БИОХИМИЯ И МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

Статья поступила в редакцию: 18.08.2026
Статья принята к публикации: 12.09.2026
Статья опубликована: 07.10.2026

УДК 664.8:602.1

Подготовка вторичного растительного сырья для биоконверсионных исследований жома яблока, жома томата, кожуры арбуза и вторичных продуктов переработки пшеницы

Матчанова Дурдона Шапуровна
канд. биол. наук, PhD, ст. преп
Ташкентский химико-технологический институт
Республика Узбекистан, г. Ташкент
Маматов Шерзод Машрабжонович
д-р техн. наук, проф.
зам. директора ЦРОП, Университет Вебстер в Ташкенте
Республика Узбекистан, г. Ташкент
Нурмухамедова Вазира Захриддиновна
ст. преп., доц.
Ташкентский химико-технологический институт
Республика Узбекистан, г. Ташкент
Исакова Шахноза Холтура кизи
PhD, канд. техн. наук, ст. преп
Ташкентский химико-технологический институт
Республика Узбекистан, г. Ташкент

Preparation of secondary plant raw materials for bioconversion studies of apple pomace, tomato pomace, watermelon rind and wheat secondary products

Matchanova Durdona
PhD, Senior Lecturer
Tashkent Institute of Chemical Technology
Uzbekistan, Tashkent
Mamatov Sherzod Mashrabjonovich
doctor of Technical Sciences, Professor
Deputy Director at the CIEP Webster University in Tashkent
Uzbekistan, Tashkent
Nurmuxamedova Vazira
senior Lecturer
Tashkent Institute of Chemical Technology
Uzbekistan, Tashkent

Библиографическое описание: Подготовка вторичного растительного сырья для биоконверсионных исследований жома яблока, жома томата, кожуры арбуза и вторичных продуктов переработки пшеницы // Universum: химия и биология : электрон. научн. журн. Матчанова Д.Ш. [и др.]. 2026. 10(148). URL: https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23449

Isaqova Shahnoza
PhD, Senior Lecturer
Tashkent Institute of Chemical Technology
Uzbekistan, Tashkent

Аннотация

В статье представлены научно-методические подходы и экспериментальные результаты подготовки вторичного растительного сырья, образующегося при переработке яблок, томатов, арбузов и пшеницы —сельскохозяйственных культур, широко распространённых в Узбекистане, для последующей биоконверсии. Объектами исследования служили жом яблока сорта Голден Делишес, жом томата сортов Рио Гранде и Узбекистан-178, кожура арбуза сорта Кримсон Свит и отруби пшеницы сорта Дустлик. Рассмотрена последовательность технологических операций, включающая сбор сырья, стабилизацию методом конвективной сушки, измельчение на лабораторной мельнице и стандартизацию по гранулометрическому составу (фракция 0,5–1,0 мм) с использованием набора лабораторных сит. Контроль массы и влажности осуществлялся на аналитических весах с погрешностью не более 0,0001 г. Все измерения выполнялись в трёх повторностях (n = 3), результаты обработаны статистически с расчётом среднего значения и стандартного отклонения, что подтвердило воспроизводимость полученных данных. Экспериментально исследован процесс лабораторной сушки четырёх видов сырья при исходной массе навески 1000 г. Установлено, что продолжительность сушки и связанные с ней энергозатраты в значительной степени определяются исходной влажностью материала. Минимальные показатели зарегистрированы для пшеничных отрубей с исходной влажностью 15,0 %: продолжительность сушки составила 2,0 ± 0,1 ч при энергозатратах 2,0 кВт·ч. Максимальные значения отмечены для кожуры арбуза с влажностью 92,0 % — 8,0 ± 0,3 ч и 8,0 кВт·ч соответственно. Полученные результаты подтверждают, что стандартизированная предварительная подготовка сырья с применением аттестованного лабораторного оборудования и статистической обработки данных является важным условием воспроизводимости последующих процессов ферментативного гидролиза, микробиологической ферментации и оценки эффективности биоконверсии.

Abstract

The article presents scientific and methodological approaches and experimental results on preparing secondary plant raw materials generated during the processing of apples, tomatoes, watermelons, and wheat, crops widely cultivated in Uzbekistan, for subsequent bioconversion. The study objects were apple pomace (Golden Delicious), tomato pomace (Rio Grande and Uzbekistan-178), watermelon rind (Crimson Sweet), and wheat bran (Dustlik). The preparation procedure included raw material collection, stabilization by convective drying, grinding on a laboratory mill, and standardization by particle size (0.5–1.0 mm fraction) using a set of laboratory sieves. Mass and moisture were monitored on an analytical balance with an accuracy of 0.0001 g. All measurements were performed in triplicate (n = 3), and results were processed statistically by calculating the mean and standard deviation, confirming the reproducibility of the data. The laboratory drying of four raw-material types was evaluated at an initial sample mass of 1,000 g. Drying duration and energy consumption were shown to depend largely on the initial moisture content. The lowest values were recorded for wheat bran (15.0 % initial moisture): 2.0 ± 0.1 h and

2.0 kWh. The highest were observed for watermelon rind (92.0 % moisture): 8.0 ± 0.3 h and 8.0 kWh. The findings confirm that standardized pretreatment, using certified laboratory equipment and statistical data processing, is essential for the reproducibility of subsequent enzymatic hydrolysis, microbial fermentation, and bioconversion efficiency assessment.

Ключевые слова: вторичное растительное сырьё, жом, биоконверсия, пробоподготовка, сушка, влажность, энергопотребление, яблоко, томат, арбуз, пшеница.

Keywords: secondary plant raw materials, pomace, bioconversion, sample preparation, drying, moisture content, energy consumption, apple, tomato, watermelon, wheat.

Введение

Вторичные продукты переработки яблока, томата, арбуза и пшеницы — четырёх ведущих по объёмам производства культур Узбекистана — представляют интерес как субстраты для биоконверсии и источники ценных компонентов (пектина, целлюлозы, полифенолов, ликопина, гемицеллюлозы) [6; 1]. Эти объекты различаются по морфологии и способу образования: жом яблока и томата формируется при отжиме сока/пасты, кожура арбуза остаётся после употребления мякоти, а отруби пшеницы — при помоле зерна [2]. Такая неоднородность, в том числе по исходной влажности сырья, делает подготовительный этап методически самостоятельной и определяющей стадией исследования.

Целью работы является научно-методическое описание и обобщение реальных экспериментальных результатов подготовки вторичного растительного сырья четырёх объектов — сбора, стабилизации сушкой и стандартизации, обеспечивающих сопоставимость субстратов на последующих этапах ферментативного гидролиза и микробиологической ферментации.

Материалы и методы

Объектами исследования служили жом яблока (Голден Делишес), жом томата (Рио Гранде, Узбекистан-178), кожура арбуза (Кримсон Свит) и отруби пшеницы (Дустлик), отобранные на предприятиях переработки плодоовощной и зерновой продукции Узбекистана.

Подготовка сырья проводилась по единому протоколу. Жом яблока и томата, а также кожура арбуза отбирались сразу после отжима сока/пасты; отруби пшеницы — после помола зерна. Лабораторная сушка всех образцов проводилась конвективно при рабочей температуре 70–80 °C для навески 1000 г каждого объекта, с контролем изменения массы и расчётом текущей влажности до выхода на постоянную массу [4; 5]; далее образцы измельчались и просеивались до фракции 0,5–1,0 мм — единого стандарта с целью последующей биоконверсии. Отдельное решение принималось в отношении семян: в жоме яблока семена (амигдалин) отделялись при получении пектина и сохранялись в процессе общей биоконверсии (доля ≤ 2–4 % массы жома); семена томата, богатые белком и жиром, сохранялись всегда; семена арбуза включались или отделялись факультативно [3; 7].

Для выполнения операций пробоподготовки использовалось следующее лабораторное оборудование, типовое для аналитических лабораторий пищевого профиля Узбекистана: сушка образцов проводилась в лабораторном сушильном шкафу SNOL 58/350 LFN («Umega», Литва) с диапазоном рабочих температур до 350 °C и точностью поддержания температуры ±1 °C; контроль исходной и текущей массы навесок осуществлялся на аналитических весах Sartorius CPA224S (наибольший предел взвешивания 220 г, дискретность 0,0001 г, погрешность ±0,0002 г); измельчение высушенных образцов до однородной массы выполнялось на лабораторной мельнице IKA A11 basic (Германия); разделение измельчённого материала по фракциям проводилось с использованием набора лабораторных сит с размером ячеек 1,0 и 0,5 мм (ГОСТ 6613 – 86) на вибрационном просеивателе Retsch AS 200 basic (Германия).

Все экспериментальные измерения (влажность сырья, изменение массы при сушке, продолжительность сушки, гранулометрический состав) выполнялись в трёх независимых повторностях (n = 3) для каждого вида сырья. Полученные данные обработаны методами описательной статистики с расчётом среднего арифметического значения (M) и стандартного отклонения (SD); результаты в таблице 1 и в тексте представлены в виде M ± SD. Коэффициент вариации по всем показателям не превышал 5 %, что подтверждает воспроизводимость результатов пробоподготовки.

Результаты работы

В рамках выполненного этапа проведён отбор, экспериментальная сушка и стандартизация всех четырёх видов вторичного растительного сырья. Начальная влажность образцов (M ± SD, n = 3) составила: жом яблока — 85,0 ± 0,4 %, жом томата — 94,0 ± 0,3 %, кожура арбуза — 92,0 ± 0,5 %, отруби пшеницы — 15,0 ± 0,3 %, что согласуется с диапазонами, приводимыми в литературе для аналогичных видов вторичного сырья [8].

Таблица 1.

Таблица параметров сушки (1000 г / 1 кг; M ± SD, n = 3)

Объект (навеска 1000 г)	Влажность до сушки, %	Влажность после сушки, %	Сухое вещ. (г)	Выход продукта (г)	Время сушки, ч
Жом яблока	85,0 ± 0,4	11,0 ± 0,3	150,0 ± 3,2	168,5 ± 3,6	5,0 ± 0,2
Жом томата	94,0 ± 0,3	11,0 ± 0,2	60,0 ± 2,1	67,4 ± 2,3	7,0 ± 0,3
Кожура арбуза	92,0 ± 0,5	11,0 ± 0,3	80,0 ± 2,8	89,9 ± 3,0	8,0 ± 0,3
Отруби пшеницы	15,0 ± 0,3	10,0 ± 0,2	850,0 ± 9,5	944,4 ± 10,2	2,0 ± 0,1

Сушка проводилась до конечной влажности 11,0 % для жома и кожуры и 10,0 % для отрубей — уровня, обеспечивающего микробиологическую стабильность при хранении. Продолжительность сушки и энергозатраты (при мощности сушильной установки 1,0 кВт) существенно различались между объектами (M ± SD, n = 3): жом яблока высох за 5,0 ± 0,2 ч (5,0 кВт·ч), жом томата — за 7,0 ± 0,3 ч (7,0 кВт·ч), кожура арбуза — за 8,0 ± 0,3 ч (8,0 кВт·ч), тогда как отруби пшеницы, обладающие изначально низкой влажностью, потребовали

лишь 2,0 ± 0,1 ч (2,0 кВт·ч). Низкие значения стандартного отклонения (не более 5 % от среднего) подтверждают воспроизводимость экспериментальной сушки. Результаты представлены в таблице 1.

Ниже представлена визуализация динамики падения влажности и убыли массы сырья по каждому часу:

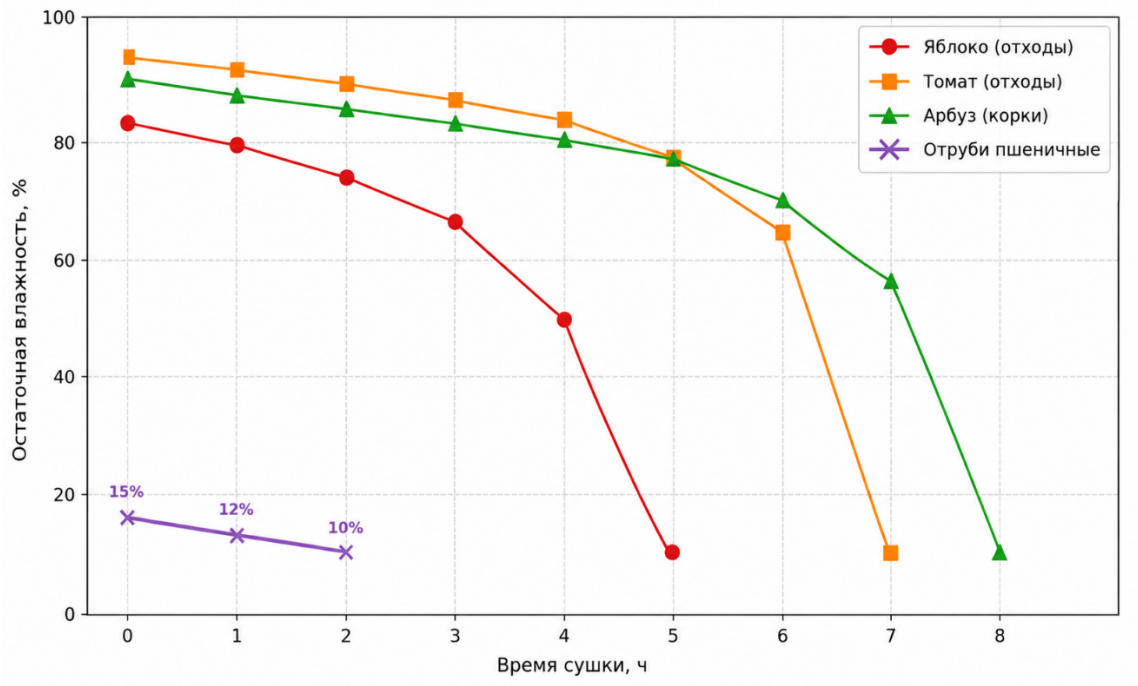


Рисунок 1. Динамика падения влажности по часам при 70–80 °C

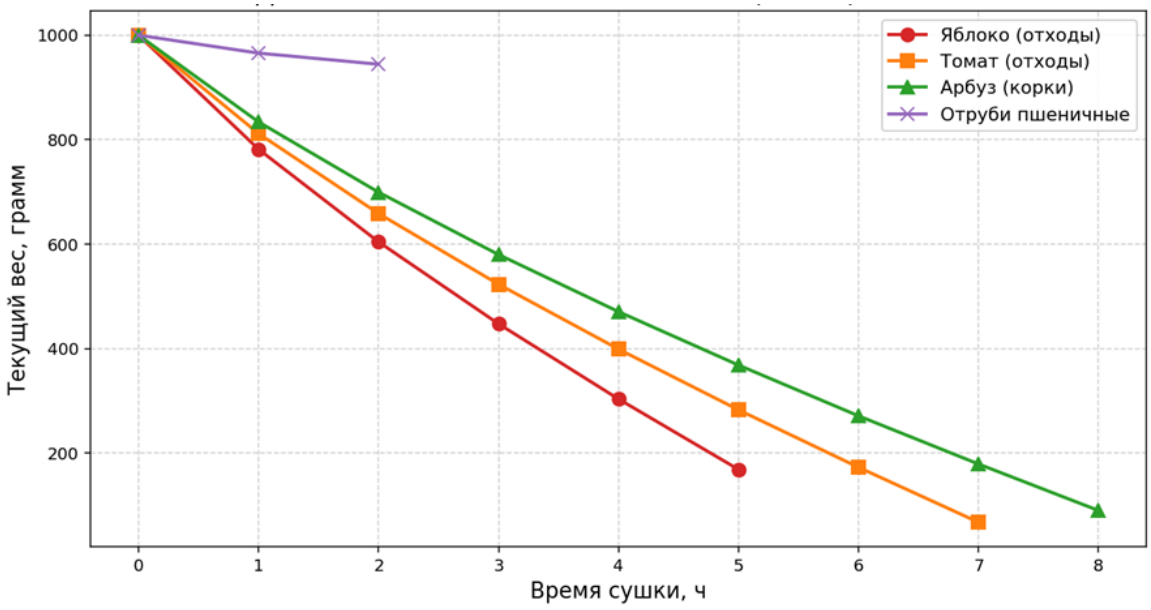


Рисунок 2. Динамика изменения массы навески (1000 г) по часам

Ситовой контроль подтвердил однородность полученных фракций (0,5–1,0 мм) для всех четырёх объектов, что создаёт единую основу для экспериментов по ферментативному гидролизу (целлюлаза, ксиланаза, пектиназа) и микробиологической ферментации (*Saccharomyces cerevisiae*, *Aspergillus niger*, *Trichoderma reesei*) на последующих этапах. Все образцы промаркированы по единой системе и заложены на контролируемое хранение.

Обсуждение

В результате приведения четырёх морфологически различных видов сырья к единому стандарту подготовки без потери специфики объекта, полученные экспериментальные данные подтвердили ожидаемую зависимость продолжительности сушки и энергозатрат от исходной влажности сырья. Получены следующие показатели: сочные объекты (жом, кожура), содержащие 85–94 % влаги, требовали в 2,5–4 раза больше времени и энергии, чем пшеничные отруби с исходной влажностью 15 %. Эта закономерность согласуется с результатами, взятыми для жома яблока [11], томатного жома [9; 10] и арбузной кожуры [4; 8] из независимых исследований. Практический вывод из полученных данных — целесообразность предварительного механического отжима сочных отходов (жом, кожура) перед сушкой: снижение исходной влажности хотя бы на 10–15 процентных пунктов способно заметно сократить время сушки и энергозатраты для наиболее ресурсоёмких объектов. Единый гранулометрический стандарт (0,5–1,0 мм) при этом устраняет погрешность удельной поверхности частиц и делает результаты по разным субстратам сопоставимыми в схеме «4 субстрата × 2 метода конверсии».

Заключение

Выполненный этап обеспечил единую воспроизводимую методическую основу для дальнейшего исследования биоконверсии вторичных продуктов переработки яблока, томата, арбуза и пшеницы. Экспериментально подтверждено, что при исходной влажности 85–94 % сушка жома и кожуры до 11,0 % занимает 5–8 ч и 5,0–8,0 кВт·ч, тогда как отруби пшеницы (15,0 % влаги) высыхают до 10,0 % за 2 ч и 2,0 кВт·ч; суммарные затраты на подготовку всех четырёх объектов составили 22,0 кВт·ч. Сформированный банк стандартизованных образцов пригоден для сопоставимой постановки экспериментов по ферментативному гидролизу и микробиологической ферментации, а выявленная зависимость времени и энергозатрат от исходной влажности сырья создаёт основу для дальнейшей технологической оптимизации процесса подготовки субстратов.

Список литературы

1. Антонич Б., Янчикова С., Джорджевич Д., Тремлова Б. Antonic B, Jancikova S, Dordevic D, Tremlova B. Apple pomace as food fortification ingredient: A systematic review and meta-analysis // Journal of Food Science. – 2020. – Т. 85, № 10. – P. 2977–2985. – DOI: 10.1111/1750–3841.15449.
2. Статистика сельскохозяйственного производства [Электронный ресурс]. URL: https://stat.uz (дата обращения: 18.08.2026).
3. Al-Sayed H.M.A., Ahmed A.R. Al-Sayed H.M.A., Ahmed A.R. Utilization of watermelon rinds and sharlyn melon peels as a natural source of dietary fiber and antioxidants in cake // Annals of Agricultural Science. – 2013. – Т. 58, № 1. – P. 83–95.
4. Ashoka S. et al. Physico-chemical Properties and Nutritional Composition of Watermelon (Citrullus lanatus) and its Rind Flour // Biological Forum. – 2022. – Т. 14. – P. 505–510.

5. Bhat M.A., Ahsan H. Quality Characteristics of Freeze and Cabinet Dried Tomato Pomace // International Journal of Pure & Applied Bioscience. – 2018. – T. 6. – P. 891–897.
6. FAO. FAOSTAT: Production – Crops and livestock products [Электронный ресурс]. // Food and Agriculture Organization of the United Nations. – 2026. URL: https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL (дата обращения: 05.10.2026).
7. Mirabella, N., Castellani, V. & Sala, S. Current Options for the Valorization of Food Manufacturing Waste: A Review // Journal of Cleaner Production. – 2014. – T. 65.
8. Poudel A., Zhang M., Jia L., Arvelli S., Lee J., Arabi N., Babaei S., Peng H., Zhao J. Bioconversion of Wheat Bran into High-Value Products: A Review of Pretreatment Methods and Microbial Applications // ACS Food Science & Technology. – 2026. – T. 6.
9. Sagar N.A., Pareek S., Sharma S., Yahia E.M., Lobo M.G. Fruit and Vegetable Waste: Bioactive Compounds, Their Extraction, and Possible Utilization. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2018. – Vol. 17. – P. 512–531.
10. Sharma A., Singh G.R., Singh B.R., Chauhan N., Kumar V., Yadav M.K. Study the drying characteristics of apple pomace // International Journal of Chemical Studies. – 2017. – T. 5, № 3.
11. Singh P.P., Bawa A.S. Utilization of tomato pomace in food processing // Journal of Food Science and Technology. – 1998.

References

1. Antonic B, Jancikova S, Dordevic D, Tremlova B. [Apple pomace as food fortification ingredient: A systematic review and meta-analysis] // Journal of Food Science. – 2020. – Vol. 85, No. 10. – P. 2977–2985. – DOI: 10.1111/1750–3841.15449. (In Russ.)
2. [Agricultural Production Statistics] (data obrashcheniya: 18.08.2026) – URL: https://stat.uz. (In Russ.)
3. Al-Sayed H.M.A., Ahmed A.R. Al-Sayed H.M.A., Ahmed A.R. Utilization of watermelon rinds and sharlyn melon peels as a natural source of dietary fiber and antioxidants in cake // Annals of Agricultural Science. – 2013. – Vol. 58, No. 1. – P. 83–95.
4. Ashoka S. et al. Physico-chemical Properties and Nutritional Composition of Watermelon (Citrullus lanatus) and its Rind Flour // Biological Forum. – 2022. – Vol. 14. – P. 505–510.
5. Bhat M.A., Ahsan H. Quality Characteristics of Freeze and Cabinet Dried Tomato Pomace // International Journal of Pure & Applied Bioscience. – 2018. – Vol. 6. – P. 891–897.
6. FAO. FAOSTAT: Production – Crops and livestock products // Food and Agriculture Organization of the United Nations. – 2026. – URL: https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL. (accessed 07.10.2026)
7. Mirabella, N., Castellani, V. & Sala, S. Current Options for the Valorization of Food Manufacturing Waste: A Review // Journal of Cleaner Production. – 2014. – Vol. 65.
8. Poudel A., Zhang M., Jia L., Arvelli S., Lee J., Arabi N., Babaei S., Peng H., Zhao J. Bioconversion of Wheat Bran into High-Value Products: A Review of Pretreatment Methods and Microbial Applications // ACS Food Science & Technology. – 2026. – Vol. 6.

9. Sagar N.A., Pareek S., Sharma S., Yahia E.M., Lobo M.G. Fruit and Vegetable Waste: Bioactive Compounds, Their Extraction, and Possible Utilization. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2018. – Vol. 17. – P. 512–531.
10. Sharma A., Singh G.R., Singh B.R., Chauhan N., Kumar V., Yadav M.K. Study the drying characteristics of apple pomace // International Journal of Chemical Studies. – 2017. – Vol. 5, No. 3.
11. Singh P.P., Bawa A.S. Utilization of tomato pomace in food processing // Journal of Food Science and Technology. – 1998.