

## Выводы

1. При предпосевной обработке семян иммуномодулирующими препаратами урожайность льнотресты находилась на уровне контрольного варианта. При обработке вегетирующих растений, как в фазу «елочка», так и в период быстрого роста в среднем за годы исследований отмечено достоверное повышение урожайности льнотресты. Максимальная прибавка урожайности льнотресты составила 6,8 ц/га при применении препарата № 1 с нормой расхода 1,0 и 2,0 л/га в фазу «елочка». При обработке растений в период быстрого роста максимальная прибавка урожайности льнотресты получена при применении препарата № 1 с нормой расхода 1,0 л/га и составила 5,0 ц/га.

2. Обработка вегетирующих растений обеспечивала достоверное повышение урожайности льноволокна. Максимальная урожайность общего волокна составила 16,4 ц/га, длинного – 11,1 ц/га. Прибавка к контролю составила 2,9 ц/га и 2,4 ц/га соответственно.

3. Иммуномодулирующие препараты с разными нормами и сроками внесения оказывали влияние на показатели качества волокна: горстевая длина, цвет, гибкость, разрывная нагрузка. Так, горстевая длина увеличилась на 1,0–3,5 см, цвет – на 0,5–1,0 группы, гибкость – на 1,0 – 8,0 мм. Разрывная нагрузка увеличилась на 3–70 Н. Наибольшее влияние на качество льноволокна оказал препарат № 1 как при обработке вегетирующих растений с нормой расхода 1,0 л/га в

фазе «елочка», так и в период быстрого роста. Качество волокна в этих вариантах соответствовало номеру 11 и превысило контрольный вариант на один номер.

4. Установлена эффективность препарата № 2 при обработке вегетирующих растений с нормой расхода 2,0 л/га в период быстрого роста, где качество волокна соответствовало номеру 11. В остальных вариантах опыта качество волокна было на уровне контроля (номер 10), либо превышало его на 0,5 номера.

## Литература

1. Нехведович, С.И. Защита посевов льна масличного от болезней биологическими препаратами [Электронный ресурс] / С.И. Нехведович // Инновационные исследования и разработки для научного обеспечения производства и хранения экологически безопасной сельскохозяйственной и пищевой продукции: матер. Межд. науч.-практ. конф. (6–26 апреля 2015 г., г. Краснодар). – С. 198–199. [http://vniiti.ru/conf/conf2015/sbornik\\_conf2015.pdf](http://vniiti.ru/conf/conf2015/sbornik_conf2015.pdf).
2. Лукьянчук, В.Д. Бета-глюканы как основа создания средств иммуномодулирующего действия / В.Д. Лукьянчук, Е.М. Мищенко, М.Н. Бабенко // Украинськ. медичн. часопис. – 2011. – № 5 (85). – IX / X. – С. 92–93.
3. Elicitor-active oligosaccharides from algal laminaran stimulate the production of antifungal compounds in alfalfa / A Kobayashi [et al.] // Z. Naturforsch. – 1993. – 48. – P.575–579.
4. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 352 с.
5. Отраслевой регламент. Возделывание и уборка льна-долгунца. Типовые технологические процессы. – Минск: Институт льна, 2019. – 15 с.

УДК 634.739.3:736(476)

## Влияние спектрального состава светодиодного освещения на состояние протеинового комплекса микрозелени гороха овощного

А. М. Пашкевич<sup>1</sup>, зав. лабораторией, Ж. А. Рупасова<sup>2</sup>, член-корреспондент, доктор биологических наук, А. И. Чайковский<sup>1</sup>, кандидат с.-х. наук, П. Н. Белый<sup>2</sup>, кандидат биологических наук, В. С. Задаля<sup>2</sup>, научный сотрудник, Т. В. Шпитальная<sup>2</sup>, кандидат биологических наук, В. И. Домаш<sup>3</sup>, доктор биологических наук, О. А. Иванов<sup>3</sup>, кандидат биологических наук, А. А. Строгова<sup>3</sup>, научный сотрудник

<sup>1</sup>РУП «Институт овощеводства»

<sup>2</sup>ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси»

<sup>3</sup>ГНУ «Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси»

(Дата поступления статьи в редакцию 16.08.2023г.)

Приведены результаты исследования основных фракций белковых соединений микрозелени гороха овощного в производственном эксперименте с 8-вариантной схемой влияния спектрального состава светодиодного освещения при варьировании соотношения долей красной и синей областей (R / B) в диапазоне 1,3–10,5.

Установлено существенное влияние исследуемого фактора на количественные и качественные характеристики белкового комплекса микрозелени гороха овощного (сорт Павлуша). Выявлено, что испытываемые спектральные комбинации освещения способствовали обеднению микрозелени гороха на 9–73 % белковыми соединениями, в том числе альбуминами и глобулинами, на

The paper presents the results of the research on the main fractions of protein compounds of green pea microgreens carried out in a production experiment with an eight variant impact scheme of the spectral composition of LED lighting with varying ratios of red and blue areas (R/B) within 1.3–10.5. A significant influence of the studied factor on quantitative and qualitative characteristics of the protein complex of pea microgreens (Pavlusha variety) was determined. It was identified that the tested spectral lighting combinations contributed to protein compounds depletion of pea microgreens by 9–73 % including albumins and globulins against a background of glutelins and prolamins enrichment by 11–170 %. It is shown that the

фоне обогащения на 11–170 % глютелинами и проламинами. Показано, что наиболее благоприятные условия для создания в микрозелени гороха общих запасов белка и его наиболее ценной водо- и солерастворимой части обеспечивало использование светодиодного освещения с 3- и 4-кратным превышением в спектральном составе красного света относительно синего.

### Введение

В связи с возросшим в настоящее время спросом населения республики на продукцию микрозелени овощных культур, в том числе гороха овощного, как источника широкого спектра полезных веществ, особую актуальность обретает совершенствование технологии ее производства в условиях закрытой контролируемой среды, важнейшим элементом которой являются условия освещения [1]. Как известно, основными характеристиками светового режима являются продолжительность освещения (фотопериод) и плотность потока фотонов (интенсивность излучения), но не менее важное значение имеет спектральный состав источников света, играющий первостепенную роль в накоплении фитомассы и синтезе вторичных метаболитов [2, 3]. В мировой практике при производстве микрозелени овощных культур широко используются светодиоды, получившие распространение и в условиях Беларуси.

Поскольку горох овощной является культурой с повышенным участием в метаболизме белковых веществ, то значительный научный и практический интерес представляет исследование влияния спектрального состава светодиодов на протеиновый комплекс микрозелени, в том числе на основные его компонен-

ты, представленные растворимыми (альбуминами), солерастворимыми (глобулинами), щелочерастворимыми (глютелинами) и спирторастворимыми (проламинами) белками. В связи с этим в 2022–2023 гг. в РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству» проведен производственный эксперимент при выращивании данной продукции в условиях светокультуры в фитотроне, оснащенный облучательной фитоустановкой стеллажного типа FLORA LED 300/2/4, предоставленной Государственным научно-производственным унитарным предприятием «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси» (ЦСОТ).

### Методика и объекты исследований

Исследования выполнены в рамках производственного эксперимента с 8-вариантной схемой на образцах микрозелени гороха овощного (сорт *Павлуша*), выращивание которой осуществляли с использованием светодиодов разного спектрального состава при варьировании в нем соотношения долей красной и синей области (R/B) в диапазоне 1,3–10,5 (таблица 1, рисунок 1).

Таблица 1 – Спектральный состав фотонного потока в вариантах производственного эксперимента, %

Вариант	B	G	R	FR	R / B
№ 1	22,4	45,3	29,8	2,5	1,3
№ 2	13,9	40,2	42,0	3,9	3,0
№ 3	11,3	38,6	45,7	4,3	4,0
№ 4	9,8	37,7	47,8	4,7	5,0
№ 5	8,3	36,8	49,9	5,0	6,0
№ 6	6,5	35,7	52,4	5,3	8,0
№ 7	5,6	35,2	53,7	5,5	9,5
№ 8	5,2	34,8	54,6	5,4	10,5

\* Область допустимых значений для 95 % доверительного интервала  $\pm 5$  %.

Примечание – B – синий свет; G – зеленый свет; R – красный свет; FR – дальнекрасный свет; R / B – соотношение долей красной и синей областей спектра.

В качестве контроля был принят 3-й вариант опыта с величиной данного соотношения 4,0, являющейся, по заключению ученых Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси и специалистов ЦСОТа, оптимальным для развития растений, и что послужило основанием для применения в дальнейшем именно данного спектра при производстве в ЦСОТ светодиодных светильников, используемых в растениеводстве. Выращивание микрозелени осуществляли при соблюдении установленных для данной культуры в наших предыдущих исследованиях оптимальных параметров интенсивности освещения 100 микроль/м<sup>2</sup> сек (мкм/м<sup>2</sup> сек) при продолжительности 14 час. [4].

В образцах микрозелени гороха овощного определяли общее содержание протеинов методами

формольного и потенциометрического титрования с введением поправочных коэффициентов [5] и предварительным проведением гидролиза белков в соответствии с общепринятой методикой [6]. Определение общего количества протеина и его растворимой части, а также альбуминов, глобулинов, глютелинов и проламинов выполняли по методу Брэдфорда [7]. Экстрагирование обозначенных соединений осуществляли из 5 $\pm$ 0,1 г сырого растительного материала, взятого с точностью не менее 0,001 г [6]. Калибровочную кривую для количественного определения белковых соединений в исследуемых образцах строили по БСА (бычьему сывороточному альбумину) в концентрации 5–500 мкг/мл.

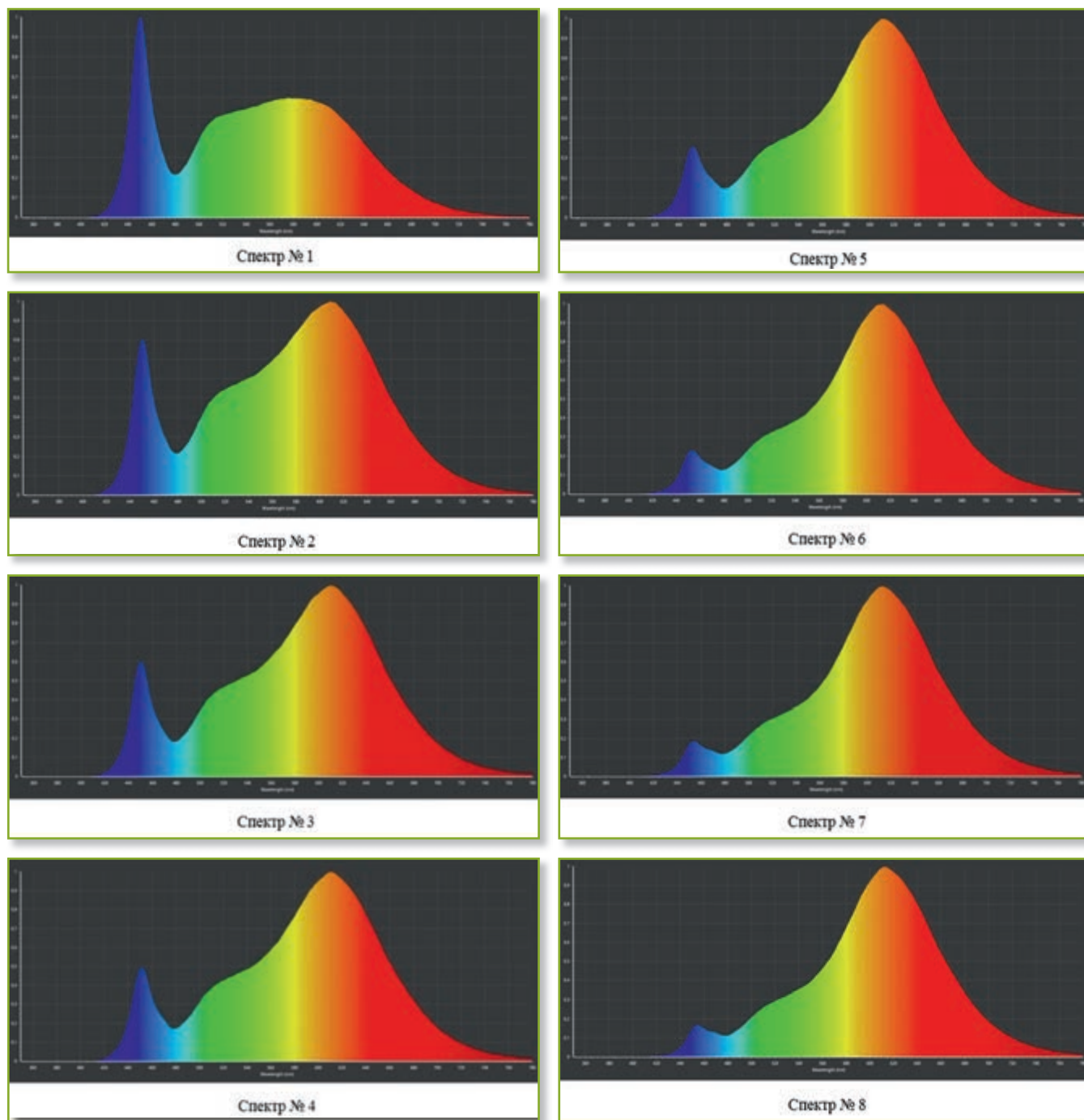


Рисунок 1 – Варианты опытных спектров светодиодного освещения

Все измерения и определения выполнены в 2-кратной биологической и 3-кратной аналитической повторности с последующей статистической обработкой экспериментальных данных по методике, принятой для биологических исследований [8] с использованием программы *Microsoft Office Excel 2007*.

#### Результаты исследований и их обсуждение

В исследуемых образцах микрорзелени гороха овощного обнаружено довольно высокое общее количество протеинов, варьировавшееся в рамках эксперимента в диапазоне 69,8–159,8 мг/г сухой массы, на растворимую часть которых при содержании 56,6–127,8 мг/г приходилось от 79 до 83 % (таблица 2, 3). При этом содержание наиболее ценного усво-

яемого компонента – водорастворимых белков (альбуминов) – составляло 19,4–64,5 мг/г при изменении содержания глобулинов, глютелинов и проламинов в диапазонах 13,6–43,6, 4,5–11,6 и 1,6–10,0 мг/г сухой массы соответственно, а их долевое участие в пуле растворимых белков, варьировавшееся в диапазонах 28–57; 21–38; 4–13 и 2–16 % указывало не только на доминирующую роль двух первых фракций, но и на его существенную зависимость от спектрального состава светодиодного освещения. Обращает на себя внимание резкое ослабление позиций альбуминов относительно контроля при усилении таковых остальных фракций растворимых белков в 4-м, 5-м и 6-м вариантах опыта на фоне 5–8-кратного превышения в спектре освещения доли красного света над таковой синего (см. таблицу 3).

Таблица 2 – Содержание компонентов белкового комплекса в сухом веществе микрорзелени гороха овощного (в мг/г) при использовании светодиодного освещения разного спектрального состава

Вариант	Общее содержание протеинов		Растворимые белки		Водорастворимые белки (альбумины)	
	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>
3 (R/B = 4,0) – контроль	159,8±		127,8±		64,5±	
1 (R/B = 1,3)	97,9±	-53,5*	80,4±	-65,5*	38,4±	-17,9*
2 (R/B = 3,0)	145,4±	-16,7*	114,2±	-17,2*	63,1±	-0,7
4 (R/B = 5,0)	76,6±	-148,2*	63,7±	-65,7*	17,6±	-30,7*
5 (R/B = 6,0)	69,8±	-117,5*	56,6±	-87,7*	19,4±	-28,0*
6 (R/B = 8,0)	97,9±	-185,2*	76,9±	-49,8*	29,2±	-21,8*
7 (R/B = 9,5)	78,3±	-61,6*	65,2±	-87,6*	27,8±	-21,3*
8 (R/B = 10,5)	115,8±	-53,2*	94,6±	-22,7*	54,0±	-5,9*

Солерастворимые белки (глобулины)		Щелочерастворимые белки (глутелины)		Спирторастворимые белки (проламины)	
$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_x$	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_x$
43,6±		4,5±	43,6±		4,5±
24,2±	-27,2*	4,5±	24,2±	-27,2*	4,5±
27,6±	-23,6*	7,0±	27,6±	-23,6*	7,0±
24,5±	-39,2*	8,0±	24,5±	-39,2*	8,0±
21,1±	-44,4*	6,6±	21,1±	-44,4*	6,6±
27,0±	-21,6*	9,2±	27,0±	-21,6*	9,2±
13,6±	-40,8*	6,9±	13,6±	-40,8*	6,9±
24,2±	-22,1*	11,6±	24,2±	-22,1*	11,6±

\* Статистически значимые по *t*-критерию Стьюдента различия с контролем при  $p < 0,05$ .

В характере различий тестируемых вариантов опыта с контролем по общему содержанию протеинов в микрорзелени гороха выявлены исключительно отрицательные тенденции, свидетельствующие об ингибировании их биосинтеза на 9–56 % по сравнению с контролем, обусловленные ослаблением накопления их преобладающих компонентов – альбуминов и глобулинов на 16–73 и 37–69 % соответственно (таблицу 4). Это указывает на то, что наиболее благоприятные условия для создания общих запасов белка в данной продукции обеспечивало использование светодиодов с 4-кратным превышением в спектральном составе красного света над синим, то есть в контрольном варианте опыта.

Таблица 3 – Долевое участие основных фракций белков в составе растворимой части протеинового комплекса микрорзелени гороха овощного при использовании светодиодного освещения разного спектрального состава, %

Вариант	Альбумины	Глобулины	Глутелины	Проламины
3 (R/B = 4,0) – контроль	50	34	4	3
1 (R/B = 1,3)	48	30	6	5
2 (R/B = 3,0)	55	24	6	4
4 (R/B = 5,0)	28	38	13	16
5 (R/B = 6,0)	34	37	12	11
6 (R/B = 8,0)	38	35	12	2
7 (R/B = 9,5)	43	21	11	2
8 (R/B = 10,5)	57	26	12	5

Таблица 4 – Относительные различия с контролем вариантов опыта с использованием светодиодного освещения разного спектрального состава по содержанию компонентов белкового комплекса в сухом веществе микрорзелени гороха овощного, %

Показатель	1 (R/B = 1,3)	2 (R/B = 3,0)	4 (R/B = 5,0)	5 (R/B = 6,0)	6 (R/B = 8,0)	7 (R/B = 9,5)	8 (R/B = 10,5)
Общее содержание протеина	-38,7	-9,0	-52,1	-56,3	-38,7	-51,0	-27,5
Альбумины	-40,5	-	-72,7	-69,9	-54,7	-56,9	-16,3
Глобулины	-44,5	-36,7	-43,8	-51,6	-38,1	-68,8	-44,5
Глутелины	-	+55,6	+77,8	+46,7	+104,4	+53,3	+157,8
Проламины	+10,8	+35,1	+170,3	+73,0	-54,1	-56,8	+29,7

Вместе с тем наиболее значительное и примерно сходное по величине снижение в ней общих запасов белковых соединений по сравнению с последним, как и альбуминов, наблюдалось при использовании спектров освещения с 5, 6 и 9,5-кратным размером данного превышения. Наименее выраженное обеднение микрорзелени гороха общим протеином и глобулинами при отсутствии различий с контролем в содержании альбуминов выявлено при 3-кратном размере превы-

шения в спектре освещения красного света над синим, что свидетельствовало об относительной приемлемости использования, наряду с контрольным, также данного варианта освещения при производстве микрорзелени с довольно высоким содержанием как общего протеина, так и его наиболее ценной водо- и солерастворимой части.

Что касается минорных компонентов растворимых белков – глутелинов и проламинов, то, в отличие от



предыдущих фракций протеинов, на фоне испытываемых композиций спектров освещения для них, напротив, была показана преимущественная активизация накопления относительно контроля на 47–158 и 11–170 %, наиболее значительная в первом случае при 8- и особенно 10,5-кратном превышении доли красного света над таковой синего, во втором – при 5-кратном (см. табл. 4).

Как видим, в большинстве тестируемых вариантов опыта наблюдалась весьма отчетливая одновекторность изменений ряда характеристик протеинового комплекса микрорзелени гороха относительно контроля. Так, в большинстве тестируемых вариантов опыта отмечено снижение в ней относительно контроля общего содержания протеина, альбуминов и глобулинов соответственно на 9–56; 16–73 и 37–69 % на фоне преимущественного обогащения глютелинами и проламинами на 47–158 и 11–170 %.

### Выводы

1. В результате сравнительного исследования в производственном эксперименте с 8-вариантной схемой влияния спектрального состава светодиодного освещения при варьировании соотношения в нем долей красной и синей областей (R/B) в диапазоне 1,3–10,5 на формирование белкового комплекса микрорзелени гороха овощного (сорт *Павлуша*) установлено существенное влияние исследуемого фактора на его количественные и качественные характеристики.

2. Использование испытываемых спектральных комбинаций освещения способствовало обеднению микрорзелени гороха на 9–73 % белковыми соединениями, в том числе альбуминами и глобулинами, на фоне обогащения на 11–170 % глютелинами и проламинами.

УДК 631.86:631.87:635.64

## Влияние сидератов и удобрений на урожайность и биохимический состав томатов при капельном орошении

М. Ф. Степура, доктор с.-х. наук, Ю. В. Винокурова-Лабунская, младший научный сотрудник  
Научно-практический центр НАН Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству

(Дата поступления статьи в редакцию 15.05.2023)

*В статье изложены результаты исследования о влиянии различных доз органических и минеральных удобрений на урожайность и биохимический состав плодов томата в специализированном овощном севообороте при капельном орошении.*

3. Показано, что наиболее благоприятные условия для создания в микрорзелени гороха общих запасов белка и его наиболее ценной водо- и солерастворимой части обеспечивало использование светодиодного освещения с 3- и 4-кратным превышением в спектральном составе красного света относительно синего.

### Литература

1. Meng, Q. Substituting green or far-red radiation for blue radiation induces shade avoidance and promotes growth in lettuce and kale / Q. Meng, N. Kelly, E. S. Runkle. – *Environmental and Experimental Botany*, 2019. – Vol. 162. – P. 383–391.
2. Оптимизация светодиодной системы освещения витаминной космической оранжереи // *Авиакосмическая и экологическая медицина*. – 2016. – Т. 50, № 3. – С. 17–23.
3. Молчан, О. В. Влияние Led-освещения различного спектрального состава на рост и биосинтез алкалоидов в каллусных культурах *Vinca minor* / О. В. Молчан, В. М. Юрин // *Журнал БГУ Биология*. – 2018. – № 2. – С. 48–56.
4. Оптимизация режимов светодиодного освещения при производстве микрорзелени овощных культур с целью повышения качества продукции: метод. реком. / А. М. Пашкевич [и др.]; РУП «Институт овощеводства»; ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси». – Минск: Право и экономика, 2022. – 44 с.
5. Петров, К. П. Метод формольного титрования со смешанными индикаторами / К. П. Петров // *Методы биохимии растительных продуктов*. – Киев: Вища школа, 1978. – С. 16–18.
6. Плешков, Б. П. Выделение белков из растений и определение их фракционного состава / Б. П. Плешков // *Практикум по биохимии растений*. – 2-е изд., доп. – М., 1976. – С. 43–53.
7. Bradford, M. M. Rapid and sensitive method for quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding / M. M. Bradford // *Anal. Biochem.* – 1976. – Vol 8. – P. 248–254.
8. Теория вероятностей и математическая статистика. Математические модели. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений / В. Д. Мятлев [и др.]. – М.: Академия, 2009. – 320 с.

*The article states the results of the research on the effect of applying various doses of organic and mineral fertilizers on the yield and biochemical composition of tomato in a specialized vegetable crop rotation under drip irrigation.*

### Введение

Характерной особенностью современного земледелия является нарастающий дисбаланс между поступлением и использованием органического вещества и элементов питания из почвы при выращивании овощных культур [1, 4].

Почвы Беларуси легкого гранулометрического состава занимают около 70 % структуры пашни. Естественное плодородие этих почв невысокое, они недостаточно обеспечены элементами питания и особенно

органическим веществом. Из-за этого легкие почвы обладают весьма слабой водоудерживающей и водоподъемной способностью, то есть плохо удерживают влагу, выпавшую в виде осадков, и плохо подают ее к поверхности из более глубоких слоев почвы. С другой стороны, широкое распространение этих почв заставляет аграрную науку искать пути коренного улучшения с целью превращения их в высокоплодородные пахотные земли.

Получение высоких и устойчивых урожаев овощных культур на дерново-подзолистых почвах связано