

ВЛИЯНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА Р-ВИТАМИННЫЙ КОМПЛЕКС МИКРОЗЕЛЕНИ КАПУСТЫ БЕЛОКОЧАННОЙ И ГОРОХА ОВОЩНОГО

А. М. ПАШКЕВИЧ, А. И. ЧАЙКОВСКИЙ

*РУП «Институт овощеводства»,
аг. Самохваловичи, Республика Беларусь*

**Ж. А. РУПАСОВА, К. А. ДОБРЯНСКАЯ, В. С. ЗАДАЛЯ,
П. Н. БЕЛЫЙ, Т. В. ШПИТАЛЬНАЯ**

*ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси»,
г. Минск, Республика Беларусь*

Ю. В. ТРОФИМОВ,

*РНПУП «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси»,
г. Минск, Республика Беларусь*

Т. М. КАРБАЛОВИЧ

*Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь,
г. Минск, Республика Беларусь*

(Поступила в редакцию 12.06.2023)

Приведены результаты сравнительного исследования в производственном эксперименте с 8-вариантной схемой влияния спектрального состава светодиодного освещения при варьировании соотношения в нем долей красного и синего света в диапазоне 1,3–10,5 на содержание в микрозелени капусты белокочанной и гороха овощного основных групп биофлавоноидов – антоциановых пигментов, катехинов и флавонолов, показавшие существенные межвидовые различия в степени восприимчивости их Р-витаминного комплекса к воздействию исследуемого фактора. В эксперименте с микрозеленью капусты почти все испытываемые спектральные композиции оказывали значительное ингибирующее влияние на биосинтез биофлавоноидов по сравнению с контролем при наибольшем его проявлении при 1,3-кратном соотношении красного и синего света и наименьшем при 9,5-кратном. Выявлена отчетливая тенденция к последовательному ослаблению ингибирующего влияния исследуемого фактора по мере постепенного увеличения в спектре освещения доли красного света с наиболее выраженной активацией биосинтеза собственно антоцианов и катехинов по достижении 10,5-кратного размера указанного соотношения.

Влияние всех тестируемых спектральных композиций на Р-витаминный комплекс микрозелени гороха овощного, напротив, носило исключительно позитивный характер при наибольшем стимулирующем влиянии на биосинтез полифенолов светодиодов с 6,0- и 9,5-кратным соотношением в спектре освещения красного и синего света.

Ключевые слова: *светодиодное освещение, спектральный состав, капуста белокочанная, горох овощной, микрозелень, Р-витамины, антоциановые пигменты, катехины, флавонолы.*

The results of a comparative study in a production experiment with an 8-variant scheme of the influence of the spectral composition of LED lighting by varying the ratio of the shares of red and blue light in the range of 1.3–10.5 on the content of the main groups of bioflavonoids in white cabbage and vegetable peas microgreens – anthocyanins pigments, catechins and flavonols, which showed significant interspecies differences in the degree of susceptibility of their P-vitamin complex to the influence of the studied factor. In the experiment with cabbage microgreens, almost all tested spectral compositions had a significant inhibitory effect on bioflavonoid biosynthesis compared to the control, with its greatest manifestation at a 1.3-fold ratio of red and blue light and the least at 9.5-fold. A clear tendency to a consistent weakening of the inhibitory effect of the studied factor was revealed as the proportion of red light in the illumination spectrum gradually increased, with the most pronounced activation of the biosynthesis of anthocyanins and catechins themselves upon reaching 10.5 times the specified ratio.

The effect of all the tested spectral compositions on the P-vitamin complex of vegetable pea microgreens, on the contrary, was extremely positive, with the greatest stimulating effect on polyphenol biosynthesis of LEDs with a 6.0- and 9.5-fold ratio in the spectrum of red and blue light illumination.

Key words: *LED lighting, spectral composition, white cabbage, vegetable peas, microgreens, P-vitamins, anthocyanin pigments, catechins, flavonols.*

Введение

В связи с увеличением в настоящее время спроса у населения республики на продукцию микрозелени овощных культур, обусловленным повышенным накоплением в ней широкого спектра полезных веществ, особо актуальным становится совершенствование технологии ее производства в условиях закрытой контролируемой среды. При этом существенную роль в формировании биохимического состава данной продукции играет спектральный состав источников света [1, 2]. В мировой практике при выращивании микрозелени овощных культур широко используются светодиоды. Вместе с тем видоспецифичный характер

требований культиваров к искусственному освещению обусловил необходимость в проведении исследований по оптимизации его спектрального состава, обеспечивающего наиболее высокое содержание в конечной продукции весьма ценных с физиологической точки зрения органических соединений, в том числе биофлавоноидов, обладающих Р-витаминным действием [3]. Это и определило цель настоящей работы, направленной на выявление светового фона, способствующего наибольшему накоплению в микрорзелени капусты белокочанной и гороха овощного основных групп данных соединений – антоциановых пигментов, катехинов и флавонолов, в значительной степени определяемому соотношением в нем областей красного и синего света.

Основная часть

Исследования выполнены в рамках производственного эксперимента на образцах микрорзелени капусты белокочанной (гибрид *Аватар*) и гороха овощного (сорт *Павлуша*), выращенных с использованием светодиодных светильников производства РНПУП «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси» (ЦСОТ) с распределением излучения в диапазоне 380–780 нм и соотношением в спектре фотонного потока долей красного и синего света в диапазоне значений R/B от 1,3 до 10,5. При этом были соблюдены выявленные нами в более ранних исследованиях оптимальные режимы освещения, составлявшие для капусты белокочанной по интенсивности 50 мкмоль/м² сек (мкм/ м² сек) и продолжительности 16 час., для гороха овощного – соответственно 100 мкм/ м² сек и 14 час. [4]. Схема производственного эксперимента включала 8 вариантов (табл. 1).

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

Спектр	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: $\pm 5\%$.

B – синий спектр; **G** – зеленый спектр; **R** – красный спектр; **FR** – дальнекрасный спектр; **R/B** –соотношение красного и синего спектров.

В качестве контроля был принят 3-й вариант опыта с соотношением в спектре освещения относительных долей красного и синего света, равном 4. Выбор данного варианта в качестве условно оптимального обусловлен проявлением на его фоне наиболее выразительных позитивных эффектов в развитии разных видов растений и формировании их биохимического состава, выявленных рядом исследователей, в том числе учеными Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси [5–8]. Это послужило основанием для применения в дальнейшем именно данного спектра освещения при производстве в ЦСОТ светодиодных светильников, используемых в растениеводстве.

Определение содержания биофлавоноидов в опытных образцах микрорзелени овощных культур осуществлялось в лаборатории химии растений Центрального ботанического сада НАН Беларуси. В высушенных при температуре 60°C пробах растительного материала определяли суммарное содержание антоциановых пигментов по методу T. Swain, W. E. Hillis [9], с построением градуировочной кривой по кристаллическому цианидину, полученному из плодов аронии черноплодной и очищенному по методике Ю.Г. Скориковой и Э.А. Шафтан [10]; собственно антоцианов и суммарного количества катехинов (с использованием ванилинового реактива) – фотоэлектроколориметрическим методом [11, 12]; суммы флавонолов (в пересчете на рутин) – спектрофотометрическим методом [12].

Работами ряда ученых экспериментально доказано значительное, причем не всегда позитивное влияние спектрального состава светодиодного освещения на накопление в растениях биологически активных соединений разной химической природы [1, 5, 7]. Повариантное исследование состояния биофлавоноидного комплекса микрорзелени овощных культур также показало существенную зависимость параметров накопления его основных компонентов от воздействия данного фактора, о чем свидетельствовала значительная ширина диапазонов их варьирования в рамках эксперимента.

Так, общее содержание данных соединений в сухой массе исследуемых образцов микрорзелени капусты было достаточно высоким и варьировалось в рамках эксперимента в диапазоне 4001–4586 мг/100 г при суммарном количестве антоциановых пигментов 460–731 мг/100 г, представленных преимущественно лейкоформами, содержание которых составляло 208–499 мг/100 г, тогда как таковое собственно антоцианов – 198–342 мг/100 г. При этом интервал изменения содержания флавонолов, преобладающих в составе Р-витаминного комплекса микрорзелени капусты, соответствовал области значений 2963–3525 мг/100 г сухой массы, а содержания катехинов – 338–525 мг/100 г.

Как следует из табл. 2, в большинстве случаев прослеживалась явная общность тенденций в ориентации расхождений тестируемых вариантов опыта с контролем в содержании исследуемых соединений. Так, при минимальном в эксперименте превышении доли красной части спектра относительно синей (R/B=1,3) наблюдалось достоверное обеднение микрозелени капусты на 7–51 % по сравнению с контролем (R/B=4,0) обеими фракциями антоциановых пигментов, флавонолами и биофлавоноидами в целом на фоне отсутствия достоверных различий с ним лишь в содержании катехинов. В варианте опыта с 3-кратным превышением доли красного света относительно таковой синего отмечено сохранение установленного в предыдущем варианте, хотя и менее выраженного (в пределах 12–30 %) отставания от контроля в содержании не только лейкоантоцианов и флавонолов, но и катехинов при более активном (на 13 %) накоплении собственно антоцианов.

Вместе с тем в остальных вариантах опыта с более значительным, чем в контроле, превышением доли красного света относительно таковой синего уже наметились позитивные изменения в содержании в микрозелени отдельных компонентов биофлавоноидного комплекса. К ним следовало отнести увеличение в 4-м и 8-м вариантах содержания собственно антоцианов (на 6 и 19%), в 5-м и 7-м - лейкоантоцианов (на 17 и 7 %), в 4-м, 6-м и 8-м – катехинов (на 9–19 %) и лишь в единственном 6-м варианте опыта – флавонолов (на 4 %). При этом в остальных случаях доминирование выраженного в разной степени отставания на 6–44 % от контроля в содержании данных соединений обусловило в 4-м и 5-м вариантах опыта сходное с установленным в 1-м и 2-м вариантах обеднение продукции на 8–12 % Р-витаминами в целом при отсутствии значимых различий с контролем по данному признаку в 6-м, 7-м и 8-м вариантах. Таким образом, ни в одном тестируемом варианте опыта не выявлено стимулирующего эффекта от исследуемого фактора для показателя общего накопления биофлавоноидов.

Несмотря на выявленную зависимость состояния Р-витаминного комплекса микрозелени капусты от спектрального состава светодиодного освещения, не установлено его кардинального влияния на долевое участие в нем основных групп биофлавоноидов, что, на наш взгляд, обусловлено в данном случае достаточно жесткой генетической детерминированностью этой структуры. Как следует из табл. 3, доминирующее положение в ней принадлежало флавонолам, относительная доля которых варьировалась в рамках эксперимента в сравнительно узком диапазоне значений – 72–77 %. При этом долевое участие катехинов и антоциановых пигментов, представленных преимущественно лейкоформами, изменялось в пределах 11–17 % и 8–12 % соответственно. Тем не менее, нельзя не обратить внимание на наиболее заметные подвижки в составе самого антоцианового комплекса, что свидетельствовало о весьма выраженной зависимости слагающих его светозависимых компонентов от исследуемого фактора. Однако каких-либо четких закономерностей в трансформации данного комплекса при изменении спектрального состава светодиодов выявить не удалось.

Для выявления интегральной картины результативности испытываемых спектров светодиодного освещения в плане обогащения микрозелени капусты биофлавоноидами, в каждом варианте опыта было осуществлено суммирование относительных различий с контролем параметров их накопления, с учетом ориентации данных различий, дающее представление о совокупном эффекте от воздействия исследуемого фактора (табл. 2).

Таблица 2. Относительные различия с контролем вариантов опыта с использованием светодиодного освещения разного спектрального состава по биохимическим характеристикам микрозелени овощных культур, %

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)
Капуста белокочанная							
Собственно антоцианы	-12,5	+12,5	+6,3	-31,3	-6,3	-12,5	+18,8
Лейкоантоцианы	-51,2	-29,7	-43,8	+16,8	-28,1	+7,2	-9,0
Сумма антоциан. пигм.	-35,6	-12,7	-23,6	-	-19,3	-	-
Катехины	-	-11,8	+11,2	-23,5	+9,4	-	+18,8
Флавонолы	-7,0	-11,6	-12,6	-7,5	+4,0	-	-4,0
Сумма биофлавоноидов	-10,6	-11,8	-12,0	-8,3	-	-	-
Совокупный эффект	-116,9	-65,1	-74,5	-53,8	-40,3	-5,3	+24,6
Горох овощной							
Собственно антоцианы	+24,1	-	-	+106,9	-	+127,6	+175,9
Лейкоантоцианы	+91,7	+318,4	+275,5	+296,0	+237,9	+297,1	+73,8
Сумма антоциан. пигм.	+81,3	+268,1	+233,3	+266,7	+202,1	+270,8	+89,6
Катехины	+10,7	+10,7	+3,6	+12,5	+19,6	+14,3	-3,6
Флавонолы	+30,1	+5,6	+5,6	+37,2	-11,7	+39,8	+38,8
Сумма биофлавоноидов	+32,7	+29,8	+25,9	+55,3	+10,9	+58,0	+38,9
Совокупный эффект	+270,6	+632,6	+543,9	+774,6	+458,8	+807,6	+413,4

Примечание: Прочерк означает отсутствие статистически значимых по t-критерию Стьюдента различий с контролем при p<0,05.

Таблица 3. Долевое участие основных групп биофлавоноидов в составе Р-витаминного комплекса микрозелени капусты белокочанной при использовании светодиодного освещения разного спектрального состава

Вариант опыта	Собственно антоцианы	Лейкоантоцианы	Сумма антоциан. пигментов	Катехины	Флавонолы
3 (R/B =4,0)– Контр.	6	10	16	10	74
1 (R/B =1,3)	6	5	11	11	77
2 (R/B=3,0)	8	8	16	10	74
4 (R/B=5,0)	8	6	14	12	74
5 (R/B=6,0)	5	12	17	8	75
6 (R/B=8,0)	6	7	13	10	77
7 (R/B=9,5)	5	10	15	10	75
8 (R/B=10,5)	7	9	16	12	72

Как видим, почти во всех тестируемых вариантах опыта значения данного показателя характеризовались отрицательной направленностью, варьируясь в диапазоне 5,3–116,9 %, что однозначно свидетельствовало о менее благоприятном, чем в контроле, спектральном составе светодиодного освещения для совокупности характеристик Р-витаминного комплекса микрозелени капусты при наибольшем ингибирующем влиянии на биосинтез полифенолов светодиода с минимальным соотношением красного и синего света и наименьшем при 9,5-кратном размере данного соотношения. При этом обозначилась весьма выразительная тенденция к последовательному ослаблению ингибирующего влияния исследуемого фактора на формирование Р-витаминного комплекса по мере постепенного увеличения в спектре освещения доли красного света. По достижении 10,5-кратного размера превышения доли последнего над таковым синего света величина совокупного эффекта превышала контрольный уровень на 25 %. Это позволяет заключить, что для производства микрозелени капусты белокочанной с наиболее высоким содержанием биофлавоноидов следует использовать светодиодное освещение с максимальным превышением в спектральном составе доли красного света относительно таковой синего.

В аналогичных исследованиях с микрозеленью гороха овощного параметры накопления основных групп полифенолов и их общее количество в большинстве вариантов опыта заметно превышали установленные в микрозелени капусты, что свидетельствовало о более высоких в первом случае темпах биосинтеза данных соединений. По нашим оценкам, их суммарное содержание в ней варьировалось от 4149 мг/100 г до 6554 мг/100 г сухой массы при содержании флавонолов 2946–4666 мг/100 г, антоциановых пигментов – 374–1388 мг/100 г, в том числе собственно антоцианов 54–160 мг/100 г, лейкоантоцианов – 316–1324 мг/100 г, а катехинов – 421–523 мг/100 г.

Более значительная, чем в микрозелени капусты, ширина приведенных диапазонов варьирования обозначенных показателей свидетельствовала о большей их зависимости от спектрального состава светодиодного освещения. Это подтверждалось также более значительными диапазонами варьирования долевого участия в Р-витаминном комплексе не только антоциановых пигментов, представленных в основном лейкоформами и характеризующихся чрезвычайно высокой светозависимостью, но и доминирующих в его составе флавонолов. Так, относительная доля данных соединений в микрозелени гороха изменялась в более широких, чем в микрозелени капусты, пределах – 9–26 % и 64–80 % соответственно (табл. 4).

Таблица 4. Долевое участие основных групп биофлавоноидов в составе Р-витаминного комплекса микрозелени гороха овощного при использовании светодиодного освещения разного спектрального состава, %

Вариант опыта	Собственно антоцианы	Лейкоантоцианы	Сумма антоциан. пигментов	Катехины	Флавонолы
3 (R/B =4,0)–Контр.	1	8	9	11	80
1 (R/B =1,3)	1	11	12	9	79
2 (R/B=3,0)	1	25	26	9	65
4 (R/B=5,0)	1	23	24	9	67
5 (R/B=6,0)	2	19	21	8	71
6 (R/B=8,0)	2	23	25	11	64
7 (R/B=9,5)	2	19	21	8	71
8 (R/B=10,5)	3	10	13	7	80

При этом наиболее значимые подвижки относительно контроля в сторону усиления накопления лейкоантоцианов на фоне ослабления позиций флавонолов выявлены в большинстве тестируемых вариантов опыта. Лишь в двух случаях – в 1-м и 8-м вариантах опыта с показателями R/B=1,3 и R/B=10,5 соотношение основных компонентов Р-витаминного комплекса оказалось максимально приближенным к контролю. Как следует из табл. 2, в направленности и степени изменений большинства его характеристик в зависимости от спектрального состава светодиодного освещения выявлены весьма заметные различия с установленными выше в аналогичном эксперименте с микрозеленью капусты. Так,

в отличие от последней, во всех без исключения вариантах опыта обнаружено весьма существенное обогащение микрозелени гороха всеми компонентами Р-витаминного комплекса, особенно лейкоантоцианами, по сравнению с контролем при относительных различиях с ним в пределах 4–318 %. Лишь в единичных случаях – на фоне освещения с показателем R/B=3,0, 5,0 и 8,0 не выявлено различий с контролем в содержании собственно антоцианов, причем в последнем случае наблюдалось даже обеднение микрозелени флавонолами на 12 %, а в варианте с максимальным значением R/B=10,5 имело место, хотя и незначительное – не более чем на 4 %, но все же достоверное снижение содержания в ней катехинов.

Как видим, в большинстве тестируемых вариантов опыта наблюдалась весьма отчетливая одновекторность изменений исследуемых характеристик биофлавоноидного комплекса микрозелени гороха относительно контроля. При этом обнаружено весьма выразительное стимулирующее влияние всех испытываемых комбинаций спектров освещения на биосинтез основных компонентов биофлавоноидного комплекса, особенно лейкоформ антоциановых пигментов, обладающих чрезвычайно высокой антиоксидантной активностью. С одной стороны, это может рассматриваться как позитивное явление, указывающее на повышение Р-витаминной ценности микрозелени гороха относительно контроля, а с другой, может свидетельствовать о стрессовом воздействии исследуемого фактора на опытные растения. Это согласуется с мнением ряда исследователей, занимавшихся изучением влияния условий освещения на биосинтез в растениях вторичных метаболитов. Так, в работе М. О. Моисеевой с соавт. [13] показана роль антоциановых пигментов в повышении стрессоустойчивости растений перца сладкого на начальных этапах онтогенеза к воздействию определенных комбинаций спектров светодиодного освещения. В связи с этим выявленное нами в большинстве тестируемых вариантов опыта обогащение микрозелени гороха антоциановыми пигментами по сравнению с контролем убедительно свидетельствовало о стимулирующем влиянии испытываемых спектральных композиций, соответствовавших данным вариантам, на накопление этих физиологически активных соединений. Отсутствие же подобного эффекта в аналогичном эксперименте с микрозеленью капусты указывает на различия ответной реакции данных культур на воздействие исследуемого фактора (табл. 2).

Для выявления интегральной картины результативности испытываемых спектров светодиодного освещения в плане обогащения микрозелени гороха овощного биофлавоноидами, как и в аналогичном эксперименте с микрозеленью капусты, в каждом варианте опыта было осуществлено суммирование относительных размеров различий параметров их накопления с контролем, с учетом ориентации данных различий, дающее представление о совокупном эффекте от воздействия исследуемого фактора (табл. 2). Установлено, что, в отличие от микрозелени капусты, здесь во всех без исключения тестируемых вариантах опыта значения данного показателя характеризовались положительной направленностью, варьируясь в диапазоне 270,6-807,6 %, что однозначно свидетельствовало о более благоприятном, чем в контроле, спектральном составе светодиодного освещения для совокупности характеристик Р-витаминного комплекса при наибольшем стимулирующем влиянии на биосинтез полифенолов светодиодов с 6,0- и 9,5-кратным соотношением в спектре освещения красного и синего света. Это позволяет заключить, что для производства микрозелени гороха овощного с наиболее высоким содержанием биофлавоноидов следует использовать светодиоды, обладающие данными характеристиками спектрального состава излучения.

Заключение

В результате сравнительного исследования в идентичных производственных экспериментах с 8-вариантной схемой влияния спектрального состава светодиодного освещения при варьировании в нем соотношения долей красной и синей областей в диапазоне 1,3–10,5 на содержание биофлавоноидов, в том числе антоциановых пигментов, катехинов и флавонолов в микрозелени капусты белокочанной и гороха овощного, установлены существенные межвидовые различия в степени восприимчивости их Р-витаминного комплекса к воздействию исследуемого фактора. В эксперименте с микрозеленью капусты почти все испытываемые спектральные композиции оказывали значительное ингибирующее влияние на формирование ее Р-витаминного комплекса по сравнению с контролем при наибольшем его проявлении при 1,3-кратном соотношении красного и синего света и наименьшем при 9,5-кратном. Выявлена отчетливая тенденция к последовательному ослаблению ингибирующего влияния исследуемого фактора по мере постепенного увеличения в спектре освещения доли красного света с наиболее выраженной активизацией биосинтеза собственно антоцианов и катехинов по достижении 10,5-кратного размера указанного соотношения.

Влияние всех тестируемых спектральных композиций светодиодного освещения на Р-витаминный комплекс микрозелени гороха овощного, напротив, носило исключительно позитивный характер при

наибольшем стимулирующем влиянии на биосинтез полифенолов светодиодов с 6,0- и 9,5-кратным соотношением в спектре освещения красного и синего света.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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 // Биология. – 2018. – №2. – С. 48–56.
2. Оптимизация светодиодной системы освещения витаминной космической оранжереи / Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2016. – Т. 50, № 3. – С. 17–23.
3. Карабанов, И. А. Флавоноиды в мире растений / И. А. Карабанов. – Минск: Ураджай, 1981. – 80 с.
4. Оптимизация режимов светодиодного освещения при производстве микрозелени овощных культур с целью повышения качества продукции: метод. реком. / Пашкевич А. М. [и др.]; РУП «Институт овощеводства»; ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси». – Минск: Право и экономика, 2022. – 44 с.
5. Обуховская, Л. В. Влияние спектрального состава света на приживаемость, рост и развитие микроклонально размноженных регенерантов *Betula pendula var. Carelica* (Mercl.) при адаптации *ex vitro* / Л. В. Обуховская, Т. Н. Куделина, О. В. Молчан // 3-я международная научная конференция «Генетика и биотехнология XXI века: проблемы, достижения, перспективы». – Калуга, 2019. – С. 138.
6. Влияние LED-освещения разного спектрального состава на регуляцию ростовых и фотосинтетических процессов *A. thaliana* / Куделина Т.Н., Молчан О.В., Филипович Т.С., Кабашникова Л.Ф., Кривобок А.С., Бибилова Т.Н. // III Междунар. науч.-практ. конф., Респ. Беларусь, Минск, 24–27 мая 2022 г. / Белорус. гос. ун-т, Ин-т леса НАН Беларуси; редкол.: В. В. Демидчик (гл. ред) [и др.]. – Минск: БГУ, 2022. – С. 53–54.
7. Петринчик, В. О. Влияние света различного спектрального состава и интенсивности на содержание фотосинтетических пигментов в листьях и антоцианов в цветках растений *Catharanthus Roseus* G. Don. / В. О. Петринчик, Н. И. Астасенко, В. И. Привалов, О. В. Молчан // Молекулярные, мембранные и клеточные основы функционирования биосистем: материалы Международной научной конференции и Двенадцатого съезда Белорусского общественного объединения фотобиологов и биофизиков, Минск, 28–30 июня 2016 г. / редкол.: И. Д. Вологовский [и др.]. – В 2 ч. Ч. 2. – Минск, 2016. – С. 73–76.
8. Влияние светодиодного освещения разного спектрального состава на морфогенез и вторичный метаболизм *Catharanthus roseus* (L.) в условиях *in vitro* и закрытого грунта / Л. Г. Лёшина, О. В. Молчан, О. П. Булко, Н. А. Пушкарева, Т. Н. Кирпа-Несмян, Е. В. Запрудская, Н. В. Кучук // XI Международная конференция «Биология клеток растений *in vitro* и биотехнология, Минск, 23–27 сентября, 2018 г – С. 132–133.
9. Swain, T. The phenolic constituents of *Prunus Domestica*. 1. The quantitative analysis of phenolic constituents / T. Swain, W. Hillis // J.Sci. Food Agric. – 1959. – Vol. 10, № 1. – P. 63–68.
10. Скорикова, Ю. Г. Методика определения антоцианов в плодах и ягодах / Ю. Г. Скорикова, Э. А. Шафтан // Тр. 3 Всесоюз. семинара по биологически активным (лечебным) веществам плодов и ягод. – Свердловск, 1968. – С. 451–461.
11. Методика определения антоцианов в плодах аронии черноплодной. / В. Ю. Андреев [и др.] // Фармация. – 2013. – № 3. – С. 19–21.
12. Методы биохимического исследования растений / Под ред. А. И. Ермакова. – 3-е изд., перераб. и доп. Ленинград, 1987. – 430 с.
13. Влияние спектрального состава света на начальных этапах онтогенеза на синтез антоцианов и формирование растений перца сладкого / М. О. Моисеева, Т. В. Никонович, М. Л. Радкевич, Ю. В. Трофимов // Региональная научно-практическая конференция кф РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева с международным участием: Материалы региональной научно-практической конференции кф ргау-мсха имени К. А. Тимирязева, Калуга, 14 апр. 2019 г., вып. №13. 2019 / изд.: ИП А. В. Якунин. – Калуга, 2019. – С. 87–91.