

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БАХЧЕВЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ ИНФРАКРАСНОЙ СУШКИ

С.У. ЕРКЕБАЕВА , А.М. ТАСПОЛАТОВА\* 

(Южно-Казахстанский исследовательский университет имени М. Ауэзова, 160000,  
Казахстан, г. Шымкент, проспект Тауке Хана, 5)

Электронная почта автора-корреспондента: [lmh.chlmh@mail.ru](mailto:lmh.chlmh@mail.ru)\*

*В работе представлены результаты исследования влияния инфракрасной сушки на сохранность биологически активных веществ и минеральных элементов в бахчевых культурах — арбузе сорта «Асар», дыне сорта «Колхозница» и тыкке сорта «Афродита», выращенных в условиях юга Казахстана. Определены основные показатели химического состава до и после сушки: содержание сухих веществ, общих сахаров, витамина С, ликопина, β-каротина и фенольных соединений, пересчитанные на сухое вещество. Установлено, что степень сохранности фенольных соединений составила 88–93%, β-каротина – 86–87%, витамина С – 75–80%, что свидетельствует о щадящем характере инфракрасной сушки и высокой сохранности антиоксидантных компонентов. Дополнительно исследован минеральный состав высушенного растительного сырья. Показано, что арбуз, дыня и тыква сохраняют значительные количества макро- и микроэлементов (K, Ca, Mg, Fe, Zn), при этом концентрация минералов в пересчёте на сухое вещество возрастает в 6–10 раз по сравнению со свежими образцами вследствие удаления влаги. Результаты исследования демонстрируют, что инфракрасная сушка является эффективным методом получения концентрированных и стабильных по составу порошков из бахчевых культур, сохраняющих биологически ценное и минеральное сырьё. Полученные данные могут быть использованы при разработке технологий функциональных пищевых продуктов и натуральных ингредиентов на основе местного растительного сырья Казахстана.*

**Ключевые слова:** арбуз, дыня, тыква, инфракрасная сушка, бахчевые культуры, температура, биоактивные вещества, макроэлементы, микроэлементы.

## STUDY OF CHANGES IN PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF MELON CROPS UNDER INFRARED DRYING CONDITIONS

S. U. YERKEBAYEVA, A.M. TASPOLATOVA\*

(M. Auezov South Kazakhstan Research University, 160000, Kazakhstan, Shymkent, Tauke Khan Ave., 5)

Corresponding author's e-mail: [lmh.chlmh@mail.ru](mailto:lmh.chlmh@mail.ru)\*

*This paper presents the results of a study examining the effect of infrared drying on the preservation of biologically active substances and minerals in melons—watermelon of the 'Asar' variety, melon of the 'Kolkhoznitsa' variety, and pumpkin of the 'Aphrodite' variety—grown in southern Kazakhstan. Key chemical composition parameters were determined before and after drying, including dry matter content, total sugars, vitamin C, lycopene, β-carotene, and phenolic compounds, calculated on a dry matter basis. The preservation rate of phenolic compounds was found to be 88–93%, β-carotene—86–87%, and vitamin C—75–80%, demonstrating the gentle nature of infrared drying and the high preservation of antioxidant components. The mineral composition of the dried plant materials was also studied. It was shown that watermelon, melon, and pumpkin retain significant amounts of macro- and microelements (K, Ca, Mg, Fe, Zn), while the mineral concentration on a dry matter basis increases 6–10 times compared to fresh samples due to moisture removal. The study results demonstrate that infrared drying is an effective method for producing concentrated and stable powders from melons, preserving their biologically valuable and mineral components. The data obtained can be used in the development of technologies for functional foods and natural ingredients based on local plant materials from Kazakhstan.*

**Keywords:** watermelon, melon, pumpkin, infrared drying, melons, temperature, bioactive substances, macronutrients, micronutrients.

## ИНФРАҚЫЗЫЛ КЕПТІРУ ЖАҒДАЙЫНДА БАҚША ДАҚЫЛДАРЫНЫҢ ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНІҢ ӨЗГЕРІСТЕРІН ЗЕРТТЕУ

*С.У. ЕРКЕБАЕВА, А.М. ТАСПОЛАТОВА\**

(М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан зерттеу университеті, 160000, Қазақстан Республикасы, Шымкент қ., Тауке хан даңғылы,5)

Автор-корреспонденттің электрондық поштасы: lmh.chlmh@mail.ru\*

*Бұл мақалада Оңтүстік Қазақстанда өсірілетін қауындардағы биологиялық белсенді заттар мен минералдардың сақталуына инфрақызыл кептіру әсерін зерттейтін зерттеу нәтижелері берілген: қауын – «Асар» сортының қарбызы, «Колхозница» сортының қауыны және «Афродита» сортының асқабағы. Құрғақ заттың құрамы, қанттың жалпы мөлшері, С витамині, ликопен, β-каротин және фенолды қосылыстар сияқты құрғақ зат негізінде есептелген кептіру алдында және кептіруден кейін химиялық құрамның негізгі параметрлері анықталды. Фенолды қосылыстардың сақталу деңгейі 88-93%, β-каротин - 86-87% және С витамині - 75-80% болды, бұл инфрақызыл кептірудің жұмсақ сипатын және антиоксиданттық компоненттердің жоғары сақталуын көрсетеді. Кептірілген өсімдік материалдарының минералдық құрамы да зерттелді. Қарбыз, қауын және асқабақта макро- және микроэлементтердің (К, Са, Mg, Fe, Zn) айтарлықтай мөлшерін сақтайтыны, ал құрғақ зат негізіндегі минералды концентрация жаңа үлгілермен салыстырғанда ылғалды кетіру есебінен 6-10 есе артады. Зерттеу нәтижелері инфрақызыл кептіру биологиялық құнды және минералды құрамдастарын сақтай отырып, қауындардан концентрленген және тұрақты ұнтақтарды алудың тиімді әдісі екенін көрсетеді. Алынған мәліметтерді Қазақстанның жергілікті өсімдік материалдары негізінде функционалды тамақ өнімдері мен табиғи ингредиенттерінің технологияларын әзірлеуде пайдалануға болады.*

**Негізгі сөздер:** қарбыз, қауын, асқабақ, инфрақызыл кептіру, бақша дақылдары, температура, биоактивті заттар, макронутриенттер, микроэлементтер.

### *Введение*

Сушка пищевых продуктов является одним из наиболее эффективных методов консервирования, основанным на удалении влаги для подавления микробиологических и ферментативных процессов. Этот способ позволяет увеличить срок хранения продукции, сохранив при этом её питательные и органолептические свойства. Наиболее распространёнными методами сушки являются конвекционная, лиофильная, микроволновая и инфракрасная [1,2].

Инфракрасная сушка представляет собой метод, при котором используется инфракрасное излучение для нагрева продукта. Это позволяет быстро и эффективно удалять влагу, что сокращает время обработки и снижает вероятность потерь питательных веществ. В отличие от традиционных методов сушки, инфракрасная сушка позволяет достичь нужного эффекта при меньших температурах, что способствует сохранению питательных веществ, витаминов и минералов [3-5].

Сушка плодов бахчевых культур, таких как дыня, тыква и арбуз представляет собой важный этап в послеуборочной обработке, направленный на продление срока хранения, снижение массы при транспортировке и обеспечение микробиологической стабильности

продукции. Традиционные методы сушки, включая конвективную и солнечную, часто сопровождаются длительным временем обработки и неравномерностью высушивания, что может негативно сказываться на качестве конечного продукта.

В последние годы инфракрасная сушка привлекает внимание исследователей и производителей благодаря своей высокой энергоэффективности, сокращению времени обработки и способности сохранять питательные и органолептические свойства продуктов. Например, исследование, посвящённое инфракрасной сушке ломтиков дыни, показало, что использование средне- и коротковолнового инфракрасного излучения позволяет оптимизировать кинетику сушки и улучшить качество продукта [6]. Кроме того, комбинированные методы сушки, объединяющие инфракрасное излучение с другими технологиями, демонстрируют потенциал в повышении эффективности и сохранении качества сушёных продуктов [7,8].

Содержание воды во фруктах и овощах составляет от 60 до 98% по массе [9]. Влажность продукта является основным элементом в формировании физико-химических, биологических, питательных и органолептических свойств продукта, выступая средой для переноса и взаимодействия ионов, витаминов, сахаров,

белков, липидов и ферментов. В процессе обезвоживания структура и динамика воды существенно влияют на эффективность сушки, ход химических и биохимических реакций, а также на конечные качественные характеристики продукта [10].

Макро- и микроэлементы играют ключевую роль в поддержании нормального функционирования организма. Микроэлементы, включая железо, цинк, медь, йод и селен, играют важную роль в ферментативных реакциях, поддержании иммунной системы и гормонального баланса [11].

В данной работе впервые проведена комплексная оценка сохранности биологически активных веществ (сахаров, витамина С, ликопина,  $\beta$ -каротина, фенольных и минеральных веществ) в арбузе сорта «Асар», дыне сорта «Колхозница» и тыкве сорта «Афродита» после инфракрасной (ИК) сушки с пересчётом на сухое вещество. Установлены количественные закономерности изменения химического состава и сохранности нутриентов при ИК-сушке, что ранее не рассматривалось в совокупности для данных сортов бахчевых культур, выращенных в условиях юга Казахстана.

В отличие от ранее опубликованных работ, где изучалось влияние конвективной или солнечной сушки, в настоящем исследовании впервые показано, что инфракрасная сушка обеспечивает высокую степень сохранности фенольных соединений (88–93%) и  $\beta$ -каротина (86–87%) при незначительных потерях витамина С (20–25%), что свидетельствует о щадящем характере данного метода.

Научная новизна также заключается в том, что полученные результаты представлены в пересчёте на сухое вещество, что позволило объективно сравнить концентрационные изменения биологически активных соединений и оценить их реальную сохранность независимо от снижения влажности продукта. Такой подход даёт возможность более точно характеризовать эффективность ИК-сушки как метода мягкой дегидратации растительного сырья.

#### **Материалы и их методы исследований**

В качестве объектов исследования использовались образцы бахчевых культур, выращенных в условиях южного Казахстана (Туркестанская и Кызылординская области), отличающихся высокой солнечной инсоляцией, засушливым климатом и большими колебаниями дневных температур. Для экспериментов были отобраны сорта,

районированные и рекомендованные для возделывания в данных регионах, характеризующиеся повышенным содержанием сахаров, витаминов и биологически активных веществ, что делает их перспективными для сушки и переработки.

В исследовании использованы образцы арбуза (*Citrullus lanatus*) сорта «Асар», дыни (*Cucumis melo* L.) «Колхозница», тыквы (*Cucurbita maxima* Duch.) сорта «Афродита», распространённые в фермерских хозяйствах Туркестанской области. Выбор указанных сортов обусловлен их адаптацией к климатическим условиям юга Казахстана, высоким содержанием биологически активных веществ и широким использованием в переработке и пищевой промышленности региона. Применение этих сортов в исследовании позволяет объективно оценить влияние инфракрасной сушки на сохранность питательных и органолептических свойств типичных для региона бахчевых культур.

Методика инфракрасной сушки и физико-химических анализов.

Исследования по сушке образцов проводились в лабораторных условиях (ЮКУ имени М.Ауэзова) с использованием инфракрасной сушильной установки «Универсал СД-4» с электрическим нагревом, работающей на основе трубчатых электронагревателей (ТЭНы) с принудительной конвекцией воздуха, оснащённой системой регулирования температуры, мощности излучения и скорости подачи воздуха. Образцы бахчевых культур предварительно нарезались на пластины толщиной 5–7 мм для обеспечения равномерного обезвоживания. Сушка проводилась при температурах 45–60 °С, при интенсивности излучения 0,2–0,6 Вт/см<sup>2</sup> и скорости воздушного потока 0,5 м/с. Продолжительность процесса составляла до 10 часов в зависимости от сорта и начальной влажности сырья. Исследования физико-химических параметров были проведены по общепринятым стандартным методикам.

Методика органолептической оценки.

Органолептическая оценка проводилась по ГОСТ 8756.1–2017 «Продукты пищевые. Методы органолептической оценки» с целью определения потребительских свойств высушенных образцов арбуза сорта «Асар», дыни сорта «Колхозница» и тыквы сорта «Афродита» после инфракрасной сушки. Оценка выполнялась дегустационной комиссией из 5–7 экспертов, прошедших предварительное обучение по методике сенсорного анализа

пищевых продуктов [12]. Анализ проводили при комнатной температуре ( $20 \pm 2$  °C) при естественном рассеянном освещении, без посторонних запахов и шумов.

#### **Результаты и их обсуждение**

Исследование свежих бахчевых культур для определения оптимальной температуры сушки в инфракрасном шкафу.

Арбуз сорта «Асар» характеризуется наибольшим содержанием влаги и низкой кислотностью, что делает его наиболее чувствительным к условиям сушки. При инфракрасной сушке высокая влажность способствует интенсивному испарению влаги на начальной стадии, но может вызывать неравномерность

дегидратации без оптимизации температурного режима. Дыня сорта «Колхозница» имеет относительно высокое содержание сахаров и витамина С, что требует щадящих режимов сушки (умеренная температура, короткое время воздействия), чтобы избежать карамелизации и разрушения витаминов. Тыква сорта «Афродита» отличается наибольшим содержанием сухих веществ, пектинов и каротиноидов, что определяет её высокую питательную ценность и устойчивость к термической обработке. При инфракрасной сушке она лучше сохраняет структурно-механические свойства и цвет [13].

Таблица 1. Физико-химические свойства свежих бахчевых культур

| Показатель            | Арбуз «Асар» | Дыня «Колхозница» | Тыква «Афродита» |
|-----------------------|--------------|-------------------|------------------|
| Содержание влаги, %   | 91,5±1,2     | 88,5±1,0          | 85,5±0,9         |
| Содержание сахаров, % | 7,3±0,4      | 7,4±0,5           | 7,0±0,4          |
| pH                    | 4,1±0,10     | 5,5±0,12          | 6,3±0,15         |

Таким образом, различия в физико-химических свойствах (табл. 1) определяют индивидуальные технологические режимы инфракрасной сушки: для арбуза – мягкий температурный градиент (45–50 °C), для дыни – сушка при 50–55 °C, для тыквы – более высокая температура (55–60 °C) с контролем остаточной влажности.

#### **Анализ физико-химических показателей свежих и высушенных образцов бахчевых культур.**

Полученные результаты о предельной влажности позволяют оценить степень испарения воды и анализировать методы

сушки в зависимости от типа бахчевой культуры.

С целью оценки влажности в бахчевых культурах, таких как дыня, тыква и арбуз, использовался метод инфракрасной сушки, который позволяет эффективно и быстро определить содержание влаги в образцах. Исходные массы плодов были следующими: для арбуза - 1200 грамм, для дыни - 800 грамм, для тыквы - 200 грамм. В процессе сушки масса плодов измерялась через каждый час, что позволило отслеживать изменения массы и на основе этих данных вычислить конечную влажность (табл. 2).

Таблица 2. Изменение массы и влажности образцов бахчевых культур в процессе инфракрасной сушки (10 ч, 45-60 °C)

| Культура          | Исходная масса, г | Конечная масса, г | Исходная влажность, % | Конечная влажность, % | Потеря массы, % |
|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|
| Арбуз «Асар»      | 1200±60           | 106±3             | 91,5±1,2              | 8,0±0,4               | 91,2±1,2        |
| Дыня «Колхозница» | 800±40            | 94±2              | 88,5±1,0              | 11,7±0,5              | 88,3±1,0        |
| Тыква «Афродита»  | 200±10            | 32±1              | 85,5±0,9              | 14,0±0,6              | 84,0±1,3        |

Значения приведены как среднее ± стандартное отклонение, n = 3

Инфракрасная сушка в диапазоне температур 45–60 °C в зависимости от вида бахчевых культур и продолжительности до 10 часов обеспечивает эффективное их обезвоживание.

Полученные результаты свидетельствуют, что процесс сопровождается интенсивным удалением влаги при сохранении

структурной целостности продукта; наибольшая скорость сушки наблюдается у арбуза, наименьшая – у тыквы; полученные показатели остаточной влажности (8-14%) соответствуют оптимальным значениям для дальнейшего хранения и переработки сушёных продуктов.

При этом установлено, что скорость потери влаги наиболее интенсивна в первые часы сушки, после чего процесс стабилизируется вследствие снижения диффузионной подвижности влаги внутри тканей.

Наиболее низкая конечная влажность отмечена у арбуза (8,0 %), что связано с его более высокой исходной влажностью и пористой структурой мякоти, способствующей испарению влаги под действием ИК-излучения. Тыква характеризуется наибольшим остаточным содержанием влаги (14,0%), что объясняется более плотной клеточной структурой и высоким содержанием пектиновых веществ, замедляющих испарение воды.

Данные по биологически активным веществам представлены в пересчёте на сухое вещество (мг/100 г) для корректного межвидового сравнения и оценки фактической деградации компонентов при ИК-сушке и показаны в таблице 3. Значения на 100 г свежего продукта приведены в дополнительной таблице 4 для практической интерпретации. Сохранность (%) рассчитана на сухое вещество, как отношение содержания после и до обработки.

Исследование физико-химических показателей арбуза сорта «Асар», дыни сорта «Колхозница» и тыквы сорта «Афродита» до и после инфракрасной сушки показало значительные изменения в содержании влаги и биологически активных веществ (табл. 3).

Таблица 3. Исследование основных биоактивных веществ в пересчёте на сухое вещество арбуза сорта «Асар», дыни сорта «Колхозница» и тыквы сорта «Афродита» до и после инфракрасной сушки и их сохранность после ИК-сушки

| Показатель на 100 г сух. в-ва      | Арбуз (до/после)             | Сохранность, % | Дыня (до/после)              | Сохранность, % | Тыква (до/после)               | Сохранность, % |
|------------------------------------|------------------------------|----------------|------------------------------|----------------|--------------------------------|----------------|
| Общие сахара, г/100 г              | 10,51± 0,49/<br>9,20 ±0,40   | 87,6 ± 3,2     | 15,00± 0,60/<br>13,79 ± 0,51 | 91,9 ± 3,0     | 9,19 ± 0,40/<br>9,77 ± 0,30    | 106,3 ± 2,8    |
| Витамин С, мг/100 г                | 6,80 ± 0,40 /<br>5,10 ± 0,30 | 75,0 ± 3,5     | 18,50± 0,80/<br>14,80 ± 0,60 | 80,0 ± 3,2     | 12,00 ± 0,60/<br>9,30 ± 0,50   | 77,5 ± 3,4     |
| Ликопин, мг/100 г                  | 4,80 ± 0,20 /<br>4,20 ± 0,20 | 87,5 ± 2,9     | н/о                          | –              | н/о                            | –              |
| β-каротин, мг/100 г                | н/о                          | –              | 2,00 ± 0,08/<br>1,73 ± 0,07  | 86,5 ± 2,7     | 10,00 ± 0,40/<br>8,70 ± 0,31   | 87,0 ± 2,6     |
| Фенольные соединения, мг ГКЭ/100 г | 125,06±5,10<br>/110,00±4,00  | 88,0 ± 2,5     | 140,00±4,90<br>/130,00±5,00  | 92,9 ± 2,1     | 154,34± 6,00/<br>140,00 ± 5,00 | 90,7 ± 2,3     |

Значения приведены как среднее ± стандартное отклонение, n = 3

Переход от свежего продукта к сухому сопровождается не только концентрацией веществ вследствие удаления влаги, но и частичной деградацией термолабильных соединений. Представление данных в пересчёте на сухое вещество позволяет исключить влияние влагосодержания и объективно оценить фактические изменения химического состава.

Общие сахара сохранялись на уровне 87,6–106,3% в зависимости от культуры. Незначительное увеличение концентрации сахаров у тыквы (106,3%) может быть связано с термическим гидролизом сложных углеводов до моно- и дисахаридов в процессе ИК-сушки.

Витамин С, как термочувствительное соединение, показал более выраженные потери — от 20 до 25%. Однако даже при этих потерях эффективность ИК-сушки остаётся высокой, так как при традиционной конвективной сушке разрушение аскорбиновой кислоты обычно достигает 40–60%. Наиболее высокая сохранность витамина С отмечена у дыни (80%), что может объясняться меньшей длительностью процесса при оптимальном тепловом режиме.

Ликопин и β-каротин проявили высокую термостабильность. У арбуза содержание ликопина после сушки снизилось всего на 12,5%, а у дыни и тыквы β-каротин сохранился на 86–87%. Это подтверждает, что инфра-

красное излучение обеспечивает мягкое удаление влаги без глубокого окислительного разрушения каротиноидов.

Фенольные соединения продемонстрировали сохранность на уровне 88–93%, что указывает на высокую устойчивость антиоксидантных компонентов при ИК-сушке.

Таблица 4. Исследование основных биоактивных веществ (на 100 г свежего продукта) арбуза сорта «Асар», дыни сорта «Колхозница» и тыквы сорта «Афродита» до и после инфракрасной сушки и их сохранность после ИК-сушки

| Показатель на 100 г свежего продукта | Арбуз «Асар» (до/после ИК-сушки)    | Дыня «Колхозница» (до/после ИК-сушки) | Тыква «Афродита» (до/после ИК-сушки) |
|--------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| Сухие вещества, г/100 г              | 8,50 ± 0,12 г / 92,00 ± 0,37 г      | 11,50 ± 0,12 г / 88,30 ± 0,26 г       | 14,5 ± 0,13 г / 86,0 ± 0,26 г        |
| Общие сахара, г/100 г                | 0,893 ± 0,042 г / 8,464 ± 0,368 г   | 1,725 ± 0,069 г / 12,185 ± 0,448 г    | 1,334 ± 0,058 г / 8,4 ± 0,258 г      |
| Витамин С, мг/100 г                  | 0,578 ± 0,034 мг / 4,692 ± 0,276 мг | 2,128 ± 0,092 мг / 13,068 ± 0,538 мг  | 1,740 ± 0,087 мг / 7,998 ± 0,430 мг  |
| Ликопин, мг/100 г                    | 0,408 ± 0,017 мг / 3,864 ± 0,184 мг | н/о                                   | н/о                                  |
| β-каротин, мг/100 г                  | н/о                                 | 0,230 ± 0,009 мг / 1,523 ± 0,063 мг   | 1,450 ± 0,058 мг / 7,482 ± 0,270 мг  |
| Фенольные соединения, мг ГКЭ/ 100 г  | 10,63 ± 0,43 мг / 101,20 ± 3,68 мг  | 16,10 ± 0,57 мг / 114,79 ± 4,48 мг    | 22,48 ± 0,87 мг / 120,40 ± 4,30 мг   |

Значения приведены как среднее ± стандартное отклонение, n = 3

Как видно из таблицы, после ИК-сушки наблюдается резкое увеличение содержания сухих веществ во всех образцах, что связано с удалением влаги. К примеру, у арбуза - более чем в 10 раз (8,50 → 92,00 г/100 г), у дыни - примерно в 7,7 раз (11,50 → 88,30 г/100 г), у тыквы - примерно в 5,9 раз (14,5 → 86,0 г/100 г). Наибольшая концентрация сухих веществ после сушки зафиксирована у арбуза (92,0 г/100 г), что отражает наиболее интенсивное обезвоживание мякоти. После сушки концентрация сахаров значительно возрастает за счёт уменьшения влаги и перехода сахаров в более концентрированное состояние. Наибольшее содержание сахаров после сушки у дыни «Колхозница» (12,185 г/100 г), что определяет её высокую сладость и потенциальную привлекательность как сырья для концентратов и сухих порошков. Витамин С концентрируется после сушки в связи с потерей влаги, однако важно отметить, что часть его могла разрушиться под действием температуры. Тем не менее, дыня и тыква сохраняют высокий уровень витамина С, что говорит о мягком воздействии ИК-сушки.

Наибольшее абсолютное содержание фенолов наблюдалось у тыквы «Афродита» (140,0 мг ГКЭ/100 г сухого вещества после сушки), что делает её перспективным сырьём для получения функциональных порошков с высоким антиоксидантным потенциалом.

В арбузе ликопин увеличился с 0,408 до 3,864 мг/100 г (~в 9,5 раза). Это связано с концентрацией пигмента при удалении влаги; термическое разрушение оказалось незначительным. Дыня содержит β-каротин - рост с 0,230 до 1,523 мг/100 г (~в 6,6 раза). Тыква лидирует по содержанию β-каротина (7,482 мг/100 г после сушки), что указывает на её высокую антиоксидантную активность и ценность как функционального ингредиента. Фенольные соединения концентрируются пропорционально уменьшению влаги. Максимальное содержание фенолов после ИК-сушки отмечено у тыквы «Афродита» (120,40 мг ГКЭ/100 г), что делает её перспективным сырьём для обогащённых антиоксидантных продуктов.

Особый интерес представляет динамика фенольных соединений, которые после сушки уменьшились лишь незначительно (в среднем на 10 %). Сохранность фенольного комплекса подтверждает, что ИК-сушка не приводит к глубокой деградации антиоксидантных веществ и позволяет получить продукт с высокой биологической ценностью.

Таким образом, инфракрасная сушка бахчевых культур обеспечивает эффективное удаление влаги при минимальных потерях функционально значимых компонентов; наиболее устойчивыми к термическому воздействию оказались каротиноиды и фенольные соединения, что делает данный метод перспективным для производства концентрированных и порошкообразных полуфабрикатов с повышенной антиоксидантной активностью.

### Органолептическая оценка полученного продукта.

Нами был проведен органолептический анализ сушеных бахчевых культур (рис. 1).

Определяли по следующие показатели: вкус и запах, цвет, внешний вид, консистенция.

В процессе инфракрасной сушки дыни и арбуза: не приторный вкус, выраженный запах, свойственный данным типам бахчевых культур; твердая, умеренно сухая консистенция; цвет свойственен данным типам бахчевых культур; неоднородные по форме, с ровной поверхностью внешнего вида, без обломанных граней. Результаты тыквы: вкус и запах выраженный, не приторный; твердая, сухая, нелипкая консистенция; цвет ярко-выраженный, сочный; неоднородные по форме, без обломанных граней.

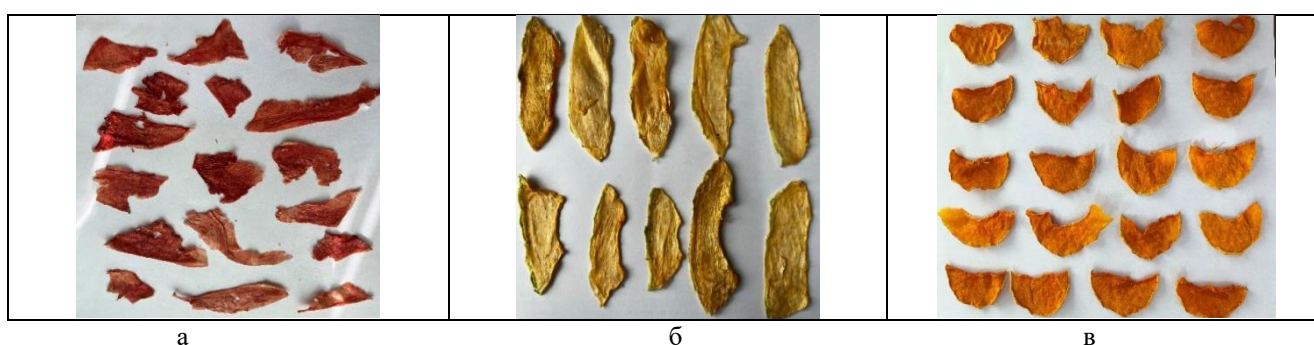


Рисунок 1. Готовые сушеные бахчевые культуры (а) арбуз, (б) дыня, (в) тыква

Анализ на макро- и микроэлементный состав. Инфракрасная сушка использует высокочастотное излучение, которое быстро и эффективно прогревает продукты, что позволяет уменьшить продолжительность

термической обработки и, как следствие, потери витаминов и минералов.

Далее представлены результаты (рис.2,3,4) на содержание макро- и микроэлементов в сушеных бахчевых культурах.

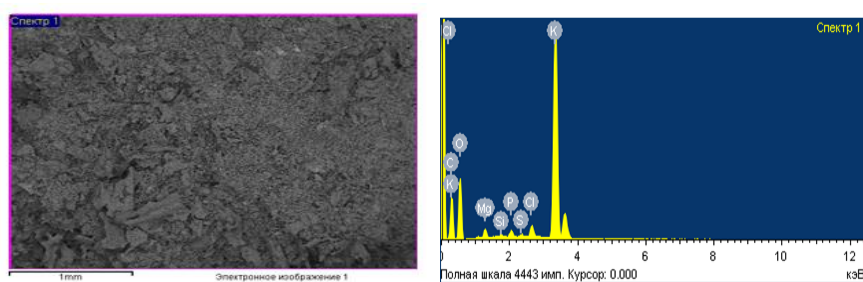


Рисунок 2. Зола сушеного арбуза «Асар»

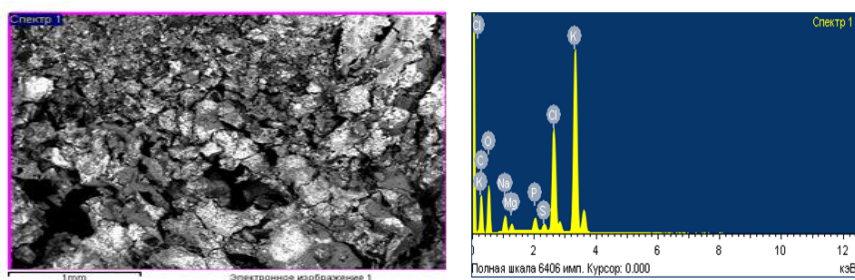


Рисунок 3. Зола сушеной дыни «Колхозница»



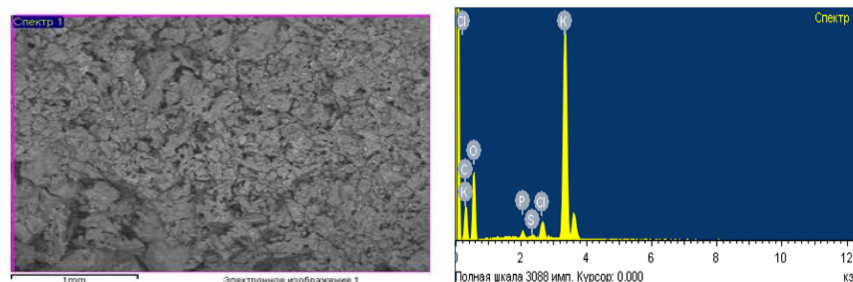


Рисунок 4. Зола сушеной тыквы «Афродита»

В золе были выявлены различные макроэлементы, включая калий, натрий, магний, фосфор, хлор, сера, кислород и углерод, а также микроэлементы, такие как кремний. Особое внимание было уделено соотношению макро- и микроэлементов, что

позволило провести сравнительный анализ между различными бахчевыми культурами. В таблице 4 показаны результаты содержания макро- и микроэлементного состава для каждого сырья.

Таблица 4. Результаты содержания макро- и микроэлементного состава бахчевых культур (дыня, тыква и арбуз)

| Наименование бахчевой культуры | C            | O            | Na          | Mg          | P           | Si          | S           | Cl          | K            |
|--------------------------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| Арбуз «Асар»                   | 17,97 ± 0,90 | 45,65 ± 2,28 | —           | —           | 0,72 ± 0,04 | —           | 0,28 ± 0,01 | 1,99 ± 0,10 | 33,38 ± 1,67 |
| Дыня «Колхозница»              | 34,77 ± 1,74 | 27,40 ± 1,37 | 2,39 ± 0,12 | 0,69 ± 0,03 | 1,10 ± 0,06 | —           | 0,56 ± 0,03 | 9,93 ± 0,50 | 23,16 ± 1,16 |
| Тыква «Афродита»               | 22,89 ± 1,14 | 41,22 ± 2,06 | —           | 1,04 ± 0,05 | 0,70 ± 0,04 | 0,16 ± 0,01 | 0,29 ± 0,01 | 1,34 ± 0,07 | 32,36 ± 1,62 |

Значения приведены как среднее ± стандартное отклонение, n = 3

Результаты показали, что каждый из этих плодов имеет свои характерные особенности в составе минеральных веществ, что отражает различия в их биохимической структуре и реакции на процесс сушки. Так, в золе сушеной тыквы и арбуза был зарегистрирован высокий уровень калия, углерода и кислорода, чем в золе сушеной дыни.

Магний присутствовал в золе сушеной дыни и арбуза, в то время как в золе сушеной тыквы не был обнаружен. А также в золе сушеного арбуза был выявлен кремний, а в золе сушеных образцов дыни и тыквы его не было.

Сравнение результатов по минеральному составу образцов бахчевых культур, высушенных в инфракрасном шкафу при температуре 45-60 °C, с литературными данными показало хорошее согласование по ключевым направлениям. Так, калий является доминирующим элементом во всех образцах дыни, тыквы, арбуза и после сушки остается

наиболее высокой фракцией. Аналогичные результаты отмечены в исследованиях по сушке тыквы, где калий сохраняет наибольшее значение независимо от метода обработки. Содержание натрия в исследованных образцах остается низким, что также подтверждается литературными данными, что для бахчевых культур этот элемент не является значимым. Магний и фосфор занимают промежуточное положение и, согласно опубликованным данным, при вакуумной и микроволновой сушке их относительная концентрация на сухую массу возрастает [14,15]. Таким образом, сушка в инфракрасном шкафу сочетает высокую сохранность минерального состава с технологической и экономической целесообразностью, что делает ее перспективным способом получения функциональных ингредиентов из бахчевых культур.

#### Заклучение

Проведённые исследования показали, что инфракрасная сушка обеспечивает



эффективное обезвоживание бахчевых культур с сохранением основной массы биологически активных веществ. В пересчёте на сухое вещество установлено, что степень сохранности общих сахаров составила 87–106%, витамина С – 75–80%, фенольных соединений – 88–93%,  $\beta$ -каротина – 86–87%, ликопина – около 87%. Это свидетельствует о минимальных потерях нутриентов при использовании инфракрасной сушки по сравнению с традиционными методами дегидратации. Наибольшая сохранность антиоксидантных соединений отмечена у дыни сорта «Колхозница» и тыквы сорта «Афродита», что указывает на их перспективность в качестве сырья для получения функциональных сухих продуктов. Инфракрасная сушка позволила сохранить до 90% суммарных фенольных соединений, что подтверждает щадящее воздействие данного метода на термолабильные компоненты. По минеральному составу образцы высушенных бахчевых также показывают высокое содержание.

Полученные результаты обосновывают возможность использования инфракрасной сушки для производства концентрированных и порошкообразных полуфабрикатов из бахчевых культур с высоким содержанием природных антиоксидантов и витаминов. Это открывает перспективы для создания функциональных пищевых ингредиентов и расширения ассортимента здоровых продуктов питания на основе местного растительного сырья Казахстана.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванкина В.В. Физико-химические методы консервирования продуктов // Материалы VIII Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум» URL: <https://scienceforum.ru/2016/article/2016020194> (дата обращения: 21.10.2025).
2. Calín-Sánchez, Lipan, L., Cano-Lamadrid, M., Kharaghani, A., Masztalerz, K., Carbonell-Barrachina, A., & Figiel, A. (2020, September 26). Traditional and Novel Drying Techniques. <https://doi.org/10.3390/foods9091261> <https://encyclopedia.pub/entry/2195>
3. Эргашев Б.А., Шадиев З.И. Роль сушильного оборудования в производстве сушки сельскохозяйственных и пищевых продуктов // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2023. 11(116). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/16249> (дата обращения: 21.10.2025).
4. Aboud, Salam & Altemimi, Ammar & Al-Hilphy, Asaad & Lee, Yi-Chen & Cacciola, Francesco. (2019). A Comprehensive Review on Infrared Heating Applications in Food Processing. *Molecules*. 24. 2-21. DOI:10.3390/molecules24224125
5. Huang, Dan & Pei, Yang & Tang, Xiaohong & Luo, Lei & Sunden, Bengt. (2021). Application of infrared radiation in the drying of food products. *Trends in Food Science & Technology*. 110. DOI:10.1016/j.tifs.2021.02.039
6. Chang, Antai & Zheng, Xia & Xiao, Hong-Wei & Yao, Xuedong & Liu, Decheng & Li, Xiangyu & Li, Yican. (2022). Short- and Medium-Wave Infrared Drying of Cantaloupe (*Cucumis melon* L.) Slices: Drying Kinetics and Process Parameter Optimization. *Processes*. 10. 114. DOI:10.3390/pr10010114
7. Obajemihi OI, Cheng JH, Sun DW. Novel sequential and simultaneous infrared-accelerated drying technologies for the food industry: Principles, applications and challenges. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2023;63(11):1465-1482. DOI: 10.1080/10408398. 2022. 2126963.
8. Polat, Ahmet & Taşkın, Onur & İzli, Nazmi. (2022). Intermittent and continuous infrared drying of sweet potatoes. *Heat and Mass Transfer*. 58. 1-13. DOI:10.1007/s00231-022-03212-3
9. Jovanovic, Jelena & Adnadjevic, Borivoj. (2023). Introductory Chapter: A Comprehensive Review of the Versatile Dehydration Processes. DOI:10.5772/intechopen.111481
10. Zhang, Min & Chen, Huizhi & Mujumdar, Arun & Tang, Juming & Miao, Song & Wang, Yuchuan. (2017). Recent Developments in High-quality Drying of Vegetables, Fruits and Aquatic Products. *Critical reviews in food science and nutrition*. 57. DOI:10.1080/10408398.2014.979280
11. Zimmermann MB, Köhrle J. The impact of iron and selenium deficiencies on iodine and thyroid metabolism: biochemistry and relevance to public health. *Thyroid*. 2002 Oct;12(10):867-78. DOI: 10.1089/105072502761016494
12. Сенсорный анализ: методические указания по выполнению лабораторных работ /Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: М.Б. Пикалова. Курск, 2017. 45 с. Библиогр.: с. 43. [https://swsu.ru/sveden/files/Metod\\_B1.V.DV.05.01\\_19.04.02\\_25.02.2020\\_lab.pdf](https://swsu.ru/sveden/files/Metod_B1.V.DV.05.01_19.04.02_25.02.2020_lab.pdf)
13. Айтбаев Т.Е., Бабаев С.А., Токбергенова Ж.А., Мамырбеков Ж.Ж., Нусупова А.О., Алпысбаева В.О., Ибрагимова Г.М., Тайшибаева Э.У., Манабаева У.А. технология выращивания картофеля и овощебахчевых культур (рекомендации по весенне-полевому РАБОТАМ). Алматы, 2024 [https://nasec.kz/sites/default/files/2024-04/10.%20Рекомендации\\_КазНИИПО%202024.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://nasec.kz/sites/default/files/2024-04/10.%20Рекомендации_КазНИИПО%202024.pdf?utm_source=chatgpt.com)
14. Arslan, D., & Özcan, M. M. (2011). Dehydration of red bell-pepper (*Capsicum annuum* L.): Change in drying behavior, colour and antioxidant content. *Food and Bioprocesses Processing*, 89(4), 504–513. DOI:10.1016/j.fbp.2010.09.009
15. Kara, C., Doymaz, İ. Effective moisture diffusivity determination and mathematical modelling of drying curves of apple pomace. *Heat Mass Transfer* 51,

983–989 (2015). <https://doi.org/10.1007/s00231-014-1470-6>

# REFERENCES

1. Fiziko-khimicheskiye metody konservirovaniya produktov [physicochemical methods of food preservation] // proceedings of the viii international student scientific conference "student scientific forum" url: <a href="https://scienceforum.ru/2016/article/2016020194">https://scienceforum.ru/2016/article/2016020194</a> (date of access: 21.10.2025). (in russian)
2. Calín-sánchez, lipan, l., cano-lamadrid, m., kharaghani, a., masztalerz, k., carbonell-barrachina, a., & figiel, a. (2020, september 26). Traditional and novel drying techniques. <https://doi.org/10.3390/foods9091261> <https://encyclopedia.pub/entry/2195>
3. Ergashev b.a., shadiyev z.i. rol' sushil'nogo oborudovaniya v proizvodstve sushki sel'skokhozyaystvennykh i pishchevykh produktov [the role of drying equipment in the production of drying agricultural and food products] // // universum: technical sciences: electronic. Scientific journal. 2023. 11(116). Url: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/16249> (date of access: 21.10.2025). (in russian)
4. Aboud, salam & altemimi, ammar & al-hilphy, asaad & lee, yi-chen & cacciola, francesco. (2019). A comprehensive review on infrared heating applications in food processing. *Molecules*. 24. 2-21. Doi:10.3390/molecules24224125
5. Huang, dan & pei, yang & tang, xiaohong & lu, lei & sunden, bengt. (2021). Application of infrared radiation in the drying of food products. *Trends in food science & technology*. 110. Doi:10.1016/j.tifs.2021.02.039
6. Chang, antai & zheng, xia & xiao, hong-wei & yao, xuedong & liu, decheng & li, xiangyu & li, yican. (2022). Short- and medium-wave infrared drying of cantaloupe (cucumis melon l.) Slices: drying kinetics and process parameter optimization. *Processes*. 10. 114. Doi:10.3390/pr10010114
7. Obajemihi oi, cheng jh, sun dw. Novel sequential and simultaneous infrared-accelerated drying technologies for the food industry: principles, applications and challenges. *Crit rev food sci nutr*. 2023;63(11):1465-1482. Doi: 10.1080/10408398.2022.2126963 .
8. Polat, ahmet & taşkın, onur & izli, nazmi. (2022). Intermittent and continuous infrared drying of sweet potatoes. *Heat and mass transfer*. 58. 1-13. Doi:10.1007/s00231-022-03212-3
9. Jovanovic, jelena & adnadjevic, borivoj. (2023). Introductory chapter: a comprehensive review of the versatile dehydration processes. Doi:10.5772/intechopen.111481
10. Zhang, min & chen, huizhi & mujumdar, arun & tang, juming & miao, song & wang, yuchuan. (2017). Recent developments in high-quality drying of vegetables, fruits and aquatic products. *Critical reviews in food science and nutrition*. 57. Doi:10.1080/10408398.2014.979280
11. Zimmermann mb, köhrle j. The impact of iron and selenium deficiencies on iodine and thyroid metabolism: biochemistry and relevance to public health. *Thyroid*. 2002 oct;12(10):867-78. Doi: 10.1089/105072502761016494
12. Sensornyy analiz: metodicheskiye ukazaniya po vypolneniyu laboratornykh rabot / [sensory analysis: guidelines for performing laboratory work] / south-west state university; compiled by: m.b. pikalova. Kursk, 2017. 45 p. Bibliography: p. 43. [https://swsu.ru/sveden/files/metod\\_b1.v.dv.05.01\\_19.04.02\\_25.02.2020\\_lab.pdf](https://swsu.ru/sveden/files/metod_b1.v.dv.05.01_19.04.02_25.02.2020_lab.pdf) (in russian)
13. Aitbaev t.e., babaev s.a., tokbergenova zh.a., mamyrbekov zh.zh., nusupova a.o., alpysbaeva v.o., ibragimova g.m., taishibaeva e.u., manabaeva u.a. tekhnologiya vyrashchivaniya kartofelya iovoshchebahchevyh kul'tur (rekommendacii po vesennepolevym rabotam) [technology for growing potatoes and vegetables (recommen-dations for spring field work)]. Almaty, 2024 [https://nasec.kz/sites/default/files/2024-04/10.%20рекомендации\\_казниипо%202024.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://nasec.kz/sites/default/files/2024-04/10.%20рекомендации_казниипо%202024.pdf?utm_source=chatgpt.com) (in russian)
14. Arslan, d., &özcan, m. M. (2011). Dehydration of red bell-pepper (capsicum annuum l.): change in drying behavior, colour and antioxidant content. *Food and bioproducts processing*, 89(4), 504–513. Doi.org/10.1016/j.fbp.2010.09.009
15. Kara, c., doymaz, i. Effective moisture diffusivity determination and mathematical modelling of drying curves of apple pomace. *Heat mass transfer* 51, 983–989 (2015). <https://doi.org/10.1007/s00231-014-1470-6>