

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕРМОВАКУУМНОЙ СУШКИ

*Н.П. Дикий, А.М. Егоров, В.А. Кутовой, Е.П. Медведева,
А.А. Николаенко, Н.П. Тишкевич*

*Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»,
г. Харьков, Украина; E-mail: kutovoy@kft.kharkov.ua*

Предлагается новый тип экологически чистых термовакуумных установок для сушки пищевых продуктов. Обсуждается перспектива создания энергосберегающих технологий, позволяющих получить высушенный продукт с заданной влажностью и высокими органолептическими показателями. Описаны методы диагностики высушенной продукции. Для определения содержания макро- и микроэлементов до и после сушки использовался гамма-активационный метод. Измеренное изотопное отношение $^{44}\text{Ca}/^{48}\text{Ca}$ в высушенных образцах позволяет судить о динамике интенсивности межмембранной ионной циркуляции. Метод хемилюминесценции дает возможность исследовать интенсивность выхода высокорекреационных продуктов через мембраны клеток до и после сушки. Электронная микроскопия применялась для исследования структуры клеток высушенного продукта.

ВВЕДЕНИЕ

За последние годы у нас в стране и за рубежом разрабатываются новые технологии сушки, позволяющие интенсифицировать процесс и в максимальной степени сохранить пищевую и биологическую ценность продукта. Одним из основных требований, предъявляемых к высушенному продукту, является высокое содержание витаминов и минеральных веществ.

Существует множество видов сушки, у которых температура сушильного агента порядка 80 °С и выше. При таких температурах биохимические процессы протекают очень интенсивно. Воздействие теплоты является основным фактором, вызывающим изменение структуры и химического состава овощей и фруктов. При сушке вместе с парами воды удаляются летучие вещества: альдегиды, спирты, сложные эфиры и другие вещества, обуславливающие аромат и вкусовые качества продукта. В связи с этим нами разрабатывались вакуумные технологии, позволяющие производить сушку овощей и фруктов с минимальными потерями полезных веществ. Вакуумная сушка является эффективным способом обезвоживания пищевого сырья и одновременно позволяет избежать потерь ценных питательных веществ, свойственных другим методам сушки. Выбор оптимальных рабочих параметров вакуумной сушильной установки вызывает определенные трудности.

Фрукты и овощи являются наилучшим источником витаминов, минеральных веществ и микроэлементов, которые нормализуют жизнедеятельность организма человека, имеют лечебные свойства и оказывают содействие профилактике многих заболеваний. Употребление фруктов и овощей в питании человека невозможно переоценить. Они являются не только важным источником поступления в организм легко усваиваемого сахара, органических кислот, витаминов, микроэлементов и других веществ, но и повышают усвояемость питательных веществ, прежде всего белков. Следует подчеркнуть, что промышленное синтезирование вита-

минных препаратов не снижает значения овощей и

фруктов, как наиболее ценного источника витаминов, лучше усваиваемых организмом благодаря содержанию в них комплекса биологически активных веществ, среди которых особое значение имеют пектины. Для продолжительной сохранности овощей и фруктов необходима специальная обработка с целью предупреждения их порчи. Есть много средств сохранения – это консервирование, замораживание, сушка. В свежих овощах и фруктах находится до 80% влаги. При сушке содержимое влаги уменьшается. Конечная влажность в высушенном продукте регулируется в зависимости от его вида и технологии сохранения. В фруктах допускается влажность до 10...25%, овощах – до 14%. В высушенных продуктах хорошо сохраняются основные питательные вещества, витамины группы В, каротин, флавоноиды. Высушенные овощи и фрукты занимают меньший объем, имеют меньший вес и, следовательно, более выгодны при перевозке на большие расстояния.

Для каждого вида продукта нужно разрабатывать свои специфические условия сушки, а также оснащения, которые обеспечивают как высокое качество конечного продукта, так и приемлемые ценовые параметры [1,2].

В процессе сушки растительных продуктов частично теряются содержащиеся в них питательные вещества, и это приводит к изменению пищевых качеств продукта. Вследствие этого, одной из основных задач сушки растительных продуктов является высушивание их с минимальными потерями пищевых качеств. Один из возможных путей решения этой задачи – проведение сушки в вакууме.

Оптимизация энергетических, временных и стоимостных затрат в процессе сушки сельскохозяйственной продукции с сохранением ее качества имеет высокую актуальность. Для этого необходимо создать энергосберегающие экологически чи-

стые термовакuumные сушильные установки, изучить механизм ухода влаги из высушиваемых продуктов, и на этом основании разработать технологию сушки.

1. ТЕРМОВАКУУМНАЯ СУШИЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Для разработки режимов вакуумной сушки была создана экспериментальная вакуумная установка (рис.1). Рабочая камера состоит из деревянного корпуса 1 и представляет собой жестко соединенные между собой три стенки 2 и дно 3, съемную крышку 4. Лотки 5 устанавливаются в рабочую камеру в определенной последовательности. Давление в вакуумной камере 20...10 мм рт. ст. Корпус необходим для того, чтобы зафиксировать в нем лотки относительно друг друга. Дно оснащено вакуумным патрубком 7 и токовводами 8. Рабочая камера устанавливается на подставку 9. Вакуумная оболочка 10 корпуса изготовлена из крепкого, тонкого, эластичного, вакуумноплотного материала. Разряжение в рабочей камере создается с помощью вакуумного насоса 11. Откачка газов и пара осуществляется через вакуумный трубопровод 12 и вакуумную запорную арматуру 13. Установка имеет систему контроля: температуры 14, давления 15, влажности 16. 17, 18 – место электрического контакта между соседними лотками.

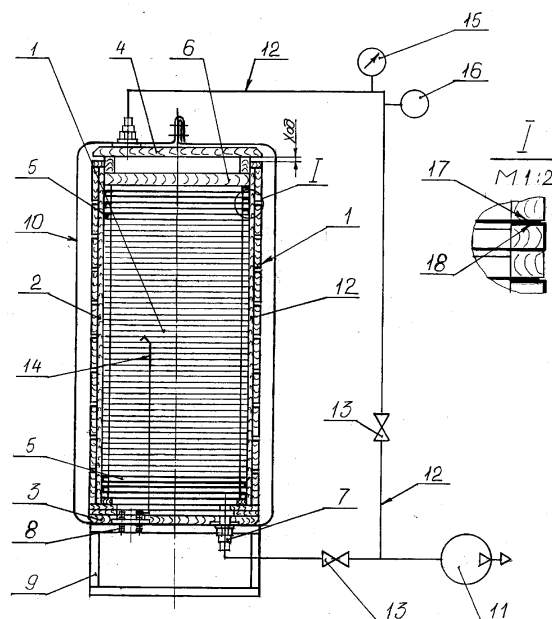


Рис. 2. Общий вид вакуумной сушильной установки

Рис.1. Схема вакуумной сушильной установки в мягкой оболочке

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При выполнении данной работы были использованы различные методы контроля потери воды фруктами (яблоко) и овощами (морковь, свекла): гамма-активационный анализ для определения содержания макро- и микроэлементов до и после сушки [3]. Метод хемилюминесценции (ХЛ) позволяет исследовать интенсивность выхода высокорезакционных продуктов через мембраны клеток и органелл до и после сушки [4], а метод электронной микроскопии – для исследования структуры мембран клеток и их органелл [5].

Гамма-активационный анализ проводили на сильноточном ускорителе электронов с $E=25$ МэВ, $I=500$ мкА. Спектр гамма-излучения регистрировался Ge(Li)-детектором, объемом 50 см^3 и энергетическим разрешением 2,2 кэВ по линии 1333 кэВ. Абсолютные значения концентраций макро- и микроэлементов определяли посредством использования метода введения внутренних стандартов (CaCO_3 , металлический Zn и Ni). Для измерения изотопного соотношения кальция использовались ядерные реакции $^{48}\text{Ca}(\gamma, n)^{47}\text{Ca}$, $^{44}\text{Ca}(\gamma, p)^{43}\text{K}$, вызываемые тормозным излучением и фотонейтронами от электронного ускорителя [4]. Предел обнаружения элементов составлял $10^{-4} \dots 10^{-7}$ мас.%. Для анализа макро- и микроэлементов в сельскохозяйственной продукции были исполь-

зованы образцы моркови, свеклы и яблок до и после вакуумной сушки. Исследуемая навеска составляла 5 г сырого и 1 г сухого вещества. Ядерно-физический метод был использован для изучения механизма циркуляции микроэлементов в процессе сушки. Для анализа макро- и микроэлементов в сельскохозяйственной продукции были использованы нативные и сухие образцы моркови, свеклы, яблок. Исследуемая навеска не превышала 1 г сухого вещества.

В таблице представлены результаты содержания элементов в образцах моркови, свеклы и яблоках до

сушки и после вакуумной сушки. Наиболее интенсивно из моркови уходит натрия с водой. Наблюдается также высокая степень ухода из моркови кальция, никеля, бария, марганца, рубидия, цинка. Из свеклы наиболее интенсивно уходит кальций, цинк, рубидий, а из яблок – цинк, барий, рубидий. Можно также отметить незначительный уход с водой из яблок таких элементов, как кальций, никель и марганец, что обусловлено высоким содержанием железа. Железо входит в состав комплексных соединений с этими элементами и этим самым тормозит их уход из образцов.

Содержание микроэлементов в моркови, свекле и яблоках до и после вакуумной сушки, мкг/г

Микроэлементы	Морковь			Свекла			Яблоко		
	до	после	после/ до	до	после	после/ до	до	после	после/ до
⁴⁴ Ca	1601	1777	1.1	3414	4868	1.43	172.5	1436	8.33
Ca ⁴⁸ Ca	512	420	0.82	3340	5316	1.59	157.3	1628	10.4
⁴⁴ Ca/ ⁴⁸ Ca	3.13	4.23	-	1.02	0.92	-	1.1	0.88	-
Zn ⁶⁸ Zn	144.6	313.6	2.17	193	447	2.32	47.3	104	2.2
Na ²³ Na	1484	152.3	0.1	298.3	1680	5.63	361.9	1237	3.42
Ni ⁵⁸ Ni	1.19	1.27	1.07	0.35	1.6	4.53	0.5	4.22	8.67
Zr ⁹⁰ Zr	0.12	1.2	9.73	1.08	1.6	1.47	0.17	0.99	5.77
Ba ¹³⁶ Ba	2.67	6.2	2.32	-	-	-	5	2.64	0.53
Mn ⁵⁴ Mn	3.98	8.81	2.22	4.01	80.9	20.2	5.4	44.7	8.26
Rb ⁸⁹ Rb	3.86	9.08	2.36	3.74	7.6	2.03	5.66	13.1	2.32

Измерение интенсивности ХЛ спонтанной (собственной) и индуцированной раствором перекиси водорода (для увеличения интенсивности свечения и получения более широкой информации за счет наличия нескольких параметров кинетики) проводили на квантометрической установке с фотоумножителем ФЭУ-140 (спектральная область 350-750 нм) [5]. Изучаемый объект помещался в термостатируемый при 37 °С бюкс, который располагался непосредственно над фотокатодом ФЭУ. Перед началом измерений проводили калибровку прибора по интенсивности свечения уранового стекла. Шумы ФЭУ составляли 8...15 имп/с, уровень сигнала зависел от типа реакции и вида объекта и составлял от 50 до 103 фотонов/с.

При воздействии различных температурных режимов на растительные клетки изменится вклад высокорекреационных продуктов (свободные радикалы, высоковозбужденные формы кислорода – синглетный, супероксидный, перекисные и гидроперекисные продукты и др.) в регистрируемое излучение в виде квантов света. Для изучения интенсивности транспорта этих высокоэнергетических продуктов в динамике сушки навеску моркови сушили в сушильном шкафу и в термовакуумной сушильной установке. Через каждые 15 мин отбирали пробы и взвешивали. 1 г сухого продукта заливали 5 мл дистиллированной воды и помещали в термостат при 37 °С на 30 мин для инкубации. После истечения этого времени брали 2 мл полученного экстракта и помещали в термостатируемый бюкс установки для регистрации спонтанной и индуцированной ХЛ. В течение 1 мин регистрировали спонтанное свечение образца, которое составляло 65 имп/с, затем проводили индуцирование при введении 0,5 мл 10% раствора

перекиси водорода, происходила мгновенная вспышка свечения (максимальная интенсивность (I_{max})), которая для образца, высушенного в сушильном шкафу, составляла 9·10³ имп/с, а для образца, высушенного в термовакуумной сушильной установке, – 14·10³ имп/с. Впоследствии свечение постепенно снижалось, и на 4-й минуте измерения регистрировалось конечное значение (I_{кон}) на уровне фона. Регистрировалась также светосумма (Σ) за весь период измерения. Снижение интенсивности свечения в процессе сушки, по-видимому, свидетельствует об уменьшении транспорта высокорекреационных продуктов через мембраны клеток. На рис.3 представлен логарифм потери воды в образцах при сушке в термовакуумной сушильной установке и в сушильном шкафу от времени. Полученный результат свидетельствует об одинаковом характере ухода воды из высушиваемого объекта в первый час сушки, но скорость ее ухода отличается, – это свидетельствует о различных механизмах транспорта влаги.

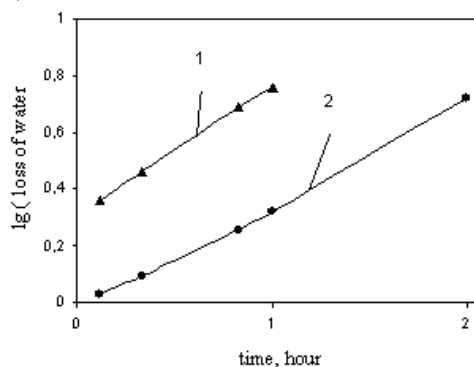


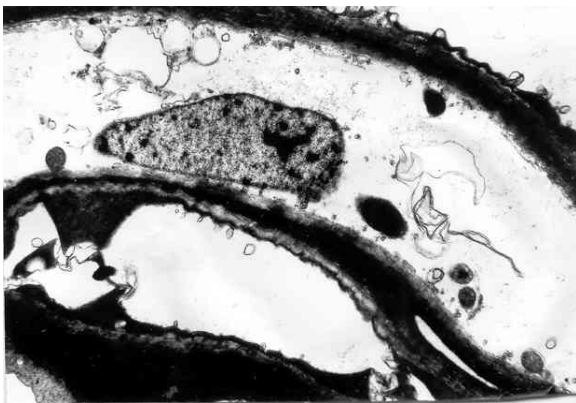
Рис.3. Зависимость логарифма потери воды образцами моркови в процессе сушки в вакуумной камере (кривая 1) и в сушильном шкафу (кривая 2)

Для электронной микроскопии была использована методика приготовления образцов из исследуемых овощей и фруктов с последующим просмотром микротомных срезов. Для этого проводилась предварительная фиксация образцов в растворе глютаральдегида в течение 24 ч с последующим переносом для дополнительной фиксации – 1 ч в растворе оксида осмия (OsO_4). Дальнейшая фиксация включала обезвоживание образцов в спиртах с концентрацией от 50 до 90%. После этого образцы заливались эпоксидной смолой для приготовления ультратонких срезов с помощью микротомы. Полученные срезы окрашивали 1% метиленовым синим с 1% раствором буры и помещали на палладиевые сетки для просмотра.

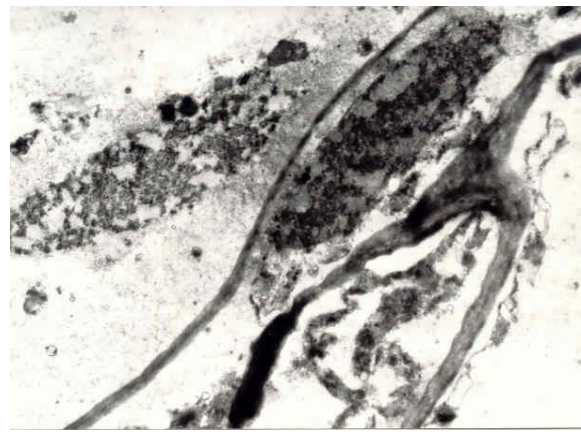
Электронно-микроскопическая структура ультратонких срезов образцов яблок, свеклы и моркови до и после вакуумной сушки была исследована на электронном микроскопе УЭМ-120 с напряжением 75 кВ.

На рис.4,а и 5,а показана структура образцов яблока и свеклы до сушки. Четко видна структура мембран клетки в виде одного светлого и двух темных слоев, не разрушено ядро клетки. При использовании оптимального режима сушки при $T=40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 4,б, 5,б, 7) высушенные образцы практически не отличались от нативных, сохранялась целостность мембран и органелл клеток. Уход воды из высушенных образцов характеризовался тем, что мембрана клетки утончается, и клетки более сплюснуты по вертикали и растянуты по горизонтали.

Отмечалось утончение мембран клеток яблок при $T=40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (см. рис.4,б), свеклы (см. рис.5,б), моркови (см. рис.7).



а



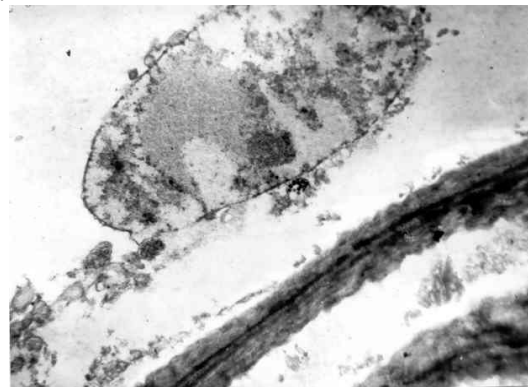
б

Рис. 4. Ультратонкая структура яблок до сушки (а); после вакуумной сушки при $T=40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (б); ($\times 12000$)

При температуре сушки свеклы $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ (см. рис.6) наблюдалось еще большее утончение мембран клеток без нарушения их целостности, с разрушением внутри их пластид, ядра, ответственных за широкие функциональные возможности клеток.

Сушка образцов при температуре $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ была выбрана в связи с тем, что при данном режиме не происходит коагуляции белков и ферментов, минимизируется распад сложных биомолекул.

Повышение температуры при вакуумной сушке увеличивает скорость испарения влаги, но в то же время ухудшает качество высушиваемого продукта [6].



а



б

Рис.5. Ультратонкая структура свеклы до сушки (а); после вакуумной сушки при $T=40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (б); ($\times 12000$)

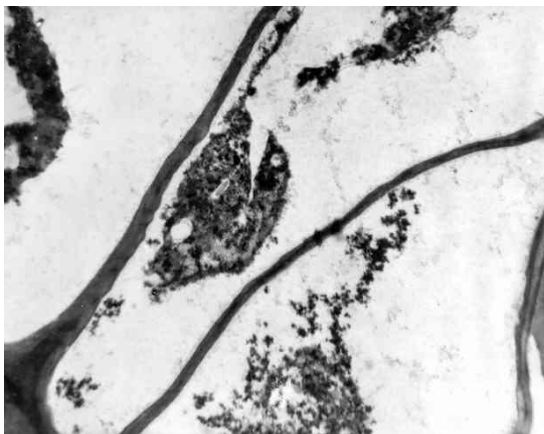


Рис.6. Ультратонкая структура свеклы после вакуумной сушки при $T=80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\times 12000$)



Рис.7. Ультратонкая структура моркови после вакуумной сушки при $T=40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\times 12000$)

ВЫВОДЫ

Разработка новых экологически чистых вакуумных сушильных установок и энергосберегающих технологий позволит получить высокое качество высушенной продукции. Выбор температуры и времени режима сушки дает возможность оптимизировать технологический процесс за счет регуляции и воздействия на физико-химические и биохимические свойства клеток, изучить характер ухода влаги из клеток овощей и фруктов и тем самым разработать на базе этих данных энергосберегающие технологии. Сушка овощей и фруктов не должна превышать температуры, при которой возможны деструктивные и биохимические изменения. Такой подход

позволит оптимизировать энергетические затраты на единицу высушенной продукции. Использование вакуумной сушки позволит ускорить этот процесс, сохранить качество и экологическую чистоту продукции. Для нагрева высушиваемой продукции необходимо использовать возобновляемые источники энергии.

Ядерно-физические методы элементного анализа сельхозпродукции могут быть использованы при подборе схемы сушки как с целью оптимизации энергетических и временных затрат, так и с целью сохранения и коррекции минерального состава корнеплодов.

Метод хемилюминесценции позволяет определять интенсивность выхода высокорекционных продуктов из клетки и определять ее жизнеспособность на всех этапах сушки.

Метод электронной микроскопии дает возможность контролировать состояние клетки и ее структурных компонентов для выбора оптимальных режимов технологических процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Заявка №97073453/к от 10.06.98г. *Вакуумная камера сушильной установки* / В.А. Кутовой, В.И. Маханьков, А.М. Егоров, Н.А. Хижняк.
2. Заявка №97073454/к от 10.06.98г. *Вакуумная сушильная установка* / В.А. Кутовой, В.И. Маханьков, А.М. Егоров, Н.А. Хижняк.
3. N.P. Dikiy, V.I. Borovlev, V.D. Zabolotny, Yu.V. Lyashko, E.P. Medvedeva, R.P. Slabospitsky, I.D. Fedorets, N.A. Shljahov. Nuclear-physical methods analysis of noble metal and rare elements // *ВАНТ. Сер. «Ядерно-физические исследования»*. 2001, №1, с.81-84.
4. Д.А. Джанумов, В.А. Веселовский, Б.Н. Тарусов. Изучение температурной зависимости методами спонтанной и фотоиндуцированной хемилюминесценции // *Физиология растений*. 1971, т. 18, с.588-593.
5. Б. Уикли. *Электронная микроскопия*. М.: «Мир», 1975, с.389.
6. V.A.Kutovoy, A.A.Nikolayenko, A.A.Matsko. Development of modes for vacuum drying of edible roots // *2nd Nordic Drying Conference, 25th to 27th*. 2003, Copenhagen, Denmark.

ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ ТЕРМОВАКУУМНОЇ СУШКИ

М.П. Дікій, О.М. Єгоров, В.О. Кутовий, Є.П. Медведева, А.О. Ніколаєнко, М.П. Тишкевич

Пропонується новий тип екологічно чистих термовакuumних установок для сушіння харчових продуктів. Обговорюється перспектива створення енергосберегаючих технологій, що дозволяють одержати висушений продукт із заданою вологістю і високими органолептичними показниками. Описано методи діагностики висушеної продукції. Для визначення змісту макро- і мікроелементів до і після сушіння використовувався гамма-активаційний метод. Обмірюване ізотопне відношення $^{44}\text{Ca}/^{48}\text{Ca}$ у висушених зразках дозволяє судити про динаміку інтенсивності міжмембранної іонної циркуляції. Метод хемілюмінесценції дає можливість досліджувати інтенсивність виходу високореакційних продуктів через мембрани кліток до і після сушіння. Електронна мікроскопія застосовувалася для дослідження структури кліток висушеного продукту.

SOME FEATURES OF THERMO-VACUUM DRYING

N.P. Dikiy, A.M. Yegorov, V.A. Kutovoy, E.P. Medvedeva, A.A. Nikolayenko, N.P. Tichkevich

The new type of ecologically pure of thermal vacuum installation for drying of foodstuffs is offered. The prospect of making of energy-efficient technology allowing to obtain dried-up product with the required humidity and high organoleptic characteristics is consider. The methods of control of drying samples are described. The gamma-activation method was used for determination of the content of macro and microelements before and after drying. The isotopic ratio $^{44}\text{Ca}/^{48}\text{Ca}$ in the drying samples was measured too. The chemiluminescence method was used for analysis of intensity of highly reacting product which release through cell membranes before and after drying. The electronic microscopy was used to analyse the cell structure of the dried products.