

СПЕКТРОМЕТРИЯ В ОБЛАСТИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАСТЕНИЙ

**Юсова О.А., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий
научный сотрудник,
тел. 8-913-659-90-18, yusova@anc55.ru
ФГБНУ «Омский АНЦ»**

Ключевые слова: *площадь листовой пластинки, листовой спектрометр.*

В статье рассматриваются современные направления исследований, направленные на оценку роста и развития растений, в зависимости от условий окружающей среды. Представлена характеристика современной приборной базы в качестве дополнения к традиционным методам измерений.

Введение. В настоящее время физиология растений получает новое развитие, путем применения дистанционного зондирования, благодаря которому разработано более 150 вегетационных индексов, используемые для оценки наличия или отсутствия определенного свойства растения. Взаимосвязь между спектральными характеристиками растений и физиологическими, биохимическими, морфологическими показателями является одной из ключевых проблем дистанционного мониторинга. Различия в анатомии листьев и их пространственной ориентации, толщина листа, наличие волосков на поверхности листа, различия содержания воды в растениях – сильно влияют на отражение света [1]. Применение вегетационных индексов посредством использования спектрометра CI-710s позволяет оценить влияние абиотических аспектов засухи на рост и развитие растений, а также проследить ответную реакцию растения. В целом, данный метод позволит более точно оценить селекционный материал, что позволит скорректировать дальнейший селекционный процесс.

Цель исследований – характеристика вегетационных индексов, определяемых на приборе спектрометр CI-710.

Материалы и методы исследований. Вегетационные индексы определялись в 2023 г. на приборе CI-710. Спектрометр CI-710s – прибор отображающий спектральные характеристики на различных стадиях роста и развития растений. Коллибровка перед каждым измерением. Проводить анализ необходимо на одинаковых участках растений, на одинаковом расстоянии, избегать краевых участков. Прибор CI-710 – это листовой спектрометр миниатюрного формата, который измеряет 38 индексов (табл. 1), обладает чувствительностью по всему диапазону видимого света и детектирует свет после его взаимодействия с листом, может работать в нескольких режимах измерения, включая диапазон, коэффициент отражения, пропускания и режим поглощения.

Результаты исследований и их обсуждение.

В работе С. А. Ракутько, Е. Н. Ракутько [2] предложено использование вегетационных индексов (табл. 1) при осуществлении относительной оценки степени воздействия факторов естественной или искусственной окружающей среды на стабильность развития растений [3, 4].

Таблица 1 – Характеристика индексов, определяемых на спектрометре CI-710

Обозначение	Название	Характеристика
ARI 1	Индекс отражения антоцианина 1	ARI1 – это измерение отражения, которое чувствительно к антоциану в листе растений.
ARI 2	Индекс отражения антоцианина 2	ARI2 является модификацией ARI1, которая обнаруживает более высокие концентрации антоцианов в растительности.
CRI 1	Показатель отражения каротиноидов 1	CRI1 – это измерение отражения, которое чувствительно к каротиноидным пигментам в листе растений.
CRI 2	Показатель отражения каротиноидов 2	CRI2 является модификацией индекса CRI1. Он обеспечивает лучшие результаты в районах с высокой концентрацией каротиноидов. Более высокие значения CRI2 означают большую концентрацию каротиноида относительно хлорофилла.
SIPI	Индекс интенсивного пигмента структуры	SIPI является хорошим индексом для использования в районах с высокой изменчивостью индекса поверхности листьев.
FRI	Индекс отражения флавонолов	Флавоноиды – особая группа растительных соединений, проявляющих разнообразную функциональную активность: защита от ультрафиолетового излучения, регуляция транспорта фитогормонов, а также защите растений от патогенных организмов.
CNDVI	Нормализованный	Измеряет разницу между ближним инфракрасным

	по хлорофиллу разностный вегетационный индекс	диапазоном (который сильно отражает растительность) и красным диапазоном (который поглощает растительность).
Ctr 1	Индекс Картера 1	Указывает на содержание хлорофилла
Ctr 2	Индекс Картера 2	
G	Индекс зелени	Индекс SG обычно используется для обнаружения изменений в зеленой растительности. Это среднее значение коэффициента отражения в области спектра от 500 до 600 нм. Далее эта сумма нормализуется на количество каналов, чтобы преобразовать ее обратно в единицы отражения.
GM 1	Индекс Гительсона и Мерзляка 1	Эти показатели линейно связаны с содержанием хлорофилла в листьях. Имеется взаимосвязь между валовой первичной продуктивностью и индексом, использующим расчетное содержание хлорофилла, умноженное на фотосинтетически активную радиацию (PAR).
GM 2	Индекс Гительсона и Мерзляка 2	
Lic 1	Индекс Лихтеналера 1	Индекс стресса.
Lic 2	Индекс Лихтеналера 2	
MCARI 1	Модифицированный показатель коэффициента поглощения хлорофилла 1	MCARI указывает на относительное содержание хлорофилла.
MCARI	Модифицированный показатель коэффициента поглощения хлорофилла	MCARI указывает на относительное содержание хлорофилла.
NDVI	Нормализованный разностный вегетационный индекс	NDVI нормализует рассеяние зеленого листа в ближнем инфракрасном диапазоне и поглощение хлорофилла в красном диапазоне
NPCI	Нормализованный индекс хлорофилла	Этот показатель более чувствителен к концентрации хлорофилла, чем нормализованный разностный вегетационный индекс
NPQI	Нормализованный индекс феофитинизации	Феофитин — химическое соединение, служащее одним из первых акцепторов электрона в цепи переноса электронов в реакционном центре (РЦ) фотосистемы II (ФСII) у растений.
SRPI	Простое соотношение пигментный индекс	Сухое вещество / пигмент
TCARI	Преобразованный индекс	Хлорофилл
TVI	Триангулярный вегетационный индекс	Является коэффициентом отражения в ближнем инфракрасном диапазоне; λ_b , λ_r и λ_g являются центральными длинами волн в ближнем инфракрасном, красном и зеленом диапазонах соответственно, имеет существенно различные зависимости от содержания хлорофилла $a+b$ и от индекса листовой площади
ZMI	Индекс Зарко-Техады и Миллера $ZMI = R750 / R710$	Дистанционное зондирование биофизических параметров растительности для выявления стрессовых условий и изменений почвенного покрова
MDATT	Модифицированный индекс DAAT	Сравнение вегетационных индексов для дистанционного измерения хлорофилла листьев с

		различными адаксиальными и абаксиальными поверхностями.
CCI	Индекс содержания хлорофилла	Измерение концентрации хлорофилла в листьях: анализ оптической/ абсолютной зависимости.
IAD	Индекс разницы поглощения	Новый показатель, основанный на vis-спектропии, для характеристики процесса созревания.
CPHLA	Хлорофилл А	Измерение концентрации хлорофилла в листьях: анализ оптической/ абсолютной зависимости.
CPHLB	Хлорофилл В	
CPHLT	Общее количество хлорофилла	
SPAD	Индекс анализа почвы и растений	Измеритель хлорофилла для анализа почвы и растений (SPAD), объективно определяет цвет листьев.
MRESRI	Модифицированный индекс простого соотношения красного края	Индекс MRESRI является модификацией традиционного индекса SR, рассчитанного на основе широких каналов.
RENDVI	Красный край Нормализованный разностный индекс	Нормализованный разностный индекс растительности (NDVI) количественно определяет растительность, измеряя разницу между ближним инфракрасным диапазоном.
VREI1	Индекс красного края Фогельмана 1	Резкое усиление отражения зелёной растительности в ближнем инфракрасном излучении. Хлорофилл поглощает большую часть света в видимой области, однако, после 680 нм наблюдается резкое падение поглощения. Это происходит из-за резкого усиления отражения в ближней инфракрасной области.
VREI2	Индекс красного края Фогельмана 2	
VREI3	Индекс красного края Фогельмана 3	
PRI	Индекс фотохимического отражения	PRI использует изменения каротиноидных пигментов, в частности ксантофилловых пигментов (желтых), которые поглощаются живой листвой.
PSRI	Индекс отражения старения растений	PSRI предназначен для оценки максимальной чувствительности индекса к соотношению объема каротиноидов (например, альфа-каротина и бета-каротина) к хлорофиллу.
WBI	Индекс полосы пропускания воды (Водный индекс)	NDWI чувствителен к изменению содержания влаги в растительном пологом, поскольку коэффициент отражения при 857 нм и 1241 нм имеет сходные, но несколько отличающиеся свойства поглощения воды.

Вывод. Таким образом, представленная характеристика листового спектрометра CI-710S позволяет сделать вывод о широчайших возможностях для изучения физиологического состояния растений, которое включает не только площадь листовой пластинки, но также широкий спектр индексов.

Библиографический список:

1. Guerini Filho M. Estimating natural Grassland Biomass by vegetation indices using sentinel 2 remote sensing Data / Filho M. Guerini, T. M. Kuplich, F.L.F.D. Quadros // International Journal of Remote Sensing. 2020. Vol. 41. No. 8. P. 2861-2876.
2. Пат. 2752953 Российская Федерация, А01G7/00. Способ определения стабильности развития растений / С. А. Ракутько, Е. Н.

Ракутько; патентообладатель ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ». № 2020123106; заявл. 13.07.2020; опубл. 11.08.2021, Бюл. № 23. 10 с.

3. Астапова Я.А. Обзор основных индексов листового спектрометра CI-710 / Я.А. Астапова, О.А. Юсова // Актуальные тенденции в развитии агрономической науки: Сборник международной научно-практической конференции, посвящённой 85-летию со дня рождения доктора биологических наук, профессора, академика РАН, Заслуженного деятеля науки России Г.П. Гамзикова (г. Новосибирск, 30 января 2023 г.) / Новосиб. гос. аграр. ун-т. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2023. – С. 28-32.

4. Астапова Я.А. Обзор индексов спектрального анализа листового спектрометра CI-710 / Я.А. Астапова, О.А. Юсова // Итоги и перспективы развития Сибирского земледелия, 02 марта 2023 года [Электронный ресурс]: Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием, посвящённой 105-летию агрономического (агротехнологического) факультета и 75-летию доктора сельскохозяйственных наук, профессора Рендова Николая Александровича, 02 марта 2023 г. – Омск, 2023. С. 11-14.

SPECTROMETRY IN THE FIELD OF PHYSIOLOGICAL RESEARCH OF PLANTS

Yusova O.A.

Keywords: *leaf blade area, leaf spectrometer.*

The article discusses modern areas of research aimed at assessing the growth and development of plants, depending on environmental conditions. The characteristics of modern instrumentation are presented as a complement to traditional measurement methods.