

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСЛОВИЙ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ ОБРАБОТКИ ЯГОД ЧЕРНИКИ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ СОКА

Н.Ю. Каримова, Е.В. Алексеенко, Ю.З. Горьковая

ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет», Москва, Россия

Введение

Ферментные препараты (ФП), как биокатализаторы, находят сегодня широкое применение в различных отраслях пищевой промышленности. Использование ФП позволяет решить ряд важнейших стратегических задач отраслей РФ: создание наукоёмких, эффективных и ресурсосберегающих технологий, сокращение количества побочных и вторичных продуктов, не подлежащих переработке, получение широкого спектра пищевых продуктов и ингредиентов с высокими качественными и потребительскими характеристиками.

Особое значение имеют ФП в технологиях переработки ягодного сырья, в том числе, при получении сока. Высокая специфичность действия применяемых ФП обеспечивает разрушение основных структурных полисахаридов клеточной стенки (пектина, гемицеллюлозы и целлюлозы), способствуя увеличению выхода сока, повышению экстрактивной способности растительной ткани и обогащению сока дополнительными количествами ценных природных компонентов [1, 2]. В этом контексте целесообразным считается использование ФП пектолитического, целлюлолитического и гемицеллюлазного действия с соответствующим набором ферментативных активностей [4–8].

Современные тенденции в развитии плодо – и ягодоводства в России демонстрируют актуальность технологий переработки отечественного ягодного сырья, среди которого особенно следует выделить чернику. Ягоды черники – дикорастущий сырьевой потенциал РФ, который, в силу большого разнообразия полезных для здоровья человека пищевых, эссенциальных и минорных компонентов (органических кислот, пищевых волокон, биоактивных полифенольных соединений, в том числе антоцианов, катехинов, фенолокислот, а также витамина С и минеральных веществ) имеют доказанное благоприятное воздействие на организм человека.

Для создания эффективной технологии переработки ягод при получении сока следует учитывать целый ряд факторов: специфику химического состава сырья и действия ферментов, способ предобработки сырья, дозы применяемых ферментных препаратов, температура, pH, длительность обработки. Оптимизации условий ферментативной обработки ягод черники будет являться залогом успешной реализации технологии переработки ягод черники при получении сока.

Цель работы – определение оптимальных условий ферментативной обработки ягод черники при получении сока с применением методов математического моделирования.

Материалы и методы

Объектами исследования являлись ягоды дикорастущей черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*), собранные в Карелии в 2021 году, подвергнутые «шоковой» заморозке. В работе использовали ферментные препараты различной субстратной специфичности (пектолитические, целлюлолитические и гемицеллюлазного действия): Pectinex Yieldmash Plus (Novozymes A/S, Дания) (продуцент *Aspergillus Oryzae*) с доминирующей пектиэстеразной активностью, комплексный ферментный препарат Пектофоедин П10х (ООО «Агрофермент», Россия) (продуцент *Aspergillus foetidus*), Пектин-лиаза (ИБФМ РАН, Россия) (продуцент *Penicillium canescens*), Мацеробацеллин (ИБФМ РАН, Россия) (продуцент *Bacillus circulans*), Celluclast BG (Novozymes A/S, Дания) (продуцент *Trichoderma reesei*), комплексные ФП ЦеллоЛюкс® -F (ООО ПО «Сиббиофарм», Россия), Фидбест® - W 2 группа (ООО ПО «Сиббиофарм», Россия), Фидбест® VGPPro (ООО ПО «Сиббиофарм», Россия), Целловирин (ИБФМ РАН, Россия), Целлозим премиум (ООО «БИОТЕХНОАЛЬЯНС») (продуцент *Penicillium canescens*). Всего в работе было задействовано 10 ФП, из них 8 – отечественного производства.

При проведении исследований ягоды черники размораживали в холодильнике при температуре +4 °С в течение 6 часов. Размороженные ягоды измельчали и полученную массу помещали в термостат при температуре 45 °С, периодически перемешивая и контролируя температуру мезги термометром. При достижении температуры мезги 45 °С вводили ферментный препарат в дозировках 0,005; 0,01; 0,02; 0,03 и 0,04 % к массе ягодной мезги. Вели гидролиз при температуре 45 °С, через определенные

промежутки времени (30, 60, 90, 120, 150 минут) фермент инактивировали нагреванием и отжимали сок прессованием. Определяли выход сока. В качестве контрольного варианта использовали пробу сока, которая была получена при тех же условиях, но без применения ферментного препарата.

Экспериментально полученные данные были собраны в массив и обработаны при помощи пакета прикладных программ Statistica 10. Использовали метод множественной регрессии. Было установлено наличие взаимосвязей и их характер – это продолжительность обработки и дозировка ферментного препарата, которые являются независимыми величинами. Критерием эффективности или зависимой величиной являлся выход сока (%). В программе для обработки данных использовали функцию «построение трехмерного графика». По каждому опытному варианту обработки (с различными ферментными препаратами) построены графики и получены уравнения множественной регрессии. Была проведена оценка значимости коэффициентов полученных уравнений и адекватности моделей: рассчитан коэффициент детерминации, являющийся статистической мерой согласия, позволяющей определить, насколько модель соответствует данным ее построения. Для проверки адекватности множественной регрессионной модели использовали критерий Фишера.

Результаты и их обсуждение

На основании проведенных исследований выявлены оптимальные условия ферментативной обработки ягод черники при получении сока. Показано, что применение выбранных ФП способствует увеличению выхода сока на 6,7–16,7 %, при этом длительность обработки варьирует от 60 до 150 минут (таблица 1).

Таблица 1 – Оптимальные условия проведения ферментативной обработки

Наименование ФП	Время, мин	Дозировка ФП		Увеличение выхода сока на, %
		к массе мезги, %	Ед. А/г S	
Pectinex Yieldmash Plus	60	0,04	0,33 ед. РЕУ/г пектина	15
Celluclast BG	150	0,005	4,7 ед. ЦлС/г целлюлозы	10
	120	0,01	9,4 ед. ЦлА/г целлюлозы	
Фидбест® -W	90	0,03	61,7 ед. β-ГлА/г целлюлозы	16
ЦеллоЛюкс® -F	90	0,03	17,6 ед. ЦлС/г целлюлозы	16
Мацеробацеллин	120	0,04	26660 ед. ПектатлА/г пектина	13
Целлозим премиум	150	0,03	26,5 ед. ЦлС/г целлюлозы	10
Целловиридин	150	0,03	49 ед. ЦлС/г целлюлозы	13
	120	0,04	66 ед. ЦлС/г целлюлозы	
Фидбест® VGPro премиум	120	0,04	41 ед. β-ГлА/г целлюлозы	6,7
Пектин-лиаза	150	0,03	333 ед. Пектин-лС/г пектина	16,7
	120	0,04	444 ед. Пектин-лС/г пектина	
Пектофоетидин П10х	90	0,04	ПгС/г пектина	13

Примечательно, что использование ФП различной субстратной специфичности при определенных условиях позволяет достичь практически одинаковых результатов. Так, обработка мезги ягод черники индивидуальными ФП гемицеллюлазного и целлюлолитического действия Фидбест® -W в дозировке 0,03 %, что соответствует 61,7 ед. β-ГлА и 17,6 ед. ЦлС /г целлюлозы и ЦеллоЛюкс® -F – 17,6 ед. ЦлС/г целлюлозы соответственно, при длительности 90 минут имеет такой же эффект как применение пектолитического препарата Пектин-лиазы в той же концентрации (0,03 % или 333 ед. Пектин-лС/г пектина) и длительности обработки 150 минут: выход сока увеличивается на 16 и 16,7 % соответственно (рисунок 1, рисунок 2).

Результаты, полученные с применением другого пектолитического ФП Pectinex Yieldmash Plus с доминирующей пектиэстеразной активностью, лишь немногим уступают лучшим вариантам: увеличение выхода сока фиксировали на уровне 14,7 %, при дозировке 0,04 % (0,33 ед. РЕУ/г пектина) и уменьшенной в 2,5 раза продолжительности гидролиза (60 минут). Подобную аналогию можно проследить на примерах индивидуального применения препаратов Целловиридин и Мацеробацеллин в концентрациях 0,04 % (66 ед. ЦлС/г целлюлозы и 26660 ед. Пектат-лА/г пектина соответственно) и длительности 120 минут и пектолитического препарата Пектофоетидин П10х в той же самой дозировке (0,04 % или 133 ПгС/г пектина), но уменьшенной (на 25 %) длительности обработки.

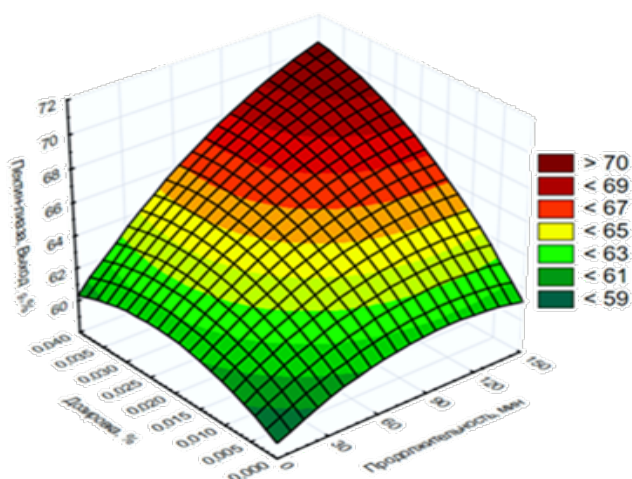


Рисунок 1 – Влияние ферментного препарата Пектин-лиаза на выход сока при различной дозировке и продолжительности

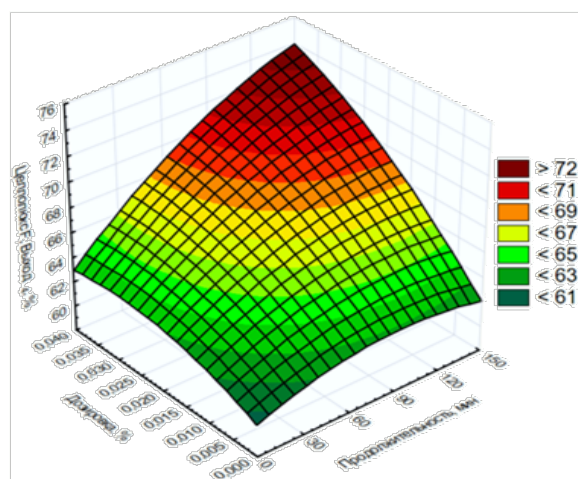


Рисунок 2 – Влияние ферментного препарата ЦеллоЛюкс® -F на выход сока при различной дозировке и продолжительности

Заключение

Анализ полученных результатов показывает, что использование ферментных препаратов для обработки ягод черники при получении сока позволяет увеличить его выход. С применением методов математического моделирования определены условия ферментативной обработки ягод черники при получении сока с использованием ФП различной субстратной специфичности. Однако, как показывают результаты, при оценке эффективности применения ФП следует учитывать особенности строения клеточной стенки ягод черники, качественный и количественный состав основных структурных полисахаридов, что и будет предопределять целесообразность использования ФП с основным и сопутствующим набором ферментов, осуществляющих гидролитическое расщепление биополимеров, сдерживающих выход сока. С этой точки зрения эффективным представляется создание мультэнзимных синергетических композиций ФП, что и будет реализовано в предстоящей работе.

Литература

1. М.А. Кожухова, А.Н. Теркун, С.Е. Рожков Биотехнологические методы в производстве плодовоовощных соков и нектаров // Известия ВУЗов. Пищевая технология. – 2003. – № 4. – С. 5–9.
2. Sonia Sharma, Alka Sagar, Saurabh Singh Yadav, Shalini Rai Production of value added products from fruit juice residues using enzyme technology // Value-Addition in Agri-food Industry Waste Through Enzyme Technology. – 2023 – P. 221–236 <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89928-4.00027-4>
3. Методические указания к лабораторным работам № 1–4 по дисциплине «Современные технологии обработки информации» для бакалавров направления 152200 «Наноинженерия» (профиль «Инженерные нанотехнологии в приборостроении») очной формы обучения / ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»; сост. К.А. Разинкин. – Воронеж, 2014. 70 с.
4. Колотий, Т.Б., Хатко З.Н. Аналитические характеристики пектина из некоторых видов дикорастущих плодов и ягод предгорной зоны Адыгеи // Новые технологии. – 2012. – № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiticheskie-harakteristiki-pektina-iz-nekotoryh-vidov-dikorastuschih-plodov-i-yagod-predgornoj-zony-adygei> (дата обращения: 16.07.2022).
5. Типсина, Н.Н., Мучкина Е.Я., Струпан Е.А., Коршунова Т.В. Исследование пищевой ценности порошка черники обыкновенной // Вестник КрасГАУ. – 2010. – № 5. – С. 158–162.
6. Попов, И.А., Максимов И.В. Манжесов В.И. Влияние ферментных препаратов на выход сока // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. – 2017. – № 2 (9). – С. 102–144.
7. Pantelidis G., Vasilakakis M., Manganaris G., Diamantidis Gr. Antioxidant Capacity, Phenol, Anthocyanin and Ascorbic Acid Contents in Raspberries, Blackberries, Gooseberries and Cornelian Cherries // Food Chemistry. – 2007. – V. 102. – I. 3. – P. 777–783. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.06.021>
8. Аполинарьева, И.К., Батулин С.О. Использование ферментативной мацерации ягод для получения семян с высоким качеством у крупноплодной земляники (FRAGARIA x ANANASSA DUCH.) // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 12. – С. 27–29.