

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЕРЦА СЛАДКОГО ПРИ ЗАМОРАЖИВАНИИ

Загорко Н.П., член-кор. МААО, к.т.н., доц.

Григоренко Е.В., к.т.н.,

Стручаев Н.И., к.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

г. Мелитополь, Украина

Тел/факс (0619) 44-81-03

Аннотация. Работа посвящена исследованию теплофизических показателей перца сладкого при замораживании россыпью в воздушной среде. Для оптимизации технологии хранения изучались послойное замораживание, удельная теплоемкость, изменение коэффициента теплопроводности и коэффициент температуропроводности, которые определяют теплоаккумулирующую способность продуктов и скорость их охлаждения и замораживания.

Ключевые слова: перец сладкий, замораживание, хранение, удельная теплоемкость, коэффициент теплопроводности, коэффициент температуропроводности.

Постановка проблемы. Одной из важнейших задач народного хозяйства является обеспечение круглогодичного бесперебойного снабжения населения Украины высококачественными продовольственными продуктами в широком ассортименте. Природно-климатические условия обуславливают сезонность производства продукции растениеводства, сохранение пищевой и биологической ценности которой в течении длительного периода возможно только с помощью консервирования. Выбор того или иного способа консервирования зависит от свойств продукта, его ценности в конце процесса хранения и эффективности затрат на хранение.

Анализ последних исследований и публикаций. Сегодня общепризнано, что хранение сырья и пищевых продуктов с применением холода является одним из лучших способов их консервирования. Замораживание – наиболее эффективный способ снижения потерь при хранении. В замороженной продукции лучше, чем в консервированной любым другим способом, сохраняются основные компоненты, определяющие пищевую ценность, в том числе и такие лабильные, как витамины, полифенолы и другие элементы биохимического состава. Процесс замораживания состоит из частичного или полного превращения в лед капельножидкой влаги, содержащейся в продукте, в результате чего замедляются или прекращаются биохимические реакции и жизнедеятельность микроорганизмов. С фазовым превращением воды в лед связано изменение теплоемкости, теплопроводности и температуропроводности продуктов. Как известно, теплофизические свойства воды и льда резко отличаются друг от друга.

Теплофизические характеристики дают количественную оценку теплофизических свойств продуктов. Они определяют теплоаккумулирующую способность продуктов и скорость их охлаждения (нагрева) [1, 5, 8].

К наиболее важным теплофизическим свойствам пищевых продуктов относят удельную теплоемкость (c), коэффициент теплопроводности (λ), коэффициент температуропроводности (a).

Если понижение температуры продукта до криоскопической не сопровождается уменьшением массы, то теплофизические величины изменяются незначительно, причем,

часто по линейному закону. При превращении воды в лед они претерпевают скачкообразные изменения. В период фазового превращения, вплоть до полного вымораживания воды при эвтектической температуре (для пищевых продуктов $t_3 = -65 \div -55^\circ\text{C}$), значения характеристик определяются соотношениями жидкой и твердой фаз в продуктах [7].

Цель исследования. Определить теплофизических характеристик перца сладкого в процессе замораживания до температуры минус 20°C .

Основная часть. Удельная теплоемкость до начала льдообразования в плодах перца сладкого в наших опытах определялась как величина, численно равная сумме произведений теплоемкости воды и сухого остатка на их численные величины [4]

$$c_0 = c_w \cdot W + c_c \cdot (1 - W), \quad (1)$$

где c_0 – теплоемкость до начала льдообразования; c_w – теплоемкость воды, равная $4,19 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$; c_c – теплоемкость сухих веществ, равная $0,71-1,36 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$ для растительных продуктов; W – количество воды в перце, определено экспериментально и равно $0,93$.

$$c_0 = 4190 \cdot 0,930 + 910 \cdot (1 - 0,930) = 3960 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}.$$

Поскольку в замороженных продуктах часть воды превращается в лед, удельная расчетная теплоемкость продукта после замораживания подчиняется закону аддитивности и в этом случае рассматривается, как трехкомпонентная смесь воды, льда и сухого остатка [4]:

$$c_1 = c_w \cdot W \cdot (1 - \omega) + c_l \cdot \omega \cdot W + c_c \cdot (1 - W), \quad (2)$$

где c_l – теплоемкость льда, равная $2120 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$; ω – количество вымороженной воды, доли единицы.

Преобразовав выражение (2), открывая скобки и подставляя числовые значения c_w и c_l получим:

$$c_m = c_0 - 2120 \cdot W \cdot \omega \quad (3)$$

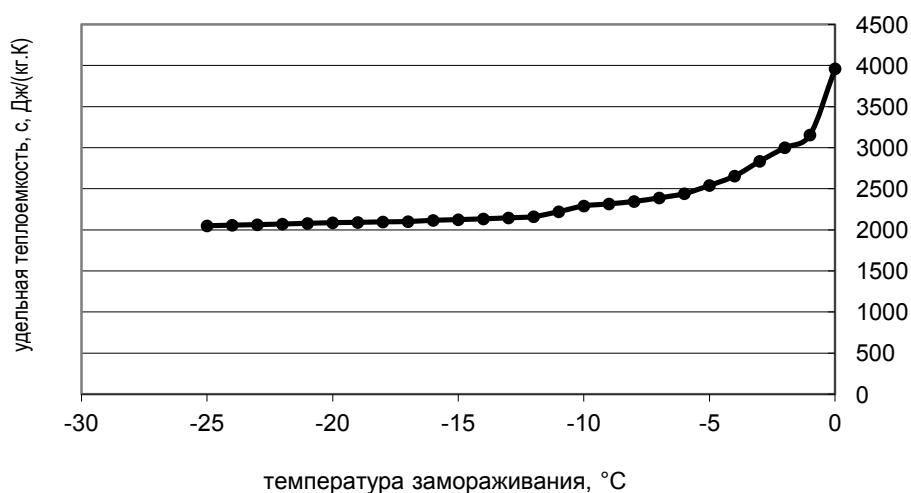


Рисунок 1 - Изменение удельной теплоемкости при замораживании перца сладкого россыпью в воздушной среде

Для оптимизации технологии хранения перца сладкого была проведена серия опытов по определению распространения фронта пониженных температур, т.е. послыного

охлаждения и замораживания в диапазоне температур в в воздушной среде от 25 до минус 20°C. Продолжительность и скорость замораживания определяли посредством потенциометра КВ-1 и хронометра 1 класса точности. Замеры проводились во всех опытах на глубине 2 мм (кривая 1), 6 мм (кривая 2), 15 мм (кривая 3) от поверхности. Результаты представлены на рис. 2.

На первой стадии происходит охлаждение слоя перца от начальной температуры (25°C) до криоскопической (минус 0,76°C). Второй участок соответствует собственно замораживанию (от температуры минус 0,76 до минус 10°C).

В этот период происходит вымораживание 92% воды и максимальное выделение теплоты кристаллизации. Теоретически [8, 9] эта часть кривой должна быть горизонтальной. В действительности по мере вымораживания воды растет концентрация солей клеточного сока перца и криоскопическая температура постоянно понижается. Поэтому кривая на этом участке несколько отклоняется от горизонтальной.

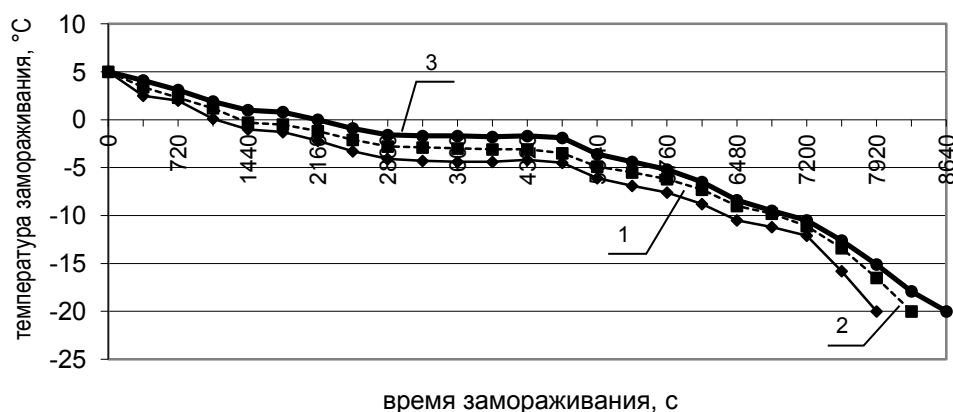


Рисунок 2 - График послойного замораживания перца сладкого в воздушной среде

На третьей стадии при домораживании температура замороженного слоя плавно снижается до уровня, предусмотренного технологией (минус 20°C). Коэффициент теплопроводности для перца сладкого определяли, рассматривая его, как полый конус с толщиной стенок 6-8 мм (до 15 мм в области семенника). Коэффициент теплопроводности для положительных температур определяли согласно выражения [6, 9].

При отрицательных температурах величину коэффициента теплопроводности определяли по значениям температур послойных замеров согласно выражения

$$\lambda = (x^2 \cdot \rho \cdot c) / (4 \cdot \tau \cdot \gamma^2) \quad (4)$$

где x – расстояние от центра стенки плода, м; ρ – плотность плода при отрицательной температуре, кг/м³; c – теплоемкость плода при отрицательной температуре, Дж/(кг·К); τ – время, с; γ – функция нормального распределения [3], которую определяем по значениям интеграла Гаусса.

На графике зависимости изменения коэффициента теплопроводности от температуры (рис. 3) явно наблюдается три характерных участка. Наличие этих участков объясняется теплофизическими процессами, происходящими в плодах перца при охлаждении и замораживании.

На первом участке от 25°C до нулевой отметки наблюдается незначительное уменьшение значений коэффициента теплопроводности от 0,501 до 0,240 Вт/(м·К), которое может быть объяснено увеличением вязкости клеточного сока и ухудшением массопереноса в плодах перца.

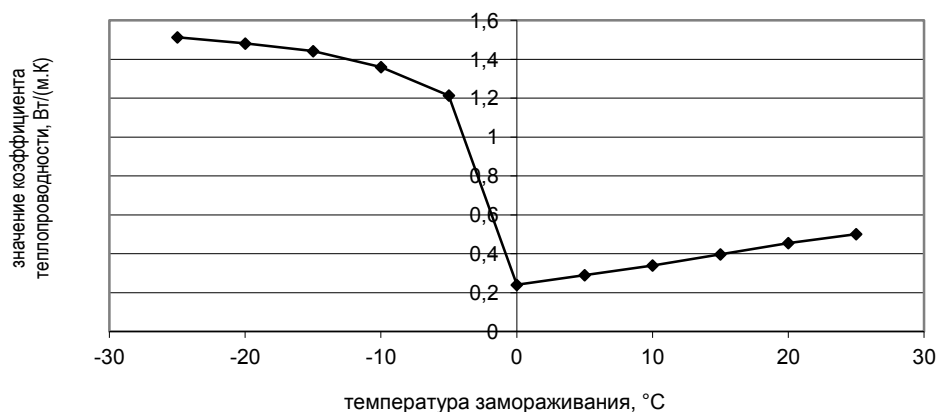


Рисунок 3 - Обобщенная зависимость изменения коэффициента теплопроводности перца сладкого от температуры

На втором участке от 0 до минус 10°C при температуре ниже криоскопической изменение коэффициента теплопроводности связано с превращением основной массы жидкой фазы плодов перца в кристаллическую. На этом участке наблюдается значительный рост коэффициента теплопроводности от 0,240 до 1,442 Вт/(м·К). Значительное увеличение проходит не мгновенно, а растянуто во времени в зависимости от минимальной температуры хладагента. На третьем участке от температуры минус 10°C до минус 25°C происходит плавное повышение теплопроводности плодов, при которой в основном заканчивается фазовое превращение, что подтверждается выходом кривой теплопроводности на практически горизонтальный участок. Дальнейшее незначительное увеличение коэффициента теплопроводности связано с упорядочением структуры кристаллов льда. При охлаждении и замораживании продуктов действуют одновременно механизмы переноса и потери (либо накопления) продуктом тепловой энергии. В результате перемещается температурный фронт в продукте. Скорость этого перемещения характеризуется коэффициентом температуропроводности, который можно определить по формуле или получить непосредственно из опыта

$$a = \lambda / (c\rho) \quad (5)$$

С началом льдообразования температуропроводность уменьшается, т.к. одновременно уменьшается теплоемкость и увеличивается теплопроводность, а также это вызвано уменьшением теплоты кристаллизации.

Выводы.

1. Для последующей оптимизации технологии хранения была определена продолжительность замораживания перца сладкого в воздушной среде от температуры 5°C до минус 20°C, которая составила 8640 с. на глубине 15 мм.

2. Значение коэффициента теплопроводности при снижении положительных температур от 25°C до 0°C незначительно уменьшается от 0,501 до 0,240 Вт (м·К) в связи с изменением вязкости клеточного сока. При понижении температуры воздуха до минус 25°C значение его резко увеличивается до 1,442 Вт/(м·К) в связи с кристаллизацией свободной внутриклеточной влаги и влаги в межклеточном пространстве. При этом почти полностью заканчиваются фазовые превращения воды в лед. Это объясняется как изменением структуры плода, так и изменением конвективной составляющей теплоотвода по мере вымораживания жидкой фазы.

3. Коэффициент температуропроводности является вторичной величиной. В наших исследованиях этот показатель был получен непосредственно из опытов. Он увеличивается в процессе замораживания до минус 20°C от $0,6 \cdot 10^{-7}$ до $7,40 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$.

4. Полученные данные могут быть использованы при технологических расчетах для определения ТФП перца сладкого при замораживании и снижении затрат при производстве холода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алмаши Э. Быстрое замораживание пищевых продуктов. / Э. Алмаши, Л. Эрдели, Т. Шарой. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 406 с.
2. Большаков С.А. Холодильная техника и технология: Учебник / Большаков С.А. – М.: ИНФРА – 2000. – 286 с.
3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. / Вентцель Е.С. – М.: Высшая школа, 1995. – 572 с.
4. Вентцель Е.С. Холодильная технология пищевых продуктов. / Вентцель Е.С. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 230 с.
5. Иванченко В.И. Обоснование интервала температур замораживания плодовоовощной продукции / Иванченко В.И. // Виноградарство и виноделие: Сб. науч. тр. ИВиВ «Магарач». – Ялта, 2001. – №2. – С. 27-29.
6. Мазуренко А.Г. Замораживание пищевых продуктов в блоках. / А.Г. Мазуренко, В.Г. Федоров – М.: ВО «Агропромиздат». – 1988. – 204 с.
7. Постольски Я. Замораживание пищевых продуктов. / Я. Постольски, З. Груда – М.: Пищ. пром-ть, 1978. – 606 с.
8. Рогов И.А. Консервирование пищевых продуктов холодом. / Рогов И.А. М.: Колос, 1999. – 168 с.

BIBLIOGRAPHY

1. Almashi E. Fast freezing of foodstuffs / E. Almashi, L. Erdeli, T. Sharoy. – M.: Legkaya i pishchevaya promishlennost', 1981. – 406 s.
2. Bol'shakov S.A. Refrigeration engineering and technology: Uchebnik / S.A. Bol'shakov. – M.: INFRA, 2000. – 286 s.
3. Venttsel' E.S. Probability theory / E.S. Venttsel' – M.: Vysshaya shkola, 1995. – 572 s.
4. Venttsel' E.S. Refrigeration technology of foodstuffs / E.S. Venttsel'. – M.: Legkaya i pishchevaya promishlennost', 1984. – 230 s.
5. Ivanchenko V.I. Substantiation of freezing temperature interval of fruit and vegetable production / V.I. Ivanchenko // Vinogradarstvo i vinodelie: Sb. nauch. tr. IViV «Magarach». – Yalta, 2001. – №2. – S. 27-29
6. Mazurenko A.G. Foodstuffs freezing in blocks / A.G. Mazurenko, V.G. Fedorov – M.: VO «Agropromizdat», 1988. – 204 s.
7. Postol'ski Ya. Foodstuffs freezing / Ya. Postol'ski, Z. Gruda. – M.: Pishch. prom-t, 1978. – 606 s.
8. Rogov I.A. Preserving of foodstuffs by freezing / I.A. Rogov. – M.: Kolos, 1999. – 168 s.

FREEZING CHANGE OF SWEET BELL RED PEPPER THERMOPHYSICAL INDEXES

N. P. Zagorko, E. V. Grigorenko, N. I. Struchayev

Summary

The work is concerned with research of thermophysical indexes of sweet bell red pepper while freezing in bulk in air medium. To optimize the storage technology the layer freezing, the specific heat capacity, the heat conductivity coefficient change and the diffusivity coefficient determining heat-retaining products ability and their cooling and freezing velocity were being studied.

Key words: sweet bell red pepper, freezing, storing, specific heat capacity, heat conductivity factor, thermal diffusivity