

Характеристика свекловичного пектина как студнеобразователя^S

Л.В. ДОНЧЕНКО, д-р техн. наук, профессор (e-mail: pectin@mail.ru)

А.В. ТЕМНИКОВ, доцент кафедры технологии хранения и переработки растениеводческой продукции, канд. техн. наук (e-mail: Temnikoff85@mail.ru)

С.Е. КОВАЛЁВА, гл. специалист НИИ биотехнологии и сертификации пищевой продукции (e-mail: ksvetick@gmail.com) ФГБОУ ВО «Кубанский ГАУ имени И.Т. Трубилина»

Введение

Современная пищевая промышленность представляет собой динамично развивающуюся отрасль, в которой используются высокотехнологичные приёмы обработки сырья и полуфабрикатов. Рынок пищевых добавок предлагает агенты, которые способствуют увеличению сроков хранения пищевых продуктов, интенсификации ведения технологических процессов и улучшения товарного качества готовой продукции. Вместе с тем предлагаемые технологические решения способствуют отказу от натуральных пищевых ингредиентов, способствуя переходу на использование добавок и сырья химического происхождения. Это обуславливает переход к продукции, имеющей низкую себестоимость и при этом обладающей мало прогнозируемым влиянием на здоровье потребителей. Если учитывать особенности современного индустриального производства и сопутствующую этому неблагоприятную экологическую ситуацию, связанную с загрязнением окружающей среды промышленными предприятиями, то становится очевидным, что жизнь людей связана как минимум с двумя негативными факторами: во-первых, это пищевые продукты с высокой долей добавок ненатурального происхождения, а во-вторых – неблагоприятная экологическая обстановка.

В связи с этими доводами перед разработчиками и производителями пищевой продукции ставится задача по изысканию отечественных пищевых добавок натурального происхождения.

Низкоэтерифицированные пектины как студнеобразователи

Одной из перспективных пищевых добавок, обладающей большим потенциалом возможностей корректировки пищевого статуса населения, являются пектиновые вещества. Они получили широкое рас-

пространение в пищевой промышленности благодаря способности образовывать студни, или гели.

Основным структурным элементом пектиновых веществ являются остатки галактуроновой кислоты, неразветвлённые полимерные блоки которых служат фундаментом макромолекулы пектина (рис. 1). Высоким содержанием остатков галактуроновой кислоты обусловлены некоторые специфические особенности пектина [1], в том числе способность к образованию студней. При добавлении сахара и спирта между молекулами пектина образуются ассоциативные связи, что приводит к образованию стойких агрегатов молекул и переходу золь в гель. Данный процесс, в свою очередь, сопровождается постепенным увеличением вязкости пищевой системы.

Основным отличием пектиновых веществ как студнеобразователей является обязательное присутствие в составе структуры геля сахара и кислоты. Базовыми структурными единицами молекулы пектина являются галактуроновая кислота и её метиловый эфир. При этом пектиновая молекула состоит из линейных

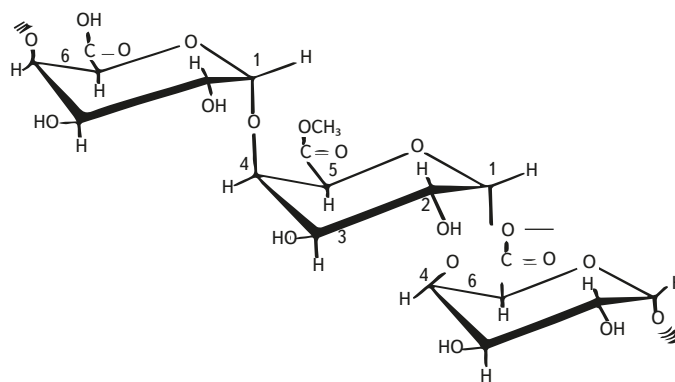


Рис. 1. Структура галактуроновой цепи

цепей, содержащих от 200 до 1000 элементов галактуроновых кислот. Карбоксильные группы пектина обычно в значительной степени этерифицированы метильными группами.

В основе классификации пектинов по их механизму студнеобразования рассматривают степень этерификации (метоксилирования). Различают две группы: высокоэтерифицированные и низкоэтерифицированные. Свекловичный пектин является низкоэтерифицированным и студнеобразует только в присутствии ионов Ca^{2+} . Механизм студнеобразования низкоэтерифицированных пектинов основан на сближении пектиновых цепочек при низких концентрациях ионов кальция за счёт образования кальциевых мостиков [2, 3]. При повышении концентрации Ca^{2+} образуется устойчивая структура, называемая моделью типа «решётка для яиц» (рис. 2).

Не менее значимое влияние оказывает взаимосвязь дозировки кальция и содержания сухих веществ. Чем меньше содержание сухих веществ в студне, тем больше кальция требуется для образования устойчивой гелевой структуры [5].

При этом максимальная прочность студня для низкоэтерифицированных пектинов достигается при pH 2,5–2,8.

Существенное влияние на студнеобразование оказывает химическое строение макромолекулы пектина.

Пектовая кислота, у которой все остатки галактуроновой кислоты имеют карбоксильные группы, не-

растворима в воде и не обладает студнеобразующей способностью.

Наличие балластных веществ, связанных с пектином валентными связями (например, с другими полисахаридами), вызывает изменение конформации его макромолекулы и отрицательно сказывается на формировании и прочности студня.

Особенности желирования свекловичного пектина

Особенностью свекловичного пектина является наличие в его молекуле ацетильных групп. Ацетильные группы, связанные с гидроксильными группами пектиновых веществ, значительно ухудшают их студнеобразующие свойства. Наибольшее количество ацетильных групп содержится в пектине из сахарной свёклы (0,38–0,80 %), обуславливая их низкую студнеобразующую способность.

Нами изучена возможность повышения студнеобразующей способности пектинов сахарной свёклы путём их обработки химическими реагентами. Так, использование персульфата аммония или перекиси водорода приводит к повышению молекулярной массы растворимых пектинов за счёт окислительной сшивки, что сопровождается образованием прочного студня.

Следует, однако, отметить, что свекловичный пектин образует гелевые структуры, характерные по механизму студнеобразования для низкоэтерифицированных пектинов. Гели, полученные на основе свекловичного пектина, обладают также высокой водоудерживающей способностью, стабильны при соблюдении технологических режимов к синерезису и могут найти широкое применение в пищевой промышленности.

Из литературных данных известно, что на прочность пектиновых студней оказывают влияние катионы металлов. Однако в производстве жележных изделий чаще применяют только кальцийсодержащие соли.

По этой причине нами проведены дополнительные исследования по изучению влияния вида катионов металлов на прочность желе при использовании пектинов с различной степенью этерификации.

Для изучения стабильности жележных систем в присутствии выбранных катионов готовили экспериментальные образцы. При варке студня вводили следующие соли: CaCl_2 , MgSO_4 , AlCl_3 , FeCl_3 , KCl . Содержание свекловичного пектина в студне было постоянным – 2 %. Дозировку вводимых солей изменяли от 10 до 100 мг%.

Готовый студень проверяли на прочность по методу Сосновского. Опытные данные приведены в табл. 1.

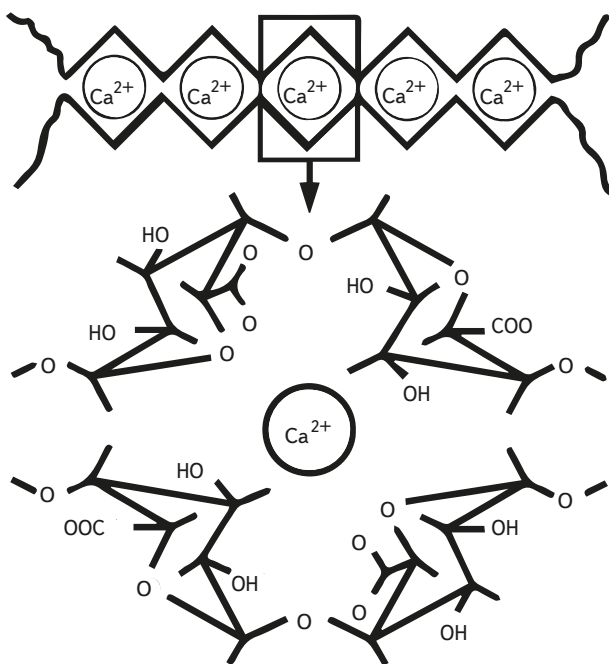


Рис. 2. Модель типа «решётка для яиц»

Таблица 1. Зависимость прочности пектиновых студней от концентрации катионов металлов

Вид пектина	СЭ	Прочность 2%-ного пектинового студня в зависимости от концентрации катионов, кПа											
		Концентрация катионов металлов, мг%											
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
Катион Ca²⁺													
Свекловичный	51	37,8	43,9	49,6	55,0	55,4	55,8	56,2	56,7	57,0	57,4	57,8	
	44	33,2	39,0	44,1	48,8	48,9	49,1	49,3	49,5	49,7	50,1	50,6	
	37	30,3	36,7	40,6	44,7	44,5	44,6	44,6	44,7	44,6	45,0	45,5	
	30	26,1	32,4	35,2	38,0	38,2	38,5	38,8	38,9	39,2	39,7	40,2	
Катион Mg²⁺													
Свекловичный	51	37,8	40,3	42,8	45,4	47,9	50,3	52,5	54,3	56,1	58,2	58,4	
	44	33,2	35,8	38,4	40,9	43,5	45,3	48,4	50,1	52,3	54,0	54,1	
	37	30,3	32,7	35,2	37,7	40,2	42,8	45,3	47,0	48,8	50,1	50,1	
	30	26,1	28,8	31,4	34,1	36,7	39,2	41,6	43,5	45,4	47,2	47,1	
Катион Al³⁺													
Свекловичный	51	37,8	42,8	47,7	47,8	47,7	47,8	47,7	47,9	47,9	48,0	48,2	
	44	33,2	38,0	42,8	42,9	42,9	43,0	43,1	43,2	43,1	43,2	43,3	
	37	30,3	35,4	40,5	40,5	40,6	40,7	40,8	40,7	40,8	40,9	41,0	
	30	26,1	31,4	36,8	36,9	36,9	37,0	37,1	37,3	37,5	37,3	37,4	
Катион Fe³⁺													
Свекловичный	51	37,8	48,2	58,6	58,7	58,6	58,7	58,9	58,9	58,0	59,1	59,2	
	44	33,2	43,8	54,3	54,3	54,4	54,6	54,6	54,7	54,8	54,8	54,9	
	37	30,3	40,4	50,5	50,6	50,7	50,7	50,8	50,8	51,0	50,9	51,0	
	30	26,1	36,7	47,3	47,3	47,4	47,5	47,7	47,6	47,8	47,7	47,9	
Катион K⁺													
Свекловичный	51	37,8	38,5	39,1	39,7	40,4	41,0	41,7	42,4	43,0	43,3	43,7	
	44	33,2	34,0	34,7	35,6	36,3	37,2	37,9	38,7	39,4	39,7	40,1	
	37	30,3	31,3	31,9	32,6	33,5	34,4	35,2	36,1	36,8	37,0	37,4	
	30	26,1	27,0	27,9	28,8	29,6	30,6	31,4	32,2	33,0	33,2	33,3	

центрацией катионов существенна только для Ca²⁺, Mg²⁺ и Fe³⁺, для Al³⁺ и K⁺ связь между этими параметрами низкая (статистически недостоверная). Это значит, что на фоне всех исследуемых катионов металлов при увеличении исходной степени этерификации пектинов возрастает скорость изменения прочности. Увеличение концентрации катиона Mg²⁺ при постоянной степени этерификации влияет на прочность пектинового студня в большей степени ($r = 0,6$). Повышение концентрации катионов Ca²⁺ и Fe³⁺ (0,39 и 0,40 соответственно) также статистически достоверно влияет на прочность пектиновых студней. При этом влияние изменения концентраций катионов Al³⁺ и K⁺ при постоянной степени этерификации на скорость увеличения прочности статистически недостоверно.

Полученные результаты дают основание для вывода о том, что применение катионов Ca²⁺, Mg²⁺ и Fe³⁺ позволит достигнуть прогнозируемых, точных и стабильных результатов в дальнейших исследованиях. Для подтверждения данного предварительного вывода нами определена зависимость варьирования прочности пектинового студня от различных видов катионов металлов на основе дисперсионного анализа. Рассчитанный на основе опытных данных

Для сравнения различия прочности пектиновых студней между группами катионов разных металлов применяли метод сопряжённых признаков, выполняя статистическую обработку материала для всех видов пектина по каждой группе катионов металлов и дисперсионный анализ между группами по каждому признаку. Результаты математического моделирования показали, что коэффициент парной корреляции между прочностью и степенью этерификации по всем видам катионов существенен, а корреляционная связь между прочностью пектиновых студней и кон-

Таблица 2. Сравнение значений прочности пектинового студня между различными видами катионов металлов

Вид катиона	Показатель существенности различия средних ($T_{\text{Стьюдента}}$)			
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	Fe ³⁺
K ⁺	5,26	4,36	2,75	8,03
Fe ³⁺	2,39	3,86	5,50	
Al ³⁺	2,80	1,67		
Mg ²⁺	1,25			

критерий Фишера показал, что 21 % изменчивости прочности определён именно этим фактором (вид катиона). С учётом этого нами проведено попарное сравнение различий зависимости прочности пектиновых студней от концентрации катионов между видами металлов. Результаты математической обработки показаны в табл. 2. Как следует из табличных данных, в зависимости от вида вводимого катиона прочность пектинового студня существенно изменяется.

В результате полученных нами данных построен следующий ряд катионов металлов, оказывающих влияние на процесс студнеобразования пектинов, имеющих среднюю и низкую СЭ:

Увеличение силы влияния на студнеобразование

Mg^{2+} Fe^{3+} Ca^{2+} Al^{3+} K^{+}

→

Известно, что помимо влияния катионов на прочность студня оказывает воздействие содержание сахара.

Результаты экспериментальных исследований показали, что при возрастании концентрации поливалентного иона кальция в студне его прочность увеличивается. При дальнейшем увеличении дозировки кальция наблюдается снижение прочности студня (рис. 3).

Вместе с тем, анализируя полученные данные, можно с достоверностью утверждать, что с уменьшением концентрации сахара в системе максимальная реологическая прочность студня достигается при большей концентрации кальция. При изучении технической

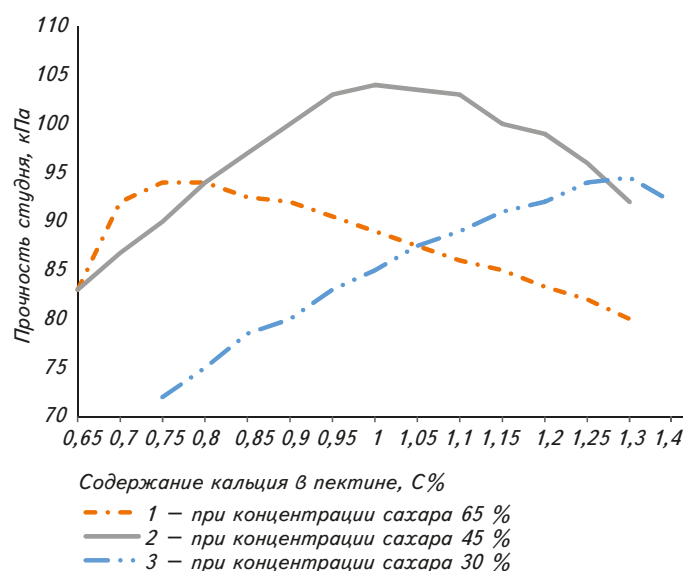


Рис. 3. Изменение реологических характеристик студня при варьировании концентрации кальция и различном содержании сахара в системе

документации мы пришли к заключению, что пектиновый студень со стандартными характеристиками характеризуется показателями прочности от 79,9 до 99,8 кПа.

Подводя итоги проведённых экспериментов, нами были сделаны выводы о том, что наиболее обоснованно с точки зрения ведения технологического процесса будет содержание кальция в системе в пределах 0,8–1,3 %. При этом параметре реологическая характеристика студня будет находиться в пределах 99,8 кПа, а содержание сахара в системе составит 45,5 %.

Для расширения ассортимента продуктов питания с низкой сахароёмкостью нами проведено изучение возможности полной или частичной замены сахара на мальтозу, сорбит, ксилит и фруктозу в процессе приготовления пектиновых студней [4].

Установлено, что наибольшая прочность студня достигается при замене сахарозы сорбитом – на 60 %, ксилитом – на 50 %, фруктозой – на 40 %, мальтозой – на 30 %.

Выводы

Результаты аналитических исследований позволили установить следующее.

1. Характер зависимости прочности пектинового студня от степени этерификации пектина и концентрации катионов – нелинейный.

2. Для всех катионов металлов, кроме K^{+} , суммарные доли влияния концентрации катионов велики – от 53 до 71 %, а для катиона K^{+} , наоборот, суммарная доля влияния степени этерификации равна 70 %. Следовательно, этот катион оказывает наименьшее действие на увеличение прочности пектинового студня.

3. У катионов Al^{3+} , Fe^{3+} , K^{+} доля влияния фактора совместного действия степени этерификации и концентрации катионов равна 0 %, у Ca^{2+} и Mg^{2+} доля влияния (6 и 9 % соответственно) невелика. Это говорит об отсутствии влияния концентрации катионов непосредственно на степень этерификации пектина.

4. Для всех катионов металлов (у K^{+} наименее выражено) большую долю влияния имеет линейная составляющая фактора концентрации катионов, что свидетельствует о начальном резком увеличении прочности с последующим плавным переходом в практически стационарное состояние.

Выявленные закономерности дают основание для вывода о том, что выбранные для исследования катионы металлов оказывают влияние на прочность пектинового студня. Однако их влияние неодинаково. Наиболее перспективно для регулирования прочности пектинового студня в зависимости от степени этерификации применение кальций- и магнийсодержащих

Форум и выставка по глубокой переработке зерна и промышленной биотехнологии «Грэйнтек»

Грэйнтек

Форум и экспо по глубокой переработке зерна и биоэкономике

+7 (495) 585-5167 | info@graintek.ru | www.graintek.ru

Форум является уникальным специализированным событием отрасли в России и СНГ и пройдет 16-17 ноября 2022 года в отеле Холидей Инн Лесная Москва

В фокусе Форума – практические аспекты глубокой переработки зерна для производства как продуктов питания и кормов, так и биотехнологических продуктов с высокой добавленной стоимостью.

Темы Форума: производство и рынок нативных и модифицированных крахмалов, клейковины, сиропов, органических кислот, аминокислот (лизин, треонин, триптофан и т. д.), сахарозаменителей (сорбит, ксилит, маннит) и других химических веществ.

18 ноября 2022 года пройдет семинар «ГрэйнЭксперт», посвященный практическим вопросам запуска и эксплуатации завода глубокой переработки зерна. Семинар проводится для технических специалистов, которые отвечают за производственный процесс и высокое качество конечной продукции.

компонентов. Следует отметить, что использование добавок, содержащих Fe^{3+} и K^+ , целесообразно с точки зрения частичного упрочнения каркаса студня.

Список литературы

1. Свойства и строение галактуроновой кислоты в технологии производства пектинов / Л.С. Дегтярёв, М.П. Купчик, Л.В. Донченко, О.В. Богданова // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2002. – № 4 (269). – С. 15–18.

2. Донченко, Л.В. Пектин: основные свойства, производство и применение / Л.В. Донченко, Г.Г. Фирсов. – М.: ДеЛи принт, 2007. – 276 с.

3. Пищевая химия. Гидроколлоиды / Л.В. Донченко [и др.]. – М.: Юрайт, 2018. – 176 с.

4. Донченко, Л.В. Технология функциональных продуктов питания / Л.В. Донченко, Н.В. Сокол, Е.А. Краснощёлова. – М.: Юрайт, 2018. – 180 с.

5. Новый фактор, влияющий на желеобразование пектиновых полисахаридов / Ш.Ё. Холов, А.С. Джонмуродов, З.К. Мухидинов, Х.И. Тешаев // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2016. – № 1. – С. 151–155.

Аннотация. В статье рассмотрены особенности свекловичного пектина как студнеобразователя. Приведены результаты исследований воздействия катионов металлов на студнеобразующую способность свекловичного пектина. Изучено влияние количественного соотношения сахара и ионов кальция на прочность студня.

Ключевые слова: свекловичный пектин, студнеобразующая способность, катионы.

Summary. This article discusses the features of beet pectin as a gelling agent. The results of studies of the effect of metal cations on the jelly-forming ability of beet pectin are presented. In addition, the influence of the quantitative ratio of sugar and calcium ions on the strength of jelly is considered.

Keywords: beet pectin, jelly-forming ability, cations.