

Оригинальные статьи / Original articles

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-1-117-120>
УДК 635.64:581.132.043

Т.В. Никонович¹,
Ю.В. Трофимов²,
М.И. Баркун²

¹ Белорусская государственная сельскохозяйственная академия
5, ул. Мичурина, г. Горки,
Могилевская обл., 213410, Республика Беларусь
tvnikonovich@gmail.com

² Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий Национальной академии наук
Беларуси
20, Логойский тракт,
Минск, 220090, Республика Беларусь

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований по теме: «Оценка генетико-биохимических особенностей морфогенеза растений в условиях *in vitro* при различном светодиодном освещении», договор с БРФФИ № Б19-112.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи.

Для цитирования: Никонович Т.В., Трофимов Ю.В., Баркун М.И. Влияние светодиодного освещения на содержание фотосинтезирующих пигментов в листьях томата. *Овощи России*. 2021;(1):117-120.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-1-117-120>

Поступила в редакцию: 04.05.2020
Принята к печати: 18.09.2020
Опубликована: 25.02.2021

Tamara V. Nikanovich¹,
Yuri V. Trofimov²,
Mikhail I. Barkun²

¹ Belarusian State Agricultural Academy
5, Michurin st., Gorki, Mogilev region, 213410,
Republic of Belarus
tvnikonovich@gmail.com

² Center for LED and Optoelectronic Technologies of the National Academy of Sciences of Belarus
20, Logoisk tract, Minsk, 220090, Republic of Belarus

Acknowledgments. The work was carried out with the financial support of the Belarusian Republican Foundation for Basic Research on the topic: "Evaluation of genetic and biochemical features of plant morphogenesis *in vitro* under various LED lighting", contract with the BRFFR № B19-112.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article.

For citations: Nikanovich T.V., Trofimov Yu.V., Barkun M.I. The impact of LED lighting on the content of photosynthetic pigments in tomato leaves. *Vegetable crops of Russia*. 2021;(1):117-120. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-1-117-120>

Received: 04.05.2020
Accepted for publication: 18.09.2020
Accepted: 25.02.2021

Влияние светодиодного освещения на содержание фотосинтезирующих пигментов в листьях томата



Резюме

Актуальность и методика. Изучали влияние светодиодного освещения разного спектрального состава на содержание фотосинтезирующих пигментов в листьях томата для выявления оптимального варианта освещения, пригодного для получения качественной рассады в контролируемых условиях. Применяли светодиодные светильники, у которых отношение плотности потока фотонов (ППФ) оранжево-красной полосы (607–694 нм) к ППФ синей полосы (400–495 нм) варьировало от 1 до 20. При этом доля ППФ в диапазоне 580–607 нм (желтый) составляла от 13 до 22%, а доля фотонов в диапазоне 495–580 нм (зеленый) – от 18 до 38%. Исследования проводили с двумя сортами томата белорусской селекции, которые отличались по ряду морфобиологических признаков.

Результаты. Установлено, что применение светодиодного освещения разного спектрального состава оказало в основном ингибирующее действие на биосинтез хлорофиллов и каротиноидов в листовой ткани растений. Снижение количества пигментов, по сравнению с контрольным вариантом, достигало 47-57%. Выявлено, что при всех исследуемых вариантах освещения, за исключением условий, где спектральное соотношение R/B («красный/синий») составляло 0,8, величина совокупного ингибирующего эффекта у сорта Черри Коралл оказалась в 1,2-1,7 раза меньше, чем у сорта Зорка, что свидетельствовало о значительно меньшей восприимчивости пигментного фонда первого из них к светодиодному освещению. Наименьшее ингибирующее влияние последнего на биосинтез фотосинтезирующих пигментов у обоих сортов томата установлено при потоке фотонов 69,1 мкмоль/с, тогда как наибольшее, превосходящее его в 3,0-3,1 раза – у сорта Зорка и в 4,5-5,3 раза – у сорта Черри Коралл при потоке фотонов 73,9 мкмоль/с.

Ключевые слова: томат, светодиодное освещение, хлорофиллы, каротиноиды, спектральный состав света

The impact of LED lightning on the content of photosynthetic pigments in tomato leaves

Abstract

Relevance and methods. We studied the influence of LED lighting of different spectral composition on the content of photosynthetic pigments in tomato leaves to identify the most optimal lighting option suitable for obtaining high-quality seedlings under controlled conditions. We used LED lamps in which the ratio of the photon flux density (PFD) of the orange-red band (607–694 nm) to the PFD of the blue band (400–495 nm) varied from 1 to 20. In this case, the proportion of the PFD in the range 580-607 nm (yellow) ranged from 13 to 22%, and the fraction of photons in the range 495–580 nm (green) ranged from 18 to 38%. The research was carried out with two varieties of Belarusian tomato varieties, which differed in a number of morphobiological characteristics.

Results. It was found that the use of LED lighting of different spectral composition had mainly an inhibitory effect on the biosynthesis of chlorophylls and carotenoids in the leaf tissue of plants. The decrease in the amount of pigments, in comparison with the control variant, reached 47-57%. It was revealed that under all studied lighting options, with the exception of conditions where the spectral ratio R / B ("red/blue") was 0.8, the value of the total inhibitory effect in the Cherry Coral variety was 1.2-1.7 times lower than that of the Zorka variety, which indicated a significantly lower susceptibility of the pigment fund of the former to LED lighting. The smallest inhibitory effect of the latter on the biosynthesis of photosynthetic pigments in both tomato varieties was established at a photon flux of 69.1 $\mu\text{mol/s}$, while the greatest, exceeding it by 3.0-3.1 times in the Zorka variety and 4.5-5.3 times for the Cherry Coral variety with a photon flux of 73.9 $\mu\text{mol/s}$.

Keywords: tomato, LED lightning, chlorophylls, carotenoids, spectral composition

Введение

Для успешного выращивания растений, особенно в контролируемых условиях, важную роль играет освещение. Параметры светового режима оказывают не только прямое влияние на фотосинтез и рост растений, но и в значительной мере определяют их морфогенез и онтогенез [1]. Оптимизация процесса развития растений находится в прямой зависимости от уровня освещенности, длительности светового периода, а также от спектра искусственного источника света. При правильно подобранных параметрах освещения уменьшается срок созревания плодов, увеличивается уровень производительности выбранной технологии и значительно улучшается качество продукции. В частности, физико-биохимические эффекты, вызываемые воздействием красного или синего света или даже простым изменением соотношения красных и синих лучей в световых источниках излучения, настолько значимы, что становится актуальной задача регуляции фотосинтетической деятельности растения с помощью изменения спектрального состава света [2, 3].

Перспективным направлением является использование установок на основе света искусственных диодов. В настоящее время активно развиваются светодиодные технологии, которые в разы надежнее и отличаются низким потреблением электроэнергии. Современные светодиодные осветители перекрывают весь видимый диапазон оптического спектра: от красного до

«ЦСОН НАН Беларуси». В этих светильниках отношение ППФ (плотность потока фотонов в диапазоне 400-700 нм) оранжево-красно полосы (607-694 нм) к ППФ синей полосы (400-495 нм) варьировало от 1 до 20. При этом доля ППФ в диапазоне 580-607 нм (желтый) составляла от 13 до 22%, а доля фотонов в диапазоне 495-580 нм (зеленый) – от 18 до 38%. По морфометрическим признакам растений томата были определены пять лучших вариантов освещения, которые обозначены порядковыми номерами, присвоенными им согласно общей нумерации, используемой в лаборатории, а именно 16, 17, 19, 20, 21. Контрольным источником света были люминесцентные лампы марки OSRAM 36W/765 Cool Daylight с плотностью потока фотонов – $38,2 \pm 13,4$ мкмоль/м²·с (вариант 22). Характеристика вариантов освещения представлена в таблице 1. Листья опытных растений, сформировавшихся при указанных вариантах освещения, подвергали биохимическому анализу. В свежих усредненных пробах определяли содержание фотосинтезирующих пигментов – хлорофиллов а и b по методу Т.Н. Годнева [8,9], β-каротина и суммы каротиноидов – по ГОСТ 8756.22-80 [10]. Все измерения и определения осуществляли в 2-кратной биологической и 3-кратной аналитической повторности с последующей статистической обработкой экспериментальных данных по методике, принятой для биологических исследований [11] с использованием программы Microsoft Office Excel 2007 [12, 13].

Таблица 1. Характеристика вариантов освещения
Table 1. Characteristics of lighting options

Вариант освещения	Обозначение светильника	Поток фотонов в диапазоне длин волн 400-800 нм, мкмоль/с	Спектральное соотношение R/B («красный»/«синий»)
16	ДНБ01-4х9-001-05 У4.1	69,3	6,9
17	ДНБ01-4х9-001-03 У4.1	69,1	4,0
19	ДНБ01-4х9-001-09 У4.1	73,9	0,8
20	ДНБ01-4х9-001-07 У4.1	69,3	13,2
21	ДНБ01-4х9-001-08 У4.1	67,9	20,7

фиолетового цвета [4, 5]. Составляя комбинации из светодиодов разных цветовых групп, можно получить источник света с практически любым спектральным составом в зависимости от потребностей конкретной культуры. Кроме того, существует возможность управлять не только интенсивностью, но и спектральным составом излучения в зависимости от фазы развития растения [6, 7].

Таким образом, цель наших исследований заключалась в оценке влияния светодиодного освещения разного спектрального состава на содержание фотосинтезирующих пигментов в листьях растений двух сортов томата белорусской селекции.

Материалы и методы

Исследования выполняли в условиях биотехнологической лаборатории кафедры сельскохозяйственной биотехнологии, экологии и радиологии Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. В качестве объектов исследований использовали растения томата двух сортов. **Сорт Зорка** – раннеспелый детерминантный, для открытого грунта. **Черри Коралл** – индетерминантный сорт вишневидного томата для защищенного грунта.

Семена высевали в стаканчики 10х10 см, заполненные ионообменным субстратом Триона. Полив осуществляли водопроводной водой. Температура культивирования составляла 24°C, фотопериод – 16 часов. В качестве источников света применяли светодиодные осветители с различным спектральным распределением излучения в диапазоне 380-780 нм и цветовой температурой от 2400 до 6500К. Всего 11 вариантов, которые представлены модельным рядом светодиодных светильников серии «Светодар» производства Государственного предприятия

Результаты и их обсуждение

В результате изучения влияния источников светодиодного освещения на состояние пигментного фонда пластид листьев двух сортов томата Зорка и Черри Коралл установлена выраженная зависимость анализируемых характеристик от спектрального состава данных источников на фоне отчетливых генотипических различий степени ее проявления.

С целью установления влияния светодиодного освещения на основные характеристики пигментного фонда листьев томата, было выполнено определение содержания в них хлорофиллов и каротиноидов. Установлено, что содержание и тех, и других в листовой ткани обоих сортов томата менялось в области довольно близких значений (табл. 2). Так, суммарное содержание хлорофиллов в сухой массе листовой ткани сорта Зорка находилось в диапазоне 509,8-1191,2 мг/100 г, в том числе хлорофилла а – 309,6-798,0 мг/100 г, хлорофилла b – 188,1-393,1 мг/100 г, тогда как аналогичные диапазоны изменения данных показателей в листьях сорта Черри Коралл составляли соответственно 556,6-1200,4; 364,3-805,0 и 192,3-395,4 мг/100 г. Близкая к этой картина наблюдалась и в каротиноидном комплексе ассимилирующих органов опытных растений. Так, если суммарное содержание желтых пигментов в сухом веществе листовой ткани сорта Зорка изменялось в рамках эксперимента от 93,5 до 200,0 мг/100 г, в том числе β-каротина – от 47,0 до 106,5 мг/100 г, ксантофиллов – от 38,5 до 98,0 мг/100 г, то аналогичные диапазоны варьирования данных показателей в листьях сорта Черри Коралл составляли соответственно 96,2-209,4; 53,1-90,5 и 32,2-118,9 мг/100 г. При этом производные характеристики пигментного фонда пластид – соотношения количеств хлорофиллов а и b, хлорофиллов и каротиноидов у опытных сортов томата изменялись в рамках

эксперимента в достаточно близких между собой диапазонах, соответствовавших значениям 1,6-2,1 и 5,3-6,7. Соотношения количеств β -каротина и ксантофиллов у сорта Зорка охватывали область более высоких значений, нежели у сорта Черри Коралл, составлявших соответственно 1,01-2,11 против 0,76-2,00, что указывало на усиление в первом случае позиций β -каротина в составе каротиноидного комплекса.

Сравнение исследуемых показателей в контроле и на фоне разных источников светодиодного освещения позволило установить заметные межвариантные различия в пигментном комплексе ассимилирующих органов опытных растений. Как следует из данных, представленных в таблице 3, во всех вариантах опыта с использованием светодиодного освещения наблюдалось обеднение их листовой ткани и зелеными, и желтыми пластидными пигментами, по сравнению с контролем, соответственно на 15-57% и 19-53% у сорта Зорка, на 6-47% и 15-54% у сорта Черри Коралл. При этом у обоих сортов томата, особенно у первого из них, наиболее значительное ингибирование биосинтеза и хлорофиллов, и каротиноидов наблюдалось в вариантах освещения 20 и 19, тогда как наименьшее – в варианте 17. Если для сорта Черри Коралл было показано пропорциональное снижение темпов накопления хлорофиллов *a* и *b*, что подтверждалось отсутствием достоверных различий с контролем соотношения их количеств в вариантах с применением светодиодов, за исключением варианта 19, то у сорта Зорка в большинстве случаев наблюдалось преимущественное ингибирование биосинтеза хлорофилла *a*, наибольшее – в варианте 19, на что указывало отставание от контроля на 20% указанного соотношения, и лишь в варианте 20 отмечено более выраженное снижение содержания хлорофилла *b*.

В каротиноидном комплексе листовой ткани обоих сортов томата были установлены более высокие темпы ослабления биосинтеза ксантофиллов, по сравнению с β -каротином, на что указывало увеличение, по сравнению с контролем, соотношения их количеств на 12-103% – у сорта Зорка и на 16-163% – у сорта Черри Коралл. Наибольшим значением данного показателя в первом случае характеризовались растения в 19 и особенно в 17 вариантах освещения, тогда как во втором – в 16 и 19

вариантах. В 17 варианте опыта, с наиболее выраженным в эксперименте «щадящим» действием светодиодного освещения на биосинтез фотосинтезирующих пигментов, в листовой ткани сорта Зорка наблюдалось хотя и незначительное (не более, чем на 4,4%), но все же достоверное увеличение содержания β -каротина относительно контроля при отсутствии различий с ним по данному признаку у сорта Черри Коралл.

Показанные выше изменения в пигментном комплексе пластид ассимилирующих органов растений томата обусловили в ряде вариантов опыта достоверные изменения соотношения содержания хлорофиллов и каротиноидов на 4-18%, по сравнению с контролем, свидетельствовавшие о преимущественном усилении в нем роли зеленых пигментов у сорта Черри Коралл, особенно в 17 и 16 вариантах освещения, и желтых пигментов у сорта Зорка, особенно в 19 варианте.

Таким образом, применение в эксперименте светодиодов разного спектрального состава оказало в основном ингибирующее влияние на темпы биосинтеза в листовой ткани томата хлорофиллов и каротиноидов при снижении их количества, по сравнению с контролем, и составило 47-57%. С целью выявления варианта опыта с максимальной и минимальной степенью данного негативного влияния, в каждом из них были определены суммарные показатели относительных размеров положительных и отрицательных отклонений от контроля общего количества хлорофиллов и каротиноидов, а также содержания основных форм этих пигментов, что позволило установить совокупный ингибирующий эффект от применения каждого источника освещения. Как следует из данных таблицы 3, у растений сорта Черри Коралл его величина оказалась в 1,2-1,7 раза меньшей, нежели у сорта Зорка, при отсутствии сортовых различий лишь в 19 варианте опыта, что свидетельствовало о меньшей восприимчивости пигментного фонда первого сорта к светодиодному освещению. При этом наименее выраженное ингибирующее влияние последнего на биосинтез фотосинтезирующих пигментов в листовой ткани обоих сортов томата установлено в 17 варианте опыта, тогда как наибольшее, превосходящее его в 3,0-3,1 раза – у сорта Зорка и в 4,5-5,3 раза – у сорта Черри Коралл – в 20 и 19 вариантах.

Таблица 2. Содержание фотосинтезирующих пигментов в ассимилирующих органах сортов томата в вариантах опыта с использованием светодиодного освещения разного спектрального состава, мг на 100 г сухой массы

Table 2. Content of photosynthetic pigments in assimilating organs of tomato varieties in experimental variants using LED lighting of different spectral composition, mg per 100 g dry weight

Вариант опыта	Сорт Зорка								
	Хлорофиллы				Каротиноиды				Хлорофиллы/Каротиноиды
	a	b	a+b	a/b	сумма	β -каротин	ксантофиллы	β -каротин/ксантоф.	
$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$									
Контроль-22	798,0±12,5	393,1±7,7	1191,2±20,0	2,0±0	200,0±1,7	102,0±0,3	98,0±1,9	1,04±0,02	6,0±0,1
21	441,5±5,8*	226,8±0,6*	668,3±6,4*	1,9±0*	104,8±3,5*	60,0±1,0*	44,8±2,5*	1,35±0,05*	6,4±0,1*
20	391,9±9,2*	188,1±4,3*	580,0±13,5*	2,1±0*	93,5±0,3*	47,0±0,4*	46,5±0,1*	1,01±0,01	6,2±0,1
19	309,6±2,6*	200,2±9,2*	509,8±6,6*	1,6±0,1*	96,4±4,3*	57,9±0,2*	38,5±4,5*	1,55±0,18*	5,3±0,2*
17	685,1±22,5*	326,3±4,7*	1011,4±27,2*	2,1±0,1	162,3±11,2*	106,5±0,7*	55,9±11,9*	2,11±0,20*	6,3±0,3
16	388,5±2,2*	200,0±2,2*	588,5±4,4*	1,9±0*	106,7±2,8*	57,3±0,6*	49,4±3,4*	1,17±0,04*	5,5±0,1*
Вариант опыта	Сорт Черри Коралл								
	Хлорофиллы				Каротиноиды				Хлорофиллы/Каротиноиды
	a	b	a+b	a/b	сумма	β -каротин	ксантофиллы	β -каротин/ксантоф.	
$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$									
Контроль-22	805,0±3,2	395,4±10,3	1200,4 13,5	2,0±0	209,4 0,6	90,5±0,8	118,9±0,2	0,76±0,01	5,7 0
21	490,5±21,9*	243,4±10,4*	733,9±32,3*	2,0±0	124,1±4,9*	57,8±0,6*	66,3±4,3*	0,88±0,03*	5,9 0*
20	413,3±11,2*	221,0±11,7*	634,3±22,3*	1,9±0,1	116,8±14,2*	53,1±0,2*	63,7±14,4*	0,93±0,03*	5,6 0,7
19	364,3±8,0*	192,3±2,5*	556,6±10,5*	1,9±0*	96,2±1,2*	64,0±0,1*	32,2±1,2*	2,00±0,08*	5,8 0
17	763,0±7,5*	368,5±3,8*	1131,5±11,3*	2,1±0	177,1±1,5*	90,4±0,3	86,7±1,2*	1,04±0,01*	6,4 0*
16	557,2±1,3*	284,7±16,6*	841,9±16,0*	2,0±0,1	126,4±5,0*	66,9±0,2*	59,5±5,0*	1,14±0,09*	6,7 0,2*

Примечание. * – Статистически значимые по t-критерию Стьюдента различия с контролем при $P < 0,05$

Таблица 3. Относительные различия с контролем вариантов опыта с использованием светодиодного освещения разного спектрального состава по содержанию фотосинтезирующих пигментов в ассимилирующих органах сортов томата, %
 Table 3. Relative differences with the control of experimental variants using LED lighting of different spectral composition in terms of the content of photosynthetic pigments in assimilating organs of tomato varieties, %

Сорт	Вариант опыта	Хлорофиллы				сумма	Каротиноиды			Хлорофиллы x Каротиноиды	Совокупный эффект*
		a	b	a+b	a+b		β-каротин	ксантофиллы	β-каротин + ксантофиллы		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Зорка	21	-44,7	-42,3	-43,9	-5,0	-47,6	-41,2	-54,3	+29,8	+6,7	-274,0
	20	-50,9	-52,2	-51,3	+5,0	-53,3	-53,9	-52,6	-	-	-314,2
	19	-61,2	-49,1	-57,2	-20,0	-51,8	-43,2	-60,7	+49,0	-11,7	-323,2
	17	-14,1	-17,0	-15,1	-	-18,9	+4,4	-43,0	+102,9	-	-103,7
	16	-51,3	-49,1	-50,6	-5,0	-46,7	-43,8	-49,6	+12,5	-8,3	-291,1
Черри Коралл	21	-39,1	-38,4	-38,9	-	-40,7	-36,1	-44,2	+15,8	+3,5	-237,4
	20	-48,7	-44,1	-47,2	-	-44,2	-41,3	-46,4	+22,4	-	-271,9
	19	-54,7	-51,4	-53,6	-5,0	-54,1	-29,3	-72,9	+163,2	-	-316,0
	17	-5,2	-6,8	-5,7	-	-15,4	-	-27,1	+36,8	+12,3	-60,2
	16	-30,8	-28,0	-29,9	-	-39,6	-26,1	-50,0	+50,0	+17,5	-204,4

Примечание – Прочерк (-) означает отсутствие статистически значимых по t-критерию Стьюдента различий с контролем при P<0,05

* – Совокупный эффект установлен путем сложения данных столбцов 3, 4, 5, 7, 8 и 9, с учетом их знака

Заключение

В результате исследования влияния светодиодного освещения разного спектрального состава на состояние пигментного фонда пластид ассимилирующих органов двух сортов томата Зорка и Черри Коралл установлено, что применение светодиодов оказало в основном ингибирующее действие на темпы биосинтеза хлорофиллов и каротиноидов в листовой ткани растений при снижении их количества, по сравнению с контролем, достигавшем 47-57%. Показано, что во всех вариантах опыта, за исключением варианта 19, где поток фотонов в диапазоне длин волн 400-800 нм составил 73,9 мкмоль/с, величина совокупного ингибирующего эффекта у сорта Черри Коралл оказалась в 1,2-1,7 раза меньше, чем у сорта Зорка, что свидетельствовало о меньшей восприимчивости пигмент-

ного фонда первого из них к светодиодному освещению. Наименьшее ингибирующее влияние последнего на биосинтез фотосинтезирующих пигментов у обоих сортов томата установлено в 17 варианте опыта, который имел спектральное соотношение R/B 0,8, тогда как наибольшее, превосходящее его в 3,0-3,1 раза – у сорта Зорка и в 4,5-5,3 раза – у сорта Черри Коралл в 20 и 19 вариантах.

Выявлено, что на фоне генотипических различий ответной реакции биосинтеза фотосинтезирующих пигментов у опытных сортов томата на испытываемые светодиоды, в обоих случаях одним из наиболее эффективных был вариант освещения с отношением красный/синий 4,0, тогда как одним из наименее результативных стал вариант освещения, у которого указанный показатель был на уровне 0,8.

Об авторах:

Тамара Владимировна Никонович – кандидат биол. наук, доцент кафедры сельскохозяйственной биотехнологии, экологии и радиологии УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»
Юрий Васильевич Трофимов – кандидат технических наук, директор РНПУП «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси»
Михаил Иосифович Баркун – ведущий инженер РНПУП «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси»

About the authors:

Tamara V. Nikanovich – Cand. Sci. (Biology), Associate Professor of the Department of Agricultural Biotechnology, Ecology and Radiology, Belarusian State Agricultural Academy
Yuri V. Trofimov – Cand. Sci. (Engineering), Director of the Center for LED and Optoelectronic Technologies of the National Academy of Sciences of Belarus
Mikhail I. Barkun – Leading Engineer, Center for LED and Optoelectronic Technologies of the National Academy of Sciences of Belarus

• Литература

- Baroli I. et al. The Contribution of Photosynthesis to the Red Light Response of Stomatal Conductance. *Plant Physiol.* 2008;(146):737-747.
- Brodersen, C.R., Vogelmann T.C. Do changes in light direction affect absorption profiles in leaves? *Funct. Plant Biol.* 2010;(37):403-412.
- Cope, K., Bugbee B. Spectral effects of three types of white light emitting diodes on plant growth and development: absolute versus relative amounts of blue light. *HortScience.* 2013;48(4):504-509.
- Massa, G.D., Wheeler R.M., Mitchell C.A. Plant productivity in response to LED lighting. *HortScience.* 2008;(43):1951-1956.
- Yoneda K, Mori Ya. Method of cultivating plant and illumination for cultivating plant. – Patent EP 1 374 665 A1. 2004.
- Бахарев И. [и др.]. Применение светодиодных светильников для освещения теплиц: реальность и перспективы. М.: СТА-ПРЕСС, 2010. С.76–82.
- Никонович Т.В., Кильчевский А.В., Кардис Т.В., Филипеня В.Л., Чижик О.В., Трофимов Ю.В., Цвирко В.И., Керножицкий Е.В. Анализ сортовых различий растений-регенерантов картофеля *in vitro* при использовании светодиодных светильников. *Вестник БГСХА*. Горки, 2018;(1):73-79.
- Годнев Т.Н. Хлорофилл: его строение и образование в растениях. *Минск: Изд-во Акад. наук БССР*, 1963. 318 с.
- Кахнович Л.В. Фотосинтез. Методические рекомендации к лабораторным занятиям, задания для самостоятельной работы и контроля знаний студентов. *Минск: Изд-во Белорус. гос. ун-та*, 2003. 88 с.
- Продукты переработки плодов и овощей. Метод определения каротина: ГОСТ 8756.22-80. Введ. 01.01.81. Дата последнего изменения 13.07.2017. М.: Изд-во стандартов, 2010. 6 с.
- Мятлев, В.Д. Теория вероятностей и математическая статистика. Математические модели. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений. М., 2009. 320 с.
- Боровиков, В.П. STATISTICA: Искусство анализа данных на компьютере. СПб., 2001. 650 с.
- Рупасова Ж.А., Решетников В.Н., Яковлев А.П. Способ ранжирования таксонов растений: пат. ВУ 17648 / дата публ. 30.10.13.

• References

- Baroli I. et al. The Contribution of Photosynthesis to the Red Light Response of Stomatal Conductance. *Plant Physiol.* 2008;(146):737-747.
- Brodersen, C.R., Vogelmann T.C. Do changes in light direction affect absorption profiles in leaves? *Funct. Plant Biol.* 2010;(37):403-412.
- Cope, K., Bugbee B. Spectral effects of three types of white light emitting diodes on plant growth and development: absolute versus relative amounts of blue light. *HortScience.* 2013;48(4):504-509.
- Massa, G.D., Wheeler R.M., Mitchell C.A. Plant productivity in response to LED lighting. *HortScience.* 2008;(43):1951-1956.
- Yoneda K, Mori Ya. Method of cultivating plant and illumination for cultivating plant. – Patent EP 1 374 665 A1. 2004.
- Bakharev I. The use of LED lamps for lighting greenhouses: reality and prospects. М.: СТА-ПРЕСС, 2010. P.76–82. (In Russ.)
- Nikonovich, T.V., Kilchevsky A.V., Kardis T.V., Filipenya V.L., Chizhik O.V., Trofimov Yu.V., Tsvirko V.I., Kernozhitskiy E.V. Analysis of varietal differences in potato regenerant plants *in vitro* using LED lamps. *Bulletin of the BSAA. Gorki*, 2018;(1):73-79. (In Russ.)
- Godnev, T.N. Chlorophyll: its structure and formation in plants. *Minsk: Publishing house Acad. sciences of the BSSR*, 1963. 318 p. (In Russ.)
- Kakhnovich L.V. Photosynthesis. Methodological recommendations for laboratory studies, tasks for independent work and control of students' knowledge. *Minsk: Publishing house of Belarus. state un.*, 2003. 88 p. (In Russ.)
- By-products of fruits and vegetables. Method for determination of carotene: GOST 8756.22-80. Enter. 01.01.81. Date of last change 13.07.2017. М.: Publishing house of standards, 2010. 6 p. (In Russ.)
- Myatlev, V.D. Theory of Probability and Mathematical Statistics. Mathematical models. Textbook for students of higher educational institutions. М., 2009. 320 p. (In Russ.)
- Borovikov, V.P. STATISTICA: The art of computer data analysis. SPb., 2001. 650 p. (In Russ.)
- Rupasova Zh.A., Reshetnikov V.N., Yakovlev A.P. Method for ranking plant taxa: US Pat. BY 17648 / published date 10/30/13. (In Russ.)