

Установка для диагностики нарушения метаболизма растительного покрова по спектрам поглощения ИК-излучения атмосферой

А.А. Луговской¹, Н.М. Емельянов¹, А.В. Луговской¹, И.Е. Родионов²

¹ Институт оптики атмосферы СО РАН

634055, Томск, Россия, пл. Академика Зюева, 1, nikita.emelyanov.92@mail.ru

² Национальный исследовательский Томский государственный университет
634050, Томск, Россия, пр. Ленина, 36, rie@mail.ru

Меры по защите растений от различных возбудителей болезней должны проводиться в течение определенного периода времени, чтобы избежать возможных экономических потерь. Для мониторинга восприимчивости или устойчивости различных культур растений необходимы комплексные мобильные системы. В докладе представлена установка, позволяющая регистрировать признаки наличия нарушения метаболизма сельскохозяйственных культур на этапе раннего развития методом прямого поглощения атмосферой в ИК-диапазоне. Приводятся характеристики используемого оборудования. Описывается методология подхода к обработке первичных экспериментальных данных. Серия экспериментов проведена на штатном Фурье-спектрометре ФТ-801. В качестве рабочего объема использована теплица размером 50 см шириной и 200 см длиной. Репрезентативная выборка растений составляла 35 штук. Показано, что спектроскопический подход позволяет регистрировать наличие заражения за 5 дней до возникновения соответствующих морфологических признаков у растений.

Ключевые слова: спектроскопия, машинный анализ, ИК-спектры, стресс растений; Spectroscopy, Machine analysis, IR spectra, Plant stress.

Введение

Мир сельскохозяйственных вредителей очень разнообразен, и в настоящее время, в связи с популяризацией органического земледелия и политики, нацеленной на развитие аграрного сектора экономики, ведется поиск нехимических методов, обеспечивающих эффективное снижение их вредоносности [1, 2]. Несвоевременное обнаружение очага заболевания любых сельскохозяйственных культур, возделываемых как в закрытом, так и в открытом грунте, приводит если не к полной гибели плантации, то, как минимум, к ощутимым потерям в размере и качестве урожая. Зачастую заболевание растений развивается таким образом, что на начальном этапе отсутствуют какие-либо внешние признаки поражения. Позже, когда морфология растения начинает меняться, растение, а зачастую и большая часть плантации, уже настолько поражено, что вмешательство уже бесполезно [3,4].

Задачей настоящей работы является создание макета установки, позволяющей по спектрам прямого поглощения ИК-излучения атмосферой над плантацией регистрировать момент заражения растений еще до появления морфологических признаков.

Порядок эксперимента

Была собрана лабораторная экспериментальная установка, схема которой представлена на рис. 1. В данном варианте излучение галогеновой лампы пропусклось через условно изолированную теплицу протяженностью 2 м и попадало на апертуру Фурье-спектрометра ФТ-801 фирмы СИМЕКС. В течение 26 дней после появления ростков, один раз в день, регистрировался спектр атмосферы над плантацией. На 27-ой производилось заражение плантации и продолжались съемки спектра вплоть до полного увядания плантации.

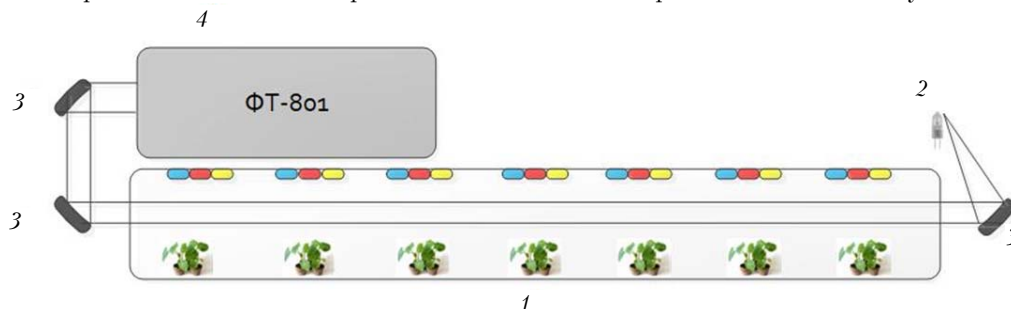


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – теплица, 2 – источник ИК-излучения, 3 – юстировочная оптика, 4 – Фурье-спектрометр

Теплица

Теплица длиной 2 м оснащена системами освещения (посредством фито-светодиодов), вентиляции и полива растений. В боковых стенках предусмотрены закрывающиеся окна, предназначенные для ввода и вывода излучения галогеновой лампы.

Излучение галогеновой лампы 2 собиралось сферическим зеркалом 3 в плоскопараллельный пучок и проходило через теплицу 1 на расстоянии 10 см над верхушками растений, после чего фокусировалось на входную апертуру Фурье-спектрометра 4.

Плантация

Для анализа высаживалась плантация огурцов сорта «Малыш». Репрезентативная выборка составила 35 особей. Использовался грунт, в состав которого входили торф (30%), песок (40%) и биогумус (30%). Полив производился отстоянной водой с температурой 23 °С.

Эксперимент

Регистрация спектров проводилась в середине светового дня до полива. Параметры регистрации представлены в таблице.

Параметры регистрации спектров

Спектральное разрешение см^{-1}	2
Время регистрации, мин	10
Температура, °С	22
Влажность, %	52

Заражение

Для статистики проведены две идентичных серии экспериментов. В каждой серии были использованы идентичные семена растений для высадки плантации, выдержаны одинаковые условия выращивания и заражения идентичным возбудителем. Заражение огурцов производилось паутинным клещом. На рис. 2 представлены фотографии листьев растений, сделанные на 30-й, 35-й и 40-й день после посадки (на 4-й, 9-й и 14 день после заражения)



30 день

35 день

40 день

Рис. 2. Фото листьев растений в разные дни после заражения

Анализ

Для анализа контура поглощения в диапазоне $800\text{--}6000\text{ см}^{-1}$ использовалась программа, описанная в [5]. В программе реализован регрессионный анализ массива спектров по одному неизвестному признаку (в данном случае наличие заражения (100%) / отсутствие заражения (0%)) с возможностью обучения. Обучение было проведено на массиве спектров первой серии эксперимента. Выходными данными программы является вероятность наличия заражения в момент регистрации очередного спектра.

При этом в качестве известного параметра при обучении вводились вероятности заражения плантации для каждого из 41-го спектра из массива первой серии эксперимента. Например:

1–26 день — здоровые образцы (вероятность повышения фоновой концентрации гормональных выбросов растений) — 0%,

27–41 день — зараженные образцы (в ответ на заражение повышен гормональный фон растений) — 100%.

Обработка с использованием интеллектуального машинного анализа массива спектров второй серии эксперимента однозначно показала наличие заболевания за 3 дня до возникновения морфологических изменений на листьях зараженных растений (рис. 3).

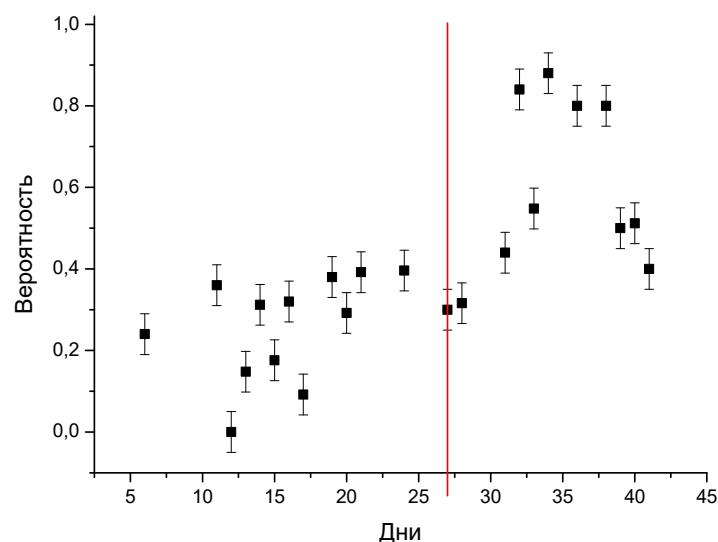


Рис. 3. Результаты обработки массива спектров. Вертикальной линией обозначен момент заражения

В результате с 27 дня регистрации спектров, видна повышенная вероятность заболеваемости у растений. Стоит отметить, что появление морфологических признаков началось на 35 день регистрации, в то время как машинный анализ показал повышенную вероятность наличия заболеваний у растений уже на 32 день. Данный подход показал, что с помощью метода, в основе которого лежит регрессионный анализ, позволил определить заболевание у растений по повышению концентрации гормонов стресса в воздухе на три дня раньше, чем до проявления морфологических признаков.

Заключение

Проведенный в работе анализ поглощения атмосферой инфракрасного излучения показал наличие возможности диагностировать наличие стресса у растений, возникающего в процессе развития заболеваний даже на оптическом пути 2 м.

Список литературы

1. Mahlein A.K. Plant disease detection by imaging sensors—parallels and specific demands for precision agriculture and plant phenotyping // Plant disease. 2016. Т. 100, N 2. P. 241–251.
2. Stafford J.V. Implementing precision agriculture in the 21st century // Journal of agricultural engineering research. 2000. Т. 76, N 3. P. 267–275.
3. Martinelli F. et al. Advanced methods of plant disease detection. A review // Agronomy for Sustainable Development. 2015. Т. 35. P. 1–25.
4. Bock C.H. et al. Plant disease severity estimated visually, by digital photography and image analysis, and by hyperspectral imaging // Critical reviews in plant sciences. 2010. Т. 29, N 2. P. 59–107.
5. Синуца Л.Н., Щербаков А.П., Емельянов Н.М., Луговской А.А. Способ измерения размера пор гидрофильных материалов // Патент № 2758777. 2021.

A.A. Lugovskoi, N.M. Emelyanov, A.V. Lugovskoi, I.E. Rodionov. Installation for diagnostics of metabolic disorders of plant cover based on IR spectra of atmospheric radiation.

Measures to protect plants from various pathogens should be carried out over a certain period of time to avoid possible economic losses. Complex mobile systems are needed to monitor the susceptibility or resistance of various plant crops. The report presents a setup that allows recording signs of metabolic disorders in agricultural crops at the early development stage using direct atmospheric absorption in the IR range. The characteristics of the equipment used are provided. The methodology of the approach to processing primary experimental data is described. A series of experiments were conducted on a standard FT-801 Fourier spectrometer. A greenhouse measuring 50 cm wide and 200 cm long was used as a working volume. A representative sample of plants consisted of 35 pieces. It is shown that the spectroscopic approach allows recording the presence of infection 5 days before the appearance of the corresponding morphological features in plants.