

КИНЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУШКИ АЙВЫ

¹Н.В. АЛЕКСЕЕВА *, ^{1,2}М.И. САТАЕВ , ^{1,2}А.М. АЗИМОВ ,
¹З.М. ШАКИРЬЯНОВА , ²Ш.Е. ДУИСЕБАЕВ , ²Ж.С. АШИРБАЕВ 

(¹ТОО «InnovTechProduct», Республика Казахстан, 160012,

г. Шымкент, 18 микрорайон, дом 17, квартира 7

²Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова,

Республика Казахстан, 160012,

г. Шымкент, проспект Тауке хана, 5)

Электронная почта автора-корреспондента: nina_vadimovna@mail.ru*

Последнее десятилетие в мире человечество опирается на правильное питание. Правильное питание, как доказано рядом исследований, продлевает здоровую жизнь. В рацион здорового питания входят полезные продукты, одним из которых является и айва, она характеризуется ценным составом. Значимым вопросом в науке является сохранение полезного продукта. Методом, позволяющим сохранить ценные вещества, является сушка. В нашей работе рассматривается конвективная сушка срезов айвы. Установление кинетических характеристик процесса позволит варьировать их с целью улучшения результатов, а именно повысить качество высушиваемого образца. Целью работы является разработка объективных режимных параметров сушки пластов айвы толщиной 1,5-5 мм. Нами были определены основные кинетические характеристики процесса конвективной сушки айвы. Построены кривые скорости удаления воды. При проведении экспериментов мы варьировали технологические параметры, которые могли повлиять на качество сушки. В результате анализа основных показателей сушки были определены нюансы при удалении влаги из образцов айвы. Итогами экспериментов было установление целесообразной системы сушки срезов айвы толщиной 1,5-5 мм. Установлено два периода влагоудаления срезов айвы. Оптимальное время 10-12 ч. Достигнута конечная влажность сушеного образца не более 24%, что соответствует типичным требованиям для сухофруктов. Рекомендуемая скорость сушильного агента 3 м/с.

Ключевые слова: айва, химический состав, характеристики айвы, сушка, конвективный подвод энергии, кривые сушки, температурные режимы сушки.

АЙВА КЕПТІРУДІҢ КИНЕТИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫ

¹Н.В. АЛЕКСЕЕВА*, ^{1,2}М.И. САТАЕВ, ^{1,2}А.М. АЗИМОВ,
¹З.М. ШАКИРЬЯНОВА, ²Ш. Е.ДУИСЕБАЕВ, ²Ж.С. АШИРБАЕВ

(¹«InnovTechProduct» ЖШС, Қазақстан Республикасы,

Шымкент қ., 18 мөлтек ауданы, 17 үй, 7 пәтер

²М. Әуезов атындағы оңтүстік Қазақстан университеті,

Қазақстан Республикасы, 160012,

Шымкент қ., Тәуке хан даңғылы, 5)

Автор-корреспонденттің электрондық поштасы: nina_vadimovna@mail.ru*

Әлемдегі соңғы онжылдықта адамзат дұрыс тамақтануға сүйенді. Мұның мәні – салауатты өмірді ұзарту, осындай пайдалы тағамдардың бірі – айва, ол құнды құраммен сипатталады. Ғылымдағы негізгі мәселелердің бірі – пайдалы өнімді сақтау. Өнімнің пайдалы заттарын сақтай алатын әдіс кептіру болып табылады. Біздің жұмысымыз айва қиындыларын конвективті кептіруді қарастырады. Процестің кинетикалық сипаттамаларын белгілеу нәтижелерді, атап айтқанда кептірілген үлгінің сапасын жақсарту мақсатында оларды өзгертуге мүмкіндік береді. Жұмыстың мақсаты – қалыңдығы 1,5-5 мм айва қабаттарын кептірудің объективті режимдік параметрлерін жасау. Біз айваны конвективті кептіру процесінің негізгі кинетикалық сипаттамаларын анықтадық. Суды кетіру жылдамдығының қисықтары салынған. Эксперименттер жүргізу кезінде кептіру сапасына әсер етуі мүмкін технологиялық параметрлер әр түрлі болды. Кептірудің негізгі көрсеткіштерін талдау нәтижесінде айва үлгілерінен ылғалды кетіру кезінде нюанстар анықталады. Эксперименттердің нәтижелері бойынша қалыңдығы 1,5-5 мм айва кесінділерін кептірудің орынды жүйесі орнатылды. Айва қиындыларынан ылғалды жоюдың екі кезеңі

белгіленді. Оңтайлы уақыт 10-12 сағ. Кептірілген үлгінің соңғы ылғалдылығына 24% - дан аспайды, бұл кептірілген жемістерге тән талаптарға сәйкес келеді. Кептіру агентінің ұсынылатын жылдамдығы 3 м/с.

Негізгі сөздер: айва, химиялық құрамы, айва сипаттамалары, кептіру, конвективті энергия беру, кептіру қисықтары, кептірудің температуралық режимдері.

KINETIC CHARACTERISTICS OF QUINCE DRYING

¹N.V. ALEXEYEVA*, ^{1,2}M.I. SATAYEV, ^{1,2}A.M. AZIMOV, ¹Z.M. SHAKIRYANOVA,
²S.E. DUISEBAYEV, ²ZH.S. ASHIRBAYEV

(¹«InnovTechProduct» LLP, Kazakhstan, Shymkent, 18th microdistrict, building 17, flat 7
²M. Auezov South Kazakhstan University, Kazakhstan, 160012, Shymkent, Tauke khan avenue, 5)
Corresponding author's email: nina_vadimovna@mail.ru*

For the last decade, humanity has been relying on healthy nutrition in the world. The essence of nutrition is the prolongation of a healthy life. One of these useful products is quince. It is characterized by a valuable nutrient and chemical composition. One of the key issues in science is the preservation of a useful product. This method is drying. In our work, convective drying of quince slices is considered. Establishing the kinetic characteristics of the process will allow them to be varied in order to improve the results, namely the quality of the dried sample. The aim of the research is to develop objective regime parameters for drying quince beds 1.5-5 mm thick. We have determined the main kinetic characteristics of the convective drying of quince. Curves of the water removal rate are designed. During the experiments, the technological parameters that could affect the drying quality were varied. As a result of the analysis of the main drying parameters, the nuances of removing moisture from quince samples were determined. As a result of the experiments, an expedient system for drying quince slices with a thickness of 1.5-5 mm was established. Two periods of moisture removal of quince slices have been established. The optimal time is 10-12 hours. The final moisture content of the dried sample was not more than 24%, which meets the typical requirements for dried fruits. The recommended drying agent speed is 3 m/s.

Keywords: quince, chemical composition, characteristics of quince, drying, convective energy supply, drying curves, drying temperature conditions.

Введение

В последние десятилетия современный мир обратил внимание на правильное питание. Суть правильного питания – это продление здоровой жизни человека [1]. В этом ключе нами было обращено внимание на айву. Состав плодов айвы богат сахарами (5...19%); есть в составе кислоты со следующим процентным составом (0,2...2,9%); также очень полезны для создания новых нужных продовольственных товаров пектиновые вещества (0,2...2,9%). Не последнее для правильного питания – аскорбиновая кислота. В свежей айве ее содержится 3...50 мг/100 г. Исходя из данного состава можно утверждать, что плоды айвы рекомендуются в диетическом питании.

Перед проведением опытов мы зафиксировали существование классических методов хранения пищевой продукции. Это, например, «шоковая» заморозка, а также сублимационная сушка. Но названные методы уступают актуальной востребованности хранения пищевых продуктов. Они нуждаются в модернизации и убавлении удельных

энергозатрат в виду того, что удельным энергозатратам характерны высокая энергоемкость. При обычном замораживании и конвективном влагоудалении такого не наблюдается. Хотя, конечно, при данных методах потребительские свойства готовой продукции уступают. Характеристики качества готового изделия можно изменить в лучшую сторону. Для этого всего лишь можно снизить технологические лимиты процесса влагоудаления [2, 3].

Нами была использована конвективная сушка [4]. Органолептические показатели, влияющие на качество высушенной айвы: вкус и запах. При анализе показателей сушения исследуемого продукта нами был сделан вывод, что сам процесс дегидратации сырья оказывает на них непосредственное влияние. В результате процесса наблюдаются изменения структуры и свойств айвы. Метод конвективной сушки айвы сопровождается биохимическими изменениями, что влияет на результат продовольственного продукта. Получаем айву с новыми характеристиками. Высушенная айва обладает

новым ароматом, у нее измененный вкус. Готовый продукт имеет другую массу и влажность. Чтобы получить продукт с лучшими свойствами необходимо соблюдать технологию процесса. При рассмотрении диаграмм проведения экспериментов требуется соблюдать основные принципы конвективной сушки, которая проходит этапами.

Цель исследования: разработка объективных параметров сушки слоев айвы толщиной 1,5-5 мм.

Объекты исследования: кинетические характеристики сушки айвы.

Материалы и методы исследований

Установленные опыты проводились в испытательной региональной лаборатории инженерного профиля «Конструкционные и биохимические материалы» Южно-Казахстанского университета им. М. Ауэзова (г. Шымкент, ул. Тауке хана, 5), ТОО «InnovTechProduct», г. Шымкент. Опытные наблюдения выполнялись в весенние и летние месяцы.

Диапазон исследуемых режимов конвективной сушки был выбран таким образом, чтобы обеспечить сохранение полезных элементов в плодах [4]. Для достижения установленной цели нами применялись нормативные методики верификации готовой продукции из растительного сырья [5]. В научных изысканиях задействована айва Туркестанской области.

Эксперименты проводились на лабораторной конвективной сушильной установке при температурах нагрева от 60 до 80°C с шагом 5 градусов. Плоды сушили на поддонах в один слой. Каждые два часа проводили замер параметров. Контролируемыми параметрами сушки являлись температура нагрева (°C), массовая доля влаги плодов (%) [6]. Полученные итоговые характеристики высушенной айвы сравнивали с нормативными значениями.

Для проведения наблюдений мы использовали высокоэффективный жидкостной хроматограф марки HP 3900 MXL. В структуру

данного хроматографа входит изократический насос. Также для опытов был использован спектрофотографический детектор. Для достижения цели научно-исследовательской работы задействовали газовый хроматограф. Этот хроматограф отличается тем, что у него есть пламенно-ионизационный детектор. Для проведения экспериментов и получения результатов нам необходимо варьировать давление. Для этого имеется система регулирования давления HP 3000 CR, имеющаяся в описанном хроматографе [7,8,9]. Для исследования была выбрана айва Туркестанской области. Перед началом экспериментов мы проверили сырье на соответствие типовым требованиям.

Результаты и их обсуждение

Технология сушки айвы проходит при ступенчатых режимах сушки. Известно, что алгоритм конвективного сушения фруктов преимущественно эффективно осуществлять при температуре сушильного агента 60...80°C [4]. При этом биохимические реакции протекают не так выражено.

Метод сушки айвы стартует при 65°C, это температура газа. В роли газа выступает воздух. Затем по условиям эксперимента мы поднимаем температуру воздуха. Она достигает 75°C. Далее производим варьирование температуры на снижение. Этот период занимает третью часть, а именно итоговое время дегидратации. На данном этапе температура 65°C. Общее установленное время дегидратации айвы занимает 16 часов.

Нам необходимо установить качество осуществления процесса сушки. Ориентироваться следует на зависимости от множества факторов по кривой сушки. Она представляет собой графическое изображение изменения влагосодержания во времени W-т. Чтобы изобразить кривую дегидратации айвы по снижению ее массы, необходимо наблюдать динамику преобразования ее влагосодержания.

Для подсчета влагосодержания остановимся на следующей математической формуле (-1) [10]:

$$\omega = W/Mo \cdot 100, \% \quad (1)$$

где: ω - влажность продукта, %

Mo - масса продукта, г

W - масса влаги в продукте, г.

После каждого опыта рассчитываем процентное содержание влажности в слайсах айвы. Полученные значения откладываем на диаграмме сушки.

Для получения экспериментальных данных выполняем контрольное взвешивание массы высушиваемого ломтика

периодичностью каждые два часа после начала высушивания (у нас это интервал от 2 до 16 ч). По итогам опытов представим кривую сушки.

После этого мы будем определять массу влаги в продукте W для каждого взвешивания. Для этого нам необходимо обратиться к следующей формуле (2) [10]:

$$W = M_0 - M_{с.в.}, \text{ г}, \quad (2)$$

где: M_0 – масса продукта, г

W – масса влаги в продукте, г

$M_{с.в.}$ – масса сухих веществ, г.

Далее подставляем полученные данные в формулу (1), для определения изменения влажности продукта в течение всего периода сушки. Будем применять полученные данные из

опытов для изображения графика зависимости влажности слайсов айвы от продолжительности высушивания (рис. 1).

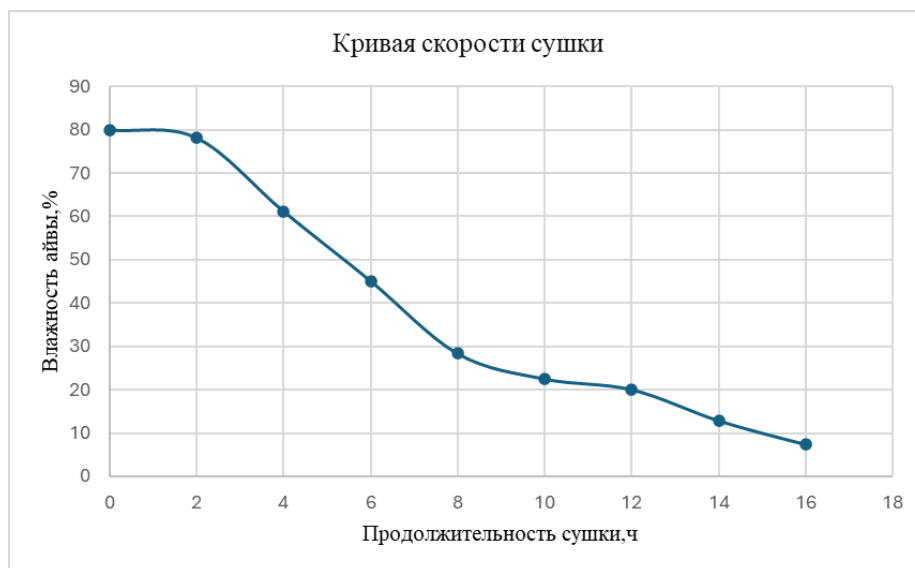


Рисунок 1. Кривая скорости сушки

Для истолкования выводов по нашей теме исследования проанализируем кривую скорости сушки слайсов айвы.

На диаграмме выделяются два участка высушивания айвы. Первый участок занимает период по времени от 0 ч до 8 ч. Сначала идет

период подогрева продукта (0...2) ч. На него затрачено по времени 2 ч сушки. Данная стадия характеризуется небольшой потерей влаги. Период интенсивной сушки айвы проходит от 2 до 16 часов. Отмечаются два таких шага (таб.1).

Таблица 1. Сушка айвы

Номер шага	Мощность, Вт	Скорость воздуха v , м/с	Период, с
1	850	$4,2 \times 10^{-4}$ (1,5 м/с)	0-28800 (0 - 8 ч)
2	850	$8,3 \times 10^{-4}$ (3,0 м/с)	28800-57600 (8 -16 ч)

Как видно из таблицы 1, значение скорости сушки увеличиваем от 1,5 до 3 м/с. Анализируя диаграмму, наблюдаем снижение

влажности ввиду удаления влаги из опытных образцов айвы в равном объеме (рис.1). Через 10 ч достигается критическая точка

высушивания ломтиков айвы. Эту точку мы назовем критическим влагосодержанием (точка 10 ч на диаграмме). Критическое влагосодержание – граница между периодом постоянной (1-й период) и падающей (2-й период) скоростями сушки. На установленной ступени происходит сильное удаление влаги. Этот эффект наблюдается за счет снижения объема свободной воды. В экспериментах происходит активное парообразование. Данное явление уменьшает возможность перегрева образца. Поэтому при проведении опытов усадку айвы не учитывали. Было замечено: при увеличении процентного содержания сухого остатка, промежутки между мицеллами наоборот растут. Прослеживается формирование внутренней капиллярно-пористой структуры сушеных слайсов. Условия проведения экспериментов показывают, что скорости сушки варьируются. Это ведет к изменению температуры образца. Продолжительность первого периода по времени составила первые 10 часов сушки.

После 10 ч сушки айвы кривая скорости меняется незначительно (период 10 - 12 ч) (рис.1). Период 10-12 ч можно назвать равновесным влагосодержанием. Незначительные изменения скорости сушки можно объяснить тем, что содержание влаги в сушеной айве невысокое. Получив такие результаты экспериментов, мы можем

установить механизм регулирования процесса сушки айвы.

После 12 ч сушки происходит снижение скорости сушки сухофрукта из айвы за счет исчезновения связанной влаги в готовых образцах. Это происходит за счет наращивания энергии связи влаги с материалом.

Через 16 ч сушки получаем сухофрукт айвы влажностью 7,37 %, т.е. пересушенный готовый продукт. Образцы айвы темно-коричневого (бурого) цвета, запах с примесью жженного.

Для установления объективных параметров конвективной сушки слайсов айвы будем использовать следующие показатели процесса. Таковыми будут температура теплоносителя не более 80°C. При проведении экспериментов, если температура воздуха была выше указанного значения, получали готовый продукт с низкими потребительскими свойствами [11]. Айва получалась подгорелой, невкусной, с сожженным ароматом. Скорость теплоносителя в ходе опытов не была выше по значению критической скорости уноса продукта.

Влажность сушеной айвы определяли методом высушивания в вакууме [12]. Результаты экспериментов по определению влажности объекта исследования с относительной погрешностью не выше 3,22% $W \varepsilon$ = представлены в таблице 2.

Таблица 2. Полученные данные в ходе опытов по определению содержания влаги в слайсах айвы

Номер эксперимента	Влажность слайса айвы, W , %	Концентрация связанной воды, %	Концентрация свободной воды, %
1	80	34	36,3
2	78,2	34	40,6
3	61,22	34	38,8
4	45,14	34	37,9
5	28,37	34	39,7
6	22,53	34	37,6
7	20,06	34	38,5
8	12,87	34	37,6
9	7,37	34	37,2

Технология сушки айвы задана режимными параметрами (температура и скорость сушильного агента), в заданных диапазонах. Предел температуры 80°C. Если устанавливать более высокую температуру, готовый продукт как минимум перегревается,

трескается. Скорость сушильного агента диктуется пределами вентилятора калорифера (4,5 м/с).

При исследовании срезов сушеной айвы определена удельная производительность при влагоудалении Y , кг/(м²·ч) формуле [12].

$$Y = M \cdot (\tau \cdot S) \quad (3)$$

где: M – масса ломтиков на длине участка диска, равной длине ломтика;
 τ – продолжительность сушки, (час);
 S – площадь поверхности, (м^2).

Конвективное влагоудаление долек айвы при скорости воздуха 1,5 м/с (линия 1); 2 м/с (линия 2); 3 м/с (линия 3) показано на рисунке 2.

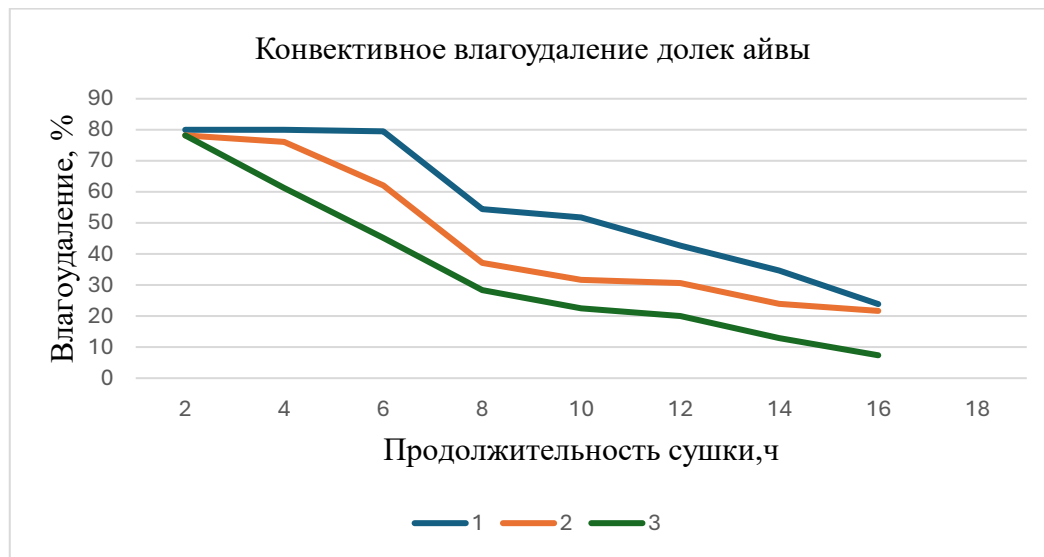


Рисунок 2. Диаграммы конвективного влагоудаления долек айвы

Построенные графики демонстрируют качество сушки срезов айвы толщиной 1,5-5 мм в зависимости от скорости газового потока. Чем ниже скорость, тем продолжительнее процесс влагоудаления. При скорости воздуха 1,5 м/с; 2 м/с; длительность сушки увеличивается до 14 - 16 ч для получения оптимальной влажности готового продукта, не более 24%. Как мы понимаем, чем длительнее процесс, тем качество готового продукта, т.е. его потребительские свойства ухудшаются. При скорости воздуха 3 м/с (линия 3) время оптимальной сушки 10 – 12 час. При такой скорости воздуха и длительности процесса влажность сушеной айвы 20,06...22,53 %. При таких значениях сухофрукт из айвы получается приятного желтого цвета с запахом, свойственным запаху айвы.

Как ранее отмечено, кинетика сушки айвы проходит в два этапа. Этот вывод не противоречит известной теории сушки [12,13].

После первых двух часов сушки определили влажность слайсов айвы. Она эквивалентна гигроскопической величине. Далее в ходе опытов видим, что идет исчезновение влаги из айвовых долек в

связанном состоянии. При этом усадка фруктовых образцов сильно сокращается.

Второй этап можно отметить апогеем скорости. Это создает углубление зоны парообразования благодаря разницы между двумя величинами. Одна величина – количество удаляемой воды с поверхности слайсов. Вторая величина – движущаяся вода из внутренних слоев образцов [12]. Величина температуры образцов может достичь температуры воды (теплоносителя). Это может привести к вероятности локального растрескивания слайсов.

Сущность влагопереноса содержит специфические особенности: физико-химические свойства образцов [13]. Физико-химические свойства образцов влияют на механизм обезвоживания и температурные режимы сушки айвы.

Построенные кривые (рис. 2) свидетельствуют о температурных перепадах из-за физико-химических свойств объекта наблюдения.

Диаграммы экспериментов показывают: концентрации сухого остатка айвы и значения его температур не выше по значению критических величин 360 К. Поэтому можно

сделать выводы о сохранении показателей качества, т.е. свойств сухих образцов айвы.

Нами определена среднеобъемная температура слайсов айвы. На графике мы наблюдаем ее рост пошагово (рис. 2). Проводим влагоудаление до содержания сухих веществ в них 65%. Таким образом исходя из наблюдений и по графику мы увидели первую точку на кривой. Данная точка иллюстрирует степень сушки. При анализе и построении кривой нами было замечено, мы получаем концентрацию сухого остатка айвового образца. Эта величина стремится к гигроскопическому значению. Отмечаем варьирование температуры. При этом влагоперенос в айвовых образцах в опытах активный. В ходе мониторинга зафиксировали: происходит рост температуры. Мы думаем, что это происходит за счет теплового эффекта при уходе воды в связанном состоянии. При указанном методе сушки мы получили сухофрукт айвы с влажностью не более 24 %.

В ходе многочисленных экспериментов мы обнаружили: для получения качественного сухофрукта айвы нужно устанавливать незначительный температурный интервал. Это позволит сохранить показатели потребительских свойств готового пищевого растительного продукта [12, 14].

Среднеобъемные величины температур позволяют фиксировать особенности метода сушки растительной продукции. Таким образом, наш процесс характеризуется температурным интервалом от 65 до 80°C (339...354 K). Эти значения не являются предельными в данной технологии сушки [12, 15]. На основании полученных результатов экспериментов сушки айвы исследованные регламенты температур конвективной сушки образцов айвы предлагаются для применения в производстве.

Заключение, выводы

В результате проведенных научных исследований по теме статьи планируемые результаты были достигнуты.

Определены кинетические характеристики конвективной сушки слайсов айвы, т.е. скорость воздуха, продолжительность процесса.

Составлены кривые скорости удаления воды из опытных образцов при варьировании скорости воздуха от 1,5 до 3 м/с. Описаны нюансы процесса.

Установлены оптимальное время и эффективные параметры обезвоживания для

режима сушки слайсов из айвы. Оптимальное время – 10-12 ч сушки высушивания срезов айвы толщиной 1,5-5 мм. Рекомендуемая скорость воздуха – 3 м/с. Влажность сухой айвы не более 24%. Данные параметры рекомендуются для промышленного внедрения.

Варьирование скорости сушки представленного сырья при наблюдении при заданных условиях данного процесса определили качество сушки, удельную производительность процесса и ее рациональное значение.

Опыты в методе конвективной сушки получения сухофрукта айвы определили нюансы дегидратации образцов айвы. Описан нами процесс высушивания айвы и непосредственно механизм влагоудаления из опытных образцов, что имеет научное значение при проведении процесса.

Финансирование

Указанные исследования проведены при поддержке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, грант AP19678142 (2023-2025).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Townsend JR, Kirby TO, Marshall TM, Church DD, Jajtner AR, Esposito R. Foundational Nutrition: Implications for Human Health. *Nutrients*. 2023 Jun 22;15(13):2837. doi: 10.3390/nu15132837. PMID: 37447166; PMCID: PMC10343467.
2. Rana S. S., Pradhan R. C., Mishra S. Optimization of chemical treatment on fresh cut tender jackfruit slices for prevention of browning by using response surface methodology // *International food research journal*. – 2018. – V. 25. – №. 1.
3. Rana, S.S., Pradhan, R.C. & Mishra, S. Variation in properties of tender jackfruit during different stages of maturity. *J Food Sci Technol* 55, 2122–2129 (2018). <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3127-9>
4. P.V. Alfiya, E. Jayashree, K.V. Theertha. Conventional sun drying and infrared convective drying of spices: A comparative evaluation on kinetics and quality. *Solar Energy*, Volume 291, 2025, 113396, ISSN 0038-092X, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2025.113396>
5. Calín-Sánchez, Lipan L, Cano-Lamadrid M, Kharaghani A, Masztalerz K, Carbonell-Barrachina A, et al. Traditional and Novel Drying Techniques. *Encyclopedia*. Available at: <https://encyclopedia.pub/entry/2195>. Accessed April 22, 2025.
6. Akash Shelake*, Mrs. Jaya D. Kamble, Dr. Nilesh Chougule, HPLC Development Method and Validation, *Int. J. of Pharm. Sci.*, 2024, Vol 2, Issue 11, 910-919. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14203300>

7. Kataria S, Prashant B, Akanksha M, Premjeet S, Devashish R. Gas Chromatography Mass Spectrometry: Applications. *International Journal of Pharmaceutical & Biological Archives* 2011; 2(6) 1544-1560
8. Dass C. *Fundamentals of Contemporary Mass Spectrometry*. Hoboken: John Wiley and Sons; 2007.
9. Sparkman OD, Penton Z, Kitson FG. *Gas Chromatography and Mass Spectrometry: A Practical Guide*. Oxford: Academic Press; 2011.
10. M A Akenchenko *et al.* Kinetics model of convective drying *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2021. 640 072005
11. Mutuli, G.P., Gitau, A.N. & Mbugue, D.O. Convective Drying Modeling Approaches: a Review for Herbs, Vegetables, and Fruits. *J. Biosyst. Eng.* 45, 197–212 (2020). <https://doi.org/10.1007/s42853-020-00056-9>
12. Алексанян И.Ю., Буйнов А.А. Высокоинтенсивная сушка пищевых продуктов. Пеносушка. Теория. Практика. Моделирование: монография. Астрахань: АГТУ, 2004. 380 с.
13. Холманский А.С., Тилов А.З., Сорокина Е.Ю. Физико-химическое моделирование процесса сушки овощей и фруктов // *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 5. - URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=6900> (дата обращения: 21.04.2025).
14. Yi J., Zhou L., Bi J. Influence of pre-drying treatments on physicochemical and organoleptic properties of explosion puff dried jackfruit chips // *J Food Sci Technol*. 2016. Vol. 53. No. 2. P. 1120-1129.
15. Немеущая Л.А., Степанищева Н.М., Соломатин Д.М. Современные технологии хранения и переработки плодовоовощной продукции. -М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2009. -172 с.

REFERENCES

1. Townsend J.R., Kirby T.O., Marshall T.M., Church D.D., Jajtner A.R., Esposito R. Foundational Nutrition: Implications for Human Health. *Nutrients*. 2023 Jun 22;15(13):2837. doi: 10.3390/nu15132837. PMID: 37447166; PMCID: PMC10343467.
2. Rana S.S., Pradhan R.C., Mishra S. Optimization of chemical treatment on fresh cut tender jackfruit slices for prevention of browning by using response surface methodology. *International Food Research Journal*. 2018;25(1).
3. Rana S.S., Pradhan R.C., Mishra S. Variation in properties of tender jackfruit during different stages of maturity. *Journal of Food Science and Technology*. 2018;55:2122–2129. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3127-9>
4. Alfiya P.V., Jayashree E., Theertha K.V. Conventional sun drying and infrared convective drying of spices: A comparative evaluation on kinetics and quality. *Solar Energy*. 2025;291:113396. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2025.113396>
5. Calín-Sánchez A., Lipan L., Cano-Lamadrid M., Kharaghani A., Masztalerz K., Carbonell-

Barrachina A., et al. Traditional and Novel Drying Techniques. *Encyclopedia*. Available at: <https://encyclopedia.pub/entry/2195>. Accessed April 22, 2025.

6. Shelake A., Kamble J.D., Chougule N. HPLC Development Method and Validation. *International Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2024;2(11):910–919. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14203300>

7. Kataria S., Prashant B., Akanksha M., Premjeet S., Devashish R. Gas Chromatography Mass Spectrometry: Applications. *International Journal of Pharmaceutical & Biological Archives*. 2011;2(6):1544–1560.

8. Dass C. *Fundamentals of Contemporary Mass Spectrometry*. Hoboken: John Wiley and Sons; 2007.

9. Sparkman O.D., Penton Z., Kitson F.G. *Gas Chromatography and Mass Spectrometry: A Practical Guide*. Oxford: Academic Press; 2011.

10. Akenchenko M.A., et al. Kinetics model of convective drying. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;640:072005.

11. Mutuli G.P., Gitau A.N., Mbugue D.O. Convective Drying Modeling Approaches: a Review for Herbs, Vegetables, and Fruits. *Journal of Biosystems Engineering*. 2020;45:197–212. <https://doi.org/10.1007/s42853-020-00056-9>

12. Aleksanyan I.Yu., Buinov A.A. Vysokointensivnaya sushka pishchevykh produktov. Penosushka. Teoriya. Praktika. Modelirovanie: monografiya [High-intensity drying of food products. Foam drying. Theory. Practice. Modeling: monograph]. Astrakhan: ASTU, 2004. 380 p. (In Russian)

13. Kholmanskiy A.S., Tilov A.Z., Sorokina E.Yu. Fiziko-khimicheskoe modelirovanie protsesss sushki ovoshchey i fruktov [Physico-chemical modeling of vegetable and fruit drying process] // *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2012. № 5. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=6900> (Accessed: 21.04.2025). (In Russian)

14. Yi J., Zhou L., Bi J. Influence of pre-drying treatments on physicochemical and organoleptic properties of explosion puff dried jackfruit chips. *Journal of Food Science and Technology*. 2016;53(2):1120–1129.

15. Nemenushchaya L.A., Stepanishcheva N.M., Solomatina D.M. Sovremennye tekhnologii khraneniya i pererabotki plodoovoshchnoy produktsii [Modern technologies of storage and processing of fruit and vegetable products]. Moscow: FGNU "Rosinformagrotekh", 2009. 172 p. (In Russian)