

Оригинальные статьи / Original articles

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-3-71-75>
УДК 635.21:001.891:631.524.86

Е.Н. Волкова*,
Н.А. Шелоухова

Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение «Агрофизический
научно-исследовательский
институт» (ФГБНУ АФИ)
195220, Россия, г. Санкт-Петербург,
Гражданский пр., д. 14

*Автор для переписки: ele-ven@yandex.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют
об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: Все авторы участвовали в
планировании и постановке эксперимента, а
также в анализе экспериментальных данных и
написании статьи.

Для цитирования: Волкова Е.Н., Шелоухова
Н.А. Фотометрический метод в
исследованиях реакции устойчивости сортов
картофеля к азотному стрессу.
Овощи России. 2022;(3):71-75.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-3-71-75>

Поступила в редакцию: 01.04.2022

Принята к печати: 13.04.2022

Опубликована: 25.06.2022

Elena N. Volkova*,
Natalya A. Sheloukhova

Agrophysical Research Institute (ARI)
14, Grazhdanskiy pr.,
St.-Petersburg, Russia, 195220

*Corresponding author: ele-ven@yandex.ru

Conflict of interest: The authors declare that they
have no conflict of interest.

Author contributions: All authors contributed to
the planning and setting up the experiment, as
well as in the analysis of experimental data and
writing of the article.

For citations: Volkova E.N., Sheloukhova N.A.
Photometric method of response to changes in
potato varieties to nitrogen stress. *Vegetable
crops of Russia.* 2022;(3):71-75.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-3-71-75>

Received: 01.04.2022

Accepted for publication: 13.04.2022

Published: 25.06.2022

Фотометрический метод в исследованиях реакции устойчивости сортов картофеля к азотному стрессу



Резюме

Актуальность. Использование неинвазивных фотометрических способов оценки стрессовых состояний растений позволяет оценить физиологическое состояние и устойчивость растений.

Материал и методы. В мелкоделяночном полевом и в вегетационном опытах изучали фотометрические показатели физиологической реакции сортов картофеля (коэффициенты отражения в различных диапазонах) на азотный стресс, создаваемый пятью дозами удобрений с использованием контактного (N-тестер) и дистанционного (N-сенсор) способов.

Результаты. Сорта картофеля, районированные для условий Северо-Западного региона РФ, были изучены по способности выдерживать стресс, обеспеченный пониженным и повышенным уровнями азотного питания растений, и разной массой посадочных клубней. Устойчивость растений разных генотипов к внешнему и внутреннему стрессорам исследовали по коэффициентам отражения, измеренным в 4 каналах, которые характеризовали различия в физиологическом состоянии растений. Обеспечение потенциальной генотипической устойчивости организма в виде снижения фотометрического индекса стресса (ФИС F_{1,3}) соответствует включению разных механизмов адаптации растений к внешнему или внутреннему воздействию в зависимости от генотипа. В вегетационном опыте из изучаемых фотооптических коэффициентов отражения наиболее информативными были показатели ФИС F_{1,3}, которые показали, что общая жизнеспособность таких сортов, как Петербургский, Чародей и Холмогорский оказалась повышенной. Тип реакции сорта Холмогорский является наиболее перспективным для выращивания растений в условиях стрессовой нагрузки.

Ключевые слова: сорта, картофель, азотный стресс, фотометрические показатели отражения

Photometric method of response to changes in potato varieties to nitrogen stress

Abstract

Relevance. The use of non-invasive photometric methods for assessing the stress states of plants makes it possible to assess the physiological state and resistance of plants.

Material and methods. In small-field and vegetation experiments, we studied the photometric indicators of the physiological response of potato varieties (reflection coefficients in different ranges) to nitrogen stress created by five doses of fertilizers using contact (N-tester) and remote (N-sensor) methods.

Results. Potato varieties released for the conditions of the North-Western region of the Russian Federation were studied for their ability to withstand stress provided by low and high levels of nitrogen nutrition of plants and different weights of planting tubers. The resistance of plants of different genotypes to external and internal stressors was studied by the reflection coefficients measured in 4 channels, which characterized the differences in the physiological state of plants. Ensuring the potential genotypic resistance of the organism in the form of a decrease in FIS F_{1,3} corresponds to the inclusion of various mechanisms of plant adaptation to external or internal influences, depending on the genotype. In the vegetative experiment, of the studied photo-optical reflection coefficients, the most informative were the FIS F_{1,3} indicators, which showed that the overall viability of such varieties as Peterburgsky, Charodey and Kholmogorsky turned out to be increased. The reaction type of the Kholmogorsky variety is the most promising for growing plants under stress conditions.

Keywords: varieties, potatoes, nitrogen stress, photometric reflectance

Введение

Воздействие стрессоров на растения может быть выражено в изменении характерных свойств и признаков. Для растений картофеля (*Solanum tuberosum* L.), характеризующихся в целом выносливостью к действию неблагоприятных факторов среды, стрессовые факторы приводят к снижению продуктивности растений (количества и массы клубней), ухудшению биохимических характеристик (содержания крахмала и сухого вещества). Такая реакция бывает сорто-специфичной, то есть степень стрессовой реакции растения зависит от генотипа и характера стрессового воздействия. Устойчивость к стрессу у растений картофеля разных генотипов возникает вследствие разных приспособительных, в том числе и фенотипических реакций: уменьшения высоты растений, изменения размеров листа, уменьшения клубнеобразования. Этому сопутствуют физиологические реакции: снижение содержания пигментов, в частности, хлорофилла, деструкция тканей листа, увядание растений, обезвоживание, повышенная заболеваемость растений. Все эти признаки могут быть охарактеризованы *in situ* фотометрическим методом [1]. Использование методов контактной и дистанционной диагностики физиологического состояния растений *in situ*, включая количественную оценку потребности растений в азотных удобрениях находят свое применение в наиболее перспективных в настоящее время технологиях точного земледелия [2,3,4,5], используются для определения зараженности растений [6].

Факторами, определяющими оптические характеристики растений, являются: содержание пигментов и воды в листьях, тканях, их морфолого-анатомическое строение. Поэтому существенным представляется выявление фотометрических характеристик листьев картофеля при разных уровнях стресса растений и для разных генотипов.

Объекты и методы

Для измерений использовали портативный полевой фотометр ПИФ-М (разработка ГОИ им. С.И. Вавилова), который измеряет коэффициент отражения R_j отдельных фитоэлементов растений в $j=4$ спектральных каналах, соответствующих основным физиологическим процессам растения, разным механизмам взаимодействия света с растением [7]. В канале I (0,38-0,63 мкм) преобладает поглощение света пигментами листа, канал II (0,63-0,8 мкм) включает так называемую "красную границу", где находится максимум поглощения света хлорофиллом, канал III (0,8-1,0 мкм) соответствует области максимума клеточного поглощения, канал IV (1,0-1,75 мкм) приходится на область преимущественного поглощения водой. Диапазон изменения коэффициента отражения варьирует от 0 до 1. Приведенная предельная относительная погрешность измерения составляет 2%. Градуировка прибора осуществляется непосредственно *in situ* по специальной мере отражения. Относительная погрешность аттестации меры – 0,5% [1].

Для измерений использовали также прибор N-Тестер, который позволяет определить коэффициенты отражения, соответствующий каналу I (0,56 мкм) и каналу III (0,91 мкм). Преимущества обоих приборов в том, измерения могут быть проведены независимо от условий освещенности, чего требуют некоторые другие фотометрические приборы.

Предварительная обработка данных, представляемых в цифровом виде, производится с помощью встроенного в прибор миникомпьютера, откуда результаты измерений могут быть переданы во внешний компьютер. При исследовании средней пробы листьев из 8 листьев, для каждого листа с помощью фото-

метра измеряются и рассчитываются усредненные значения R_j в j -ом спектральном канале ($j=1, 2, 3, 4$) измеряемых величин отражения g_j и коэффициентов вариации S_j (или ошибок среднего). Набор из четырех параметров R_j образует спектр значений коэффициента отражения:

$$R_j = \frac{\sum g_j}{n}$$

где n – число измерений
(на практике $n=5-10$ измерений).

Количественные характеристики стрессовых эффектов в растениях строятся на определении следующих параметров:

- Фотометрического индекса стресса – ФИС ($F_{1,3}=R_1/R_3$), как показателя подавления фотосинтеза в результате внешнего воздействия (уровня азотного питания, например). Этот показатель (обратный вегетационному индексу) является индикатором жизнеспособности растения и служит фотометрической мерой «нагрузки» на растение.

- Значений коэффициента отражения R_j и стабильности этого показателя, выявляющих физиологические параметры реакции растений на эту «нагрузку».

Фотометрический метод был применен при проведении исследований стрессоустойчивости растений 8 сортов картофеля, рекомендованных к выращиванию в Северо-Западном регионе РФ: Рождественский, Белогорский, Чародей, Елизавета, Невский, Холмогорский, Снегирь, Петербургский. Все сорта относятся по скороспелости к группам ранних и среднеранних, кроме сорта Петербургский (среднеспелый), являются столового, универсального и кулинарного назначения. В качестве стандарта стрессоустойчивости приняли сорт Невский, который районирован с 1983 года и возделывается во всех 12 регионах России [8].

Вегетационный опыт включал внесение пяти доз азота в количестве от 0,033 N г (действующего вещества на килограмм) д.в./кг до 0,2 N г д.в./кг (на фоне РК 0,2 г д.в./кг). Вегетационные сосуды вмещали 5 кг воздушно-сухой просеянной среднеоккультуренной легкосуглинистой дерново-подзолистой почвы, взятой с участка, где проводили мелкоделяночный опыт. В каждом сосуде размещали по 4 клубня картофеля. Опыт проводили в вегетационном домике при естественном освещении. Влажность почвы поддерживали посредством полива на оптимальном для растений уровне – 70% ППВ. Мелкоделяночный полевой опыт с перечисленными выше сортами картофеля проводили в условиях Ленинградской области также на дерново-подзолистой легкосуглинистой среднеоккультуренной почве с рН_{KCl} – 6,4, содержанием гумуса – 2,41% (по Тюрину), подвижных фосфора и калия соответственно 28,8 и 29,6 мг/100 г (по Кирсанову), содержание нитратного азота – 25 мг/100 г. Размер делянок – 8 м², повторность четырехкратная, размещение систематическое. Варьирующим фактором служила масса клубней от 10 г и до 120 г (четыре фракции, определённые по среднему значению класса как 15, 35, 65 и 95 г). Вносили повышенную дозу аммиачной селитры из расчета 140 кг д.в./га. Внесение удобрений и посадку клубней проводили в начале июня, убирали в начале сентября. В опыте выполняли биометрические измерения, в клубнях определяли содержание сухого вещества высушиванием при 105°C, нитратов потенциметрически, крахмала по Эверсу [9]. Статистическая обработка экспериментальных данных проведена с помощью программного обеспечения MS Excel 2010 и Statistica. В тексте и таблицах приведены средние арифметические значения параметров и их достоверные интервалы при 95%-ном уровне вероятности по

t-критерию Стьюдента. Достоверность различий между вариантами оценивали методами параметрической статистики, различия считали достоверными при $p \leq 0.05$.

Результаты и обсуждение

По мнению В.В. Сюкова [10], А. И. Прянишникова и др. [11], изучение степени изменчивости физиологических показателей в различных средовых условиях дает возможность выявить адаптивные стабильные и высоко варьирующиеся признаки и свойства, что необходимо для генетико-селекционной работы. Известно, что недостаток азота в почве замедляет рост растения, снижает интенсивность фотосинтеза и ухудшает водный режим, а избыток приводит к чрезмерному росту ботвы в ущерб формированию клубней, а также задерживает созревание клубней [12]. Избыток азота может приводить к чрезмерному разрастанию ассимиляционного аппарата в ущерб формированию продуктивных органов.

Фотометрические показатели растений определяли в фазу цветения – критическую по потреблению азота картофелем. Данные по опыту для восьми сортов представлены в табл. 1. Лучшее состояние растений наблюдалось у растений сортов Чародей и Петербургский: например, низкий показатель R_1 сви-

сорта Невский. Сорта Елизавета и Чародей сформировали биомассу клубней меньше сорта Невский на 20-21,0%, различия с другими сортами были незначительными. Содержание нитратов в клубнях варьировало от 95 до 132 мг/кг, зависело от дозы удобрения ($r=0,74$, $P=0,95$), межсортные различия были незначительными.

В микрополевоом опыте исследовали эндогенный стрессор растений: для посадки каждого сорта использовали клубни разной массы от 10 г и до 120 г (четыре фракции, определённые по среднему значению класса как 15, 35, 65 и 95 г). Данные по фотометрическим показателям представлены в табл. 2.

Эндогенный стресс, ведущий к изменению морфометрических показателей, таких как высота растения, количество наземных и подземных побегов, масса клубней не приводил к видимым изменениям окраски листьев, как это было отмечено в предыдущем опыте. Однако, по средним значениям фотометрических показателей (R_1 и ФИС $F_{1,3}$) сорта – Холмогорский и Белогорский показали себя более стрессоустойчивыми, в сравнении с другими сортами, а к деструкции тканей листа – сорта Елизавета и Снегирь (R_3). Таким образом, достаточное содержание пигментов в листьях (R_1) может быть обусловлено

Таблица 1. Фотометрические показатели растений картофеля различных сортов по показаниям прибора ПИФ-М (реакция на азотный стресс) в вегетационном опыте
Table 1. Photometric indicators of potato plants of various varieties according to the readings of the PIF-M device (reaction to nitrogen stress) in a growing experiment

Сорт	Фотометрические показатели				
	R_1	R_2	R_3	R_4	ФИС $F_{1,3}$
Невский	0,16±0,005	0,54±0,004	0,75±0,003	0,38±0,002	0,21±0,005
Белогорский	0,17±0,020	0,55±0,008	0,74±0,002	0,36±0,002	0,23±0,027
Чародей	0,14±0,006	0,55±0,006	0,76±0,009	0,37±0,003	0,18±0,009
Петербургский	0,13±0,003	0,53±0,005	0,74±0,005	0,38±0,004	0,18±0,002
Елизавета	0,16±0,004	0,53±0,004	0,74±0,004	0,38±0,002	0,22±0,006
Рождественский	0,18±0,027	0,55±0,012	0,75±0,005	0,38±0,004	0,24±0,035
Снегирь	0,16±0,004	0,55±0,002	0,74±0,002	0,37±0,001	0,22±0,005
Холмогорский	0,19±0,032	0,55±0,014	0,74±0,003	0,39±0,003	0,26±0,042

детельствовал о достаточном количестве пигментов в листьях, в том числе хлорофилла – по показателю R_2 (для сортов Петербургский и Холмогорский. Отмечали отсутствие деструкции тканей в результате отсутствия поражения болезнями или по физиологическим причинам у сортов Чародей, Рождественский и Невский (R_3). Отсутствие обезвоживания листьев в результате азотного стресса характерно для сортов Белогорский, Чародей и Снегирь (R_4). Общая жизнеспособность таких сортов, как Рождественский, Белогорский и Холмогорский оказалась повышенной (ФИС $F_{1,3}$).

Все изучаемые сорта проявили отзывчивость на возрастающие дозы аммиачной селитры увеличением биомассы клубней – коэффициент детерминации составил 0,95-0,99 (при уровне значимости $P=0,95$).

Четко наблюдалось изменение зеленой окраски листовых пластин в соответствии с дозой азота). Зависимость фотометрических показателей от содержания хлорофилла в листьях показано ранее на растениях салата [13]. Различия по биомассе клубней между сортами при уборке составляли от 212,4 до 280,0 г/сосуд. Наибольшей была биомасса у сорта Холмогорский (280,0 г/сосуд), что на 6,1% выше контроля –

Таблица 2. Фотометрические показатели растений картофеля сортов по показаниям прибора N-Тестер (реакция на величину посадочных клубней)
Table 2. Photometric indicators of potato plants of varieties according to the readings of the N-Tester device (reaction to the size of planting tubers)

Сорт	Фотометрические показатели		
	R_1	R_3	ФИС $F_{1,3}$
Невский	0,22±0,002	0,85±0,002	0,26±0,003
Рождественский	0,23±0,003	0,84±0,015	0,27±0,006
Белогорский	0,24±0,005	0,84±0,007	0,28±0,008
Чародей	0,21±0,003	0,86±0,004	0,24±0,003
Петербургский	0,19±0,003	0,85±0,004	0,23±0,004
Елизавета	0,23±0,003	0,87±0,005	0,26±0,003
Холмогорский	0,22±0,003	0,79±0,008	0,28±0,003
Снегирь	0,23±0,002	0,87±0,002	0,27±0,002

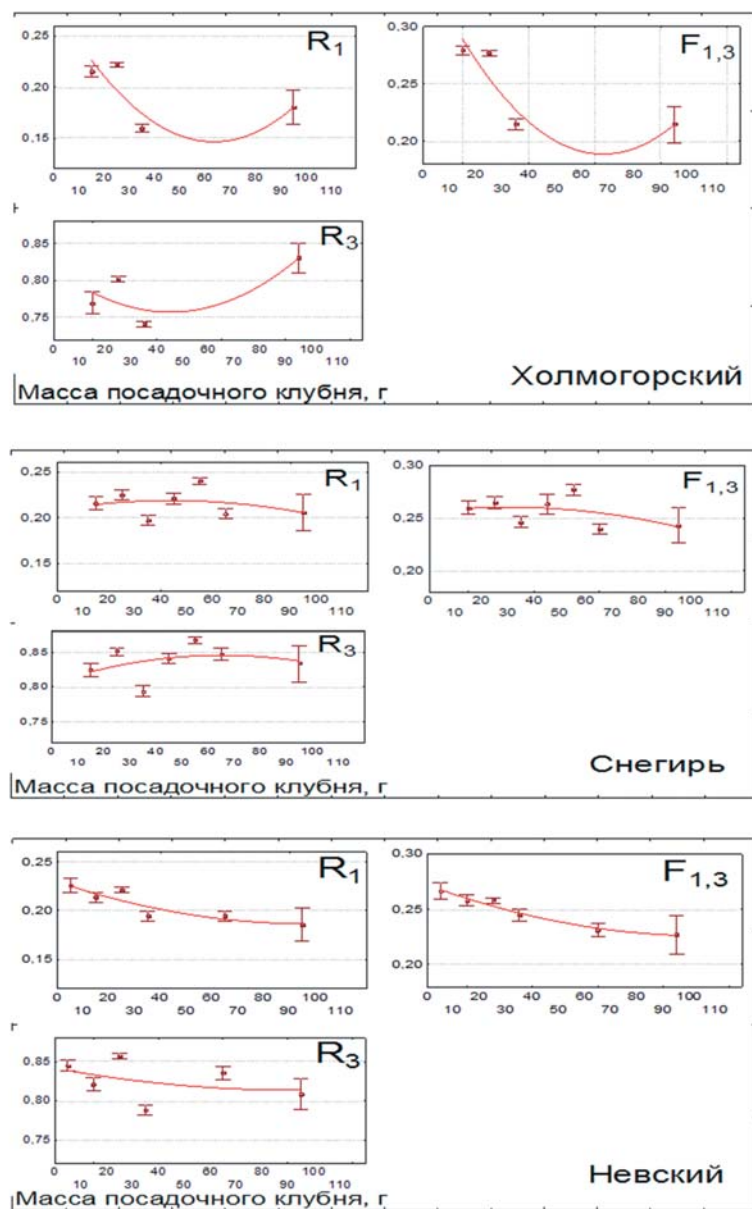


Рис. 1 . Изменения фотометрического индекса стресса ФИС $F_{1,3}$ и коэффициентов отражения R_1 и R_3 в зависимости от массы посадочного клубня картофеля сортов Холмогорский, Снегирь, Невский
Fig.1. Changes in photometric stress index FIS $F_{1,3}$ and reflection coefficients R_1 and R_3 depending on the mass of planting tuber of potato varieties Kholmogorsky, Snegir, Nevsky

универсальной реакцией растений на стресс, так как реакция генотипа обуславливает сохранение определённого уровня пигментов при любом стрессе, как экзогенном, так и эндогенном. Канал III можно определить, как канал специфических реакций генотипа на стресс, по нему можно характеризовать генотипически предопределённую реакцию устойчивости к определённому стрессору.

Следует также отметить, что обеспечение потенциальной генотипической устойчивости организма в виде снижения ФИС $F_{1,3}$ соответствует включению разных механизмов адаптации растений к внешнему или внутреннему воздействию в зависимости от генотипа. Так, для сорта Холмогорский были отмечены лучшие значения ФИС $F_{1,3}$ в опыте для растений, выращенных в отсутствие эндогенного стресса (из клубней фракций 35-95 г). Такой весомый показатель обеспечивается как хорошим уровнем содержания пигментов в листьях, так и отсутствием деструкции тканей (Рис.1). Для сорта Снегирь, несмотря на отсутствие тканевых, клеточных повреждений (R_3) также отмечалось пониженное содержание пигментов. А для сорта Невский, наоборот, при достаточном уровне пигментов в листьях, небольшая деструкция тканей листа (или наличие патоген-

ного заболевания) привели к тому, что этот сорт имел ФИС $F_{1,3}$ худший, чем у сорта Холмогорский.

На рисунке 1 показаны три различные типы обнаруженной реакции устойчивости к эндогенному стрессу. Тип реакции сорта Холмогорский является наиболее перспективным для выращивания растений в условиях стрессовой нагрузки и обеспечивают этому сорту хорошую жизнеспособность растений под воздействием стресса, например, азотного. Этот вывод совпадает с описанием характеристик сорта его авторами, где указываются его высокие адаптационные свойства. Повышение уровня жизнеспособности ведёт к формированию лучших биохимических и других физиологических показателей (табл. 3). Этот сорт накапливал больше крахмала и сухого вещества по сравнению с сортом-стандартом и меньше нитратов.

Выводы

Предложенный неинвазивный метод диагностики физиологического состояния растений картофеля позволяет в полевых и в контролируемых условиях определять основные оптические характеристики листьев, коэффициенты отражения, пропуска-

Таблица 3. Продуктивные и биохимические показатели растений трёх сортов картофеля (микророльный опыт)
Table 3. Productive and biochemical parameters of plants of three varieties of potatoes (microfield experience)

	Невский	Холмогорский	Снегирь
Биохимические показатели			
Крахмал, %	12,8±0,59	14,2±0,55	11,8±0,86
Нитраты, мг/кг	115±22	86±8	97±7
Сухое вещество, %	18,8±0,18	21,3±0,16	21,3±0,23
Сохраняемость клубней (за 4 месяца), %	84,0±3,15	90,7±0,62	93,0±0,41
Биометрические показатели			
Высота растений в фазу цветения, см	43,6±0,89	45,5±0,74	39,3±0,99
Среднее количество стеблей шт./раст.	2,0±0,08	1,6±0,06	2,0±0,10
Количество клубней в гнезде общее, шт.	4,9±0,25	5,1±0,27	4,6±0,28
Масса клубней с 1 куста, г	129,0±7,60	137,6±7,20	131,2±7,83
Масса клубней с 1 куста товарных, г	113,3±8,55	116,5±8,70	117,0±7,80
Масса 1 клубня средняя, г	28,0±1,84	29,0±1,64	31,5±2,42
Масса 1 товарного клубня, г	37,5±1,74	40,6±2,11	48,9±2,78
Товарность, %	87,1±1,05	83,6±2,16	88,0±1,31

ния и поглощения в условиях стресса. Фотометрические реакции растений на внешние воздействия являются нелинейными и неоднозначными функциями и зависят от интенсивности воздействия. По оптическим реакциям возможно выделение разных фаз стресса и физиологического состояния растений. Тип реакции сорта Холмогорский является наиболее перспективным для выращивания растений в условиях стрессовой нагрузки.

Учитывая вышеизложенное, можно сделать вывод о перспективности применения фотометрического анализа при определении физиологических и биохимических изменений в растениях; при характеристике признаков устойчивости растений к внутреннему или внешнему стрессу и при проведении сортоиспытания.

Об авторах:

Елена Николаевна Волкова – доктор с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, Отдел 210 "Светофизиологии растений и биопроductивности агроэкосистем", <https://orcid.org/0000-0001-7429-4046>, автор для переписки, ele-ven@yandex.ru
Наталья Алексеевна Шелухова – доктор биол. наук, старший научный сотрудник, Отдел 210 "Светофизиологии растений и биопроductивности агроэкосистем"

About the authors:

Elena N. Volkova – Doc. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Department 210 "Plant Light Physiology and Bioproductivity of Agroecosystems", <https://orcid.org/0000-0001-7429-4046>, Correspondence Author, ele-ven@yandex.ru
Natalya A. Sheloukhova – Doc. Sci. (Biology), Senior Researcher, Department 210 "Plant Light Physiology and Bioproductivity of Agroecosystems"

• Литература

1. Surin V.G. Method of determining the optical characteristics of leaves in the field. *Forestry*, 2001;(2):70-75. (In Russ.).
2. Ruckelshausen A., Busemeyer L. Toward digital and image-based phenotyping. *Phenomics in crop plants: trends, options and limitations*. Springer, New Delhi, 2015. p.41-60. Doi: 10.1007/978-81-322-2226-2
3. Yakushev V.P., Kanash E.V. Evaluation of wheat nitrogen status by colorimetric characteristics of crop canopy presented in digital images. *Journal of Agricultural Informatics*. 2016;7(1):65-74. DOI:10.17700/jai.2016.7.1.268
4. Yakushev V.P., Kanash E.V., Rusakov D., Blokhina S. Specific and non-specific changes in optical characteristics of spring wheat leaves under nitrogen and water deficiency. *Advances in animal biosciences*. 2017;8(2):229-232. DOI:10.1017/s2040470017000539.
5. Канаш Е.В., Якушев В.П., Осипов Ю.А., РУСАКОВ Д.В.1, БЛОХИНА С.Ю.1, КРАВЦОВА А.В. Оп-тические характеристики листьев яровой пшеницы при дефиците азота и воды. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2017;(4):9–12.
6. Гурова Т.А., Клименко Д.Н., Луговская О.С., Елкин О.В., Козик В.И. Спектральные характеристики сортов пшеницы при биотическом стрессе. *Достижения науки и техники АПК*. 2019;(10):71-75. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11016
7. Surin V.G., Kolesnikov L.E., Sablina Yu.R. Исследование устойчивости растений к болезням фотометрическим методом. *Фитосанитарное оздоровление экосистем*. (Мат. II Всерос. Съезда по защите растений). Т. 1. СПб: ВИЗР, 2005. С.221-223.
8. Евдокимова З.З., Синицына С.М., Данилова Т.А., Головина Л.Н., Котова З.П., Красноперов А.Г., Нелюбина Н.А., Лыкова Н.А. Оценка сортов картофеля Ленинградского НИИХ в экологическом испытании на Северо-Западе РФ. *Перспективы развития оригинального, элитного и ре-продукционного семеноводства картофеля в условиях Европейского Севера РФ* (Мат. науч.-пр. конф.), 2006. Арх.: АНИИХ. С.33-43.
9. Скрипин П.В., Тариченко А.И., Жуков Р.Б. Физико-химические методы исследования сельскохозяйственного сырья и продовольственных товаров. *Персиановский: Донской ГАУ*, 2018. 115 с.
10. Сюков В.В., Менибаев А.И. Экологическая селекция растений: типы и практика (обзор). *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2015;17,4(3):463–466.
11. Прянишников А.И., Савченко И.В., Мазуров В.Н. Адаптивная селекция: теория и практика отбора на продуктивность. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2018;(3):29–32.
12. Dupuis B. Fumure azotée de nouvelles variétés de pommes de terre cultivées en Suisse. *Revue Suisse Agriculture*. 2009;4(41):209-214.
13. Пищик В.Н., Воробьев Н.И., Сури В.Г. Использование измерений коэффициента отражения света для оценки содержания хлорофилла в листьях салата при воздействии различных препаратов. *Плодоводство и ягодоводство России*. 2012;(33):264-269.

• References

1. Surin V.G. Method for determining the optical characteristics of leaves in the field. *Forestry*, 2001;(2):70-75. (In Russ.).
2. Ruckelshausen A., Busemeyer L. Toward digital and image-based phenotyping. *Phenomics in crop plants: trends, options and limitations*. Springer, New Delhi, 2015. p.41-60. Doi: 10.1007/978-81-322-2226-2
3. Yakushev V.P., Kanash E.V. Evaluation of wheat nitrogen status by colorimetric characteristics of crop canopy presented in digital images. *Journal of Agricultural Informatics*. 2016;7(1):65-74. DOI:10.17700/jai.2016.7.1.268
4. Yakushev V.P., Kanash E.V., Rusakov D., Blokhina S. Specific and non-specific changes in optical characteristics of spring wheat leaves under nitrogen and water deficiency. *Advances in animal biosciences*. 2017;8(2):229-232. DOI:10.1017/s2040470017000539.
5. Kanash E.V., Yakushev V.P., Osipov Yu.A., Rusakov D.V., Blokhina S.Yu., Kravtsova A.V. Optical characteristics of the spring wheat leaves under the nitrogen and water deficiency conditions. *Vestnik Rossijskoj sel'skoxozyajstvennoj nauki*. 2017;(4):9–12. EDN ZXIYJF. (In Russ.).
6. Gurova T.A., Klimenko D.N., Lugovskaya O.S., Elkin O.V., Kozik V.I. Spectral characteristics of wheat varieties under biotic stress. *Achievements of Science and Technology APK*. 2019;(10):71-75. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11016 (In Russ.).
7. Surin V.G., Kolesnikov L.E., Sablina Yu.R. Investigation of plant resistance to diseases by the photo-metric method. *Phytosanitary improvement of ecosystems*. (Mat. II All-Russia. Plant Protection Congress). T. 1. St. Petersburg: VIZR, 2005. P.221-223. (In Russ.).
8. Evdokimova Z.Z., Sinitsyna S.M., Danilova T.A., Golovina L.N., Kotova Z.P., Krasnoperov A.G., Ne-lyubina N.A., Lykova N.A. Evaluation of potato varieties of the Leningrad Research Institute of Agriculture in an ecological test in the North-West of the Russian Federation. *Prospects for the development of original, elite and reproductive potato seed production in the conditions of the European North of the Russian Federation*, (Mat. scientific-pr. Conf.), 2006. Arch.: ANIISKH. P.33-43. (In Russ.).
9. Skripin P.V., Tarichenko A.I., Zhukov R.B. Physical and chemical methods of research of agricultural raw materials and food products. *Persianovsky: Donskoy GAU*, 2018. 115 p. (In Russ.).
10. Syukov V.V., Menibaev A.I. Ecological plant breeding: types and practice (review) // *Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2015;17,4(3):463–466. (In Russ.).
11. Pryanishnikov A.I., Savchenko I.V., Mazurov V.N. Adaptive breeding: theory and practice of selection for productivity. *Bulletin of the Russian agricultural science*. 2018;(3):29–32. (In Russ.).
12. Dupuis B. Fumure azotée de nouvelles variétés de pommes de terre cultivées en Suisse. *Revue Suisse Agriculture*. 2009;4(41):209-214.
13. Pishchik V.N., Vorobyov N.I., Surin V.G. Using measurements of the light reflectance to assess the content of chlorophyll in lettuce leaves under the influence of various drugs. *Fruit growing and berry growing in Russia*. 2012;(33):264-269. (In Russ.).