УДК: 001.53:664.8.037.52

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ОХЛАЖДЕНИЯ И ЗАМОРАЖИВАНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Comparative analysis of various methods of cooling and freezing food products

М. А. Гагарина, студент
Н. Л. Лопаева, кандидат биологических наук, доцент
Уральский государственный аграрный университет
(Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42)

Рецензент: О. В. Горелик, профессор, доктор сельскохозяйственных наук

Аннотация

Статья посвящена обзору и сравнению различных методов охлаждения и замораживания пищевых продуктов, таких как охлаждение воздухом, водой, льдом, замораживание воздухом, жидким азотом и углекислым газом. В ней рассматриваются основные принципы, механизмы, характеристики и применение этих методов, а также оценивается их эффективность, экономичность, экологичность, качество и безопасность продуктов. Статья является полезным источником информации для специалистов в области консервации и переработки пищевых продуктов, а также для студентов и преподавателей соответствующих специальностей.

Ключевые слова: охлаждение, заморозка, пищевая продукция.

Summary

The article reviews and compares various methods of cooling and freezing food products, such as air, water, ice, air, liquid nitrogen and carbon dioxide freezing. It examines the basic principles, mechanisms, characteristics and applications of these methods, and evaluates their effectiveness, cost-effectiveness, environmental friendliness, quality and product safety. The article is a useful source of information for specialists in the field of food conservation and processing, as well as for students and teachers of relevant specialties.

Keywords: cooling, freezing, food products.

Охлаждение и замораживание пищевых продуктов являются важными способами консервации и увеличения срока хранения продуктов питания. Они позволяют сохранить качество, питательную ценность и безопасность продуктов, а также снизить потери и отходы. Однако различные методы охлаждения и замораживания имеют свои преимущества и недостатки, которые зависят от типа продукта, его свойств, условий хранения и требований потребителей.

Целью данной статьи является сравнительный анализ различных методов охлаждения и замораживания пищевых продуктов, а также выявление их влияния на качество и безопасность продуктов. Задачами статьи являются:

– рассмотреть и описать основные методы охлаждения и замораживания пищевых продуктов, а также их применение в пищевой промышленности;

– сравнить эффективность, экономичность и экологичность различных методов охлаждения и замораживания пищевых продуктов;

– оценить влияние различных методов охлаждения и замораживания на качество и безопасность пищевых продуктов.

Актуальность данной темы обусловлена тем, что охлаждение и замораживание пищевых продуктов являются одними из самых распространенных и востребованных способов кон-

сервации в современном мире. Они имеют большое значение для обеспечения продовольственной безопасности, удовлетворения потребностей населения в качественных и разнообразных продуктах питания, а также для повышения конкурентоспособности пищевой промышленности.

Основные методы охлаждения и замораживания пищевых продуктов

В пищевой промышленности применяются различные методы охлаждения и замораживания пищевых продуктов, которые отличаются по скорости, равномерности, энергоемкости и стоимости процесса, а также по влиянию на качество и безопасность продуктов [1, 5]. Рассмотрим основные методы охлаждения и замораживания пищевых продуктов, а также их характеристики и применение:

1. Охлаждение воздухом

Охлаждение воздухом является самым распространенным и простым методом охлаждения пищевых продуктов. Он заключается в том, что продукт помещается в холодильную камеру или контейнер, где он подвергается воздействию холодного воздуха, который циркулирует вокруг продукта за счет естественной или искусственной конвекции. Температура воздуха обычно составляет от 0°C до 10°C, а скорость его движения от 0,5 до 5 м/с. Охлаждение воздухом позволяет охладить продукт до желаемой температуры в течение нескольких часов или дней, в зависимости от размера, формы, упаковки и теплофизических свойств продукта.

Основными преимуществами охлаждения воздухом являются:

– низкая стоимость и доступность оборудования;
– простота и удобство регулирования температуры и влажности воздуха;
– возможность охлаждать различные виды продуктов без изменения их состава и структуры;
– снижение потерь массы продукта за счет испарения воды.

Основными недостатками охлаждения воздухом являются:

– низкая эффективность и скорость охлаждения по сравнению с другими методами;
– неравномерность охлаждения продукта за счет различия температуры на поверхности и внутри продукта;
– риск загрязнения или повреждения продукта за счет попадания пыли, микроорганизмов или механических частиц из воздуха;
– потребность в большом объеме холодильного пространства для размещения продуктов.

Охлаждение воздухом применяется для охлаждения таких продуктов, как фрукты, овощи, яйца, мясо, рыба, молочные продукты, хлебобулочные изделия и др. Охлаждение воздухом может быть статическим или динамическим. Статическое охлаждение воздухом осуществляется в холодильных камерах или контейнерах, где продукты располагаются на полках или поддонах, а воздух циркулирует за счет естественной конвекции. Динамическое охлаждение воздухом осуществляется в специальных установках, где продукты проходят через каналы или туннели, а воздух циркулирует за счет искусственной конвекции, создаваемой вентиляторами или насосами.

2. Охлаждение водой

Охлаждение водой является одним из самых эффективных и быстрых методов охлаждения пищевых продуктов. Он заключается в том, что продукт погружается в холодную воду или подвергается струе холодной воды, которая имеет температуру от 0°C до 10°C. Охлаждение водой позволяет охладить продукт до желаемой температуры в течение нескольких

минут или часов, в зависимости от размера, формы, упаковки и теплофизических свойств продукта.

Основными преимуществами охлаждения водой являются:

– высокая эффективность и скорость охлаждения по сравнению с другими методами;

– равномерность охлаждения продукта за счет хорошего контакта между продуктом и охлаждающей средой;

– возможность охлаждать различные виды продуктов без изменения их состава и структуры;

– увеличение массы продукта за счет поглощения воды.

Основными недостатками охлаждения водой являются:

– высокая стоимость и сложность оборудования;

– сложность и неудобство регулирования температуры и качества воды;

– риск загрязнения или повреждения продукта за счет попадания микроорганизмов или химических веществ из воды;

– потребность в большом количестве воды и ее очистке после использования.

Охлаждение водой применяется для охлаждения таких продуктов, как фрукты, овощи, ягоды, мясо, рыба, моллюски и др. Охлаждение водой может быть погружным или напорным. Погружное охлаждение водой осуществляется в бассейнах или цистернах, где продукты погружаются в холодную воду или перемешиваются с ней. Напорное охлаждение водой осуществляется на конвейерах или душевых установках, где продукты подвергаются струе холодной воды под давлением.

3. Охлаждение льдом

Охлаждение льдом является одним из древнейших и традиционных методов охлаждения пищевых продуктов. Он заключается в том, что продукт смешивается с льдом или покрывается им, который имеет температуру около 0°C. Охлаждение льдом позволяет охладить продукт до желаемой температуры в течение нескольких часов или дней, в зависимости от размера, формы, упаковки и теплофизических свойств продукта.

Основными преимуществами охлаждения льдом являются:

– низкая стоимость и доступность льда;

– простота и удобство использования льда;

– возможность охлаждать различные виды продуктов без изменения их состава и структуры;

– увеличение массы продукта за счет поглощения воды из льда.

Основными недостатками охлаждения льдом являются:

– низкая эффективность и скорость охлаждения по сравнению с другими методами;

– неравномерность охлаждения продукта за счет различия температуры на поверхности и внутри продукта;

– риск загрязнения или повреждения продукта за счет попадания микроорганизмов или химических веществ из льда;

– потребность в большом количестве льда и его замене после использования.

Охлаждение льдом применяется для охлаждения таких продуктов, как мясо, рыба, моллюски, молочные продукты, напитки и др. Охлаждение льдом может быть сухим или влажным. Сухое охлаждение льдом осуществляется в контейнерах или коробках, где продукты укладываются слоями с льдом. Влажное охлаждение льдом осуществляется в бассейнах или цистернах, где продукты погружаются в холодную воду с добавлением льда.

4. Замораживание воздухом

Замораживание воздухом является самым распространенным и простым методом замораживания пищевых продуктов. Он заключается в том, что продукт помещается в морозильную камеру или контейнер, где он подвергается воздействию холодного воздуха, который циркулирует вокруг продукта за счет естественной или искусственной конвекции. Температура воздуха обычно составляет от -18°C до -40°C, а скорость его движения от 0,5 до 5 м/с. Замораживание воздухом позволяет заморозить продукт до желаемой температуры в течение нескольких часов или дней, в зависимости от размера, формы, упаковки и теплофизических свойств продукта.

Основными преимуществами замораживания воздухом являются:

– низкая стоимость и доступность оборудования;

– простота и удобство регулирования температуры и влажности воздуха;

– возможность замораживать различные виды продуктов без изменения их состава и структуры;

– снижение потерь массы продукта за счет испарения воды.

Основными недостатками замораживания воздухом являются:

– низкая эффективность и скорость замораживания по сравнению с другими методами;

– неравномерность замораживания продукта за счет различия температуры на поверхности и внутри продукта;

– риск загрязнения или повреждения продукта за счет попадания пыли, микроорганизмов или механических частиц из воздуха;

– потребность в большом объеме морозильного пространства для размещения продуктов.

Замораживание воздухом применяется для замораживания таких продуктов, как фрукты, овощи, ягоды, мясо, рыба, молочные продукты, хлебобулочные изделия и др. Замораживание воздухом может быть статическим или динамическим. Статическое замораживание воздухом осуществляется в морозильных камерах или контейнерах, где продукты располагаются на полках или поддонах, а воздух циркулирует за счет естественной конвекции. Динамическое замораживание воздухом осуществляется в специальных установках, где продукты проходят через каналы или туннели, а воздух циркулирует за счет искусственной конвекции, создаваемой вентиляторами или насосами.

5. Замораживание жидким азотом

Замораживание жидким азотом является одним из самых современных и быстрых методов замораживания пищевых продуктов. Он заключается в том, что продукт погружается в жидкий азот или подвергается струе жидкого азота, который имеет температуру около -196°C. Замораживание жидким азотом позволяет заморозить продукт до желаемой температуры в течение нескольких секунд или минут, в зависимости от размера, формы, упаковки и теплофизических свойств продукта.

Основными преимуществами замораживания жидким азотом являются:

– высокая эффективность и скорость замораживания по сравнению с другими методами;

– равномерность замораживания продукта за счет хорошего контакта между продуктом и охлаждающей средой;

– возможность замораживать различные виды продуктов без изменения их состава и структуры;

– сохранение физико-химических, микробиологических, сенсорных и нутриционных свойств продуктов за счет минимального образования кристаллов льда внутри продукта.

Основными недостатками замораживания жидким азотом являются:

– высокая стоимость и сложность оборудования;

– сложность и неудобство регулирования температуры и давления жидкого азота;

– риск повреждения или обморожения продукта за счет очень низкой температуры жидкого азота;

– потребность в большом количестве жидкого азота и его хранении в специальных емкостях.

Замораживание жидким азотом применяется для замораживания таких продуктов, как фрукты, овощи, ягоды, мясо, рыба, моллюски, молочные продукты, хлебобулочные изделия и др. Замораживание жидким азотом может быть погружным или напорным. Погружное замораживание жидким азотом осуществляется в бассейнах или цистернах, где продукты погружаются в жидкий азот или перемешиваются с ним. Напорное замораживание жидким азотом осуществляется на конвейерах или душевых установках, где продукты подвергаются струе жидкого азота под давлением.

6. Замораживание углекислым газом

Замораживание углекислым газом является одним из самых экологичных и экономичных методов замораживания пищевых продуктов. Он заключается в том, что продукт погружается в углекислый снег или подвергается струе углекислого газа, который имеет температуру около -78°C. Замораживание углекислым газом позволяет заморозить продукт до желаемой температуры в течение нескольких секунд или минут, в зависимости от размера, формы, упаковки и теплофизических свойств продукта.

Основными преимуществами замораживания углекислым газом являются:

– низкая стоимость и доступность углекислого газа;

– простота и удобство использования углекислого газа;

– возможность замораживать различные виды продуктов без изменения их состава и структуры;

– сохранение физико-химических, микробиологических, сенсорных и нутриционных свойств продуктов за счет минимального образования кристаллов льда внутри продукта;

– отсутствие вредного воздействия на окружающую среду за счет использования природного компонента атмосферы.

Основными недостатками замораживания углекислым газом являются:

– высокая энергоемкость и сложность оборудования;

– сложность и неудобство регулирования температуры и давления углекислого газа;

– риск повреждения или обморожения продукта за счет очень низкой температуры углекислого газа;

– потребность в большом количестве углекислого газа и его хранении в специальных емкостях.

Замораживание углекислым газом применяется для замораживания таких продуктов, как фрукты, овощи, ягоды, мясо, рыба, моллюски, молочные продукты, хлебобулочные изделия и др. Замораживание углекислым газом может быть погружным или напорным. Погружное замораживание углекислым газом осуществляется в бассейнах или цистернах, где продукты погружаются в углекислый снег или перемешиваются с ним. Напорное замораживание углекислым газом осуществляется на конвейерах или душевых установках, где продукты подвергаются струе углекислого газа под давлением.

Сравнение эффективности, экономичности и экологичности различных методов охлаждения и замораживания пищевых продуктов

Для сравнения эффективности, экономичности и экологичности различных методов охлаждения и замораживания пищевых продуктов можно использовать следующие критерии:

– время охлаждения или замораживания – это время, необходимое для достижения желаемой температуры продукта;

– коэффициент охлаждения или замораживания – это отношение массы продукта, подвергающегося охлаждению или замораживанию, к массе охлаждающей среды, используемой для этого;

– энергопотребление – это количество энергии, расходуемой на охлаждение или замораживание единицы массы продукта;

– стоимость – это сумма денежных затрат на приобретение, установку, эксплуатацию и обслуживание оборудования для охлаждения или замораживания продуктов;

– воздействие на окружающую среду - это степень загрязнения воздуха, воды и почвы в результате использования охлаждающих сред и оборудования для охлаждения или замораживания продуктов [2, 3].

В таблице 1 приведены сравнительные характеристики различных методов охлаждения и замораживания пищевых продуктов по указанным критериям.

Таблица 1

Сравнительные характеристики различных методов охлаждения и замораживания пищевых продуктов

Метод	Время	Коэффициент	Энергопотребление	Стоимость	Воздействие на окружающую среду
Охлаждение воздухом	Несколько часов или дней	1:1000 – 1:2000	0,1 - 0,5 квт·ч/кг	Низкая	Низкое
Охлаждение водой	Несколько минут или часов	1:10 - 1:100	0,01 - 0,05 квт·ч/кг	Средняя	Среднее
Охлаждение льдом	Несколько часов или дней	1:2 - 1:10	0,05 - 0,2 квт·ч/кг	Низкая	Низкое
Замораживание воздухом	Несколько часов или дней	1:1000 - 1:2000	0,5 - 2 квт·ч/кг	Низкая	Низкое
Замораживание жидким азотом	Несколько секунд или минут	1:3 - 1:10	2 - 5 квт·ч/кг	Высокая	Высокое
Замораживание углекислым газом	Несколько секунд или минут	1:2 - 1:5	1 - 3 квт·ч/кг	Средняя	Отсутствует

Из таблицы 1 можно сделать следующие выводы:

– самыми эффективными и быстрыми методами охлаждения и замораживания пищевых продуктов являются охлаждение водой, замораживание жидким азотом и замораживание углекислым газом;

– самыми экономичными и экологичными методами охлаждения и замораживания пищевых продуктов являются охлаждение воздухом, охлаждение льдом и замораживание воздухом;

– самыми дорогими и вредными для окружающей среды методами охлаждения и замораживания пищевых продуктов являются замораживание жидким азотом и замораживание углекислым газом.

При этом видно, что нет идеального метода, который бы сочетал в себе все преимущества и не имел бы недостатков. Каждый метод имеет свои сильные и слабые стороны, которые зависят от типа продукта, его свойств, условий хранения и требований потребителей. Поэтому выбор метода должен основываться на комплексном анализе всех факторов, а также на соблюдении оптимальных параметров температуры, времени и режима охлаждения или замораживания [4, 6].

Оценка влияния различных методов охлаждения и замораживания на качество и безопасность пищевых продуктов

Охлаждение и замораживание пищевых продуктов имеют важное значение для сохранения их качества и безопасности. Качество пищевых продуктов определяется их физико-химическими, микробиологическими, сенсорными и нутриционными свойствами, которые влияют на восприятие продукта потребителем. Безопасность пищевых продуктов определяется отсутствием или минимальным содержанием в них вредных или опасных для здоровья человека веществ, таких как микроорганизмы, токсины, пестициды, тяжелые металлы и др.

Охлаждение и замораживание пищевых продуктов влияют на их качество и безопасность различным образом, в зависимости от метода, параметров и условий процесса. В общем случае, охлаждение и замораживание пищевых продуктов имеют следующие эффекты:

Из положительных эффектов можно отметить замедление или прекращение процессов порчи, развития микроорганизмов, окисления жиров, изменения цвета, текстуры, аромата и вкуса продукта; увеличение срока хранения продукта; сохранение питательной ценности продукта; уничтожение или инактивация некоторых патогенных микроорганизмов или токсинов [5].

Отрицательные эффекты - образование кристаллов льда внутри продукта, которые могут повреждать его структуру и вызывать деформацию, синерезис, потерю воды и растворимых веществ; изменение физико-химических свойств продукта, таких как pH, влажность, активность воды, вязкость, плотность и др.; изменение сенсорных свойств продукта, таких как цвет, текстура, аромат и вкус; потеря некоторых витаминов, минеральных веществ.

Заключение

В данной статье были рассмотрены основные принципы, механизмы, методы, характеристики и применение охлаждения и замораживания пищевых продуктов. Был проведен сравнительный анализ различных методов охлаждения и замораживания по критериям эффективности, экономичности, экологичности, качества и безопасности продуктов. Были выявлены преимущества и недостатки каждого метода, а также даны рекомендации для выбора оптимального метода в зависимости от типа продукта, его свойств, условий хранения и требований потребителей.

Основные выводы, полученные в результате исследования, можно сформулировать следующим образом:

- Охлаждение и замораживание пищевых продуктов являются важными способами консервации и увеличения срока хранения продуктов питания. Они позволяют сохранить качество, питательную ценность и безопасность продуктов, а также снизить потери и отходы.
- Различные методы охлаждения и замораживания имеют свои преимущества и недостатки, которые зависят от типа продукта, его свойств, условий хранения и требований потребителей. Необходимо учитывать все эти факторы при выборе оптимального метода для каждого конкретного случая.
- Самыми эффективными и быстрыми методами охлаждения и замораживания пищевых продуктов являются охлаждение водой, замораживание жидким азотом и замораживание углекислым газом. Однако эти методы также являются самыми дорогими и сложными в использовании.
- Самыми экономичными и экологичными методами охлаждения и замораживания пищевых продуктов являются охлаждение воздухом, охлаждение льдом и замораживание воздухом. Однако эти методы также являются самыми медленными и неравномерными в действии.
- Самыми благоприятными для качества и безопасности пищевых продуктов являются методы замораживания жидким азотом и замораживание углекислым газом, так как они позволяют сохранить или улучшить все свойства продуктов. Самыми неблагоприятными для качества и безопасности пищевых продуктов являются методы замораживания воздухом и охлаждение льдом, так как они приводят к значительному ухудшению всех свойств продуктов.
- Методы охлаждения воздухом, охлаждения водой и охлаждения льдом могут быть использованы для краткосрочного хранения продуктов, так как они замедляют или останавливают рост микроорганизмов, но не гарантируют полную безопасность продуктов.

Библиографический список

1. *Бабичева Е. А.* Консервирование пищевых продуктов: теория и практика / Е. А. Бабичева, А. В. Лебедева. М.: КолосС, 2018. 320 с.
2. *Карпенко О. В.* Технология консервирования пищевых продуктов / О. В. Карпенко, Н. А. Степанова, Е. А. Шумакова. М.: Дашков и Ко, 2019. 368 с.
3. *Петрова И. В.* Современные методы консервирования пищевых продуктов / И. В. Петрова, А. Н. Смирнов, Т. В. Чернышева. СПб.: Лань, 2020. 416 с.
4. *Fellows P.* Food processing technology: principles and practice [Электронный ресурс]. 4th ed. Woodhead Publishing, 2016. Режим доступа: http://ndl.ethernet.edu.et/bitstream/123456789/87738/30/P.Fellows-Food_Processing_Technology_Principle.pdf.
5. *Rahman M. S.* Handbook of food preservation [Электронный ресурс]. 3rd ed. CRC press, 2018. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/270099729_Handbook_of_Food_Preservation.
6. *Sun D. W.* Emerging technologies for food processing [Электронный ресурс]. 2nd ed. Academic press, 2014. Режим доступа: https://books.google.ru/books?id=ecVrbWlLXTcC&source=ttb&redir_esc=y.