

621.56
М31



М.М. Масліков

ХОЛОДИЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ

ХАРЧОВИХ
ПРОДУКТІВ



Гриф Міністерства освіти і науки України
Лист № 14/18-Г-664 від 27.04.07 р.
+
УДК 621.56:664 (078.8)

М.М. Масліков, кандидат технічних наук

Рецензенти: **В.П. Оніщенко**, доктор технічних наук, професор Одеської державної академії холоду; **О.Ю. Майстренко**, член-кореспондент Національної академії наук України, доктор технічних наук, заступник директора з наукової роботи Інституту вугільних енерготехнологій НАН України; **В.Ф. Возний**, директор Українського НДІЕМ “Веста”, президент ВГО “Спілка холодильщиків України”, академік Міжнародної академії холоду

Масліков М.М. Холодильна технологія харчових продуктів: Навч. посіб. — К.: НУХТ, 2007. — 335 с.

ISBN 966-612-070-4

Розглянуто склад і властивості харчових продуктів, зміни, що відбуваються в них, способи холодильного оброблення, методи розрахунку режимів охолодження, заморожування, зберігання, прилади для контролю цих режимів. Наведено технології вироблення харчових продуктів, що найчастіше є об'єктами холодильного оброблення.

Для підготовки бакалаврів зі спеціальності “Холодильні машини і установки”.

ISBN 966-612-070-4

УДК 621.56:664

© М.М.Масліков, 2007
© НУХТ, 2007

ВСТУП

Найважливішим завданням агропромислового комплексу є цілорічне безперервне постачання населення якісними харчовими продуктами. Проте в умовах клімату України вироблення переважної більшості продуктів має сезонний характер, тому зберегти їх харчову цінність протягом цілого року можна лише консервуванням. Вибір способу консервування залежить від властивостей продукту, міри збереження його якості та харчової цінності після зберігання та вартості способу. Для більшості продуктів як рослинного, так і тваринного походження використовують холодильне консервування. Воно дає можливість запобігти псуванню, скоротити втрати сировини та продукції за мінімальної зміни властивостей первинного продукту.

Світове виробництво харчових продуктів становить близько 5 млрд т. З них лише 400 млн т проходять оброблення холодом (за потреби близько 2 млрд т). Через недостатність чи брак штучного охолодження у світі втрачається 20—30 % вироблених харчових продуктів, у тому числі 30—40 % урожаю плодів та овочів. Щороку у холодильне обладнання вкладається 170 млрд доларів, тоді як заморожених продуктів виробляється на 1200 млрд доларів і це виробництво щороку зростає на 10 %. У світі є понад 300 млн холодильних сховищ та 800—1000 млн домашніх холодильників.

Холодильне оброблення входить до більшості технологічних послідовностей вироблення харчових продуктів, його використовують для зберігання сировини, вироблення та

зберігання продукції. Оптимальним варіантом є створення холодильного ланцюга, яким продукт рухається від виробника до кінцевого споживача.

Основне завдання холодильної технології — обрати найраціональніші способи та режими холодильного оброблення харчових продуктів для максимального збереження їх якості за мінімальних витрат коштів. Для цього слід мати уявлення про склад і властивості харчових продуктів, технології їх вироблення, зміни, що відбуваються у сировині та продуктах під час вироблення та зберігання.

Холодильна технологія — це галузь знань і практичної діяльності, що вирішує завдання холодильного оброблення харчових продуктів, а також використання холоду для їх вироблення.

Холодильна технологія вивчає вплив холодильного оброблення на харчові продукти; визначає оптимальні режими холодильного оброблення з урахуванням особливостей продуктів і властивих їм змін; розробляє науково обґрунтовані методи зниження втрат маси та якості продуктів під час холодильного оброблення; розробляє нові способи холодильного оброблення харчових продуктів.

Виділяють п'ять основних процесів холодильної технології: охолодження, заморожування, холодильне зберігання, розморожування та теплення. На них ґрунтуються інші, похідні, процеси, такі як сублимаційне висушування, кріоконцентрування, кріоподрібнення, кріорозділення тощо.

Слід зазначити, що штучний холод використовується не лише у харчовій промисловості, а також і в інших галузях: гірничо-видобувній, хімічній, машинобудівній, у медицині, будівництві, на транспорті, у побуті та ін. Проте основною галуззю його використання залишається саме вироблення та зберігання харчової сировини та продукції. До того ж, упродовж холодильного оброблення у продуктах проходять складні біологічні та біохімічні процеси. Тому у даному підручнику розглядається лише холодильна технологія харчових продуктів: властивості харчових продуктів, як складних біохімічних систем, процеси, що відбуваються в них упродовж холодильного оброблення, способи, режими та обладнання для холодильного оброблення різноманітних харчових продуктів, технології виготовлення харчових продуктів, у яких використовують штучний холод.

Для успішного вивчення холодильної технології харчових продуктів слід використовувати знання з фізики (зокрема тепломасообміну), хімії, біохімії, біології, технології харчових виробництв і холодильної техніки. Така різноманітність методів і підходів пояснюється насамперед великою різноманітністю харчових продуктів і процесів, що відбуваються у них. Серед харчових продуктів є і кристалічний цукор, і плоди, у яких продовжується процес життєдіяльності впродовж зберігання, і м'ясні та молочні продукти, що є складними біохімічними системами. Крім того, на харчових продуктах розвиваються мікроорганізми (бактерії, пліснява та ін.), життєдіяльність яких загалом слід пригнічувати для поліпшення процесу зберігання. Але у деяких технологіях (наприклад вироблення кисломолочних продуктів), навпаки, слід створити умови для розвитку певних мікроорганізмів.

Пошуки способів охолодження та холодильного зберігання харчових продуктів людство веде з найдавніших часів. Спочатку використовувалися природні засоби: глибинні шари землі, де зберігалася стабільно низька температура (у льохах, у вічній мерзлоті), сніг або лід, зимове повітря (для заморожування). У райони, де природного льоду не було (арабські країни, південь Європи), його доправляли з півночі та з гірських районів сухопутним чи морським транспортом. У Стародавньому Єгипті використовувалися спеціальні поруваті посудини, у яких частина води частково просочувалася крізь стінки і випаровувалася, охолоджуючи решту води. Обдування сухим повітрям інтенсифікувало цей процес. У Індії з давніх часів і до XIX ст. використовували спосіб отримання льоду, що суміщав випарне та випромінювальне охолодження: широкі миски з водою ставили на солом'яних матах на дно неглибоких траншей на ніч. Завдяки випаровуванню води та випромінювальному теплообміну температура знижувалася настільки, що навіть при додатних температурах до ранку на поверхні води утворювався шар льоду. У XVI ст. у Європі почали використовувати розчинення селітри у воді, при цьому завдяки поглинанню теплоти розчинення відбувалося охолодження. У цей самий час у Європі поширилося використання льодосоляних сумішей, що плавилися при нижчих температурах, ніж лід. До XIX ст. випаровування та розчинення (змішування) були єдиними способами отримання штучного холоду [6]. У 1858 р. у США почалися холодильні перевезення продуктів у вагонах, що

охладжувалися льодом. Полуницю змішували з льодом і транспортували у такому вигляді. Пізніше фрукти та рибу почали транспортувати у вагонах, що охолоджувалися за допомогою льодосоляної суміші. Для транспортування мороженого м'яса з Південної Америки до Франції також використовували льодосоляну суміш. Деякі країни (зокрема Росія) експортували природний лід. Для перевезення льоду використовувалися спеціальні теплоізольовані залізничні вагони. У 70-х роках XIX ст. розпочався промисловий випуск обладнання для виготовлення льоду.

Значний стрибок у розвитку холодильної техніки та технології відбувся у другій половині XIX ст., коли впровадження холодильних машин відкрило можливості для підтримання певних температурних режимів холодильного оброблення. Тоді інтенсивно почало розвиватися виробництво м'яса в Америці та Австралії, а для його транспортування до Європи було необхідне заморожування. Вперше охолодження і заморожування м'яса здійснили на пропозицію Марта та Ніколе в Австралії у 1861 р. У 1866 р. вперше на пароплаві "Ріо-де-Жанейро" була встановлена холодильна установка Ш. Тельє (з парокомпресійною холодильною машиною на метиловому ефірі).

У 1874 р. К. Лінде (Німеччина) встановлює холодильні машини, що працювали на метиловому ефірі, на пивоварнях у Мюнхені та Трієсті. Згодом він удосконалив холодильну машину, застосувавши аміак. У 1870-х роках почали заморожувати м'ясо та рибу у промисловому масштабі, а у 1889 р. у США — ячний меланж.

У 1880—1890 рр. холодильна техніка дедалі вдосконалювалася, установка Тельє поступово витіснялася досконалішими установками, серед яких були водоаміачні абсорбційні (розроблені французом Ф. Карре у 1859 р.) та повітряні холодильні машини.

Холодильна техніка поступово впроваджувалася і у харчових технологіях: охолоджували м'ясо на бойнях і пиво на пивоварних заводах. На бойнях холодильні технології вперше було застосовано в 1873 р. у Техасі, на рік пізніше — у Німеччині. В 1889 р. на пивоварному заводі у місті Пльзень, одному з перших у Європі, змонтували аміачне холодильне обладнання.

У 1883 р. в Аргентині поширилося промислове заморожування м'яса, що значно полегшило його експорт до Європи,

де на той час через зростання міського населення різко зросла потреба у харчових продуктах. У 1900 р. Великобританія імпортувала близько 36000 т замороженого м'яса.

На початку ХХ ст. холодильне обладнання вже використовувалося на харчових підприємствах більшості європейських країн. Штучний холод використовувався для вироблення молочних продуктів, маргарину, шоколаду, а також для зберігання фруктів, овочів, м'яса, молока, риби, яєць. У Франції концентрували вина виморожуванням (кріоконцентрування).

У 1890—1910 рр. у США, Японії, Росії рибу охолоджували та заморожували за допомогою льодосоляних сумішей. Для цього намагалися використовувати природний лід, зокрема на рибних промислах Волги, Єнісею та Амуру. У 1910—1920 рр. Оттесен (Данія) та Заротченцев (Росія) розробили методи заморожування риби у розчині солі, охолоджену приблизно до температури замерзання. На початку 1940-х років з'явилися спеціалізовані риболовні судна, що являли собою плавучі рибозаводи. На них рибу переробляли та заморожували одразу після виловлення.

У 1904 р. у США поширився безперервний спосіб заморожування та розпочалося вироблення заморожених вершкових кремів. З 1905 р. заморожували дрібні фрукти, а згодом, після досліджень проведених у Каліфорнії, — значну кількість фруктів та овочів. Протягом 1910—1914 рр. Х. Горе у США проводить ряд дослідів із заморожування та кріоконцентрування фруктових соків.

Р. Колбе у 1925 р. впровадив спосіб заморожування у формах. В 1929—1930 рр. Кларенс Бердсай винайшов плиткові морозильні апарати та спосіб швидкого заморожування продуктів з подальшою доставкою їх до споживачів з використанням транспортних холодильників і продажем з охолоджуваних вітрин. З 1929 р. розпочато промислове заморожування овочів завдяки працям Джоскіна і Кріссе, які встановили необхідність попереднього бланшування овочів. Трохи згодом для пасажирів океанських лайнерів стали заморожувати молоко, готові страви і напівфабрикати, вироби з картоплі, хліб, борошністі вироби та інші продукти. У 1930-х роках і після закінчення Другої світової війни розпочалося інтенсивне будівництво великих холодильників.

З початку ХХ ст. фахівці з різних галузей знань (біологи, хіміки, фізики, медики тощо) ґрунтовно досліджували вплив холоду на різноманітні біологічні об'єкти. Узагальнення цих досліджень

наведені у працях Р. Планка, Г. Лорентцена, Д.А. Христовуло, Д.Г. Рютова, Г.Б. Чиждова, М.О. Головкіна, І.Г. Чумака.

Сучасні проблеми холодильної технології полягають у створенні та вдосконаленні безперервного холодильного ланцюга “виробник — продавець — споживач”. Це дасть можливість значно скоротити втрати харчових продуктів.

Запитання для самоперевірки

1. У чому полягає завдання холодильної технології?
2. Які основні процеси виділяють у холодильній технології?
3. Чому інтенсивний розвиток холодильної технології розпочався лише наприкінці XIX ст.?



ЗАГАЛЬНІ ОСНОВИ ХОЛОДИЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

1.1. ХІМІЧНИЙ СКЛАД І ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

1.1.1. Склад харчових продуктів

Харчові продукти містять багато різних за своєю природою речовин. Їх склад визначає теплофізичні та хімічні властивості продуктів, важливі для холодної технології.

1.1.1.1. Вода

Вміст води у харчових продуктах коливається у широких межах: від 0,1 (цукор-пісок) до 95 % (фрукти та овочі). За існуючою класифікацією виділяють вільну та зв'язану (гідратаційну) воду.

Вільна вода міститься в міжклітинному просторі продукту і є розчинником мінеральних речовин. Вона бере участь у біохімічних реакціях, осмотичних і дифузійних явищах. Крім того, вода є середовищем життєдіяльності для мікроорганізмів, що містяться у продуктах, тому вологовміст визначає стійкість продуктів під час зберігання. Зв'язана вода входить до колоїдних систем, властивості яких визначають численні взаємодії у харчових продуктах. Вміст зв'язаної води становить близько 10 % загального вологовмісту продукту.

Встановлено, що для харчових продуктів із вмістом води понад 15 % холодної обробки є неодмінною умовою зберігання. У процесах холодної обробки вода може перебувати у твердому (лід), рідкому та пароподібному станах, здійснювати фазові переходи.

1.1.1.2. Білки

Білки (протеїни) є основною складовою рослинних і тваринних клітин, а отже, і харчових продуктів. Це високомолекулярні сполуки, що складаються з амінокислот. Білки містять вуглець, водень, кисень, азот, сірку, інколи фосфор. За властивостями вони поділяються на прості (альбуміни, глобуліни, еластин, кератин, колаген та ін.) та складні (казеїн, хроматин), що містять молекулу простого білка і приєднану до неї молекулу іншої речовини. З білками надходять до організму амінокислоти, у тому числі незамінні, що є будівельним матеріалом для тканин організму, а також сприяють кровотворенню, нормальній роботі нервової та імунної систем.

Стан, у якому білки перебувають у живих рослинних і тваринних органах називається *нативним*. Але білки легко й швидко змінюються під впливом різних факторів, зокрема під час нагрівання чи охолодження. Цей процес називається *денатурацією*. Для раціонального зберігання білкових продуктів слід створювати такі умови, щоб денатураційні зміни були мінімальними.

1.1.1.3. Жири

Жири (ліпіди) дуже поширені в живій природі. Спільною для них є нерозчинність у воді і розчинність у органічних сполуках (ефіри, спирти тощо). Вони складаються з багатоатомних спиртів та органічних жирних кислот. До складу жиру може одночасно входити декілька жирних кислот, причому кислотний склад жиру визначає його фізико-хімічні властивості. Насичені жирні кислоти стійкі, ненасичені — легко окиснюються та полімеризуються. Жири поділяються на дві основні групи: нейтральні (гліцериди) та ліпоїди. Гліцериди — насичені ефіри гліцерину та жирних кислот. Ліпоїди (жироподібні речовини) в свою чергу поділяються на фосфатиди (лецитин, цефалін та ін.) і стерини (холестерин, фітостерин, ергостерин).

Харчова цінність жирів полягає у можливості накопичувати максимальну кількість енергії в одиниці маси, завдяки чому вони відіграють роль акумулятора енергії в організмі. Крім того, жири входять до складу багатьох тканин організму.

1.1.1.4. Вуглеводи

До вуглеводів належать усі прості цукри, або моносахариди (глюкоза, фруктоза, галактоза), а також речовини, що можуть бути перетворені в них шляхом гідролізу. Вони містяться в овочах, фруктах (глюкоза, фруктоза, крохмаль, целюлоза), цукрі (цукроза, глюкоза, фруктоза), молоці (лактоза), печінці (глікоген). Крохмаль і глікоген є резервними речовинами відповідно рослинних і тваринних організмів, за їх допомогою у організмах накопичується енергія, тому вуглеводи — основне джерело енергії, яку організм отримує з харчових продуктів.

1.1.1.5. Мінеральні речовини

Мінеральні речовини входять до складу продуктів у вигляді іонів натрію, калію, кальцію, магнію, заліза, міді, цинку, хрому, ванадію, сірки, фосфору, хлору, що перебувають у водному розчині. Вони сприяють збереженню кислотно-лужної рівноваги, підтриманню водного балансу, беруть участь у створенні та підтриманні осмотичного тиску у клітинах, а також у біохімічних реакціях. Нестача мінеральних речовин призводить до порушень у роботі організму. Так, нестача кальцію спричиняє хвороби кісток і сповільнення росту, йоду — захворювання, відоме як зоб, а заліза — хвороби крові.

1.1.1.6. Ферменти (ензими)

Ферменти є біокаталізаторами, що синтезуються живими організмами і прискорюють хімічні та біохімічні реакції у організмі. Для переведення поживних речовин у форму, що може бути засвоєна організмом, вони мають піддатися впливу одного чи кількох ферментів. Більшість ферментів руйнується при температурах понад 75 °C. Низькі температури не руйнують ферменти, проте роблять їх неактивними (деактивують). Ферменти поділяються на дві групи: гідролази та оксиредуктази. Гідролази — це ферменти-протеїни, що діють у присутності води. Вони здійснюють каталітичні реакції на зразок гідролізу, розщеплюючи складні речовини на більш прості. Оксиредуктази прискорюють окисно-відновні реакції. Знання властивостей ферментів і ферментативних процесів дає можливість обрати раціональний режим виробництва та холодильного оброблення продуктів.

Це біологічно активні органічні сполуки різної хімічної природи. Вони, як і ферменти, сприяють обміну речовин, але на відміну від ферментів не виробляються організмом, а надходять з їжею. Деякі вітаміни можуть утворюватися у людському організмі з провітамінів під впливом різних факторів, але провітаміни також надходять з їжею. Нестача вітамінів може спричинити різноманітні хвороби (авітамінози).

Вітаміни поділяються на водо- та жиророзчинні.

Водорозчинні вітаміни

Вітамін B₁ (тіамін) — сприяє роботі серця та нервової системи, відіграє важливу роль у вуглеводному та енергетичному обміні. Через брак у їжі цього вітаміну спричиняється хвороба бері-бері (її симптомами є дистрофія та дегенерація). Вітамін B₁ міститься в крупах (овес, пшениця, гречка), зародках пшениці, м'ясі (свинині), печінці, горіхах, бобових, картоплі та дріжджах.

Вітамін B₂ (рибофлавін) — бере участь в обміні речовин, у синтезі гемоглобіну та підтриманні нормальної структури слизових оболонок, нормалізує функції очей. Нестача вітаміну B₂ спричиняє хвороби шкіри та очей. Він міститься в зернах злаків, ячному жовтку, печінці, ікрі, молоці, м'ясі, сирі.

Вітаміни B₃ (ніацин) та PP (нікотинова кислота, нікотинамід) — стимулюють кровотворення, сприяють зниженню рівня холестерину в крові, покращують роботу нервової системи та системи травлення. Нестача цих вітамінів спричиняє хвороби шкіри, нервової та ендокринної систем, зокрема пелагру. Вони містяться в печінці, нирках, м'ясі, молоці, рибі, зелені, овочах, фруктах, бобових, гречаній крупі, дріжджах.

Вітамін B₅ (пантотенова кислота, пантотенат кальцію) — посилює кровотік, знижує зсідання крові, прискорює травлення, необхідний для передачі нервового імпульсу. Нестача вітаміну B₅ призводить до порушення розвитку, сну, хвороб шкіри та волосся, з'являються болі у животі, нудота, судоми. Цей вітамін міститься у печінці, нирках, ячному жовтку, ікрі, рибі, горосі, дріжджах.

Вітамін B₆ (піридоксин) — регулює засвоєння білків, жирів, вуглеводів, необхідний для живлення нервових волокон

і тканин м'язів. Нестача вітаміну B_6 призводить до порушення обміну заліза, змінюючи структуру гемоглобіну. Цей вітамін міститься у горосі, квасолі, зародках пшениці, печінці, нирках, яловичині, дріжджах.

Вітамін B_9 (фолієва кислота) — формує еритроцити, активізує імунну систему, необхідний для роботи нервової системи. Нестача вітаміну B_9 призводить до анемії та запалень слизових оболонок. Він міститься у свіжих зелених листових овочах, фруктах, печінці, нирках, дріжджах.

Вітамін B_{12} (ціанокобаламін) — регулює процес дозрівання еритроцитів та утворення гемоглобіну. Істотно впливає на обмін вуглеводів, жирів, деяких амінокислот. Сприяє роботі печінки та нервової системи. Нестача вітаміну B_{12} призводить до анемії. Він міститься у печінці, яловичині, свинині, яйцях, молоці та кисломолочних продуктах.

Вітамін B_{15} (пангамова кислота, пангамат кальцію) — покращує працездатність і роботу серця, є потужним антиоксидантом. Міститься в оболонці зерен рису, пивних дріжджах.

Вітамін С (аскорбінова кислота) — найвідоміший з вітамінів. Активізує імунну систему організму, зв'язує та виводить токсини, необхідний для формування кісткової та з'єднувальної тканин. Нестача вітаміну С призводить до серцевих нападів, інсультів, тромбозів, кровоточивості слизових оболонок, а також до виникнення цинги — хвороби, що супроводжується руйнуванням ясен. Міститься у плодах шипшини, капусти, цитрусових, ягодах, помідорах, картоплі.

Вітаміни групи D (ергокальциферол, колекальциферол) — регулюють обмін кальцієм та фосфору в організмі, а також процес побудови кісток та епітеліальної тканини, нормалізують діяльність кровотворної та імунної систем. Нестача призводить до хвороб кісток. Містяться у риб'ячому жирі, яєчному жовтку, молоці та молокопродуктах, печінці. Утворюються в організмі під впливом сонячного опромінення.

Вітамін H (біотин) — бере участь у кровотворенні, обміні жирів і вуглеводів. Міститься в печінці, нирках, яєчному жовтку, цвітній капусті, горіхах, бобових, дріжджах.

Вітамін Р (рутин) — зміцнює капіляри, має проти-запальну дію. Міститься у плодах шипшини, цитрусових, чорній смородині, горобині, горіхах, зеленому чаї.

Жиророзчинні вітаміни

Вітамін А (ретинол) — стимулює імунну та нервову системи, покращує зір, стимулює регенерацію шкіри та ріст кісток. Нестача призводить до погіршення зору. Вітамін А є синергістом вітаміну Е, тобто вони підсилюють дію один одного. Міститься у печінці тріски, риб'ячому жирі, вершковому маслі, яєчному жовтку, темно-зелених листових овочах (шпинат, салат, петрушка, зелена цибуля, щавель). У стиглих жовто-червоних овочах і фруктах (морква, червоний перець, абрикоси, персики) міститься бета-каротин, що в організмі перетворюється на вітамін А.

Вітамін Е (токоферолу ацетат) є природним антиоксидантом, захищає ліпіди клітинних мембран від руйнування, бере участь у формуванні міжклітинної речовини, з'єднувальної тканини, м'язів, судин. Багаті на вітамін Е олії (соняшникова, кукурудзяна, соєва, арахісова, оливкова, обліпихова), листові овочі, молоко, яйця.

Вітамін К (менадіон) — бере участь у біохімічних процесах, що нормалізують зсідання крові. Міститься у листових овочах (капуста, шпинат), свинині, печінці, оліях.

Переважаюча більшість вітамінів руйнується під впливом підвищеної температури, сонячного світла, алкоголю. Харчові продукти є єдиним джерелом вітамінів, тому необхідність максимального збереження або підвищення їх вмісту диктує способи оброблення та зберігання продуктів.

1.1.2. Колоїдно-хімічні властивості харчових продуктів

1.1.2.1. Будова колоїдних систем

Харчові продукти можна розглядати як дисперсні або колоїдні системи, тобто системи, що складаються з двох і більше компонентів (фаз). Щонайменше одна фаза — дисперсна фаза — розподілена у вигляді дрібних часток у іншій фазі — дисперсійному середовищі. Існує декілька типів дисперсних систем (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Типи дисперсних систем

Дисперсійне середовище	Дисперсна фаза		
	Газ	Рідина	Тверде тіло
1	2	3	4
Газ	—	Аерозоль (туман)	Аерозоль (дим)

1	2	3	4
Рідина	Піна	Золь (емульсія)	Золь (суспензія)
Тверде тіло	Гель	Гель	Твердий золь

Системи поділяються за ступенем подрібнення часток (дисперсністю) (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

Класифікація систем за дисперсністю

Назва	Розмір часток, м	Приклад
Дисперсії (суміші)	$10^{-6}—10^{-7}$	Вода + пісок
Дисперсоїди	$10^{-7}—10^{-9}$	Вода + крохмаль
Дисперсиди (розчини)	$< 10^{-9}$	Вода + кухонна сіль

Колоїдні системи займають проміжне положення між розчинами і механічними сумішами. Розміри колоїдних часток на декілька порядків перевищують розміри молекул дисперсійного середовища, тому на поверхні часток відбувається адсорбція молекул дисперсійного середовища. Адсорбційний шар, що утворюється на поверхні кожної з часток, має однойменний заряд, що не дає можливості часткам дисперсної фази об'єднуватись. Тому колоїдні системи стійкіші за фізичні суміші.

Для холодильної технології найцікавіші колоїдні системи — золі та гелі, у яких дисперсійним середовищем є вода, а дисперсною фазою — органічні речовини продуктів (білки, полісахариди). Вода, адсорбована колоїдними частками дисперсної фази, перебуває у зв'язаному стані. Завдяки великій сумарній поверхні часток вміст такої води у колоїдних системах значний. Під впливом адсорбційних сил зв'язана вода стискається, тому її властивості відрізняються від властивостей вільної води. Для холодильної технології найважливішим є те, що зв'язана вода — поганий розчинник і замерзає при нижчій температурі, ніж вільна вода. З наближенням температури розчину до точки замерзання вміст зв'язаної води зростає.

Живі організми майже повністю складаються із золів і гелів, що мають різний вміст води. Золі та гелі складаються з міцел, що являють собою електрично заряджену колоїдну частку, оточену шаром молекул води (рис. 1.1).

крупніші частки. Цей процес називається коагуляцією. Їй сприяють усі явища, що викликають зменшення електричного заряду часток (наприклад адсорбція електролітів) чи їх водної оболонки (наприклад уведення у дисперсійне середовище речовин, що утворюють гідрати). Також коагуляція може відбуватися внаслідок механічного перемішування, зміни концентрації, нагрівання, охолодження, заморожування, під впливом світла та інших факторів.

Під час коагуляції полідисперсних золів, що містять частки різного розміру, спочатку коагулює грубодисперсна (крупніша) фаза, а потім високодисперсна (дрібніша). Міра коагуляції різних складових продуктів залежно від різних способів заморожування та зберігання при низьких температурах визначає придатність того чи іншого методу холодильного оброблення.

Колоїдні розчини мають схильність до піноутворення. Піни являють собою концентровані емульсії газів (див. табл. 1.1). Для утворення піни у розчині мають бути присутні речовини, що сприяють цьому (піноутворювачі), розчини яких є поверхнево активними: органічні кислоти та їх солі (мило), колоїди (білки, пектин). Стійкість піни залежить від міцності адсорбційної плівки, створеної піноутворювачем. За колоїдних піноутворювачів стійкість піни зростає зі збільшенням їх концентрації. Випаровування у відкритій посудині зменшує стійкість піни.

У харчовій технології піноутворення спостерігається під час оброблення молока, заморожування риби у розсолі тощо. Воно шкідливе, бо не дає можливості повністю використовувати об'єм посудин, ускладнює експлуатацію обладнання та дотримання санітарних умов. Для боротьби з піноутворенням використовують піногасники — речовини, що витісняють з поверхневого шару піноутворювач і знижують міцність плівки, внаслідок чого вона руйнується. До піногасників відносять етиловий спирт, жирні кислоти та деякі інші речовини.

1.1.3. Фізичні властивості харчових продуктів

Фізичні властивості харчових продуктів суттєво залежать від їх хімічного складу. Для вивчення процесів холодильної технології найважливішими з них є теплофізичні: густина (ρ , кг/м³), питома ентальпія (h , Дж/кг), питома теплоємність (c , Дж/(кг·К)), тепло- та

температуропровідність. Чисельні значення останніх двох визначаються коефіцієнтами: λ — коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К); a — коефіцієнт температуропровідності, м²/с.

Продукти умовно вважають двокомпонентними системами, що містять воду та сухі речовини, тому їх питому теплоємність визначають за формулою

$$c = c_w W + c_c (1 - W), \quad (1.2)$$

де W — вологовміст продукту, кг/кг; c_w , c_c — питомі теплоємності відповідно води та сухих речовин, Дж/(кг·К). Питома теплоємність води становить 4,19 кДж/(кг·К). Питома теплоємність сухих речовин більшості продуктів тваринного походження лежить у межах 1,34—1,68 кДж/(кг·К), рослинного — близько 0,91 кДж/(кг·К). За рахунок того, що питома теплоємність води значно вища, ніж у сухих речовин, зростання вологовмісту продукту приводить до зростання теплоємності.

Питома теплоємність майже всіх продуктів (при температурах, вищих, ніж точка замерзання) мало залежить від температури. Винятком є лише продукти, що містять жири, зміна теплоємності яких від температури пояснюється зміною агрегатного стану жирової частини та виділенням теплоти фазового переходу.

Коефіцієнт теплопровідності харчових продуктів можна наближено визначити за формулою

$$\lambda = \lambda_w + \lambda_c (1 - W), \quad (1.3)$$

де λ_w — коефіцієнт теплопровідності води, що дорівнює 0,60 Вт/(м·К); λ_c — коефіцієнт теплопровідності сухих речовин, що дорівнює 0,26 Вт/(м·К).

У діапазоні температур 0—30 °С теплопровідність продукту змінюється незначно, а після заморожування значно зростає, бо теплопровідність льоду у чотири рази вища, ніж у води.

Коефіцієнт температуропровідності продукту, a , м²/с, характеризує швидкість поширення у ньому температурного фронту.

$$a = \lambda / c\rho, \quad (1.4)$$

де λ — коефіцієнт теплопровідності продукту, Вт/(м·К); c — питома теплоємність продукту, Дж/(кг·К); ρ — густина продукту, кг/м³. Він є практично сталим, але з початком заморожування різко зменшується. Це спричинено виділенням теплоти кристалізації. За подальшого зниження температури коефіцієнт температуропровідності зростає і стабілізується після повного вимерзання води.

Густина продуктів значно змінюється навіть для одного й того самого продукту залежно від способу його оброблення, температури, вологовмісту тощо.

Для розрахунків кількості відведеної від продукту теплоти користуються *питомою ентальпією* продукту. Її значення приймають рівним нулю при певній температурі (як правило, -20°C). Користуючись для розрахунків даними з різних джерел, слід переконатися, що початок відліку ентальпій у цих джерелах збігається.

Для розрахунків вологообміну між продуктом і повітрям використовують *рівноважну відносну вологість повітря*, тобто таку, що встановиться над поверхнею продукту з певним вологовмістом при певній температурі. Графічно вона зображується ізотермами сорбції.

До фізичних властивостей відносять також *кріоскопічну температуру* продукту. Кріоскопічною температурою називають температуру початку замерзання розчину, або рідкої фази продуктів — тканинного соку, що є складним дисоційованим колоїдним розчином, якому відповідає кріоскопічна температура $-0,5...-5^{\circ}\text{C}$. Вона залежить від властивостей розчину (концентрації, ступеня дисоціації розчинених речовин та ін.).

Кріоскопічну температуру для розчину чистої речовини можна розрахувати за формулою

$$t_{\text{кр}} = t_{\text{кр}}^{\text{води}} - Km, \quad (1.5)$$

де $t_{\text{кр}}^{\text{води}}$ — кріоскопічна температура води, $t_{\text{кр}}^{\text{води}} = 0^{\circ}\text{C}$; K — кріоскопічна стала води, $K = 1,84$; m — моляльна концентрація розчину (моль речовини / кг води). Проте більшість харчових продуктів не є чистими речовинами, тому кріоскопічні температури для них визначаються, як правило, дослідним шляхом.

Всі зазначені фізичні характеристики харчових продуктів визначаються за довідковою літературою. Теплофізичні характеристики деяких харчових продуктів і матеріалів наведені у дод. 1.

1.1.4. Енергетична цінність харчових продуктів

Речовини харчових продуктів у організмі вступають у хімічні та біохімічні реакції, наслідком яких є виділення енергії. Ця енергія використовується організмом для підтримання процесів життєдіяльності. Вміст енергії (у кДж або ккал) у 100 г продукту називають калорійністю або енергетичною цінністю продукту.

Якщо розглянути повний продовольчий ланцюг, що складається з вирощування, збирання врожаю, переробки, пакування, зберігання, розподілу і приготування їжі, то співвідношення між енергією, необхідною для вироблення, зберігання і розподілу харчових продуктів, і тією енергією, що міститься у них, дорівнює приблизно 10 кДж/кДж. З огляду на те, що світовий продовольчий ланцюг споживає 15—20 % світової енергії, важливо досягти зменшення цього співвідношення шляхом проведення політики енергозбереження на всіх ланках продовольчого ланцюга, зокрема під час холодильного оброблення.

Запитання для самоперевірки

1. Яку роль у організмі людини відіграє вода?
2. Яку роль у організмі людини відіграють білки? У яких продуктах міститься велика кількість білків? Які зміни властиві білкам та під впливом яких факторів вони проходять?
3. Яку роль у організмі людини відіграють жири? У яких продуктах міститься велика кількість жирів? Які зміни властиві жирам та під впливом яких факторів вони проходять?
4. Яку роль у організмі людини відіграють вуглеводи? У яких продуктах міститься велика кількість вуглеводів? Які зміни властиві вуглеводам?
5. Яку роль у організмі людини відіграють вітаміни? Чому слід дбати про максимальне збереження вітамінів у продуктах?
6. Що таке колоїдна система? Чим вона відрізняється від суміші та розчину?
7. Чому міцели колоїдної системи не об'єднуються у більші частки?
8. Як і чому відбувається коагуляція колоїдних систем?
9. Чим шкідливе піноутворення у холодильній технології?
10. Якими показниками характеризуються теплофізичні властивості харчового продукту?
11. Як залежить питома теплоємність продукту від його вологовмісту?
12. Як і чому змінюється коефіцієнт теплопровідності продукту після заморожування?
13. Що таке рівноважна відносна вологість повітря?
14. Що таке кріоскопічна температура продукту? Від чого вона залежить?
15. Чому важливою для споживача є енергетична цінність продукту?

1.2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ХОЛОДИЛЬНОГО КОНСЕРВУВАННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

1.2.1. Псування харчових продуктів

Під час зберігання при кімнатній температурі деякі харчові продукти, зокрема цукор, борошно, крупи, не псуються протягом тривалого часу. За подібних умов інші продукти зазнають значних змін смаку, запаху, кольору та консистенції внаслідок значного вмісту води та органічних сполук. Такі продукти називають швидкопсувними. До них належать м'ясо та м'ясопродукти, риба та морепродукти, молоко та молочні продукти, яйця, тваринні та рослинні жири, свіжі плоди та овочі, фруктові соки, пиво та ін.

Види псування харчових продуктів можна визначити кількома способами. Як правило, харчовий продукт вважається зіпсованим, якщо він стає неприйнятним для споживача. Псування є причиною виникнення проблем безпеки харчування, коли продукт може спричинити захворювання споживача чи навіть його смерть. Менш серйозні випадки псування продукту виявляються у погіршенні його смаку, аромату, кольору. Внаслідок псування знижується харчова цінність продукту через зменшення вмісту поживних речовин. Час, за який харчовий продукт перестає відповідати хоча б одному з зазначених критеріїв, називають *терміном зберігання* харчового продукту.

Процеси, що призводять до псування, поділяють на три основні типи: фізичні, хімічні та мікробіологічні (табл. 1.3). Між ними існує певна кореляція — псування, спричинене процесами одного типу, може сприяти розвитку процесів іншого типу.

Таблиця 1.3

Процеси псування продуктів [4]

Продукт	Процеси псування	Сприятливі фактори
1	2	3
Свіже м'ясо	Ріст мікроорганізмів, окиснення, втрата вологи	Температура, кисень, світло, вологість
Свіжа птиця	Ріст мікроорганізмів	Температура, кисень
Свіжа риба та морепродукти	Ріст мікроорганізмів, окиснення	Температура, кисень

1	2	3
Свіжі овочі та фрукти	Дихання, ріст мікроорганізмів, втрата вологи	Температура, кисень, вологість
Заморожене м'ясо	Окиснення, температурний опік (зневоднення), виморожування вологи, зміна структури	Температура, кисень, вологість
Інші заморожені продукти	Окиснення, виморожування вологи, зміна структури	Температура, кисень

До псування продуктів призводять такі фактори: вплив кисню повітря та сонячних променів; зависока температура; активність води a_w (відношення парціального тиску водяної пари над поверхнею продукту до тиску насичення при даній температурі), що відповідає відносній вологості повітря над поверхнею продукту; діяльність тканинних ферментів; життєдіяльність мікроорганізмів; наявність у продукті певних речовин.

Псування першого типу відбувається внаслідок структурних змін чи структурної нестабільності харчових продуктів (механічні пошкодження, втрата або сорбування вологи, міграція вологи всередині продукту тощо).

Псування другого типу спричиняється хімічними та біохімічними реакціями, що проходять у продукті — розкладання білків, окиснення жирів, гідроліз вуглеводів тощо. Швидкість цих реакцій залежить від багатьох факторів: температури, активності води, рН, освітлення, парціального тиску кисню та ін.

Псування третього типу — наслідок життєдіяльності мікроорганізмів — бактерій, грибів (плісняви, дріжджі), вірусів та мікропаразитів. Продукти їх життєдіяльності, що накопичуються у продуктах, стають причиною псування, а в окремих випадках можуть спричинити тяжкі захворювання і навіть смерть. Це основний вид псування для свіжих фруктів, овочів, соків, м'яса, птиці, хлібобулочних виробів, молока та молочних продуктів. Інтенсивний ріст мікроорганізмів починається з досягненням порогових умов росту. Перелік основних мікроорганізмів, що спричиняють псування харчових продуктів та порогові умови їх росту наведено у табл. 1.4.

1.2.2. Принципи консервування харчових продуктів

Завдання консервування — зберегти харчові продукти протягом максимально можливого терміну за умови мінімальних втрат продукту і максимального збереження смакової та харчової цінності. Для цього застосовуються різні методи оброблення, що поділяють на такі групи:

фізичні — використання високих чи низьких температур, випромінень, ультразвуку, фільтрації;

фізико-хімічні — сушіння, засолювання, зацукрювання;

Таблиця 1.4

Мікроорганізми, що спричиняють псування харчових продуктів та отруєння

Мікроорганізми	Порогові умови росту			Харчові продукти
	t, °C	a _w	pH	
1	2	3	4	5

Мікроорганізми, що спричиняють псування

Бактерії

Молочнокислі бактерії	4	0,94	3,5	М'ясо у вакуумній упаковці, молоко
Мікрококки	4	0,9	5,0	Свіже і в'ялене м'ясо
Acinetobacter spp.	1	0,96	5,5	Свіже м'ясо, птиця, молоко
Bacillus subtilis	5	0,95	4,2—5	Свіже м'ясо, птиця, молоко, хліб
Enterobacter aerogenes	2	0,95	5—5,5	Свіже м'ясо, птиця
Pseudomonas spp.	<0	0,97	5,5	М'ясо, птиця, яйця

Гриби

Aspergillus niger	0	0,8	1,2	Продукти м'ясопереробки
Botrytis cinerea	-2	0,93	2,5	Продукти м'ясопереробки
Penicillium spp.	-6	0,78—0,9	1,9	М'ясо
Rhizopus stolonifer	5	0,93	2,5	Свіже м'ясо

Дріжджі

Candida spp.	0	0,7	1,3	М'ясо, птиця, молочні продукти, морепродукти
Trichosporon spp.	0	0,87	2,0	М'ясо, морепродукти

Бактерії, що є збудниками хвороб

Bacillus cereus	10	0,92	4,9	Свіже м'ясо, риба
Campylobacter jejuni	25	0,95	4,9	М'ясо

1	2	3	4	5
<i>Escherichia coli</i> O157:H7	15	0,95	4,0	М'ясо, птиця
<i>Listeria monocytogenes</i>	0	0,92	4,3	М'ясо, птиця, молочні продукти
<i>Salmonella</i> spp.	7	0,94	4,0	М'ясо, птиця
<i>Staphylococcus aureus</i>	6	0,86	4,0	М'ясо, птиця
<i>Staphylococcus aureus</i> (утворення токсину)	10	0,9	4,5	М'ясо, птиця
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	5	0,94	4,8	Риба, морепродукти
<i>Yersinia enterocolitica</i>	-2	0,96	4,2	Свіже м'ясо, морепродукти

хімічні — застосування спеціальних хімічних речовин — консервантів. Консерванти не повинні змінювати властивості та смак продуктів та бути шкідливими для людини. З цих міркувань використання деяких консервантів у ряді країн заборонено. До дозволених в Україні належать етиловий спирт, оцтова, сірчиста, бензойна, сорбінова кислоти та деякі їх солі, борна кислота, уротропін, деякі антибіотики, озон, вуглекислий газ та ін;

біохімічні (квашення та ін.) — ґрунтуються на пригнічувальній дії молочної кислоти, що утворюється внаслідок зброджування цукрів продукту молочнокислими бактеріями;

комбіновані (копчення та ін.) — передбачають застосування декількох методів водночас.

Для збереження продукту слід обмежити чи усунути впливи мікроорганізмів і ферментів, що за природою є біологічними. За класифікацією проф. Я.Я. Никитинського, відповідно до впливу на біологічні фактори псування всі методи консервування зведені до чотирьох принципів:

біоз (підтримання життя) — підтримання життєдіяльності у продуктах і використання їх природної здатності опиратися дії мікроорганізмів. Приклади: транспортування живої риби у цистернах, передзабійне утримання худоби, зберігання плодоовочевої сировини без охолодження та обробки;

анабіоз (пригнічення життя) — пригнічення життєдіяльності мікроорганізмів і активності ферментів за допомогою фізичних і хімічних методів. Приклади: висушування, засолювання, маринування, зберігання за підвищеного вмісту вуглекислого газу, холодильне консервування;

ценоанабіоз, або *кеноанабіоз* (вибіркове пригнічення життя) — пригнічення шкідливих мікроорганізмів шляхом створення умов, сприятливих для розвитку корисних мікроорганізмів (можуть окремо вводитися у продукт у вигляді закваски) та несприятливих для патогенної мікрофлори. Приклади: квашення, виготовлення кисломолочних продуктів;

абіоз (відсутність життя) — повне припинення життєдіяльності мікроорганізмів. Приклади: стерилізація (нагрівання до температури понад 100 °C), пастеризація (нагрівання до температури до 100 °C), опромінення, використання антисептиків чи антибіотиків, стерилізаційна фільтрація.

Під час вибору методу консервування слід керуватися не лише рівнем гальмування мікробіологічних процесів (тобто можливою тривалістю зберігання), а й збереженням первинних смакових якостей і харчової цінності продукту, а також економічністю процесу.

1.2.3. Способи холодильного оброблення

За трьома критеріями, зазначеними вище, найдоцільнішим є холодильне консервування. Існують такі способи холодильного оброблення продуктів:

охолодження — відведення теплоти від продукту зі зниженням його температури без утворення льоду. Цей спосіб може використовуватися як окремо, так і передувати подальшому холодильному обробленню;

переохолодження (підморожування) — охолодження продукту до температури, нижчої за криоскопічну, що супроводжується частковою кристалізацією води у поверхневому шарі продукту. Переохолоджені продукти можуть зберігатися у 2—2,5 рази довше, ніж охолоджені;

заморожування — відведення теплоти від продукту зі зниженням його температури значно нижче за криоскопічну, що супроводжується кристалізацією більшості води продукту. Значно подовжує тривалість зберігання;

доморожування — відведення теплоти від частково замороженого продукту зі зниженням його температури до заданого рівня;

отеплення — підведення теплоти до охолоджених продуктів з підвищенням їх температури до температури довкілля або дещо нижчої;

розморожування — підведення теплоти до заморожених продуктів з метою плавлення льоду, що міститься в них. Вода, що утвориться при цьому, має якнайповніше поглинутися тканинами продукту.

Холодильне оброблення може тривати протягом різного часу: від кількох хвилин до кількох діб, що впливає на якість продуктів.

Холодильне зберігання — це зберігання продуктів у заданому режимі в камері після холодильного оброблення. Воно може тривати від кількох діб до кількох років.

Режимом холодильного оброблення (зберігання) називають сукупність параметрів та умов, що впливають на якість продуктів (температура, відносна вологість, швидкість руху повітря, склад газового середовища, спосіб розміщення, тривалість процесу).

1.2.4. Вплив низьких температур на організми

1.2.4.1. Вплив на мікроорганізми

Мікроорганізми в процесі життєдіяльності виділяють у навколишнє середовище екзоферменти, під дією яких склад продуктів значно змінюється. Так само негативно діють ендоферменти, що виділяються внаслідок відмирання мікроорганізмів. У процесі розмноження мікроорганізмів у харчовому продукті відбувається розпад органічних речовин і накопичуються метаболіти — продукти обміну речовин (іноді отруйні), що негативно впливають на якість продукту. Зазначені зміни залежать від кількісного і якісного складу мікрофлори продукту і від навколишнього середовища.

За ставленням до температури мікроорганізми поділяють на три групи: *термофіли* (розвиваються при температурах 20—80 °С, оптимально — при 50—75 °С), *мезофіли* (5—57 °С), та *психрофіли* (–10...10 °С). Для холодильної технології найцікавішими є психрофіли. Їх поділяють на факультативні, які здатні жити в тих самих умовах, що й мезофіли, та облигатні, які можуть розмножуватися лише при низьких температурах. Психрофільні бактерії активно розмножуються на продуктах з малою кислотністю — на м'ясі, рибі, некислих молочних продуктах при температурах –5...–8 °С.

Більшість плісняв є психрофільними і активно розвиваються на заморожених продуктах, насамперед кислих (сир).

Вони припиняють розмножуватися при $-2...-3^{\circ}\text{C}$, але окремі види пліснев припиняють розмножуватися лише при $-8...-10^{\circ}\text{C}$. На поверхні мороженого м'яса, що зберігається при температурі, вищій ніж -8°C , з'являються окремі колонії плісневих грибів. Міцелій гриба проникає у товщу продукту, утворюючи спори (для грибів і дріжджів вони є не тільки засобом захисту від несприятливих зовнішніх факторів, а й засобом розмноження). Пліснява починає розмножуватися, утворюючи білі, сірі та чорні плями на поверхні продукту. У самому продукті накопичуються продукти життєдіяльності пліснев, з'являється неприємний запах.

Існує вісім фаз розвитку мікроорганізмів у часі:

1. Лаг-фаза — характеризується сталою кількістю бактеріальних клітин. Мікроорганізми звикають до довкілля, внаслідок чого може зменшитися їх кількість. Тривалість лаг-фази залежить від виду мікроорганізмів і поживного середовища. У разі зниження температури вона подовжується.

2. Фаза прискорення росту — початок розмноження мікроорганізмів.

3. Логарифмічна фаза росту — бурхливе розмноження. У разі зниження температури воно відбувається повільніше.

4. Фаза вповільнення росту.

5. Максимальна стаціонарна фаза — на цій стадії за сталих умов кількість мікроорганізмів практично не змінюється (до 10^9-10^{10} шт/г). Розвиток і відмирання відбуваються з однаковою інтенсивністю.

6. Фаза прискорення загибелі мікроорганізмів — створюються несприятливі умови для обміну речовин.

7. Фаза загибелі — мікроорганізми швидко гинуть під впливом власних продуктів життєдіяльності.

8. Кінцева стаціонарна фаза (фаза адаптації).

Для живих організмів також існують температурні зони життєдіяльності (рис. 1.2). У зоні (а) життєдіяльність організмів різко обмежена (стан глибокого анабіозу). У зонах (б) та (г) організми перебувають у стані спокою або слабкої активності. У зоні (в) (зона оптимальних температур) відбувається найактивніша життєдіяльність, організми інтенсивно розмножуються. У зоні (д) життя відсутнє. Для холодильної технології найцікавішою є зона (б) та нижня частина зони (в), де відбуваються процеси холодильного оброблення та зберігання продуктів.

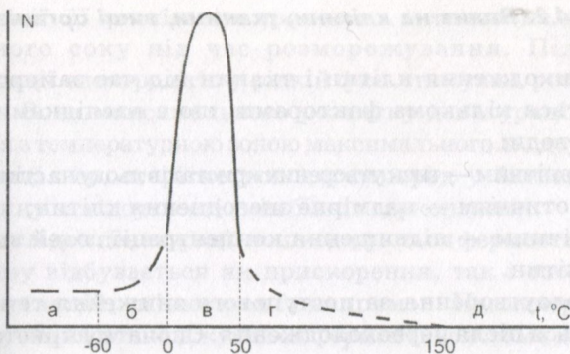


Рис. 1.2. Температурні зони життєдіяльності
(N — кількість видів живих організмів)

Мікроорганізми бувають чутливими, помірно стійкими та нечутливими до від'ємної температури. Чутливими є грам-негативні бактерії, що належать до груп солі, і сальмонели. Стійкішими є грам-позитивні мікроорганізми, зокрема *Streptococcus aureus*. Найстійкішими є ґрунтові бактерії. Стійкість мікроорганізмів до впливу від'ємних температур залежить від трьох факторів: температури, швидкості її зниження і тривалості впливу. Мікроорганізми можуть переходити у спорову форму. Спори, вкриті щільною оболонкою, і значно стійкіші до дії як низьких, так і високих температур.

Вплив від'ємних температур на мікроорганізми полягає у зміні стану води в клітині. Утворення льоду призводить до підвищення концентрації розчинених мінеральних речовин як у клітині, так і поза нею. Розчин набуває властивостей електроліту, що спричиняє денатурацію білків та пошкодження оболонки клітин.

Навіть без утворення льоду мікроорганізми можуть загинути через холодовий шок. Його причиною є швидке зниження температури, внаслідок чого змінюється активність ферментів і порушується динамічна рівновага біохімічних процесів, що супроводжується накопиченням у клітинах токсичних метаболітів. Також можливі структурні зміни у клітині: розклад нуклеїнових кислот, руйнування ліпідних мембран, зростання в'язкості протоплазми аж до утворення гелю та відділення рідкої фази. За поступового зниження температури клітина може адаптуватися до зміни умов і вижити.

1.2.4.2. Вплив на клітини, тканини, вищі організми

Пошкодження клітин і тканин під час заморожування пояснюється кількома факторами, що є наслідками виморожування води:

механічним — тиск утворених кристалів льоду на стінки клітин;

осмотичним — надмірне зневоднення клітин;

хімічним — підвищення концентрації солей зовні і всередині клітин.

Льодоутворення за поступового зниження температури починається після переохолодження. Спочатку кристали льоду утворюються у міжклітинній рідині, концентрація розчинених речовин у ній починає зростати (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Зміни в клітині під час заморожування

За рахунок різниці концентрацій вода переходить із клітин до міжклітинного розчину, внаслідок чого у ньому ростуть кристали та зневоднюються клітини. Далі процес кристалізації може початися у самих клітинах. У разі швидкого зниження температури кристалізація одночасно проходить і у міжклітинному розчині, і у клітинах.

Зниження температури продукту до $-8...-10^{\circ}\text{C}$ супроводжується інтенсивним льодоутворенням, різким зростанням концентрації розчинених хімічних сполук в рідкій фазі продукту, зменшенням її об'єму, зближенням молекул. При цьому створюються умови для структурної перебудови білкових молекул, виникнення міжмолекулярних реакцій, коагуляції. Порушення просторової структури макрочасток білків призводить до

денатурації, її зовнішнім проявом є інтенсивне виділення тканинного соку під час розморожування. Підвищення концентрації електролітів у рідкій фазі стимулює розвиток цих процесів. Зона максимального розвитку денатураційних змін збігається з температурною зоною максимального льодоутворення. Денатурація спостерігається насамперед у білках фракції актоміозину за відсутності змін білків саркоплазми.

Внаслідок денатурації пошкоджуються ферментні системи. При цьому відбувається як прискорення, так і сповільнення окремих реакцій, змінюється їх напрямок. Насамперед під час заморожування пошкоджуються ферментні системи дихального ланцюга і окиснювального фосфорилування мітохондрій, через що організм втрачає основні життєві функції (дихання і здатність до генерації енергії).

Міра шкідливого впливу низьких температур залежить від місця утворення кристалів льоду у тканинах біологічних об'єктів. Утворення великих кристалів усередині клітин призводить до інтенсивного руйнування елементів протоплазми, порушення її структури та загибелі клітин і організмів, кристалізація у міжклітинному просторі менш шкідлива.

Кристали льоду тиснуть на клітину, призводячи до розривів, проколів, порізів. Крім того, через наростання кристалів у міжклітинному просторі та зменшення розмірів клітин (через зневоднення) можливе стиснення оболонки клітини, утворення складок, механічне пошкодження протоплазми. Коли під час розморожування вода почне надходити до клітини, шари протоплазми починають розходитися, часто відбувається відрив протоплазми від оболонки. Крім того, під час контакту різних ділянок протоплазми можливе перенесення ряду активних структурних компонентів з однієї ділянки на іншу. Так, контакт мембран мітохондрій, на яких ферменти розміщені у чітко визначеній послідовності, може призвести до порушення енергетичного обміну та загибелі клітини.

Через зневоднення та тиск кристалів льоду в клітині відбувається зближення окремих молекул білків, тому можливим стає утворення міцних дисульфідних зв'язків між ними. Під час танення вода проникає до клітин, розсуваючи молекули білків. Але внаслідок цього рвуться не міцні дисульфідні зв'язки, а слабкі водневі, що спричиняє розгортання спірально-подібних молекул білків та їх денатурацію.

Отже, внаслідок повільного заморожування клітини значно пошкоджуються і тканини втрачають свою структуру. Встановлено, що при цьому пошкоджується понад 70 % клітин. Оскільки зі зростанням концентрації клітинних розчинів зростає осмотичний тиск, весь комплекс розглянутих явищ отримав назву "осмотичний шок".

Якщо проводити заморожування швидко, то волога не встигатиме мігрувати, і дрібні кристали льоду утворюватимуться рівномірно по всьому об'єму тканини. Крім того, скорочується час впливу розчинів солей на білки клітин. Встановлено, що за швидкого та надшвидкого заморожування органічні речовини та деякі біологічні об'єкти (наприклад яєчний жовток, ферменти) повніше зберігають свої властивості та структуру.

Якщо температуру знижувати до $-120...-160^{\circ}\text{C}$ дуже швидко (понад $100^{\circ}\text{C}/\text{с}$), наприклад під час заморожування малих об'єктів у скрапленому азоті, то кристали льоду не встигнуть утворитися. Температура, при якій не відбувається ріст кристалів, становить близько -90°C . У такому разі вода з переохолодженого перейде у склоподібний стан (процес вітрифікації). Основна маса речовини не матиме кристалічної решітки, молекули у ній розміщуватимуться хаотично (як у рідині), хоч і будуть наявні дрібні кристали льоду, що не визначаються оптично. Проте речовина матиме певні властивості твердого тіла, зокрема твердість. Склоподібний стан речовини можна зберегти при температурах нижче -130°C .

Для застосування швидкого та надшвидкого заморожування використовують захисні речовини — кріопротектори (гліцерин, цукровий сироп, поліетиленоксид, етиленгліколь). Вважається, що ці речовини зміцнюють водневі містки у молекулах білка та зв'язки води з молекулами білків. Кількість вимороженої води при цьому знижується.

Вітрифікація та подальша девітрифікація (перехід зі склоподібного до рідкого стану) після швидкого нагрівання у теплій ртуті дають можливість зберегти життєздатність біологічних об'єктів. Проте об'єкти, що піддавалися цим процесам стають слабшими і гірше опираються дії холоду. Нині вчені можуть вводити до стану глибокого анабіозу та виводити з нього всі одноклітинні організми, за винятком прісноводних найпростіших.

Температура замерзання тварин і рослин нижча за 0°C , бо клітинні соки містять солі. До того ж, температура замерзан-

ня соків не завжди дорівнює температурі замерзання даної живої істоти, яка часто має спроможність опиратися холоду. Крім того, можливе переохолодження соків. Найбільш чутливі до дії низьких температур одноклітинні найпростіші з голим протоплазматичним тілом, насичені водою та теплокровні тварини. Життя теплокровної тварини складної будови неможливе при низьких температурах через велику кількість рідини в її тілі, ніжність тканин і необхідність обміну речовин, що супроводжується виділенням теплоти.

У рослин життєві процеси відбуваються з меншим тепло-виділенням, клітини мають простішу будову і надійний захист з клітковини. Але рослини також не витримують надто низьких температур. Хоча навіть у разі утворення кристалів льоду в клітинах рослина може деякий час залишатися живою, але згодом гине від осмотичного шоку.

Охолодження, на відміну від заморожування, сповільнює або припиняє процеси життєдіяльності лише тимчасово, після оптимізації вони відновлюються (наприклад анабіоз риби). Але тривале перебування при знижених температурах може призвести до холодового шоку, незворотних змін у обміні речовин та загибелі організму.

Запитання для самоперевірки

1. Опишіть чотири основні принципи консервування харчових продуктів. На якому з них ґрунтується холодильне зберігання?

2. Опишіть способи холодильного оброблення харчових продуктів.

3. Опишіть вплив низьких температур на мікроорганізми. Що таке лаг-фаза? Що таке холодовий шок?

4. Які зміни відбуваються у клітинах при температурах, нижчих за криоскопічну? Що таке осмотичний шок?

5. Як швидкість заморожування впливає на пошкодження клітин?

6. Що таке вітрифікація та девітрифікація?

1.3. ОХОЛОДНІ СЕРЕДОВИЩА ТА ЇХ ВЛАСТИВОСТІ

Під час холодильного оброблення продукт віддає теплоту до охолодного середовища.

Охолодним називається середовище з нижчою, ніж у продукту, температурою, що контактує з продуктом чи його упаковкою під час холодильного оброблення та відводить від нього теплоту.

До охолодних середовищ ставиться ряд вимог: вони мають бути нетоксичними, не повинні мати запаху, вступати у хімічні реакції з продуктом чи обладнанням, погіршувати товарний вигляд продукту. Охолодні середовища не повинні бути горючими чи вибухонебезпечними. Бажано, щоб вони були дешевими та доступними.

Тепер у промисловості використовують газоподібні, рідкі, тверді та змішані охолодні середовища.

1.3.1. Газоподібні середовища

До газоподібних охолодних середовищ належать атмосферне повітря та газові суміші — регульовані (РГС), модифіковані (МГС) та ін.

1.3.1.1. Атмосферне повітря

Найширше використовується атмосферне повітря. Його перевагами є доступність і дешевизна, а також менший вміст домішок, що можуть змінити смакові якості продукту. Крім того, повітря, як і всі газоподібні середовища, контактує з усією поверхнею продукту, рівномірно охолоджуючи її. Недоліками повітря як охолодного середовища є малий коефіцієнт тепловіддачі до поверхні, мала питома теплоємність, а отже, великі витрати.

Повітря холодильних камер містить пил, краплини води, мікроорганізми тощо. Пил разом з мікроорганізмами, що містяться на його поверхні, осідає на стіни камери, обладнання та продукти. Тому для зменшення бактеріального забруднення продуктів повітря слід фільтрувати.

Вологе повітря можна розглядати як бінарну суміш сухого повітря та водяної пари. До складу сухого повітря входять азот

(78 %), кисень (21 %), аргон (0,9 %), вуглекислий газ (0,02—0,03 %), неон, гелій, водень та інші гази у невеликих концентраціях.

Вміст водяної пари характеризується різними показниками:

Вологовміст повітря — це масовий вміст водяної пари у 1 кг сухого повітря:

$$d = \frac{m_{\text{пар}}}{m_{\text{пов}}}, \quad (1.6)$$

де $m_{\text{пар}}$, $m_{\text{пов}}$ — маса відповідно водяної пари та сухого повітря, кг.

З рівняння стану сухого повітря, що перебуває під парціальним тиском $p_{\text{пов}}$, і водяної пари, що перебуває під парціальним тиском $p_{\text{пар}}$, одержуємо:

$$d = 0,622 \frac{p_{\text{пар}}}{p_{\text{пов}}} = 0,622 \frac{p_{\text{пар}}}{B - p_{\text{пар}}}, \quad (1.7)$$

де B — барометричний тиск, Па; $p_{\text{пар}}$, $p_{\text{пов}}$ — парціальний тиск відповідно водяної пари та сухого повітря, Па.

Також користуються *відносною вологістю повітря* — відношенням парціального тиску водяної пари до тиску насичення водяної пари при даній температурі.

$$\phi = \frac{p_{\text{пар}}}{p_{\text{пар}}''}. \quad (1.8)$$

Густина вологого повітря визначається як сума мас сухого повітря та водяної пари у 1 м³ суміші:

$$\rho_{\text{в.п}} = \frac{B}{0,287T} \left(\frac{1+d}{1+1,61d} \right) = \rho_{\text{пов}} \left(\frac{1+d}{1+1,61d} \right). \quad (1.9)$$

Питома теплоємність вологого повітря — це кількість теплоти, яку необхідно підвести до 1 кг сухого повітря, що еквівалентно $(1+d)$ кг вологого повітря, для нагрівання його на 1 К за сталого вологовмісту:

$$c_{\text{в.п}} = c_{\text{пов}} + d c_{\text{пар}} = 1,006 + 1,87 \cdot d, \quad (1.10)$$

де $c_{\text{пар}}$, $c_{\text{пов}}$ — питома теплоємність відповідно водяної пари та сухого повітря, кДж/(кг·К).

Іншим важливим показником стану вологого повітря є його питома ентальпія — кількість теплоти, що міститься у повітрі, віднесена до 1 кг сухого повітря. За початкову точку відліку приймають питому ентальпію сухого повітря при 0 °С. Питому ентальпію вологого повітря визначають за формулою

$$h = c_{\text{пов}} t + (r + c_{\text{пар}} t) d = 1,006t + (2501 + 1,87 t) d. \quad (1.11)$$

Теплопровідність вологого повітря зростає зі зменшенням вологовмісту, але за $d < 0,04$ кг/кг цією зміною можна знехтувати. Тоді у температурних межах $-50 \dots 50^\circ \text{C}$

$$\lambda = 0,024 + 0,8 \cdot 10^{-4} t. \quad (1.12)$$

Для малих вологовмістів, характерних холодильній технології, динамічну в'язкість вологого повітря вважають такою самою, як і сухого і визначають з рівняння Созерленда:

$$\mu \cdot 10^5 = 1,72 \frac{397}{T + 124} \left(\frac{T}{273} \right)^{1,5}. \quad (1.13)$$

Для аналізу процесів оброблення вологого повітря використовують h — d -діаграму вологого повітря (рис. 1.4), що є графічною інтерпретацією рівняння (1.11). Для розширення поля діаграми застосовано систему координат з кутом 135° . На діаграмі нанесені ізотерми ($t = \text{const}$), нахил яких збільшується зі зростанням температури, ізоентальпи ($h = \text{const}$) та лінії сталої відносної вологості ($\varphi = \text{const}$). Дані на осі ординат характеризують стан сухого повітря, дані на лінії насичення ($\varphi = 100\%$) — стан повністю насиченого вологою повітря. За цією діаграмою за будь-якими двома параметрами повітря можна визначити всі його параметри.

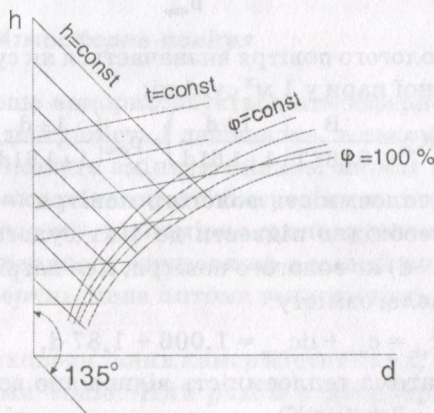


Рис. 1.4. h — d -діаграма вологого повітря

Під час випаровування води з вологої поверхні поглинається теплота випаровування r . Ця теплота відводиться від поверхні, тому у разі відсутності теплонаходжень волога поверхня

матиме нижчу температуру, ніж суха, що перебуває у таких самих умовах теплообміну. Температура вологої поверхні називається *температурою мокрого термометра*. Різниця між температурою повітря та температурою мокрого термометра називається *психрометричною різницею*. Вона залежить від інтенсивності випаровування вологи і зростає у міру осушення повітря. Для визначення температури мокрого термометра користуються h — d -діаграмою (рис. 1.5, а). З точки 1, що характеризує початковий стан повітря слід провести ізоентальпу до перетину з лінією насичення. Температура у точці перетину (точка 2) буде температурою мокрого термометра.

Також можемо визначити для вологого повітря точку роси, тобто температуру, при якій повітря даного вологовмісту стане насиченим вологою (рис. 1.5, б). Для цього з точки 1, що характеризує початковий стан повітря, слід провести вертикальну пряму до перетину з лінією насичення. Температура у точці перетину (точка 2) буде температурою точки роси.

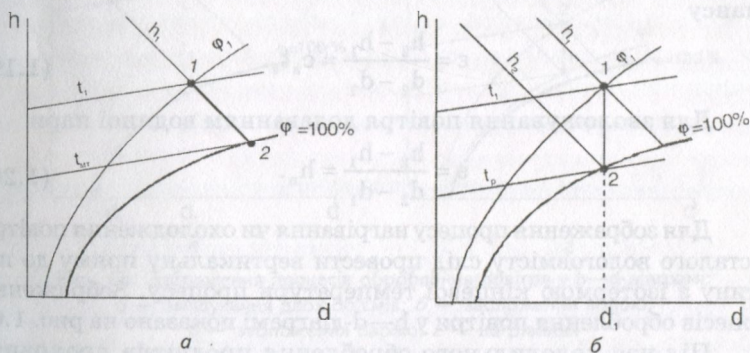


Рис. 1.5. Визначення температури мокрого термометра (а) та температури точки роси (б) за h — d -діаграмою

Для зображення процесів змішування використовують тепловологісне відношення

$$\varepsilon = \frac{h_2 - h_1}{d_2 - d_1}, \quad (1.14)$$

що дорівнює тангенсу кута нахилу лінії процесу до осі вологовмістів.

Під час змішування двох об'ємів повітря різних параметрів вологовміст суміші може бути знайдений з умови адитивності

$$G_1 d_1 + G_2 d_2 = (G_1 + G_2) d_{\text{сум}}, \quad (1.15)$$

звідки

$$d_{\text{сум}} = \frac{G_1 d_1 + G_2 d_2}{G_1 + G_2}. \quad (1.16)$$

Питома ентальпія суміші

$$h_{\text{сум}} = \frac{G_1 h_1 + G_2 h_2}{G_1 + G_2}. \quad (1.17)$$

Доведено, що точка, яка характеризує параметри суміші, лежить на прямій, яка з'єднує точки її компонентів. Визначивши вологовміст або ентальпію, можемо на цій прямій зобразити шукану точку.

Тепловологісне відношення процесу змішування

$$\varepsilon = \frac{h_2 - h_1}{d_2 - d_1}. \quad (1.18)$$

Для зволоження повітря додаванням води з теплового балансу

$$\varepsilon = \frac{h_2 - h_1}{d_2 - d_1} = c_n t_n. \quad (1.19)$$

Для зволоження повітря додаванням водяної пари

$$\varepsilon = \frac{h_2 - h_1}{d_2 - d_1} = h_n. \quad (1.20)$$

Для зображення процесу нагрівання чи охолодження повітря за сталого вологовмісту слід провести вертикальну пряму до перетину з ізотермою кінцевої температури процесу. Зображення процесів оброблення повітря у h — d -діаграмі показано на рис. 1.6.

Під час холодильного оброблення продуктів проходить багато вологообмінних процесів. Найважливішими серед них є дифузія вологи у повітрі, випаровування вологи з поверхні продуктів та її конденсація з вологого повітря, сублімація, взаємодія повітря з розсолем тощо. Для холодильної технології одним із найважливіших процесів вологообміну є всихання — випаровування води у вологе повітря з поверхні продукту. Витрату води, що випаровується, визначають за формулою

$$m_n = \beta(p_{\text{пр}} - p''_{\text{пов}} \phi_{\text{пов}}) F \tau, \quad (1.21)$$

де β — коефіцієнт масовіддачі, віднесений до одиниці тиску, кг/(Па·м²·с) (див. дод. 6); $p_{\text{пр}}$ — парціальний тиск водяної пари

над поверхнею продукту, Па; $p''_{\text{пов}}$ — тиск насичення водяної пари у повітрі, Па; $\varphi_{\text{пов}}$ — відносна вологість повітря; F — площа поверхні, м^2 ; τ — час, с.

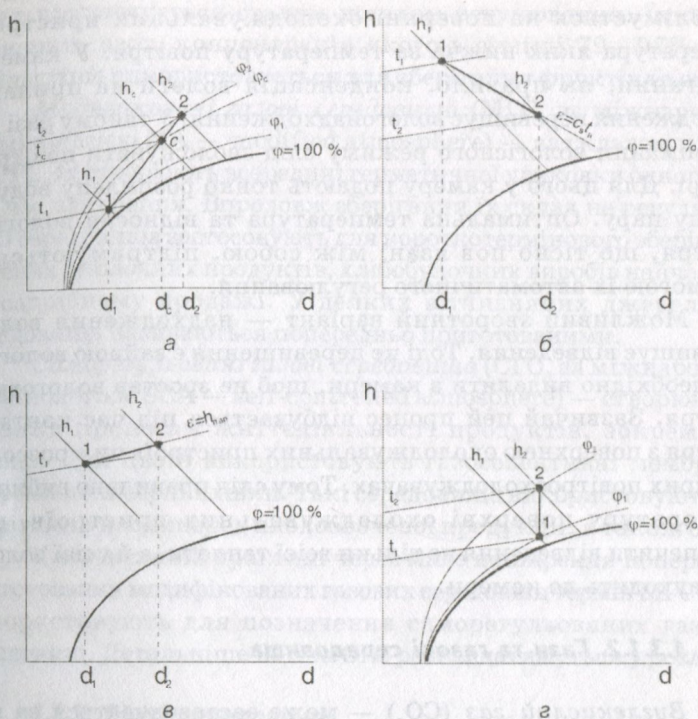


Рис. 1.6. Зображення процесів оброблення повітря у h - d -діаграмі:

a — змішування двох об'ємів; $б$ — зволоження водою;

$в$ — зволоження парою; $г$ — нагрівання

Залежно від співвідношення між температурою продукту, що надходить до камери, та станом повітря у ній волога випаровуватиметься з поверхні продуктів або конденсуватиметься на ній. Так під час надходження продуктів у морозильну камеру відбуватиметься випаровування вологи, а під час перенесення замороженого продукту до камери зберігання чи до теплішого приміщення за умови, що температура поверхні продукту нижча за температуру точки роси, на ній відбуватиметься конденсація водяної пари з повітря. На кількість вологи, що випаровується (конденсується), впливають величина вільної поверхні продуктів, способи їх укладання у штабелі, наявність упаковки.

До камери постійно надходить волога, з одного боку, за рахунок випаровування з продуктів, з навколишнього повітря, від людей, з іншого — волога постійно конденсується чи десублімується на поверхні охолоджувальних пристроїв, температура яких нижча за температуру повітря. У камерах зберігання, як правило, конденсація вологи на приладах охолодження перевищує вологонадходження. У такому разі для підтримання вологісного режиму слід зволожувати повітря у камері. Для цього у камеру подають тонко розпилену воду чи водяну пару. Оптимальна температура та відносна вологість повітря, що тісно пов'язані між собою, підтримуються за допомогою їх автоматичного регулювання.

Можливий зворотний варіант — надходження вологи перевищує відведення. Тоді це перевищення є зайвою вологою, яку необхідно видаляти з камери, щоб не зростав вологовміст повітря. Зазвичай цей процес відбувається під час контакту повітря з поверхнею охолоджувальних пристроїв чи з розсолем у мокрих повітроохолоджувачах. Тому слід правильно вибирати температуру поверхні охолоджувальних пристроїв, щоб забезпечити відведення не тільки всієї теплоти, а й усієї вологи, що надходить до камери.

1.3.1.2. Гази та газові середовища

Вуглекислий газ (CO_2) — може застосовуватися за всіх методів холодильного оброблення, а також у поєднанні з іншими методами консервування. Він пригнічує розвиток мікроорганізмів (плісняви, бактерій). CO_2 добре розчиняється у жирах та, не реагуючи з ними, витісняє кисень, уповільнюючи окиснення жирів. Після переміщення продукту до атмосферного повітря CO_2 легко десорбується. CO_2 використовується для охолодження та заморожування свіжого м'яса та м'ясопродуктів, птиці.

Газоподібний азот (N_2) — утворюється після випаровування скрапленого азоту. Він так само, як і вуглекислий газ, витісняє з продукту кисень, уповільнює окиснення та пригнічує життєдіяльність мікроорганізмів. Незважаючи на порівняно високу вартість, він застосовується у холодильному транспорті, а також для створення газових середовищ.

Властивості газів наведені у дод. 1.

Регульовані газові середовища (РГС, за міжнародною термінологією СА — controlled atmosphere) — це газові суміші з різною концентрацією кисню, вуглекислого газу й азоту, склад яких підтримується сталим шляхом регулювання. Їх основу становить азот, концентрація якого в суміші 79—97%. РГС найчастіше використовується для зберігання фруктів та овочів.

Модифіковані газові середовища (МГС, за міжнародною термінологією МА — modified atmosphere) — за складом подібні до РГС. Їх створюють всередині герметичної упаковки одноразово під час пакування. Впродовж зберігання їх склад не регулюють. Такі середовища застосовують для короткотермінового зберігання м'ясних і молочних продуктів, хлібобулочних виробів найчастіше у роздрібному продажі. У деяких вітчизняних джерелах ці середовища називаються попередньо приготованими.

Саморегульовані газові середовища (СГС, за міжнародною термінологією SCA — self-controlled atmosphere) — створюються завдяки процесам життєдіяльності продуктів, зокрема диханню. Для цього використовують газоселективні мембрани, зокрема полімерні плівки. Такі середовища використовують для зберігання насамперед плодоовочевої продукції, а також сирів.

У вітчизняній практиці через мале поширення попередньо приготованих модифікованих газових середовищ термін МГС часто використовують для позначення саморегульованих газових середовищ. Детальніше РГС та СГС розглядатимуться у розділі 4.

1.3.2. Рідкі середовища

До рідких охолоджувальних середовищ належать вода, водні розчини солей натрію, кальцію та магнію, гліколі, фреони, скраплені гази (насамперед азот). Їх основними перевагами порівняно з газовими середовищами є вищі теплоємність і теплопровідність, вищий коефіцієнт тепловіддачі до поверхні продукту. Охолодження здійснюється способом занурення чи зрошування.

1.3.2.1. Вода та льодоводяні суміші

Для охолодження найчастіше використовують льодяну воду (з температурою 0—1°C), охолоджену у спеціальних холодильних установках — чіллерах. Перевагами води є велика теплоємність (4,19 кДж/(кг·K)), дешевизна, менша, ніж у

розчинів, корозійна активність, відсутність шкідливого впливу на більшість продуктів. Проте зниження температури нижче 0°C призводить до замерзання води зі збільшенням її об'єму, через що можливе руйнування обладнання. Тому воду використовують лише при додатних температурах.

Льодоводяні суміші готують із води та подрібненого льоду. Перевагою льодоводяної суміші є те, що її температура (0°C) не змінюється доти, доки не розплавиться лід. Таким чином забезпечується вища швидкість охолодження порівняно з водою. Лід для суміші виготовляють за допомогою льодогенераторів заздалегідь (акумулявання холоду) чи виморожують з потоку води (розсолу) та сколюють лід назад у потік. На шляху до теплообмінного апарата льодяна вода (розсіл) буде охолоджена до необхідних температур за рахунок танення льоду. Таким холодоносієм можна ефективно досягти технологічних цілей: охолодження молока, пива, соків тощо до температур близько $2-3^{\circ}\text{C}$ і нижчих.

Суттєвих переваг можна досягти, якщо через канал теплообмінного апарата рухається двофазна суміш “вода (розсіл) — лускоподібний лід”. При цьому з боку такого холодоносія забезпечуються коефіцієнти тепловіддачі $2000-4000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ — значення, характерні для процесів безпосереднього кипіння холодоагентів. Крім того, температура холодоносія в теплообміннику залишається сталою. Недоліком такої системи є можливість утворення льодяних пробок у трубопроводах та теплообмінних каналах.

1.3.2.2. Розчини солей (розсоли)

Для від'ємних температур використовують розчини солей (розсоли), що є подвійними системами, бо складаються з води та розчиненої солі. Їх стан визначається

діаграмами стану (рис. 1.7).

Під час охолодження розчину певної концентрації з досягненням температури, що відповідає кривій виділення льоду чи солі, з розчину починається виділення відповідного компонента. При цьому змінюватиметься концентрація розчину (згідно з кривою). Так,

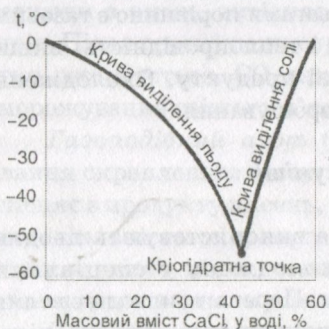


Рис. 1.7. Діаграма стану розчину CaCl_2

якщо заморожувати розчин з концентрацією, нижчою за евтектичну, спочатку почнеться виділення льоду, при цьому концентрація рідкої фази розчину зростатиме, відповідно температура її кристалізації знижуватиметься. Навпаки, у разі заморожування розчину з концентрацією, вищою за евтектичну, з розчину виділятиметься сіль за рахунок зниження її розчинності, а концентрація рідкої фази зменшуватиметься. З досягненням температури кріогідратної точки відбудеться замерзання розчину у вигляді однорідної суміші обох компонентів, що називається евтектикою. Концентрацію у цій точці називають евтектичною, а розчин такої концентрації — евтектичним.

Для холодильного оброблення харчових продуктів використовують розчини солей, наведені у табл. 1.5.

Таблиця 1.5

Параметри евтектичних розчинів солей

Назва показника	Розчин		
	NaCl	CaCl ₂	MgCl ₂
Евтектична концентрація, %	22,4	29,8	21,6
Температура замерзання, °C	-21,2	-55	-33,6

Розчини є електролітами, тому мають високу корозійну активність, особливо на межі “метал—повітря—розсін”. При цьому меншою корозійною активністю характеризуються розчини, приготовлені на основі дистильованої води, ніж на основі водопровідної (у декілька разів). Наявність аніонів хлору в присутності катіонів заліза, міді надає розсолам корозійних властивостей, при яких псуються деталі, виготовлені з міді, латуні і навіть із неіржавіючої сталі. Металеві поверхні піддаються точковій і виразковій корозії, швидкість якої може сягати 1,5 мм/рік, причому часто трапляється нерівномірність корозії трубопроводів, теплообмінного обладнання, особливо за виразкової корозії. Великої шкоди завдає електрохімічна корозія, зокрема за наявності електропровідного контакту системи циркуляції розсолу з ґрунтами під підприємством, де утворюються сильні, нерівномірні електричні поля та блукаючі електричні струми. В результаті дії різних видів корозії термін експлуатації окремих елементів холодильної установки може зменшитись до кількох років. Для зменшення корозійної активності в розсоли, крім основної солі, додають антикорозійні речовини — інгібітори, пасиватори (силікат натрію, хромова суміш та ін.),

концентрація яких сягає кількох відсотків. При цьому швидкість корозії зменшується до значень близько 0,1 мм/рік і менше.

Розсоли та антикорозійні добавки в них можуть бути токсичні чи небезпечні для довкілля. Більшість розсолів є безбарвними рідинами, що мало відрізняються від води. Для контролю витікання безбарвних розсолів у довкілля до них додають різні барвники, частіше синтетичного походження. Потребує уваги чистота матеріалу, що закуповується для приготування розчину-холодоносія. Наприклад, якщо такий матеріал містить 98% основної солі та 2 % домішок, може статися, що ці домішки токсичні.

У разі контакту з продуктом, що має вищу температуру, ніж розчин, шар розсолу поблизу поверхні продукту відхиляється від кривої початку замерзання і відбувається дифузія солі у поверхневий шар продукту. Погіршення смакових якостей продукту при цьому є суттєвим недоліком розсолів. Для уникнення цього продукт ізолюють від середовища, наприклад за допомогою металевих форм чи герметичної полімерної тари.

1.3.2.3. Бінарний лід (айссларрі)

В охолоджених водних розчинах нижче від температури початку кристалізації води утворюються мікроскопічні кристали льоду. Ці кристали не заважають транспортуванню двофазної льодорідинної суспензії трубопроводами, хоча сама течія не є ньютонівською.

Такий двофазний холодоносій найчастіше називають айссларрі (ice-slurry), хоча він також має інші торговельні назви: FLO-ice, binary, liquid ice, pumpable ice, fluid ice. Айссларрі одержують із морської води, водних розчинів солей, гліколів, спиртів. Рідка фаза розділяє кристали льоду, що дає можливість уникнути утворення сніжних грудок і перекачувати суспензії, що містять до 60 % (за масою) льоду у вигляді кристалів розміром від 10 до 450 мкм. Частка льоду та розмір кристалів залежать від багатьох факторів, насамперед від конструкції льодогенератора, швидкості течії розчину, концентрації розчинених речовин, тривалості перебування кристалів у розчині, умов теплообміну тощо. Зі збільшенням швидкості руху холодоносія коефіцієнт тепловіддачі збільшується. За розрахунками теплопровідність і в'язкість айссларрі вищі від значень тих самих

властивостей для однофазного розчину, наприклад, на 50% при частці льоду близько 15 %.

З використанням айссларрі як охолодного середовища чи холодоносія можна забезпечити у 3—5 разів більшу холодопродуктивність, ніж з використанням води чи розчинів, до 50 % зменшити діаметри відповідних трубопроводів, зменшити кількість холодоносія у холодильній системі, створити більш стабільні температурні режими холодопостачання. Такі середовища дають можливість підтримувати більш рівномірне температурне поле порівняно з грудковим льодом.

1.3.2.4. Гліколі та фреони

Гліколі — це жирні спирти, водні розчини яких мають низьку температуру замерзання. Вони менш агресивні до металів, але мають вищу в'язкість і нижчу теплопровідність. Розчини гліколів використовуються у системах швидкого заморожування упакованих продуктів.

Етиленгліколь — слабоотруйна речовина, без запаху, змішується з водою у будь-яких співвідношеннях, температура замерзання чистого етиленгліколю $-17,5^{\circ}\text{C}$, а його 70% -го розчину у воді $-67,2^{\circ}\text{C}$.

Пропіленгліколь — безбарвна густа рідина зі слабким характерним запахом, змішується з водою та етиловим спиртом, має гігроскопічні властивості, нетоксичний, використовується як харчова добавка (E1520). Пропіленгліколь у водних розчинах не взаємодіє з металами. Водні розчини пропіленгліколю використовують у температурному діапазоні $-50\ldots-1^{\circ}\text{C}$. У харчових виробництвах цей холодоносіє виявився найбільш конкурентоспроможним у діапазоні температур $-20\ldots-1^{\circ}\text{C}$. Пропіленгліколь є поверхнево-активною речовиною, сприяє вимиванню відкладень на стінках обладнання в розчин.

Залежність концентрації розчину пропіленгліколю від температури кристалізації

$t_{\text{кр}}, ^{\circ}\text{C}$	-1	-2	-3	-5	-10	-15	-20
$x, \%$	4,8	7,5	10,1	15,0	25,1	32,9	39,1
$t_{\text{кр}}, ^{\circ}\text{C}$	-25	-30	-35	-40	-45	-50	
$x, \%$	44,0	48,0	51,2	54,0	56,7	60,0	

Рідкі фреони, зокрема R30 (дихлорметан), інколи використовують для швидкого заморожування упакованих продуктів до -40°C . За рахунок кипіння фреонів зростає інтенсивність тепловіддачі з поверхні продукту. Але попри великий коефіцієнт тепловіддачі таке заморожування супроводжується значними втратами фреону в довкілля, тому використовується тепер рідко через не вигідність з фінансових та екологічних міркувань.

1.3.2.5. Скраплені гази

Для швидкого заморожування особливо цінних продуктів застосовують скраплені гази (кріорідини), найчастіше азот. Його властивості наведені у дод. 1. Замороження здійснюють зрошуванням або зануренням у кріогенних швидкоморозильних апаратах. Низькі температури кипіння скраплених газів та інтенсивна тепловіддача під час їх кипіння дають можливість швидко заморозити продукт з мінімальною втратою його якості. Проте значним недоліком кріорідин є їх висока вартість.

1.3.3. Тверді середовища

1.3.3.1. Водяний лід

Температура плавлення водяного льоду за атмосферного тиску становить 0°C , питома теплота плавлення — 335 кДж/кг , густина — 917 кг/м^3 , питома теплоємність — $2,1 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{K)}$, теплопровідність — $2,3 \text{ Вт/(м} \cdot \text{K)}$. Замерзання води супроводжується зростанням її об'єму на 9 %.

Природний лід заготовлюють шляхом випилювання великих блоків із водойм, наморожування на горизонтальних майданчиках, вирощування сталактитів (бурульок). Його зберігають у льодосховищах з постійною чи тимчасовою теплоізоляцією. Штучний лід одержують за допомогою льодогенераторів, у яких заморожують очищену воду. Форма, розмір, якість і спосіб отримання льоду залежать від його призначення.

Матовий лід готується з питної води без оброблення. Він містить дрібні бульбашки повітря, що утворилися в процесі замерзання внаслідок десорбції з води. Прозорий лід не містить бульбашок повітря. Під час його виготовлення форма продувається стисненим повітрям, що виділяє розчинене повітря з води і

виносить з собою. Такий лід призначений для охолодження напоїв. Для безпосереднього охолодження птиці, риби, м'яса використовують лід з додаванням бактерицидних речовин, що зменшують обсіменіння продукту мікроорганізмами.

Лід виготовляють у блоках (5—250 кг), які згодом подрібнюють на дрібніші шматки. Також виготовляють трубчастий, лускоподібний і сніговий лід, що різняться формою та розміром.

Трубчастий лід виготовляється у кожухотрубних льодогенераторах, у міжтрубному просторі яких кипить аміак, а до вертикальних труб через насадки подається вода, що плівкою стікає донизу і частково замерзає. Вода, що не замерзла, повертається до верхнього резервуара. Завдяки безперервній циркуляції з води видаляється повітря і лід утворюється у вигляді прозорих циліндрів з товщиною стінки 4—8 мм, які після відтанення сповзають донизу. Їх розрізають на шматки потрібної довжини.

Лускоподібний лід виготовляють у барабанних льодогенераторах. Вони являють собою охолоджуваний обертовий барабан, на який розпилюється вода. На поверхні барабана швидко утворюється тонкий шар льоду, який зрізається ножом. Такий лід, що має вигляд тонких пластинок, використовується для охолодження риби, м'яса та м'ясопродуктів (зокрема ковбасних виробів), деяких плодів та овочів.

Сніговий лід виготовляють розпиленням води у посудині, де підтримується низька температура. Його використовують у тих самих випадках, що й лускоподібний.

1.3.3.2. Льодосоляні суміші та заморожені евтектичні розчини

Льодосоляні суміші давно використовують для одержання температур нижче 0 °С. Як впливає з діаграм стану розчинів (див. п. 1.3.2.2), змішуванням водяного льоду та солей (NaCl , CaCl_2) у певних співвідношеннях можна досягти температур плавлення суміші аж до кріогідратної точки. Під час контакту льодосоляної суміші з неупакованим продуктом поверхневі шари продукту просолюються, що змінює його смак і стимулює окиснення жирів. Для уникнення цього використовують заморожені евтектичні розчини у металевих формах (плитах). Їх розміщують у охолоджуваному об'ємі, а після танення льоду та теплення знову заморожують.

1.3.3.3. Сухий лід (тверда вуглекислота)

Твердий діоксид вуглецю. Температура сублімації за атмосферного тиску становить $-78,9^{\circ}\text{C}$, теплота сублімації 574 кДж/кг , а

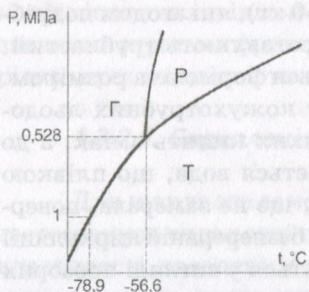


Рис. 1.8. Діаграма стану діоксиду вуглецю

густина $1400\text{—}1500 \text{ кг/м}^3$. З діаграми стану діоксиду вуглецю (рис. 1.8) видно, що за тиску нижче $0,528 \text{ МПа}$ він може перебувати лише у твердому та газоподібному станах. Тобто у разі підведення теплоти до сухого льоду за атмосферного тиску йде процес його переходу одразу до газоподібного стану (сублімація). Сухий лід найчастіше отримують шляхом дроселювання газоподібного CO_2 з тиску $2\text{—}3 \text{ МПа}$ до атмосферного. При цьому утворюється

струмінь суміші газоподібного CO_2 та кристалів сухого льоду з температурою -79°C . Кристали відділяють від газу і пресують у вигляді блоків. Якщо ж подати цей струмінь на продукти, то за рахунок його високої швидкості та поглинання теплоти сублімації відбудеться швидко відведення теплоти від продукту.

Одиниця об'єму сухого льоду дає втричі більшу холодопродуктивність, ніж звичайного льоду, що дає можливість ефективніше використовувати об'єм охолоджуваних приміщень чи тари. Інші його переваги перед водним льодом: можливість досягнення нижчої температури, відсутність рідкої фази в процесі холодильного оброблення, підвищення вмісту CO_2 у атмосфері камери, що пригнічує життєдіяльність мікроорганізмів і уповільнює окиснення продукту.

Сухий лід кладуть зверху та між упаковками продукту під час зберігання, перевезення та продажу морозива, ягід, фруктів. У безмашинних системах охолодження використовують металеві контейнери, наповнені сухим льодом, причому газоподібний CO_2 , що утворюється, відводять до камери, пригнічуючи діяльність мікроорганізмів.

1.3.3.4. Метали

У швидкоморозильних апаратах використовують металеві плити, всередині яких циркулює холодоагент. Найчастіше

використовують сталь, чавун, алюміній та його сплави, мідь. Перевагами металів, як охолодних середовищ, є високі коефіцієнти тепло- та температуропровідності, хімічна стійкість щодо продуктів, легкість механічного оброблення. Основний недолік — складність забезпечення рівномірного контакту з усією поверхнею продукту.

1.3.3.5. Дрібнодисперсні тверді середовища

Під час заморожування у киплячому шарі як охолодне середовище іноді використовують подрібнений лід, дрібні полімерні кульки, а також спеціальні суміші (наприклад суміш манної крупи, цукру, солі та подрібненого льоду). Таке середовище під впливом потоку повітря, що з певною швидкістю продувається крізь нього знизу догори, переходить у завислий стан і утворює киплячий шар, крізь який рухається продукт. У цьому шарі теплообмін відбувається значно інтенсивніше, ніж у повітрі. Таким способом заморожують ягоди, овочі, напівфабрикати.

1.3.4. Прилади для вимірювання та контролю параметрів охолодних середовищ і продуктів

1.3.4.1. Температура

Для контролю температури охолодного середовища та продуктів застосовують рідинні, металеві, електричні та електронні термометри, а також термометри на рідких кристалах.

Рідинні термометри розширення залежно від робочої речовини бувають ртутні (для температур вищих -30°C), спиртові та толуолові. Принцип їх дії ґрунтується на зміні об'єму рідини залежно від температури. Спиртові термометри досить точні, прості у користуванні, дешеві, а їх робоча рідина безпечна у разі витікання. Пара ртуті (робочої речовини ртутних термометрів) отруйна. Недоліком рідинних термометрів є велика інерційність, тому відрахунок показань починають через 5—10 хв після встановлення термометра у рідині та через 30 хв — у газі.

Принцип дії *циферблатних термометрів* ґрунтується на тепловому розширенні газів у термочутливих елементах. Ці термометри можуть бути обладнані показчиками максимальної та мінімальної температур і фіксаторами показань з моменту попереднього зчитування.

Електричні термометри (термометри опору) складаються з первинного перетворювача температури у електричний сигнал і вторинного, що перетворює цей сигнал у показання на шкалі. Такі термометри приєднують до телетермометрів, логометрів тощо. Почергове підключення первинних датчиків і реєстрація температур здійснюються автоматично. Такі системи використовують для контролю температури одразу у кількох камерах з одного пульта. Їх перевага — немає потреби заходити до камери для контролю температури.

За принципом дії подібні до електричних *цифрові електронні термометри*, у яких зі зміною температури змінюються електричні властивості термочутливого елемента (мідь, платина). Результати вимірювання обробляються мікропроцесором і подаються на дисплеї у вигляді цифр. Перевагами таких термометрів є висока точність, миттєва індикація температури, простота використання, можливість дистанційного контролю температури та її реєстрації на ЕОМ.

Термочутливим елементом *термометрів на рідких кристалах* є рідкий кристал, що змінює колір залежно від температури. Шкала такого термометра калібрується у потрібному діапазоні з інтервалом 1—2 °С.

Термоіндикатори призначені лише для фіксації факту підвищення температури понад заданий рівень (наприклад під час транспортування). У холодильній технології використовують хімічні та біологічні термоіндикатори. У хімічних термоіндикаторах використовуються спеціальні барвники, що реагують на підвищення температури понад певний рівень незворотною зміною кольору. У біологічних (біосенсорах) зміна кольору чи інших властивостей досягається за рахунок діяльності мікроорганізмів.

Термографи застосовують для безперервної графічної реєстрації температури у камерах зберігання. Вони складаються з термометра (датчика) та реєстраційного пристрою. Цикл роботи такого пристрою становить, як правило, добу або тиждень. Тепер частіше використовують системи реєстрації температури на базі електронних термометрів чи термопар з використанням мікропроцесорної техніки.

1.3.4.2. Відносна вологість повітря

Психрометричний метод ґрунтується на залежності швидкості випаровування води з поверхні від відносної вологості

повітря. Психрометр складається з сухого та мокрого термометрів. У мокрого термометра кулька обмотана змоченою у воді тканиною (марля, батист). У разі зниження відносної вологості за рахунок прискорення випаровування води та інтенсивнішого відведення теплоти від кульки термометр показуватиме нижчу температуру. За температурою сухого термометра та різницею показань двох термометрів визначають за таблицями відносну вологість повітря. Психрометри використовують при температурах вище -5°C . Для прискорення вимірювань використовують психрометр з примусовою циркуляцією повітря — аспіраційний психрометр Ассмана, у якому кульки термометра обдуваються повітрям за допомогою вентилятора з пружинним чи електричним приводом.

Гігрометричний метод дає змогу визначити відносну вологість повітря у інтервалі температур $-60\dots+40^{\circ}\text{C}$. У сорбційних гігрометрах чутливий елемент змінює свої властивості (наприклад знежирена волосина подовжується або сіль змінює електричний опір) у разі зміни вологовмісту за рахунок сорбування вологи з повітря. Інтенсивність сорбування залежить від відносної вологості повітря. Зміна властивостей фіксується безпосередньо (волосяні гігрометри) або перетворюється на електричний сигнал і виводиться на шкалу, проградуйовану в одиницях відносної вологості. Цей метод досить точний і при від'ємних температурах.

Існують гігрометри, що працюють шляхом визначення точки роси, тобто температури, до якої потрібно охолодити повітря, щоб викликати конденсацію водяної пари. Такі гігрометри називаються конденсаційними.

Для безперервної реєстрації відносної вологості у камерах зберігання використовують гігрографи, у яких наявний реєструвальний пристрій.

1.3.4.3. Швидкість руху повітря

Чашкові анемометри призначені для вимірювання швидкості руху повітря $1\text{—}50\text{ м/с}$, а крильчасті — $0,1\text{—}4\text{ м/с}$. Принцип їх дії подібний: вимірюється частота обертання крильчатки потоком повітря, що пропорційна швидкості руху повітря.

Для дистанційного контролю використовують *електроанемометри*. Принцип їх дії ґрунтується на охолодженні потоком повітря провідника, що нагрівається сталим електричним

струмом. Температуру провідника вимірюють за допомогою термопари чи визначають за його опором. Вона знижуватиметься зі зростанням швидкості руху повітря.

Переносні напівпровідникові *електротермоанемометри*, у яких роль датчика відіграє напівпровідниковий термоопір, дають змогу швидко та з високою точністю визначити температуру та малі швидкості руху повітря.

Запитання для самоперевірки

1. Що таке охолодне середовище? Які вимоги ставляться до охолодних середовищ у харчовій промисловості?

2. У чому полягають переваги та недоліки повітря як охолодного середовища? Якими показниками характеризується його стан?

3. У чому полягають переваги вуглекислого газу та азоту як охолодних середовищ?

4. Що таке регульовані газові середовища? Для яких продуктів застосовують саморегульовані газові середовища? У чому полягають їх переваги над регульованими газовими середовищами та повітрям?

5. Для яких способів холодильного оброблення доцільно застосовувати рідкі охолодні середовища? У чому їх переваги та недоліки порівняно з газоподібними? Опишіть рідкі охолодні середовища, що застосовуються у харчовій промисловості?

6. Як виглядає процес заморожування розчинів різної концентрації у Т—с-діаграмі? Що таке кріогідратна точка? Що таке евтектична концентрація?

7. Опишіть тверді охолодні середовища, що використовуються у харчовій промисловості.

8. Які прилади використовують для контролю температури, відносної вологості та швидкості руху повітря?

1.4. ДОПОМІЖНІ ЗАСОБИ ДЛЯ ХОЛОДИЛЬНОГО ОБРОБЛЕННЯ ТА ЗБЕРІГАННЯ

Для збереження якості, зниження втрат і збільшення терміну зберігання продуктів застосовують допоміжні засоби: ультрафіолетове та іонізуюче опромінення, зниження тиску, харчові покриття, упаковку та ін.

1.4.1. Опромінення

Ультрафіолетове опромінення застосовують на харчових підприємствах для оброблення повітря і поверхневого шару продуктів. Ультрафіолетове опромінення (УФО) охоплює область електромагнітних коливань з довжиною хвилі 136—4000 А, має велику енергію і тому чинить сильний хімічний, фізичний і біологічний вплив. Залежно від довжини хвилі вплив різних ділянок ультрафіолетового спектра різний. Найбільше пригнічують життєдіяльність бактерій промені з довжиною хвилі 2000—2950 А (бактерицидне опромінення). Максимум бактерицидної дії спостерігається за довжини хвилі 2600 А. Проте під впливом УФО мікроорганізми відмирають лише в поверхневому шарі продукту, бо його проникна здатність не перевищує 0,1 мм.

Стерилізувальний ефект опромінення залежить від мікробіологічної забрудненості продукту та стадії розвитку мікроорганізмів. Ультрафіолетове опромінення значно подовжує терміни зберігання охолоджених продуктів (м'яса, яєць, напівкопчених і копчених ковбасних виробів, сирів, цитрусових плодів та ін.).

Під впливом УФО зростання мікрофлори різко сповільнюється (бактеріостатичний ефект), що залежить від дози опромінення та стану середовища. Зі зниженням температури середовища тривалість бактеріостатичного ефекту зростає.

Іонізуюче опромінення (ІО) завдяки високій енергії здатне викликати іонізацію атомів і молекул. При цьому в продуктах виникають хімічні перетворення, пов'язані насамперед з іонізацією води, утворенням вільних радикалів з високою хімічною активністю, що призводять до змін у клітинах. За певної дози ІО пригнічує життєдіяльність мікроорганізмів. Радіаційне оброблення поділяється на радапєртизацію (повна стерильність продукту), радуризацію (обмежене пригнічення мікрофлори), радисидацію (вибіркове пригнічення мікроорганізмів певного типу).

1.4.2. Антисептики

Застосування антисептиків ґрунтується на їх здатності пригнічувати мікроорганізми. Надходячи до клітини мікроорганізму, вони взаємодіють з білками протоплазми, що призводить до загибелі клітини. Важливо, щоб антисептики

були нешкідливими для людини і мінімально змінювали споживчі властивості продуктів. У харчовій промисловості використовують сорбінову та бензойну кислоти, перекис водню, діоксид сірки та ін.

1.4.3. Озонування

Завдяки високій хімічній активності озон (O_3) окиснює ароматичні речовини та призводить до загибелі мікроорганізмів. Оброблення озоном застосовують для дезінфекції та дезодорації повітря (знищення неприємних запахів), сухої, холодної дезінфекції технологічних приміщень, складів, холодильних камер, технологічного обладнання (пастеризаторів, танків-охолодників, бідонів, бродильних чанів, автомобільних цистерн, інших технологічних місткостей і трубопроводів), знищення плісняви.

Для отримання озону використовують електророзрядні генератори (озонатори). Принцип їх дії ґрунтується на здатності кисню перетворюватися на озон у високовольтному газовому розряді коронного типу. Повітря циркулює через розрядну камеру і в зоні розряду озонується. Озоно-повітряна суміш надходить до оброблюваного приміщення. Багаторазова циркуляція дає змогу створювати задані концентрації озону ($10\text{--}20\text{ мг/м}^3$).

Бактерицидна дія озонування зберігається протягом 2—3 тижнів. Озон активно розкладається та видаляється вже в перші хвилини, одночасно з роботою озонатора, далі розкладання сповільнюється. Добова ГДК озону ($0,03\text{ мг/м}^3$) досягається за 10—30 хв у всіх режимах озонування і не змінюється протягом 2 годин.

Озонування холодильних камер, плодо- та овочесховищ, складських приміщень сприяє подовженню термінів зберігання харчових продуктів і збереженню їхньої якості. Озонування камер зберігання ковбасних виробів збільшує термін зберігання ковбас у 1,5—2 рази. Зберігання картоплі та капусти із застосуванням озону дає змогу знизити втрати від фітопатогенних захворювань у 2—4 рази. У разі дезінфекції озонуванням приблизно в п'ять разів скорочується тривалість простоювання камер порівняно з “микрою” дезінфекцією, скорочується трудомісткість. Озонування не потребує розморожування холодильних камер, застосування хлоровмісних засобів.

1.4.4. Електрофізичні технології

Для інтенсифікації охолодження, заморожування та покращення зберігання застосовують електрофізичні технології [2]. Розроблено способи охолодження з використанням електрично заряджених крапель рідини, електроконвективне охолодження м'яса та ін.

Принцип охолодження за допомогою електрично заряджених крапель рідини полягає в тому, що до поверхні м'яса, призначеного для охолодження, підводиться електрод, на який подається висока напруга з позитивним зарядом. Рідина подається трубопроводом, зарядженим негативно. Охолодження продукту відбувається під час контакту електрично заряджених крапель рідини з поверхнею продукту. За рахунок різних знаків заряду краплі притягуються до поверхні, що дає кращий контакт і менші втрати рідини.

Електроконвективне охолодження здійснюється у середовищі повітря чи інертного газу (зокрема азоту), пропущеного через сильно неоднорідне електричне поле. Під впливом електричного поля газ іонізується, і кулонівські сили, що виникають між його молекулами, створюють мікровихори, що додатково турбулізують приграничний шар. При цьому зростає густина теплового потоку від охолоджуваного продукту (для різних видів м'яса — в 1,1—1,8 разу). Зі збільшенням напруги електричного поля максимум тепловідведення зміщується на ранню стадію процесу, яка скорочується приблизно вдвічі, що дуже важливо, бо найбільші втрати маси припадають на першу половину процесу охолодження. Втрати маси через перешкоджання електричних сил випаровуванню вологи скорочуються на 10—20 %.

Електричні поля використовуються також для інтенсифікації заморожування та розморожування м'яса, подовження зберігання плодоовочевої продукції (зменшують інтенсивність дихання плодів). Використовується зволоження середовища у камері зберігання за допомогою дрібнодисперсних електрично заряджених крапель. Одноійменно заряджена сітка поблизу охолодних пристроїв перешкоджає утворенню інею на їх поверхні. Це дає можливість зменшити споживання електроенергії холодильним компресором. Заряджені краплі рівномірно розподіляються у просторі камери, що зменшує втрати від усихання продукту.

1.4.5. Упаковка охолоджених і заморожених продуктів

1.4.5.1. Вимоги до упаковки

Надзвичайно важливу роль у процесі зберігання відіграє упаковка продукту. Її наявність дає можливість усунути або зменшити контакт продукту з навколишнім повітрям. Упаковка є основним джерелом інформації про продукт для споживача. Крім того, упакований продукт має кращий товарний вигляд і зручніший для перевезень і продажу.

Різноманітність харчових продуктів спричиняє різноманітність видів упаковки та різні вимоги до неї.

Упаковка повинна мати такі характеристики:

зберігати продукт без втрат та витікання, бути стійкою до дії його компонентів та нетоксичною;

запобігати забрудненню продукту, його бактеріальному обсімененню, пошкодженню гризунами та комахами, захищати від дії світла, сторонніх запахів і присмаків;

достатню міцність та еластичність у широких температурних межах, щоб не руйнуватися під час пакування, зберігання та транспортування;

низьку проникність для вологи, пари, газів, летких ароматичних речовин продукту (у окремих випадках матеріал повинен мати потрібну волого- та газопроникність, наприклад для створення СГС);

легко відкриватися споживачем, інколи з можливістю простої повторної герметизації, при цьому виробник зацікавлений, щоб повторне закривання не було непомітним (для захисту від фальсифікації);

легко утилізуватися, не завдаючи шкоди довкіллю;

привабливість, придатність для нанесення тексту та рисунків, бажано прозорість;

рентабельність щодо продукту.

Досі немає таких пакувальних матеріалів, які відповідали б усім цим вимогам. На практиці для кожної групи заморожених продуктів слід вибрати найбільш відповідний пакувальний матеріал з урахуванням технічних і економічних аспектів проблеми.

Залежно від застосування упаковку поділяють на дві основні групи: споживчу і збірну (транспортну).

Споживчою називають упаковку, в якій покупець купує продукт. Її застосовують здебільшого для пакування продуктів безпосередньо перед заморожуванням чи після нього. Залежно від того, на кого розрахований продукт, розрізняють дрібну споживчу упаковку (від 200 до 600 г, за кордоном — до 2 кг) і велику (2,5; 5; 10 і 15 кг).

1.4.5.2. Паперова, картонна та целофанова упаковка

Для упакування охолоджених і заморожених продуктів широко використовують папір і картон. Двадцять років тому вони були основними матеріалами для упакування продуктів. Їх легко обробляти та утилізувати, наносити на них інформацію, вони мають привабливий зовнішній вигляд. Паперова та картонна упаковка часто використовується у комбінації з іншими видами у вигляді лотків, зовнішніх коробок, етикеток. Для яєць, деяких фруктів використовуються лотки з пресованої целюлози. Їх перевагою є простота виготовлення та утилізації, низька вартість.

Папір як пакувальний матеріал має ряд недоліків: велику проникність для води і водяної пари, газів, жиру. Крім того, він легко адсорбує сторонні запахи, нестійкий до впливу мікроорганізмів. Папір, підданий хімічній обробці (пергамін) міцніший, не так швидко поглинає воду, але дуже легко пропускає водяну пару і гази. Для усунення цих недоліків папір просочують парафіном, вкривають синтетичним лаком або полімерною плівкою.

Коробки потрібної форми одержують з висічених заготовок. Кришка може бути знімною або приклеюватися. Для полегшення складання заготовки в місцях згину надсікають. Коробки зазвичай склеюють на автоматичних лініях.

Целофан — вологопроникна прозора плівка густиною 15—60 г/м², що виготовляється з целюлози. Використовується для упакування харчових продуктів. Також може входити до складу комбінованих упаковок (картонна коробка з целофановим віконцем, картонна коробка, обгорнута целофановою плівкою тощо). Целофан легко пропускає водяну пару, а ароматизуючі речовини і кисень — слабо. Для обмеження пропускання водяної пари і газів застосовують лише целофан, вкритий лаком. Внаслідок коливань вологості і температури целофан втрачає міцність і розтріскується. Іноді його додатково

піддають імпрегнуванню (покриття полімерною плівкою). Такі комбіновані матеріали міцніші і на них зручно наносити написи з боку целофану.

1.4.5.3. Скляна тара

Традиційно використовується для рідких охолоджених продуктів (молоко, кисломолочні напої, соки тощо). Перевагами скляної тари є хімічна інертність, висока міцність, можливість повторного використання. Головний недолік скла — крихкість. Для її зменшення пляшки обплітають полімерними матеріалами.

1.4.5.4. Металева упаковка

Для розливу пива та безалкогольних напоїв широко використовують алюмінієві банки, а для деяких продуктів (наприклад для збитих вершків) — алюмінієві аерозольні балончики. Для захисту від корозійного впливу харчових продуктів алюміній лакують.

Для упаковування охолоджених і заморожених продуктів, а також для заморожування використовуються матеріали на базі алюмінієвої фольги завтовшки 0,02—0,05 мм — пресовані лотки, коробки тощо. Для підвищення міцності, пружності і запобігання корозії фольгу вкривають синтетичними плівками чи целофаном, таку комбіновану фольгу можна зварювати.

Алюмінієві лотки виготовляють із фольги чи листового металу завтовшки 0,06—0,3 мм. Для заморожених продуктів частіше застосовують лотки прямокутної форми з метою раціональнішого використання складських приміщень. Тривалість заморожування в алюмінієвих лотках приблизно на 30 % менша, ніж у парафінованих коробках. Лотки закривають кришками з фольги чи фольгованого картону.

Перевагою матеріалів з алюмінію є непроникність для газів, водяної пари, ароматичних речовин, міцність, мала вага, висока теплопровідність. Алюмінієва фольга відбиває близько 90 % сонячних променів, тому до складу багатьох комбінованих пакувальних матеріалів (ламінований папір, металізовані плівки тощо) входить шар алюмінієвої фольги, що сприяє захисту продукту від світла та теплового випромінення. Головним недоліком алюмінієвої фольги є порівняно висока вартість.

Для упакування заморожених продуктів обмеженого асортименту використовують жерстяні банки. Для фасування кислих, солоних і деяких інших продуктів, що спричиняють корозію, банки вкривають лаком чи синтетичною плівкою.

Перевагами металевих банок є високий ступінь герметичності, можливість витіснення повітря, малий термічний опір, міцність під час транспортування, недоліками — великі енергетичні витрати на їх виготовлення, неефективне використання складських приміщень (у разі застосування банок циліндричної форми), висока вартість та ін.

1.4.5.5. Полімерні та комбіновані матеріали

Для упакування охолоджених і заморожених продуктів, напівфабрикатів, готових страв широко застосовуються різноманітні полімерні матеріали (дод. 7). Перелік упаковки з полімерних матеріалів досить різноманітний — плівки та плівкові пакети, мішечки, лотки, коробки, контейнери, пляшки, стаканчики тощо. Полімери, що використовуються для вироблення тари та упаковки в основному є термопластами, тобто під час нагрівання розм'якшуються, а під час охолодження знову тверднуть. Ця властивість використовується для термоформування та лиття під тиском, що дає можливість виробникам харчових продуктів виготовляти тару будь-яких форм і розмірів безпосередньо на підприємстві. Полімерні плівки й тара — дешевий матеріал, їх можна використати для вакуумного пакування, пакування у МГС та СГС. Полімерні пляшки й пакети можуть повторно герметизуватися споживачем, що сприяє збереженню продукту.

Для упакування заморожених продуктів найпоширенішою формою упаковки з полімерних плівок є мішечки. Їх виготовляють перед фасуванням матеріалу безпосередньо на пакувальному автоматі. Мішечки використовуються самі по собі або як вкладиші, найчастіше в паперові коробки. Здебільшого мішечки закривають способом термічного зварювання безпосередньо, і лише в окремих випадках, для полегшення зварювання, наносять спеціальний шар.

Найширше застосовується *поліетилен* (ПЕ, РЕ), особливо високого тиску. Порівняно з іншими синтетичними матеріалами він має найнижчу густину — 920 кг/м^3 . З нього одержують плівки завтовшки 0,015 мм, а для мішечків — завтовшки 0,040—0,050 мм. Поліетиленові плівки прозорі, стійкі до дії харчових

продуктів, за винятком жирів. Під впливом останніх протягом тривалого часу плівка набухає, тому для упакування жирів неприйнятна. Якість плівки погіршується через вплив світла і кисню. В порівнянні з поліпропіленом поліетилен краще пропускає ультрафіолетові промені.

Поліетиленова плівка практично водо- та паронепроникна. Під час зберігання продуктів у поліетиленових мішечках при температурі -18°C протягом 6 міс всихання практично не відбувається. Поліетиленова плівка добре пропускає інертні гази. Властивості плівки практично не змінюються в інтервалі температур $-50...+70^{\circ}\text{C}$. Плівка витримує короточасну дію і температури 100°C .

Поліетилен з високою густиною (960 кг/м^3) менш прозорий, має більшу міцність, меншу проникність для газів, водяної пари і жирів, витримує температуру від -40 до $+115^{\circ}\text{C}$, придатний для виготовлення мішечків, у яких можна розігрівати заморожені продукти, але його складніше зварювати на пакувальних автоматах. Завдяки всім цим властивостям і низькій вартості поліетилен широко застосовується в холодильній технології як пакувальний матеріал. Недоліком поліетиленових мішечків є небезпека їх механічного пошкодження деякими видами продуктів у процесі навантажувально-розвантажувальних операцій.

Етиленвінілацетат (ЕВА, EVA) — співполімер етилену з вінілацетатом, прозорий і високоміцний. Як пакувальний матеріал він застосовується у вигляді звичайної і усадкової плівки, яка останнім часом набуває все більшого поширення. Усадкові (або орієнтовані) плівки одержують способом одно- або двосторонньої гарячої витяжки. Така плівка у процесі нагрівання швидко стискається. Ця властивість має важливе значення для упакування матеріалів неправильної форми. Крім того, за рахунок стиснення плівки досягається добрий контакт плівки з продуктом, без повітряних проміжків усередині упаковки. Це дає можливість зменшити окиснення та всихання продукту і уникнути додаткових термічних опорів від повітряних проміжків.

Полівінілхлорид (ПВХ, PVC) широко застосовується як пакувальний матеріал. Непом'якшений (харчовий, чистий від фізіологічно подразнювальних пом'якшувачів) полівінілхлорид порівняно з поліетиленом більш проникний для водяної пари, але менш проникний для ароматизуючих речовин. З непом'якшеного полівінілхлориду виготовляють стаканчики і пляшки,

з пом'якшеного — плівку, що має велику проникність для водяної пари, кисню і оксиду вуглецю. Недоліками полівінілхлоридної плівки є її крихкість при від'ємних температурах і непридатність для пакування жирів.

Полівініліденхлорид (ПВДХ, PVDC) застосовується як пакувальний матеріал для виготовлення мішечків головним чином у вигляді співполімеру з вінілхлоридом (ПВДХ-ПВХ). Цей матеріал має кращі властивості, ніж поліетилен: менш проникний для водяної пари і практично непроникний для інертних газів. Витримує таку саму температуру, як і пакувальний матеріал з поліетилену. З ПВДХ одержують плівку завтовшки 0,025 мм. До його недоліків можна віднести високі вартість і густину (1820 кг/м³, тобто приблизно вдвічі вище, ніж у поліетилену). Застосовується для упакування матеріалів неправильної форми, наприклад тушок птиці, порцій м'яса, цвітної капусти тощо. Упакований продукт занурюють на декілька секунд у воду температурою 95 °С. Під впливом температури плівка стискається і щільно прилягає до поверхні упакованого матеріалу. Продукти, упаковані в таку плівку, мають кращу якість, ніж продукти, упаковані за тих самих умов у плівку з інших матеріалів.

Поліпропілен (ПП, РР) порівняно дешевий. Поліпропіленова плівка міцніша, прозоріша і гладкіша, ніж поліетиленова, малопроникна для кисню. Вона витримує температуру 120—130 °С, але при температурі -10 °С стає крихкою. Плівка ПП застосовується в комбінації з іншими полімерними матеріалами для виготовлення мішечків, а в комбінації з папером — для виготовлення коробок, у яких можна розігрівати упакований продукт. Поліпропіленова плівка є термоусадковою.

З *поліетилентерефталату* (ПЕТ, РЕТ) одержують насамперед плівку для виготовлення мішечків. Ця плівка прозора і витримує температуру 100 °С, тому упакований продукт можна розігрівати безпосередньо в упаковці. З ПЕТ також виготовляють пляшки для пива та безалкогольних напоїв.

Полімери входять до складу *багатошарових пакувальних матеріалів*. Комбінація шарів уможливорює створення матеріалів із заданими властивостями. Використовуються металізовані плівки з поліетилену, поліаміду, поліпропілену, ламіновані картон і папір тощо.

На папір чи картон може наноситися покриття (віск, силікон, ПВДХ) чи ламінат (алюмінієва фольга, гнучкі

пластмаси). Таке покриття значно зменшує проникність матеріалу для кисню, вологи та жиру. У разі упакування м'яса в папір, вкритий поліетиленовою плівкою, усушка зменшується в 15 разів порівняно з воценим папером. Воцений чи алюмінізований папір традиційно використовується для упакування вершкового масла. При заморожуванні рідких і пюреподібних мас застосовують упаковки з парафінованого, воценого чи вкритого полімерною плівкою картону.

Коробки для упакування продуктів виготовляють з картону, вкритого з обох боків синтетичною плівкою, при цьому їх не склеюють, а зварюють гарячим повітрям, що підвищує продуктивність пакувальних автоматів. Покриття лотків з термостійкого картону поліетилентерефталатом (ПЕТ) чи ламінування алюмінієвою фольгою дає змогу отримати термостійку упаковку (форми, коробки, лотки), придатну для розморожування та розігрівання готових продуктів у мікрохвильовій печі.

З полімерних матеріалів за допомогою екструзійних технологій виготовляють спінені матеріали (пінополістирол, пінополіуретан та ін.). Завдяки своїй поруватій структурі вони мають низький коефіцієнт теплопровідності і використовуються для виготовлення упаковок нагрітих чи охолоджених продуктів (лотки, контейнери тощо). Для зменшення проникності водяної пари та повітря, а також для зменшення радіаційного теплообміну вироби зі спіненого матеріалу вкривають алюмінієвою фольгою (пінофол тощо).

1.4.5.6. Льодяна упаковка (глазур)

Під час упакування продуктів, особливо високоякісних, вельми бажане утворення оболонки, яка б щільно прилягала до їх поверхні і легко видалялася споживачем. З цією метою застосовують речовини, які можна вживати в їжу, зокрема питну воду, яка у процесі заморожування утворює на поверхні продукту тонкий шар льоду. Питну воду використовують для глазурування цінної риби, овочів. Лід оберігає продукт не тільки від шкідливих зовнішніх чинників, зокрема кисню повітря, але і від втрат маси через усихання. Додавання до води бактерицидних речовин чи антиокисників додатково сприяє збереженню якості продукту.

1.4.5.7. Збірна упаковка

Збірна упаковка служить для транспортування продуктів у споживчій упаковці з холодильників до споживача. Вона має запобігати пошкодженню упаковки і передчасному розморожуванню продуктів, а її розміри мають сприяти оптимальному розміщенню упакованого продукту. Загальна маса упаковки має бути не більше як 15 кг.

Як збірну упаковку багаторазового використання найчастіше застосовують короби з гофрованого картону. Для підвищення вологостійкості картон просочують і відповідно обробляють поверхню короба. Для важких продуктів, наприклад риби, ячного філе, короби зміцнюють поліпропіленовою чи сталевною стрічкою. На дно порожнього і на поверхню заповненого короба кладуть аркуш з гофрованого картону, завдяки чому збільшується міцність короба і зменшується навантаження на склеєний шов.

Запитання для самоперевірки

1. Як впливає ультрафіолетове опромінення на мікроорганізми? Як це впливає на термін зберігання?
2. Які антисептики використовують у харчовій промисловості?
3. Як впливає зниження тиску на процеси, що відбуваються у продукті впродовж зберігання?
4. У чому полягає позитивний вплив озонування?
5. Чому охолодження прискорюється під впливом електричного поля?
6. Які види упаковки використовуються для пакування охолоджених і заморожених продуктів? У чому полягають переваги та недоліки паперової упаковки, металу, полімерних плівок?