

Влияние способа сушки на спектральные характеристики корня корневой петрушки

Д-р техн. наук. В.И. Филиппов, У.Ю. Нечипоренко, Р.Е. Кудинов, С.Ю. Кудинова
E-mail: kusveta@yandex.ru

*Университет ИТМО
191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9*

Методами инфракрасной спектроскопии нарушенного полного внутреннего отражения (ИКС НПВО) и стандартными химическими методами проведено сравнительное исследование измельченного корня корневой петрушки, подвергнутого сушке тремя способами – сублимационной (-30°C) и воздушной при 20 и 50°C . Стандартными химическими методами образцы анализировались на содержание влаги, золы, аскорбиновой кислоты, экстрактивных веществ и pH водных экстрактов. Методом колебательной спектроскопии исследованы сухие образцы, концентраты водных экстрактов, шроты и зола корня петрушки. Особенности структурно-химических изменений в ткани корнеплода, обусловленные физической природой способа сушки, проявляются как в физико-химических свойствах, так и спектральных характеристиках исследуемых сухих образцов и их составных частей – водорастворимых веществ, шротов и золы. Отмечено, что сублимационная сушка и сушка при 50°C оказывают наиболее разрушающее воздействие на структуру основной составляющей компоненты корнеплода – углеводной. Для белковых структур, являющихся частью полисахаридных комплексов, чувствительны повышенные положительные температуры. Снижение содержания углеводов в водных экстрактах с повышением температуры обработки сопровождается увеличением интенсивности соответствующих полос в спектрах воздушно сухих шротов. Исследование влияния технологических условий высушивания образцов на спектральные характеристики золы, полученной при стандартных условиях (650°C , 4 ч), позволило отметить наличие полос разной интенсивности, характерных для белковых и углеводных компонентов, в составе практически всех образцов. Данные, полученные при исследовании корня петрушки, показывают, что метод ИКС НПВО позволяет увидеть различия трансформационных изменений в структуре и составе основных биоконпонентов растительной ткани, происходящих при разных способах сушки и влияющих на ее биохимические, пищевые и профилактические свойства.

Ключевые слова: спектральный анализ; сублимационная сушка; метод инфракрасной спектроскопии; корень петрушки; пищевые свойства.

DOI: 10.17586/2310-1164-2018-11-2-44-54

Effect of drying method on spectral characteristics of parsley root

D.Sc. Valeriy I. Filippov, Ul'iana Yu. Nechiporenko, Roman E. Kudinov, Svetlana Yu. Kudinova
E-mail: kusveta@yandex.ru

*ITMO University
9, Lomonosov str., St. Petersburg, 191002, Russia*

A comparative study of the ground parsley root subjected to drying in three ways – sublimation (-30°C), and air one at 20 and 50°C , was carried out by infrared spectroscopy of the disturbed total internal reflection (IRS NIP) and standard chemical methods. Standard chemical methods were used to analyze samples for moisture, ash, ascorbic acid, extractive substances, and pH of aqueous extracts. The method of vibrational spectroscopy was used to study dry samples, concentrates of aqueous extracts, meal and ash of parsley root. The peculiarities of structural and chemical changes in the root tissue due to the physical nature of the drying method are clearly seen in both physical and chemical properties and spectral characteristics of the dry images and their components: water-soluble substances, meals, and ash. It is noted that sublimation drying and drying at 50°C have the most destructive effect on the structure of carbohydrate – the main component of the root crop. For protein structures that are part of the polysaccharide complexes, elevated positive temperatures are sensitive. The decrease in the carbohydrate content of aqueous extracts with an increase in the processing temperature is accompanied by an increase in the intensity of the corresponding bands in the spectra of air dry meals. Analyzing influence of technological conditions of drying samples on the spectral characteristics of ash obtained under standard conditions (650°C , 4 hours), allowed to note the presence of bands of different intensity, characteristic of protein and carbohydrate components, in the composition of almost all samples.

The data obtained in the study of the parsley root show that the method of IRS allows us to see differences in the transformation of changes in the structure and composition of the main biocomponents of plant tissue occurring in different methods of drying and affecting its biochemical, nutritional, and preventive properties.

Keywords: spectral analysis; freeze-drying; the method of infrared spectroscopy; parsley root; food properties.

Введение

Кладезь природных растительных ресурсов человечество с незапамятных времен использует для своих самых разнообразных целей – приготовления пищи, лечебных, профилактических и косметических. Растительное сырье (цветы, трава, корнеплоды, корневая система и др.) является ценнейшим источником огромного числа высокоэффективных лекарств и биологически активных компонентов [1, 2]. В связи с этим, вопросам его изучения, сбора, сушки, хранения и переработки уделяется большое внимание. Однако к настоящему времени фармакологическому и химическому исследованию подвергнуто не более 4% из 300 тысяч видов известных растений. И все же, несмотря на огромные успехи химии в создании синтетических лекарственных препаратов, более 30% современных лечебных средств, допущенных официальной научной медициной, включают вещества, выделенные из растений или являющиеся их производными [3, 4].

С целью сохранения фитотерапевтических и полезных пищевых свойств, а также увеличения срока хранения растительное сырье подвергают сушке самыми разными способами (естественная, искусственная, атмосферная, вакуумная, под давлением) в зависимости от дальнейшего целевого назначения, поскольку хранение и использование высушенного сырья несравнимо более удобно и безопасно. Выбор метода сушки определяется природой и химическим составом сырья, а также требуемыми свойствами конечных продуктов [5].

Одним из современных методов сушки является лиофильная сушка (лиофилизация) [6, 7], которая представляет собой наиболее бережную, мягкую технологию и широко используется в разных сферах пищевых производств. В фармацевтической и медицинской практике при производстве лечебных, профилактических и диагностических препаратов (вакцин, антибиотиков), консервировании препаратов плазмы, сыворотки крови, кровезаменителей, при создании «банков» сухих препаратов. Как лабораторный, метод применяется в микробиологии для консервирования на длительный срок бактерий, вирусов, в гистологии – для фиксирования и сохранения гистологических препаратов [8–10]. Консервирование осуществляется при замораживании с отверждением жидкой фазы, в результате чего практически приостанавливаются все биохимические, химические и физические процессы.

Основной целью лиофильной сушки является получение материала с минимально низкой остаточной влажностью, являющейся основным благоприятным фактором для развития микрофлоры. В основе самого метода лежит процесс сублимации – переход вещества из твердого состояния в газообразное, минуя жидкое [6, 7]. При этом целевой продукт предварительно замораживают, а затем подвергают сублимационному высушиванию при пониженном давлении для удаления свободной воды и последующему досушиванию в вакууме или на воздухе при температуре не выше 50–60°C с целью извлечения связанной воды, которая при минусовых температурах не удаляется. Преимуществом такого способа сушки является отсутствие воздействия высоких температур, приводящих к нарушению структурной целостности объекта и его биологической активности. В пищевых производствах лиофилизация сохраняет значительное количество полезных веществ, форму, вкус, аромат, цвет и пищевую ценность продукта, что позволяет продукту храниться много лет.

Основными методами исследования растительного сырья являются традиционные химические методы анализа на содержание экстрактивных веществ, аскорбиновой кислоты, белка, липидов, полисахаридов, витаминов, зольности и др. [5, 11, 12]. Из инструментальных методов для идентификации химического состава широко применяются хроматографические методы разделения и анализа [11]. Метод классической инфракрасной (ИК) спектроскопии пока не получил достойного применения в силу сложности и чрезвычайной многокомпонентности объектов исследования, что вносит определенные затруднения при интерпретации полученных спектров. Данные по исследованию растительного сырья методом ИКС НПВО [13] и влияния на его оптические свойства способов сушки в литературе отсутствуют.

Выбор корня петрушки в качестве объекта исследования обусловлен привлекательностью его вкусовых качеств, комплексом полезных пищевых, лечебных и профилактических свойств. Корень петрушки – корнеплод двулетнего растения, все анатомические части которого широко применяются в медицине, фармации, косметологии и кулинарии. В пищевых и лекарственных целях используют как свежий, так и сушеный корнеплод. Лечебные свойства корня петрушки заложены в его химическом составе, включающем богатый набор витаминов, микроэлементов, эфирных масел, необходимых для организма человека [1]. Содержание витамина С в корне петрушки выше, чем в лимоне. Петрушка корневая укрепляет зрение, иммунитет и костную систему, обладает желчегонным свойством, снимает спазмы мышц и обострения подагры, выводит токсины и шлаки.

Цель работы состояла в комплексном исследовании методом ИКС НПВО и стандартными химическими методами влияния разных способов сушки корня корневой петрушки на его оптические и химические свойства.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлся измельченный (крупная терка) сырой корень корневой петрушки (Ленинградская область), очищенный от коркового слоя и подвергнутый сушке тремя способами: воздушным при температуре 20°C, в термостате в течение 10 ч при 50°C и методом лиофилизации с использованием сублимационной сушки Triad 7400030 (Labconco, США) при температуре –30°C и давлении вакуума 165 Па в течение 72 ч без дополнительной сушки при положительных температурах. Рабочая фракция после измельчения сухих образцов и просеивания составляла 0,5–2,0 мм.

Полученные образцы анализировались стандартными химическими методами на кислотность, содержание аскорбиновой кислоты (ГОСТ 24104), влажность, зольность и содержание экстрактивных веществ по ГОСТ 24027.2-80. Метод ИКС НПВО применен к исследованию сырого и сухих образцов корня петрушки, концентратов водных экстрактов, воздушно-сухих водных шротов и золы. Колебательные спектры снимали на Фурье-спектрометре Tensor 37 (Bruker, Германия) в диапазоне частот 4000–600 см⁻¹ в формате поглощения. Кинетические кривые изменения рН в процессе водной экстракции образцов получали на рН-метре марки Эксперт-0,0001. Экстрактивные вещества извлекали из сырья на водяной бане в течение 40–50 минут. Водные концентраты получали упариванием экстрактов после их отделения от шротов, которые в свою очередь подвергались воздушной сушке при комнатной температуре.

Результаты и их обсуждение

На рисунке 1 приведены кинетические кривые выхода экстрактивных веществ и изменения кислотности в процессе водной экстракции сырого и сухих образцов корня петрушки, из которых видно, что способ сушки заметно влияет на оба показателя сырья. Выход экстрактивных веществ увеличивается при сублимационной сушке и сушке при 50°C по сравнению с воздушной. Данные говорят и о разной скорости процесса экстракции, которая в первые 15 минут несколько ниже для воздушно-сухого образца. Полностью экстрактивные вещества выходят в настои за 30–40 минут. Структура ткани корня петрушки, меняющаяся в зависимости от способа сушки, обуславливает динамику процесса экстракции и количество экстрактивных веществ, вышедших в настой.

Экстремальный характер зависимости $pH = f(\tau, \text{мин})$ для сырого корня петрушки (рисунок 1б) говорит о том, что в составе экстрагируемых веществ присутствуют вещества как основного характера, извлекаемые в первую очередь, так и кислотного.

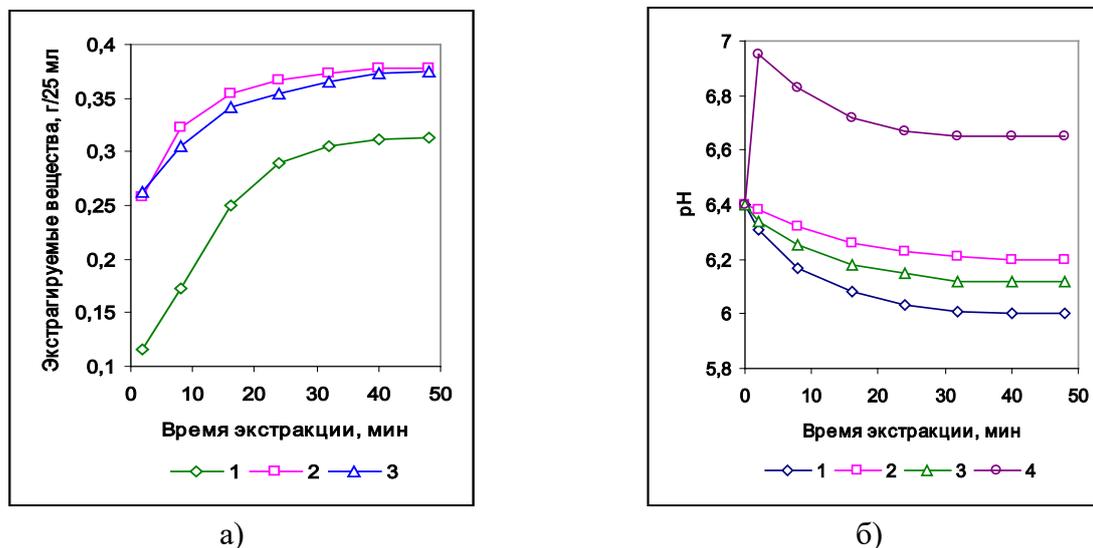


Рисунок 1 – а) Кинетические кривые выхода экстрагируемых веществ; б) Изменения рН в процессе экстракции образцов корня петрушки:
1 – воздушно-сухой; 2 – лиофилизированный; 3 – сушка при 50°C; 4 – сырой

Однако характер изменения кислотности экстрактов сухих образцов существенно изменяется, показывая снижение рН, что может говорить о более легком удалении при всех способах сушки именно веществ основного типа и что по вещественному составу их экстракты заметно различаются. По сравнению с сырой петрушкой любой способ сушки приводит к выводу из корня значительно больше веществ, дающих кислую реакцию. И в этом случае кривая лиофилизованного образца лежит несколько выше просушенного при повышенной температуре. Образец, подвергнутый воздушной сушке, имел самый кислый экстракт.

Рисунок 2 иллюстрирует результаты анализа образцов на влажность, содержание аскорбиновой кислоты и золы. Как следует из рисунка 2а, наиболее высокую влажность имеет лиофилизированный образец. Это объясняется тем, что в отличие от свободной воды, выполняющей роль растворителя в растительных тканях, связанная вода при лиофилизации не удаляется вплоть до минус 30 ÷ 40°C [6, 7]. Степень удаления связанной воды возрастает с повышением положительных температур.

Содержание аскорбиновой кислоты (рисунок 2б) также зависит от условий сушки образца, что может быть связано с ее разрушением и окислением, интенсивность которых возрастает при длительной воздушной сушке. Самое высокое содержание аскорбиновой кислоты в сыром корне петрушки, но не она определяет рН его экстракта, в то время как для высушенных образцов характер изменения содержания витамина С коррелирует с характером изменения их кислотности.

Наиболее интересны результаты по анализу образцов на зольность. Количество золы и ее состав зависят от вида, органа, возраста растений, почвенно-климатических условий, применяемых форм и доз минеральных удобрений и других факторов. В полученной золе можно определить элементы, которые не теряются вследствие образования легколетучих соединений при высоких температурах (калий, кальций, магний, алюминий, марганец и т.д.). Поскольку разное растительное сырье очень различается по конечной температуре 100%-го озоления, согласно правилам фармакопеи, независимо от вида сырья процедуру проводят при стандартных условиях: предозоление – 1 ч при 230°C и озоление – 4 ч при 650°C. Для многих видов сырья это условия неполного озоления, но они позволяют сравнивать образцы не только по степени недоозоленности, но и по характеру наиболее устойчивых соединений при стандартных условиях озоления. Результаты по зольности корня петрушки (рисунок 2в) позволяют говорить о том, что при одном и том же содержании нелетучих минеральных веществ в образцах, способ сушки заметно и по-разному влияет на состав формирующихся и трансформирующихся металл-органических продуктов озоления, который предопределяется его индивидуальными физическими условиями. Самая высокая зольность отмечена у образца, высушенного при 50°C, а самая низкая у сырого корня.

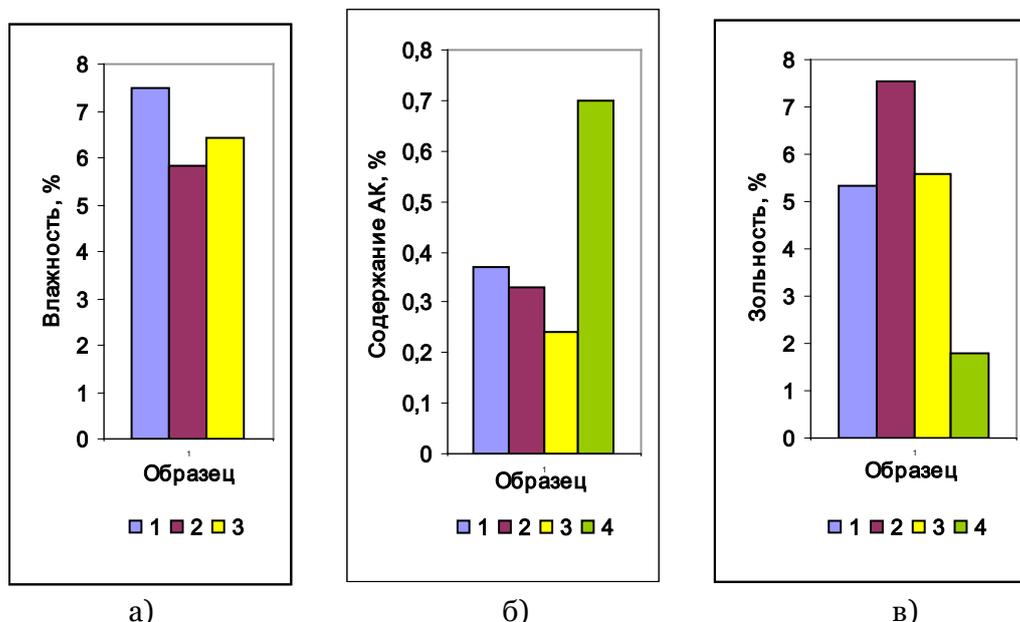


Рисунок 2 – Результаты химического анализа образцов корня петрушки: а) влажность; б) содержание аскорбиновой кислоты; в) содержание золы; 1 – лиофилизированный; 2 – высушенный при 50°C; 3 – воздушно сухой; 4 – сырой, в пересчете на сухой остаток

Из основных биоконпонентов, которые могут регистрироваться по ИК спектрам, в корнеплоде петрушки доминируют углеводы: моно- и олигосахариды, гемицеллюлозы, клетчатка. Белков и особенно липидов, сравнительно мало. Поэтому следуют ожидать, что главные отличия образцов, высушенных в разных условиях, могут наиболее заметно наблюдаться по изменению интенсивности полос, обусловленных колебаниями именно углеводных компонентов. Рисунок 3 иллюстрирует ИК спектры измельченного сырого и трех сухих образцов корня петрушки рабочей фракции (0,5–2,0 мм). В состав широкой высокочастотной полосы с максимумом в области 3310 см⁻¹, присутствующей во всех спектрах, могут входить валентные (симметричные и ассиметричные) колебания NH_n- и OH-группировок [14–16] строительных блоков всех основных биоконпонентов (белков, моносахаридов, клетчатки, гемицеллюлоз и др.) растительного сырья. В области 3000–2820 см⁻¹, на спаде правой ветви высокочастотного максимума, будут присутствовать полосы валентных колебаний CH_n-группировок также всех компонентов, в том числе жирных кислот липидов, витаминов и пигментных веществ, присутствующих в составе растительной ткани.

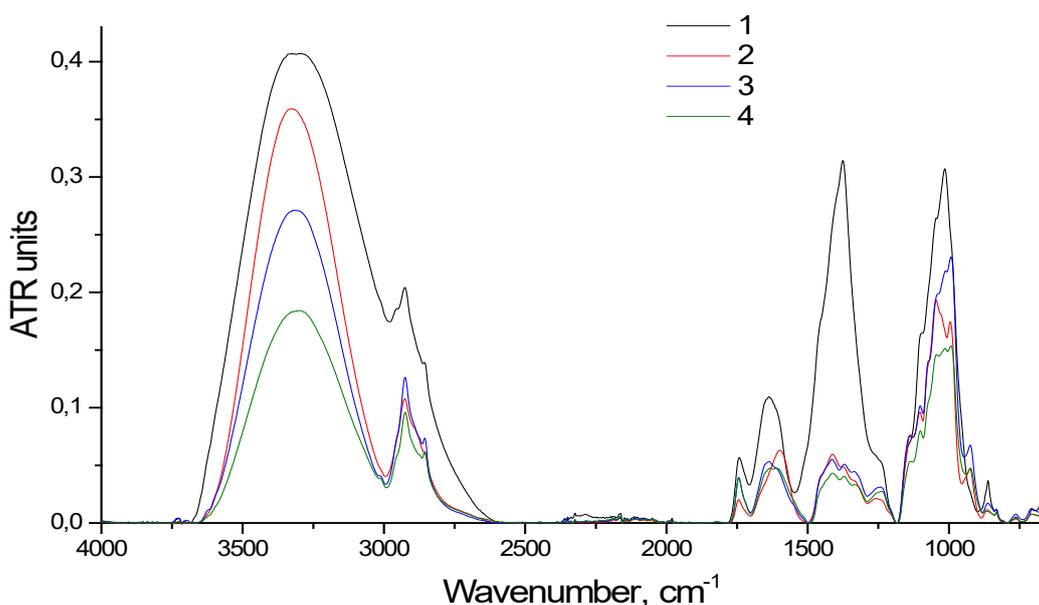


Рисунок 3 – ИК спектры образцов корня петрушки: 1 – сырой; 2 – высушен при 50°C; 3 – воздушно сухой; 4 – лиофилизированный

Слабые полосы в области 1750–1540 см⁻¹ принадлежат карбонильным С=О-группировкам и могут указывать на наличие в исследуемых образцах белковых и липидных компонентов, а также свободных карбоновых кислот. В диапазоне < 1500 см⁻¹ регистрируются трудно идентифицирующиеся в сложных объектах различные типы деформационных колебания СН_n-; NH_n-; OH-групп, и валентные колебания связей С–О; С–С и др. В этом диапазоне (990–1050 см⁻¹) в спектрах всех образцов наиболее выражены важные для нас полосы, обусловленные колебаниями С–О-связей углеводов.

Сопоставление полученных данных показывает, что спектр сырого корня петрушки, располагаясь существенно выше, в общем имеет тот же рисунок, что и сухие образцы. Различия во влиянии способа сушки проявляются в деталях – форме, структуре, интенсивности конкретной группы полос, положении и направлении сдвига их максимумов. Так порядок относительного расположения высокочастотного максимума (3310 см⁻¹) по шкале интенсивности в спектрах сухих образцов может говорить о том, что способ сушки влияет на остаточное содержание азотистых веществ, которых меньше в составе образца, подвергнутого лиофилизации в условиях эксперимента.

Последовательность в изменении очень близких по интенсивности полос, обусловленных колебаниями СН_n-группировок (3000–2820 см⁻¹), иная, она совпадает с последовательностью расположения по интенсивности максимумов, за появление которых ответственны колебания С–О-связей углеводных составляющих (1041–991 см⁻¹). Это, в свою очередь, свидетельствует о том, что наиболее мягкой для них является воздушная сушка при комнатной температуре и наиболее чувствительной – сублимационная. В спектре образца 2 (50°C) слабо проявлены симметричные колебания СН₂-группировок (2820 см⁻¹), что также может указывать на большую структурную жесткость углеводных блоков в составе данного образца.

Увеличенные фрагменты спектров на рисунке 4 более наглядно отражают отмеченные различия, обусловленные способом сушки. Причем, как следует из фрагмента «а», способ сушки влияет не только на суммарное содержание углеводов, но и на их качественный состав и прочность С–О-связей. Об этом свидетельствуют интенсивность, структуризация, рисунок полос и разнонаправленное смещение их максимумов (1041–1011–991 см⁻¹). Фрагмент «б» дает основание полагать, что на структурные комплексы, содержащие белковые компоненты, наиболее разрушающее влияние оказывает повышенная температура (кривая 2), что проявляется в снижении полосы поглощения 1741 см⁻¹ и в низкочастотном сдвиге ее второго максимума из положения 1673 см⁻¹ в положение 1597 см⁻¹. Следует отметить и разную последовательность в расположении спектральных кривых в составе рассмотренных полос, что указывает на разную чувствительность углеводных и белковых компонентов к экспериментальным условиям сушки. Для углеводных компонентов это повышенные положительные и отрицательные температуры. Данные, полученные для исследуемых образцов корня петрушки, показывают, что метод ИКС НПВО позволяет исследовать различия трансформационных изменений в структуре и составе основных биоконструктивных растительной ткани, происходящих при разных способах ее сушки.

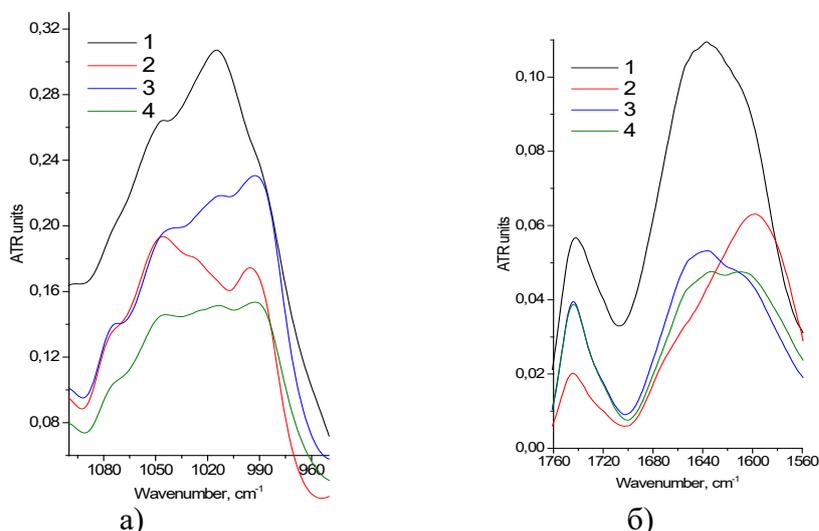


Рисунок 4 – Фрагменты ИК спектров образцов корня петрушки, представленных на рисунке 3: 1 – сырой; 2 – высушен при 50°C; 3 – воздушно сухой; 4 – лиофилизованный

Несмотря на то, что исследовались концентраты водных экстрактов образцов корня петрушки, их ИК спектры практически воспроизводят спектр дистиллированной воды, маскирующей все функциональные группировки, за исключением слабовыраженной широкой структурированной полосы в области примерно 1100–990 см⁻¹, где обычно проявляются моно-, олиго- и полисахариды. Полосы, характерные для белков и пептидов в спектрах не просматривались.

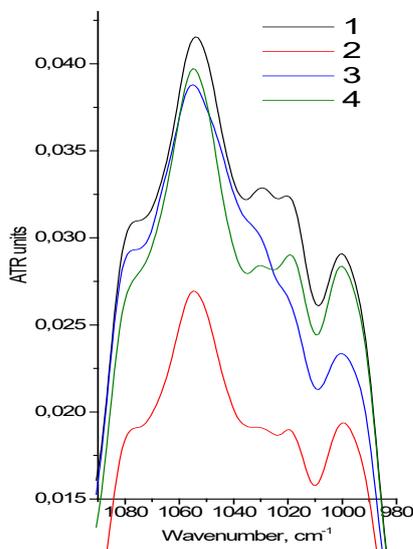


Рисунок 5 – Фрагмент ИК спектров концентратов водных экстрактов корня петрушки в области поглощения углеводных компонентов:
1 – сырой; 2 – высушен при 50°C; 3 – воздушно сухой; 4 – лиофилизированный

На рисунке 5 приведен фрагмент этого участка спектра, из которого видно, что наименьшее количество водорастворимых углеводов извлекается из образца, высушенного при 50°C. Хотя по интенсивности и ширине данной полосы остальные образцы близки, ее рисунок также говорит о разном качественном составе углеводных компонентов, перешедших в экстракт. Их максимальное количество наблюдается в экстракте сырого корня петрушки.

Анализ спектров шротов корня петрушки, представленных на рисунке 6, подтверждая результаты анализа экстрактов, также говорит о том, что из корня, высушенного при 50°C, экстрагировано наименьшее количество водорастворимых углеводов, об этом свидетельствует самая высокая интенсивность углеводной полосы в спектре этого образца. Высокочастотное направление смещения максимумов полос в областях 2900–2800 см⁻¹ и 900–1100 см⁻¹ указывает на трансформацию и упрочение структуры углеводных компонентов в процессе сушки при данной температуре.

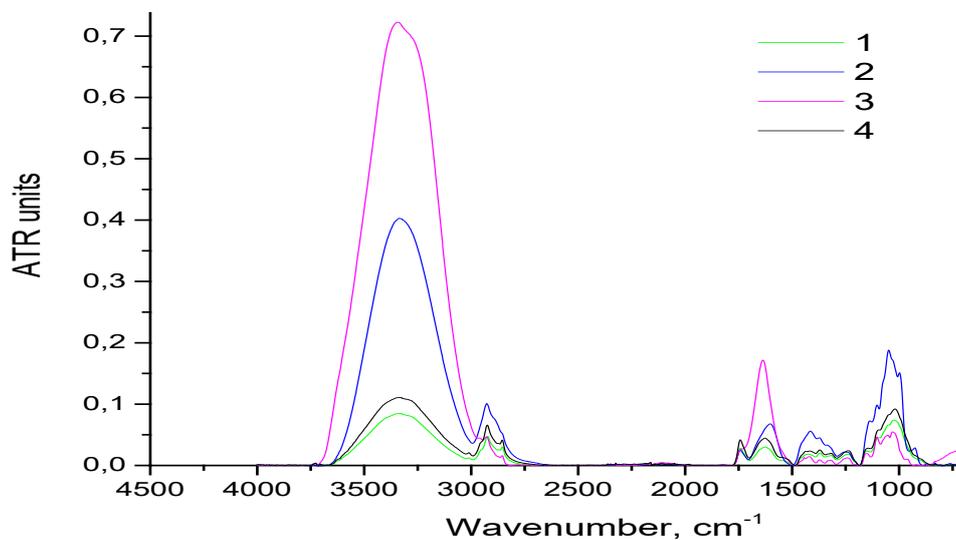


Рисунок 6 – ИК спектры воздушно сухих шротов корня петрушки:
1 – сырой; 2 – высушен при 50°C; 3 – воздушно сухой; 4 – лиофилизированный

Однако, низкое поглощение углеводов в спектре шрота воздушно-сухого образца, высокая интенсивность самой высокочастотной полосы (3420 см^{-1}) и хорошо проявленный максимум 1637 см^{-1} деформационных колебаний молекул воды могут указывать на более высокую влагоудерживающую способность его шрота. Наиболее близки по спектральным характеристикам шроты сырого и лиофилизованного корня петрушки.

Максимальное количество экстрагируемых веществ извлекается из сырого корня, о чем свидетельствует самое низкое расположение спектральной кривой его шрота. О том, что экстрактивные процессы в исследуемых системах протекают по-разному, говорят и органолептические показатели воздушно сухих шротов образцов. Шроты лиофилизованного и воздушно сухого образцов имели сыпучую консистенцию, шрот образца, высушенного при 50°C , был менее сыпучий и более плотный, а шрот сырого корня представлял прочные комки, которые плохо разрушались при надавливании.

Известно, что полное озоление растительного сырья разной природы наблюдается при разных температурах и требует разного времени. Но поскольку в данном случае исследованию подвергалось одно и то же сырье, и все образцы были озолены в стандартных условиях, то есть, не до конца, это позволяет провести сравнительную оценку спектральных характеристик золы, несущих дополнительную информацию о ее качественном химическом составе. Спектры образцов золы, представленные на рисунке 7, наилучшим образом отражают зависимость их оптических характеристик от способа сушки корня петрушки. В них проявлены те же полосы, что и в спектрах сухих образцов и шротов. Однако контуры, интенсивность и положение максимумов полос говорят о том, что в зависимости от условий предварительной сушки эффективность участия в процессе озоления для разных классов веществ будет различной.

Присутствие выраженных полос $3331\text{--}3250$ и 2990 см^{-1} в спектрах образцов сырого корня петрушки и высушенного при 50°C указывают на присутствие C-H - и N-H функциональных группировок. В спектрах воздушносухого и лиофилизованного образцов эти полосы практически не проявлены. Слабые полосы, обусловленные валентными колебаниями карбонильных C=O -групп структурных блоков пептидных составляющих, в области $1680\text{--}1540\text{ см}^{-1}$ все же говорят о их наличии. А низкочастотные сдвиги этих полос и трансформация их контура в спектрах воздушно-сухого и высушенного при 50°C корня, по сравнению с положением и интенсивностью в спектрах сырого и лиофилизованного образцов, указывают на их принадлежность разным структурным элементам.

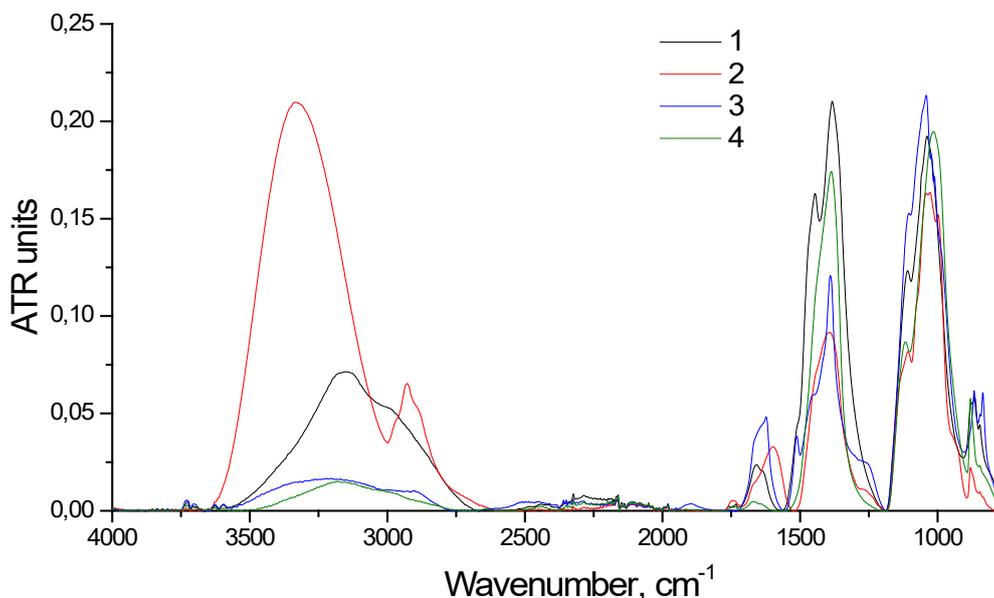


Рисунок 7 – ИК спектры золы образцов корня петрушки:
1 – сырой; 2 – высушен при 50°C ; 3 – воздушно-сухой; 4 – лиофилизованный

О разном содержании углеводной компоненты (рисунок 8) в составе золы рассматриваемых образцов и ее структурно-химическом состоянии говорят сдвиги максимумов полос и их интенсивность, обусловленные колебаниями C-O -связей. Наиболее заметный сдвиг в область низких частот наблюдается для образца, прошедшего сублимационную сушку.

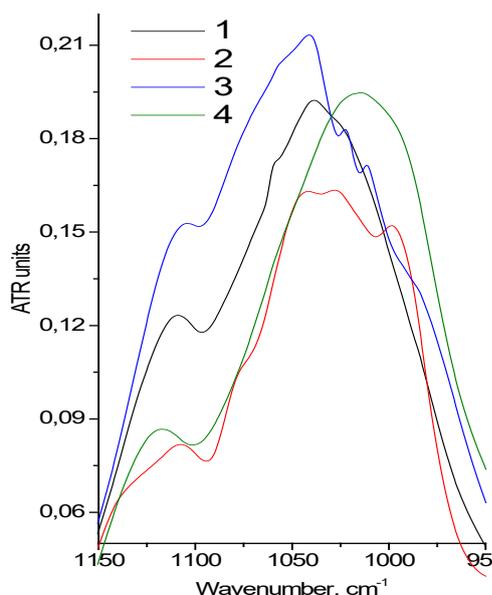


Рисунок 8 – Фрагмент ИК спектров золы образцов корня петрушки:
1 – сырой; 2 – высушен при 50°C; 3 – воздушно-сухой; 4 – лиофилизированный

Углеводные структурные элементы, проявляющиеся в составе золы, скорее всего, представлены более устойчивыми металл-углеводными комплексами, о чем может говорить более простой характер рисунка кривых на фрагменте этой полосы по сравнению с ее формой в спектрах экстрактов, шротов и сухих образцов (рисунки 4–6). Сами минеральные составляющие растительных тканей при озолении регистрируются обычно в области ниже 500 см⁻¹. Таким образом, результаты спектрального анализа показали, что на степень неполноты озоления при стандартных условиях влияет не только вид сырья, но и способ сушки одного и того образца растительного сырья.

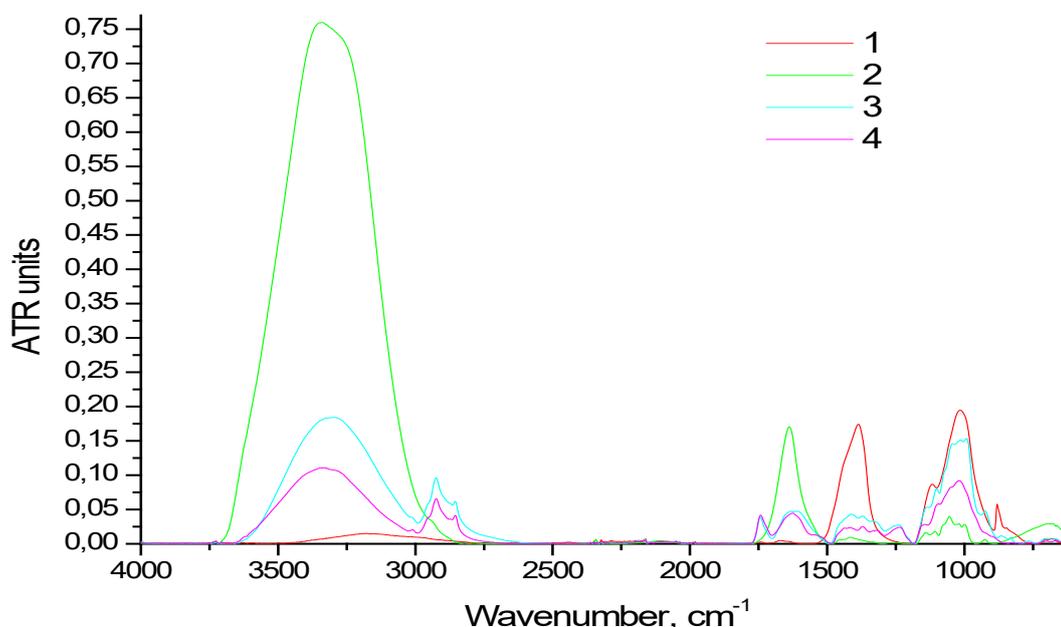


Рисунок 9 – ИК спектры лиофилизованного корня петрушки:
1 – зола; 2 – концентрат водного экстракта; 3 – корень сухой; 4 – воздушно сухой шрот

Рисунок 9 в качестве обобщающего примера иллюстрирует ИК спектры всех компонентов лиофилизованного корня петрушки. Из него видно, что в спектре золы проявляется только полоса С–О-связи (1041 см⁻¹) углеводов и она выше, чем в спектре сухого образца. В спектре шрота помимо углеводной, наблюдается полоса поглощения белковых (1540 см⁻¹) структур, которые присутствуют и в спектре сухого образца. Спектр экстракта представлен полосами валентных (3338 см⁻¹)

и деформационных (1637 см^{-1}) колебаний дистиллированной воды и слабой структурированной полосой поглощения углеводных компонентов.

Выводы

Комплексное исследование рядом стандартных химических методов и методом ИКС НПВО корня корневой петрушки, подвергнутого сушке тремя способами – воздушной при 20 и 50°C и сублимационной при –30°C, показало, что технологические особенности процессов удаления влаги проявляются в результатах всех проведенных исследований. В зависимости от способа сушки имеют место разного рода и разной степени структурные изменения полисахаридных комплексов и сопутствующие им изменения или разрушения других компонентов, что выражается в различии суммарного содержания экстрактивных веществ, кислотности водных вытяжек и зольности исследованных образцов. Однозначной прямой связи между результатами химического анализа и спектральными данными не наблюдается, поскольку такие показатели, как содержание экстрактивных веществ и рН являются суммарными показателями всех классов веществ, вышедших в экстракт. Тогда как спектральные данные несут информацию об определенных различиях в вещественном составе сухих образцов, их экстрактов, шротов и золы, позволяя оценить влияние на идентифицируемые компоненты условий температурной обработки.

Однако отмечено, что с повышением температуры и, соответственно, с уменьшением влажности, в зависимости от технологических условий обработки, снижается зольность образцов и содержание углеводов в их экстрактах. Причем с увеличением содержания углеводов в водных вытяжках, их содержание в шротах, по данным колебательных спектров, закономерно снижается. Полученные данные позволили наблюдать разную чувствительность углеводных и белковых структур к температурным режимам высушивания образцов, что заметно по результатам последующих операций водной экстракции и озоления. Белковые структуры в составе полисахаридных комплексов менее устойчивы при 50°C, углеводные – чувствительны к повышенным положительным и минусовым температурам.

Литература

1. *Формазиук В.И.* Энциклопедия пищевых лекарственных растений. Киев: АСК, 2003. 792 с.
2. *Паромчик И.И.* Пряно-ароматические и лекарственные растения в технологиях получения биологически активных добавок и CO₂-экстрактов // Мясная индустрия. 2009. № 3. С. 45–49.
3. *Корсун В.Ф., Трескунов К.А., Корсун Е.В., Мицконас А.* Лекарственные растения в онкологии. СПб.: ЭКО-Вектор, 2017. 432 с.
4. *В.Ф. Корсун, Н.А. Огренич, Е.В. Корсун.* Гормонорегулирующие свойства фитолектинов при эндометриозе // Труды БГУ, 2013. Т. 8. Ч. 2. С. 27–32.
5. *Новиков Н.Н.* Биохимия растений. М.: Колос, 2012. 679 с.
6. *Семенов Г.В., Булкин М.С., Кузенков А.В.* Современные направления научных исследований и технические решения по интенсификации процесса сублимационной сушки в пищевой промышленности, фармпроизводствах и прикладной биотехнологии (Часть 2) // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2015. № 2. С. 112–124.
7. *Антипов А.В., Дугаров Ц.Б.* Сублимационная сушка как метод консервирования продуктов // Переработка молока, 2012. № 11. С. 30–32.
8. *Palacios I., Guillamón E., García-Lafuente A., Villares A.* Effects of Freeze-Drying Treatment on the Aromatic Profile of Tuber spp. Truffles. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2014. V. 38. Is. 3, pp. 768–773.
9. *Блынская Е.В., Тишков С.В., Алексеев К.В.* Технологические подходы к совершенствованию процесса лиофилизации белковых и пептидных лекарственных препаратов // Российский биотерапевтический журнал. 2017. Т. 16. №1. С. 6–11.
10. *Игнатов В.Е., Пойманов В.В., Нестеров Д.А.* Исследование процесса вакуум-сублимационной сушки бактериальных концентратов // Вестник ВГУИТ. 2013. №1. с. 27–29.
11. *Кретович В.Л.* Биохимия растений. М.: Высшая школа, 1986. 503 с.
12. *Красильникова Л.А., Авксентьева О.А., Жмурко В.В., Садовниченко Ю.А.* Биохимия растений. Харьков: Торсинг, 2004. 224 с.
13. *Тарасевич Б.Н.* Основы ИК спектроскопии с преобразованием Фурье. Подготовка проб в ИК спектроскопии. М.: МГУ, 2012. 22 с.
14. *Бёккер Ю.* Спектроскопия. М.: Мир, 2009. 528 с.
15. *Stuart В.Н.* *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*. N.-Y.: Wiley, 2004. 242 p.

16. Преч Э., Бюльманн Ф., Аффольтер К. Определение строения органических соединений. Таблицы спектральных данных / пер. с англ. Б.Н. Тарасевича. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2006. С. 251–318.

References

1. Formazyuk V.I. *Entsiklopediya pischevyh lekarstvennyh rasteniy* [Encyclopedia of food medicinal plants]. Kiev, ACK Publ., 2003. 792 c.
2. Paromchik I.I. Pryano-aromaticheskie i lekarstvennye rasteniya v tehnologiyah polucheniya biologicheskii aktivnyh dobavok i CO₂-ekstraktov [Spicy-aromatic and medicinal plants in the production technology of biologically active additives and CO₂ extracts]. *Meat industry*. 2009, no. 3, pp. 45–49.
3. Korsun V.F., Treskunov K.A., Korsun E.V., Mitskonas A. *Lekarstvennye rasteniya v onkologii* [Medicinal plants in Oncology]. St. Petersburg, EKO-Vektor Publ., 2017. 432 c.
4. Korsun V.F., Ognich N.A., Korsun E.V. Gormonoreguliruyushchie svoystva fitolektinov pri endometriioze [Gormonozawisimae properties of phytolectins with endometriosis]. *Proceedings of the Belarusian State University*, 2013, V. 8, no. 2, pp. 27–32.
5. Novikov N.N. *Biohimiya rasteniy* [Phytochemistry]. Moscow, Kolos Publ., 2012. 679 c.
6. Smenov G.V., Bulkin M.S., Kuzenkov A.V. Sovremennye napravleniya nauchnyh issledovaniy i tehnicheckie resheniya po intensivatsii protsessa sublimatsionnoy sushki v pishvoy promyshlennosti, farmproizvodstvakh i prikladnoy biotekhnologii (Part 2) [Modern directions of scientific research and technical solutions to intensify the process of freeze drying in the food industry, pharmaceutical production and applied biotechnology]. *Processes and Food Production Equipment*. 2015, no. 2, pp. 112–124.
7. Antipov A.V., Dugarov Ts.B. Sublimatsionnaya sushka kak metod konservirovaniya produktov [Freeze-drying as a method of preserving food]. *Processing of milk*. 2012, no. 11, pp. 30–32.
8. Palacios I., Guillamón E., García-Lafuente A., Villares A. Effects of Freeze-Drying Treatment on the Aromatic Profile of Tuber spp. Truffles. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2014, V. 38, Is. 3, pp. 768–773.
9. Blynskaya E.V., Tishkov S.V., Alekseev K.V. Tehnologicheskie podhody k sovershenstvovaniyu protsessa lifilizatsii belkovykh i eptidnuh lekarstvennykh preparatov [Technological approaches to improving the process of lyophilization of protein and peptide drugs]. *Russian biotherapeutic journal*. 2017, V. 16, no. 1, pp. 6–11.
10. Ignatov V.E., Poyymanov V.V., Nesterov D.A. Issledovanie protsessa vakyym-sublimatsionnoy sushki bakterialnykh kontsentratov [Study of the process of vacuum-sublimation drying of bacterial concentrates]. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2013, no. 1, pp. 27–29.
11. Kretovich B.L. *Biohimiya rasteniy* [Phytochemistry]. Moscow, Visshaya shkola Publ., 1986. 503 c.
12. Krasilnikova L.A., Avksentieva O.A., Shmurko B.V., Sadovnichenko Yu.A. *Biohimiya rasteniy* [Phytochemistry]. Harkov, Torsing Publ., 2004. 224 c.
13. Tarasevich B.N. *Osnovy IK spektroskopii s preobrazovaniem Furie* [Fundamentals of infrared spectroscopy with Fourier transform. Preparation of samples in IR spectroscopy]. Moscow, Moscow State University Publ., 2012. 22 c.
14. Beker Yu. *Spektroskopiya* [Spectroscopy]. Moscow, Mir Publ., 2009. 528 c.
15. Stuart B.H. *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*. N.-Y.: Wiley, 2004. 242 p.
16. Prech E., Bühlmann F., Affolter K. *Opredelenie stroeniya organicheskikh soedineniy* [Determination of the structure of organic compounds]. Tables of spectral data. Moscow, Binomial. Laboratory of knowledge Publ., 2006. pp. 251–318.

Статья поступила в редакцию 28.06.2018