

О. Ю. Кремнева¹, Р. Ю. Данилов¹, И. И. Середа², М. В. Зимин²

¹ Федеральный научный центр биологической защиты растений, Краснодар, Россия

² Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия
e-mail: kremenoks@mail.ru

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОСЕВОВ РАЗНЫХ СОРТОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ С УЧЕТОМ ИХ УСТОЙЧИВОСТИ К ФИТОПАТОГЕНАМ

Аннотация. Изучены особенности изменения спектральных характеристик трех различных по устойчивости к болезням сортов озимой пшеницы на разных стадиях развития патогенов в сопоставлении с данными наземных фитосанитарных обследований посевов. По результатам двухфакторного дисперсионного анализа было подтверждено влияние сорта и факторов развития болезней. Количественные показатели отражательной способности каждого отдельного сорта определялись его иммунологическим ответом на воздействие патогена и, следовательно, различным характером физиологических процессов в растениях.

Ключевые слова: озимая пшеница, возбудители болезней, диагностика развития болезней, наземная спектрометрия, спектральные характеристики растений

Для организации защитных мероприятий растений от вредных организмов важное место занимает своевременный и точный фитосанитарный мониторинг [1]. Сведения об особенностях спектральных характеристик растений, пораженных патогенами на раннем развитии, полученные методами наземного спектрометрирования имеют особую ценность, так как позволяют сформулировать требования к съемочным системам аппаратов дистанционного зондирования земли, при необходимости их использования для фитопатогенного мониторинга [2].

Целью настоящих исследований являлось выявление информационных признаков для распознавания экономически значимых возбудителей болезней на основе анализа данных наземной спектрометрии с учетом генотипов разных сортов озимой пшеницы.

Исследуемые посевы озимой пшеницы были представлены тремя сортами селекции НЦЗ им. П. П. Лукьяненко (г. Краснодар, Россия), которые отличаются восприимчивостью к фитопатогенам: Гром, Сварог и Безостая 100. Каждый участок был разделен на две зоны: 1 – защищенный от болезней фунгицидами (чистый фон), 2 – с искусственным инфекционным фоном бурой ржавчины (инфицированный). Для развития бурой и желтой ржавчин на экспериментальном участке применяли метод искусственного заражения растений озимой пшеницы спорами данных фитопатогенов [3]. Заражение растений озимой пшеницы осуществляли

16 апреля в фазу «начало выхода в трубку» (фаза Z 30-32). Создание чистого фона (без болезней) осуществлялось путем 2-х кратной обработки выделенной зоны системным фунгицидом Фалькон, КС. Учет развития болезней проводили, начиная с момента первичных проявлений развития болезней, которые были отмечены в фазу «флаг лист» (Z 40-47) и последующие – до фазы «молочно-восковой спелости зерна» (Z 58) с интервалом 10–12 суток. Степень поражения растений болезнями оценивали в процентах по международным методикам [4].

Наземное спектрометрирование исследуемых посевов проводилось в диапазоне электромагнитного излучения от 350 до 2 500 нм со спектральным разрешением 1–10 нм (измерение спектральной яркости на определенной высоте перпендикулярно к поверхности Земли) с использованием спектрорадиометра ASD FieldSpec 3 Hi-Res. В качестве эталонной поверхности применялось абсолютно белое тело (мишень) Spectralon (SRM-990) с коэффициентом отражения 0,95–0,99.

Путем учета показателей эталонного отражателя осуществлен переход к абсолютным значениям отражательной способности – коэффициенту спектральной яркости (КСЯ).

Первая серия наземных гиперспектральных измерений посевов пшеницы на тестовых участках осуществлялась 5.05. после прохождения ржавчинными патогенами прогнозируемого периода инкубации (период инкубации ржавчинных болезней составляет 7–14 суток в зависимости от лимитирующих факторов). В период первой серии измерений рост растений озимой пшеницы характеризовался прохождением «флаг лист» (Z 40-47). Последующие измерения проводились в отдельные даты до появления и усиления видимых симптомов заболеваний с учетом основных фаз роста растений озимой пшеницы: 13.05 (фаза «колошение» Z 51-59; период интенсивного развития всех листостебельных инфекций), 25.05. (фаза «молочно-восковая спелость» Z 71-82; период позволяющий прогнозировать урожайность посевов озимой пшеницы в зависимости от степени развития болезней) и 11.06. (фаза «восковая спелость» Z 85; момент возможного проявления заболеваний репродуктивных органов).

Оценка влияния факторов сорта и развития болезни на спектральные характеристики растений озимой пшеницы в разных областях спектра проводилась на основе методов дисперсионного двухфакторного анализа. Для анализа данных из общего рабочего диапазона спектрорадиометра были выбраны следующие спектральные области: 400–490 нм, 490–620 нм, 620–680 нм, 720–800 нм, 800–1 200 нм, 1 445–1 775 нм, 2 040–2 450 нм. В выделенных областях спектра была осуществлена статистическая обработка данных с расчетом среднего значения и стандартного отклонения.

По результатам учетов развития болезней на посевах исследуемых сортов озимой пшеницы патогенный фон был представлен такими болезнями как мучнистая роса, бурая и желтая ржавчины, септориозная и пиренофорозная пятнистости листьев.

Контрольные участки являлись условно чистыми так как несмотря на воздействие фунгицида на них все равно наблюдалось минимальное развитие болезней.

Таким образом, на растительных фонах тестовых участках наблюдалось комплексное развитие нескольких видов болезней поэтому определить характер влияния каждого патогена в отдельности не представлялось возможным. В связи с чем при дальнейшем анализе данных было принято учитывать совокупное влияние показателей развития всех болезней каждого растительного фона.

Первые видимые изменения отражательной способности исследуемых растительных фонов были выявлены по результатам визуального анализа спектральных сигнатур с 10 по 15 мая в период начала интенсивного проявления всех листостебельных болезней и проявились в виде снижения показателей КСЯ на инфицированных делянках всех сортов.

По результатам двухфакторного дисперсионного анализа было установлено, что в первый вегетационный период статистически значимые различия спектральных характеристик исследуемых сортов определялись их физиологическими и биометрическими особенностями (табл. 1). Достоверных отличий между показателями трех сравниваемых растительных фонов выявлено не было.

Таблица 1

Оценка влияния факторов сорт и развитие болезней на показатели коэффициента спектральной яркости посевов исследуемых сортов озимой пшеницы в разных диапазонах спектра по четырем вегетационным срокам

Диапазоны спектра	Факторы			
	Сорт		Инфекционный фон	
	F	p	F	p
1-й период				
5.05 Фаза Z 40-47 «флаг лист». Первые признаки развития болезней				
400–490 nm	56,488*	0,000000*	6,652*	0,013407*
490–620 nm	53,917*	0,000000*	4,250*	0,045335*
620–680 nm	35,483*	0,000000*	6,046*	0,018040*
720–800 nm	38,442*	0,000000*	3,139	0,083543
800–1 200 nm	14,883*	0,000012*	1,984	0,166187
1 445–1 775 nm	22,234*	0,000000*	2,455	0,124513
2 040–2 450 nm	4,922*	0,011891*	1,655	0,205108
2-й период				
13.05 Фаза Z 51-59 «колошение».				
Начало интенсивного проявления всех листостебельных болезней				
400–490 nm	14,425*	0,000014*	0,255	0,616361
490–620 nm	26,950*	0,000000*	0,318	0,575756
620–680 nm	9,338*	0,000405*	0,396	0,532422
720–800 nm	24,171*	0,000000*	0,337	0,564232
800–1 200 nm	18,895*	0,000001*	0,175	0,677760
1 445–1 775 nm	22,234*	0,000000*	4,252*	0,046094*
2 040–2 450 nm	5,753*	0,005961*	0,327	0,570533

Диапазоны спектра	Факторы			
	Сорт		Инфекционный фон	
	F	p	F	p
3-й период 25.05 Фаза Z 71-82 «молочно-восковая спелость». Возможность прогноза урожайности по степени развития болезней				
400–490 nm	22,400*	0,000000*	9,436*	0,003921*
490–620 nm	13,667*	0,000034*	7,717*	0,008453*
620–680 nm	18,699*	0,000002*	10,393*	0,002599*
720–800 nm	10,778*	0,000196*	6,610*	0,014181*
800–1 200 nm	8,195*	0,001099*	2,577	0,116701
1 445–1 775 nm	9,174*	0,000561*	4,252*	0,046094*
2 040–2 450 nm	3,3363*	0,046248*	1,8961	0,176579
4-й период 11.06 Фаза Z 85 «восковая спелость». Момент возможного проявления заболеваний репродуктивных органов				
400–490 nm	12,567*	0,000073*	2,095	0,156411
490–620 nm	1,414	0,256246	2,348	0,134169
620–680 nm	10,256*	0,000298*	27,966*	0,000006*
720–800 nm	1,498	0,237086	0,100	0,753502
800–1 200 nm	17,987*	0,000004*	14,191*	0,000591*
1 445–1 775 nm	2,088	0,138652	1,870	0,179935
2 040–2 450 nm	1,870	0,179935	5,729*	0,022025*
Примечания: F – фактический показатель критерия Фишера; p – уровень статистической значимости ($p < 0,05$); * - подтверждено математически достоверное влияние фактора на показатели развития болезни				

Далее, во второй, третий и четвертый вегетационные периоды по мере роста растений и развития болезней различия становились более очевидными и подтверждалось совместное влияние факторов сорта и растительного фона.

Таким образом, было установлено, что различия или сходство спектральных признаков отдельных сортов определялись не столько их характеристикой устойчивости к возбудителю и степенью развития болезни, сколько конкретным сортом и, скорее всего, его физиологическими особенностями и биометрические характеристиками. Количественные показатели отражательной способности каждого отдельного сорта вероятнее всего определялись его иммунологической реакцией на воздействие патогена а, следовательно, и разным характером происходящих в растениях физиологических процессов.

Исследование выполнено в соответствии с Государственным заданием Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках научно-исследовательской работы по теме № FGRN-2022-0001.

Список источников

1. Федоренко В. Ф., Мишуров Н. П., Неменуца Л. А. Перспективные технологии диагностики патогенов сельскохозяйственных растений: науч. аналит. обзор: М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. 68 с.
2. Данилов Р. Ю., Исмаилов В. Я., Третьяков В. А., Кремнева О. Ю., Шумилов Ю. В., Ризванов А. А., Кривошеин В. В., Костенко И. А. Разработка прецизионных технологий фитосанитарного мониторинга агроэкосистем на основе использования данных дистанционного гиперспектрального зондирования Земли // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 10. С. 82–86.
3. Анпилогова Л. К., Волкова Г. В. Методы создания искусственных инфекционных фонов и оценки сортообразцов пшеницы на устойчивость к вредоносным болезням (фузариозу колоса, ржавчинам, мучнистой росе): Краснодар ВНИИБЗР, РАСХН, 2000. 28 с.
4. Peterson R. F., Campbell A. B., Hannah A. E. Diagrammatic scale for estimating rust intensity on leaves and stems of cereals // Canad. J. Rev. 1948. No. 26. P. 495–500.

О. Yu Kremneva¹, R. Yu. Danilov¹, I. I. Sereda², M. V. Zimin²

¹ Federal State Budgetary Scientific Institution

«Federal Research Center of Biological Plant Protection», Krasnodar, Russia

² M. V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

STUDYING THE FEATURES OF THE SPECTRAL CHARACTERISTICS OF CROPS OF DIFFERENT WINTER WHEAT VARIETIES IN CONSIDERING THEIR RESISTANCE TO PHYTOPATHOGENS

Abstract. The features of the change in the spectral characteristics of three varieties of winter wheat with different resistance to diseases at different stages of pathogen development were studied in comparison with the data of terrestrial phytosanitary surveys of crops. According to the results of a two-way analysis of variance, the influence of the variety and disease development factors was confirmed. Quantitative indicators of the reflectivity of each individual variety were determined by its immunological response to the pathogen and, consequently, by the different nature of physiological processes in plants.

Keywords: winter wheat, pathogens, diagnostics of disease development, ground-based spectrometry, spectral characteristics of plants