чернозема выщелоченного варьировали в пределах от 0,99 до 1,53 мг пурпургаллина на 1 г почвы за 24 часа, тогда как полифенолоксидазы значения ниже в пределах от 0,67 до 1,24 мг пурпургаллина на 1 г почвы за 24 часа инкубации. Определенно изменения исследованных окислительных ферментов, в большей части обусловлены содержанием органического вещества, количество которого зависит от технологии и способа обработки почвы.

Заключение. Максимальная активность фермента пероксидазы установлена в вариантах с поверхностной обработкой почвы, при вспашке значения достоверно не различались. В посевах пшеницы на неудобренном фоне отмечались высокие значения как пероксидазы, так и полифенолоксидазы. Коэффициент гумификации при этом максимальный – 0,83. Пероксидазная активность, преимущественно повышалась в начале вегетационного периода растений, полифенолоксидаза увеличивалась к концу периода вегетации. Определение активности ферментов пероксидазы и полифенолоксидазы позволяет оценить условия накопления веществ, идущих на образование гумусовых молекул и направленность биохимических процессов. Изучение активности ферментов окислительно-восстановительной группы обосновано, так как позволяет выявить изменения на ранних этапах диагностики.

Использованные источники:

1. ГОСТ 17.4.3.01-83. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 4 с.
2. Романович В.О., Фомина Н.В. Активность ферментов пероксидазы и полифенолоксидазы в оценке качества почвогрунта в тепличном комплексе г. Красноярска // Научно-практические аспекты развития АПК: материалы междунар. национальной научно-практической конференции. – Красноярск, 2020. – С. 85-88.
3. Корси С. Почвозащитное и ресурсосберегающее земледелие: учебное пособие для консультантов по распространению сельскохозяйственных знаний и фермеров в Восточной Европе и Центральной Азии // Продовольственная и сельскохозяйственная организация объединенных наций. – Анкара, 2017 – 158 с.
4. Методы контроля качества почвы: учебно-методическое пособие для вузов / под. ред. А. П. Воронина, – Воронеж, 2007. – 106 с.
5. Полонская Д.Е., Золотухин Г.Е., Боер И.В. Биоиндикация состояния почв сельскохозяйственных территорий Красноярского края. // Контроль и реабилитация окружающей среды: тез. докл. междунар. симпоз. – Томск: СО РАН, 1998. – С. 121-122
6. Фомина Н.В. Анализ активности ферментов полифенолоксидазы и пероксидазы чернозема выщелоченного при обработке посевов гербицидами // Пища. Экология. Качество: материалы междунар. научно-практической конференции. – Новосибирск, 2020. – С. 693-696.
7. Хазиев Ф.Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв / Ф.Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв. – М.: Наука, 1982. 204 с.
8. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. – М.: Наука, 1990. – 189 с.
9. Fomina N.V. Phytotesting and environmental assessment of soil in the greenhouse complex // IOP Conf. Ser.: Earth Environ., 2020. Sci. 548 022081

УДК 632.03

DOI: 10.26898/agroinfo-2021-133-138

*Чешикова А.Ф.,
СибФТИ СФНЦА РАН, Новосибирская обл., р.п. Краснообск*

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ПОРАЖЕНИЯ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ БЕЛОЙ ПЯТНИСТОСТЬЮ (*RAMULARIA TULASNEI*) НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

В статье приведен анализ возможностей применения гиперспектральных технологий для оценки степени поражения земляники садовой белой пятнистостью. Выполнено сравнение пяти различных методов классификации изображений – метода спектрального угла, метода главных компонент и трех вегетационных индексов. Определено, что метод спектрального угла дает наилучшую точность классификации – 84 %.

Ключевые слова: гиперспектральные технологии, болезни растений, анализ изображений, спектральный анализ.

В условиях меняющегося климата болезни растений приводят к значительным экономическим потерям в секторе сельскохозяйственного производства во всем мире. Раннее обнаружение, количественная оценка и идентификация болезней растений имеют решающее значение для целенаправленного применения мер защиты в растениеводстве. Традиционные методы диагностики, такие как визуальная экспертиза и микробиологический лабораторный анализ, являются высокозатратными по времени и человеческим ресурсам, что ограничивает возможность их применения в крупных сельскохозяйственных предприятиях.

В настоящее время быстрыми темпами развиваются новые неинвазивные методы диагностики болезней растений с использованием сенсорных технологий, робототехники, компьютерного зрения и машинного обучения [1]. Современные методы обладают высокой производительностью, позволяют получать данные в режиме реального времени и анализировать информацию о целом спектре физиологических параметров.

Значительное развитие получили методы диагностики болезней растений, основанные на анализе спектральных характеристик растений с использованием гиперспектральных сенсоров и платформ. Гиперспектральный анализ расширяет возможности традиционных методов анализа RGB-изображений, предоставляя информацию за пределами видимого диапазона спектра.

Спектральные профили здоровых и больных растений могут различаться. В результате воздействия биотических и абиотических стрессоров изменяется биохимический состав растительных тканей, отражающийся в изменении цвета и формы листьев, скорости транспирации, морфологии растительного покрова и, следовательно, в спектральных характеристиках растений [2]. Анализ спектра отражения растительной ткани позволяет проводить классификацию здоровых и больных растений, оценивать тяжесть заболевания, дифференцировать виды патогенов и выявлять симптомы биотических стрессов на ранних стадиях, в том числе и в инкубационный период, когда симптомы не видны человеческому глазу [3].

Общей целью нашего исследования является изучение потенциала гиперспектральной визуализации для обнаружения и идентификации грибных болезней земляники садовой.

На текущем этапе исследования решалась задача сравнения и выбора методов классификации гиперспектральных изображений, позволяющих дифференцировать здоровые и инфицированные ткани листа, и на основе этой классификации оценивать степень поражения земляники садовой белой пятнистостью.

Материалы и методы

Исследования проводились на образцах гибрида земляники садовой ремонтантной, выращенных в тепличных условиях на биополигоне СибФТИ СФНЦА РАН. В июле 2021 г. были отобраны 10 растений, имеющих видимые симптомы поражения белой пятнистостью (*Ramularia tulasnei*) и 4 здоровых растения. Идентификация болезни и степени поражения осуществлялась посредством визуальной экспертизы. Видимыми симптомами белой пятнистости являются небольшие округлые темно-красные или коричневые пятна на верхней поверхности листьев. Позднее они разрастаются до 3–6 мм в диаметре. Центр пятен приобретает серую или белую окраску. Для спектрального анализа использовались листья растений, имеющие видимые симптомы болезни.

Съемка проводилась гиперспектральной камерой Photonfocus MV1-D2048x1088-HS05-96-G2-10, с сенсором IMEC CMV2K-LS150-VNIR (диапазон длин волн 475-900 нм, 150 каналов со спектральным разрешением 3 нм, пространственным разрешением 2048x1088 пикселей) методом линейного сканирования с использованием подвижной платформы, управляемой контроллером.

Для каждого изображения был сформирован гиперкуб данных. Предварительная обработка снимков включала в себя калибровку спектра с использованием «черных» и «белых» эталонов, а также создание и применение «масок» для удаления фона.

Для дифференциации здоровых (зеленых) и пораженных (красных и белых) областей листовых пластин применялись следующие методы классификации гиперспектральных изображений.

Метод спектрального угла (SAM) [4], основанный на оценке сходства спектра изучаемого объекта с эталонными спектрами. Для создания эталонных спектров на каждом листе земляники были выделены три «области интереса» (ROI), соответствующие здоровой ткани листа, пятнам красного цвета и пятнам белого цвета. Из каждой области на десяти листах случайным образом выбирались по 50 пикселей. Результирующие эталонные спектры были получены усреднением 500 индивидуальных спектров.

Классификация по пороговому значению вегетационных индексов [5]. Для каждого гиперспектрального изображения строилась пиксельная карта распределения значений вегетационных индексов. Принадлежность пикселя определенному классу определялась в зависимости от диапазона значений индексов. В данной статье приведены результаты классификации по трем индексам: $RENDVI = (R_{750} - R_{705}) / (R_{750} + R_{705})$, $GNDVI = (R_{750} - R_{550}) / (R_{750} + R_{550})$, $MCARI = [(R_{700} - R_{670}) - 0.2(R_{700} - R_{550})] \times R_{700} / R_{670}$.

Классификация методом главных компонент [6]. Производилось линейное преобразование спектра в пространство главных компонент. Классификация осуществлялась по пороговому значению первой компоненты.

Для сравнения эффективности алгоритмов классификации были рассчитаны матрицы ошибок соответствующих методов. В качестве тестовых выборок использовались случайные пиксели из ROI, определенных вручную.

Все расчеты были проведены в программе ENVI 5.2 (ITT Visual Information Solutions).

Формирование гиперкуба данных и калибровка изображений проводились в специально разработанной программе.

Результаты

Спектральные кривые здоровых и инфицированных областей листьев земляники представлены на рисунке 1. Наблюдаются определенные различия между спектрами зеленых, красных и белых областей. Так, белые области имеют более высокую отражательную способность в видимом диапазоне длин волн (400-700 нм) и относительно низкую в ближнем инфракрасном диапазоне (700-900 нм) по сравнению с другими областями. У здоровых областей наблюдается характерный пик на длине волны 550 нм, у красных областей – на длине волны 630 нм.

Рисунок 1. Спектральные кривые здоровых и инфицированных *Ramularia tulasnei* тканей листа земляники садовой

Различия спектральных характеристик послужили основой для использования метода спектрального угла (*SAM*), метода главных компонент (*PCA*), а также методов классификации по вегетационным индексам (*RENDVI*, *GNDVI*, *MCARI*). В таблице 1 приведены матрицы ошибок данных методов классификации и их общая точность, определяемая, как отношение числа правильно классифицированных объектов тестовой выборки к общему размеру выборки. Метод спектрального угла показал наибольшую точность классификации – 84 %. Наименьшая точность классификации была у индекса *MCARI* – 40 %.

Таблица 1

Матрицы ошибок для классификации гиперспектральных изображений
различными методами

Результат классификации	Реальные данные			Общая точность классификации
	Здоровая (зеленая)	Инфицированная (красные пятна)	Инфицированная (белые пятна)	
<i>SAM</i>				84%
Не классифицировано	0%	9,5%	27%	
Здоровая (зеленая)	100%	10,5%	0,5%	
Инфицированная (красные пятна)	0%	79%	0%	
Инфицированная (белые пятна)	0%	1%	72,5%	
<i>RENDVI</i>				77%
Здоровая (зеленая)	97,5%	46%	0%	
Инфицированная (красные пятна)	2,5%	46%	13%	
Инфицированная (белые пятна)	0%	8%	87%	
<i>GNDVI</i>				73%
Здоровая (зеленая)	100%	37%	44,5%	
Инфицированная (красные пятна)	0%	63%	0%	
Инфицированная (белые пятна)	0%	0%	55,5%	
<i>MCARI</i>				40%
Здоровая (зеленая)	99%	69,5%	18,5%	
Инфицированная (красные пятна)	0%	3,5%	63,5%	
Инфицированная (белые пятна)	1%	27%	18%	
<i>PCA</i>				56%
Здоровая (зеленая)	100%	46%	0%	
Инфицированная (красные пятна)	0%	30%	62%	
Инфицированная (белые пятна)	0%	24%	38%

Рисунок 2. Результаты применения различных методов классификации: А1 – исходное изображение; Б1 – классификация методом *SAM*; А2 – визуализация индекса *RENDVI*; Б2 – классификация по индексу *RENDVI*; А3 – визуализация индекса *GNDVI*; Б3 – классификация по индексу *GNDVI*; А4 – визуализация индекса *MCARI*; Б4 – классификация по индексу *MCARI*; А5 – визуализация *PCA*; Б5 – классификация по *PCA*

На рисунке 2 представлена визуализация результатов применения различных методов классификации. Для определения степени поражения листа земляники белой пятнистостью на основе гиперспектральных изображений необходимо после выполнения классификации

определить процентное соотношение суммы количества пикселей в двух классах инфицированных областей к общему количеству пикселей изображения. Так, например, для листа на рисунке 2 классификация методом спектрального угла определила 53000 пикселей из 507000, как инфицированные, следовательно, степень поражения данного листа составила 10,5 %.

Выводы

Анализ спектра отражения с использованием метода спектрального угла позволяет оценивать степень поражения листьев земляники садовой белой пятнистостью при наличии видимых симптомов с точностью 84 %. На следующем этапе исследования предполагается изучить возможности применения технологии гиперспектральной визуализации для раннего обнаружения грибных болезней земляники в инкубационной стадии.

Использованные источники:

1. Демидчик В.В., Шашко А.Ю., Бондаренко В.Ю., Смоликова Г.Н., Пржевальская Д.А., Черныш М.А., Пожванов Г.А., Барковский А.В., Смолич И.И., Соколик А.И., Медведев С.С. Феномика растений: фундаментальные основы, программно-аппаратные платформы и методы машинного обучения // Физиология растений. – 2020. – № 67(3). – С. 227–245. DOI: 10.31857/S0015330320030069
2. Zhang N., Yang G., Pan Y., Yang X., Liping Chen L., Zhao C. A Review of Advanced Technologies and Development for Hyperspectral-Based Plant Disease Detection in the Past Three Decades // Remote Sensing. – 2020. – № 12(19):3188. Doi:10.3390/rs12193188
3. Mahlein A.-K., Kusk M.T., Behmann J., Polder G., Walter A. Hyperspectral Sensors and Imaging Technologies in Phytopathology: State of the Art // Annual Review of Phytopathology. – 2018; – № 56. – 535-558. Doi: 10.1146/annurev-phyto-080417-050100
4. Kruse F.A., Lefkoff A.B., Boardman J.W., Heidebrecht K.B., Shapiro A.T., Barloon P. J., Goetz, A.F.H. The spectral image processing system (SIPS) interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data // Remote Sensing of Environment. – 1993. – № 44. – С. 145-163. Doi: 10.1016/0034-4257(93)90013-N
5. Дубровская О.А., Гурова Т.А., Пестунов И.А., Котов К.Ю. Методы обнаружения болезней на посевах пшеницы по данным дистанционного зондирования (обзор) // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2018. – № 48(6). – С. 76–89. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-6-11
6. Bauriegel E., Giebel A., Geyer M., Schmidt U., Herpich W.B. Early detection of Fusarium infection in wheat using hyper-spectral imaging // Computers and Electronics in Agriculture. – 2011. – Vol. 75. – P. 304–312/ doi:10.1016/j.compag.2010.12.006

УДК 631.362:631.171

DOI: 10.26898/agroinfo-2021-138-142

Щеголихина Т.А.¹, Манохина А.А.²,

¹ФГБНУ «Росинформагротех», Московская область, пос. Правдинский,

²ФГБОУ ВО «РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СОРТИРОВКИ КАРТОФЕЛЯ

В статье описан принцип работы оптической установки для автоматической сортировки клубней картофеля, приведено описание оптических сортировщиков зарубежных фирм.

Ключевые слова: картофель, сортировка, калибровка, фракции, транспортер, хранение.

Современный подход к системе производства и реализации картофеля основан на повышении рентабельности не только за счет увеличения объемов производства, но и совершенствования способов обработки и хранения клубней, позволяющих минимизировать их потери. Комплексным планом научных исследований подпрограммы «Развитие селекции и семеноводства картофеля в Российской Федерации» Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы предусмотрена разработка эффективных технологий возделывания, подготовки, хранения и переработки картофеля. В задачи данного блока входит разработка технологий предварительной сортировки и хранения картофеля с применением новых средств сортировки, контроля и управления микроклиматом в храни-