

УДК 664.8.037.521:664.851.8

Замораживание ягод клубники при воздействии акустических микровибраций

Д-р техн. наук **Г.В. СЕМЁНОВ**, sgv47@yandex.ru, канд. техн. наук **И.С. КРАСНОВА**, ira3891@mail.ru, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»,
д-р техн. наук **С.И. ХВЫЛЯ**, gistolab@yandex.ru,
ВНИИХ – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М.Горбатова» РАН,
Д.Н. БАЛАБОЛИН, dbalabolin@gmail.com, ООО «Акустическая заморозка», г. Москва

Исследовано влияние микровибраций на структуру клубники. Ягоды клубники замораживали двумя способами: половину – традиционным способом при -30°C в условиях конвективного теплообмена, вторую часть – в тех же условиях при дополнительном воздействии на ягоды микровибраций, создаваемых в воздушной среде морозильной камеры по определенной программе. Использован цифровой синтезатор частот, генерирующий электромагнитное поле мощностью 250 Вт/м^3 с пакетами прямоугольных импульсов в диапазонах частот от 10 мГц до 5000 кГц . В замороженных образцах изучена микроструктура клубники и определено количество клеток, сохранивших свою структуру, а также их структурно-механические характеристики. В первом варианте сохранилось 25–30 % клеток, а во втором – 65–70 % клеток от их общего количества. Результаты определения пенетрации и предельного напряжения сдвига показали, что ягоды, замороженные в условиях микровибраций, имеют на 10–15 % большую прочность. Таким образом, замораживание ягод клубники при дополнительном воздействии на ягоды микровибрацией оказывает положительное влияние на структуру замороженной ягоды, что позволит повысить сохранность клубники при ее транспортировке и фасовке.

Ключевые слова: клубника, методика замораживания, микроструктурный анализ.

FREEZING OF STRAWBERRIES WHEN EXPOSED TO ACOUSTIC MICRO-VIBRATIONS

Dr.Sc. **G.V. SEMENOV**, sgv47@yandex.ru, PhD **I.S. KRASNOVA**, ira3891@mail.ru
FGBOU VO «Moscow State University of Food Factories»

Dr.Sc. **S.I. KHVYLYA**, gistolab@yandex.ru, VNIKHI-branch of FGBNU «FSC of food systems n.a. V.M. Gorbатов», RAS
D.N. Balabolin, dbalabolin@gmail.com, ООО «Akusticheskaya zamorozka», Moscow

The impact of micro-vibrations on the strawberry structure was studied. Two methods were used to freeze strawberries: half of strawberries were frozen by traditional method at -30°C under conditions of convection of heat, the second part was frozen under the same conditions but additionally the strawberries were exposed to micro-vibrations generated in the air medium of the freezing chamber using a specific program. A digital frequency synthesizer generating the electromagnetic field at 250 W/m^3 power with rectangular pulse packages in the range of frequencies from 10 mHz to 5000 kHz was used. The microstructure of frozen samples was studied. The number of cells that kept their structure as well as their structural and mechanical characteristics was defined. Strawberries frozen by the traditional method kept 25–30% of cells. When using micro-vibrations 65–70% of cells of their total number were kept. The results of penetration and limit shear stress definition showed that strawberries frozen using micro-vibrations were 10–15% firmer. So, the application of micro-vibrations influences positively the strawberry structure, and allows improving their preservation during transportation and packing.

Keywords: strawberry, freezing method, microstructural analysis

Введение

Клубника — очень распространенный во многих странах и востребованный различными потребителями вид ягод. Традиционной технологией обеспечения длительной сохранности клубники является замораживание.

Важный показатель качества клубники — ее структура, которая определяется результатом сложных взаимодействий между пищевыми компонентами и зависит от состава органолептических и биохимических составляющих, массовой доли влаги и состава клеточной стенки [6, 8]. Любой внешний фактор, влияющий на эти показатели, может изменить структуру и, следовательно, привести к изменениям качества конечного продукта.

Структура, а также внешний вид и вкус служат признаками качества, которые влияют на восприятие потребителя [7, 8]. Это относится и к ягодам клубники как свежим, так и замороженным. Более жесткие и плотные ягоды клубники лучше подвергаются обработке и транспортировке, имеют более длительный срок хранения и более привлекательный внешний вид, чем мягкоплодные ягоды. В связи с этим актуальным является поиск различных методов, обеспечивающих более плотную структуру при замораживании и последующем хранении клубники.

Одним из направлений формирования более прочной структуры ягод клубники является разработка методов, обеспечивающих получение при замораживании более мелких однородных кристаллов, сохраняющих клеточные структуры клубники. На современном этапе наиболее распространенным методом обеспечения мелкокристаллической структуры в замораживаемых объектах является «шоковая заморозка» [2, 5]. Она проводится в низкотемпературных морозильных камерах с температурой воздуха на уровне $-40...-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ с использованием высоких скоростей воздуха (более 10 м/с). Оборудование для шоковой заморозки достаточно сложное и дорогостоящее. Альтернативным методом формирования мелкокристаллической структуры может быть воздействие микровибраций на ягоды при их замораживании. Целью настоящего исследования являлась оценка влияния микровибраций на структуру замороженной клубники.

Объекты и методы исследования

Объектом исследований являлись ягоды клубники (сорт «Азия», Россия) большого размера (25–35 мм диаметром), с ярко выраженной окраской и характерным ароматом. Ягоды после сбора промыли и отправили на заморозку.

Замораживание

Ягоды клубники замораживали двумя способами: половину ягод повергали заморозке традиционным способом при $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ в условиях конвективного теплообмена, вторую часть замораживали в тех же условиях, но при дополнительном воздействии на ягоды микровибраций, создаваемых в воздушной среде морозильной камеры по определенной программе. В лабораторном устройстве АВАТ-20/1-АЕФ был ис-

пользован цифровой синтезатор частот оригинальной конструкции, генерирующий электромагнитные поля мощностью $1-500\text{ Вт/м}^3$ с пакетами одно- и двухполярных прямоугольных импульсов в диапазонах частот от 10 МГц до 5000 кГц. В замороженных ягодах исследовали микроструктуру и структурно-механические характеристики.

Оценка микроструктуры ягод

Для микроструктурного исследования замороженной клубники с целью определения степени разрушения тканей при разных режимах замораживания применяли следующую методику [3, 4]. Из замороженных ягод (без размораживания и отепления) вырезали кусочки размером $20\times 20\times 10\text{ мм}$, которые монтировали на предметные столики криостата. Максимально быстро, чтобы избежать размораживания и изменения микроструктурной организации тканей, образцы переносили в камеру замораживающего микротомата MIKROM-525 с установленной температурой $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Толщина изготавливаемых срезов составляла около 25 мкм. Полученные срезы монтировали на предметные стекла, переносили в комнатные условия и подсушивали. Затем срезы окрашивали гематоксилином Эрлиха и свежим водно-спиртовым эозином. Препараты заключали в глицерин–желатин. Анализ структуры клубники и ее фотографирование проводили с использованием светового микроскопа AxioImager.A1 (Carl Zeiss, Germany). Обработку иллюстративного материала осуществляли с помощью программы ACDS 8 PRO.

Определение пенетрации и предельного напряжения сдвига

Перед определением пенетрации и предельного напряжения сдвига замороженные ягоды дефростируют посредством их естественного отепления при комнатной температуре ($22...23\text{ }^{\circ}\text{C}$). Ягоды, замороженные двумя способами, размещали на некотором расстоянии друг от друга на двух листах белой бумаги (рис. 1).

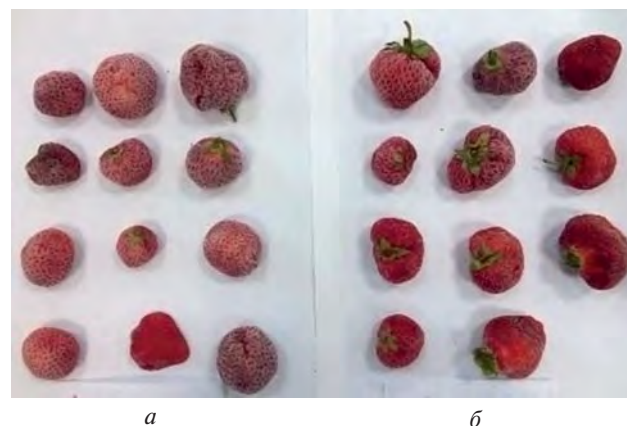


Рис. 1. Размораживание ягод при комнатной температуре и естественной конвекции: а — после акустического замораживания; б — после замораживания в морозильном прилавке

Полное размораживание ягод достигалось в этих условиях через 2,5–3 ч. Пенетрацию и предельное напряжение сдвига определяли при комнатной температуре. Ягоды клубники фиксировали на измерительной платформе и проводили измерения на самой высокой точке ягоды клубники, поэтому небольшие различия в геометрии поверхности оказывали наименьшее влияние на результат. Также все ягоды не имели рельефных различий. Измерения проводили с помощью моторизованного устройства для испытания материалов (пенетрометр ПМДП), оснащенного тензодатчиком на 100 Н и индентором – конусом с углом при вершине 60 °С. Измеряли глубину погружения индентора и сопротивление продукта погружению индентора в течение 60 с.

Пенетрацию определяли по формуле П.А. Ребиндера $P = km/h^2$,

где k – коэффициент, зависящий от угла конуса, $k = 2,1 \text{ Н/кг}$;

m – масса конуса со штангой, $m = 50,69 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$;

h – глубина погружения конуса, м

Предельное напряжение сдвига определяли по аналогичной формуле, в которой h – глубина погружения конуса в течение 60 с, м.

Результаты исследования и их обсуждение

Выполненный с помощью световой микроскопии анализ изменений микроstructures тканей ягод традиционно замороженной клубники показал, что по всей толщине образца, включая как внешнюю часть ягод, так и их глубокие слои, наблюдается формирование крупных кристаллических структур, не окрашиваемых гистологическими красителями. Не воспринимающий использованные красители материал образуется из цитоплазматического содержимого при замораживании ягод.

В результате замораживания наблюдается частичное разрушение клеточных стенок как наружной части ягод, так и клеток, формирующих основную массу плода (рис. 2, 3). Использование традиционного режима замораживания влечет за собой фрагментацию

клеточных оболочек (при визуальной оценке препаратов) ориентировочно на 60–70 % от общего числа внешних клеточных структур. Более прочные клетки сосудистой системы ягод разрушались в меньшей степени.

Анализ изменений микроstructures тканей ягод клубники, замороженной с помощью микровибрации, проведенный в аналогичных условиях, показал, что по всему объему замороженных ягод (включая их внешнюю часть и более глубокие слои) наблюдается формирование крупных структур кристаллизованной влаги.

Так же как и в случае применения традиционного режима замораживания, происходят процессы деструкции клеточного материала, проявляющиеся визуально, прежде всего, в частичном разрушении клеточных стенок. В то же время степень наблюдаемых деструктивных изменений микроstructures тканей ягод при использовании данного режима существенно меньше по сравнению с традиционным режимом замораживания – при визуальной оценке препаратов она составляет ориентировочно 25–35 % от общего числа внешних клеточных структур. Это уменьшение разрушений относится и к внешней части ягод, и к более глубоким слоям тканей плода (рис. 4, 5).

Для более наглядной оценки микроstructures изменений проведены исследования по определению структурно-механических характеристик клубники. Прочность структуры ягод оценивали по пенетрации и предельному напряжению сдвига. Первый показатель оценивает сопротивление продукта проникновению в него за определенное время индентора, второй характеризует прочность структуры и определяет способность материала сохранять свою форму под действием силы тяжести. Данные, приведенные в таблице, показывают, что процесс замораживания резко уменьшает прочностные характеристики ягод, подвергшихся процессу размораживания. В ягодах, замороженных с помощью микровибрации, отмечены более высокие значения показателей, что свидетельствует о более прочной структуре ягод. Скорее всего, это связано

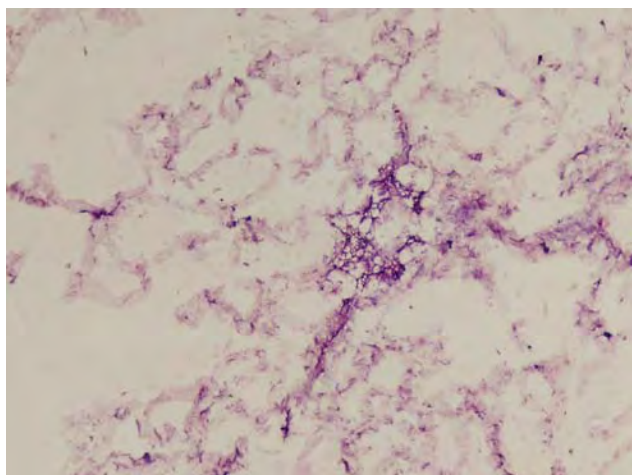


Рис. 2. Микроstructure тканей внутренней части ягоды клубники, замороженной традиционным способом. Увеличение 100×

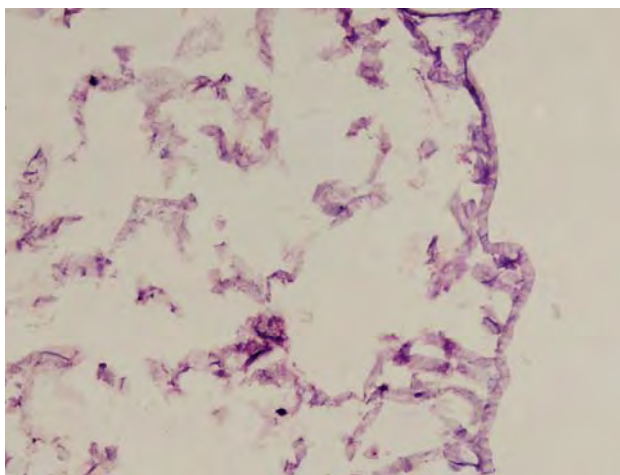


Рис. 3. Микроstructure тканей наружной поверхности ягоды клубники, замороженной традиционным способом. Увеличение 100×

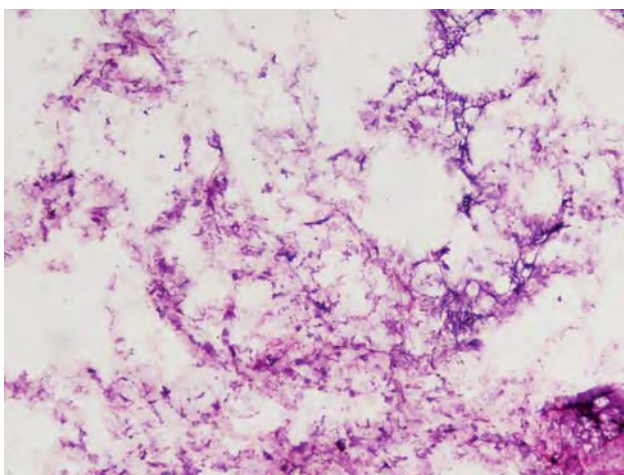


Рис. 4. Микроструктура тканей внутренней части ягоды клубники, замороженной с использованием микровибраций. Увеличение 100×

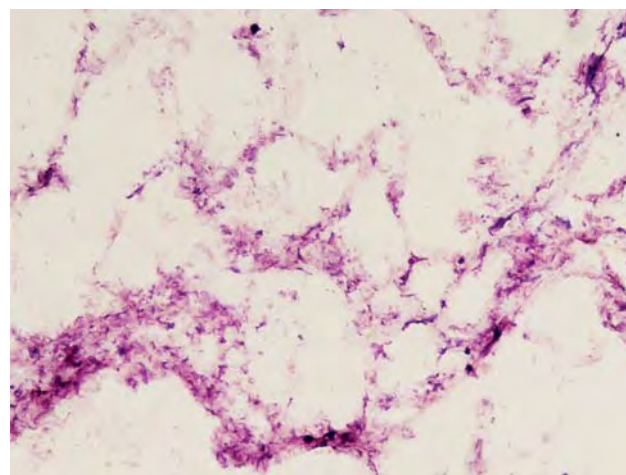


Рис. 5. Микроструктура тканей наружной поверхности ягоды клубники, замороженной с использованием микровибраций. Увеличение 100×

с лучшей сохранностью клеточных структур у ягод, замороженных с микровибрацией. Однако разница в показателях невелика.

*Структурно-механические показатели ягод клубники **

Образец	Показатели	
	Пенетрация, кПа	Предельное напряжение сдвига, кПа
Свежие ягоды	15,50±0,61	10,41±0,20
Традиционно замороженные ягоды	0,61±0,03	0,41±0,03
Ягоды, замороженные с применением микровибраций	0,71±0,03	0,48±0,03

* Усредненные данные по 15 ягодам каждого вида.

Выводы

Отличительной особенностью предложенной нами технологии замораживания является дополнительное воздействие на ткани объекта в процессе заморозки акустических волн, передаваемых через воздушную окружающую среду и вызывающих в тканях микро-

вибрации. В замороженных ягодах формируется мелкокристаллическая структура льда, обеспечивающая высокую сохранность тканевых структур.

Воспринимаемые поверхностью замораживаемого объекта колебания распространяются внутрь объекта с затуханием тем большим, чем больше расстояние от его поверхности. По мере замораживания внешних частей объекта скорость распространения колебаний в них увеличивается (скорость механических волн в твердом теле выше примерно в 2 раза), а затухание уменьшается. Это позволяет в значительной мере нивелировать влияние формы и взаимного расположения замораживаемых материалов на конечный результат.

Проведенные исследования показали, что замораживание ягод клубники при дополнительном воздействии на ягоды микровибраций оказывает положительное влияние на замороженное сырье.

Выявлено, что замораживание с применением микровибрации повышает механическую прочность замороженных ягод. Это обстоятельство показывает, что микровибрация позволяет повысить сохранность клубники при ее транспортировке и фасовке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семёнов Г.В. Вакуумная сублимационная сушка. – М.: ДеЛи плюс, 2013. – 264 с.
2. Сороко О., Усеня Ю. Анализ способов замораживания пищевых продуктов // Наука и инновации. 2011. №5(99). С. 63–67.
3. Хвьяля С.И., Гиро Т.М. Оценка качества и биологической безопасности мяса и мясных продуктов микроструктурными методами: учебное пособие. – Саратов: Изд-во СГАУ, 2015.
4. Хвьяля С.И. Гистологический метод оценки влияния замораживания и хранения на микроструктуру мяса // Холодильная техника. 2016. №11. С. 2–5.
5. Чиркова Е.С., Леонтьев В.М., Чепелева Г.Г. Оптимизация режимов замораживания ягод смородины черной (RIBES NIGRUM L.) // Вестник КрасГАУ. 2014. №6. С. 264–267.
6. Abbott J.A. Quality measurement of fruits and vegetables// Postharvest Biology and Technology. 1999. №15. P. 207–225.
7. Celli G. B., Ghanem A. and Brooks M. S.-L. Influence of freezing process and frozen storage on the quality of fruits and fruit products// Food Reviews International. 2016. 32(3). P. 280–304.
8. Contador L., Infante R., Shinya P. Texture phenotyping in fresh fleshy fruit// Scientia Horticulturae. 2015. №193. P. 40–46.

REFERENCES

1. Semenov G.V. Vacuum lyophilization. – M.: DeLi plus, 2013. – 264 p.
2. Soroko O., Usenya Yu. Analysis of food freezing methods// Nauka i innovatsia. 2011. №5(99). P. 63–67.
3. Khvylya S.I., Giro T.M. Estimation of quality and biological safety of meat and meat products by microstructural methods: manual. – Saratov: Publishers SGAU, 2015.
4. Khvylya S.I. Histological method of estimation of impact of freezing and storage on meat microstructure // Kholodilnaya Tekhnika. 2016. №11. P. 2–5.
5. Chirkova E.S., Leontyev V.M., Chepeleva G.G. Optimization of conditions of currant (RIBES NIGRUM L.) freezing// Vestnik KrasGAU. 2014. №6. P. 264–267.
6. Abbott J.A. Quality measurement of fruits and vegetables// Postharvest Biology and Technology. 1999. №15. P. 207–225.
7. Celli G. B., Ghanem A. and Brooks M. S.-L. Influence of freezing process and frozen storage on the quality of fruits and fruit products// Food Reviews International. 2016. 32(3). P. 280–304.
8. Contador L., Infante R., Shinya P. Texture phenotyping in fresh fleshy fruit// Scientia Horticulturae. 2015. №193. P. 40–46.