

М. ЯНЧАРЕК, кандидат технічних наук, ад'юнкт
 Люблінська політехніка, Польща
О.Ф. БУЛЯНДРА, доктор технічних наук, професор
 Національний університет харчових технологій

ЗБЕРІГАННЯ ФРУКТІВ У ГАЗОВИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Проведено аналіз впливу температури та складу газового середовища на термін зберігання фруктів. Найкраще гальмується дихання яблук і груш при температурі повітря в сховищі $t = 1,5-2,5^\circ\text{C}$, за вмісту кисню 1,5–2,5 %, вуглекислого газу 2–3 %. За таких умов фрукти зберігаються практично до нового врожаю.

Ключові слова: зберігання, фрукти, тепломасообмін, дихання фруктів, теплота дихання, фізіологічні властивості, вологість.

Проанализировано влияние температуры и состава газовой среды на продолжительность хранения фруктов. Лучше всего приостанавливается процесс дыхания яблок и груш при температуре воздуха в складском помещении $t = 1,5-2,5^\circ\text{C}$, концентрации кислорода 1,5–2,5 %, углекислого газа 2–3 %. В таких условиях фрукты сохраняются практически до нового урожая.

Ключевые слова: сохранение, фрукты, тепломассообмен, дыхания фруктов, теплота дыхания, физиологические свойства, влажность.

Зберігання створює можливості доставки на ринок протягом цілого року фруктів високої якості, яка відповідає вимогам споживача. Важливим є вибір відповідної технології зберігання, яка забезпечувала б найкращі результати. Експериментально доведено, що зберігання фруктів за умови низьких концентрацій кисню (сховища ULO, в атмосфері яких вміст кисню становить 2–3 %) дає можливість досягнути найкращих результатів у порівнянні з традиційними методами. Проте навіть найкраща технічна конструкція сховища і сучасне оснащення не гарантують ефективного зберігання. Особливо важливою є розробка науково обґрунтованої технології зберігання з урахуванням фізіологічних особливостей, тепломасообмінних процесів, сорту, якості та однорідності фруктів.

Для визначення умов зберігання фруктів після їх збирання необхідно враховувати їх фізіологічні властивості. Це вимагає розуміння необхідності розробки різних технологій і забезпечення відповідно різних умов зберігання охолоджуваних фруктів.

Характерними рисами живих організмів є їх ріст і розвиток. Розвиток фруктів відбувається не тільки під час вегетації, а й після збирання. Розвиток фруктів триває аж до досягнення стану фізіологічної смерті. Це свідчить про те, що під час зберігання фрукти продовжують жити. Для підтримання життя живого організму під час складування необхідна енергія, яку фрукти черпають із резерву, який міститься в їх рослинних клітинах. Цей процес зумовлює дихання фруктів. У клітинах фруктів відбувається дихання, під час якого вуглеводні перетворюються на вуглекислий газ і пару води. Під час цієї реакції відбувається виділення певної кількості енергії.



© М. Янчарек, О.Ф. Буляндра, 2007

Після збирання накопичення цукрів припиняється, а процес дихання триває, як і раніше. Це означає, що з моменту зривання фруктів з дерев запаси складових цукру тільки зменшуються. З метою якнайбільшого гальмування швидкості редукції цукрів фрукти повинні бути охолоджені і складовані у відповідних умовах.

Теплота дихання. Частина енергії (близько половини), що виділяється під час дихання, являє собою теплоту. Цю теплоту необхідно видалити за допомогою холодильних установок. Інтенсивність процесу дихання фруктів залежить від їх температури: чим вища температура, тим інтенсивніше відбуваються процеси дихання. Це викликає збільшення втрати цукрів, що веде до збільшення кількості звільненої теплоти. На рис. 1 показано результати обробки експериментальних даних [7] щодо визначення теплоти, яка виділяється в процесі дихання фруктів.

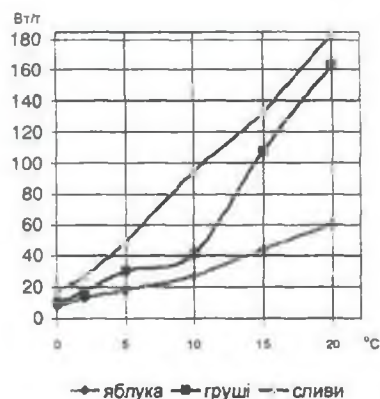


Рис. 1. Залежність теплоти дихання фруктів від температури газового середовища

Як впливає із наведених даних, з підвищенням температури інтенсивність виділення теплоти зростає, але для різних фруктів це зростання буде різним. Так, найменше зростання виділення теплоти при зміні температури від 0 до 20 °С спостерігається для яблук — від 10 до 60 Вт/т, тобто в 6 раз, а найбільше для слив — від 15 до 180 Вт/т, тобто в 12 раз. У середньому з підвищенням температури на один градус інтенсивність виділення теплоти збільшується: для яблук — на 2,5 Вт/т, для груш — на 7,5, а для слив — на 8 Вт/т. Як видно на рис. 1, спад температури різко гальмує процес дихання і виділення теплоти.

З наведеної формули видно, що під час дихання споживається кисень повітря сховища і виробляється вуглекислий газ. У щільно замкнутому сховищі в результаті дихання фруктів знижується вміст кисню і зростає вміст вуглекислого газу. Якщо сховище не провітрюється або надлишок вуглекислого газу не видаляється, вміст кисню може зменшитися до 1 %, а вміст вуглекислого газу може зрости до 20 %. Така ситуація є небажаною, оскільки призводить до незворотних пошкоджень фруктів.

Процес дихання може гальмуватися також за рахунок зниження вмісту кисню або підвищення вмісту вуглекислого газу. Вплив концентрації кисню на виробництво вуглекислого газу у процесі дихання фруктів показано на рис. 2. За точку відліку взято виробництво вуглекислого газу в 100 % за вмісту кисню 21 %. У разі відсутності кисню в повітрі ($O_2 = 0$ %) виділення вуглекислого газу не відбувається ($CO_2 = 0$). Як видно із рис. 2, зі зменшенням вмісту кисню інтенсивність виділення вуглекислого газу зменшується. Найбільше гальмування процесів дихання спостерігається за вмісту кисню в межах 1,5—2,5 %. У таких умовах інтенсивність дихання знижується майже до 25 %.

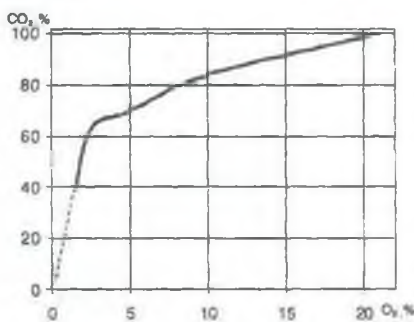


Рис. 2. Залежність виділення вуглекислого газу від концентрації кисню при температурі повітря $t = 3,3$ °C

Крім вмісту кисню, на процеси дихання суттєво впливає концентрація вуглекислого газу. На рис. 3 показано результати досліджень впливу вмісту CO_2 на процеси дихання. Беручи інтенсивність дихання за 100 % за вмісту кисню 21 % і вуглекислого газу 0 %, можна стверджувати, що в газовому середовищі, що складається із 3 % кисню і 1 % вуглекислого газу, інтенсивність дихання становить 45 %. Якщо вміст

кисню становить 10 % за тієї самої концентрації CO_2 , інтенсивність дихання становить приблизно 65 %.

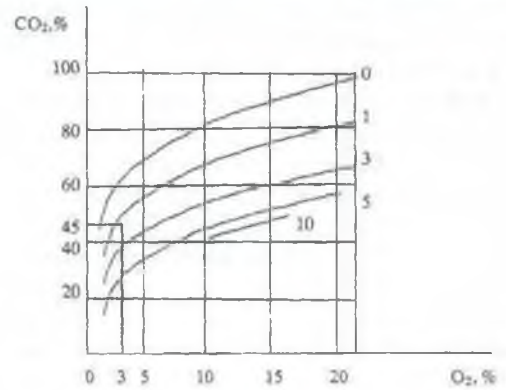


Рис. 3. Залежність інтенсивності дихання фруктів від концентрації кисню за різного вмісту вуглекислого газу

Втрати вологості. Під час зберігання фрукти втрачають свою масу з двох причин. По-перше, втрата маси відбувається в результаті втрати вуглеводнів у процесі дихання фруктів, по-друге, — це втрата вологості в результаті висихання. Останній процес значно важливіший, ніж процес втрати вуглеводнів. Виявляється він у зменшенні маси та поверхні перерізу фруктів (в'янення) і втраті пружності (твердості). Втрата близько 4 % вологості спостерігається візуально. Фрукти стають в'ялими, втрачають до 5—6 % маси включно з втратами вуглеводнів. Під час зберігання ступінь втрати вологості зумовлена властивостями фруктів, а також термодинамічними параметрами газового середовища у сховищах. Сорти яблук з товстим восковим покриттям втрачають відносно мало маси. На втрату маси фруктів впливають температура і відносна вологість повітря сховища. Наприклад, при температурі повітря 15 °C і відносній вологості 50 % (умови нерегульованого середовища) 1 кг яблук втрачає близько 2 г за добу. Ті самі яблука під час зберігання при температурі 3 °C і за відносної вологості 92 % втрачають тільки приблизно 0,35 г за добу, тобто в шість разів менше.

З метою зменшення втрати маси фруктів бажано швидко охолодити їх після збирання з підтриманням максимально можливої відносної вологості повітря у сховищі. На практиці у сховищах типу КА можна досягти відносної вологості 95—98 %. У звичайних холодильних сховищах досягти відносної вологості 90—92 % проблематично. Тому втрати маси у сховищах типу КА, як правило, завжди менші, ніж у звичайних холодильних сховищах.

Технології зберігання фруктів. Нині найпоширеніші три технології зберігання фруктів у сховищах: звичайні холодильні сховища [1, 2]; сховища з модифікованою атмосферою (КА) [3, 5]; сховища із регульованим складом газового середовища (ULO) [7, 3].

У звичайних холодильних камерах дихання фруктів гальмується виключно завдяки застосуванню низьких температур. Необхідний для цього холод

постачається холодильними установками. Холод підводиться вздовж шляху руху циркуляційного повітря, а не так, як було раніше, через подачу холодного зовнішнього повітря згори сховища, а потім повітря рухалося за рахунок сили тяжіння.

У сховищах з модифікованою атмосферою зберігання фруктів забезпечується не тільки за рахунок зниженої температури повітря, а й за рахунок збільшення концентрації вуглекислого газу. Фрукти, дихаючи, вживають кисень, а виробляють CO_2 . Якщо сховище достатньо ущільнене, то вміст вуглекислого газу спочатку постійно зростає, в результаті чого дихання рослинних клітин гальмується. Підтримувати відповідний рівень CO_2 можна за допомогою вентиляції атмосферного повітря. За цією технологією зберігання сумарний вміст кисню і вуглекислого газу підтримується на рівні 21 %, наприклад, 6 % CO_2 і 15 % O_2 .

У сховищах з контрольованою атмосферою [5] надлишок CO_2 усувається з повітря сховища з подальшим зниженням вмісту кисню приблизно до 3 %. в результаті чого значно гальмуються процеси дихання. Такий низький вміст кисню досягається за рахунок усунення вуглекислого газу, що виділяється у процесі дихання фруктів, з атмосфери сховища за допомогою промивної машини (скрубера). Далі вміст кисню знижується за рахунок дихання фруктів. Концентрація кисню утримується на необхідному рівні за рахунок вентиляції сховища атмосферним повітрям. За цією технологією сума концентрацій кисню і вуглекислого газу завжди нижча 21 %.

Під поняттям технології ULO розуміють зберігання фруктів в умовах, які дають можливість досягнути концентрації кисню приблизно 2 %. Зберігання фруктів із застосуванням технології ULO, суттєво відрізняється від зберігання за звичайною технологією і полягає у необхідності застосування відповідної вимірювальної і регулювальної апаратури. Завдяки цій технології складування яблук або груш краще зберігаються природне забарвлення шкурки, вища пружність фруктів, подовжується термін зберігання і суттєво зменшуються збитки, викликані хворобою фруктів.

Охолодження фруктів. Температура зібраних фруктів може досягати 25 °C і навіть більше. У холодильних сховищах температура повинна бути знижена не менше ніж на 20 °C. Швидке охолодження фруктів дає можливість зберегти їх високу якість. Для цього встановлена потужність холодильного обладнання розраховується на основі добового завантаження сховища. Потужність обладнання має бути такою, щоб протягом 24 год по кожному завантаженню температура повітря сховища знизилася би до встановленої величини ($t = 1,5\text{—}2,5$ °C) [4, 6].

У сховищах типу ULO концентрація кисню має бути доведена до 2 %. Оскільки найвища інтенсивність дихання фруктів спостерігається під час завантаження сховища, то природне зменшення концентрації кисню становить понад 1 % щоденно. Одночасно зі зменшенням концентрації кисню і зростанням вмісту вуглекислого газу швидкість реакції дихання спадає.

Якщо потужність холодильного обладнання недостатня, то фрукти необхідно попередньо охолодити. Можна це здійснювати у спеціально виділених камерах відповідної холодильної потужності. Після зниження температури до необхідної, фрукти переносяться до сховища тривалого зберігання.

Економічна доцільність тривалого зберігання фруктів вимагає науково обґрунтованого розрахунку теплового опору стін сховища. Як відомо, теплота за межами сховища передається через теплову ізоляцію всередину. Чим більша різниця температур між зовнішнім повітрям і газовим середовищем сховища, тим швидше передається теплота всередину. Тому дуже важливим є вибір необхідної теплоізоляції. Теплота, яка є у сховищі, має бути відібрана аж до досягнення температури зберігання. Внутрішня теплота сховища складається з теплоти фруктів, упакування і переданої через стінки.

Для забезпечення ефективної роботи кліматизаційної установки необхідно звернути увагу на той факт, що під час охолодження дуже часто на поверхні випарника утворюється крижка. Вона збільшує тепловий опір і значно зменшує потужність холодильної установки. Тому її необхідно видалити. Інші видаляють нагріванням ламелів випарника. Після цього теплоту необхідно видалити за допомогою холодильного устаткування.

Під час охолодження, а також під час зберігання в результаті дихання фруктів виділяється теплота, яку теж необхідно враховувати у виборі потужності холодильної установки. Крім цього, у сховище надходить теплота через вентиляцію, відкривання дверей, вікон, від електродвигунів вентиляторів, від освітлення та ін. Суттєве надходження теплоти може спостерігатися через підлогу. Тому під час будівництва нових сховищ має бути запроектована надійна тепло- і гідроізоляція підлоги.

Видалення теплоти із сховища за допомогою холодильних установок спричиняє висихання фруктів. Це явище пояснюється так. Повітря сховища охолоджується у випарнику холодильної установки. Оскільки холодне повітря має нижчу точку насичення парою води, ніж тепле повітря, то частина пари конденсується на ламелях випарника. Вентилятори подають холодне повітря всередину сховища. Холодне повітря стикається з теплими фруктами і охолоджує їх. Теплота фруктів нагріває повітря. Нагріте повітря має більшу здатність поглинати водяну пару. Оскільки фрукти мають великий вміст води, а в повітрі спостерігається її нестача, то волога переноситься від фруктів до повітря, що спричиняє висихання фруктів. Нагріте повітря знову надходить до випарника, де, охолоджуючись, віддає частину вологи. Цей процес спостерігається протягом усього часу зберігання фруктів у сховищі. Неминучим результатом цього процесу є висихання і в'янення фруктів.

Будуючи сучасні сховища, як правило, використовують ізоляційні панелі. Вони мають високу витривалість, але відносно дорогі. Панелі з серцевиною із

поліуретану і парощільними металевими або іншими стінками з двох боків з'єднуються між собою різними способами і утворюють надійні конструкції, які практично відповідають усім вимогам сучасних технологій зберігання фруктів. Зберігання фруктів — складний теплофізичний процес, який ще до кінця не вивчений. Тому під час проектування і будівництва нових сховищ усі ці особливості мають бути враховані.

Висновки. Термін зберігання фруктів визначається ефективністю процесів дихання, які суттєво залежать від температури і газового складу сховища. Найкращі результати в гальмуванні дихання досягаються при температурі середовища 1,5—2,5 °C, концентрації кисню 1,5—2,5 %, вуглекислого газу 2—3 %.

У розглянутих режимах втрати маси яблук приблизно в 6 разів менші, ніж у нерегульованих середовищах.

Найкращі результати в зберіганні яблук і груш досягаються в сховищах із регульованим складом газового середовища (ULO).

Під час проектування сховищ із регульованим складом газового середовища необхідно враховувати особливості тепломасоперенесення всередині сховища, які досі ще не до кінця вивчені.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Jastrzebski Witold*. Technologia chlodnicza zywnosci, WSiP, Warszawa, 1991.
2. *Klimek Grzegorz*. Chlodnia — z koniecznosci czy dla zysku. — *Haslo Ogrodnicze*. № 09. — 1999.
3. *Rutkowski Krzysztof*. Warunki przechowywania owocow. — *Haslo Ogrodnicze*. № 10. — 2004.
4. *Rutkowski Krzysztof*. Rozpoczyna sie kolejny sezon przechowalnicy. — *Haslo Ogrodnicze*. № 09. — 2004.
5. *Sowinski Pawel*. Oplaca sie mierzyc stezenie tlenu w chlodni. — *Haslo Ogrodnicze*. № 11. — 2000.
6. *Tomala Kazimierz*. Przygotowac jablka do przechowania. — *Haslo Ogrodnicze*. № 09. — 2002.
7. *W. van der Bliek, J. van Overbeeke, W. Schmitz, D. Verhoeven, H. van der Linden, A. Scheer*. Od komory chlodniczej do przechowalni w systemie ULO. — 1991.

Одержана редколлегиею 15.03.06 р.