

УДК 635.52:581.1:58.035

## ВЛИЯНИЕ СВЕТОДИОДОВ И УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ НА РОСТОВЫЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ САЛАТА ЛИСТОВОГО (*LACTUCA SATIVA* L.)

Плотникова Л.Я., Самойлов В.Н.

*ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина»,  
Омск, e-mail: lplotnikova2010@yandex.ru*

Влияние спектров освещения на рост и биохимические показатели растений было изучено на примере сортов салата листового Афицион (зеленый) и Скороход (краснолистный). Растения выращивали по технологии глубоководной гидропоники при искусственном 16-часовом освещении. В экспериментах использовали: дуговые лампы высокого давления (НЛ, контроль), СД-светильники с диодами белого холодного и красного ( $\lambda_{\max}$  660 нм) спектра; СД-светильники с добавлением УФ-диодов ( $\lambda_{\max}$  365 нм), обеспечивающих 5,1% или 8,9% светового потока. Сорт Афицион под НЛ имел более высокую сырую массу (на 20%), чем Скороход, за счет повышенного содержания воды. При добавлении УФ-радиации (5,1% потока фотонов) отмечено умеренное снижение продуктивности двух сортов (на 12-15%). У зеленого сорта под УФ определено увеличение содержания хлорофиллов, каротиноидов, аскорбиновой кислоты (на 16-30%), но при увеличении потока УФ содержание веществ снижалось. Краснолистный сорт отставал по сырой массе от Афициона, однако существенного подавления роста под СД-светильниками и при УФ-облучении (за исключением УФ в дозе 8,9% потока) не отмечено. Сорт Скороход под НЛ имел большее содержание пигментов фотосинтеза, антоцианов и аскорбиновой кислоты, чем Афицион. При выращивании краснолистного сорта под СД-светильниками содержание пигментов увеличилось на 22-30%. Добавление УФ-излучения к спектрам НЛ и СД-светильников стимулировало увеличение содержания хлорофиллов (18-24%), каротиноидов (10%), антоцианов (60-75%), аскорбиновой кислоты (12-24%). Краснолистный сорт показал более интенсивный синтез физиологически активных соединений при УФ-облучении, чем зеленый, поэтому перспективен для получения качественных овощей в производстве.

**Ключевые слова:** *Lactuca sativa* L., светодиоды, УФ-радиация, рост, пигменты, антоцианы

## THE EFFECT OF LEDS AND UV-RADIATION ON THE GROWTH AND BIOCHEMICAL PARAMETERS OF LETTUCE (*LACTUCA SATIVA* L.)

Plotnikova L.Ya., Samoilov V.N.

*Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, e-mail: lplotnikova2010@yandex.ru*

The influence of light spectra on the growth and biochemical parameters of plants was studied on the example of two lettuce cultivars Aficion (green) and Skorokhod (red-leaved). The plants were grown using deep-water hydroponics technology under artificial 16-hour lighting. In the experiments, a set of lamps were used: high-pressure sodium lamps (SL, control), LEDs with diodes of the white cold and red ( $\lambda_{\max}$  660 nm) spectrum; LEDs with the addition of UV diodes ( $\lambda_{\max}$  365 nm), providing 5.1% or 8.9% of the photon flux. The cv. Aficion under SL had a higher crude mass (by 20%) than Skorokhod due to the higher water content. With the addition of UV-radiation (5.1% of the photon flux), there was a moderate decrease in the productivity of the two cultivars (by 12-15%). In cv. Aficion, an increase in the content of chlorophylls, carotenoids, and ascorbic acid was observed under UV (by 16-30%), but with the enhancement of UV-radiation, the content of substances was decreased. The red-leaved cv. Skorokhod lagged behind the growth rate of Aficion, but there was no significant suppression of growth under SL and UV-radiation (with the exception of UV at a dose of 8.9% photon flux). The cv. Skorokhod under SL had a higher content of photosynthetic pigments, anthocyanins, and ascorbic acid than cv. Aficion. When growing the red-leaved cultivar under SL, the pigment content increased by 22-30%. The addition of UV-radiation to the spectra of SL and LEDs stimulated an increase in the content of chlorophylls (18-24%), carotenoids (10%), anthocyanins (60-75%), and ascorbic acid (12-24%). The red-leaved cultivar under UV-radiation has shown more intensive synthesis of physiologically active compounds than green one, so it can be used to produce vegetables with a high quality.

**Keywords:** *Lactuca sativa* L., LEDs, UV-irradiation, growth, pigments, anthocyanins

Салат листовой (*Lactuca sativa* L.) относится к наиболее распространенным в мире листовым овощам. В странах Западной Европы ежегодно производится до 3 млн т салата-латука. В России производство салата в 2018 г. составляло 15 тыс. т, но его продукция постоянно растет [1]. В последние годы, в связи с введением в строй новых тепличных комплексов, появляется возможность увеличения ассортимента салата. Краснолистные сорта отличаются от зеле-

ных повышенным содержанием физиологически активных веществ (хлорофиллов, каротиноидов, антоцианов, витаминов и др.). Антоцианы относятся к вторичным фенольным метаболитам и проявляют антиоксидантное, сердечно-сосудистое, противовоспалительное действие [2]. В связи с этим окрашенные сорта перспективны для обеспечения полноценного рациона населения. Известно, что растения способны улавливать лучи видимой части спектра (фото-

синтетически активная радиация – ФАР, длина волны  $\lambda = 400\text{--}700$  нм), а также ультрафиолетовые (УФ,  $\lambda < 400$  нм) и инфракрасные ( $\lambda > 700$  нм). На примере разных видов отмечено регулирующее влияние УФ-радиации на морфогенез растений и устойчивость к стрессовым факторам среды [3; 4].

Перспективным направлением овощеводства считается многоуровневое выращивание продукции в закрытых помещениях (полная светокультура, вертикальное земледелие). При такой технологии используют светодиодные светильники (Light-emitting diode – LED), которые позволяют гибко регулировать интенсивность и спектры освещения, а также выделяют мало тепла [5]. На примере сортов салата было показано, что добавление УФ-радиации к видимой части спектра оказывало различное влияние на синтез фотосинтетических пигментов и антоцианов [3; 4; 6]. В связи с этим необходимы дополнительные исследования действия на салат УФ-радиации в сочетании со светодиодными светильниками.

Целью работы было изучение влияния видимого и ультрафиолетового излучения на рост и физиолого-биохимические показатели зеленого и красностного сортов салата при выращивании в условиях полной светокультуры.

#### Материалы и методы исследования

Объектами исследований были сорта салата листового *Lactuca sativa* L. Афицион и Скороход. Светло-зеленый сорт Афицион, имеющий раскидистую форму, широко используется в тепличных хозяйствах. Красностный сорт Скороход формирует полураскидистую розетку листьев, а в условиях естественного освещения приобретает красно-фиолетовую окраску.

Семена проращивали на вермикулите в 30%-ном растворе Кнопа. Рассадку в воз-

расте 11 суток высаживали по одному растению в отверстия на плиты из вспененного пластика в гидропонную систему (deep-water culture) (рис. 1) [7]. Эксперименты проводили при искусственном 16-часовом освещении. Использовали набор светильников: 1) дуговые натриевые лампы высокого давления (НЛ) (OSRAM Plantastar 250 Вт; 2) светильники с комбинацией мультиспектрных светодиодов с белым холодным спектром и монохромных с красным спектром ( $\lambda_{\text{max}}$  660 нм) – СД БХК; 3) светильники СД БХК в сочетании со светодиодами с излучением в длинноволновой части УФ-спектра (УФ-А,  $\lambda_{\text{max}}$  365 нм), обеспечивающими 5,1% светового потока; 4) светильники СД БХК с УФ-светодиодами, обеспечивающими 8,9% потока фотонов (табл. 1). Характеристики освещения на уровне растений определяли с помощью спектрометра марки ТКА-Спектр ФАР и трехдиапазонного УФ-радиометра ТКА-УФ («НТП ТКА», Россия). Интенсивность освещения измеряли в квантовых единицах плотности фотосинтетически активного потока фотонов (мкмоль/м<sup>2</sup>·с ФАР). В качестве контроля использовали растения, выращенные под НЛ.



Рис. 1. Выращивание салата по технологии глубоководной гидропоники на плите из вспененного пластика

Таблица 1

Соотношение плотности потока фотонов в спектрах излучения светильников, %

Вариант	Диапазон волн, нм			
	УФ 300–400	фиолетовый-синий 400–500	зеленый-желтый 500–600	оранжевый-красный 600–700
НЛ	0	8,5	54,3	37,2
СД	0	12,0	13,2	74,9
СД + УФ	5,1	11,4	12,5	71,0
СД + 2УФ	8,9	10,9	12,0	68,2

В первую неделю после пересадки в систему растения выдерживали при освещении интенсивностью  $100 + 10$  мкмоль/ $\text{м}^2 \cdot \text{с}$ , в дальнейшем  $210 \pm 10$  мкмоль/ $\text{м}^2 \cdot \text{с}$ . Ранее было показано, что интенсивность 200-220 мкмоль/ $\text{м}^2 \cdot \text{с}$  оптимальна для выращивания салата при используемой технологии [8]. Температура на уровне плотов под СД-светильниками составляла  $23^\circ\text{C}$ , под НЛ  $25,5 \pm 1^\circ\text{C}$ , при влажности воздуха в помещении 65–70%.

Для изучения ритмов роста измеряли в динамике сырую массу растений (г) с 7-суточным интервалом, по результатам измерений строили кривые роста. Через 28 сут. после пересадки определяли морфофизиологические параметры: сырую и сухую массу (г), высоту растений (см), суммарную площадь листьев ( $\text{см}^2$ ). Площадь отдельных листьев ( $\text{см}^2$ ) определяли по формуле эллипса ( $S = \pi AB/4$ , где  $A$  и  $B$  – длина и ширина соответственно). Содержание пигментов фотосинтеза (хлорофиллов, каротиноидов) определяли после их экстракции 100%-ным ацетоном с использованием спектрофотометра LEKIS 2107 (Финляндия) [9]. Количественный анализ антоцианов проводили спектрофотометрическим методом после экстрагирования 1%-ным водным раствором соляной кислоты HCl. Содержание антоцианов выражали в эквивалентах цианидин-3-глюкозида (мг/г сухой массы) [10]. Содержание аскорбиновой кислоты в образцах (мг/100 г сырой массы) определяли методом кислотно-основного титрования [10]. Показатели измеряли в средних пробах листьев четырех растений, в 4 повторностях. По полученным данным вычисляли средние арифметические значения, проводили однофакторный дисперсионный анализ и определяли наименьшую существенную разность ( $\text{НСР}_{05}$ ).

#### Результаты исследования и их обсуждение

Рост растений зависит от процесса фотосинтеза, на который существенно влияют интенсивность и спектр освещения. В экспериментах были использованы СД-светильники, под которыми ранее растения сорта Афицион показали высокую продуктивность [11]. Наблюдения показали, что ритмы роста сорта Афицион под НЛ и СД-светильниками были близки в течение 21 сут. после высадки растений в гидропонную систему. Достоверное отставание в массе под СД-светильниками (12%) проявилось к концу эксперимента

(рис. 2а). Растения сорта Скороход росли медленнее, но различий в накоплении массы под НЛ и СД-светильниками не отмечено (рис. 2б). Добавление УФ-радиации привело к замедлению роста сорта Афицион. У сорта Скороход не выявлено существенных отклонений в массе при добавлении УФ (5,1% потока фотонов) к спектрам НЛ и СД-светильников. При повышении интенсивности УФ-радиации у обоих сортов отмечено достоверное отставание по массе от контроля через 14 сут. после пересадки.

Изучение морфофизиологических показателей показало, что под СД-светильниками растения обоих сортов имели более компактную форму с меньшим листовым аппаратом по сравнению с НЛ (табл. 2). Добавление УФ-радиации во всех вариантах опыта вызывало уменьшение размеров растений. Сокращение площади листьев было выражено в наибольшей степени в варианте НЛ + УФ (на 17 и 12% у сортов Афицион и Скороход соответственно). В варианте СД + УФ площадь листьев снижалась меньше (7–9%), но эффект усиливался с увеличением дозы УФ (28–35%). Сухая масса растений была ниже во всех вариантах опыта по отношению к контролю (НЛ). Однако доля сухого вещества в сырой массе растений возрастала, особенно в вариантах СД + УФ и СД + 2УФ. Это свидетельствует о том, что высокая сырая масса под НЛ связана с повышенной оводненностью растений. Полученные результаты подтверждают ранее отмеченное влияние спектров освещения и УФ-радиации на морфогенез растений [3; 12].

Визуальные наблюдения показали, что растения сорта Афицион под НЛ были светло-зелеными, а в остальных вариантах опыта зеленая окраска усиливалась. Сорт Скороход под НЛ имел преимущественно зеленую окраску, только верхние части листьев были светло-красными. Под СД-светильниками сорт Скороход приобретал красную окраску, а в вариантах с УФ – красно-фиолетовую. Биохимические исследования выявили достоверное увеличение содержания фотосинтетических пигментов в вариантах с УФ-радиацией, при этом отмечены количественные различия в реакции сортов. Суммарное содержание хлорофиллов под НЛ и СД-светильниками в присутствии УФ увеличивалось на 16–20% у обоих сортов, но при повышении УФ-потока показатели сорта Афицион снижались (табл. 3). Количество каротиноидов в листьях Афициона было выше

в варианте с СД-светильниками по сравнению с НЛ. Добавление УФ-радиации к спектрам НЛ и СД стимулировало накопление каротиноидов, особенно при усилении УФ-излучения. Растения сорта Скороход имели большее содержание пигментов фотосинтеза по сравнению с Афиционом (хлорофиллов на 46 и 52 %, каротиноидов на 54 и 63 %, под НЛ и СД-светильниками соответственно). Добав-

ление УФ-излучения к спектрам НЛ и СД приводило к дополнительному увеличению содержания хлорофиллов (на 18–24 %) и каротиноидов (на 8–10 %). При увеличении интенсивности УФ подавление синтеза пигментов в листьях сорта Скороход не отмечено. В результате воздействия УФ-радиации увеличивалось соотношение форм хлорофилла (Хл *a/b*) у двух сортов, в большей степени у сорта Скороход.

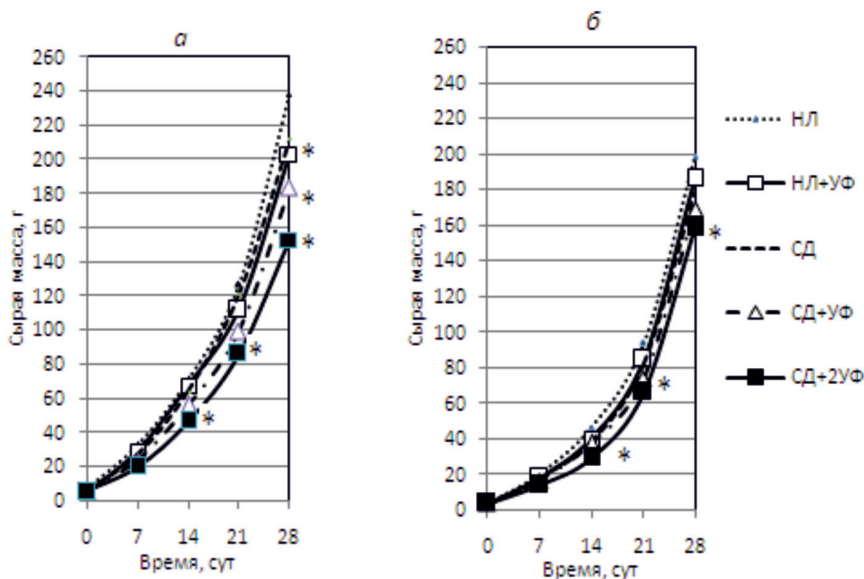


Рис. 2. Динамика роста растений салата при различных вариантах освещения: а – сорт Афицион; б – сорт Скороход. НЛ – натриевая лампа; СД – светодиодный светильник с белым холодным и красным спектром; СД + УФ – СД-светильник с добавлением УФ-радиации (5,1 % потока фотонов); СД + 2 УФ – СД-светильник с усиленной УФ-радиацией (8,9 % потока фотонов); \* – достоверные отличия от контроля

Таблица 2

Морфофизиологические показатели растений салата при облучении светильниками с различными спектрами освещения

Сорт	Вариант опыта	Высота растений, см	Площадь листьев		Сырая масса		Сухая масса	
			см <sup>2</sup>	% к контролю	г	% к контролю	г	доля в сырой массе, %
Амфицион	НЛ – контроль	20,5	3202	100,0	238	100,0	16,1	6,72
	НЛ + УФ	22,1	2655	82,9	203	85,3	14,2	7,00
	СД	25,4	2422	75,6	212	89,1	14,9	7,03
	СД + УФ	22,3	2198	68,6	183	76,9	15,2	8,31
	СД + 2УФ	18,4	2089	65,2	153	64,3	13,6	8,89
НСР <sub>05</sub>	-	0,96	73	-	21,8	-	0,79	-
Скороход	НЛ – контроль	25,3	2673	100,0	198	100,0	15,3	7,73
	НЛ + УФ	23,8	2302	88,1	186	93,9	15,6	8,39
	СД	24,3	2283	85,4	178	89,9	15,5	8,71
	СД + УФ	22,5	2050	76,7	169	85,4	15,4	9,11
	СД + 2УФ	20,8	1933	72,3	158	79,8	14,8	9,37
НСР <sub>05</sub>	-	1,15	96	-	25,4	-	0,83	-



Таблица 3

Биохимические показатели салата при выращивании под светильниками с различными спектрами освещения

Сорт	Вариант опыта	Содержание веществ				
		Хл ( $a + b$ ), мг/ г сухой массы	Хл ( $a/b$ )	каротиноиды, мг/ г сухой массы	антоцианы, мг/ г сухой массы	аскорбиновая кислота, мг/100 г сырой массы
Амфицион	НЛ – контроль	9,1	2,68	1,91	0,12	13,31
	НЛ + УФ	10,6	3,13	2,34	0,14	16,13
	СД	8,9	3,11	2,22	0,15	14,35
	СД + УФ	10,7	3,45	2,65	0,17	17,08
	СД + 2УФ	10,1	3,55	2,73	0,19	17,02
НСР <sub>05</sub>	-	0,31	-	0,23	0,05	1,23
Скорород	НЛ – контроль	13,3	3,33	2,94	0,88	15,32
	НЛ + УФ	15,8	3,61	3,25	1,31	17,21
	СД	13,8	3,39	3,11	1,21	17,09
	СД + УФ	17,1	3,56	3,64	1,96	19,93
	СД + 2УФ	17,3	3,41	3,68	2,12	21,21
НСР <sub>05</sub>	-	0,38	-	0,29	0,08	1,39

Сорт Афицион имел низкое содержание антоцианов под НЛ и СД-светильниками (0,12-0,15 мг/ г сухой массы). На фоне УФ-облучения содержание фенольных веществ увеличивалось в 1,3–1,5 раза, но все равно оставалось низким. В растениях сорта Скорород содержание антоцианов под НЛ было значительно выше, чем у Афициона (в 7,3 раза), а под СД-светильниками дополнительно увеличивалось (на 38%). Добавление УФ-радиации приводило к интенсивному повышению содержания пигментов (на 60–75% к уровню под СД-лампами).

Аскорбиновая кислота (витамин С) участвует в поддержании редокс-потенциала клеток, выполняя роль антиоксиданта. Содержание аскорбиновой кислоты было выше в тканях сорта Скорород по сравнению с Афиционом (на 15%). Под СД-светильниками ее содержание увеличивалось в листьях обоих сортов (на 7–12%). УФ-облучение стимулировало синтез аскорбиновой кислоты во всех вариантах опыта (на 12–24%). Наиболее сильно эффект был выражен у сорта Скорород при увеличении дозы УФ.

Сведения о действии УФ-радиации на рост и обмен растений салата противоречивы. На примере сорта Афицион было показано, что добавление к естественному освещению умеренной дозы УФ-радиации ( $\lambda_{\max}$  315–400 и  $\lambda_{\max}$  280–315 нм) не влияло на массу растений и содержание пигментов, но у сорта Скорород отмечено увеличение содержания хлорофиллов, каротиноидов (до 30%) и антоцианов (на 50%) [5]. В дру-

гом эксперименте отмечено снижение сырой массы красностлистного салата в 1,5 раза при добавлении к НЛ светодиодов УФ- и синего спектра, но выявлен стимулирующий эффект УФ-радиации на биосинтез антоцианов [13]. Продемонстрирована также разная реакция зеленых и красных сортов на УФ: у зеленых отмечено накопление хлорофиллов и каротиноидов, у красных – снижение [6].

Для возможности сравнения результатов нами были выбраны в качестве объектов сорта Афицион и Скорород, ранее изученные другими исследователями [4]. В наших экспериментах была использована технология глубоководной гидропоники, при которой растения индивидуально размещались на плотках и оптимально освещались. В результате в наших опытах растения росли быстрее и набирали товарную массу 100–120 г через 21–24 сут. после высадки в гидропонную систему. Однако те же сорта при выращивании на фоне естественного освещения в торфяных горшочках (по 3–4 растения) набирали массу около 40 г через 38 суток [4]. Нами было выявлено умеренное подавление роста растений при действии УФ-радиации, но активная стимуляция синтеза пигментов и аскорбиновой кислоты. Возможно, что различия с вышеприведенными литературными данными связаны с использованной нами технологией выращивания салата с применением глубоководной гидропоники и СД-светильников, а также предварительной адаптацией растений к УФ-излучению при низкой интенсивности освещения

(100 мкмоль/ м<sup>2</sup> · с) в течение 7 сут. после пересадки. Положительную роль мог также сыграть режим УФ-облучения, поскольку волны длиной 365 нм стимулируют синтез хлорофиллов [3].

Ранее было установлено, что растения способны гибко перестраивать фотосинтетический аппарат при изменении условий освещения. В частности, показано, что увеличение соотношения Хл *a/b* связано с усилением функционирования фотосистемы ФСII [14]. Каротиноиды могут ослаблять повреждающее действие высокоэнергетических световых волн, обеспечивая частичную защиту от ультрафиолета. Дополнительное защитное значение оказывает также аскорбиновая кислота, снижающая избыточное содержание оксидантов в клетках [2; 3]. Очевидно, выявленные нами изменения метаболизма салата связаны с адаптацией растений к условиям освещения. При этом красностный сорт Скороход проявил более активные приспособительные реакции, чем Афицион.

### Заключение

Полученные результаты показали, что продуктивность сортов салата под натриевыми лампами и светодиодными светильниками (белый холодный и красный  $\lambda_{\max}$  660 нм спектр) была близка. Сорт Афицион при выращивании под НЛ превосходил красностный сорт Скороход по сырой массе на 20%. Сорт Скороход при выращивании под СД-светильниками имел более высокую сухую массу, а также повышенное содержание фотосинтетических пигментов, антоцианов и аскорбиновой кислоты по сравнению с Афиционом. УФ-облучение растений ( $\lambda_{\max}$  365 нм, 5,1% в спектре) приводило к умеренному снижению продуктивности двух сортов (на 12–15%), но к значительному возрастанию содержания хлорофиллов, каротиноидов, антоцианов и аскорбиновой кислоты. Красностный сорт отличался более активной реакцией на УФ-облучение, поэтому перспективен для получения продукции с высоким содержанием физиологически активных соединений. Выявленные закономерности действия спектров освещения на рост и метаболизм сортов могут быть использованы для получения высококачественной салатной продукции в производственных комплексах.

### Список литературы / References

1. Салат – самая выгодная овощная культура // АгроXXI: агропромышленный портал. [Электронный ре-

сурс]. URL: <https://www.agroxxi.ru/stati/salat-samaja-vygodnaja-ovoshnaja-kultura.html> (дата обращения: 25.04.2021).

Salad is the most profitable vegetable crop // AgroXXI: агропромышленный портал. [Electronic resource]. URL: <https://www.agroxxi.ru/stati/salat-samaja-vygodnaja-ovoshnaja-kultura.html> (date of access: 25.04.2021) (in Russian).

2. Шарова Е.И. Антиоксиданты растений: учеб. пособие. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та. 2016. 140 с.

Sharova E.I. Plant antioxidants: text book. SPb.: Izd-vo S.-Peterb. un-ta. 2016. 140 p. (in Russian).

3. Закурин А.О., Щенникова А.В., Каминская А.М. Светокультура растениеводства защищенного грунта: фотосинтез, фотоморфогенез и перспективы применения светодиодов // Физиология растений. 2020. Т. 67. № 3. С. 246–258. DOI: 10.31857/S0015330320030227.

Zakurin A.O., Shchennikova A.V., Kamionskaya A.V. Artificial-light culture in protected ground plant growing: Photosynthesis, photomorphogenesis, and prospects of LED application // Russian Journal of Plant Physiology. 2020. Vol. 67. No. 3. P. 246–258. DOI: 10.31857/S0015330320030227. (in Russian).

4. Захожий И.Г., Малышев Р.В., Дымова О.В., Табаленкова Г.Н., Головки Т.К. Регуляция метаболизма тепличных растений листового салата (*Lactuca sativa* L.) воздействием УФ-радиации // Известия ТСХА. 2017. Вып. 6. С. 42–55. DOI: 10.26897/0021-342X-2017-6-42-55.

Zakhozhiy I.G., Malyshev R.V., Dymova O.V., Tabalenkova G.N., Golovko T.K. Regulation of greenhouse lettuce (*Lactuca sativa* L.) metabolism by treating plants with UV radiation // Izvestiya TSKHA. 2017. No. 6. P. 42–55 (in Russian).

5. Kozai T. Resource use efficiency of closed plant production system with artificial light: concept, estimation and application to plant factory. Proc. Jpn. Acad. Ser. B. 2013. Vol. 89. P. 447–461.

6. Caldwell C.R., Britz S.J. Effect of supplemental ultraviolet radiation on the carotenoid and chlorophyll composition of green house-grown leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivars. Journal of Food Composition and Analysis. 2006. Vol. 19. Is. 6-7. P. 637–644.

7. Brechner M., Both A.J. Cornell Controlled Environment Agriculture: Hydroponic Lettuce Handbook. Cornell University, 2012. 48 p.

8. Плотникова Л.Я., Самойлов В.Н., Новикова Е.С., Бережкова Г.А. Влияние интенсивности освещения на продуктивность салата листового в условиях полной светокультуры // Состояние и перспективы развития садоводства в Сибири: материалы II Национальной научно-практической конференции, посвященной 85-летию плодового сада Омского ГАУ имени профессора А.Д. Кизюрина. (г. Омск, 7–9 декабря 2016 г.). Омск, 2016. С. 88–91.

Plotnikova L.Ya., Samoilov V.N. The effect of light intensity on the productivity of lettuce in the conditions of full light culture // Sostoyanie i perspekti vyrazvitiya sadovodstva v Sibiri: materialy II Nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 85-letiyu plodovogo sada Omskogo GAU imeni professora A.D. Kizyurina. (g. Omsk, 7–9 December 2016 g.). Omsk, 2016. P. 88–91 (in Russian).

9. Ермаков А.И., Арасимович В.Е., Ярош Н.П., Перуанский Ю.В. Методы биохимического исследования растений. Л.: Агропромиздат, 1987. 430 с.

Ermakov A.I., Arasimovich V.E., Yarosh N.P., Perunsky Yu.V. Methods of biochemical research of plants. L.: Agropromizdat, 1987. 430 p.

10. Ebisawa M., Shoji K., Kato M., Shimomura K., Goto F., Yoshihara T. Supplementary ultraviolet radiation B together with blue light at night increased quercetin content and flavonol. Environmental Control Biology. 2008. Vol. 46. No. 1. P. 1–11.

11. Самойлов В.Н., Плотникова Л.Я. Результаты изучения влияния различных источников освещения на параметры фотосинтетического процесса салата листового // Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий: сборник II Всероссийской (национальной) научной конференции (г. Новосибирск, 25 декабря 2017 г.). Новосибирск, 2017. С. 108–111.

Samoilov V.N., Plotnikova L. Ya. Results of studying the influence of various light sources on the parameters of the photosynthetic process of lettuce // *Rol' agrarnoj nauki v ustojchivom razvitii sel'skih territorij: sbornik II Vserossijskoj (nacional'noj) nauchnoj konferencii.* (g. Novosibirsk, 25 December 2017 g.). Novosibirsk, 2017. P. 108–111 (in Russian).

12. Плотникова Л.Я., Самойлов В.Н. Влияние интенсивности и спектров излучения светодиодных светильников на рост и морфогенез салата листового // *Успехи современного естествознания.* 2021. № 4. С. 21–26. DOI: 10.17513/use.37602.

Plotnikova L. Ya., Samoilov V.N. Influence of the intensity and irradiation spectra of led lamps on the growth and morphogenesis of lettuce // *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya.* 2021. № 4. P. 21–26. DOI: 10.17513/use.37602. (in Russian).

13. Смирнов А.А. Влияние УФ-А радиации на биосинтез антоцианов краснолистного салата // *Инновации в сельском хозяйстве.* 2017. № 1 (22). С. 6–11.

Smirnov A.A. Ultraviolet radiation influence on biosynthesis of anthocyanins of red-leaved lettuce // *Innovacii v sel'skom hozyajstve.* 2017. No. 1 (22). P. 6–11 (in Russian).

14. Аверчева О.В., Беркович Ю.А., Ерохин А.Н., Жигалова Т.В., Погосян С.И., Смолянина С.О. Особенности роста и фотосинтеза растений китайской капусты при выращивании под светодиодными светильниками // *Физиология растений.* 2009. Т. 56. № 1. С. 17–26.

Avercheva O.V., Zhigalova T.V., Pogosyan S.I., Berkovich Yu.A., Erokhin A.N., Smolyanina S.O. Growth and photosynthesis of Chinese cabbage plants growth under Light-emitting diode-based light source // *Fiziologiya rasteniy.* 2009. Vol. 56. No. 1. P. 14–21 (in Russian).