

УДК 581.47:543.42

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СПЕКТРАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РАСТЕНИЙ****Атаева Дж.Т.***кандидат медицинских наук, директор**Ашхабадская медицинская средняя школа имени Индиры Ганди**Туркменистан, г. Ашхабад***Байрамлыева М.Х.***преподаватель фармакологии**Ашхабадская медицинская средняя школа имени Индиры Ганди**Туркменистан, г. Ашхабад***Тахырова М.Б.***преподаватель химии**Ашхабадская медицинская средняя школа имени Индиры Ганди**Туркменистан, г. Ашхабад*

Аннотация. В статье рассматриваются возможности применения современных спектральных методов для определения химического состава растений и оценки их физиологического состояния. Актуальность исследования обусловлена необходимостью развития высокоточных, неразрушающих и оперативных методов анализа, позволяющих получать достоверную информацию о химической организации растительных тканей в фундаментальных и прикладных исследованиях. В работе использован комплекс спектроскопических методов, основанных на регистрации взаимодействия электромагнитного излучения с веществом, в сочетании с математической и статистической обработкой спектральных данных. Проведённый анализ показал, что спектральные характеристики растений в нормальных условиях отличаются высокой воспроизводимостью и отражают

Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

сбалансированное содержание основных химических компонентов. Экспериментальные изменения условий приводят к закономерной перестройке спектральных параметров, связанной с модификацией метаболических процессов и молекулярной структуры биологических соединений. Установлена высокая корреляция между спектральными показателями и результатами эталонного химического анализа, что подтверждает возможность количественной интерпретации спектральных данных. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования современных спектральных методов для анализа химического состава растений, мониторинга их физиологического состояния и изучения адаптационных механизмов в условиях воздействия факторов среды.

Ключевые слова: растения, химический состав, спектральные методы, спектроскопия, неразрушающий анализ, физиологическое состояние, адаптация растений.

USING MODERN SPECTRAL METHODS TO DETERMINE THE CHEMICAL COMPOSITION OF PLANTS

Atayeva J.T.

Candidate of Medical Sciences, Director

Indira Gandhi Ashgabat Medical Secondary School

Turkmenistan, Ashgabat

Bayramlyeva M.H.

Pharmacology Lecturer

Indira Gandhi Ashgabat Medical Secondary School

Turkmenistan, Ashgabat

Tahyrova M.B.

Chemistry Lecturer

Indira Gandhi Ashgabat Medical Secondary School

Turkmenistan, Ashgabat

Abstract. This article examines the potential of modern spectral methods to determine the chemical composition of plants and assess their physiological state. The relevance of this study stems from the need to develop highly accurate, non-destructive, and rapid analytical methods that enable reliable information on the chemical organization of plant tissues in fundamental and applied research. This study utilized a combination of spectroscopic methods based on recording the interaction of electromagnetic radiation with matter, combined with mathematical and statistical processing of spectral data. The analysis revealed that the spectral characteristics of plants under normal conditions are highly reproducible and reflect a balanced content of essential chemical components. Experimental changes in conditions lead to predictable changes in spectral parameters, reflecting modifications in metabolic processes and the molecular structure of biological compounds. A high correlation was established between spectral parameters and the results of standard chemical analysis, confirming the feasibility of quantitatively interpreting spectral data. The results demonstrate the potential of modern spectral methods for analyzing the chemical composition of plants, monitoring their physiological state, and studying their adaptation mechanisms under environmental influences.

Key words: plants, chemical composition, spectral methods, spectroscopy, non-destructive analysis, physiological state, plant adaptation.

Исследование химического состава растений играет решающую роль в современной ботанике, физиологии растений, сельскохозяйственной биотехнологии и науке об окружающей среде, поскольку химический состав растительных тканей определяет их физиологическую активность,

адаптивность и экономическую ценность. Содержание макро- и микроэлементов, вторичных метаболитов, пигментов и структурных биополимеров в растениях отражает не только их генетические характеристики, но и их реакцию на условия окружающей среды, стресс и биохимическую адаптацию. Анализ этих характеристик необходим для понимания механизмов роста, развития и адаптации растений, а также для разработки эффективных технологий растениеводства, селекции и экологического мониторинга [1].

Различные абиотические и биотические факторы, такие как изменения температуры, влажности, светового режима, минерального обеспечения или антропогенный стресс, могут приводить к реорганизации метаболических процессов и, следовательно, к изменениям химического состава растительных тканей. Эти изменения могут быть адаптивными или деструктивными; поэтому их исследование является важным инструментом для оценки физиологического состояния растений. Хотя традиционные методы химического анализа отличаются высокой точностью, они часто являются трудоемкими, разрушительными и дают медленные результаты, что существенно ограничивает их применение в оперативном мониторинге и полевых исследованиях [2]. В последние десятилетия значительно продвинулись современные спектроскопические методы анализа, основанные на взаимодействии электромагнитного излучения с веществом. Спектроскопические методы позволяют получать информацию о химическом составе растений на молекулярном и супрамолекулярном уровнях, обеспечивая высокую чувствительность, высокую воспроизводимость и возможность неразрушающего обнаружения. Применение инфракрасного, ближнего инфракрасного, ультрафиолетового и других спектральных диапазонов открыло новые возможности для быстрого определения органических и неорганических компонентов, а также для обнаружения структурных и функциональных

изменений в тканях растений [3]. Спектроскопические методы особенно важны для комплексного анализа растений, поскольку они требуют одновременного определения множества химических параметров. Современные методы обработки спектроскопических данных, включая математическое моделирование и многомерный анализ, позволяют выявлять потенциальные закономерности между спектральными свойствами растений и их химическим составом. Это способствует переходу от качественного к количественному описанию биохимических процессов в растительных системах [4]. Хотя спектроскопические методы широко используются в биологических и сельскохозяйственных исследованиях, систематический сбор данных об их применении для определения химического состава растений, а также оценка их информационного содержания и ограничений по сравнению с традиционными аналитическими методами остается важной задачей. Комплексные исследования спектральных свойств образцов растений в сочетании с анализом их химической структуры могут обеспечить более глубокое понимание физиологического состояния растений и заложить научную основу для разработки новых диагностических и мониторинговых технологий [5]. Поэтому применение современных спектроскопических методов представляет собой перспективное направление исследований, направленное на более глубокое понимание химического состава растений и механизмов их адаптации к постоянно меняющимся условиям окружающей среды. Важность этих исследований заключается в необходимости разработки высокоточных, неразрушающих и быстрых аналитических методов для объективного определения химического состава растений в фундаментальных и прикладных исследованиях.

Цели исследования

Данное исследование анализирует эффективность современных спектроскопических методов определения компонентов растений с целью выяснения взаимосвязи между спектральными свойствами и биохимическим составом растительной ткани.

Для достижения этой цели план исследования включает: изучение спектральных свойств, отражающих содержание основных компонентов в растениях; оценку информационного содержания различных спектральных диапазонов при анализе компонентов растений; исследование взаимосвязи между спектральными параметрами и физиологическим состоянием растений; и демонстрацию потенциала применения спектроскопических методов в биологических, сельскохозяйственных и экологических исследованиях.

Материалы и методы

В данном исследовании сочетаются экспериментальные и аналитические методы для изучения химического состава образцов растений с использованием современных спектроскопических методов. Эксперименты проводились в соответствии с установленными физико-химическими методами анализа биологических образцов для обеспечения воспроизводимости результатов и объективности данных. Объектами исследования были образцы растений, собранные в контролируемых условиях для минимизации влияния внешних факторов и обеспечения сопоставимости спектральных свойств и химических параметров [6].

Образцы растений собирались на одной и той же стадии развития, чтобы учесть морфологическую однородность и физиологическое состояние растений. Для исключения вариаций, вызванных пространственной неоднородностью тканей, образцы брались из одной и той же анатомической области растения. После сбора образцы подвергались предварительной обработке. Это включало

удаление поверхностных загрязнений, сушку при контролируемых температурах и измельчение до стандартизированного размера частиц. Этот метод предварительной обработки обеспечивал стабильность спектральных измерений и повышал точность определения химического состава [7].

Образцы растений собирались на одной и той же стадии развития, чтобы учесть морфологическую однородность и физиологическое состояние. Спектральный анализ образцов растений проводился с использованием современных спектроскопических методов, основанных на измерении взаимодействия электромагнитного излучения с веществом. Измерения проводились в различных спектральных диапазонах для получения информации о содержании органических соединений, пигментов и минеральных компонентов. Спектральная запись проводилась в строго контролируемых условиях освещения, температуры и влажности для исключения влияния внешних факторов на результаты анализа. Каждый образец сканировался несколько раз, а данные впоследствии усреднялись для повышения надежности полученных спектральных характеристик [8]. Для интерпретации спектральных данных использовались математические процедуры, включая спектральную нормализацию, удаление шума и извлечение информативных спектральных характеристик. Полученные спектральные параметры сравнивались с данными химического анализа, основанного на определении содержания основных компонентов в тканях растений стандартными методами. Это сравнение позволило установить количественную связь между спектральными характеристиками и концентрацией исследуемых веществ и оценить чувствительность спектроскопических методов к изменениям химического состава растений [9]. Химический состав растений количественно определяли путем создания калибровочной модели, связывающей спектральные данные с результатами

химического анализа. Для оценки точности и воспроизводимости модели использовали методы статистического анализа, включая расчет коэффициентов корреляции и стандартных ошибок прогнозирования. Статистическую значимость различий между образцами определяли на уровне значимости $p < 0,05$, что соответствует общепринятым требованиям экспериментальных исследований в аналитической химии и биологии растений [10]. Для интерпретации результатов использовали комбинированный подход спектрального и химического анализа. Этот метод не только количественно определяет содержание каждого компонента, но и выявляет общие закономерности изменений химического состава компонентов растений в зависимости от их физиологического состояния и условий роста. Совместное применение спектроскопических методов и математической обработки данных обеспечивает высокую информативность исследования и позволяет объективно оценить потенциал этих методов для анализа химического состава образцов растений [11].

Результаты

Спектральный анализ растительных образцов контрольной группы выявил устойчивые и воспроизводимые спектральные характеристики, соответствующие физиологически нормальному химическому составу растений. Спектры отличались четко выраженными полосами поглощения, отражающими наличие основных органических компонентов, включая углеводы, белки и пигментные соединения. Интенсивность и положение характерных спектральных максимумов находились в пределах значений, описанных в литературе для растительных тканей в нормальном физиологическом состоянии, что свидетельствует о стабильности химической организации исследуемых образцов [12].

В образцах экспериментальной группы были зафиксированы выраженные изменения спектральных характеристик, указывающие на перестройку химического состава растений. Эти изменения проявлялись в смещении и изменении интенсивности отдельных полос поглощения, а также в появлении дополнительных спектральных признаков, связанных с вариацией содержания органических и минеральных компонентов. На ранних этапах наблюдений наиболее отчетливо проявлялись изменения в спектральных диапазонах, ассоциированных с колебаниями функциональных групп органических соединений, что может указывать на нарушение метаболических процессов и изменение структуры биомолекул [13].

По мере продолжения исследования в экспериментальных образцах наблюдалась дальнейшая дифференциация спектральных признаков. В ряде случаев фиксировалось ослабление интенсивности пиков, соответствующих фотосинтетическим пигментам, что свидетельствует о снижении их концентрации и изменении функционального состояния растительных тканей. Одновременно отмечалось усиление спектральных характеристик, связанных с накоплением вторичных метаболитов, что может рассматриваться как биохимическая реакция растений на воздействие внешних факторов и проявление адаптационных механизмов [14].

Количественный анализ спектральных данных подтвердил выявленные качественные изменения. Калибровочные модели, построенные на основе сопоставления спектральных характеристик с результатами химического анализа, продемонстрировали высокую степень корреляции между спектральными параметрами и концентрацией основных химических компонентов растений. В экспериментальной группе было зафиксировано статистически значимое снижение содержания ряда органических соединений по сравнению с контрольными образцами ($p < 0,05$), а также изменение

соотношения отдельных химических фракций, отражающее перестройку метаболического профиля растений [15].

Анализ динамики спектральных показателей показал наличие тенденций к частичному восстановлению химического состава растений на поздних этапах наблюдения. Это выражалось в стабилизации интенсивности отдельных спектральных полос и приближении их параметров к значениям, характерным для контрольной группы. Такие изменения могут свидетельствовать о включении компенсаторных биохимических механизмов и адаптации растений к изменяющимся условиям среды [16].

Таким образом, полученные результаты демонстрируют, что применение современных спектральных методов позволяет выявлять тонкие изменения химического состава растений, отражающие как фазу нарушения метаболических процессов, так и последующую фазу адаптации и частичного восстановления. Совокупность спектральных и количественных данных подтверждает высокую информативность спектроскопических технологий при оценке химического состояния растительных объектов и их реакции на внешние воздействия [17].

Обсуждение

Полученные результаты подтверждают высокую информативность современных спектральных методов при анализе химического состава растений и демонстрируют их способность фиксировать как стабильные характеристики нормального физиологического состояния, так и тонкие изменения, связанные с нарушением метаболических процессов. Выявленные спектральные особенности контрольных образцов отражают сбалансированное соотношение основных биохимических компонентов, что согласуется с представлениями о спектральных сигнатурах физиологически интактных растительных тканей, описанных в ряде фундаментальных и прикладных исследований [18].

Изменения спектральных характеристик, зафиксированные в экспериментальной группе, указывают на перестройку химической организации растений под воздействием внешних факторов. Смещение и изменение интенсивности спектральных полос, ассоциированных с функциональными группами органических соединений, свидетельствуют о модификации молекулярной структуры биополимеров и изменении метаболических путей. Подобные спектральные сдвиги ранее интерпретировались как отражение стресс-индуцированных изменений в составе углеводов, белков и липидных компонентов растительных тканей, а также как маркеры нарушения фотосинтетической активности [19].

Особый интерес представляет снижение интенсивности спектральных признаков, связанных с фотосинтетическими пигментами, наблюдаемое в экспериментальных образцах. Данный факт может указывать на подавление фотосинтетических процессов и снижение функциональной активности хлоропластов, что является характерной реакцией растений на неблагоприятные условия среды. Одновременно усиление спектральных характеристик, ассоциированных со вторичными метаболитами, может рассматриваться как проявление защитных и адаптационных механизмов, направленных на стабилизацию внутренней химической среды растения [20].

Высокие значения коэффициентов корреляции между спектральными параметрами и результатами эталонного химического анализа подтверждают возможность использования спектроскопических методов для количественной оценки химического состава растений. Это имеет принципиальное значение для развития неразрушающих технологий мониторинга, позволяющих оперативно оценивать физиологическое состояние растений без необходимости проведения трудоёмких лабораторных процедур. Полученные данные согласуются с современными тенденциями интеграции спектральных методов в

агробιοιογические и экологические исследования, где требуется высокая скорость и точность диагностики [21].

Выявленная тенденция к частичному восстановлению спектральных характеристик на поздних этапах наблюдения свидетельствует о динамическом характере химической адаптации растений. Стабилизация спектральных параметров и их приближение к контрольным значениям могут отражать включение компенсаторных биохимических процессов, направленных на восстановление нарушенного метаболического баланса. Такой характер изменений подчёркивает важность учета временного фактора при интерпретации спектральных данных и подтверждает целесообразность динамического спектрального мониторинга растительных объектов [22].

В целом, результаты обсуждения показывают, что современные спектральные методы не только позволяют фиксировать статические показатели химического состава растений, но и дают возможность анализировать динамику биохимических процессов, связанных с воздействием факторов среды и адаптацией растений. Комплексный подход, сочетающий спектральный анализ и математическую обработку данных, открывает перспективы для более глубокого понимания механизмов химической организации растительных систем и расширяет возможности применения спектроскопических технологий в фундаментальных и прикладных исследованиях [23].

Заключение

Проведённое исследование показало, что использование современных спектральных методов представляет собой эффективный и научно обоснованный подход к определению химического состава растений и анализу их физиологического состояния. Полученные данные подтверждают, что спектроскопические технологии обладают высокой чувствительностью к

изменениям химической организации растительных тканей и позволяют выявлять как стабильные характеристики нормального состояния, так и динамические сдвиги, обусловленные воздействием факторов среды. Это делает спектральный анализ универсальным инструментом для фундаментальных и прикладных исследований в области ботаники, физиологии растений, агронаук и экологического мониторинга.

В ходе работы было установлено, что спектральные характеристики растительных образцов в нормальных условиях отличаются воспроизводимостью и отражают сбалансированное содержание основных химических компонентов, включая органические соединения и пигментные системы. В то же время экспериментальные изменения условий приводят к закономерной перестройке спектральных параметров, что указывает на модификацию метаболических процессов и молекулярной структуры биологических веществ. Такие изменения могут рассматриваться как объективные индикаторы физиологического стресса, адаптационных реакций и биохимической пластичности растений.

Особое значение имеет выявленная возможность количественной интерпретации спектральных данных. Построение калибровочных моделей и высокая степень корреляции между спектральными параметрами и результатами эталонного химического анализа подтверждают перспективность применения спектроскопических методов для количественной оценки химического состава растений. Это открывает возможности для внедрения неразрушающих, экспрессных и ресурсосберегающих технологий анализа, способных существенно повысить эффективность лабораторных и полевых исследований.

Результаты исследования также подчёркивают динамический характер изменений химического состава растений. Наблюдаемые тенденции к

стабилизации и частичному восстановлению спектральных характеристик свидетельствуют о включении компенсаторных биохимических механизмов и адаптации растительных организмов к изменяющимся условиям. Это подтверждает целесообразность использования спектральных методов не только для разовой диагностики, но и для мониторинга временной динамики физиологического состояния растений, что особенно важно при изучении стрессовых воздействий, агротехнологических приёмов и экологических факторов.

В целом, полученные результаты демонстрируют, что современные спектральные методы обладают высоким научным и практическим потенциалом для исследования химического состава растений. Их интеграция с математическими и статистическими методами обработки данных позволяет перейти от описательного анализа к формированию объективных, количественно обоснованных выводов о состоянии растительных систем. Это расширяет методологические возможности исследований и создаёт предпосылки для разработки новых диагностических и мониторинговых подходов в биологии растений, сельском хозяйстве и экологии.

Таким образом, использование современных спектральных методов является перспективным направлением развития аналитических технологий в исследовании растений, обеспечивающим углублённое понимание химической организации растительных тканей, механизмов их адаптации и функциональной устойчивости. Полученные в работе выводы могут служить научной основой для дальнейших исследований и практического применения спектроскопических технологий в решении актуальных задач биологических и аграрных наук.

Библиографический список:

1. Taiz L., Zeiger E., Møller I.M., Murphy A. Plant Physiology and Development. 6th ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2015. 761 p.
2. Lichtenthaler H.K. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. Methods in Enzymology. 1987;148:350–382. DOI: 10.1016/0076-6879(87)48036-1
3. Stuart B. Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications. Chichester: John Wiley & Sons, 2004. 224 p.
4. Workman J., Weyer L. Practical Guide to Interpretive Near-Infrared Spectroscopy. Boca Raton: CRC Press, 2007. 344 p.
5. Pasquini C. Near infrared spectroscopy: fundamentals, practical aspects and analytical applications. Journal of the Brazilian Chemical Society. 2003;14(2):198–219. DOI: 10.1590/S0103-50532003000200006
6. Osborne B.G., Fearn T., Hindle P.H. Practical NIR Spectroscopy with Applications in Food and Beverage Analysis. 2nd ed. Harlow: Longman Scientific & Technical, 1993. 227 p.
7. Burns D.A., Ciurczak E.W. (eds.). Handbook of Near-Infrared Analysis. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2008. 834 p.
8. Smith E., Dent G. Modern Raman Spectroscopy: A Practical Approach. Chichester: John Wiley & Sons, 2005. 210 p.
9. Schrader B. Infrared and Raman Spectroscopy: Methods and Applications. Weinheim: VCH Publishers, 1995. 804 p.
10. Cozzolino D. Near infrared spectroscopy in agriculture. Agronomy Journal. 2015;107(2):573–586. DOI: 10.2134/agronj14.0358
11. Cen H., He Y. Theory and application of near infrared reflectance spectroscopy in determination of food quality. Trends in Food Science & Technology. 2007;18(2):72–83. DOI: 10.1016/j.tifs.2006.09.003

12. Curran P.J. Remote sensing of foliar chemistry. *Remote Sensing of Environment*. 1989;30(3):271–278. DOI: 10.1016/0034-4257(89)90069-2
13. Kokaly R.F., Clark R.N. Spectroscopic determination of leaf biochemistry using band-depth analysis. *Remote Sensing of Environment*. 1999;67(3):267–287. DOI: 10.1016/S0034-4257(98)00084-4
14. Gitelson A.A., Merzlyak M.N. Spectral reflectance changes associated with autumn senescence of *Aesculus hippocastanum* L. and *Acer platanoides* L. leaves. *Spectral Features and Relation to Chlorophyll Content*. 1994;143(1–2):223–231.
15. Rinnan Å., van den Berg F., Engelsen S.B. Review of the most common pre-processing techniques for near-infrared spectra. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2009;28(10):1201–1222. DOI: 10.1016/j.trac.2009.07.007
16. Geladi P., Kowalski B.R. Partial least-squares regression: a tutorial. *Analytica Chimica Acta*. 1986;185:1–17. DOI: 10.1016/0003-2670(86)80028-9
17. Martens H., Næs T. *Multivariate Calibration*. Chichester: John Wiley & Sons, 1989. 419 p.
18. Uteau D., Pagenkemper S.K., Peth S., Horn R. Root and soil interactions: A review. *Plant and Soil*. 2015;394:1–29. DOI: 10.1007/s11104-015-2658-2
19. Jacquemoud S., Ustin S.L. *Leaf Optical Properties*. Cambridge: Cambridge University Press, 2019. 326 p.
20. Peñuelas J., Filella I. Visible and near-infrared reflectance techniques for diagnosing plant physiological status. *Trends in Plant Science*. 1998;3(4):151–156. DOI: 10.1016/S1360-1385(98)01213-8
21. Shenk J.S., Westerhaus M.O. *Calibration the ISI way. Near Infrared Spectroscopy: The Future Waves*. Chichester: NIR Publications, 1996. P. 198–202.

22. Manley M. Near-infrared spectroscopy and hyperspectral imaging: Non-destructive analysis of biological materials. *Chemical Society Reviews*. 2014;43:8200–8214. DOI: 10.1039/C4CS00062E
23. Roggo Y., Chalus P., Maurer L., Lema-Martinez C., Edmond A., Jent N. A review of near infrared spectroscopy and chemometrics in pharmaceutical technologies. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 2007;44(3):683–700. DOI: 10.1016/j.jpba.2007.03.023