

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЗАМОРАЖИВАНИЯ ПЛОДОВ И ЯГОД

Исследован процесс замораживания сибирских плодов и ягод. Определена продолжительность замораживания ягод черной смородины при естественной конвекции при различных температурах и в слое ягод различной толщины. Приведена конструктивная схема и схема хладоснабжения разработанного нами двухзонного флюидизационного скороморозильного аппарата. Определена продолжительность замораживания ягод в этом скороморозильном аппарате при различных режимах его работы. Определены скорости замораживания ягод при различных условиях замораживания.

Замораживание, криоскопическая температура, скороморозильный аппарат, флюидизация, скорость замораживания.

Замораживание является наиболее перспективным методом консервирования скоропортящихся продуктов. В замороженных продуктах наилучшим образом сохраняются основные компоненты, определяющие пищевую ценность, в том числе и такие лабильные, как витамины, полифенолы. Замороженные продукты по органолептическим показателям – вкусу, аромату, цвету, внешнему виду наиболее близки естественному состоянию. Однако способ и режимы замораживания оказывают значительное влияние на качественные показатели замороженного продукта и на сохранность его ценных компонентов.

Интенсивность и характер изменений при замораживании пищевых продуктов зависят от условий и параметров процесса, а также от их качественных характеристик. При быстром замораживании до низких температур в пищевом продукте образуется микроструктурная структура. Кристаллики распределяются равномерно внутри клеток и в межклеточном пространстве. Если скорость замораживания мала и замораживание проводится не при низких температурах, то образуются кристаллики больших размеров и возникновение большей их части происходит вне клеток. При этом благодаря разнице концентраций внутриклеточной и внеклеточной влаги вода частично диффундирует в межклеточное пространство к уже образовавшимся кристаллическим зародышам. Поскольку размеры образовавшихся в межклеточном пространстве кристалликов льда увеличиваются за счет уменьшения клеточного влагосодержания, клетки усыхают. Кроме того, во время замерзания объем воды увеличивается приблизительно на 10% и образовавшиеся в межклеточном пространстве кристаллики оказывают на клетки механическое давление, вызывающее деформацию и повреждение клеток [1].

В соответствии с рекомендациями [2] замораживание называют очень быстрым при скорости замораживания более 5 см/час, быстрым – 0,5÷5 см/час, замораживание, осуществляемое со скоростью 0,1÷0,5 см/час – медленным замораживанием. Скоростью замораживания называют отношение расстояния между поверхностью объекта и его термическим центром к промежутку времени между моментами достижения на поверхности температуры 0° С и в термическом центре на 10° С ниже криоскопической температуры.

После оттаивания из медленно замороженных тканей уходит много клеточной влаги. При быстром замораживании количество теряемой клеточной влаги минимально.

Для разработки технологии замораживания необходимо исследовать характер изменения температуры в продукте при низкотемпературном воздействии на него.

Исследовали процессы замораживания плодов и ягод при естественной конвекции и в специально разработанном скороморозильном аппарате.

Замораживание при естественной конвекции

Замораживание производилось в низкотемпературной холодильной камере при температурах минус 12, минус 18, минус 24° С в слое ягод 1, 4 и 8 сантиметров. Температуру ягоды в процессе замораживания определяли с помощью хромель-копелевых термоэлектрических преобразователей (термопар), размещенных в геометрическом центре одной из ягод, размещенной в центре замораживаемого слоя. Размер самого датчика (термопары, размещенной в ягоде) не превышал 0,15 мм. Термограммы процессов замораживания для ягод черной смородины сорта «Память Лисавенко» приведена на рис. 1. Как следует из рисунка, процесс замораживания характеризовался очень низкой скоростью замораживания (от 0,02 до 0,42 см/час). На термограммах процессов замораживания явно выделяются 3 участка.

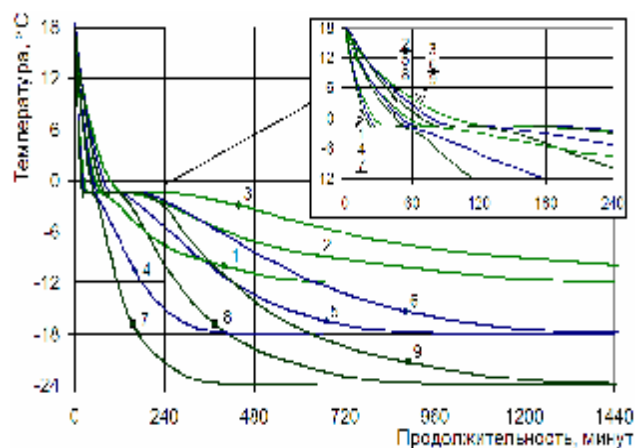


Рис. 1. Термограммы замораживания ягод черной смородины сорта «Память Лисавенко» при естественной конвекции:

1, 2, 3 – замораживание до минус 12° С; 4, 5, 6 – замораживание до минус 18° С; 7, 8, 9 – замораживание до минус 24° С; 1, 4, 7 – замораживание ягод в слое 1 см (1 слой ягоды); 2, 5, 8 – замораживание ягод в слое 4 см; 3, 6, 9 – замораживание ягод в слое 8 см (скорость замораживания: 1 – 0,08 см/час; 2 – 0,04 см/час; 3 – 0,02 см/час; 4 – 0,27 см/час; 5 – 0,11 см/час; 6 – 0,08 см/час; 7 – 0,42 см/час; 8 – 0,18 см/час; 9 – 0,12 см/час)

1 участок – процесс охлаждения, в течение которого температура стабильно понижается. Продолжительность этого процесса в наибольшей степени зависит от толщины замораживаемого слоя плодов и ягод, составляет от 20 до 30 минут для ягод выложенных в один слой; от 50 до 70 минут при толщине слоя ягоды 4 сантиметра; от 80 до 120 минут при толщине слоя ягод в 8 сантиметров при температурах воздуха в камере от минус 24 до минус 12° С.

2 участок – процесс кристаллизации влаги, входящей в состав плодов и ягод. Процесс этот начинается при криоскопической температуре, которой соответствовала изотермическая площадка на термограмме. Изотермическая площадка наблюдалась сравнительно недолго – от 12 минут при толщине слоя ягод 1 сантиметр и температуре воздуха в камере минус 24° С до 150 минут при толщине слоя ягод 8 сантиметров и температуре воздуха в камере 12° С. В дальнейшем процесс замораживания сопровождался медленным, но стабильным понижением температуры. Длительность процесса замораживания составляла в зависимости от температуры воздуха в холодильной камере и от толщины слоя ягоды – 5–25 часов.

3 участок – процесс охлаждения замороженной ягоды. Этот участок характеризуется достаточно высокой скоростью понижения температуры. Понижение температуры замедляется по мере уменьшения разности температур между ягодой и воздухом в камере.

Быстрое замораживание

Для исследования процессов, происходящих в растительном сырье при его замораживании, был разработан скороморозильный аппарат модульного типа, способный обеспечивать различные режимы низкотемпературной обработки [3]. Скороморозильный аппарат выполнен на базе холодильного шкафа с полезным объемом 0,8 м³ (рис. 2).

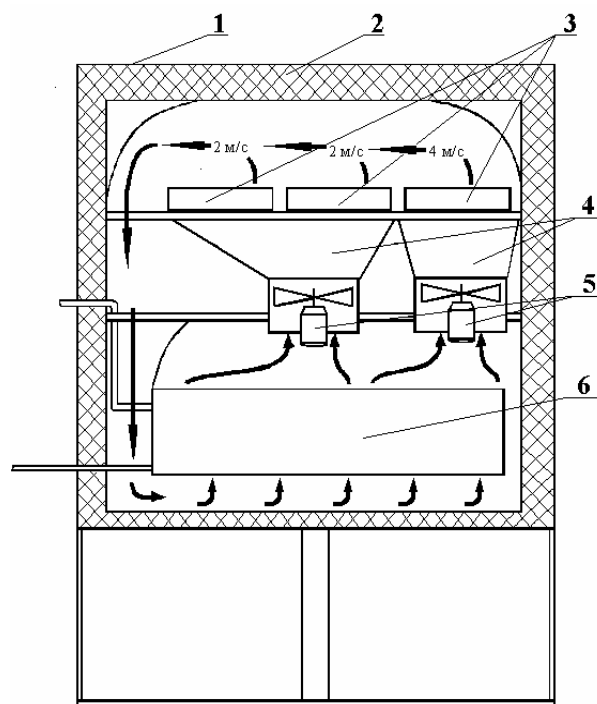


Рис. 2. Принципиальная схема скороморозильного аппарата:
1 – корпус; 2 – теплоизоляция; 3 – лотки для продукта;
4 – диффузоры; 5 – вентиляторы; 6 – испаритель

Испаритель размещен в нижней части скороморозильного аппарата. Верхняя часть аппарата – грузовой отсек, в котором происходит низкотемпературная обработка, представляет собой туннель, на котором могут одновременно находиться три лотка с замораживаемым продуктом. Лотки имеют сетчатое дно и могут перемещаться по направляющим. Емкость одного лотка – до 2,5 кг (для черной смородины). Между охлаждающими батареями и грузовым отсеком размещены два осевых вентилятора, обеспечивающих протяжку воздуха через слой замораживаемого продукта и интенсивную циркуляцию его в аппарате.

Скорость движения воздуха в скороморозильном аппарате можно изменять, для этого в электрическую цепь электродвигателей вентиляторов включен преобразователь частоты. Воздушные потоки организованы таким образом, что один вентилятор протягивает воздух через первый лоток по направлению перемещения, обеспечивая более интенсивный теплоотвод на начальном этапе низкотемпературной обработки. Скорость движения воздуха через первый лоток можно задать в пределах до 5 м/с. Вторым вентилятором протягивается воздух через два последующих лотка, скорость воздуха, проходящего через эти лотки в 2 раза меньше скорости воздуха в первом лотке.

Такая схема движения воздуха позволяет оптимизировать процесс замораживания – обеспечить меньшие энергозатраты по сравнению с вариантом заморозки воздухом, имеющим постоянную скорость. Холодоснабжение скороморозильного аппарата обеспечивается двухступенчатая холодильная машина, работающей на фреоне R-22 (рис. 3).

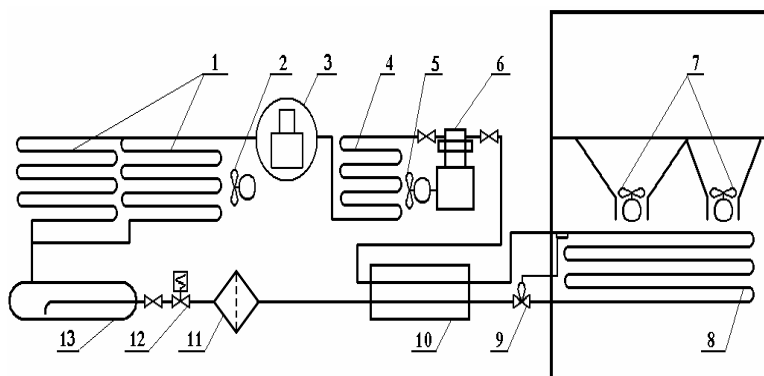


Рис. 3. Принципиальная схема холодильной машины хладоснабжения скороморозильного аппарата:

- 1 - секции конденсатора; 2 - вентилятор конденсатора; 3 - компрессор верхней ступени (RP16TN); 4 - промежуточный холодильный агрегат; 5 - электродвигатель компрессора и вентилятора промежуточного холодильника; 6 - компрессор нижней ступени (ФВ-6); 7 - вентиляторы испарителя; 8 - испаритель; 9 - терморегулирующий вентиль (ТРВ); 10 - регенеративный теплообменник; 11 - фильтр-осушитель; 12 - жидкостной соленоидный вентиль; 13 - ресивер холодильного агента

Замораживали ягоды черной смородины сорта «Память Лисавенко». Температура ягоды измерялась хромель-копелевыми термопарами, установленными в геометрическом центре ягод.

Исследовали три варианта замораживания ягод черной смородины сорта «Память Лисавенко» в скороморозильном аппарате. В процессе замораживания температура воздуха поддерживалась в диапазоне от минус 40 до минус 30° С. Термограммы замораживания ягод в скороморозильном аппарате приведены на рис. 4-6.

Первый вариант заключался в заморозке ягоды в одном лотке с одновременной загрузкой в аппарат одного кг ягоды.

Замораживание ягод от температуры 16÷18° С до температуры минус 18° С в геометрическом центре осуществлялось за 12÷18 минут в зависимости от режима низкотемпературной обработки (рис. 4). Скорость замораживания ягод при скорости движения воздуха 5 м/с и температуре воздуха в скороморозильном аппарате минус 42° С составила 4,13 см/час.

Второй вариант заключался в заморозке ягод в трех лотках одновременно по 1 кг в каждом с эффектом конвейера (рис. 5). Процесс замораживания при этом разделен на три временных промежутка, зависящих от положения лотка. Первый интервал времени – лоток расположен справа, скорость движения воздуха составляет 4 м/с. Второй и третий интервалы – лоток в центре и слева, скорость движения воздуха 2 м/с.

Процесс замерзания 1 кг ягоды от 15 до минус 25° С происходит в среднем за 19 минут при средней температуре воздуха в аппарате минус 36° С.

В течение первого временного промежутка происходит охлаждение ягоды до криоскопической температуры и кристаллизация значительного количества влаги. Продолжительность первого промежутка составляла 7 минут.

В течение второго временного промежутка происходит домораживание продукта до температуры приблизительно минус 15° С, продолжительность второго участка составляла также 7 минут.

В третьем временном промежутке происходило переохлаждение замороженной ягоды, его продолжительность составляла приблизительно 5 минут.

Производительность скороморозильной установки в таком режиме работы составляет 8,6 кг/час. Скорость замораживания ягод в таком режиме составила 3,8 см/час. Третий вариант заключается в заморозке ягод в двух лотках одновременно по 2 кг в лотке с эффектом конвейера (рис. 6). Процесс замораживания в этом случае разделен на два временных промежутка, зависящих от положения лотка.

Первый интервал времени – лоток расположен справа, скорость движения воздуха составляет 4 м/с. В течение первого временного промежутка происходит охлаждение ягоды от 15° С до криоскопической температуры и кристаллизация

значительного количества влаги. Конечная температура ягоды составляет минус 2 ÷ минус 3° С. Продолжительность первого временного интервала приблизительно 17 минут.

Второй интервал – лоток слева, скорость движения воздуха 2 м/с. Происходит домораживание и переохлаждение замороженной ягоды. Конечная температура процесса составляет приблизительно минус 15° С. Продолжительность второго временного интервала – приблизительно 14 минут.

Таким образом, замораживание ягоды конвейерным способом порциями по 2 килограмма в среднем составляет 31 минуту. Производительность скороморозильной установки в таком режиме работы составляет 7 кг/час. Скорость замораживания в таком режиме составляет 1,6 см/час.

Наиболее эффективным из рассмотренных способов замораживания в аппарате следует признать конвейерный, с количеством одновременно замораживаемого продукта 3 кг и количеством продукта в одном лотке 1 кг.

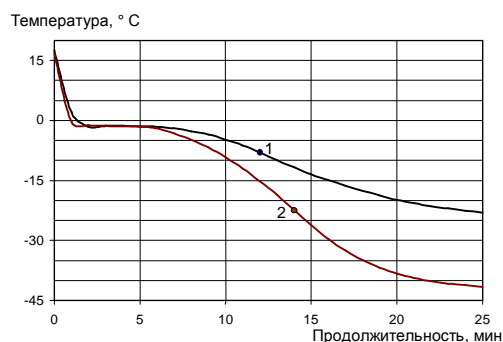


Рис. 4. Термограммы замораживания ягод черной смородины сорта «Память Лисавенко» в скороморозильном аппарате при скорости движения воздуха 5 м/с:

- 1 – замораживание при минус 30° С; 2 – замораживание при минус 42° С (скорость замораживания: 1 – 3,25 см/час; 2 – 4,13 см/час)

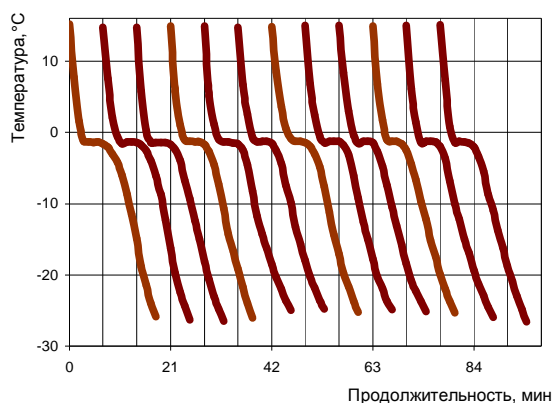


Рис. 5. Термограммы замораживания ягод смородины сорта «Память Лисавенко» конвейерным способом по одному килограмму в СКМ

Замораживание 1 кг в лотке с одновременной загрузкой в аппарат 1 кг очень незначительно ускоряет процесс замораживания – на 2÷3 минуты – за счет того, что температура в охлаждаемом объеме понижается с минус 36 до минус 40° С. Однако производительность скороморозильного аппарата уменьшается приблизительно в 2-2,5 раза.

Замораживание ягоды в двух лотках одновременно по 2 кг в лотке с эффектом конвейера также менее эффективно, поскольку увеличивает время замораживания практически в 2 раза, за счет увеличения тепловой нагрузки на испаритель возрастает температура воздуха в охлаждаемом объеме, уменьшается производительность скороморозильного аппарата.

Таким образом, при конвейерном способе замораживания с одновременной загрузкой трех лотков с одним килограммом ягоды в каждом процесс низкотемпературной обработки до температуры минус 25° С будет происходить за 17, 20 минут в зависимости от начальной температуры продукта, а скорость замораживания при этом составит около 3,8 см/час, следовательно, продукт можно классифицировать как быстрозамороженный. Производительность аппарата в таком режиме работы составляет 8÷9 кг/час.

Быстрое замораживание более предпочтительно с точки зрения обеспечения сохранности исходных

Список литературы

1. Алмаши Э. Быстрое замораживание пищевых продуктов / Э. Алмаши, Л. Эрдели, Т. Шарой. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 408 с.
2. Грубы Я. Производство замороженных продуктов / Я. Грубы. - М. Агропромиздат, 1990. - 336 с.
3. Короткий И.А. Сибирская ягода. Физико-химические основы технологий низкотемпературного консервирования / И.А. Короткий. – Кемерово, 2007. – 146 с.

свойств и состава замораживаемого продукта, однако такой способ замораживания гораздо сложнее технически осуществить. Быстрое замораживание производится в скороморозильных аппаратах – устройствах достаточно дорогостоящих, при этом период эксплуатации таких аппаратов в течение года ограничен продолжительностью сезона заготовки свежих плодов и ягод.

Время замораживания ягод черной смородины при естественной конвекции составляет около одних суток. При этом разрушается структура ягоды, значительная часть связанной влаги переходит в свободное состояние, что приводит к потерям клеточного сока при размораживании. Однако процесс замораживания при естественной конвекции легко организовать в обычной низкотемпературной холодильной камере, в которой можно в дальнейшем осуществлять хранение замороженной ягоды, что является преимуществом такого способа замораживания, когда ягода заготавливается для дальнейшей переработки. Кроме того, если ягода заготавливается для производства соков, то медленное замораживание даже увеличивает выход сока из замороженной ягоды. Поэтому при использовании ягод в качестве сырья и замораживании с целью сохранения до переработки применение быстрого замораживания нецелесообразно.

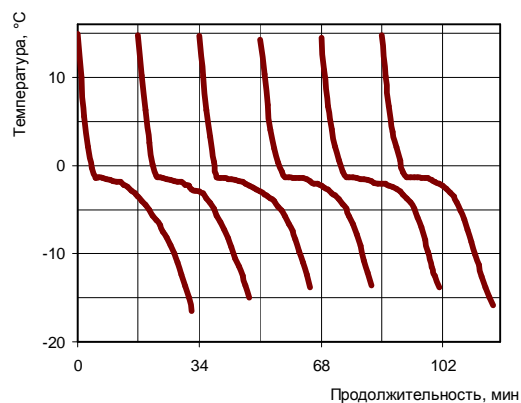


Рис. 6. Термограммы замораживания ягод смородины сорта «Память Лисавенко» конвейерным способом по два килограмма в СКМ

ГОУ ВПО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности»,
650056, г. Кемерово, б-р Строителей, 47

SUMMARY

L.A. Ostroumov, O.N. Buyanov, I.A. Korotkiy

Research of processes of freezing fruits and berries

The process of freezing of the Siberian fruits and berries is investigated. The duration of freezing of berries of a black currant is determined at natural convection at various temperatures and in a layer of berries of various thickness. The constructive circuit and circuit cold-supply developed by us two-zoned the flyidisation quickly freezing device is given. The duration of freezing of berries in it quickly freezing device is determined at various modes of its job. The speeds of freezing of berries are determined under various conditions of freezing.

Freezing, freezing-point depression, quickly freezing device, flyidisation, speed of freezing

