

АКТИВАЦИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЯБЛОЧНОГО ПЮРЕ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МОРОЖЕНОГО

Г.Е. Полищук, Л.М.Мацько, А.И. Соколенко

Изучены условия проведения деструкции протопектина яблочного пюре под воздействием гидротермической и механической обработки. Проведен сравнительный анализ характера перераспределения пектиновых веществ в яблочном пюре под воздействием температурной обработки и гомогенизации. Определены рекомендуемые режимы гомогенизации мякоти яблок для получения максимального технологического эффекта. Показана целесообразность комбинирования различных способов деструкции протопектина яблочного пюре при его гидротермической и механической обработке с использованием оборудования, применяемого в молочной промышленности. Значительное повышение содержания гидратопектина в яблочном пюре при соблюдении всех рекомендаций - до 43 % от общего содержания пектиновых веществ. Показана возможность получения мороженого молочно-яблочного с использованием технологически активированного яблочного пюре без стабилизаторов. Изучена микроструктура мороженого молочно-яблочного. Разработаны рекомендации для практического применения обработки.

Введение

При разработке новых видов молокосодержащих продуктов мороженое имеет ряд конкурентных преимуществ, одним из которых является его универсальный химический состав – содержание молочного сырья в рецептурах различных видов мороженого может варьировать в пределах от 10 % до 95 % [1].

Однако использование сырья растительного происхождения отличается определенной спецификой. В ассортиментной политике отечественных предприятий не уделяется должного внимания мороженому с низкой энергетической ценностью – нежирному и низкожирному. Большинство плодово-ягодных и овощных наполнителей, а также фруктовые и ароматическое покрытия для производства мороженого содержат стабилизаторы, эмульгаторы, железирующие добавки, красители и ароматизаторы, в том числе химически модифицированные и синтезированные, что неприемлемо в рационе питания детей – одной из категорий потребителей мороженого.

Решение указанных проблем возможно за счет научно обоснованного применения в составе мороженого продуктов переработки плодов, ягод и овощей, содержащих в достаточном количестве и в активной форме полисахариды, в том числе пектиновые вещества.

При научно обоснованной предварительной обработке возможна целенаправленная активация железирующих, эмульгирующих и стабилизирующих свойств пектиносодержащих смесей без дополнительного внесения пищевых добавок.

По данным Красноселовой Е.А. [2], яблоки летних сортов содержат до 1,0 % – 1,8 %, а яблоки осенних сортов – до 2,0 % – 3,5 % пектиновых веществ, из которых около 20 % составляет гидратопектин. Таким образом, обеспечение содержания растворимого пектина в составе смесей мороженого до рекомендуемых значений (0,4 % – 0,6 %) лишь за счет его естественного наличия в яблочном пюре недостаточно. Следовательно, возникает задача повышения содержания растворимого пектина в пектиносодержащем сырье за счет частичной деструкции протопектина.

Гидролиз-экстракцию пектиновых веществ широко применяют для получения пектина из пектиносодержащего сырья. Так, традиционная технология производства пектина включает кислотный гидролиз растительного сырья сильными минеральными кислотами, отделение жидкой фазы, осаждение пектина этиловым спиртом или ацетоном, его очистку и сушку. Подобная агрессивная обработка приводит к снижению железирующей и комплексообразующей способности пектина [3, 4].

Пектин, полученный ферментативным гидролизом, отличается высоким качеством и менее деградирован, однако указанная технология довольно дорога [5].

Кавитационный способ более прогрессивен, так как объединяет три операции: дробление, гидролиз, экстрагирование. Так, в Краснодарском НИИ хранения и переработки сельскохозяйственной продукции (Россия) разработан метод гидролиза-экстрагирования пектиновых веществ с помощью эжекторно-кавитационной обработки растительного сырья [6]. В НТУ «Киевский политехнический институт» для извлечения пектина из вторичного растительного сырья предложено использовать ультразвуковые кавитационные аппараты. При этом продолжительность процесса извлечения пектина сокращалась в 2–2,6 раза при «мягком» режиме обработки с использованием в качестве экстрагента умягченной воды [7]. Однако указанные инновации пока не нашли широкого применения при отсутствии серийно выпускаемого оборудования. К нестандартным способам получения высококачественного пектина и повышения его выхода можно отнести обработку яблочных выжимок под действием электромагнитных волн сверхвысоких частот [8], но указанный метод сложно применять в производственных условиях вследствие периодической и довольно длительной обработки.

Использование электроактивированной воды в качестве гидролизующего агента на стадии гидролиза-экстрагирования является довольно прогрессивной технологией. Однако продуктами электродных реакций являются обезвреженные водные примеси, газообразный водород и кислород, а также катионы металлов, в случае применения растворимых металлических анодов, молекулярный хлор и др. Поэтому электрохимическая обработка воды в различных странах Европы широко распространена лишь для промышленной очистки воды [9].

Наиболее приемлемым способом, позволяющим получать структурированные биопродукты на основе натурального пектинового сырья без дополнительного внесения стабилизаторов структуры, является применение плодовоовощных пюре. Так, доказана возможность применения яблочно-пектиновой пасты в количестве 1 % и овощных (свекольного, морковного, капустного) пюре в количестве 2 % для стабилизации структуры мороженого [10]. Однако недостаточное содержание пектина в смесях и гидротермическая обработка растительного сырья в составе смесей не позволили получить мороженое с высокими физико-химическими показателями. Исходя из данной информации, было решено исследовать возможность предварительной обработки пектинового сырья при сочетании гидротермического и механического воздействия с использованием существующего и широко применяемого в молочной промышленности оборудования.

Основной целью работы является исследование влияния гидротермической и механической обработки яблочного пюре на активацию его технологических свойств при производстве мороженого.

Результаты исследований и их обсуждение

Гидротермическую обработку яблочного пюре из яблок зимне-осеннего сорта «Чемпион» проводили при температурах в интервале значений 65 °С – 95 °С на протяжении до 60 мин. Количество пектиновых веществ от общего количества сухих веществ в пюре составляло 22,75 %.

В качестве стандартного для молочной промышленности оборудования применяли гомогенизатор клапанного типа марки APV (Англия) при давлении гомогенизации от 5 до 20 МПа и температуре (75±2) °С.

Об эффективности гидролиза пектиновых веществ судили по содержанию в яблочном пюре растворимого пектина и протопектина, а также по степени этерификации пектиновых веществ до и после обработки, которые определяли в соответствии с ГОСТ 29059. Активную кислотность определяли потенциометрически – по ГОСТ 26781. Микроструктурный анализ проводили при увеличении 10х16.

Предварительно авторами было подтверждено существенное влияние активной кислотности яблочного пюре из яблок сорта «Чемпион» на степень деструкции протопектина при температуре бланширования 75 °С и длительности процесса 20 мин, а также последующем

перетирании плодовой массы при температуре 50 °С. Минимальный гидролиз протопектина наблюдали при активной кислотности 4,2–4,5, а максимальный – при снижении рН до значений ниже 3,3. При этом наивысшая степень этерификации для растворимого пектина наблюдалась при активной кислотности 3,0 и составляла 70,36 %, в то время как при рН=4,5 этот показатель достигал 60,08 %. Тепловая обработка при активной кислотности 3,0–3,9 ед. рН повышала влагосвязывающую способность яблочного пюре в среднем на 10,5 %–25,8 %, что было подтверждено исследованиями с помощью метода дифференциально-сканирующей калориметрии [11].

Для определения рациональных режимов тепловой обработки яблочного пюре его активную кислотность регулировали 50 %-м раствором лимонной кислоты до значения рН=3,0 и обрабатывали при температурных режимах от 65 °С до 95 °С на протяжении 20 минут.

В таблице 1 приведено содержание растворимого пектина и протопектина в яблочном пюре, а также степень их этерификации при различных режимах обработки.

Таблица 1 – Содержание пектиновых веществ в яблочном пюре и степень их этерификации при различных режимах тепловой обработки (РП – растворимый пектин, ПП – протопектин)

Температура обработки, °С							
65		75		85		95	
РП	ПП	РП	ПП	РП	ПП	РП	ПП
Содержание пектиновых веществ, %, от общего количества сухих веществ							
5,67± 0,15	17,44± 0,46	7,03± 0,21	16,08± 0,46	7,77± 0,17	15,22± 0,52	5,05± 0,09	16,17± 0,58
Степень этерификации, %							
71,31± 0,97	77,04± 1,02	70,36± 1,37	76,54± 1,60	69,28± 1,17	74,12± 0,95	64,97± 0,91	68,91± 1,14

Анализ данных, приведенных в таблице 1, показал, что обработка яблочного пюре при температуре 65 °С неэффективна для гидролиза протопектина, и лишь при температуре 85 °С было получено максимальное содержание растворимого пектина от общего количества сухих веществ, которое составляло 7,77 %. Данный эффект можно объяснить существенными физико-химическими изменениями в растительных тканях при повышении температуры их обработки от 75 °С и выше. При таком тепловом воздействии инактивируются ферменты, размягчаются клеточные стенки, что способствует усилению деструкции протопектина и улучшению диффузии растворимого пектина в растворитель. Эти данные согласуются с результатами исследований Гнатенко М.А. и Богданова Е.С., которые ранее установили минимально необходимый температурный порог гидротермической обработки различных видов растительного пектинового сырья для эффективной деструкции протопектина, который составляет 80 °С [12, 13].

При температуре обработки 95 °С было получено значительно меньше гидратопектина в яблочном пюре (5,05 %), вероятно, вследствие частичной термической деструкции пектиновых веществ и снижения диффузионных свойств растительной ткани. В результате такой деструкции уменьшение молекулярной массы пектина приводило к более существенному снижению степени этерификации пектиновых веществ, а также к снижению их общего содержания (до 2 %).

На следующем этапе было исследовано влияние длительности гидротермической обработки на степень деструкции протопектина и степень этерификации при кислотности яблочного пюре рН 3,0 и рекомендованной температуре обработки 85 °С. Полученные результаты приведены в таблице 2.

Наиболее эффективный гидролиз протопектина наблюдался уже после 20 мин обработки. Продолжение этого процесса до 60 мин незначительно повышало выход гидратопектина при постоянном и незначительном снижении степени этерификации. С точки зрения рациональной продолжительности технологического процесса и экономии расхода теплоносителя увеличение гидротермической обработки яблочного пюре свыше 20 мин нецелесообразно.

Таблица 2 – Содержание пектиновых веществ в яблочном пюре и степень их этерификации при различной длительности тепловой обработки

		Длительность обработки, мин					
0		20		40		60	
РП	ПП	РП	ПП	РП	ПП	РП	ПП
Содержание пектиновых веществ, %, от общего количества сухих веществ							
5,10±	17,93±	7,77±	15,22±	7,89±	14,77±	8,00±	14,61±
0,13	0,28	0,17	0,32	0,15	0,26	0,15	0,36
Степень этерификации, %							
71,51±	76,12±	69,28±	74,12±	67,09±	70,00±	66,07±	68,98±
1,01	0,94	1,17	0,95	0,98	1,05	1,09	0,95

Далее было исследовано влияние механической обработки яблочного пюре с помощью полупромышленного гомогенизатора при установленных ранее рациональных режимах подготовки сырья (рН=3,0; температура 85 °С, длительность тепловой обработки 20 мин). Результаты исследований представлены в таблице 3.

Влияние гомогенизации на деструкцию протопектина, причем чем выше давление, тем существеннее влияние этого фактора на изменение соотношения между РП и ПП. Несмотря на довольно незначительный общий эффект от гомогенизации (содержание РП от общего количества сухих веществ увеличивалось лишь на 1,73 % при некотором уменьшении протопектина), можно рекомендовать применение гомогенизации яблочного пюре при максимальном давлении – на уровне 20 МПа. Кроме того, совокупный эффект от сочетания рациональных технологических режимов (температура 85 °С; длительность тепловой обработки 20 мин; рН=3,0; давление 20 МПа) довольно значительно повышал первоначальное содержание растворимого пектина от 5,0 % (свежее пюре) и 5,67 % (обработанное при рН=3,0 и 65 °С пюре) до 9,5 %. При этом доля гидратопектина в общем содержании пектиновых веществ при изначально заданной кислотности рН=3,0 повышалась почти вдвое – от 21,93 % до 42,97 %.

Таблица 3 – Содержание пектиновых веществ в яблочном пюре и степень их этерификации при различном давлении гомогенизации

		Давление гомогенизации, МПа							
0		5		10		15		20	
РП	ПП	РП	ПП	РП	ПП	РП	ПП	РП	ПП
Содержание пектиновых веществ, %, от общего количества сухих веществ									
7,77±	15,22±	7,79±	15,08±	7,95±	14,89±	8,03±	14,19±	9,50±	12,61±
0,17	0,32	0,14	0,24	0,19	0,41	0,13	0,36	0,21	0,25
Степень этерификации, %									
69,28±	74,12±	69,05±	73,99±	68,69±	73,12±	67,22±	72,95±	66,15±	72,25±
1,17	0,95	1,05	1,57	1,12	1,19	0,99	1,44	0,89	1,05

Влияние гомогенизации на микроструктуру яблочного пюре проиллюстрировано на рисунке 1.

Микроструктура гомогенизированного при различных режимах яблочного пюре существенно отличалась и подтверждала предположение о довольно глубоких изменениях физического состояния стенок и срединных пластинок растительных клеток, способствующих деструкции протопектина и изменению степени этерификации пектиновых веществ.

На основе яблочного пюре было изготовлено мороженое молочно-яблочное на фризере периодического действия "Ельбрус-400" ФПМ 3,5/380-50 с закладкой смеси 4 кг при длительности охлаждения 3,5 мин, длительности фризирования 3,5 мин и частоте вращения шнекомешалки скребкового типа 200×60 с⁻¹.

По предварительным расчетам, содержание активированного яблочного пюре, обеспечивающего до 0,5 % растворимого пектина в смесях мороженого, должно составлять не менее

35 %. Таким образом, состав смеси мороженого был принят следующим: массовая доля СЗМЗ 10 %, массовая доля жира 3,5 %, массовая доля сахара 15 %, массовая доля яблочного пюре 35 %, остальное – вода. Общее содержание сухих веществ – не менее 32 %. Взбитость мороженого достигала 92 %. Средний диаметр воздушных пузырьков мороженого мягкого и закаленного составлял в пределах 40–58 мкм, что доказывало удовлетворительную дисперсность воздушной фазы в продукте. Однако сопротивление таянию опытного образца находилось на минимально допустимом пределе и составляло 32 минуты.

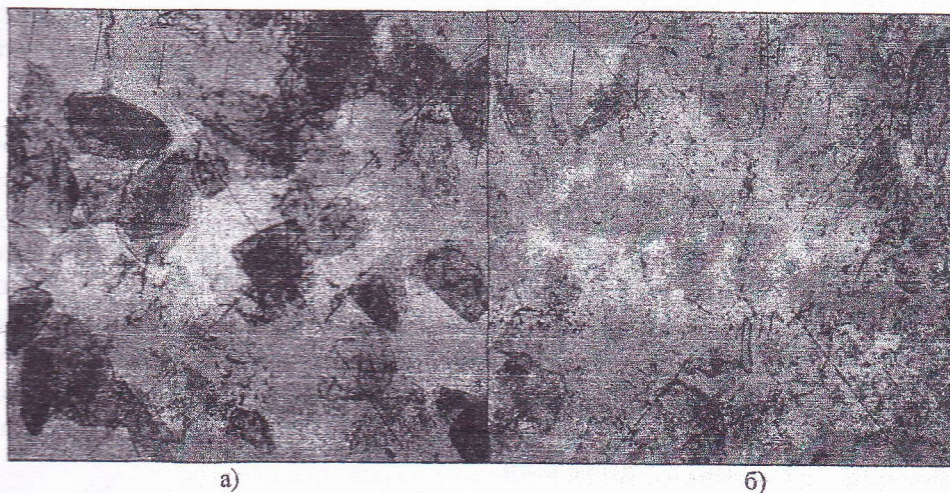


Рисунок 1 – Микроструктура яблочного пюре после гомогенизации при давлении 5 МПа (а) и 20 МПа (б)

Микроструктура мороженого молочно-яблочного в сравнении с микроструктурой мороженого молочного, представлена на рисунке 2.

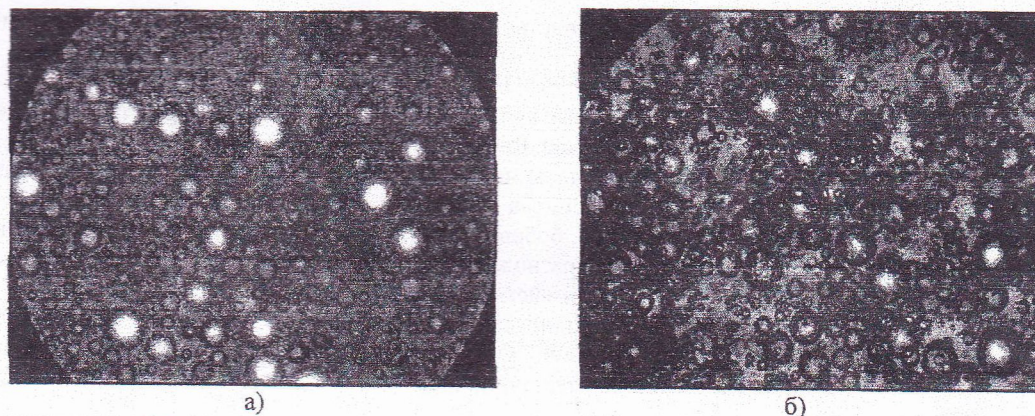


Рисунок 2 – Микроструктура мороженого молочного (а) и молочно-яблочного (б)

Микроструктура мороженого молочно-яблочного в сравнении с таковой для мороженого молочного отличалась заметным агрегированием мелких воздушных пузырьков на поверхности более крупных пузырьков и растительных волокон. Можно предположить, что измельченные мягкие растительные волокна яблочного пюре дополнительно структурируют воздушные включения и усиливают кремовидность структуры продукта.

Таким образом, установлена возможность получения мороженого молочно-яблочного без дополнительного внесения стабилизаторов структуры. В отличие от существующих технологических решений обработку плодового пюре рекомендовано проводить отдельно с молочной смесью при установленных авторами рациональных режимах ($pH=3,0$; $t=85\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\tau=20\text{ мин}$; $P=20\text{ МПа}$). Активированное пюре следует охлаждать сразу же после обработки до температуры не выше $(4\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ и вносить в охлажденную до такой же температуры молочную смесь либо до, либо после ее созревания для предотвращения возможной кислотной коагуляции

молочных белков.

На фоне довольно высоких показателей качества (взбитость и дисперсность воздушной фазы, кремовидная консистенция) мороженое молочно-яблочное требует дальнейшего усовершенствования химического состава для повышения сопротивления таянию. Результат может быть достигнут либо путем применения других способов механоактивации яблочного пюре (кавитация, вакуумирование) для дальнейшего увеличения содержания в нем гидратопектина, либо дополнительным введением в состав мороженого растительных наполнителей, содержащих полисахариды другой природы. Авторский коллектив продолжает исследования в данном направлении. При этом поиск технологических решений ограничен исключительно отечественной сырьевой базой и техническими возможностями предприятий отрасли.

Заключение

Установлено существенное влияние на степень деструкции протопектина яблочного пюре при активной кислотности $pH=3,0$ оказывают следующие факторы (указаны по возрастанию их значимости): давление гомогенизации, температура и длительность температурной обработки. Рекомендовано обрабатывать яблочное пюре при следующих технологических режимах: активной кислотности – не выше $pH=3,0$; температуре – до $85\text{ }^{\circ}\text{C}$; длительности тепловой обработки – не менее 20 мин; давлении гомогенизации – не менее 20,0 МПа. При этом массовая доля гидратопектина в общем содержании пектиновых веществ увеличивается до 43 %. Активация функционально-технологических свойств яблочного пюре позволила получить мороженое исключительно на основе натурального сырья с высокими органолептическими и физико-химическими показателями.

Литература

- 1 Оленев, Ю.А. Справочник по производству мороженого / Ю.А. Оленев [и др.]. – М.: ДеЛи принт, 2004. – 798 с.
- 2 Красноселова, Е.А. Разработка технологии комплексной переработки яблок летних и осенних сортов с получением пектина и пектинопродуктов функционального назначения / Е.А. Красноселова // Дис. канд. техн. наук. 05.18.01. Краснодар. 2007. – 128 с.
- 3 Гулый, И.С. Пектин, его свойства и производство / И.С. Гулый, Л.В. Донченко, Н.С. Карпович [и др.]. // АгроНИИТЭИПП. Обзорная информация. – 1992. – Вып. 6. – 56 с.
- 4 Datta, R.K. Pectin extraction from fruits and vegetables // *Ind. J. Horticult.* – 1987. – Vol. 11. – №2. – P. 15–16.
- 5 Sufi, N.A., Preparation of enzymatically clarified juice and its concentration to produce high degree brix concentrate / Iqbal.S., Khan M.R., Yasmin A. / *Pakistan J. Sci. and Ind. Res.* 1992. – 35, №12. – P. 508 – 510.
- 6 Богус, А. М. Теоретические и практические основы новых технологий получения пектина из растительного сырья с использованием физических процессов. Дис. на соиск. науч. степ. д.т.н. по спец. 05.18.01 — Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства. – 2007. – 233 с. – ГУ Краснодарский НИИ хранения и переработки сельскохозяйственного продукции Российской академии сельскохозяйственных наук.
- 7 Луговський, І.М. Берник Ультразвукові кавітаційні апарати для реалізації екологічно безпечної технології вилучення пектину з вторинної рослинної сировини / О.Ф. Луговський, І.М. Берник / Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія Машинобудування. №58. – 2010. – С. 82–86.
- 8 Совершенствование технологии получения пектина. / С.Н. Никоноров, Л.Ф. Рамазаева, И.Л. Казанцева, О.А. Чиркова // Инновационные технологии и оборудование для пищевой промышленности (приоритеты развития) Материалы III Международной научно-технической конференции, посвященной 80-летию ГОУВПО «Воронежская государственная технологическая академия» Том 2 Воронеж, 22–24 сентября 2009 года Воронеж. – 2009. с. 169–171.
- 9 <http://www.owode.ru/article/answer/clean/electrowater.htm>
- 10 Василенко, З.В., Баранов В.С. Плодоовощные пюре в производстве продуктов / З.В. Василенко, В.С., Баранов – М.: Агропромиздат. – 1987. – 125 с.
- 11 Мацько Л., Поліщук Г., Крапивницька І. Яблучне пюре як стабілізатор у морозиві // Продовольча індустрія АПК. – №5. – 2011. – С. 18–21.
- 12 Гнатенко М.А. «Розробка технології пектинових екстрактів так способом їх сушіння» Дис. канд. техн. наук. 05.18.05. Київ. 2002. – 165 с.
- 13 Богданов, Е. С. Удосконалення технології отримання пектину і пектинопродуктів з свіжої пектиновмісної сировини: дис. кандидата техн. наук : 05.18.05. – Київ: 2001. – 157 с.

Поступила в редакцию 08.06.2012