

УДК 664.292

Усовершенствование технологии получения пектина из яблокканд. техн. наук **М.Ю. Кукин**, mk-1980_2@mail.ru*Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок
191014, Россия, Санкт-Петербург, Литейный пр., 55*

Исследовали влияние вида гидролизующего агента, продолжительности гидролиза яблочных выжимок, режимов упаривания пектинсодержащего раствора, осаждения этиловым спиртом и сушки пектина на выход и показатели качества готового продукта с целью разработки конкурентоспособной отечественной технологии получения пектина. Дан анализ существующих в настоящее время способов получения пектина и в качестве объекта для совершенствования выбрана технология, основанная на кислотном гидролизе растительного сырья с последующим осаждением пектина из раствора этиловым спиртом. Доказано, что с учетом имеющейся сырьевой базы в России для получения высокоэтерифицированного пектина целесообразно использовать яблоки. В сравнении с другими, родственными по тематике статьями, представлены объективные данные по выходу пектина относительно его содержания в исходном сырье и взаимосвязи показателей качества готового продукта с его выходом. В качестве критерия оптимизации выбрано достижение максимального выхода пектина при сохранении средней молекулярной массы 130 кДа. Получены данные по влиянию продолжительности гидролиза яблочных выжимок водой, 0,03 н раствором органической лимонной кислоты и 0,0125 н раствором неорганической соляной кислоты на выход и среднюю молекулярную массу пектина. Гидролиз проводили при температуре 98–100°C. Для определения содержания пектина в исходном сырье и выхода готового продукта использовали кальций-пектатный метод, для средней молекулярной массы и степени этерификации — вискозиметрический и титриметрический методы соответственно. Гелеобразующую способность определяли методом, основанным на оседании геля с массовой долей сухих веществ 65% под действием силы тяжести. Показано, что гидролиз яблок целесообразно проводить 0,0125 н раствором соляной кислоты, при этом средняя молекулярная масса 130 кДа, гелеобразующая способность более 200°SAG и относительный выход 75,2% достигаются в течение 90 мин. Экспериментальные данные хорошо масштабируются и могут быть использованы при разработке промышленной технологии пектина из яблок.

Ключевые слова: производство пищевых продуктов; пектин; пищевая добавка; яблоки; кислотный гидролиз; выход; молекулярная масса; гелеобразующая способность.

DOI: 10.17586/2310-1164-2017-10-2-9-17

Improvement of pectin production technology from applesPh.D. **Mikhail Yu. Kukin**, mk-1980_2@mail.ru*All-Russia Research Institute for Food Additives
55, Liteyny ave, St. Petersburg, 191014, Russia*

The influence of hydrolyzing agent type, the hydrolysis duration of apple pomace, the evaporation regimes of the pectin-containing solution, the precipitation with ethyl alcohol and the pectin drying on the yield and the quality indicators of the finished product are studied. The goal is to develop a competitive domestic technology for the pectin production. The article analyzes currently available methods for the pectin production and the technology based on acid hydrolysis of plant raw materials followed by pectin precipitation from the solution with ethyl alcohol as an object for improvement is chosen. It is proved that, taking into account the existing raw materials resources in Russia, it is expedient to use apples to produce highly esterified pectin. In comparison with other related articles, objective data on the pectin yield relative to its content in the feedstock and the relationship between the quality indicators of the finished product and its yield are presented. The maximum pectin yield while maintaining an average molecular weight of 130 kDa was chosen as an optimization criterion. The data on the effect of apple pomace hydrolysis duration with water, 0.03 N organic citric acid solution, and with 0.0125 N inorganic hydrochloric acid solution on the yield and average molecular weight of pectin are presented. Hydrolysis was carried out at the temperature of 98–100°C. To determine the pectin content in the feedstock and the final product yield a calcium-pectate method was used, and for the average molecular weight and degree of esterification — viscosimetric and titrimetric methods respectively. Gelling capacity was determined by the method based on the sedimentation of the gel with 65% solids mass fraction under the action of gravity. It is shown that the hydrolysis of apples should be carried out with 0.0125 N hydrochloric acid solution, the average molecular weight of 130 kDa, gelling capacity of more than 200°SAG and a relative yield of 75.2% being achieved within 90 minutes. Experimental data is well scaled and can be used in the development of industrial technology of pectin production from apples.

Keywords: food production; pectin; food additive; apples; acid hydrolysis; yield; molecular weight; gelling capacity.

Введение

Пектин (пищевая добавка Е440) обладает защитным, диетическим и лечебно-профилактическим действием, широко востребован в пищевой промышленности [1, 2] и используется в России согласно Техническому регламенту Таможенного Союза 029/2012. Главным его свойством является гелеобразующая способность. Основная часть пектина применяется при производстве кондитерских изделий (мармеладов, начинок в виде желе, кондитерских изделий сбивного типа – зефира, пастилы), меньшая часть – для колбас, майонезов, соусов, соков и йогуртов. Около 20% пектина используют в фармацевтике и производстве косметики [3–5].

Пектин представляет собой получаемое из высших растений порошкообразное вещество от светло-серого до светло-бежевого цвета, состоящее преимущественно из частично этерифицированной метанолом полигалактуроновой кислоты и ее солей. Мировое производство пектина ежегодно увеличивается и в настоящее время составляет более 40 000 т в год. В России пектин не производится, а ввозится из-за рубежа. Согласно таможенной статистике, импорт пектина в Россию в 2013 г. составил 2 570 т, в 2014 г. – 3 110 т, а в 2016 г. достиг 4 500 т. Соотношение между высокоэтерифицированными и низкоэтерифицированными пектинами, поставляемыми на рынок, составляет 4:1 [6, 7].

Основами государственной политики РФ в области здорового питания населения на период до 2020 года предусмотрено развитие производства пищевых продуктов, обогащенных незаменимыми компонентами, продуктов детского питания и специализированных продуктов функционального назначения (лечебных и профилактических). С учетом востребованности пектина на российском рынке и актуальностью импортозамещения перед ВНИИ пищевых добавок была поставлена задача разработать конкурентоспособную технологию получения высокоэтерифицированного пектина из отечественного сырья. На первом этапе работы были проанализированы уже известные способы. Установлено, что классическая технология заключается в следующем: кожуру цитрусовых или яблочные выжимки от 3 до 12 ч экстрагируют подкисленной водой при pH 1,0–3,5 и температуре от 50 до 90°C. Раствор пектина упаривают, очищают от красящих, ароматических и вкусовых веществ и при необходимости подвергают деэтерификации. Из очищенного раствора пектин осаждают органическими растворителями. После сушки и измельчения пектина проводят стандартизацию его гелеобразующей способности до 150°SAG. Крупнейшие производители получают пектин из традиционного сырья (преимущественно из цитрусовых, в меньшей степени из яблок). Другие виды сырья плохо подходят для получения высокоэтерифицированного пектина, поэтому в качестве пищевой добавки Е440 на рынке представлен только пектин из цитрусовых и яблок [4, 7].

В литературе встречаются данные о том, что для гидролиза/экстракции, содержащегося в растительных тканях протопектина, вместо кислот можно использовать ферментные препараты или кавитационную обработку, но из-за того, что чистых ферментных препаратов, способных селективно отделять пектин от протопектина не разрушая при этом сам пектин, в настоящее время не существует, а кавитация приводит к уменьшению молекулярной массы пектина, эти способы не нашли широкого применения [7, 8].

Выделять пектин из раствора можно не только органическими растворителями, но и осаждением солями металлов. Так в СССР для этих целей использовали хлорид алюминия с последующей промывкой осадка подкисленным спиртом, но эта технология оказалась недостаточно эффективной [9]. Наиболее перспективным подходом является распылительная сушка пектинсодержащего раствора, минуя этап выделения пектина. Однако этот способ сопряжен с целым рядом трудностей (невозможность использования кислоты для гидролиза протопектина, более высокие требования к качеству сырья и др.), требует использования баромембранных процессов, кроме того, отсутствуют достоверные данные о его применении при промышленном производстве пектина [7, 8].

В Российской Федерации в последнее время появляется относительно много коммерческих проектов по организации производства пектина из нетрадиционного сырья (корзинок подсолнечника, топинамбура и др.), но дальше рекламы в средствах массовой информации и составления бизнес-плана эти проекты не продвигаются.

При анализе имеющейся в свободном доступе литературы и патентов на русском, английском и европейских языках не было обнаружено детального описания актуальных промышленных технологий получения высокоэтерифицированного пектина. Исходя из этого и с учетом изложенных

фактов, цель данной работы – совершенствование получения пектина по классической технологии, прежде всего, в направлении оптимизации процесса гидролиза/экстракции протопектина.

Эксперименты, проведенные ВНИИ пищевых добавок, показали, что содержащийся в ягодах и фруктах протопектин гидролизует при более мягких условиях, чем протопектин из других видов растительного сырья. В ягодах и фруктах содержится больше высокоэтерифицированного пектина и меньше мешающих выделению пектина примесей таких, как белок и крахмал. Отходы сокового производства имеют низкую стоимость и удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым к пектинсодержащему сырью, следовательно, только из них может быть получен конкурентоспособный по себестоимости пектин. В России на сок в промышленных масштабах перерабатывают только яблоки, поэтому исходя из имеющейся в нашей стране сырьевой базы, для получения пектина целесообразно использовать яблоки.

Объекты и методы исследования

Постановка эксперимента заключалась в следующем: 120 г подготовленных яблок измельчали и промывали вначале холодной водой, а затем раствором используемой для гидролиза кислоты. К промытым и отжатым выжимкам прибавляли такое количество раствора кислоты, чтобы получить 80 г реакционной массы. Гидролиз проводили в стеклянной емкости на кипящей водяной бане при перемешивании в течение 40–180 мин. Затем образовавшуюся суспензию разделяли фильтрованием. В гидролизованных выжимках определяли остаточное содержание пектина, а из жидкой фракции пектин осаждали тремя объемами 96%-ного этилового спирта. Осадок промывали спиртом, сушили и анализировали.

Степень этерификации пектина определяли по методике, изложенной в Combined Compendium of Food Additive Specifications [10].

Гелеобразующую способность пектина определяли по адаптированной методике, изложенной в [11]. Метод измерения градусности USA SAG высокоэтерифицированного пектина выражает его способность к связыванию сахаров. Рассматривается гель, содержащий 65% растворимых сухих веществ при pH 2,2–2,4 ед. pH, оседающий в течение 2 мин на 23,5%. Метод требует приготовления ряда гелей, содержащих различные концентрации пектина. Для геля, удовлетворяющего указанным условиям, вычисляется соотношение между пектином и сахаром. Если соотношение 1:150, пектин имеет 150°SAG. Для проведения измерений использовался лабораторный пектинометр.

Среднюю молекулярную массу пектина определяли вискозиметрически. Стандартной методики для определения этого показателя в пектине не существует. В используемом нами методе 0,1000 г высушенного пектина растворяют в 99,9 г раствора гексаметафосфата натрия (20 г на 2 дм³, pH 4,50), фильтруют полученный раствор и с помощью капиллярного вискозиметра при времени выхода воды от 100 до 150 с, температуре от 24,8 до 25,2°C измеряют вязкость растворов пектина и чистого гексаметафосфата натрия и рассчитывают относительную вязкость раствора пектина (η_r). Среднюю молекулярную массу находят по формуле $M = 1,277 \cdot 10^6 \cdot (\eta_r^{1/6} - 1)$ [12].

Содержание пектина определяли кальций-пектатным методом. Относительный выход целевого продукта находили путем вычитания остаточного содержания пектина в гидролизованных выжимках из содержания пектина в исходных промытых выжимках, принятого за 100%. Это делалось с целью избежать возможного влияния лимонной кислоты на дальнейший анализ (при гидролизе соляной кислотой содержание пектина в выжимках и растворе в сумме давали 100±3%). Для определения содержания пектина образец трижды подвергали гидролизу 0,05 н раствором соляной кислоты при температуре 99°C в течение 1,5 ч, фильтровали и промывали. Фильтрат и промывные воды собирали в мерную колбу, доводили дистиллированной водой до метки и анализировали. Гостированный колориметрический метод определения массовой доли пектина трудоемок и недостаточно точен. Из альтернативных вариантов наибольший интерес представляет кальций-пектатный метод. Из шести найденных вариантов кальций-пектатного метода ни один не обеспечивал необходимой точности, поэтому была разработана новая методика, за основу которой взят метод Мелитца (1926 г.) [12, 13]. Определение ведут следующим образом. Из мерной колбы в стакан берут 10 см³ анализируемого раствора, прибавляют 100 см³ 0,15 н раствора NaOH и выдерживают 16–26 ч, затем прибавляют 50 см³ 1 н раствора уксусной кислоты, через 5 мин при перемешивании – 50 см³ 2 н раствора CaCl₂ и перемешивают 1 ч.

Содержимое стакана кипятят в течение 4 мин и горячим фильтруют через беззольный фильтр, высушенный до постоянной массы. Осадок промывают кипящей дистиллированной водой, вместе с фильтром количественно переносят в бюкс и сушат при температуре $(102 \pm 5)^\circ\text{C}$ в сушильном шкафу до постоянной массы. Вес осадка не должен превышать 0,03 г, в противном случае надо повторить определение, беря меньший объем анализируемого раствора. По массе осадка находят содержание пектина в анализируемом растворе (в пересчете на пектат кальция). Для получения истинного содержания галактуроновой кислоты надо массу пектата кальция умножить на 0,9235.

Все представленные методы анализа были проверены и отработаны на двух образцах пектина фирмы Herbstreith & Fox – AS401 и CS401.

Результаты и их обсуждение

Классическая технология пектина включает в себя измельчение и промывку сырья, кислотный гидролиз/экстракцию содержащегося в высших растениях протопектина, разделение суспензии, упаривание пектинсодержащего раствора, осаждение пектина из раствора спиртом, сушку, измельчение и стандартизацию пектина до 150°SAG .

В промышленных масштабах пектин получают из отходов сокового производства (из промытых высушенных выжимок). В соковом производстве наличие пектина является отрицательным фактором, поэтому режимы отделения сока и промывки выжимок подбирают так, чтобы пектин минимально переходил в раствор. Основным структурным элементом нерастворимых сухих веществ яблок является протопектин, из которого путем гидролиза и получают пектин [7, 13]. Экспериментально установлено, что в яблоках 95% от общего количества пектина связано в форме протопектина, а 5% находится в растворенном виде в соке. Выделять пектин из сока нецелесообразно, поэтому он теряется. По количеству нерастворимых в воде сухих веществ можно косвенно судить о содержании пектина в яблоках. Характеристики трех изученных образцов яблок представлены в таблице.

Таблица – Состав сырья и потери пектина при промывке

Наименование яблок	Наименование показателей				
	Массовая доля сухих веществ, %	Массовая доля нерастворимых в воде сухих веществ, %	Массовая доля пектина (в пересчете на пектат кальция), %	Относительные потери пектина на этапе подготовки сырья, %	
				с соком (в растворенном виде)	с мелкими нерастворимыми частицами при фильтровании через ткань
«Симиренко» (2015)	$15,0 \pm 0,2$	$3,2 \pm 0,2$	$1,2 \pm 0,1$	5 ± 1	3 ± 1
«Гренни Смит ¹ » (2016)	$13,8 \pm 0,2$	$2,4 \pm 0,2$	$0,8 \pm 0,1$	8 ± 2	
«Гренни Смит ² » (2016)	$16,7 \pm 0,2$	$2,7 \pm 0,2$	–	–	–

Этап промывки яблочных выжимок подробно изучен в технологии производства соков и не нуждается в дальнейшем совершенствовании. В высушенных выжимках в связи с неизбежными потерями при промывке будет содержаться меньше пектина, чем в исходном сырье. Для технологии пектина достаточно промывать выжимки до достижения плотности промывных вод $1,003 \text{ кг/дм}^3$.

При разработке технологии пектина из яблок основное внимание было уделено совершенствованию процесса гидролиза/экстракции протопектина. Кавитация, щелочной и ферментативный гидролиз нецелесообразны, поскольку наряду с гидролизом протопектина они вызывают быструю деградацию целевого продукта – пектина. Экспериментально установлено, что при кислотном гидролизе средняя молекулярная масса пектина изменяется в большей степени, чем его гелеобразующая способность, степень этерификации и массовая доля галактуроновой кислоты [12]. Исходя из этого, в качестве критерия оптимизации для процесса гидролиза протопектина было выбрано достижение максимального выхода пектина при сохранении его молекулярной массы. С технологической точки зрения следует стремиться к продолжительности этапа гидролиза от 1 до 3 ч и средней молекулярной массе пектина приблизительно 130 кДа (хотя для гелеобразующей способности 150°SAG достаточно массы 70 кДа).

При гидролизе результат может быть достигнут за счет увеличения температуры процесса, концентрации и степени диссоциации используемой кислоты. Было установлено, что из этих трех

факторов именно увеличение температуры позволяет получить максимальный выход пектина со средней молекулярной массой 130 кДа. С учетом положительных и отрицательных технологических аспектов, а также удобства осуществления процесса гидролиза было решено остановиться на температуре $99 \pm 1^\circ\text{C}$.

Соотношение между твердой и жидкой фазами на процесс гидролиза протопектина влияет в меньшей степени. Разбавление реакционной массы ускоряет гидролиз, но значительно затрудняет концентрирование пектинсодержащего раствора перед осаждением спиртом. Исходя из этого, подбиралось минимальное количество жидкой фазы, позволяющее перемешивать реакционную массу. Из 120 г яблок получали 80 г реакционной массы (соотношение 120:80), что соответствует соотношению массы нерастворимых сухих веществ исходного сырья к массе раствора кислоты от 1:20 до 1:28. Точное соотношение преднамеренно дается не для массы нерастворимых сухих веществ, а для массы свежих яблок, поскольку было установлено, что чем меньше в яблоках нерастворимых сухих веществ, тем ниже в этих нерастворимых веществах массовая доля пектина и, следовательно, увеличение количества раствора кислоты позволяет частично компенсировать возникающее снижение выхода пектина.

На рисунках 1–6 представлены зависимости средней молекулярной массы и выхода пектина от продолжительности процесса гидролиза яблочных выжимок «Гренни Смит» при температуре $99 \pm 1^\circ\text{C}$ и соотношении 120:80 – 0,0125 н раствором неорганической одноосновной соляной кислоты (рисунки 1–2); 0,03 н (0,01 м) раствором органической трехосновной лимонной кислоты (рисунки 3–4) и дистиллированной водой (рисунки 5–6).

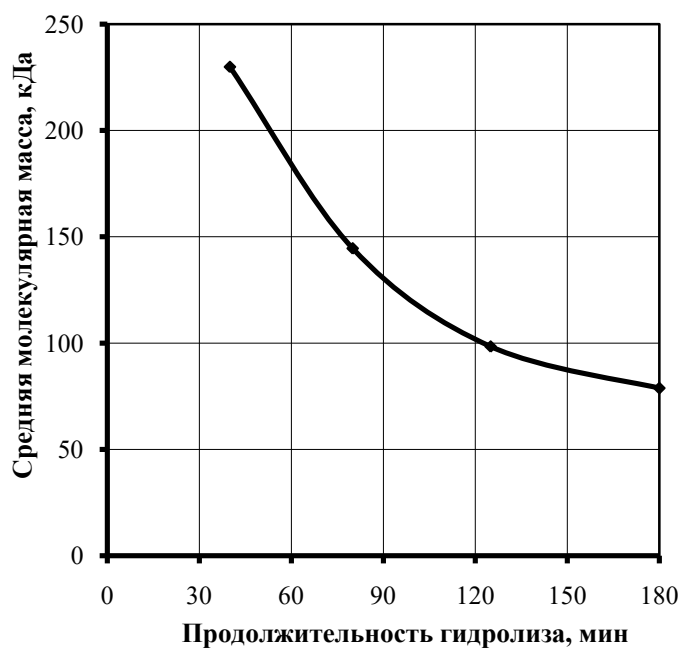


Рисунок 1 – Зависимость средней молекулярной массы пектина от продолжительности гидролиза 0,0125 н раствором соляной кислоты

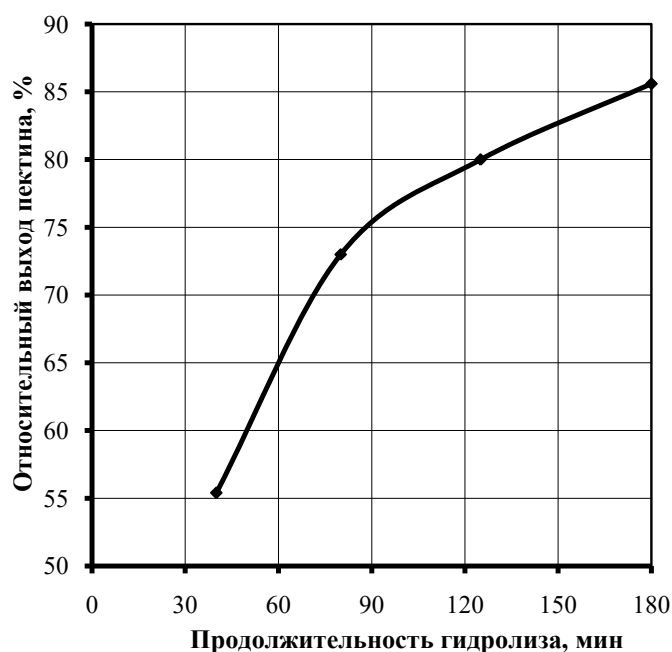


Рисунок 2 – Зависимость выхода пектина от продолжительности гидролиза 0,0125 н раствором соляной кислоты

Из представленных на рисунках 1 и 2 графиков следует, что при гидролизе 0,0125 н раствором соляной кислоты средней молекулярной массе 130 кДа будет соответствовать продолжительность гидролиза 90 мин и относительный выход пектина 75%.

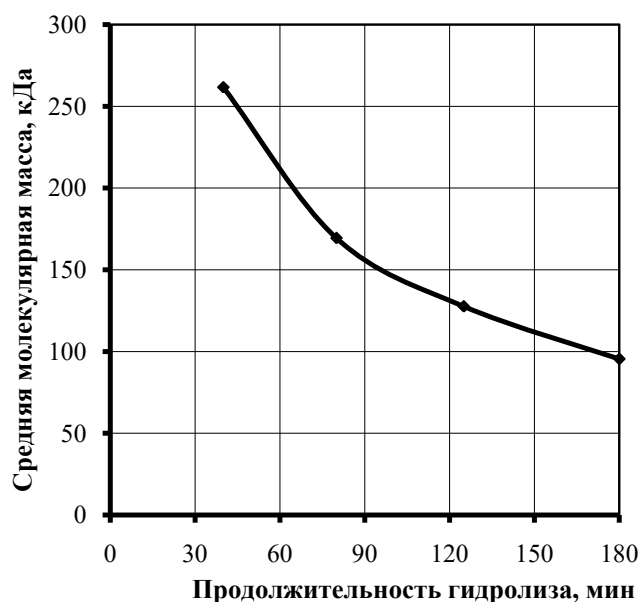


Рисунок 3 – зависимость средней молекулярной массы пектина от продолжительности гидролиза 0,03 н раствором лимонной кислоты

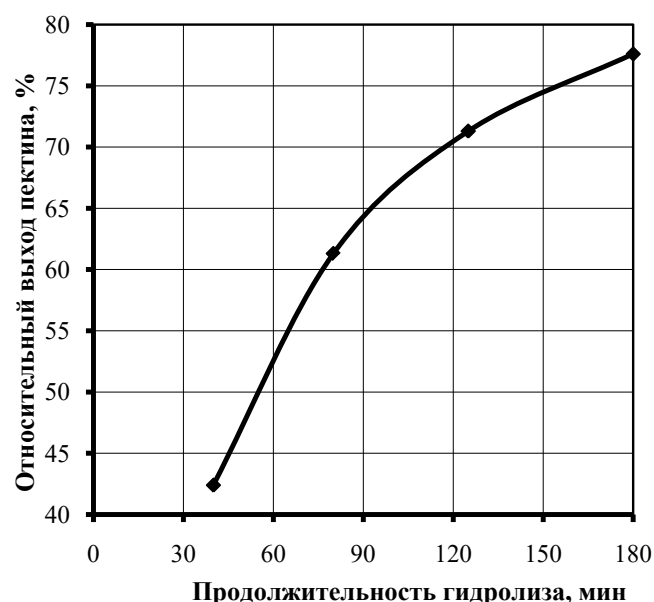


Рисунок 4 – зависимость выхода пектина от продолжительности гидролиза 0,03 н раствором лимонной кислоты

Из представленных на рисунках 3 и 4 графиков следует, что при гидролизе 0,03 н раствором лимонной кислоты средней молекулярной массе 130 кДа будет соответствовать продолжительность гидролиза 121 мин и относительный выход пектина 71%.

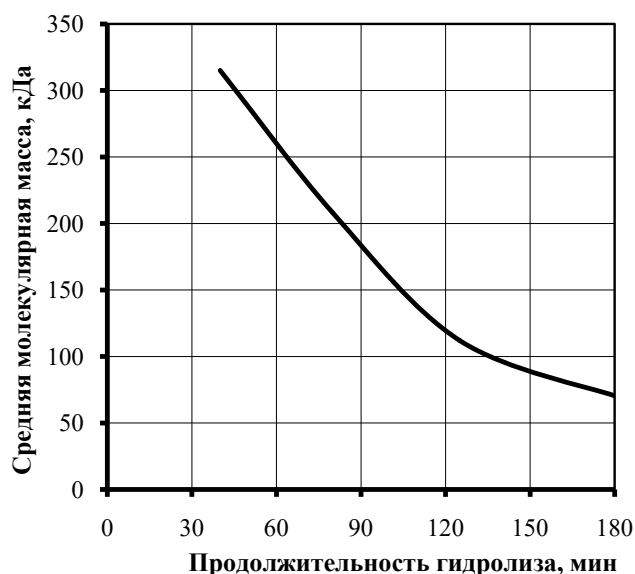


Рисунок 5 – Зависимость средней молекулярной массы пектина от продолжительности гидролиза дистиллированной водой

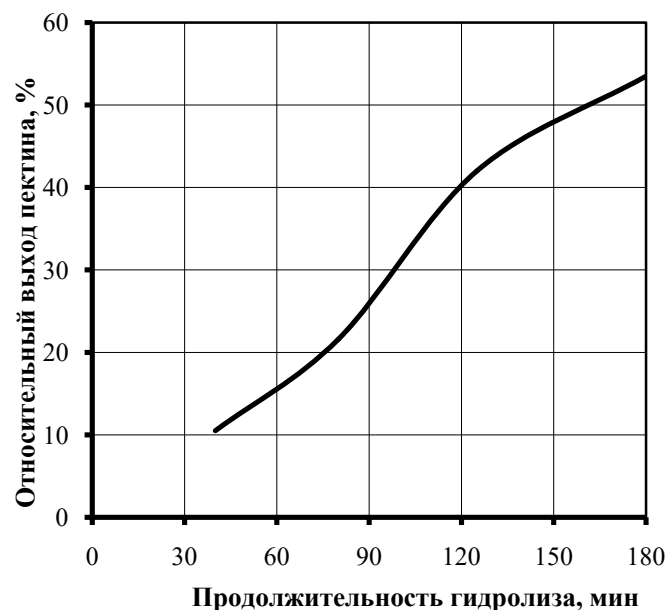


Рисунок 6 – Зависимость выхода пектина от продолжительности гидролиза дистиллированной водой

Из представленных на рисунках 5 и 6 графиков следует, что при гидролизе дистиллированной водой средней молекулярной массе 130 кДа будет соответствовать продолжительность гидролиза 114 мин и относительный выход пектина 38%.

Можно сделать вывод, что гидролиз яблочных выжимок при указанных выше условиях целесообразно проводить 0,0125 н раствором соляной кислоты. Дополнительно с целью увеличения выхода был проведен эксперимент по повторному гидролизу отработанного жмыха 0,0125 н раствором соляной кислоты. При продолжительности процесса 90 мин был получен пектин с относительным выходом всего 11% ($75 + 11 = 86\%$) и средней молекулярной массой 74,3 кДа. Основной вклад

в себестоимость готового пектина вносит не сырье, а дорогостоящий технологический процесс, следовательно, двухступенчатый гидролиз нецелесообразен.

После гидролиза суспензию разделяют и промывают жмых небольшим количеством воды. Пектинсодержащий раствор перед упариванием можно дополнительно очищать от крахмала, белковых, красящих и ароматических веществ, способных повлиять на органолептическое восприятие пищевого продукта, изготовленного с использованием этого пектина. Упаривание целесообразно проводить максимально быстро до массовой доли пектина в растворе от 4 до 6% (в пересчете на пектат кальция) при температуре $35 \pm 5^\circ\text{C}$. При меньшей концентрации потребуется больше спирта на осаждение пектина из раствора, а при большей концентрации раствор будет слишком вязким. Из литературы известно, что при осаждении на единицу объема пектинсодержащего раствора должно приходиться 3 объема спирта. Это соотношение получило практическое подтверждение (осаждается более 99,5% пектина), однако в большинстве случаев, будет достаточно соотношения 1:2,5. Образовавшийся осадок промывают небольшим количеством спирта, отжимают и сушат.

С целью определения оптимальных режимов сушки была проведена серия экспериментов. Из осажденного непосредственно перед сушкой пектина были отобраны 4 образца, которые сушили под вакуумом (при температуре 50°C) при атмосферном давлении (40; 62 и 88°C) в течение 2 ч, при этом средняя молекулярная масса высушенных образцов составила соответственно: 99,0; 98,0; 99,1 и 98,5 кДа, следовательно, сушка не оказывает существенного влияния на этот показатель. При температуре 40 и 50°C пектин прилипал к стенам. При температуре выше 88°C возникнут сложности из-за пожароопасного спирта. Из этого следует, что сушка под вакуумом нецелесообразна, а при атмосферном давлении оптимальная температура сушки составляет от 65 до 75°C .

Кратко предлагаемую технологию можно представить следующим образом. Гидролиз яблочных выжимок осуществляют 0,0125 н раствором соляной кислоты при соотношении массы нерастворимых сухих веществ сырья к массе раствора кислоты от 1:20 до 1:28, температуре $99 \pm 1^\circ\text{C}$ в течение 80–100 мин. Затем разделяют суспензию и упаривают полученный раствор до достижения массовой доли пектина 4–6%, осаждают пектин из раствора тремя объемами 96%-ого этилового спирта и сушат при температуре $70 \pm 5^\circ\text{C}$. Получают пектин с относительным выходом 70–75%, гелеобразующей способностью 200–260°SAG, средней молекулярной массой 119–144 кДа и степенью этерификации более 60%, что соответствует требованиям, предъявляемым к пищевой добавке Е440.

В свободном доступе отсутствует информация об актуальных промышленных технологиях пектина. В большинстве источников не приводится выход получаемого пектина или показатели его качества (либо показатели качества не соответствуют пищевой добавке Е440). В обнаруженных источниках, из числа тех, где описывается получение пектина с гелеобразующей способностью более 150°SAG, относительный выход готового продукта составляет от 20 до 34%, что значительно ниже, чем 70–75% по предлагаемой технологии [14, 15].

Заключение

В настоящей работе показано, что пектин целесообразно получать из традиционного сырья (яблок) по классической технологии, основанной на кислотном гидролизе протопектина и последующем осаждении пектина из раствора спиртом с оптимальными технологическими режимами, установленными нами. Выбранные режимы получения обеспечили увеличение выхода целевого продукта с 20–34% до 70–75% при сохранении его высокого качества (гелеобразующая способность более 200°SAG). В работе основное внимание было уделено оптимизации процесса кислотного гидролиза, что позволило не только увеличить выход, но и в результате проведения процесса с меньшим количеством жидкой фазы сократить расход кислоты на гидролиз и затраты энергии на упаривание, что в итоге снизило себестоимость технологического процесса. На основании проведенных исследований во ВНИИ пищевых добавок усовершенствована импортозамещающая технология пектина из традиционного сырья – яблок, обеспечивающая получение готового продукта соответствующего требованиям, предъявляемым к пищевой добавке Е440.

Подана заявка на изобретение (№ 2016147446 «Способ получения пищевой добавки – пектина из яблок», приоритет 02.12.2016).

Литература

1. Нестеренко А.А., Решетняк А.И., Потокин Ю.В., Потрясов Н.В. Использование пектина в производстве мясопродуктов // Вестник НГИЭИ. Серия технические науки. 2012. № 8(15). С. 30–36.
2. Кукин М.Ю., Николаев А.Г. Применение пектина для создания продуктов здорового питания // Молочная промышленность. 2016. № 3. С. 67–68.
3. Сарафанова Л.А. Пищевые добавки: энциклопедия. СПб.: Профессия, 2012. 776 с.
4. Филлипс Г.О., Вильямс П.А. (ред.) Справочник по гидроколлоидам / пер. с англ. под ред. Кочетковой А.А. и Сарафановой Л.А. СПб.: ГИОРД, 2006. 536 с.
5. Могильный М.П. Сборник рецептов на продукцию кондитерского производства. М.: ДеЛи плюс, 2011. 555 с.
6. Оводов Ю.С. Современные представления о пектиновых веществах // Биоорганическая химия. 2009. Т. 35. № 3. С. 293–310.
7. Донченко Л.В., Фирсов Г.Г. Пектин: основные свойства, производство и применение. М.: ДеЛи принт, 2007. 276 с.
8. Михеева Л.А., Тры А.В. Выделение пектина из растительного сырья и изучение его некоторых химических свойств // Вестник ВГУ. Серия: Химия, биология, фармация. 2013. № 2. С. 53–56.
9. Погребная В.Л., Алтуньян М.К., Улитин О.А. Способ получения яблочного пектина из яблочных выжимок: пат. 1399303 СССР. 1988.
10. Analytical methods, test procedures and laboratory solutions used by and referenced in food additive specifications. *Combined Compendium of Food Additive Specifications* FAO JECFA. Monographs 1, Volume 4. Rome, 2006 (FHP).
11. Philip G. Crandall, Louise Wicker. Pectin Internal Gel Strength: Theory, Measurement, and Methodology. Final Report of the IFT Committee, Pectin Standardization. *Food Technology*. 1959, V. 13, pp. 496–506.
12. Кукин М.Ю. Изучение влияния технологических режимов на выход и среднюю молекулярную массу высокоэтерифицированного пектина из нетрадиционного сырья – клюквы // Материалы X Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов отделения сельскохозяйственных наук РАН (Москва, 27 октября 2016 г.). М.: ВНИИМП им. В.М. Горбатова. С. 192–195.
13. Церевитинов Ф.В. Химия и товароведение свежих плодов и овощей. М.: Госторгиздат, 1949. Т. 1. 619 с.
14. Кристенсен Ян О.С. Улучшенный способ обработки растительного материала, содержащего пектин: пат. 2336280 Российская Федерация. 2008.
15. Янг Сяомин, Янг Цзяньмин, Янг Вэй Технология экстракции пектина из *premna microphylla turca*: пат. 105622777 Китай. 2016.

References

1. Nesterenko A.A., Reshetnyak A.I., Potokin Yu.V., Potryasov N.V. Ispol'zovanie pektina v proizvodstve myasoproduktov [Use of pectin in the production of meat products]. *Bulletin NGIEI. A series of technical science*. 2012, no. 8(15), pp. 30–36.
2. Kukin M.Yu., Nikolaev A.G. Primenenie pektina dlya sozdaniya produktov zdorovogo pitaniya [Production of pectin and its application for creating the healthy foods]. *Dairy industry*. 2016, no. 3, pp. 67–68.
3. Sarafanova L.A. *Pishchevye dobavki: ehnciklopediya* [Food additives: encyclopedia]. St. Petersburg, Professiya Publ., 2012, 776 p.
4. *Handbook of hydrocolloids*. In ed. Fillips G.O., Williams P.A. CRC Press; Cambridge:Woodhead Publishing Limited, 1997 (Russ. ed.: Handbook of hydrocolloids. In ed. Fillips G.O., Williams P.A. St. Petersburg, GIORД Publ., 2006, 536 p.)
5. Mogilny M.P. *Sbornik receptur na produkciju konditerskogo proizvodstva* [Collection of recipes for the products of confectionery production]. Moscow, DeLi plus Publ., 2011, 555 p.
6. Ovodov Yu.S. Sovremennye predstavleniya o pektinovyh veshchestvah [Modern understanding of pectin substances]. *Bioorganic Chemistry*. 2009, V. 35, no. 3, pp. 293–310.
7. Donchenko L.V., Firsov G.G. *Pektin: osnovnye svoystva, proizvodstvo i primenenie* [Pectin: basic properties, production and use]. Moscow, DeLi plus Publ., 2007, 276 p.
8. Miheeva L.A., Try A.V. Vydelenie pektina iz rastitel'nogo syr'ya i izuchenie ego nekotorykh himicheskikh svoystv [Isolation of pectin from plant material and study some of its chemical properties]. *Bulletin of the VSU. Series: Chemistry, biology, pharmacy*. 2013, no. 2, pp. 53–56.
9. Pogrebная V.L., Altunyan M.K., Ulitin O.A. *Sposob polucheniya yablochnogo pektina iz yablochnyh vyzhimok* [Method of producing malic pectin from apple husks]. Patent USSR, no. 1399303. 1988.
10. Analytical methods, test procedures and laboratory solutions used by and referenced in food additive specifications. *Combined Compendium of Food Additive Specifications* FAO JECFA. Monographs 1, Volume 4. Rome, 2006 (FHP).

11. Philip G. Crandall, Louise Wicker. Pectin Internal Gel Strength: Theory, Measurement, and Methodology. Final Report of the IFT Committee, Pectin Standartization. *Food Technology*. 1959, V. 13, pp. 496–506.
12. Kukin M.Yu. Izuchenie vliyaniya tekhnologicheskikh rezhimov na vyhod i srednyuyu molekulyarnuyu massu vysokoehterificirovannogo pektina iz netradicionnogo syr'ya – klyukvy [Researching of the technological modes influence on the yield and the average molecular weight of high esterificated pectin from nonconventional raw materials – cranberry]. *Proceeding of the X International scientific and practical conference of young scientists and specialists of Branch of Agricultural Sciences RAS* (Moscow, October 27, 2016). Moscow, The Gorbatov's All-Russian Meat Research Institute, pp. 192–195.
13. Cerevitinov F.V. *Himiya i tovarovedenie svezhih plodov i ovoshchej* [Chemistry and merchandising of fresh fruits and vegetables]. Moscow, Gostorgizdat Publ., 1949, V. 1, 619 p.
14. Kristensen Jan O.S. *Uluchshennyi sposob obrabotki rastitel'nogo materiala, sodержashchego pektin* [Improved method of processing vegetable material, containing pectin]. Patent RF, no. 2336280. 2008.
15. Yang Xiaoming, Yang Jianming, Yang Wei *Technology for extracting pectin from premna microphylla turca*. Patent China, no. 105622777. 2016.

Статья поступила в редакцию 17.04.2017