

Detection of Diseases on Wheat Crops by Hyperspectral Data

Olga A. Dubrovskaya⁽¹⁾, Tamara A. Gurova⁽²⁾, Igor A. Pestunov⁽¹⁾

(1) Institute of Computational Technologies SB RAS, Novosibirsk

(2) Siberian Federal Research Center for Agrobiotechnologies
of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk

Abstract. We present the spectral curves for different cultivated varieties of wheat, derived from the images obtained with Specim IQ hyperspectral camera. We derive the vegetation indices that are most informative for the detection of wheat diseases.

Keywords: wheat diseases, fusarium wilt, hyperspectral imaging, vegetation indices, spectral characteristics.

ОБНАРУЖЕНИЯ БОЛЕЗНЕЙ НА ПОСЕВАХ ПШЕНИЦЫ ПО ДАННЫМ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОЙ СЪЕМКИ

Дубровская О.А.⁽¹⁾, Гурова Т.А.⁽²⁾, Пестунов И.А.⁽¹⁾

⁽¹⁾ Институт вычислительных технологий СО РАН, г. Новосибирск

⁽²⁾ Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, р.п. Краснообск

Представлены спектральные кривые для различных сортов пшеницы, полученных с помощью гиперспектральной камеры Spesim IQ. В результате анализа гиперспектральных данных определены наиболее информативные вегетационные индексы при обнаружении патогена.

Ключевые слова: заболевания пшеницы, корневая гниль, гиперспектральные данные, вегетационные индексы, спектральные характеристики.

Введение. По данным ФГБУ «Россельхозцентр» по Новосибирской области в 2018 году в результате фитосанитарной оценки на посевах зерновых колосовых культур отмечено наличие следующих листо-стеблевых инфекций: септориоза, мучнистой росы, бурой листовой ржавчины, а также тёмно-бурой пятнистостью листьев пшеницы (одна из форм гельминтоспориозной корневой гнили). Вредоносность заболевания выражается в снижении урожая, уменьшении числа и массы зерен в колосе [1].

Наиболее вредоносными заболеваниями на пшенице в Новосибирской области считаются корневые гнили. Из них существенное значение имеют гельминтоспориоз (возбудитель гриб *Bipolaris sorokiniana* Shoem. = *Drechslera sorokiniana* Subram. et Jain, *Helminthosporium sativum* Pam.), поражающий практически все органы растения (первичные, вторичные корни, coleoptиле, стебель, листья, зерно), и фузариозы (возбудители грибы рода *Fusarium*), поражающие корневую систему и зерно. Болезнь приводит к гибели всходов, отставанию в росте, отмиранию продуктивных стеблей, пустоколосице, щуплости зерна. Потери урожая в среднем составляют 15% в результате снижения продуктивной кустистости, озернённости колоса и массы зерна [2, 3].

В отдельные годы недобор урожая от септориоза может составлять 10% и более, от мучнистой росы – 15-20% и более. В годы массового развития бурой ржавчины недобор зерна яровой пшеницы достигает 25-40% и более, стеблевой ржавчины – 60-70% и более [2].

Обследование посевов на заражённость корневыми гнилями приурочивают к периодам всходы – формирование зерновки – созревание зерна. Второй учёт корневых гнилей, а также пустоколосости и белостебельности проводят в фазу молочной спелости зерна. Степень развития заболевания устанавливают, как средний показатель поражённости растений, в котором учтено число (%) больных растений и степень (балл) поражения.

Цель данной работы – проведение экспериментальных исследований по выявлению информативности оптических характеристик различных сортов пшеницы при действии возбудителя обыкновенной корневой гнили злаков.

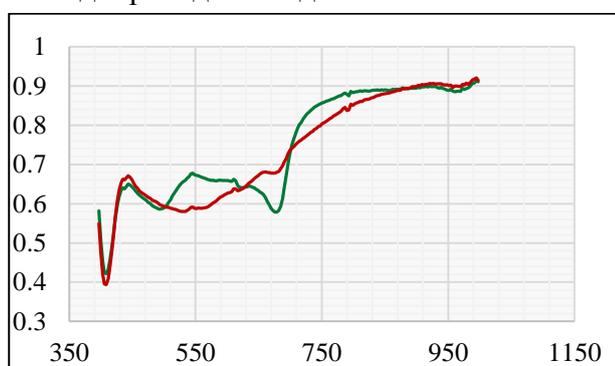
Лабораторные эксперименты и данные. В настоящее время для фитосанитарного мониторинга посевов различных сельскохозяйственных культур применяются RGB, мульти- и гиперспектральные камеры. Наиболее точная диагностика заболеваний получена при использовании гиперспектрометров.

Гиперспектральные данные были получены с помощью спектрометра Specim IQ по контрольным и зараженным проросткам пшеницы (экспериментальных образцов). Спектрометр позволяет получать спектры отражения в диапазоне 400-1000 нм (204 канала).

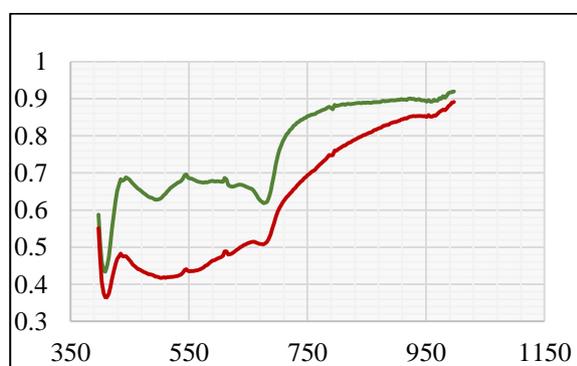
Исследования проводились в лабораторных условиях (вегетационный опыт – водные культуры) на проростках районированных сортов яровой пшеницы с разной восприимчивостью к обыкновенной корневой гнили злаков (возбудитель *Bipolaris sorokiniana* Shoem., сокр. *B. Sorokiniana*).

Варианты опытов: 1) контроль, 2) инфекционный фон (возбудитель обыкновенной гнили *B. sorokiniana* 5000 конидий на зерно).

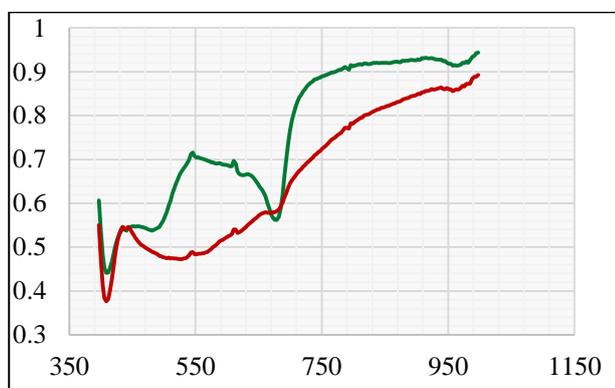
Проростки культивировали в рулонной культуре в универсальной камере для моделирования климатических условий среды «Биотрон 7» при температуре 18 и 22 °С, влажности 60 %, фотопериоде «день-ночь» (16 и 8 часов соответственно), освещенности (день) – 20000 лк до фазы 1-2 листа. Инфицированные и контрольные растения выращивали на водопроводной воде.



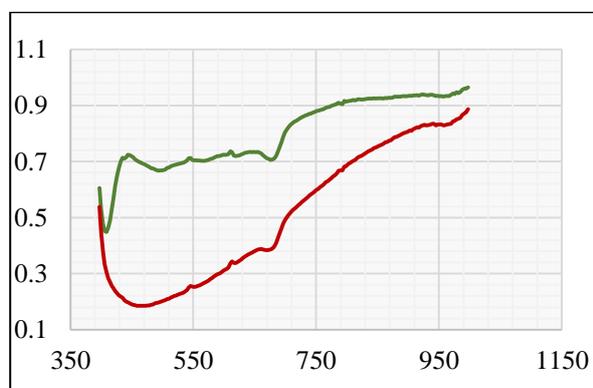
а) Новосибирская 18



б) Омская 18



в) Новосибирская 44



г) Сибирская 21

Рис. 1. Спектральные кривые для различных сортов пшеницы: здоровых проростков (зеленая кривая) и зараженных корневой гнилью (*B. sorokiniana*) (красная кривая).

Результаты обработки гиперспектральных данных. Анализ спектральных кривых, полученных для проростков сортов Новосибирская 18, Омская 18, Новосибирская 44 и Сибирская 21 показал, что отражательная характеристика проростков пшеницы при действии возбудителя обыкновенной корневой гнили злаков выражена в двух частях спектра: видимой (400-700 нм) и ближней инфракрасной области (700-900 нм) (рис. 1). У проростков контрольных вариантов в видимой части спектра наблюдается возрастание отражательной способности с небольшим пиком в зеленой области (около 550 нм), затем идет понижение из-за сильного поглощения света пигментами растений с экстремумом при длине волны

около 680 нм. В ближней инфракрасной области, отражательная способность проростков контрольных и опытных вариантов повышается, что связано с внутренним рассеянием света мезофиллом [4]. Снижение отражательной способности у зараженных проростков, наиболее выраженное у сорта Сибирская 21, возможно связано с формированием адаптационных реакций при патогенезе, приводящих к увеличению синтеза пигментов.

Различия отражательных характеристик в определенных зонах спектра послужили основой для использования вегетационных индексов для обнаружения и диагностики корневой гнили на посевах и распознавания особенностей здоровых и пораженных заболеванием всходов пшеницы. В результате анализа различных вегетационных индексов, ранее используемых при диагностике и мониторинге развития других заболеваний пшеницы [5], а также на основе анализа спектральных характеристик, полученных при лабораторном эксперименте, было выбрано 13 вегетационных индексов для идентификации корневой гнили (*B. sorokiniana*), которые представлены в таблице 1.

Таблица 1. Вегетационные индексы, используемые для идентификации заболеваний пшеницы.

Индекс	Название индекса	Формула*
mSR₇₀₅ (Modified Red Edge Simple Ratio Index)	Модифицированный относительный индекс в крайнем красном спектре	$(R_{750} - R_{445}) / (R_{750} + R_{445})$
NDVI₇₀₅ (Red Edge Normalized Difference Vegetation Index)	Нормализованный разностный вегетационный индекс в крайнем красном спектре	$(R_{750} - R_{705}) / (R_{750} + R_{705})$
mNDVI₇₀₅ (Modified Red Edge Normalized Difference Vegetation Index)	Модифицированный нормализованный разностный вегетационный индекс	$(R_{750} - R_{705}) / (R_{750} + R_{705} - 2R_{445})$
NBNDVI (Narrow-Band Normalized Difference Vegetation Index)	Узкополосный нормализованный разностный вегетационный индекс	$(R_{850} - R_{680}) / (R_{850} + R_{680})$
RVSI (Red-Edge Vegetation Stress Index)	Вегетационный индекс состояния в крайнем красном спектре	$[(R_{712} + R_{752}) / 2] - R_{732}$
PSRI (Plant Senescence Reflectance Index)	Индекс отражения огрубевшего углерода в растительных тканях	$(R_{Red} - R_G) / R_{Nir}$ $(R_{678} - R_{500}) / R_{750}$
ARI (Anthocyanin Reflectance Index)	Антоциановый отражательный индекс	$(R_{550})^{-1} - (R_{700})^{-1}$
PRI (Photochemical/Physiological Reflectance Index)	Фотохимический индекс отражения	$(R_{531} - R_{570}) / (R_{531} + R_{570})$
SIPI (Structural Independent Pigment Index)	Структурный индекс интенсивности пигментов	$(R_{800} - R_{445}) / (R_{800} + R_{680})$
PhRI (Physiological Reflectance Index)	Индекс физиологического отражения	$(R_{550} - R_{531}) / (R_{550} + R_{531})$
NPCI (Normalized Pigment Chlorophyll Index)	Нормализованный индекс поглощения в хлорофилле	$(R_{680} - R_{430}) / (R_{680} + R_{430})$
MCARI (Modified Chlorophyll Absorption Ratio Index)	Модифицированный относительный индекс поглощения в хлорофилле	$3 \cdot [(R_{701} - R_{671}) - 0.2 \cdot (R_{701} - R_{549}) \cdot \left(\frac{R_{701}}{R_{671}}\right)]$
TVI (Triangular Vegetation Index)	Треугольный вегетационный индекс	$0.5 \cdot [120 \cdot (R_{Nir} - R_G) - 200 \cdot (R_{Red} - R_G)]$ $0.5 \cdot [120 \cdot (R_{750} - R_{550}) - 200 \cdot (R_{670} - R_{550})]$

* R_x – отражательная способность на соответствующей длине волны или в соответствующем диапазоне спектра: B (Blue – 450-520 нм), G (Green – 520-600 нм), Red (630-690 нм), RE (700-730 нм), Nir (760-900 нм).

Анализ гистограмм значений вегетационных индексов показал (рис. 2), что индексы TVI и MCARI являются наиболее информативными для обнаружения патогена на проростках пшеницы по данным гиперспектральной съемки.

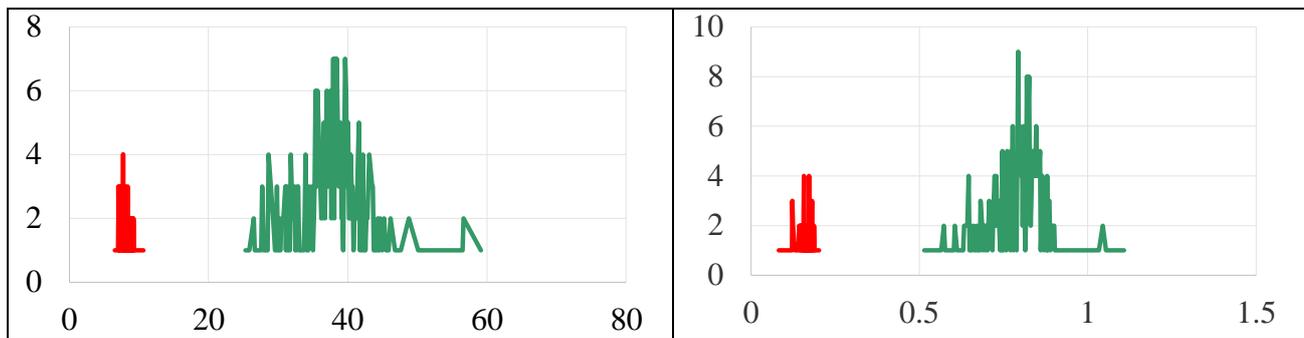


Рис. 2. Гистограммы значений вегетационных индексов TVI (слева) и MCARI (справа) для здоровых проростков (зеленая кривая) и зараженных корневой гнилью (*B. sorokiniana*) (красная кривая).

Заключение. В ходе проведенных лабораторных экспериментов были получены спектральные характеристики для здоровых проростков и зараженных корневой гнилью (*B. sorokiniana*) различных сортов пшеницы: Новосибирская 18, Омская 18, Новосибирская 44, Сибирская 21. Статистический анализ гистограмм 13-ти вегетационных индексов, которые широко используются при обнаружении различных болезней посевов пшеницы, показал, что индексы TVI и MCARI являются наиболее информативными признаками при обнаружении корневой гнили (*B. sorokiniana*) на посевах пшеницы по гиперспектральным данным, полученных с помощью спектрометра Specim IQ.

Работа выполнена в рамках проекта комплексной программы фундаментальных исследований СО РАН «Междисциплинарные интеграционные исследования» на 2018-2020 гг. № 49 «Разработка цифровых технологий раннего обнаружения и локализации поражений посевов сельскохозяйственных культур».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Койшыбаев М., Муминджанов Х. Методические указания по мониторингу болезней, вредителей и сорных растений на посевах зерновых культур. Анкара: Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций, 2016. 28 с.
- [2] Долженко В.И., Власенко Н.Г., Власенко А.Н. и др. Зональные системы защиты яровой пшеницы от сорняков, болезней и вредителей в Западной Сибири. Новосибирск: ГНУ СибНИИЗиХ, 2014. 124 с.
- [3] Гурова Т.А., Денисюк С.Г., Луговская О.С., Свежинцева Е.А., Минеев В.В. Методические положения ранней диагностики устойчивости сортов яровой пшеницы и ячменя к совокупному действию стрессоров. Новосибирск: СФНЦА РАН, 2017. 62 с.
- [4] Behmann Jan, Steinrücken Jörg, Plümer Lutz. Detection of early plant stress responses in hyperspectral images // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2014, Vol. 93. P. 98-111. [Электронный ресурс]. 2014. – URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.03.016>.
- [5] Дубровская О.А., Гурова Т.А., Пестунов И.А., Котов К.Ю. Обзор современных методов обнаружения болезней на посевах яровой пшеницы по данным дистанционного зондирования // Сибирский вестник сельскохозяйственных науки. 2018, Т. 48. № 6. С.76-89.