

Научная статья

УДК 664.8.022.6: 664.8.047

DOI: 10.17586/2310-1164-2025-18-1-34-43

Влияние ферментативной обработки мезги и способа сушки выжимок на время сушки, гранулометрический состав и растворимость яблочных и морковных выжимок

Ф.А. Оганнесян^{1*}, К.А. Зыкин², А.С. Басковцева¹, Н.В. Баракова^{1,3}, А.Е. Афанасенко³,
Е.А. Самоделкин⁴, Д.О. Туралин²

¹Университет ИТМО, Россия, Санкт-Петербург

²ВНИИ холодильной промышленности – филиал «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН», Россия, Москва

³Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет),

Россия, Санкт-Петербург

⁴НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей», Россия, Санкт-Петербург

*philhovhannisyan@gmail.com

Аннотация. Исследовали влияние ферментативной обработки яблочной и морковной мезги, а также способ сушки выжимок, полученных из мезги, на время сушки выжимок, гранулометрический состав порошков, полученных из выжимок, и их растворимость. Ферментативную обработку яблочной мезги проводили ферментным препаратом Vegazym M (доза внесения 0,09% от массы мезги), морковной мезги – Fructozym MA (доза внесения 0,07% от массы мезги) при температуре 50°C в течение 1 ч. Сушку выжимок осуществляли конвективным способом при температуре 50°C и методом низкотемпературной вакуумной сушки при температуре 35°C. Установлено, что ферментативная обработка мезги увеличивает выход яблочного сока на 26%, а морковного на 17%, при этом количество получаемых выжимок снижается; сокращает время сушки выжимок: морковных – на 80 мин при конвективной сушке и на 45 мин при низкотемпературной вакуумной сушке, и яблочных – на 60 и 20 мин соответственно. Показано, что ферментативная обработка яблочной и морковной мезги повышает степень деструкции сырья. Обработка яблочной мезги ферментным препаратом Vegazym M увеличила количество частиц с проходом через сито 0,25 мм на 2%, а обработка морковной мезги Fructozym MA – на 3,3% относительно порошков, полученных из выжимок без обработки мезги ферментными препаратами. Установлено, что сушка выжимок вакуумным способом повышает число частиц, проходящих через сито Ø 0,25 мм для яблочных выжимок на 14% и для морковных на 7,2% в сравнении с сушкой выжимок конвективным способом. Кроме того, при низкотемпературной вакуумной сушке выжимок растворимость порошков, полученных из них, утраивается. Данные результаты целесообразно учитывать при разработке технологии выработки плодоовощных порошков, рекомендованных для обогащения ферментированных напитков как на зерновой, так и на соковой основе, а также кисломолочных продуктов для повышения жизнедеятельности микроорганизмов, присутствующих в продуктах питания, и для технологий микробиологического синтеза.

Ключевые слова: пищевые биотехнологии; ферментативная обработка; конвективная сушка; низкотемпературная вакуумная сушка; яблочные выжимки; морковные выжимки; гранулометрический состав; растворимость порошков

Original article

Effects of enzymatic treatment of pomace and processing method on drying time, particle size distribution, and solubility of apple and carrot pomace

Filipp A. Hovhannisyan^{1*}, Kirill A. Zykin², Angelina S. Baskovtceva¹, Nadezhda V. Barakova^{1,3},
Artem E. Afanassenko³, Evgeniy A. Samodelkin⁴, Denis O. Turalin²

¹ITMO University, St. Petersburg, Russia, *philhovhannisyan@gmail.com

²All-Russian Research Institute of the Refrigeration Industry – branch of the "FSC Food Systems n.a. V.M. Gorbатов, RAS", Moscow, Russia

³Saint-Petersburg State Institute of Technology, St. Petersburg, Russia

⁴Research Center "Kurchatov Institute" – Central Research Institute of KM "Prometey", St. Petersburg, Russia

Abstract. We investigated the effect of enzymatic treatment of apple and carrot pulp, as well as the method of drying the pomace obtained from the pulp, on the drying time of the pomace, the granulometric composition of the powders obtained from the pomace, and their solubility. Enzymatic treatment of apple pulp was carried out with the enzyme preparation Vegazym M (0.09% of the pulp weight) and carrot pulp – with Fructozym MA (0.07% of the pulp weight). Enzymatic treatment was carried out at a temperature of 50°C for 1 hour. Drying of pomace was carried out by the convective method in an ES-4620 drying cabinet at a temperature of 50°C and by the low temperature vacuum method in a laboratory vacuum unit by the Hetosicc company (Denmark) at a temperature of 35°C. As a result of the experiments, it was found that enzymatic treatment of the pulp increases the yield of apple juice by 26%, carrot juice – by 17%, while

the amount of pomace obtained decreases. It was found that enzymatic treatment of the pulp reduces the drying time of the pomace: by 80 min with convective drying of carrot pomace, by 45 min with low temperature vacuum drying; with the convective method of drying apple pomace, the drying time of the pomace is reduced by 60 min, with the vacuum method – by 20 min. It was also found that enzymatic treatment of apple and carrot pomace increases the degree of destruction of the raw materials. Treatment of apple pomace with the enzyme preparation Vegazym M increased the number of particles passing through a 0.25 mm sieve by 2%, and treatment of carrot pomace with Fructozym MA – by 3.3% relative to the powders obtained from pomace without treating the pomace with enzyme preparations. Low temperature vacuum drying of pomace increases the number of particles passing through a \varnothing 0.25 mm sieve for apple pomace by 14% and for carrot pomace by 7.2%, compared to convective drying of pomace. In addition, vacuum drying of pomace increases the solubility of powders obtained from them by three times. The obtained results are recommended to take into account when developing a technology to obtain fruit and vegetable powders for enriching fermented beverages, both grain and juice based, fermented milk products to enhance the activity of the microorganisms, and for microbiological synthesis technologies.

Keywords: food biotechnology; enzymatic treatment; convective drying; low temperature vacuum drying; apple pomace; carrot pomace; granulometric composition; solubility of powders

Введение

Яблочные и морковные выжимки являются вторичным сырьем сокового производства, которое остается после отжатия сока из яблочной и морковной мезги [1].

Для повышения выхода сока мезгу обрабатывают ферментными препаратами пектолитического действия [2]. В научных источниках приведены сведения о влиянии ферментативной обработки мезги на физико-химические и технологические показатели сока, полученного после отжатия обработанной мезги – меняется плотность и вязкость сока, содержание фенольных веществ, титруемых кислот, цветность сока [3–5], однако данные о воздействии ферментативной обработки мезги на физические показатели выжимок, например, содержание влаги, отсутствуют.

Выжимки по своему химическому составу близки, а по некоторым показателям и превосходят исходное сырье [6]. Химический состав плодоовощных выжимок делает их перспективным сырьем для использования как в качестве натуральной пищевой добавки для улучшения технологических показателей пищевой продукции [7], так и источника ценных биологически активных веществ при разработке функциональных продуктов питания [8], а также для извлечения биологически активных веществ, входящих в состав выжимок, в частности, фенольных, пектиновых веществ, каротиноидов и т.д. [6]. И если в многочисленных исследованиях показана перспективность применения порошков, полученных из цельного плодоовощного сырья [9, 10], то логично использовать и порошки, образованные из плодоовощных выжимок [11, 12]. Однако при этом необходимо понимать, как ферментативная обработка мезги повлияет на технологические показатели выжимок.

Выжимки являются скоропортящимся продуктом, поэтому их необходимо консервировать, для чего используется сушка. Сушку выжимок осуществляют различными способами: периодическая и непрерывная сушка, ИК-конвективная и ИК-вакуумная [13], сушка током высокой или сверхвысокой частоты, комбинированный метод конвективной сушки с ИК-облучением и СВЧ (перед ИК сушкой применяют СВЧ-сушку для частичного перевода связанной влаги в свободную) [14]. Исследователи [15–17] отмечают перспективность вакуумной сушки для сохранения химического состава плодоовощных выжимок, а также влияние структурных характеристик растительного сырья на режимы этой сушки. Данные научной литературы подтверждают, что способ сушки оказывает значительное влияние на химический состав выжимок. В частности, в работах [18, 19] показано, что вакуумная сушка способствует сохранению биологически активных веществ, витаминов, а также антиоксидантных и антирадикальных свойств сухих выжимок. Однако в литературных источниках отсутствуют сведения о влиянии ферментативной обработки мезги фруктов, ягод и овощей на режимы сушки выжимок. Кроме того, недостаточно изучен вопрос влияния способа сушки на структуру выжимок, гранулометрический состав полученного порошка и его растворимость – ключевой показатель при использовании порошков из плодоовощных выжимок в пищевых продуктах, таких как напитки и кисломолочные изделия, содержащие микроорганизмы, жизнедеятельность которых зависит от компонентов среды.

Цель данного исследования – изучить влияние ферментативной обработки яблочной и морковной мезги, а также способа сушки выжимок на время сушки, гранулометрический состав и растворимость порошков, полученных из яблочных и морковных выжимок.

Объекты и методы исследований

Для получения морковных выжимок использовали морковь сорта Нантская, выращенную в Северо-Западном регионе России, урожай 2024 г, имеющую корнеплоды средней величины массой от 160 до 200 г. Корнеплоды моркови предварительно вымыли, очищены и измельчены на механической терке Kitfort КТ-3492 Store (Китай). Полученную мезгу (длина 1–1,2 см, толщина 1–2 мм) разделили на две части: из первой провели отжим сока при помощи ручного винтового пресса и получили образец № 1.1, вторую обработали ферментным препаратом пектолитического действия Fructozym MA производства ERBSLÖH (Гайзенхайм, Германия) в количестве 0,07% от массы мезги при температуре 50°C в течение 1 ч. По окончании ферментации провели отжим сока при помощи ручного винтового пресса и получили образец № 1.2 [20].

Для получения яблочных выжимок использовали яблоки сорта «Симиренко», выращенные в Краснодарском крае (Россия), урожай 2024 г, вес плодов 120–160 г. Яблоки измельчали на механической терке Kitfort КТ-3492 (Китай). Полученную мезгу (длина 1–1,2 см, толщина 1–2 мм) разделили на две части: из первой провели отжим яблочного сока при помощи ручного винтового пресса и получили образец № 2.1, вторую обработали ферментным препаратом пектолитического действия Vegazym M производства ERBSLÖH (Гайзенхайм, Германия) в количестве 0,09% от массы мезги при температуре 50°C в течение 1 ч. По окончании ферментации был проведен отжим сока при помощи ручного винтового пресса и получен образец № 2.2 [21].

Сушку морковных и яблочных выжимок проводили двумя способами: конвективным и низкотемпературным вакуумным (НВС). Конвективная сушка является наиболее распространенным способом сушки. Низкотемпературная вакуумная сушка является альтернативой сублимационной сушки. НВС позволяет исключить этап замораживания, имеет плюсы в плане энергоэффективности. Более щадящие температуры при НВС сушке в сравнении с конвективным способом, позволяют сохранять максимум полезных свойств компонентов, входящих в состав яблочных выжимок.

Все образцы морковных и яблочных выжимок были выложены на поддоны слоем $5 \pm 0,2$ мм, высушены в сушильном шкафу ES-4620 (Россия) при температуре 50°C и в лабораторной вакуумной установке Hetosicc (Дания) с 20 до 35°C до влажности 5–8%. Массовую долю влаги определяли на анализаторе влажности AND ML-50 (Япония). Контроль температуры в процессе сушки осуществляли термометрами ТРМ-200 ОВЕН (Россия) (с допустимой погрешностью $\pm 0,5\%$), значение вакуума фиксировалось электронным вакуумметром Мерадат-ВИТ14Т3 (Россия). Внутреннее устройство камеры для низкотемпературной вакуумной сушки с расположенным на полках сырьем и датчиками представлено на рисунке 1.



Рисунок 1 – Сушка моркови (слева) и яблок (справа) низкотемпературным вакуумным методом в вакуумной камере установки Hetosicc

Figure 1. Drying carrots (left) and apples (right) in the vacuum chamber of the Hetosicc drier using the vacuum method

По окончании сушки все образцы морковных и яблочных выжимок обрабатывали на установке ударно-дезинтеграторно-активаторного типа (УДА-обработка) DEZI-11 производства Tootmise OÜ (Эстония) с использованием шестирядных роторов с частотой вращения 210 с⁻¹.

Гранулометрический состав порошков из морковных и яблочных выжимок определяли ситовым методом с диаметром отверстий 1 мм и 0,25 мм.

В основу метода определения растворимости порошков, полученных из яблочных и морковных выжимок, применен ГОСТ 33034-2014 Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Растворимость в воде, пункт 5.7.1, в котором указывается что первоначально вещество необходимо растворить в воде до полного насыщения раствора, а затем определить концентрацию растворимых веществ. В данных исследованиях предложен модифицированный метод определения растворимости порошков, который заключается в следующем: навеску порошка смешали с водой в соотношении 1:15, выдержали при температуре 23 ± 2 °С в течение 20 мин до полного набухания порошка и растворения растворимых компонентов, входящих в состав порошка, после чего смесь центрифугировали на центрифуге UC-4000E Ulab при скорости вращения ротора 3000 об/мин в течение 20 мин. В полученном фильтрате определяли концентрацию растворимых веществ рефрактометрическим методом на рефрактометре ОПТІ 38-01 по ГОСТ ISO 2173-2013 Продукты переработки фруктов и овощей. Рефрактометрический метод определения растворимых сухих веществ. Оставшийся после центрифугирования осадок с нерастворенными компонентами порошка сушили до постоянной массы в сушильном шкафу ES-4620 (Россия) при температуре 50 °С. Растворимость порошков оценивали так же по массе сухого нерастворимого осадка.

Органолептическую оценку выжимок после сушки конвективным и низкотемпературным вакуумным способом проводили по ГОСТ 1334.1-77 Овощи сушеные. Методы определения массы нетто, формы и размера частиц, крупности помола, дефектов оп внешнему виду, соотношения компонентов, органолептических показателей и развариваемости. Органолептическую оценку выжимок осуществляли по внешнему виду, цвету, консистенции, запаху и вкусу. Сухие выжимки помещали на лист белой бумаги и при рассеянном ярком дневном свете устанавливали внешний вид, форму частиц и цвет продукта, для брикетированных яблочных выжимок определяли форму брикета, состояние поверхности, равномерность по толщине, целостность, способность легко разламываться. При оценке цвета учитывалась интенсивность и соответствие цвету исходного сырья. При определении консистенции отмечали эластичность, хрупкость, твердость, сыпучесть. Эластичность, хрупкость и твердость устанавливали на ощупь и при сгибании. Запах и вкус сушеных выжимок выявляли органолептически: оценивали их чистоту, интенсивность, а также отсутствие посторонних привкусов и запахов.

Для проведения статистического анализа использовался критерий Стьюдента (4,3). Все вычисления и статистические расчеты были осуществлены с использованием программы Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

Эффективность обработки морковной и яблочной мякоти ферментными препаратами оценивали по количеству сока, полученного после отжима мякоти. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Выход яблочного и морковного сока из морковной и яблочной мякоти
Table 1. Yield of apple and carrot juice from carrot and apple pulp

| Образец | Выход сока, % |
|---------|---------------|
| 1.1 | 57,0 |
| 1.2 | 66,8 |
| 2.1 | 62,0 |
| 2.2 | 78,0 |

Из анализа данных, представленных в таблице, следует, что ферментативная обработка морковной и яблочной мякоти увеличила выход сока на 17 и 26% соответственно, при этом количество полученных выжимок снижается так же на эту величину.

Изменение влажности в морковной и яблочной мякоти под действием ферментных препаратов представлено в таблице 2.

Таблица 2. Влияние ферментативной обработки яблочной и морковной мезги на влажность выжимок
Table 2. Effect of enzymatic treatment of apple and carrot pulp on moisture content in pomace

| Показатель, % | Без обработки мезги ФП | | С обработкой мезги ФП | |
|---------------------|------------------------|-------------|-----------------------|-------------|
| | образец 1.1 | образец 2.1 | образец 1.2 | образец 2.2 |
| массовая доля влаги | 79,0±1 | 82,0±1 | 75,6±1 | 80,0±1 |

Из анализа результатов, представленных в таблице 2, видно, что ферментативная обработка морковной мезги снижает массовую долю влаги на 3,4%, обработка яблочной мезги – на 2,0%. Полученные данные говорят о том, что морковная мезга содержит большее количество компонентов, способных удерживать влагу в выжимках.

Далее все образцы морковных и яблочных выжимок сушили конвективным и низкотемпературным вакуумным способом. Изменение времени сушки в зависимости от обработки мезги ферментными препаратами и способа сушки представлено в таблице 3.

Таблица 3. Влияние ферментативной обработки мезги и способа сушки на время сушки морковных и яблочных выжимок

Table 3. Effect of enzymatic treatment of pulp and drying method on the drying time of carrot and apple pomace

| Показатель | Морковные выжимки | | | | Яблочные выжимки | | | |
|------------------|--------------------|--------|--------|--------|--------------------|--------|--------|--------|
| | конвективная сушка | | НВС | | конвективная сушка | | НВС | |
| | № 1.1 | № 1.2 | № 1.1 | № 1.2 | № 2.1 | № 2.2 | № 2.1 | № 2.2 |
| время сушки, мин | 720 ±1 | 640 ±1 | 310 ±1 | 265 ±1 | 760 ±1 | 700 ±1 | 320 ±1 | 300 ±1 |

Анализ результатов таблицы выявил, что при низкотемпературной вакуумной сушке морковных и яблочных выжимок время сушки в среднем сокращается в два с лишним раза. После высушивания выжимок конечная влажность и для морковных, и для яблочных выжимок составила 5,0 ±1%.

Ферментативная обработка морковной мезги при конвективном способе сокращает время сушки на 80 мин, при НВС – на 45 мин (продолжительность сушки морковных выжимок без ферментативной обработки мезги составила 5 ч 10 мин, а при обработке мезги ферментным препаратом – 4 ч 25 мин. Ферментативная обработка яблочной мезги при конвективном способе сушки сокращает время сушки выжимок на 60 мин, при НВС – на 20 мин (продолжительность сушки яблочных выжимок без ферментативной обработки мезги составила 5 ч 20 мин, в при обработке яблочной мезги ферментным препаратом – 5 ч). Режимы сушки образцов выжимок, полученных из мезги, не обработанной ферментным препаратом, и выжимок, полученных из мезги, обработанной ферментным препаратом, максимально приближены друг к другу. Снижение времени сушки можно объяснить увеличением выхода сока при использовании фермента (т. е. снижением начального влагосодержания мезги), а также разрушением клеточной структуры в морковной и яблочной мезге. Это позволяет дополнительно выделиться связанной влаге из выжимок в процессе низкотемпературной вакуумной сушки.

Таблица 4. Органолептические показатели качества морковных и яблочных выжимок, высушенных низкотемпературным вакуумным способом

Table 4. Organoleptic quality indicators of carrot and apple pomace dried by low temperature vacuum method

| Показатель | Характеристика высушенных выжимок | |
|--------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| | Морковные (образцы № 1.1, 1.2) | Яблочные (образцы 2.1, 2.2) |
| внешний вид | однородный, с сохранением волокнистой структуры растительного сырья | однородный, с эластичной и клейкой структурой |
| консистенция | сухая, рассыпчатая, с сохранением волокнистости | эластичная, клейкая, слегка влажная |
| цвет | ярко-оранжевый, насыщенный, характерный для моркови | желтовато-оранжевый, характерный для яблок |
| вкус | ярко выраженный сладковато-морковный вкус, усиленный после сушки | сладковато-кислый, с выраженным яблочным вкусом, усиленный после сушки |
| запах | насыщенный аромат моркови, усиленный после сушки | яркий аромат яблок, усиленный после сушки |



Рисунок 2 – Высушенные морковные выжимки (А) из мезги без обработки ферментным препаратом (слева сверху) и с обработкой ферментным препаратом (слева внизу); снеки из сухих яблочных выжимок (Б)
 Figure 2. Dried carrot pomace from (A) the pulp without treatment with an enzyme preparation (top left) and with treatment with an enzyme preparation (bottom left); snacks made from dry apple pomace (B)

В ходе исследования были проанализированы органолептические характеристики морковных и яблочных выжимок, высушенных низкотемпературным вакуумным способом. Этот метод сушки позволил сохранить такие ключевые свойства сырья, как цвет, вкус и аромат, а также усилить их за счет концентрации полезных веществ после удаления влаги. Морковные выжимки отличаются ярко-оранжевым цветом, волокнистой структурой и насыщенным морковным вкусом, в то время как яблочные имеют более эластичную и клейкую консистенцию, характерный яблочный аромат и сладковато-кислый вкус. В таблице 4 представлены подробные органолептические характеристики образцов. Внешний вид образцов представлен на рисунке 2.

Сухой продукт может использоваться как в виде снеков, так и измельченным до порошкообразного состояния, что существенно расширит область его применения. Высушенные морковные и яблочные выжимки обрабатывали на установке ударно-дезинтеграторно-активаторного действия (УДА-обработка) и определяли гранулометрический состав полученных порошков ситовым методом. Результаты представлены в таблице 5.

Таблица 5. Гранулометрический состав порошков из яблочных и морковных выжимок, полученных при разных способах обработки мезги, и высушенных разными способами
 Table 5. Granulometric composition of powders from apple and carrot pomace obtained by different methods of processing the pulp and dried differently

| Показатель, % | Способ модификации мезги и сушки выжимок | | | | | |
|-----------------------------|----------------------------------------------|----------------------|------------------------------------------|----------------------|---------------------------------------|----------------------|
| | без обработки мезги ФП конвективная сушка | | обработка мезги ФП конвективная сушка | | обработка мезги ФП вакуумная сушка | |
| | яблочные выжимки | морковные выжимки | яблочные выжимки | морковные выжимки | яблочные выжимки | морковные выжимки |
| проход через сито Ø 1 мм | 89,0 ±1,01 | 92,3 ±1,001 | 93,0 ±1,01 | 96,8 ±4,1 | 94,0 ±1,01 | 98,7 ±9,9 |
| проход через сито Ø 0,25 см | 69,0 ±1,01 | 70,5 ±6,3 | 71,0 ±1,01 | 73,8 ±16,9 | 85,0 ±1,01 | 81,0 ±16,9 |

Анализ результатов, представленных в таблице 5, показывает, что и ферментативная обработка мезги, и низкотемпературный вакуумный способ сушки повышают степень деструкции выжимок. Обработка яблочных выжимок ферментным препаратом Vegazum M (0,09% от массы мезги) увеличила степень деструкции выжимок на 2% (с 69,0 ±1,01 до 71,0 ±1,01). Обработка морковной мезги ферментным препаратом Fructozum MA (0,07% от массы мезги) повысила степень деструкции выжимок на 3,3% (с 73,8 ±16,9 до 70,5 ±6,3).

Для порошка, полученного из яблочных выжимок и высушенных НВС, проход через сито \varnothing 0,25 мм составил $85,0 \pm 1,01\%$, что на 14% выше, чем при сушке выжимок конвективным способом (проход через сито \varnothing 0,25 мм – $71,0 \pm 1,01\%$). Для порошка, полученного из морковной мезги и высушенного низкотемпературным вакуумным способом, проход через сито \varnothing 0,25 мм составил $81,0 \pm 16,9\%$, что на 7,2% выше, чем при сушке выжимок конвективным способом (проход через сито \varnothing 0,25 мм – $73,8 \pm 16,9\%$).

При вакуумной сушке происходит более равномерный отбор влаги, чем при конвективной. При конвективной сушке больше перепад температур, происходит «спекание» продукта, что не позволяет сохранить структуру (в отличие от вакуумной сушки) и это влияет на дисперсность получаемого порошка.

В морковных и яблочных выжимках содержатся как гидрофильные высокомолекулярные соединения, так и гидрофобные соединения. При внесении порошков из растительного сырья в продукты питания важно понимать степень растворимости порошков, особенно при разработке продуктов питания, полученных с применением микроорганизмов: ферментированных напитков, кисломолочных продуктов. Степень растворения гидрофильных компонентов морковных и яблочных выжимок оценивали по массе сухого осадка, полученного после гидратирования порошков. Результаты представлены в таблице 6.

Таблица 6. Влияние ферментативной обработки яблочной и морковной мезги и способа сушки выжимок на растворимость порошков, полученных на их основе

Table 6. Influence of enzymatic treatment of apple and carrot pulp and the method of drying the pomace on the solubility of the powders obtained from them

| Показатель | Способ модификации мезги и сушки выжимок | | | | | |
|--------------------------------|----------------------------------------------|----------------------|------------------------------------------|----------------------|---------------------------------------|----------------------|
| | без обработки мезги ФП конвективная сушка | | обработка мезги ФП конвективная сушка | | обработка мезги ФП вакуумная сушка | |
| | яблочные выжимки | морковные выжимки | яблочные выжимки | морковные выжимки | яблочные выжимки | морковные выжимки |
| объем фильтрата, мл | $11,4 \pm 0,03$ | $7,7 \pm 0,02$ | $11,9 \pm 0,03$ | $6,7 \pm 0,01$ | $11,8 \pm 0,03$ | $10,4 \pm 0,02$ |
| плотность фильтрата | $1,012 \pm 0,001$ | $1,008 \pm 0,001$ | $1,015 \pm 0,001$ | $1,008 \pm 0,001$ | $1,018 \pm 0,001$ | $1,014 \pm 0,001$ |
| содержание сухих веществ, % | $3,0 \pm 0,01$ | $2,0 \pm 0,01$ | $3,8 \pm 0,01$ | $2,0 \pm 0,01$ | $4,6 \pm 0,02$ | $3,6 \pm 0,01$ |
| масса сухого осадка, г | $0,42 \pm 0,001$ | $0,60 \pm 0,001$ | $0,30 \pm 0,001$ | $0,58 \pm 0,001$ | $0,20 \pm 0,001$ | $0,19 \pm 0,001$ |

Анализ результатов, представленных в таблице, свидетельствует, что ферментативная обработка яблочных и морковных выжимок ферментными препаратами незначительно влияет на степень растворимости порошков. Существенное значение на это оказывает способ сушки. По количеству растворимых сухих веществ в фильтрате и по массе сухого остатка при низкотемпературной вакуумной сушке растворимость порошков в три раза выше, чем при конвективной сушке.

Заключение

Результаты, полученные в ходе экспериментов, подтверждают, что использование ферментов Fructozym MA для моркови и Vegazym M для яблок позволяет увеличить выход сока, а, следовательно, уменьшить выход яблочных и морковных выжимок в среднем на 30% и сократить время сушки, как при конвективном, так и низкотемпературном вакуумном способе. Установлено также, что вакуумная сушка позволяет получить порошок с более высокой степенью дисперсности и растворимости.

Данные показатели важно учитывать при разработке технологий порошков из плодоовощных выжимок, которые в дальнейшем будут рекомендованы для использования в качестве пищевого ингредиента в продуктах питания для обеспечения высокой жизнедеятельности микроорганизмов: ферментированных напитков, кисломолочных продуктах, где проходит процесс сквашивания, или в технологиях микробиологического синтеза, где микроорганизмы продуцируют ферменты или биологически активные вещества.

Литература

1. Дроздов Р.А., Кожухова М.А., Маренич А.М., Болотина Д.В., Дроздова Т.А. Функциональные свойства овощных порошков, полученных из вторичных сырьевых ресурсов // Инновационные пищевые технологии в области хранения и переработки сельскохозяйственного сырья: фундаментальные и прикладные аспекты: сб. тр. Воронеж: Изд-во Ассоциация «Технологическая платформа "Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания"». 2016. С. 91–94.
2. Супрун Н.П., Гусаков Г.С., Раченко М.А. Ферментативный катализ яблочной мезги // Химия растительного сырья. 2023. № 1. С. 307–312. DOI: 10.14258/jcrgm.20230111067
3. Воробьева Е.В., Абрамова И.М., Головачева Н.Е., Морозова С.С., Галлямова Л.П., Шубина Н.А. Влияние ферментативной обработки на процесс производства спиртованных морсов из сушеного сырья // Хранение и переработка сельхозсырья. 2018. № 2. С. 28–33.
4. Gani G., Naik H., Jan N., Bashir O. et al. Physicochemical and antioxidant properties of pear juice prepared through pectinase enzyme-assisted extraction from William Bartlett variety. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2021, V. 15, pp. 743–757. DOI: 10.1007/s11694-020-00676-x
5. Ninga K.A., Desobgo Z.S.C., De S., Nso E.J. Pectinase hydrolysis of guava pulp: Effect on the physicochemical characteristics of its juice. *Heliyon*. 2021. V. 7, no. 10, article e08141. DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e08141
6. Pascoalino L.A., Barros L., Barreira J.C.M., Oliveira M.B.P.P., Reis F.S. Closing the loop: exploring apple pomace as a source of bioactive compounds in the framework of circular economy. *Sustainable Food Technology*. 2025, V. 3, pp. 81–95. DOI: 10.1039/D4FB00172A
7. Asif M., Javaid T., Razzaq Z.U., Khan M.K.I., Maan A.A., Yousaf S., Usman A., Shahid S. Sustainable utilization of apple pomace and its emerging potential for development of functional foods. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2024, V. 31, no. 12, pp. 17932–17950. DOI: 10.1007/s11356-023-28479-9
8. Kaur M., Kaur M., Kaur H. Apple peel as a source of dietary fiber and antioxidants: Effect on batter rheology and nutritional composition, textural and sensory quality attributes of muffins. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2022, V. 16, pp. 2411–2421. DOI: 10.1007/s11694-022-01329-x 20
9. Корнен Н.Н., Лукьяненко М.В., Шахрай Т.А. Антиоксидантная активность пищевых добавок, полученных из растительных ресурсов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубан. гос. аграрн. ун-та. 2017. № 126. С. 109–118. DOI: 10.21515/1990-4665-126-007
10. Ying D., Sanguansri L., Cheng L., Augustin M.A. Nutrient-dense shelf-stable vegetable powders and extruded snacks made from carrots and broccoli. *Foods*. 2021. V. 10, no. 10, article 2298. DOI: 10.3390/foods10102298
11. Перфилова О.В., Родина З.Ю., Брыксина К.В. Рецептурная композиция для производства чипсов с применением яблочных выжимок // Пищевая промышленность. 2024. № 12. С. 26–31. DOI: 10.52653/PP1.2024.12.12.005
12. Лисовой В.В., Корнен Н.Н., Лукьяненко М.В., Шахрай Т.А. Биологически активная добавка на основе вторичных ресурсов переработки яблок // Новые технологии. 2015. № 4. С. 25–29.
13. Перфилова О.В. Применение СВЧ-, ИК-нагрева в технологии получения морковного порошка из выжимок // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81. № 1. С. 144–148. DOI: 10.20914/2310-1202-2019-1-144-148
14. Ямалетдинова М.Ф. Разработка технологической линии для переработки фруктовых выжимок с целью получения их порошков // Universum. Технические науки. 2024. № 5. С. 18–21. DOI: 10.32743/UniTech.2024.122.5.17389
15. Иванова Э.С., Родионов Ю.В., Зорина О.А., Никитин Д.В., Скоморохова А.И., Щегольков А.В. Инновационные конструкции и технологии сушки плодоовощной продукции // Наука в центральной России. 2021. № 1. С. 43–53. DOI: 10.35887/2305-2538-2021-1-43-53
16. Быкова Т.О., Макарова Н.В., Шевченко А.Ф. Влияние технологии сушки на химический состав и антиоксидантные свойства фруктовых выжимок // Пищевая промышленность. 2015. № 12. С. 68–70.
17. Яшонков А.А., Курдогло М.Э. Исследование влияния предварительного порообразования на кинетику процесса сушки при получении снеков из моркови // Ползунковый вестник. 2018. № 4. С. 64–67. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2018.04.013
18. Kręcisz M., Kolniak-Ostek J., Stępień B., Łyczko J., Pasławska M., Musiałowska J. Influence of drying methods and vacuum impregnation on selected quality factors of dried sweet potato. *Agriculture*. 2021, V. 11, no. 9, article 858. DOI: 10.3390/agriculture11090858
19. Kerr W.L., Varner A. Chemical and physical properties of vacuum-dried red beetroot (*Beta vulgaris*) powders compared to other drying methods. *Drying Technology*. 2020, V. 38, Is. 9, pp. 1165–1174. DOI: 10.1080/07373937.2019.1619573
20. Baskovtceva A., Barakova N., Samodelkin E., Kiprushkina E., Alkhateeb R., Tochilnikov G. Unlocking the potential of carrot pomace: Enzymatic and impact-disintegrator-activator processing for elevated beta-carotene concentration in carrot powder. *FFHD*. 2023, V. 13, no. 10, pp. 505–519. DOI: 10.31989/ffhd.v13i10.1184
21. Al-Yasari A., Barakova N., Alkhateeb R., Hovhannisyan F., Baskovtceva A., Kiprushkina E. Juice yield and pectin indicators in apple and carrot pomace. *FFHD*. 2023, V. 13, no. 11, pp. 559–573. DOI: 10.31989/ffhd.v13i11.1186

References

1. Drozdov R.A., Kozhukhova M.A., Marenich A.M., Bolotina D.V., Drozdova T.A. Functional properties of vegetable powders obtained from secondary raw materials. *Innovative food technologies in the field of storage and processing of agricultural raw materials: Fundamental and applied aspects*. Collection of Works. Voronezh, Assotsiatsiya Tekhnologicheskaya platforma "Tekhnologii pishchevoi i pererabatyvayushchei promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya" Publ. 2016, pp. 91–94. (In Russian)
2. Suprun N.P., Gusakova G.S., Rachenko M.A. The apple pulp enzymatic catalysis. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*. 2023, no. 1, pp. 307–312. DOI: 10.14258/jcprm.20230111067. (In Russian)
3. Vorob'eva E.V., Abramova I.M., Golovacheva N.E., Morozova S.S., Galljamova L.P., Shubina N.A. The influence of enzymatic treatment on the process of producing alcoholized fruit drinks from dried raw materials. *Storage and Processing of Farm Products*. 2018, no.2, pp.28–33. (In Russian)
4. Gani G., Naik H., Jan N., Bashir O. et al. Physicochemical and antioxidant properties of pear juice prepared through pectinase enzyme-assisted extraction from William Bartlett variety. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2021, V. 15, pp. 743–757. DOI: 10.1007/s11694-020-00676-x
5. Ninga K.A., Desobgo Z.S.C., De S., Nso E.J. Pectinase hydrolysis of guava pulp: Effect on the physicochemical characteristics of its juice. *Heliyon*. 2021. V. 7, no. 10, article e08141. DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e08141
6. Pascoalino L.A., Barros L., Barreira J., Oliveira M., Reis F.S. Closing the loop: exploring apple pomace as a source of bioactive compounds in the framework of circular economy. *Sustainable Food Technology*. 2025, V. 3, pp. 81–95. DOI: 10.1039/D4FB00172A
7. Asif M., Javid T., Razaq Z.U., Khan M.K.I., Maan A.A., Yousaf S., Usman A., Shahid S. Sustainable utilization of apple pomace and its emerging potential for development of functional foods. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2024, V. 31, no. 12, pp. 17932–17950. DOI: 10.1007/s11356-023-28479-9
8. Kaur M., Kaur M., Kaur H. Apple peel as a source of dietary fiber and antioxidants: Effect on batter rheology and nutritional composition, textural and sensory quality attributes of muffins. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2022, V. 16, pp. 2411–2421. DOI: 10.1007/s11694-022-01329-x 20
9. Kornen N.N., Lukyanenko M.V., Shahray T.A. Antioxidant activity of food additives derived from secondary plant resources. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2017, no. 126, pp. 109–118. DOI: 10.21515/1990-4665-126-007 (In Russian)
10. Ying D., Sanguansri L., Cheng L., Augustin M.A. Nutrient-dense shelf-stable vegetable powders and extruded snacks made from carrots and broccoli. *Foods*. 2021. V. 10, no. 10, article 2298. DOI: 10.3390/foods10102298
11. Perfilova O.V., Rodina Z.Yu., Bryksina K.V. Recipe composition for the production of chips using apple refuse. *Food Industry*. 2024, no. 12, pp. 26–31. DOI: 10.52653/PPI.2024.12.12.005. (In Russian)
12. Lisovoy V.V., Kornen N.N., Lukyanenko M.V., Shakhrai T.A. Dietary supplement based on the secondary resources of apple processing. *New Technologies*. 2015, no. 4, pp. 25–29. (In Russian)
13. Perfilova O.V. The using of microwave, infrared heating in technology of carrot powder from refuse. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2019. V. 81, no. 1, pp. 144–148. DOI: 10.20914/2310-1202-2019-1-144-148. (In Russian)
14. Yamaletdinova M.F. Development of a technological line for processing fruit pumes to obtain their powders. *Universum: Technical Sciences*. 2024, no. 5, pp. 18–21. DOI: 10.32743/UniTech.2024.122.5.17389. (In Russian)
15. Ivanova E.S., Rodionov Yu.V., Zorina O.A., Nikitin D.V., Skomorokhova A.I., Schegolkov A.V. Innovative constructions and technologies for drying fruit and vegetable products. *Science in the Central Russia*. 2021, no. 1, pp. 43–53. DOI: 10.35887/2305-2538-2021-1-43-53. (In Russian)
16. Bykova T.O., Makarova N.V., Shevchenko A.F. The impact of drying technology on chemical composition and antioxidant properties of fruit pomace. *Engineering and Technology*. 2015, no. 12, pp. 68–70. (In Russian)
17. Jashonkov A.A., Kurdoglo M.E. Study of the influence of preliminary pore formation on the kinetics of the drying process in obtaining carrot snacks. *Polzunovskiyvestnik*. 2018, no. 4, pp. 64–67. DOI: 10.25712/ASTU.2072–8921.2018.04.013 (In Russian)
18. Kręcis M., Kolniak-Ostek J., Stępień B., Łyczko J., Paślawska M., Musiałowska J. Influence of drying methods and vacuum impregnation on selected quality factors of dried sweet potato. *Agriculture*. 2021, V. 11, no. 9, article 858. DOI: 10.3390/agriculture11090858
19. Kerr W.L., Varner A. Chemical and physical properties of vacuum-dried red beetroot (*Beta vulgaris*) powders compared to other drying methods. *Drying Technology*. 2020, V. 38, Is. 9, pp. 1165–1174. DOI: 10.1080/07373937.2019.1619573
20. Baskovtceva A., Barakova N., Samodelkin E., Kiprushkina E., Alkhateeb R., Tochilnikov G. Unlocking the potential of carrot pomace: Enzymatic and impact-disintegrator-activator processing for elevated beta-carotene concentration in carrot powder. *FFHD*. 2023, V. 13, no. 10, pp. 505–519. DOI: 10.31989/ffhd.v13i10.1184
21. Al-Yasari A., Barakova N., Alkhateeb R., Hovhannisyanyan F., Baskovtceva A., Kiprushkina E. Juice yield and pectin indicators in apple and carrot pomace. *FFHD*. 2023, V. 13, no. 11, pp. 559–573. DOI: 10.31989/ffhd.v13i11.1186

Информация об авторах

Филипп Артемович Оганнисян – аспирант образовательного центра «Энергоэффективные инженерные системы»
Кирилл Андреевич Зыкин – инженер лаборатории систем хладоснабжения и теплофизических измерений
Ангелина Станиславна Басковцева – аспирант образовательного центра «Энергоэффективные инженерные системы»
Надежда Васильевна Баракова – канд. техн. наук, доцент, ведущий аналитик в подразделении межфакультетской лаборатории «Трансляционные технологии в образовании»; доцент кафедры технологии микробиологического синтеза
Артем Евгеньевич Афанасенко – студент кафедры технологии микробиологического синтеза
Евгений Александрович Самоделькин – ведущий научный сотрудник
Денис Олегович Туралин – инженер-исследователь лаборатории замороженных и пищевых продуктов, инженер лаборатории систем хладоснабжения и теплофизических измерений

Information about the authors

Filipp A. Hovhannisyan, Postgraduate Student at the Educational Center "Energy Efficient Engineering Systems"
Kirill A. Zykin, Engineer of the Laboratory of Refrigeration Systems and Thermophysical Measurements
Angelina S. Baskovtceva, Postgraduate Student at the Educational Center "Energy Efficient Engineering Systems"
Nadezhda V. Barakova, Ph. D. (Eng.), Associate Professor, a Leading Analyst in the Division of the Interfaculty Laboratory "Translation Technologies in Education"; Associate Professor Department of Microbiological Synthesis Technology
Artem E. Afanasenko, Student of the Department of Microbiological Synthesis Technology
Evgeniy A. Samodelkin, Leading Researcher
Denis O. Turalin, Research Engineer of the Laboratory of Frozen and Food Products, Engineer of the Laboratory of Refrigeration Systems and Thermophysical Measurements

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflicts of interests

*Статья поступила в редакцию 21.01.2025
Одобрена после рецензирования 10.02.2025
Принята к публикации 28.02.2025*

*The article was submitted 21.01.2025
Approved after reviewing 10.02.2025
Accepted for publication 28.02.2025*