

УДК 664.8.375:635

ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМОВ ЗАМОРАЖИВАНИЯ И ДЕФРОСТАЦИИ ВИНОГРАДА

В.Ф.Ялпачик, кандидат технических наук

К.Н.Стручаев, инженер

Л.Н.Кюрчева, инженер

Таврическая государственная агротехническая академия

Роботу присвячено обґрунтуванню режимів заморожування і дефростації ягід винограду під тиском.

Работа посвящена обоснованию режимов замораживания и дефростации ягод винограда под давлением.

Постановка проблемы. В данное время в Украине современный объем производства и потребления винограда не удовлетворяет потребности населения. Он составляет 50-60% от физиологической нормы.

Исследования ученых показывают, что продолжительное хранение винограда сопровождается потерями качества и количества, снижением содержания биологически активных веществ. Одним из способов увеличения срока хранения винограда является низкотемпературное замораживание.

Анализ последних исследований. В последние годы количество продукции, которая сохраняется в замороженном виде, постоянно увеличивается. Проведенные многочисленные исследования по длительному хранению ягод в замороженном виде показали, что биохимические свойства такой продукции изменяются незначительно. Однако, ягоды некоторых сортов винограда, в частности Молдовы, после их дефростации приобретают довольно непривлекательный вид, теряют упругость, становятся сморщенными, изменяют первоначальный цвет. Это объясняется разрывами клеточных оболочек кристаллами льда, который получается в процессе замораживания.

Основная часть. Для выбора режимов замораживания и дефростации винограда с целью дальнейшего хранения в замороженном виде необходимо знать изменение коэффициента теплопроводности в зависимости от температуры, так как по изменению коэффициента теплопроводности можно судить о фазовом переходе жидкости, происходящем внутри ягоды.

Коэффициент теплопроводности для положительных температур определяли по формуле [1]:

$$\lambda \frac{q \cdot \delta}{\Delta t}, \quad (1)$$

где λ — коэффициент теплопроводности материала, Вт/м·К;

q — тепловой поток через образец, Вт/м²;

δ — толщина образца, м;

Δt — разность температур на его поверхностях.

Значения δ и Δt определяли по ГОСТ 7076 — 99 “Методы определения коэффициента теплопроводности”.

Расхождение в значениях коэффициента теплопроводности для двух образцов, замерянных двумя термопарами, не превышало 2,5%, что находится в пределах ошибки опыта 5%.

Для определения коэффициента теплопроводности при отрицательных температурах использовали экспресс-метод [2]. Для его реализации применяли потенциометр КВ-1, оснащенный хромель-копелевыми, градуированными в интервале температур от плюс 50°С до минус 50°С термодарами. Замораживание проводили для температур от 15°С до минус 20°С в холодильной камере, для температур ниже минус 20°С в криогенном сосуде "Харьков – 31".

В связи с тем, что в одной ягоде винограда невозможно установить четыре термодара на разной глубине, брали четыре ягоды и в каждой из них через 2 мм, начиная от центра, устанавливали термодары.

После установления термодар по глубине ягоды одновременно погружали в пары жидкого азота или помещали в холодильную камеру и через фиксированные промежутки времени делали измерения температур на заданных глубинах в ягодах. График замораживания винограда сорта Молдова в холодильной камере представлен на рис 1.

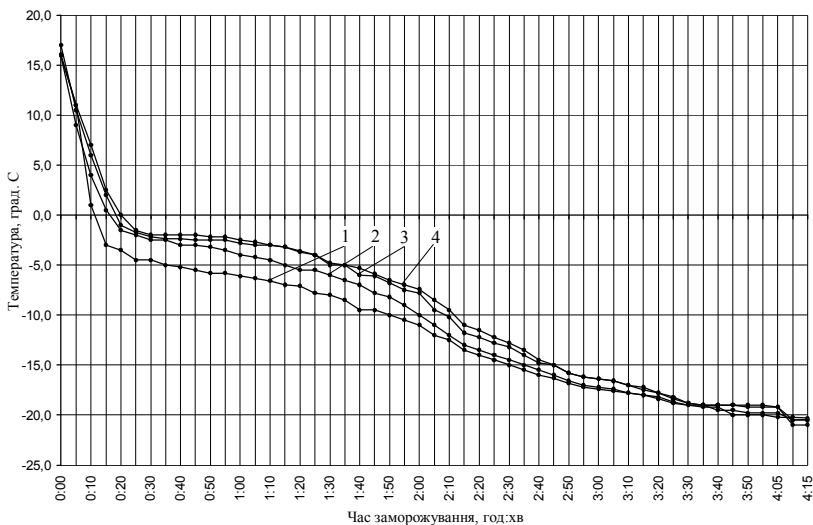


Рис. 1. Зависимость изменения температуры по слоям в ягоде винограда при замораживании: 1, 2, 3, 4 – точки расположения термодаров в ягодах по глубине: 1 - на глубине 2 мм; 2 - на глубине 4 мм; 3 - на глубине 6 мм; 4 - на глубине 8 мм

По значениям изменения температур T и времени для слоев χ определяли величину коэффициента теплопроводности [1]

$$\lambda = \frac{\chi^2 \cdot \rho \cdot c}{4 \cdot \tau \gamma^2}, \quad (2)$$

где χ — расстояние от центра ягоды, м;
 ρ — плотность ягоды при отрицательной температуре, $\text{кг}/\text{м}^3$;
 c — теплоемкость ягоды при отрицательной температуре, $\text{Дж}/\text{кг} \cdot ^\circ\text{К}$;
 τ — время, с;
 γ — величина, обычно обозначенная в таблицах функцией нормального распределения χ [3].

Плотность и теплоемкость определяли стандартным методом. Величину γ определяли по таблицам [3], для чего предварительно находили значения интеграла Гаусса.

Получив экспериментальным путем значения изменения температур T и времени τ для слоев γ , определяли зависимость изменения коэффициента теплопроводности λ от температуры ягоды (рис.2).

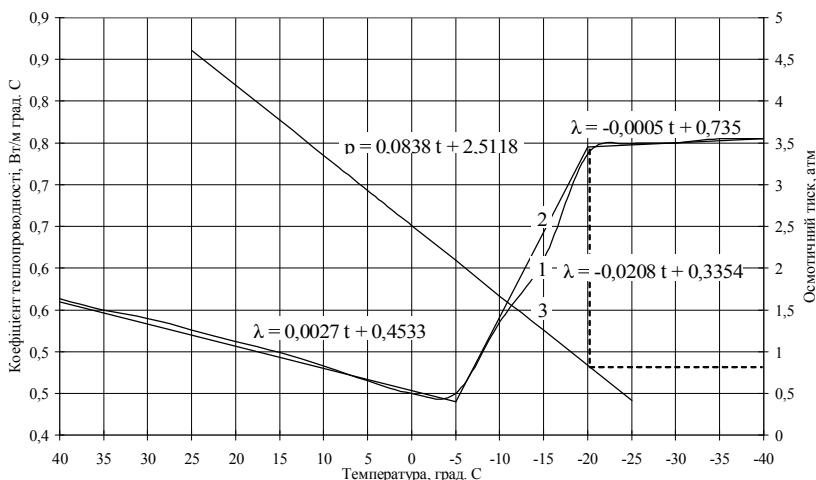


Рис. 2. Зависимость коэффициента теплопроводности ягоды винограда и осмотического давления от температуры замораживания:

1 – реальная линия; 2 – аппроксимирующая линия;

3 – осмотическое давление

На графике зависимости коэффициента теплопроводности от температуры явно наблюдаются три характерных участка. Наличие этих участков объясняется теплофизическими процессами, которые происходят в ягодах при охлаждении и дальнейшем замораживании.

На первом участке от плюс 40 до криоскопической температуры наблюдается незначительное снижение коэффициента теплопроводности, которое может быть объяснено увеличением вязкости клеточного сока и ухудшением массопереноса в ягодах, которые можно представить в виде капиллярно-пористых волокнистых тел, которые имеют скелетную структуру и жидкость (сок), что находится в условно-связанном состоянии (в неподвижных клетках) и в свободном межклеточном пространстве.

На втором участке от криоскопической температуры до минус 20°C изменение коэффициента теплопроводности связано с фазовым преобразованием жидкой фазы вещества ягоды в кристаллическую. На этом участке наблюдается значительный рост коэффициента теплопроводности.

На третьем участке от температуры минус 20°C до минус 40°C происходит плавное увеличение теплопроводности плодов.

Как видно из рис. 2, замораживание можно прекращать после достижения температуры ягоды минус 20°C, при которой в основном заканчивается фазовое преобразование, что подтверждает выход кривой теплопроводности на практически горизонтальный участок.

Выбор режимов замораживания обусловлен обеспечением условий для снижения повреждающего действия осмотического давления воды; уменьшение деформации биологического объекта растущими кристаллами льда; достижения обезвоживания биообъекта, достаточного для предотвращения внутриклеточной кристаллизации [4].

Клеточные стенки осуществляют давление на воду, которое выражается в появлении напряжения от действия поверхностного натяжения под влиянием системы воздух-вода и сил притягивания системы твердое состояние — вода. Через биологические мембра-

ны постоянно проходят потоки разнообразных веществ. Вследствие жесткости клеточных стенок, в клетках может развиваться довольно большое гидростатическое давление. Положительные давления могут возникать вследствие того, что поверхностные силы, связанные со скелетом клеточной стенки, обуславливают поглощение воды, в результате чего возникает давление набухания [8]. Сомнительно, например, чтобы клеточные стенки вообще могли выдерживать сжатие и прогибание, ибо строение их рассчитано на прямо противоположное воздействие растяжения. Кроме того, если вода испытывает натяжение, то при падении давления в клетке ниже атмосферного, газы, растворимые в вакуолярной и цитоплазматической жидкости, могут выделяться из раствора, и это будет препятствовать возникновению отрицательных давлений. Наличие внутреннего гидростатического давления в растительной клетке приводит к напряжению в клеточной оболочке и к возникающей в результате упругой деформации или натяжению.

Гидростатическое давление оказывает содействие поддержанию формы ягоды, влияет на движение воды и растворение веществ. О наличии гидростатического давления свидетельствует тот факт, что при прокалывании ягод из них брызжет сок.

Если бы стенки клетки были идеально упругими, то после дефростации ягода сохраняла бы первоначальный вид. Однако она не является идеально упругой и поэтому может растягиваться и ягода после дефростации сморщивается.

Поэтому, для исключения этого явления необходимо при замораживании и размораживании ягод винограда придерживаться динамического равновесия, то есть проводить при гидростатическом давлении, которое равняется давлению в ягодах.

Осмотическое давление в плодах варьирует от 0,9 (томаты) до 3,8 (виноград) МПа [5].

Осмотическое давление играет большую роль в биологических явлениях. Так постоянный осмос в середине клеток образует в ягодах повышенное гидростатическое давление, которое обуславливает прочность и упругость тканей. Уравновешенное осмотическое давление клеточного сока составляет 405-2026 кПа [6].

Осмотическое давление клеточного сока проще всего определить криоскопическим методом по уравнению Ван Гофа [7]:

$$P = i \cdot r \cdot R \cdot T, \quad (3)$$

где P — осмотическое давление, атм;

i — изотонический коэффициент;

r — концентрация раствора, моль на 1 л;

R — газовая константа;

T — температура от абсолютного нуля, °К.

Учитывая, что криоскопическая температура винограда равняется минус 1,9°С, определим осмотическое давление ягод при температуре 20°С.

$$i = \frac{1,9}{1,86} = 1,02 \text{ моль,}$$

$$R = 0,082 \text{ л} \cdot \text{атм} / \text{мол.}$$

$$\text{Тогда } p = 1,02 \cdot 0,082 \cdot 293 = 24,0 \text{ атм.}$$

Аналогичным образом были выполнены расчеты для температур от плюс 25°С до минус 30°С и результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Изменение осмотического давления при изменении температур

Виноград	Осмотическое давление при температуре									
	25	15	5	0	-19	-5	-10	-15	-20	30
Р, атм.	24,96	24,12	23,28	22,86	22,03	22,44	22,03	21,61	21,19	20,55
Разница давления, атм.	4,60	3,77	2,93	2,52	2,67	2,09	1,67	1,25	0,83	

Из анализа таблицы 1 можно сделать вывод, что осмотическое давление для разных температур колеблется в интервалах от 24,96 до 20,35 атм. Однако для выбора режимов замораживания и дефростации ягод важно знать разницу осмотического давления при изменении температуры. В таблице приведена эта разница.

Из таблицы 1 видно, что максимальная разница осмотическо-

го давления равняется 4,6 атм. Для того, чтобы выбрать режим, при котором сохранялось бы динамическое равновесие, строим общий график зависимости коэффициента теплопроводности винограда и график зависимости осмотического давления от температуры (рис.2).

Известно, что сохранять виноград следует при температуре минус 20°C, поэтому из соответствующей температуры минус 20°C кривой изменения коэффициента теплопроводности опустим перпендикуляр к пересечению с кривой изменения осмотического давления. Точка пересечения и будет отвечать гидростатическому давлению для винограда. Как видно из рисунка 2, давление, при котором следует проводить замораживание и дефростацию составляет 0,07 МПа.

Проведенные опыты показали, что ягоды винограда Молдова, замороженные и дефростированные под давлением 0,07 МПа имеют значительно лучший вид, чем ягоды, замороженные и дефростованные в обычных условиях (рис.3).

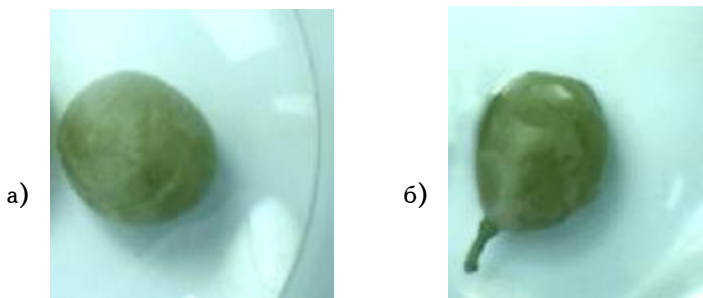


Рис. 3. Фотографии ягод винограда размороженного:
а) в воде под давлением 0,07МПа; б) в воде.

Выводы. Проведенные опыты показали, что замораживание и дефростацию ягод винограда следует проводить при внешнем давлении, равном гидростатическому давлению в клетке. Экспериментальные исследования подтвердили правдивость этих положений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сухомел А.С. Теплопередач. – Г.: Энергоиздат, 1981 – 416 с.
2. Стручаев К.Н., Ялпачик В.Ф., Бровченко С.А., Загорко Н.П.. Выбор режимов замораживания и хранения сельскохозяйственной продукции при отрицательных температурах // Холодильная техника и технология. – №4(90). – 2004. – С.45-49.
3. Венцель Э.С. Теория вероятностей. – Г.: Наука, 1969 – 676 с .
4. Пушкарь М.С, Белоус А.М. Введение в криобиологию. – К.: Наук. мысль, 1975. – 342 с.
5. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений /Н.Н Третьяков и др.; под редакцией Н.Н. Третьякова. – Г.: Колос, 1998 – 640 с.
6. Рогов И.А., Куцакова В.Э., Филипова В.И., Фролов С.В. Консервирование пищевых продуктов холодом (теплофизические основы). 2 – е изд. перераб. и доп. – Г.: Колос, 1999 – 176 с.
7. Лост Х. Физиология клетки. Пер.с англ. и предисл. д – ра биол. наук Р.Р. Ликмана. – Г.: Мир, 1975.
8. Слейчер Г. Водный режим растений. – Г.: Мир, 1970.-265 с.
9. Нобел Г. Физиология растительной клетки. Физико-химический подход. – М.: Мир, 1973. – 287 с.