УДК 631.589.2(41.9)

СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКИ РАСТЕНИЙ ДЛЯ ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА

БАСАРЫГИНА Елена Михайловна, *Южно-Уральский государственный аграрный университет*
ЗАХАРОВА Евгения Александровна, *Южно-Уральский государственный аграрный университет*
ШЕРШНЕВ Александр Владимирович, *Южно-Уральский государственный аграрный университет*
ГОРШКОВА Елена Олеговна, *ООО Агрокомплекс «Чурилово»*
ДАВЫДОВ Денис Викторович, *Южно-Уральский государственный аграрный университет*

Рассмотрены результаты исследований, связанных с апробацией предложенного способа экспресс-диагностики растений, проводившихся в производственных условиях ООО Агрокомплекс «Чурилово». Установлено, что спектр поглощения листового аппарата растений огурца в контрольном варианте (субстрат – минеральная вата) и опытном варианте (субстрат – агроперлит) отличался несущественно: средние арифметические величины поглощения хлорофилла в контроле и опыте составили соответственно 3,668 и 3,772; поглощения каротиноидов – 3,560 и 3,403; поглощения цитохрома – 2,681 и 2,645 соответственно. Несущественные отличия имелись в содержании микро- и макроэлементов в листьях растений и урожайности. Выявлено, что способ экспресс-диагностики, основанный на анализе спектров поглощения листового аппарата, позволяет получать результаты, сопоставимые с результатами химического анализа и оценкой урожайности, и может использоваться для диагностирования состояния растений.

Введение. Современные способы и технические средства позволяют своевременно выявлять внутренние изменения в растениях до начала протекания негативных процессов, снижающих их урожайность [1, 7, 9, 10, 12, 14, 15]. Коррекция питания растений после появления визуальных признаков стрессового состояния малоэффективна, так как позволяет сохранить лишь 5–7 % урожая [1, 7, 9, 10, 12, 14, 15, 16].

Существующие методы экспресс-диагностики, успешно применяющиеся в растениеводстве открытого грунта, не всегда могут быть использованы в условиях культивационных сооружений в силу специфических особенностей корнеобитаемой среды и минерального питания тепличных растений. Это делает актуальным разработку и апробацию методов диагностирования растений, возделываемых в условиях защищенного грунта.

Цель исследований заключалась в апробации предложенного способа экспресс-диагностики, основанного на анализе спектра поглощения листового аппарата растений и предназначенного для условий растениеводства защищенного грунта.

Методика исследований. С помощью известных способов экспресс-диагностики: фотометрии, флуориметрии, рефрактометрии и ионометрии производится диагностирование питания и иммунного статуса сельскохозяйственных растений (рис. 1). Экспресс-анализ клеточного сока растений на уровень pH или на содержание сухого вещества (Brix) позволяет диагностировать резистентность растений к заболеваниям и вредителям непосредственно в полевых условиях. В первом случае клеточный сок анализируется с помощью pH-метра, во втором – с помощью рефрактометра [10]. Экспресс-диагностика растений подразделяется на тканевую, функциональную и листовую. Тканевая диагностики заключается в анализе поперечных срезов, сока или вытяжек из растений. По протеканию колориметрической реакции (окрашиванию реактивов) делается вывод о содержании элементов питания и необходимости внесения удобрений [10, 12, 15]. Функциональный метод диагностики позволяет оценить потребность растений в элементах питания без определения их содержания, поскольку основан на фиксировании изменения фотохимической активности (оптической плотности) суспензии хлоропластов, полученной из пробы листьев, при добавлении питательного элемента. Для осуществления функциональной диагностики используется лаборатория «АКВАДОНИС» [9, 10].

К наиболее перспективным способам, способствующим, в известной степени, роботизации диагностических процессов, относится листовая диагностика, определяющая потребность растений в азоте в зависимости от флуоресценции и светопроницаемости хлоропластов. Для листовой диагностики используются фотометры (например, фотометр «Спектролюкс») и N-тестеры [10, 14]. Устанавливать потребность растений в азотных удобрениях помогает также дистанционная экспресс-диагностика посевов (наземная и авиакосмическая). N-сенсоры, устанавливаемые над кабиной трактора, определяют необходимость внесения азота путем измерения светоотражения растений на площади около 50 м^2. Космическая диагностика основана на способности земной атмосферы пропускать определенный спектр электромагнитных волн (0,3–20 мкм) [10, 14].

Рассмотренные способы, успешно применяющиеся в растениеводстве открытого грунта, не

всегда могут быть использованы для экспресс-диагностики тепличных растений, отличающихся темпами роста и развития, что связано со специфическими особенностями их питания.

Для условий защищенного грунта разработан способ экспресс-оценки состояния растений, основанный на анализе спектра поглощения листьев и позволяющий получать первичную информацию (предшествующую химическому анализу). Необходимые данные о спектре поглощения листового аппарата растений определяются с помощью фотометрического измерительного оборудования (спектрофотометров или квантометров) [2–4]. Данный способ позволяет не только контролировать рост и развитие растений, но и фиксировать изменения в усвоении питательных элементов, входящих в состав пигментов или влияющих на их синтез (рис. 2).

На рис. 2 указаны элементы, входящие в состав и влияющие на синтез фотосинтетических пигментов: хлорофилла (*a*), каротиноидов (*k*) и цитохрома (*c*), функцией которого является перенос электронов между комплексами дыхательной цепи митохондрий, необходимой для поддержания энергетического баланса [11, 13, 17–19].

Изменения в спектре поглощения листового аппарата, связанные с содержанием пигментов и, соответственно, элементов питания, могут быть вызваны (при прочих равных условиях) различиями в составе и свойствах корнеобитаемой среды, что делает возможным использование указанного способа при исследовании роста и развития растений на различных тепличных субстратах. Ранее проведенные исследования показали, что предложенный способ может применяться при решении вопросов, связанных с тестированием светотехнического оборудования и мониторингом состояния растений [5, 6].

Экспериментальные исследования проводились в производственных условиях ООО Агрокомплекс «Чурилово» (г. Челябинск) при выращивании огурца Мева F_1 методом светокультуры; корнеобитаемая среда – минеральная вата (контрольный вариант)

Рис. 1. Способы и средства экспресс-диагностики сельскохозяйственных растений

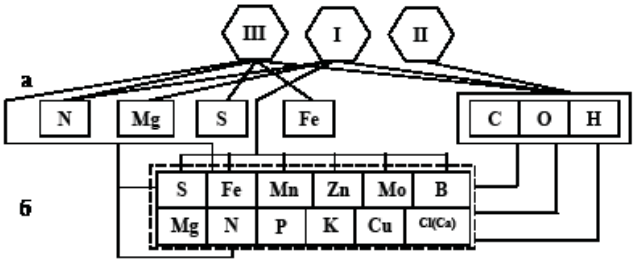

Рис. 2. Элементы питания, входящие в состав (а) и оказывающие влияние (б) на синтез пигментов листового аппарата: хлорофилла (I), каротиноидов (II), цитохрома (III)

и агроперлит (опытный вариант). Проведение экспериментов с данными материалами было обусловлено необходимостью замены минераловатного субстрата, утилизация которого сопряжена со значительными затратами, на субстрат, состоящий из перлита. С экологических позиций его использование является предпочтительным, поскольку перлит утилизируется внесением в почву, что способствует улучшению ее структуры и химических свойств. Перлит и минеральная вата обладают различными физическими свойствами: плотностью, влагоемкостью, пористостью [1], что делает необходимым решение вопроса о коррекции стратегии поливов при переходе на новый субстрат. От стратегии поливов, то есть количества доз, скорости подачи питательного раствора, продолжительности полива и ряда других зависит состояние корнеобитаемой среды и, соответственно, условия минерального питания, влияющие на поглощение элементов и реакцию растений (генеративную или вегетативную). При проведении исследований применялась стратегия поливов, принятая в технологии светокультуры огурца, возделываемого на минераловатном субстрате.

Контролируемыми показателями являлись: урожайность, химический состав листового аппарата растений, поглощение (оптическая плотность) пигментов. Известный способ диагностики, связанный с определением содержания химических элементов в листьях, использовался в сочетании с разработанным способом экспресс-диагностики, который позволяет оперативно выявлять стрессовые состояния растений без проведения пробоподготовки, что особенно важно в производственных условиях [3, 4]. Оптическая плотность пигментов определялась с помощью спектрофотометра UV 1800 Shimadzu, валовое содержание минеральных элементов – лаборатории LASA AGRO 2800, рентгенофлуоресцентного спектрометра Rayny EDX 720 Shimadzu. Для оценки полученных результатов использовались методы биологической (вариационной) статистики [8]. При проведении дисперсионного анализа средние квадраты вариантов S_v^2 и ошибки S^2 определялись по выражениям:

$$S_v^2 = \frac{C_v}{l-1}; \qquad (1)$$

$$S^2 = \frac{C_z}{(n-1)(l-1)}, \qquad (2)$$

где C_v – сумма квадратов для вариантов; l – число вариантов; C_z – сумма квадратов для ошибки; n – число повторений.

При выявлении различий в поглощении листового аппарата растений в опытном и контрольном вариантах анализировался химический состав листьев, причем особое внимание уделялось элементам, указанным на рис. 1. Например, изменение оптической плотности хлорофилла могло быть связано с усвоением элементов питания, входящих в его состав или влияющих на его синтез; изменение соотношения оптических плотностей хлорофилла и цитохрома – с нарушением энергетического баланса, перераспределением элементов внутри листовой пластинки.

Результаты исследований. Результаты экспериментальных исследований представлены в табл. 1–3 и на рис. 3.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о несущественных различиях оптической плотности пигментов в контрольном и опытном вариантах (табл. 1).

Средние арифметические величины оптической плотности хлорофилла (A_a) в контроле и опыте составили соответственно 3,668 и 3,772; оптической плотности каротиноидов (A_k) – 3,560 и 3,403; оптической плотности цитохрома (A_c) – 2,681 и 2,645 соответственно. Не существенно отличались и соотношения оптических плотностей: средние арифметические величины A_a/A_k в контроле и опыте оказались равны 1,03 и 1,04; A_a/A_c – 1,37 и 1,36; A_k/A_c – 1,33 и 1,31 соответственно.

В результате проведенных исследований не выявлено существенных различий в содержании макро- и микроэлементов в листьях растений (рис. 3), которое составило в контроле и опыте соответственно: N – 5,5 и 5,7 %; P – 0,7 и 0,6 %; K – 4,1 и 3,9 %; Ca – 1,4 и 1,4 %; Mg – 0,6 и 0,8 %; Fe – 175 и 184 мг/кг; Mn – 60 и 63 мг/кг; Zn – 54 и 57 мг/кг; Cu – 14 и 14 мг/кг; B – 30 и 32 мг/кг.

Таблица 1

Поглощение (оптическая плотность) пигментов в контрольном и опытном вариантах

Поглощение пигментов	Контроль	Опыт
Хлорофилл, A_a	3,668±0,114	3,772±0,124
Каротиноиды, A_k	3,560±0,180	3,403±0,137
Цитохром, A_c	2,681±0,109	2,645±0,106
Отношение поглощения	Контроль	Опыт
A_a/A_k	1,03±0,02	1,04±0,02
A_a/A_c	1,37±0,04	1,36±0,04
A_k/A_c	1,33±0,03	1,31±0,03

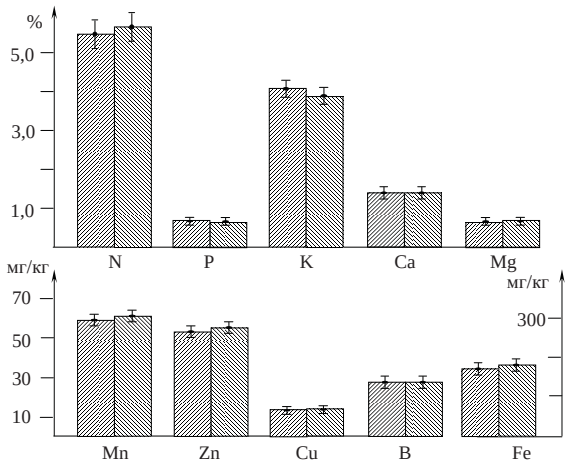

Рис. 3. Содержание химических элементов в листьях огурца: контроль - ; опыт

Таблица 2

Таблица преобразованных дат (урожайность, кг/м²)

Вариант*	Преобразованные даты (X_1)				Суммы V
	I	II	III	IV	
1	0,6	–0,1	0,8	–1,3	0
2	0,4	–0,7	1,8	2,1	3,6
Суммы P	1,0	–0,8	2,6	0,8	3,6 = ΣX_1

*1 вариант – контроль; 2 вариант – опыт.

Экспериментальные данные, связанные с определением урожайности (за 2 оборота), приведены в табл. 2, 3.

Таблица преобразованных дат (табл. 2) составлялась на основании исходных данных для вычисления сумм квадратов [8]. Значение критерия Фишера F_{05} определялось для уровня значимости p = 0,05.

Анализ результатов дисперсионного анализа (табл. 3) позволил сделать вывод о том, что в опыте отсутствуют существенные различия между вариантами, поскольку $F_ф < F_{05}$. Урожайность в опытном варианте составила 103 % (к контролю). Следовательно, замена минераловатного субстрата на агроперлит может осуществляться без коррекции стратегии поливов.

Установлено, что контролируемые показатели в контрольном и опытном вариантах различались несущественно, что указывает на согласованность результатов, полученных с использованием различных методик.

Заключение. Проведенные исследования показали, что предложенный способ экспресс-диагностики, основанный на анализе спектров поглощения листового аппарата, позволяет получать результаты, которые хорошо согласуются с данными химического анализа и оценкой уро-

Таблица 3

Результаты дисперсионного анализа

Дисперсия	Суммы квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	$F_ф$	F_{05}
Общая	9,38	7	-	-	-
Повторений	2,90	3	-	-	-
Вариантов	1,62	1	1,62	1,0	10,13
Остаток (ошибки)	4,86	3	1,62	-	-

жайности, и может использоваться для диагностирования состояния растений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аутко А.А., Гануш Г.И., Долбик Н.Н.* Овощеводство защищенного грунта – Минск: ВЭВЭР, 2006. – 320 с.

2. *Басарыгина Е.М., Барашков М.В., Путилова Т.А.* Фотометрическое оборудование в растительной диагностике // АПК России. – 2016. – Т. 23. – № 5. – С. 974–979.

3. *Басарыгина Е.М., Горшкова Е.О., Путилова Т.А.* Фотоника в растениеводстве закрытого грунта // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2016. – № 9. – С. 5 – 7.

4. *Басарыгина Е.М., Горшкова Е.О., Путилова Т.А.* Разработка методов оценки инновационных технологий в растениеводстве защищенного грунта // Достижения науки и техники АПК. – 2017. – № 11. – С. 75–78.

5. *Басарыгина Е.М., Лицингер О.Г., Путилова Т.А.* Тестирование светотехнического оборудования в условиях защищенного грунта // АПК России. – 2017. – Т. 24. – № 4. – С. 966–970.

6. *Басарыгина Е.М., Лицингер О.Г., Путилова Т.А.* Измерительная система фитомониторинга // АПК России. – 2017. – Т. 24. – № 5. – С. 1141–1146.

7. *Бирюкова О.Ю.* Оперативная диагностика питания растений. – Ростов н/Д: Изд-во Южного Федерального университета, 2010. – 168 с.

8. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: ИД Альянс, 2011. – 352 с.

9. Методика определения потребности растений в элементах питания на основе функциональной экспресс-диагностики с использованием лаборатории «АКВАДОНИС». – Режим доступа: https://bhz.ru/information/manuals/laboratoriya-funktsionalnoy-diagnostiki-akvadonis/.

10. Растительная диагностика. – Режим доступа: http://agroplus-group.ru/rastitelnaya-diagnostika/.

11. Современные проблемы фотосинтеза. Т. 2 / под ред. С.И. Аллахвердиева, А.Б. Рубина, В.А. Шувалова. – М.; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2014. – 544 с.

12. Тканевая диагностика растений. – Режим доступа: http://infoindustria.com.ua/tkanevaya-diagnostika-rasteniy/.

13. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений / под ред. Н.Н. Третьякова. – М.: Колос, 2000. – 640 с.

14. Фотометрическая диагностика азотного питания растений. – Режим доступа: https://agrovesti.net/lib/tech/precise-farming-tech/fotometricheskaya-diagnostika-azotnogo-pitaniya-rastenij.html.

15. *Церлинг В.В.* Диагностика питания сельскохозяйственных культур: справочник. – М.: Агропромиздат, 1990. – 235 с.

16. Эффективность применения регуляторов роста на огурце в защищенном грунте / Н.В. Смолин [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2019. – № 1. – С. 21–25.

17. *Heyes D.J. and Hunter C.N.* Making light work of enzyme catalysis: protochlorophyllide oxidoreductase //Trends of Biochemical sciences, 2005, Vol. 30, P. 642 – 649.

18. *Larcher W.* Physiologycal plant ecology: ecophysiology and stress ecology of functional groups, Berlin e.a.: Springer-Verlag, 2003, 513 p.

19. *Schoels B. and Frank F.* Protochlorophyllide reduction: mechanisms and evolution // Photochem. Photobiol., 2003, Vol. 78, P. 543–557.

Басарыгина Елена Михайловна, *д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Математические и естественнонаучные дисциплины», Южно-Уральский государственный аграрный университет. Россия.*

Захарова Евгения Александровна, *д-р экон. наук, проф. кафедры «Экономика и финансы», Южно-Уральский государственный аграрный университет. Россия.*

Шершнев Александр Владимирович, *аспирант кафедры «Математические и естественнонаучные дисциплины», Южно-Уральский государственный аграрный университет. Россия.*

457100, Челябинская обл., г. Троицк, ул. Гагарина, 13.
Тел.: (8351) 263-14-62; e-mail: b_e_m@mail.ru

Горшкова Елена Олеговна, *главный агроном, ООО Агрокомплекс «Чурилово». Россия.*

454079, г. Челябинск, ул. Трашутина, 8.
Тел.: (8351) 211-11-18; e-mail: geo-ca@mail.ru.

Давыдов Денис Викторович, *аспирант кафедры «Экономика и финансы», Южно-Уральский государственный аграрный университет . Россия.*

457100, Челябинская обл., г. Троицк, ул. Гагарина, 13.
Тел.: (8351) 263-14-62; e-mail: b_e_m@mail.ru.

Ключевые слова: *экспресс-диагностика растений; защищенный грунт; фотометрическое измерительное оборудование; спектр поглощения листьев; элементы питания; урожайность.*

THE WAYS AND MEANS OF EXPRESS-DIAGNOSTICS OF PLANTS FOR PROTECTED GROUND

Basarygina Elena Mikhailovna, *Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the chair "Mathematical and Natural Sciences", South Ural State University. Russia.*

Zakharova Evgenia Alexandrovna, Doctor of Economic Sciences, Professor of the chair "Economics and Finance", South Ural State University. Russia.

Shershnev Alexander Vladimirovich, Post-graduate Student of the chair "Mathematical and Natural Sciences", South Ural State University. Russia.

Gorshkova Elena Olegovna, Chief Agronomist, Agrokompleks "Churilovo". Russia.

Davydov Denis Viktorovich, *Post-graduate Student of the chair "Economics and Finance", South Ural State University. Russia.*

Keywords: *express diagnostics of plants; protected soil; photometric measuring equipment; absorption spectrum of leaf; nutrients; yield.*

The article deals with the results of studies related to the testing of the proposed method of rapid diagnosis of plants conducted in the production conditions of Agrocomplex "Churilovo". It was found that the absorption spectrum of the leaf apparatus of cucumber plants in the control variant (substrate – mineral wool) and the experimental variant (substrate - agroperlite) differed insignificantly: the arithmetic mean values of chlorophyll absorption in the control and experiment were 3,668 and 3,772, respectively; carotenoid absorption - 3,560 and 3,403; cytochrome absorption - 2,681 and 2,645, respectively. There were minor differences in the content of micro - and macronutrients in plant leaves and yield. It is revealed that the proposed method of rapid diagnosis, based on the analysis of the absorption spectra of the sheet apparatus, allows obtaining results comparable to the results of chemical analysis and yield assessment, and can be used to diagnose the condition of plants.