

УДК 581.14

ФОТОМОРФОГЕНЕТИЧЕСКАЯ РЕГУЛЯЦИЯ РОСТА, РАЗВИТИЯ И ПРОДУКЦИОННОГО ПРОЦЕССА РАСТЕНИЙ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ (*FRAGARIA* × *ANANASSA* L.) В УСЛОВИЯХ СВЕТОКУЛЬТУРЫ

М.Н. ЯКОВЦЕВА, Г.Ф. ГОВОРОВА, И.Г. ТАРАКАНОВ

(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)

В контролируемых условиях изучены физиологические реакции растений нескольких сортов земляники и получены данные о влиянии качества света на ритмику роста и развития растений, урожайность и биохимические показатели качества плодов при выращивании в светокультуре с досвечиванием натриевыми лампами высокого давления или узкополосными светодиодами.

Суммарная урожайность сорта Богема, выращенного под натриевыми лампами высокого давления, была в несколько раз выше по сравнению с растениями, выращенными в условиях светодиодного досвечивания. Качественные и количественные показатели сорта Снежана были выше в условиях досвечивания светодиодными облучателями с заданным спектральным составом. У растений, выращенных при досвечивании светодиодными облучателями с соотношением спектрального состава К:С = 2:1, содержание сахаров было на 10–20% выше, чем в растениях других вариантов.

Ключевые слова: Fragaria ananassa, светокультура, светоиспускающие диоды, пигменты фотосинтеза, онтогенез, урожайность.

Процессы жизнедеятельности растительного организма находятся в тесной зависимости как от интенсивности света, так и от его спектрального состава. В работах целого ряда исследователей было показано регуляторное действие света на рост, развитие, фотосинтетические процессы и продуктивность как *in vivo*, так и *in vitro* [5, 7].

Получение стабильных урожаев садовой земляники соответствующего качества на территории Российской Федерации в течение круглого года возможно только на основе ее выращивания в условиях защищённого грунта. При этом в зимний период выращивание данной культуры возможно только при использовании искусственных источников освещения. Низкий естественный уровень облученности в теплицах и короткий зимний день не удовлетворяют потребности растений в лучистой энергии. Поэтому, несмотря на обеспеченность теплом, влагой, элементами минерального питания и углекислотой, у растений, выращиваемых в осенне-зимний период

(октябрь–февраль), наблюдается задержка перехода к генеративному развитию, при этом показатели урожайности находятся на минимальном уровне. Для получения здоровых и нормально развитых растений, а также экономически выгодного урожая качественных плодов в осенне-зимний период землянику необходимо выращивать в условиях светокультуры [11].

Лучистая энергия, получаемая при помощи искусственных источников света, является одной из наиболее затратных статей расходов при выращивании растений в условиях защищенного грунта и светокультуры [4]. Это придаёт особое значение повышению эффективности использования световой энергии. В то же время интенсивность и спектральный состав света, его периодичность являются мощным фактором управления различными сторонами жизнедеятельности растений и, как следствие, продукционным процессом [2]. В связи с необходимостью расширения площадей защищенного грунта под выращивание плодовой и овощной продукции возрастает потребность в источниках излучения, обладающих высокой биологической эффективностью и экономичных в эксплуатации. Для выполнения этой задачи необходимо изучение возможности выращивания сельскохозяйственных культур в условиях освещения фитолампами, которые имеют не только высокий КПД, но и наиболее подходящий для растений спектральный состав. Высокая биологическая и энергетическая эффективность источников искусственного света в конечном счете определяет экономический эффект светокультуры и возможность её более широкого распространения в тепличных хозяйствах нашей страны [12].

Для изучения влияния спектрального состава света на процессы жизнедеятельности растений наиболее удобным источником освещения являются светоизлучающие диоды (СИД), которые позволяют получать световые волны определённой заданной длины. Современные сверхъяркие светодиоды позволяют создать плотность потока фотонов, достаточную для выращивания растений [1]. На сегодняшний день показана возможность и эффективность применения светодиодной досветки для выращивания земляники методом рассады фриго [16]. По сравнению с прочими источниками искусственного облучения светодиоды безопасны, долговечны в использовании, а также отличаются сравнительно низким энергопотреблением.

В ходе данного исследования мы изучали особенности онтогенетического развития и продуктивность земляники садовой в условиях светокультуры на основе узкополосных светоизлучающих диодов.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования были выбраны пять новых сортов земляники садовой (*Fragaria × ananassa L.*) селекции Г.Ф. Говоровой [3], различающиеся по срокам созревания:

- Богема (Луч ВИРа × г.56), поздний сорт;
- Вечная весна (Гренадир V2 × Ранняя плотная), сверххранний сорт;
- Говоровская (сеянец Говоровой 4Т × Ранняя плотная), ранний сорт;
- Ранняя плотная (Персиковая × сеянец ВИР-228613), ранний сорт;
- Снежана (Сеянец от свободного опыления гибрида EB 398 × USB 232-89), ранний сорт.

Опыт проводили в условиях оранжерей лаборатории искусственного климата РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Растения выращивали в вегетационных сосудах объемом 2 л с использованием субстрата на основе нейтрализованного верхового торфа, заправленного полным набором питательных элементов.

В эксперименте были использованы 3 варианта облучателей для досвечивания растений:

1. Облучатели на основе красных и синих светодиодов в соотношении К:С (красный:синий) = 2:1, плотность потока фотонов — 250 мкмоль/м²·с.

2. Облучатели на основе красных и синих светодиодов в соотношении К:С = 8:1, плотность потока фотонов — 250 мкмоль/м²·с.

3. Натриевые лампы высокого давления ДНаЗ/Reflux, плотность потока фотонов 300 мкмоль/м²·с.

Фотопериод — 18 ч. Температура воздуха поддерживалась на уровне 23–24°С. Уход за растениями заключался в регулярном поливе, рыхлении почвы, а также в регулярном опрыскивании акарицидами и инсектицидами (с периодичностью 1 раз в 2 нед.). Растения выращивали в оранжерее в течение одного календарного года.

Подкормки комплексным удобрением «Акварин земляничный» проводили по следующей схеме:

1. Корневая — после посадки из расчета 300 мл раствора на сосуд (по схеме разведения 25 вещества на 10 л воды).

2. Некорневая (путем опрыскивания листовых пластинок) — в фазу активного образования усов, из расчета 20 г/1 л воды.

3. Корневая — в фазу бутонизации из расчета 300 мл раствора на сосуд (25 г на 10 л воды).

4. Корневая — в фазу активного плодоношения из расчета 300 мл раствора на сосуд (25 г на 10 л воды).

В течение всего опыта проводили фенологические и биометрические наблюдения за растениями в динамике. Скорость развития растений оценивали по срокам наступления фаз бутонизации, цветения и плодоношения (число дней от посадки). Кроме того, проводили учет следующих показателей:

- визуальная оценка состояния растений;
- подсчет числа настоящих листьев и усов;
- подсчет числа бутонов, цветков и плодов на растениях;
- количественное определение фотосинтетических пигментов в листовых пластинках (в среднем для целого растения) по Хольму-Веттштейну, с использованием спектрофотометра СФ-104;
- определение содержания суммы сахаров по Бертрану [6].

Биохимический анализ плодов проводили с использованием замороженного биоматериала. Предварительно собранные плоды хранили в морозильной камере при температуре минус 70°С в течение 1–3 мес. Это обеспечивает снижение потерь растворимых сухих веществ, сахаров и органических кислот в зависимости от сортовых особенностей на 1–5% по сравнению с хранением в обычной морозильной камере [10].

Биологическая повторность во всех опытах — 6 растений на вариант. В таблицах приведены средние арифметические и стандартные ошибки.

Результаты и их обсуждение

Фотосинтетическая продуктивность растений зависит от состояния фотосинтезирующего аппарата на всех уровнях организации [8].

Физиологические процессы, обуславливающие содержание хлорофилла в листьях и площадь ассимиляционной поверхности, могут по-разному реагировать на агротехнические мероприятия, в том числе на режим и источники досвечивания растений. В связи с этим представляется интересным изучить содержание фотосинтетических пигментов в листьях растений земляники в условиях досвечивания узким заданным спектром света, в котором находится максимумы поглощения — хлорофилла и каротиноидов.

По показателям фотосинтетического аппарата земляники садовой, отмечено существенное варьирование в зависимости как от условий освещения, так и сорта (табл. 1).

Таблица 1

**Содержание хлорофиллов и каротиноидов
в листовых пластинках растений земляники садовой
в зависимости от способа досвечивания, мг/г сухой массы**

Вариант облучателя	Хлорофиллы	Каротиноиды
<i>Богема</i>		
СИД К:С = 2:1	6,6 ± 0,59	2,6 ± 0,38
СИД К:С = 8:1	5,7 ± 1,03	2,4 ± 1,01
НЛВД	7,0 ± 0,45	2,1 ± 0,33
<i>Вечная весна</i>		
СИД К:С = 2:1	6,9 ± 0,58	2,9 ± 0,12
СИД К:С = 8:1	5,6 ± 0,12	2,4 ± 0,69
НЛВД	6,3 ± 0,06	2,1 ± 0,94
<i>Говоровская</i>		
СИД К:С = 2:1	7,1 ± 0,64	3,5 ± 1,36
СИД К:С = 8:1	5,5 ± 0,97	3,0 ± 1,40
НЛВД	7,2 ± 0,58	1,8 ± 0,97
<i>Ранняя плотная</i>		
СИД К:С = 2:1	8,4 ± 0,34	2,4 ± 1,02
СИД К:С = 8:1	6,5 ± 0,57	2,4 ± 0,57
НЛВД	6,2 ± 0,09	2,2 ± 0,34
<i>Снежана</i>		
СИД К:С = 2:1	7,1 ± 0,66	2,5 ± 0,69
СИД К:С = 8:1	5,8 ± 0,99	2,1 ± 0,01
НЛВД	6,9 ± 1,06	2,3 ± 0,87

Растения сорта Богема накапливали в листовых пластинках наибольшее количество хлорофиллов при выращивании в условиях освещения натриевыми лампами, растения сортов Ранняя плотная и Снежана — при светодиодном освещении варианта К:С = 2:1, растения сортов Вечная весна и Говоровская — как при светодиодном освещении варианта К:С = 2:1, так и при освещении НЛВД. По накоплению каротиноидов в листовых пластинках растений земляники отмечена сходная закономерность.

Досвечивание растений светоизлучающими диодами варианта К:С = 2:1 вызвало уменьшение размеров листовой пластинки и укорачивание черешков листьев, в результате чего габитус растений стал более компактным (табл. 2). Наиболее заметна эта тенденция у сортов Богема и Вечная весна. Таким образом, высокая доля синего света в спектре излучения светильника вызывает торможение роста вегетативных органов растений земляники, в то время как преобладание в спектре красного света (вариант СИД К:С = 8:1) способствует более интенсивному вегетативному росту, о чем свидетельствует существенное увеличение площади поверхности листьев. Н.Н. Протасова связывает подобное различие ростовых показателей с усилением синтеза ингибиторов роста (абсцизовой, оксикоричной кислоты и др.) у растений

Т а б л и ц а 2

Биометрические показатели растений земляники садовой в зависимости от способа досвечивания, 6 мес. после посадки

Сорт	Вариант облучателя	Длина черешка листа, см	Сырая масса листьев, г	Площадь поверхности листьев, см ²
Богема	СИД К:С = 2:1	7,1 ± 1,2	17,1 ± 4,4	359,1 ± 19,5
	СИД К:С = 8:1	9,2 ± 1,5	24,0 ± 1,7	452,3 ± 30,1
	НЛВД	11,0 ± 1,3	34,7 ± 4,9	697,7 ± 91,4
Вечная весна	СИД К:С = 2:1	6,9 ± 1,1	29,0 ± 6,3	909,8 ± 99,4
	СИД К:С = 8:1	11,5 ± 0,3	25,2 ± 2,0	1133,7 ± 95,9
	НЛВД	13,1 ± 1,7	61,0 ± 6,8	1494,2 ± 146,6
Говоровская	СИД К:С = 2:1	8,9 ± 1,7	26,0 ± 2,9	791,9 ± 162,8
	СИД К:С = 8:1	13,0 ± 0,9	33,5 ± 2,6	1337,0 ± 215,0
	НЛВД	13,5 ± 0,8	44,1 ± 1,6	1106,6 ± 125,7
Ранняя плотная	СИД К:С = 2:1	9,1 ± 0,9	17,1 ± 4,4	899,1 ± 35,5
	СИД К:С = 8:1	15,2 ± 0,8	24,0 ± 1,7	1682,3 ± 112,1
	НЛВД	11,6 ± 1,1	34,7 ± 4,9	1297,7 ± 151,4
Снежана	СИД К:С = 2:1	8,4 ± 1,0	17,1 ± 4,4	1001,1 ± 165,3
	СИД К:С = 8:1	12,2 ± 0,7	24,0 ± 1,7	1487,3 ± 46,8
	НЛВД	11,0 ± 0,9	34,7 ± 4,9	1165,7 ± 91,4

под действием синего света. Это приводит к формированию у растений укороченных стеблей и более толстых листьев [11]. Промежуточные значения были получены в контроле под натриевыми лампами.

В ходе исследований установлено влияние разных режимов освещения на динамику прохождения растениями основных фенологических фаз: бутонизацию, цветение, начало и конец плодоношения (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Сроки цветения и плодоношения у сортов земляники садовой (*Fragaria x ananassa* L.) в условиях разных световых режимов (посадка 15.11.2014 г.)

Вариант облучателя	Сорт	Цветение			Плодоношение	
		начало	окончание	продолжительность, дни	начало	продолжительность, дни
СИД К:С = 2:1	Богема	21 фев	27 фев	6	03 мар	7
	Вечная весна	10 фев	05 мар	23	25 фев	27
	Говоровская	24 янв	11 мар	46	05 фев	49
	Ранняя плотная	01 фев	17 мар	44	12 фев	46
	Снежана	05 фев	12 мар	35	19 фев	33
СИД К:С = 8:1	Богема	01 мар	23 мар	22	13 мар	22
	Вечная весна	12 фев	02 мар	18	25 фев	16
	Говоровская	03 фев	03 мар	28	19 фев	23
	Ранняя плотная	02 фев	21 мар	47	17 фев	44
	Снежана	15 фев	22 мар	35	19 фев	40
НЛВД	Богема	31 янв	28 фев	28	10 фев	28
	Вечная весна	01 фев	19 фев	18	10 фев	17
	Говоровская	31 янв	09 фев	9	09 фев	8
	Ранняя плотная	01 фев	24 фев	23	12 фев	20
	Снежана	02 фев	02 фев	28	13 фев	29

В варианте СИД К:С = 2:1 был отмечен большой временной разброс сроков прохождения этапов онтогенеза у разных сортов. Наиболее ранняя бутонизация (выдвижение цветоносов и обособление бутонов) наблюдалась у сорта Говоровская. Из этого можно сделать вывод, что высокая доля синей составляющей в спектре светового потока у данного сорта стимулирует индукцию цветения — качественный физиологический процесс, управляемый изменением гормонального баланса, приводящего к экспрессии генов, участвующих в первоначальном этапе трансформации вегетативных почек в цветковые. Задержка бутонизации наблюдалась у сорта Богема, где выдвижение бутонов было почти на месяц позже, чем у сорта Говоровская.

Высокая доля синего света в световом потоке способствовала увеличению продолжительности плодоношения у всех изучаемых сортов земляники.

Уменьшение доли синей составляющей в спектре (вариант СИД К:С = 8:1) вызвало задержку перехода растений к генеративному развитию на 1–2 недели по сравнению с остальными вариантами досвечивания. Наиболее продолжительное цветение и плодоношение так же, как и в варианте СИД К:С = 2:1, было у сортов Ранняя плотная и Снежана, что, вероятно, обусловлено их сортоспецифической реакцией.

В целом у растений, выращенных при досвечивании узкополосными светодиодами с разным соотношением синего и красного света, период генеративного развития был менее синхронным: этапы прохождения фенофаз сильно варьировались в зависимости от генетических особенностей сортов.

Режим досвечивания НЛВД способствовал наиболее раннему и дружному переходу растений к генеративному развитию. Фазы цветения и последующего плодоношения также протекали синхронно у всех сортов земляники. Однако в целом условия досвечивания НЛВД способствовали сокращению продолжительности периода плодоношения, который составил в среднем 3–4 недели у всех изученных сортов. Ускоренное прохождение фаз онтогенеза, очевидно, является примером адаптивной стратегии растений в условиях стресса. По завершении этапа плодоношения у всех сортов наступает массовый переход к вегетативному размножению — формирование усюплетей.

Продолжительность периода плодоношения сказалась на суммарной урожайности растений (суммирование массы ягод за все сборы), которая сильно варьировалась в зависимости от генетических особенностей сорта, а также от условий выращивания (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

Продуктивность растений земляники садовой при выращивании в условиях разных световых режимов, г/раст.

Сорт, фактор А	Вариант облучателя, фактор В		
	СИД К:С = 2:1	СИД К:С = 8:1	НЛВД
Богема	19,8	69,1	223,3
Вечная весна	165,4	177	217,4
Говоровская	247,9	272,7	124,2
Ранняя плотная	93,6	173,1	105,4
Снежана	216,8	132,7	113,8
НСП ₀₅ А			15,2
НСП ₀₅ В			12,4
НСП ₀₅ АВ			5,2

У сорта Богема досвечивание натриевыми лампами ускорило переход к генеративному развитию, а также увеличило общую продолжительность цветения по сравнению с растениями, выращенными при досвечивании светоизлучающими диодами,

как было показано выше (табл. 3). В результате урожайность растений земляники сорта Богема при выращивании в условиях освещения натриевыми лампами существенно превышала урожайность растений, выращенных при светодиодном освещении (в случае варианта К:С = 8:1 урожайность растений под натриевыми лампами оказалась выше в 3 раза, а в случае варианта К:С = 2:1 — в 11 раз соответственно). Указанные различия, по-видимому, обусловлены более высоким весовым содержанием фотосинтетических пигментов (хлорофила а и в) в листьях растений этого сорта, а также сортоспецифическими реакциями, что позволяет сделать вывод о нецелесообразности выращивания земляники данного сорта в светокультуре на основе узкополосных светоиспускающих диодов.

В случае земляники сорта Говоровская нами были получены противоположные результаты. Продуктивность растений данного сорта Говоровская, выращенных в условиях досвечивания светодиодными облучателями, в 2,5 раза превышала продуктивность растений, выращенных под натриевыми лампами. Кроме того, освещение растений земляники НЛВД вызывало сокращение периода цветения и плодоношения до 1,5 недели.

С точки зрения целесообразности и эффективности выращивания в светокультуре на основе узкополосных светодиодов более перспективными можно считать землянику сортов Ранняя плотная Снежана. Растения дали наибольший суммарный урожай при досвечивании светоизлучающими диодами (вариант К:С = 8:1 в случае сорта Ранняя плотная и вариант К:С = 2:1 в случае сорта Снежана), в 1,5–2 раза превышающий показатели, полученные на контрольных растениях.

У растений сорта Вечная весна существенных различий по показателям плодоношения и урожайности в зависимости от условий освещения выявлено не было.

К показателям, определяющим качество плодов земляники, традиционно относят содержание растворимых сухих веществ, сахаров, органических кислот, витаминов, а также ряда других вещества [9].

Накопление общих и водорастворимых сахаров в плодах земляники садовой варьируется в широких пределах в зависимости от сорта и от условий выращивания.

Анализ показал существенное колебания содержания суммы сахаров в зависимости как от сортовых особенностей земляники садовой, так и от источника освещения, под которым они были выращены (табл. 5).

Установлено влияние характера досвечивания растений на процентное содержание сахаров в плодах. У большинства сортов (Богема, Говоровская и Ранняя плотная) наибольшее количество общих сахаров накопилось в условиях контроля — досвечивания растений натриевыми лампами высокого давления, где их процентное содержание сильно превышает среднестатистические данные по данной культуре в норме.

Также высокое содержание сахаров было отмечено у растений, выращенных в условиях досвечивания СИД варианта К:С = 8:1, при этом увеличение доли синего света в спектре излучения светильника приводило к снижению содержания суммы сахаров в плодах земляники. Из выявленной закономерности выбивается сорт земляники Снежана, плоды которого в варианте СИД К:С = 8:1, напротив, накапливали наименьшее количество общих сахаров.

Средние показатели содержания сахаров у растений земляники, выращенной в открытом грунте, колеблются в пределах 5–7%. Средние же значения, полученные в условиях светокультуры, составляют 7,82% в варианте СИД К:С = 2:1, 9,46%

Содержание общих сахаров в плодах земляники, %

Сорт	Вариант освещения		
	СИД К:С = 2:1	СИД К:С = 8:1	НЛВД
Богема	7,3 ± 0,3	9,9 ± 1,6	11,5 ± 1,2
Вечная весна	6,3 ± 0,8	10,1 ± 0,9	7,4 ± 0,8
Говоровская	5,3 ± 1,1	9,3 ± 1,0	14,0 ± 1,1
Ранняя плотная	6,9 ± 1,3	8,3 ± 0,4	11,4 ± 1,4
Снежана	13,4 ± 0,7	10,0 ± 0,9	16,9 ± 1,7

в варианте СИД К:С = 8:1 и 12,24% в варианте НЛВД. Среди исследованных сортов наибольшее количество общих сахаров на всех вариантах опыта накапливали ягоды растений сорта Снежана, наименьшее — сорта Вечная весна.

Выводы

1. Реакция растений земляники садовой на качество света является во многих случаях сортоспецифичной, что обуславливает необходимость подбора сортов для выращивания в условиях светокультуры с учётом типа облучателя и особенностей спектрального состава света.

2. Среди исследованных сортов земляники наиболее перспективными для выращивания в светокультуре на основе узкополосных светодиодов можно считать сорта Ранняя плотная и Снежана.

3. Содержание пигментов в листовых пластинках растений земляники постоянно и зависит как от сорта, так и от условий выращивания. Растения сорта Богема накапливали в листовых пластинках наибольшее количество хлорофиллов при выращивании в условиях освещения натриевыми лампами, растения сортов Ранняя плотная и Снежана — при светодиодном освещении варианта К:С = 2:1, растения сортов Вечная весна и Говоровская — как при светодиодном освещении варианта К:С = 2:1, так и при освещении НЛВД.

4. Высокая доля синего света в спектре излучения светильника вызывает торможение роста вегетативных органов растений земляники, при этом преобладание в спектре красного света увеличивается интенсивность вегетативного роста.

5. Содержание и состав сахаров в плодах земляники варьируется в зависимости от сорта растений и условий выращивания. Наибольшее содержание сахаров в плодах отмечено у контрольных растений в условиях досвечивания натриевыми лампами высокого давления. Также повышенное содержание сахаров было у растений, выращенных в условиях досвечивания светоиспускающими диодами варианта К:С = 8:1, при этом увеличение доли синего света в спектре излучения светильника приводило к снижению содержания суммы сахаров в плодах земляники.

Библиографический список

1. Беркович Ю.А., Кривобок Н.М., Смолянина С.О., Ерохин А.Н. Космические оранже-реи: настоящее и будущее. М., 2005. С. 367.
2. Воскресенская Н.П. Фотосинтез и спектральный состав света. М.: Наука, 1965. С. 311.
3. Говорова Г.Ф., Говоров Д.Н. Земляника. М.: Издательский дом МСГ, 2010. С. 57–71.
4. Головнева Н.Б., Терентьев В.М., Федюнькин Д.В. Об оценке эффективности излучения для выращивания растений // Светотехника. 1980. С. 16–17.
5. Дорофеев В.Ю., Медведева Ю.В., Карначук Р.А. Оптимизация светового режима при культивировании оздоровленных растений картофеля *in vitro* с целью повышения продукци-онного процесса // Материалы VI Московского международного конгресса, часть 1 (Москва, 21-25 марта, 2011 г.). М.: ЗАО «Экспо-биохимтехнологии», РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2011. С. 238–239.
6. Ермаков Е.И. Методы биохимического исследования растений. Ленинград: Ко-лос, 1972. С. 456.
7. Карначук Р.А., Головацкая И.Ф. Гормональный статус, рост и фотосинтез растений, выращенных на свету разного спектрального состава // Физиология растений, 1998. С. 925–934.
8. Ничипорович А.А. Физиология фотосинтеза и продуктивность растений. М.: Наука, 1982. С. 7–33.
9. Плотникова Г.В. Экспертиза свежих плодов и овощей. Новосибирск, 2004. С. 522.
10. Причко Т.Г., Германова М.Г. Изменение качества ягод земляники при заморажива-нии и хранении // Сельскохозяйственная биология, 2014. № 5. С. 120–126.
11. Протасова Н.Н., Кефели В.И. Фотосинтез и рост высших растений, их взаимосвязь и корреляции. Физиология фотосинтеза. М.: Наука, 1982. С. 251.
12. Тихомиров А.А., Лисовский Г.М., Сидько Ф.Я. Спектральный состав света и продук-тивность растений. Новосибирск: Наука, 1991. С. 168.
13. Hyroyuki M. et al. Double sigmoid growth curve of strawberry fruit // Soc. Hort. V. 59. 1990. P. 527–528.
14. Kumakura H., Shishido Y. Effect of temperature and photoperiod on flower bud initiation in everbearing type strawberry cultivar // Soc. Hort. V. 64. 1995. P. 85–94.
15. Nishizawa T. The length and number of epidermal cells in petioles of strawberry plants as affected by photoperiod and temperature during vegetative and resting periods // Soc. Hort. V. 61. 1992. P. 559–564.
16. Samuoleiene G., Brazaityte A., et al. The effect of red and blue light component on the growth and development of frigo strawberries // Zemdribyste-Agriculture. V. 97. 2010. P. 99–104.
17. Yoshida H., Hikosaka S., Goto E. Effects of light quality and light period on flowering of everbearing strawberry in a closed plant production system // Acta Horticulture. 2012. P. 107–110.

PHOTOMORPHOGENETIC CONTROL OF GROWTH, DEVELOPMENT AND CROP PRODUCTION IN STRAWBERRY (*FRAGARIA* × *ANANASSA* L.) GROWN WITH ARTIFICIAL LIGHTING

M.N. YAKOVITSEVA, G.F. GOVOROVA, I.G. TARAKANOV

(Russian Timiryazev State Agrarian University)

Under controlled conditions we studied the effect of light quality during artificial lighting on plant growth and development, yield and biochemical indicators of fruit quality in strawberry. Plants were grown with supplementary lighting with high pressure sodium lamps, or narrow-band LEDs.

The total yield of variety Bohemia grown under high pressure sodium lamps, was several times higher than that of plants grown under LED supplementary lighting. Qualitative and quantitative indicators of Snezhana grades were higher under conditions of supplementary lighting with LEDs with a given spectral composition. In plants grown under LED supplementary lighting with spectral composition of R:B = 2:1, sugar content was 10–20% higher compared to that in plants under other light regimes.

Key words: Fragaria × ananassa L., photoculture, light-emitting diodes, pigments of photosynthesis, ontogeny, productivity.

Яковцева Мария Николаевна — асп. кафедры физиологии растений РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: mariantes@yandex.ru).

Говорова Галина Федоровна — д. б. н., проф. кафедры селекции и семеноводства садовых культур РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: galina.govorova@mail.ru).

Тараканов Иван Германович — д. б. н., проф., зав. кафедрой физиологии растений РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: ivatar@yandex.ru).

Yakovtseva Maria Nikolaevna — PhD-student of the Department of Plant Physiology, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya str., 49; e-mail: mariantes@yandex.ru).

Govorova Galina Fedorovna — Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Plant Breeding and Seed Production of Horticultural Crops, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya str., 49; e-mail: galina.govorova@mail.ru).

Tarakanov Ivan Germanovich — Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Plant Physiology, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya str., 49; e-mail: ivatar@yandex.ru).