного устаткування у виробничих приміщеннях в значній мірі визначається кількістю вологи, яку необхідно відводити. Холодильні технології застосовують в пневматичних солодовнях для кондиціювання повітря і у виробництві пива: у варильному відділенні для охолодження пивного сусла після його кип'ятіння з хмелем і освітлення від білкового осаду до температури 6-9 °С (у разі бродіння і доброджування в одному цилінрично-конічному апараті – до 12-14 °С), в бродильному відділенні для охолодження молодого пива після закінчення головного бродіння та підтримання заданої температури витримки пива у форфасах і надлишкових дріжджів у збірниках. Штучний холод застосовують також для зберігання хмелю за температури 2-7 °С і готової продукції у складських приміщеннях за температури 10-12 °С.

Актуальною задачею є висушування пивної дробини. Суха дробина стійка під час зберігання і транспортабельна. Щорічно на пивоварних заводах України накопичується сотні тисяч тон пивної дробини вологістю 70–80 %, яка містить в середньому понад 20 % сухих речовин з високим рівнем протеїну (12–15 %), що майже в три рази перевищує його вміст в ячмені. Це суміш рослинних і мікробних білків, складних вуглеводів, органічних кислот та інших речовин. Вологу дробину розміщують на відкритих майданчиках і в котлованах полігонів. Вже на третій день в біосферу виділяються отруйні продукти гідролізу і гниття. У такому стані відходи здатні лежати в «могильниках» до 50 років, активно забруднюючи біосферу своїми виділеннями. Хімічні продукти розпаду, поступово проникаючи в ґрунт, отруюють ґрунтові води, землі стають непридатними до господарського використання на десятки років.

У виробництві безалкогольних напоїв штучний холод використовують для забезпечення оптимальних технологічних режимів на всіх технологічних стадіях, а також під час зберігання сировини і готової продукції. Основними стадіями виробництва газованих напоїв, під час яких використовують холод, є приготування цукрового сиропу, купажування, насичення діоксидом вуглецю і розлив.

У виноробстві холод використовують для відстоювання і освітлення сусла, а також для регулювання температурних режимів зброджування сусла (м'язги) і фільтрування вина, а також для обробки вина холодом для прискорення його освітлення, дозрівання і формування смакових властивостей (сприяє випаданню у осад виннокислих солей, коагуляції дубильних, пектинових і білкових речовин). Вина, оброблені холодом, стають більш стійкими до коливань температури.

У виробництві шампанського України класичним пляшковим способом холод використовують для охолодження шампанських виноматеріалів, підтримки рівномірної температури у підвалах для тиражної витримки, охолодження перед ремюажем і заморожування осадів перед дегоргажем [4].

У виробництві спирту холод використовують для регулювання температури під час культивування виробничих дріжджів і зброджування сусла. Крім того, у разі переробки зерна холод використовують для охолодження розвареної маси до температури оцукрювання крохмалю і початкової температури бродіння.

Метою роботи було визначення оптимальних технологічних режимів сушіння і термічної обробки свіжопророслого солоду, обрання енергоощадних солосушарок, оптимізація висушування вологої пивної дробини, хлібопекарських і кормових дріжджів, вибір холодоносіїв і систем охолодження в пневматичних солодівнях, бродильному відділенні, складських приміщеннях для зберігання хмелю і готового пива, безалкогольної продукції і квасу, обробки вин холодом, а також виробництва ігристих вин (шампанського України) класичним пляшковим і резервуарним способами.

Результати і обговорення

Термічну обробку свіжопророслого солоду потрібно проводити в такому режимі, щоб зберегти активними ферментні системи, необхідні у подальшому для приготування пивного сусла. Так, на першій стадії сушіння (фізіологічна фаза) температуру в солоді не слід підвищувати понад 40–45 °С, сушіння триває 10–12 год, поки вміст вологи в ньому не знизиться від 50–40 до 30–20 %; на другій стадії (ферментативна фаза) температуру підвищують до 70 °С, оптимальна тривалість сушіння 5–7 год, вміст вологи зменшується до 10–8 %; на третій стадії (хімічна фаза) температуру підтримують в межах 65 °С, процес триває 3–4 год, вміст вологи знижується до 3 %. Свіжопророслий солод під час сушіння і термічної обробки зазнає глибоких фізичних, фізіологічних і біохімічних змін. Частина високомолекулярних білків коагулюють, що у подальшому позитивно позначається на освітленні сусла і пива. Паростки, які можуть надати пиву неприємного гіркового смаку, стають крихкими і легко відокремлюються від зернівки.

Сушіння солоду здійснюють у сушарках періодичної та безперервної дії. До першого типу відносять горизонтальні одно-, дво- і триярусні сушарки, до другого – вертикальні сушарки ЛСГА (Латвійська сільськогосподарська академія) і карусельні КТІХП (Київський технологічний інститут харчової промисловості). Як сушильний агент використовують нагріте в калорифері чисте повітря. Сушіння і термічна обробка солоду на таких сушарках триває від 12 до 24 год, температура сушильного агента змінюється від 45 до 80–105 °С.

До недоліків роботи сушарки ЛСГА відносять низьку продуктивність, нерівномірний рух солоду, а отже, й нерівномірне сушіння і термічну його обробку, внаслідок чого кінцевий продукт має невисоку якість. Крім того, для сушарок такого типу характерна висока питома металоємність. Більш економічними є карусельні сушарки безперервної дії. Такі сушарки використовують у комплексі з існуючими системами пророщування солоду. Технологічний процес в них відбувається у щільному шарі, що переміщується зверху донизу за рахунок безперервного відбору нижнього шару (після термічної обробки) гвинтовим конвеєром та одночасного поповнення верхнього шару сушарки свіжопророслим солодом через бункер-постачальник. При цьому сушильний агент пронизує шар солоду знизу доверху. Швидкість обертання платформи, на якій знаходиться шар солоду, висота шару, який вивантажується в нижній частині сушарки, загальна висота шару солоду, кількість і температура сушильного агента узгоджуються між собою в оптимальних параметрах і визначають максимальну продуктивність за найменших питомих енерговитрат та високій якості готового продукту.

Прогресивною системою у виробництві солоду є баштові солодовні з ефективною сушаркою фірми «Seeger» продуктивністю 120 тис. т солоду на рік. Такі солодовні дозволяють на відносно обмеженому просторі здійснювати всі технологічні процеси: замочування, пророщування і сушіння солоду.

Залежно від температури і тривалості термічної обробки отримують різний за кольором і ароматом карамельний солод. Для отримання світлого карамельного солоду термічну обробку проводять за температури 120 °С протягом 3 год, середньої кольоровості – 130–150 °С протягом 2,5 год, а темного (який використовують для приготування тільки темних сортів пива) – 150–170 °С протягом 4 год. Термічну обробку свіжопророслого солоду і охолодження готового солоду проводять в установках із киплячим шаром або в апаратах барабанного типу. Оптимальна температура термічної обробки карамельного солоду становить 130–140 °С. За такої температури у верхніх прошарках зернівки клітини ущільнюються, припиняється доступ вологи на поверхню, продовжується внутрішнє пароутворення, що викликає підвищення тиску в середині ендосперму. Зернівка при цьому роздувається, її поверхня стає рівною і блискучою, а всередині утворюється порожнина, яка характеризує високу якість карамельного солоду.

Палений солод використовують для виробництва дуже темних сортів пива (Українське, Мартівське, Портер). Його виготовляють із світлого високорозчинного солоду, який попередньо зволожують у воді на 5–10 % і витримують в обжарювальному барабані за температури 70–80 °С протягом 2 год без відведення вторинної пари для оцукрення крохмалю. Через 90–120 хв температуру в барабані поступово піднімають спочатку до 160–175 °С, а далі до 220 °С. За такої температури солод обжарюють протягом 1,5 год. Під час обжарювання відбувається карамелізація цукрів. Для запобігання утворення пригорілого смаку під час обжарювання вприскують воду, щоб разом з паром видалити леткі сполуки пригорілого аромату. Після швидкого охолодження солод передають на зберігання.

Процес сушіння темного солоду складається з п'яти етапів. Перший етап характеризується зниженням вологості солоду від 46–48 до 25 % за 10–12 год за температури сушильного агента не вище 50 °С. На другому етапі температуру сушильного агента повільно підвищують до 70 °С протягом 10–12 год. При цьому вологість солоду знижується на 3–7 %, відбувається оцукрювання крохмалю і подальший гідроліз білкових речовин. Третій етап сушіння полягає у зниженні вологості солоду від 20 до 10 % протягом 8–10 год за температури в шарі 70–90 °С. Четвертий етап характеризується повільним нагріванням солоду до температури 105 °С і зниженням його вологості до 5 %. На п'ятому етапі за температури

сушильного агента 105–110 °С відбувається сушіння та термічна обробка солоду. За таких умов вологість солоду знижується до 1,5–2 % і утворюються меланоїдини, які надають солоду специфічних смаку, аромату та кольору.

Пшеничний свіжопросохлий солод можливо висушувати на сушарках всіх типів. Середня тривалість сушіння – 15–22 год. Його розпочинають з підсушування солоду за температури 45–50 °С протягом 10 год, після чого температуру поступово підвищують до 65 °С, і далі сушіння відбувається за температури 77–80 °С протягом 2–3 год. до вологості 5 %. Для виробництва темного пшеничного солоду використовують пшеницю з підвищеним вмістом білку (не менше ніж 12 %). Солод висушують за температури 100–105 °С.

У виробничих умовах ПрАТ «Оболонь» були проведені дослідження щодо оптимізації висушування вологої пивної дробини. Сира дробина із фільтраційного апарату передавалась до стрічкового пресу безперервної дії, де вона механічно зневоднювалась до вмісту в ній сухих речовин близько 42 %. Одержану після пресування воду спрямовували на очисні споруди для біологічного очищення і повтрного використання. Вологу дробину висушували на турбулентній сушарці німецької фірми «ANHYDRO», продуктивність якої регулювалась обертами пресу віджимання дробини в межах від 7 до 14 об/хв. Оптимальні параметри висушування дробини: оберти пресу віджимання – 8 і 10 об./хв, що відповідало продуктивності сушарки 57,15 і 71,45 %; температура теплоносія – 160 °С, по зонах сушіння: на вході в сушарку – 83 °С, далі – 90 і 87 °С та на виході – 105 °С.

У виробництві хлібопекарських дріжджів для збереження ферментативної активності дріжджових клітин під час їх висушування необхідно знижувати температуру теплоносія (повітря) від 80–70 °С у першому періоді, до 55–50 °С у другому і до 45–40 °С у третьому, щоб дріжджі не нагрівались вище ніж 38 °С. Сухі дріжджі повинні мати вологість не більше 10 %, підйомну силу не більше 90 хв і стійкість під час зберігання не менше 5 міс.

У виробництві кормових дріжджів у разі їх висушування на розпилювальних сушарках оптимальна температура теплоносія на вході в сушарку становить 280–300 °С, газів на виході із сушарки 85–95 °С. Розпилена дріжджова суспензія висушується упродовж декількох секунд. Дріжджі нагріваються до температури не вище 60–65 °С, що забезпечує високу якість засвоюваного білка, вітамінів, а також кольору і структури.

В пневматичних солодівнях температуру повітря підтримують в межах 16–17 °С за відносної вологості 85 %. Солодоростильні ящики і барабани можуть обслуговуватися груповими або індивідуальними установками кондиціонування повітря. Для цього застосовують установки, що працюють за схемою з підведенням зовнішнього повітря та його рециркуляцією. Повітря охолоджують і зволожують у форсуночних камерах. Теплоносії – охолоджена до температури 7 °С вода. Температура відведеної води становить 9 °С. Для підвищення відносної вологості повітря до 98–100 % його додатково зволожують на виході із кондиціонера. Для відведення тепла в бродильному відділенні пивоварного заводу додатково монтують пристінні батареї, виготовлені із реберних або гладких труб. Холодоносієм служить розсіл хлористого натрію з температурою мінус 5 °С або гліколі (етиленгліколь, пропіленгліколь та ін.).

Відомо, що пивні дріжджі не витримують температури, вищої за 40 °С, тому перед бродінням пивне сушло охолоджують до температури бродіння у двохсекційному пластинчастому теплообміннику. Останнім часом на передових пивоварних заводах України використовують сумісний спосіб зброджування сусла і доброджування молодого пива в одному апараті – ЦКБА (циліндро-конічному бродильному апараті). В ЦКБА головне бродіння сусла відбувається за температури 12–14 °С, молоде пиво доброджують в перші дні за температури 4 °С, а далі завдяки штучному охолодженню температуру знижують до 0–1 °С. Для можливості охолодження бродильні апарати оснащені сорочками, в яких безперервно циркулює холодоносій – холодна вода з температурою близько 1 °С або пропіленгліколь з температурою мінус 4–мінус 5 °С.

У виробництві безалкогольних напоїв зварений до заданої концентрації гарячий сироп фільтрують і далі охолоджують в пластинчастих або трубчастих теплообмінниках у дві стадії:

спочатку водопровідною водою від температури 100 до 30–40 °С, а потім розсолем або пропіленгліколем до температури 10..15 °С. Для приготування газованої води вихідну воду пом'якшують, фільтрують, охолоджують в пластинчастих або кожухотрубних охолоджувачах до температури 1–4 °С і насичують діоксидом вуглецю в сатураторах під тиском 0,3–0,6 МПа. Чим більший тиск і нижче температура, тим краще газ розчинюється у воді. Оптимальною є температура води 1 °С.

У виробництві хлібного квасу квасне сусло з температурою 70 °С охолоджують до температури 23–25 °С у трубчастих або пластинчастих теплообмінниках у дві стадії. Тривалість бродіння становить 12–14 год. Для підтримання сталої температури бродіння сусла в апараті використовують холодоносії (охолоджену воду з температурою 1 °С або розсіл чи гліколі з температурою до мінус 5 °С). В кінці бродіння квас у бродильному апараті швидко охолоджують до температури 6–10 °С. Перед розливом в кеги готовий квас охолоджують до температури 8–10 °С у односекційних пластинчастих або трубчастих теплообмінниках. Після розливу готову продукцію передають в охолоджений склад або підвал з температурою 8–10 °С на зберігання.

У виноробстві у разі переробки винограду сусло перед відстоюванням охолоджують до температури 10–12 °С. При переробці винограду за «білим» способом під час бродіння у суслі підтримують температуру в межах 14–18 °С для марочних вин і 22–25 °С для ординарних вин. Температура в приміщенні під час витримки і зберігання столових вин в бочках повинна підтримуватися в межах 12–14 °С. При більш низьких температурах вино дозріває повільно, а при більш високих – може зіпсуватися. Для обробки холодом вино подають в теплообмінник–охолоджувач, в якому температура за 15–20 с доводиться до температури, близької до температури замерзання, яка залежить від вмісту спирту у вині. За такої температури осад (кристали винного каменю) випадає протягом двох діб. Для видалення дрібних кристалів вино витримують в холодильній камері протягом 7–15 діб, після чого вино фільтрують за цієї температури.

У виробництві шампанського України класичним пляшковим способом пляшки з тиражною сумішшю укладають у штабелі або контейнери на бродіння (30–45 діб) і витримують у горизонтальному положенні в приміщеннях з температурою 10–15 оС. На третьому році витримки шампанське (кюве) охолоджують до температури мінус 5–мінус 6 °С, проводять ремюаж (переводять осад на пробку), а далі дегоржаж (видалення осаду). Для цього осад заморожують у ваннах з ропою за температури від мінус 15 до мінус 18 °С. Осад у горловині замерзає приблизно через 78 хв.

У виробництві ігристих вин резервуарним способом холод використовують для обробки виноматеріалів, охолодження суміші (купажу і лікеру) після її нагрівання, регулювання температури під час бродіння в акратофорах, охолодження під час відстоювання вина, підтримання тиску під час розливу вина у пляшки. Для охолодження використовують розсіл з температурою мінус 5– мінус 10 °С. Охолодження шампанського в акратофорі ємністю 500 дал досягається не більше ніж за 18 год. При дотриманні технологічних і температурних режимів бродіння припиняють, охолоджуючи до температури мінус 3–4 °С для марок екстра брют, брют, екстрасухе і сухе та до мінус 4–5 °С для решти марок. Після охолодження вино відстоюють за температури охолодження не менше 48 год за сталою тиску і температури, після чого вино передають на розлив.

Висновки

Визначені оптимальні технологічні способи і режими оброблення холодом і сушіння сировини, напівфабрикатів і готової продукції для виробництва і зберігання продуктів бродіння: світлого і барвного солоду, хлібопекарських і сухих кормових дріжджів, пива, безалкогольних напоїв та ігристих вин.

Література

1. Технології сушіння: навч. посіб. / В.В. Шутюк, Т.М. Левківська, О.В. Душак та ін. Київ: Вид-во «АртЕк», 2024. 355 с.
2. Холодильні технології: навч. посіб. / В.В. Шутюк, О.С. Бессараб, О.В. Душак, В.І. Ємцев. Київ: ФОП Ямчинський О., 2022. 172 с.
3. Домарецький В.А. Технологія солоду та пива: Підручник. – Київ: «Фірма «ІНКОС», 2004. – 426 с.
4. Білько М.В., Куц А.М., Бабич І.М. Технологія вина з винограду та плодово-ягідної сировини: задачі і приклади: навч. посібник / Київ: Млин Медія, 2025. 322 с.