

УДК 581.1:634.75

ФОТОМОРФОГЕНЕЗ И ПРОДУКЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС
РАЗНЫХ ОНТОТИПОВ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ
(*FRAGARIA* × *ANANASSA* DUCH.) В УСЛОВИЯХ СВЕТОКУЛЬТУРЫ
НА ОСНОВЕ УЗКОПОЛОСНЫХ СВЕТОДИОДОВ

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

(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)

В контролируемых условиях изучены физиологические реакции растений земляники садовой на выращивание в условиях светокультуры. Получены данные о влиянии спектрального состава света на ритмику роста и развития растений ремонтантных и неремонтантных сортов, особенности их вегетативного размножения, показатели фотосинтетической деятельности, а также урожайность и качество плодов.

Досвечивание выращиваемых на естественном свету в осенне-весенний период растений облучателями на основе узкополосных светоиспускающих диодов (СИД) с разным соотношением красного (К) и синего (С) света в спектре излучения вызвало у растений разные морфофизиологические реакции. В варианте с соотношением К:С = 2:1 наблюдали уменьшение размеров листовых пластинок и укорачивание черешков листьев, а также увеличение их удельной поверхностной плотности. Количество образовавшихся усов у растений в контрольном варианте (натриевые лампы высокого давления, НЛВД) было в 2–5 раз больше по сравнению с досвечиванием растений СИД. Урожайность неремонтантных сортов Говоровская, Ранняя плотная и Снежана была в несколько раз выше в условиях досвечивания СИД с соотношением К:С = 8:1 по сравнению с другими световыми режимами. Наибольшее содержание сахаров в плодах отмечено у растений в контроле. Увеличение доли синего света в спектре приводило к снижению содержания сахаров. Наибольшее содержание аскорбиновой кислоты у ряда сортов было в варианте СИД К:С = 2:1 и в контроле. Уменьшение доли синего света в спектре (СИД К:С = 8:1) у всех сортов вело к снижению содержания аскорбиновой кислоты.

Ключевые слова: *Fragaria* × *ananassa*, светокультура, светоиспускающие диоды, фотоморфогенез, пигменты фотосинтеза, продуктивность, качество урожая.

Круглогодичное выращивание земляники в защищенном грунте является перспективным направлением внесезонного получения урожая. Однако низкий естественный уровень облученности в теплицах и короткий зимний день не удовлетворяют потребности растений в лучистой энергии, поэтому в зимний период выращивание данной культуры возможно только при использовании искусственных источников освещения [15]. На сегодняшний день в осветительных установках расходуется около 30% всей генерируемой электрической энергии, а затраты на энергоресурсы составляют значительную долю в себестоимости сельскохозяйственной

продукции [4]. Современные сверхъяркие светодиоды позволяют создать плотность потока фотонов, достаточную для выращивания растений, при этом они отличаются существенно более низким энергопотреблением, чем другие источники облучения. Создание светильников на их основе также позволяет в широких пределах варьировать спектральный состав освещения и соотношение в нем различных спектральных полос, что важно для регуляции фотоморфогенеза [2]. Спектр действия фотосинтеза имеет максимумы поглощения света в синей и красной областях. Известно, что диапазон длин волн излучения светодиодов в красной области спектра составляет от 620 до 660 нм, в синей — от 450 до 465 нм [3]. Составляя комбинации из светодиодов разных цветовых групп, можно получить источник света с узким заданным спектральным составом в видимом диапазоне, который будет наилучшим образом отвечать потребностям вегетирующих растений [16]. Кроме того, стоит учитывать, что излучение светодиодов направленное, а это позволяет эффективнее использовать источники света на их основе. Также надо принимать во внимание, что срок эксплуатации светодиодов превышает другие источники в несколько раз, что делает применение светодиодов крайне эффективным в экономическом плане [4–6].

Таким образом, светодиодные облучатели имеют целый ряд преимуществ перед другими, традиционными источниками освещения, что, в конечном счете, определяет экономический эффект светокультуры и возможность ее более широкого распространения в тепличных хозяйствах [2, 6, 10].

В ходе наших предыдущих исследований было изучено влияние источников освещения на рост и развитие и продуктивности короткодневных (неремонтантных) сортов земляники садовой [18]. Реакция растений на качество света во многих случаях являлась сортоспецифичной, что обуславливает необходимость тщательного подбора сортов для выращивания в условиях светокультуры, а также оптимизации светового режима с учетом типа облучателя и особенностей спектрального состава излучаемого им света. Применительно к светокультуре земляники необходимо подчеркнуть, что особый интерес, в том числе и в физиологическом плане, представляют сорта, способные закладывать цветочные почки независимо от фотопериода (ремонтантные).

В ходе данного исследования мы изучали возможность выращивания растений земляники садовой с использованием досвечивания узкополосными СИД, их влияние на фотоморфогенез, продукционный процесс и биохимические показатели качества плодов. Также был проведен сравнительный анализ физиологических реакций ремонтантных и неремонтантных сортов земляники садовой на разные световые режимы.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования были выбраны пять новых короткодневных сортов земляники садовой (*Fragaria × ananassa* Duch.) селекции Г.Ф. Говоровой и 3 фотопериодически нейтральных (ремонтантных) сорта, а именно:

Короткодневные сорта:

Богема (Луч ВИРа × г.56), поздний сорт;

Вечная весна (Гренадер V2 × Ранняя плотная), сверххранный 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 [7].

Фотопериодически нейтральные сорта:

Фламенко (Евитата × формы EMR77 (комплексный гибрид, включающий такие сорта, как Сельва, Тиога, Горелла и Дженто);

Елизавета II (клон сорта Королева Елизавета);

Сельва (Брайтон × (Туфтс × Паджаро).

Исследования проводили в условиях оранжерей Лаборатории искусственного климата РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в период с октября 2014 г. по апрель 2015 г. Приход естественной ФАР за этот период составил 273,9 МДж/м² коэффициент пропускания света кровлей теплицы — 80%.

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 — 180 мкмоль/м² · с.

2. Облучатели на основе красных и синих светодиодов в соотношении К:С = 8:1, плотность потока фотонов — 180 мкмоль/м² · с.

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

Фотопериод — 18 ч. Температура воздуха поддерживалась на уровне 23–24°C днем и 18–19°C ночью. Уход за растениями заключался в регулярном поливе, рыхлении почвы, а также регулярном опрыскивании акарицидами и инсектицидами (с периодичностью один раз в 2 недели). Агротехника описана ранее [18].

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

Подсчет числа настоящих листьев и усов;

Подсчет числа бутонов, цветков и плодов на растениях;

Количественное определение фотосинтетических пигментов. Содержание хлорофиллов, а и b проводили по Хольму-Веттштейну после их экстракции из листьев 85%-ным ацетоном на спектрофотометре СФ-104 [17].

Определение содержания суммы сахаров по Бертрану [8].

Определение содержания аскорбиновой кислоты в плодах по Мурри [8].

Биохимический анализ плодов проводили с использованием замороженного биоматериала, что снижает потери органических веществ на 1–5% по сравнению с хранением в обычной морозильной камере [13, 14, 18].

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

Результаты и их обсуждение

В ходе исследований установлено влияние разных режимов освещения на динамику прохождения растениями основных фенологических фаз: бутонизация, цветение, начало и конец плодоношения). Выявлена сортоспецифичность в ритмике развития растений (табл. 1).

На используемых световых режимах был отмечен временной разброс в сроках прохождения фенологических фаз. Досвечивание растений в варианте СИД К:С = 2:1 способствовало более позднему переходу к бутонизации у неремонтантных сортов (Богема, Ранняя плотная, Говоровская): высокая доля синей составляющей в спектре вызвала задержку перехода растений к генеративному развитию на 1–2 недели по сравнению с остальными вариантами досвечивания. У растений сорта Снежана на данном световом режиме отмечалась склонность к ремонтантности: через 2 недели после окончания плодоношения наблюдалось повторное выдвигание бутонов, и, как следствие, наступала вторая волна плодоношения. Обратную реакцию наблюдали у ремонтантного сорта Елизавета II, где досвечивание с высокой долей синего света, напротив, способствовало более ранней бутонизации.

В варианте СИД К:С = 8:1 наиболее раннюю бутонизацию (выдвигание цветоносов и обособление бутонов) наблюдали у неремонтантных сортов Говоровская и Снежана. Можно сделать вывод, что высокая доля красной составляющей в спектре светового потока стимулирует у данных сортов индукцию цветения — качественный физиологический процесс, управляемый изменением гормонального баланса, приводящего к экспрессии генов, участвующих в первоначальном этапе трансформации вегетативных почек в цветковые.

В варианте с НЛВД сорт Елизавета II не проявлял ремонтантность, после продолжительного периода цветения и плодоношения с ноября по январь физиологические процессы перешли в сторону образования вегетативной массы растений за счет высокой интенсивности облучения и привели к активному развитию листового аппарата земляники и образованию столонов. Однако при досвечивании земляники СИД К:С = 2:1 и СИД К:С = 8:1 у данного сорта была отмечена вторая волна плодоношения. В варианте опыта СИД К:С = 8:1 проявили ремонтантность 60% растений, в варианте СИД К:С = 2:1 — 40%.

Эти реакции являются сортоспецифичными и требуют детального изучения. Изменение характера фотопериодического контроля развития у растений в условиях светокультуры говорит также о необходимости тщательного подбора сортов в зависимости от световых режимов выращивания и, в частности, типа используемых облучателей.

У сортов Вечная весна и Фламенко изменений в характере фотопериодического контроля развития при досвечивании НЛВД выявлено не было.

Фотосинтетическая продуктивность растений зависит от структурно-функционального состояния фотосинтезирующего аппарата на всех уровнях организации [9]. Физиологические процессы, обуславливающие образование в листьях фотосинтетических пигментов, развитие их мезоструктуры и формирование ассимиляционной поверхности растения в целом могут по-разному реагировать на условия выращивания, в том числе на режим досвечивания растений и спектральный состав света [12]. В связи с этим представляется важным изучить содержание фотосинтетических пигментов в листьях растений земляники в условиях досвечивания СИД с заданным узкополосным спектром света, соответствующим спектральным максимумам поглощения хлорофилла. Содержание пигментов в листьях растений определяли в два срока: через 5 мес. после начала опыта (январь), когда уровень солнечной инсоляции, получаемой растениями, был минимальным и, следовательно, растения сильнее реагировали на дополнительное досвечивание; спустя 7 мес. после начала опыта (конец марта), когда длина естественного светового дня и приход ФАР увеличивались.

По показателям фотосинтетического аппарата земляники садовой отмечено существенное варьирование как в зависимости от условий освещения, так и в зависимости от сорта. Также прослеживается динамика изменения содержания пигментов в листьях растений спустя 5 и 7 мес. после закладки опыта (рис. 2)

В ходе анализа данных выявлена следующая закономерность распределения содержания пигмента хлорофилла, a по вариантам облучения (рис. 5): через 5 мес. после закладки опыта отмечали значительное увеличение содержания пигментов в вариантах с использованием светодиодных облучателей у всех сортов. В варианте СИД К:С = 2:1 содержание фотосинтетических пигментов у сортов земляники с разной фотопериодической реакцией было различным. Растения фотопериодически нейтральных сортов накапливали в листьях больше хлорофиллов, нежели короткодневные, что, по-видимому, обусловлено особой ритмикой их развития: для обеспечения непрерывного плодоношения растениям необходимо большее количество фотоассимилятов и более продолжительное функционирование фотосинтетического аппарата по сравнению с короткодневными сортами. Среди изученных генотипов выделяются сорта Богема и Сельва. В них наблюдали минимальное и максимальное содержание хлорофиллов соответственно. Важно отметить, что урожайность у этих сортов коррелировала с содержанием пигментов и в сравнении со всеми изученными также была, соответственно, минимальной и максимальной.

Что касается реакции растений земляники на уменьшение доли синей составляющей в спектре светодиодных облучателей (вариант СИД К:С = 8:1), то среди короткодневных сортов различия незначительны, минимальное содержание хлорофиллов отмечено у сортов Ранняя плотная, Говоровская и Снежана, однако их урожайность напротив была выше в условиях этого режима досвечивания. Это лишнее раз доказывает, что количественное содержание пигментов фотосинтеза в условиях спектрального режима с близким к естественному соотношением К и С света прямого влияния на урожайность не оказывает. Содержание хлорофиллов в листьях растений ремонтантных сортов так же, как и в варианте СИД К:С = 2:1 было выше по сравнению с короткодневными, наибольшее значение отмечено у сорта Фламенко.

В условиях режима с досвечиванием растений НЛВД наблюдали наименьшее содержание фотосинтетических пигментов в листьях по сравнению с другими вариантами. Более высокие показатели были у ремонтантных сортов, при этом наибольшее количество хлорофилла содержалось у растений сорта Елизавета II. Наиболее чувствительными к данному световому режиму оказались короткодневные сорта: так, содержание хлорофилла у сорта Вечная весна было вдвое-втрое меньше по сравнению с другими режимами досвечивания. Содержание хлорофиллов у сортов Фламенко и Сельва в варианте СИД К:С = 2:1 и СИД К:С = 8:1 также было в 1,4–1,5 раз выше, чем в контроле (НЛВД). Таким образом, досвечивание растений всех сортов земляники (как нейтральнодневных, так и короткодневных) узкополосным светом в красной и синей спектральных областях способствует более интенсивному синтезу хлорофиллов по сравнению с белым светом (контроль).

Реакция сортов на соотношение красной и синей составляющей в спектре света была различна, что обусловлено генетическими особенностями каждого сорта. Так, соотношение красного и синего света 2:1 стимулирует биосинтез хлорофиллов у большинства изученных сортов: Вечная весна, Говоровская, Ранняя плотная, Снежана, Елизавета II. В то же время уменьшение доли синего света в спектре (К:С = 8:1) способствовало наибольшему накоплению хлорофиллов у сортов Богема, Фламенко и Сельва.

Спустя 2 мес., на время второго учета (7 мес. после закладки опыта), наблюдали общее снижение уровня пигментов во всех вариантах, что было связано со старением растений.

У сорта Елизавета II в связи с различиями в фенологии (плодоношение только в вариантах СИД К:С = 2:1 и СИД К:С = 8:1) распределение пигментов отличалось от двух других сортов: содержание хлорофиллов на НЛВД в 1,3 раза превышало остальные варианты. У сортов Фламенко и Сельва содержание хлорофиллов оставалось высоким в варианте СИД К:С = 2:1 (в 1,3 раза больше контроля) (рис. 1).

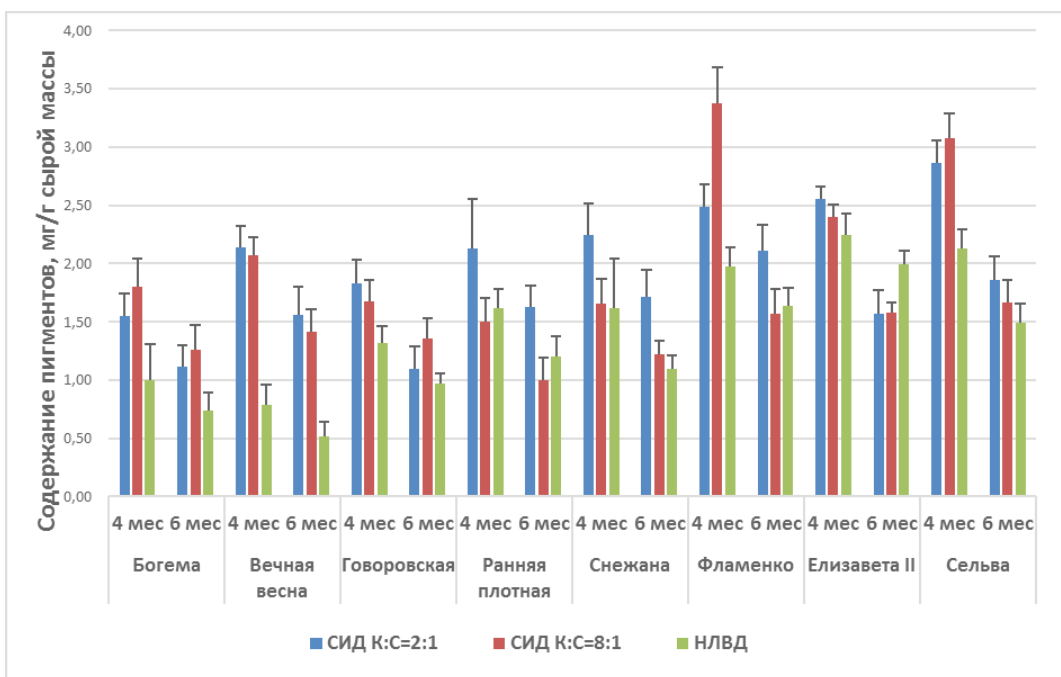


Рис. 1. Суммарное содержание хлорофиллов в листьях растений земляники, выращенных в условиях разных световых режимов, через 5 и 7 мес. после начала опыта, мг/г сырой массы

Почти у всех сортов земляники содержание каротиноидов в листьях было прямо пропорционально содержанию хлорофиллов и варьировалось в пределах 0,3–0,4 мг/г сырой массы. Максимальное их количество было в условиях досвечивания растений красно-синим светом (рис. 2).

Вероятно, это обусловлено светоулавливающей функцией каротиноидов, которая возрастает именно в сине-фиолетовой части спектра. У ремонтантных сортов эта закономерность была выражена слабее: сорта Фламенко и Сельва, у которых в условиях досвечивания СИД К:С = 8:1 при максимальном содержании хлорофиллов количество каротиноидов было наименьшим. Досвечивание НЛВД, а также СИД К:С = 2:1 способствовали равномерному и стабильному накоплению каротиноидов у всех изучаемых сортов земляники. В отличие от хлорофиллов существенных изменений в содержании каротиноидов в динамике (через 7 мес. после закладки опыта) обнаружено не было (данные не приводятся).

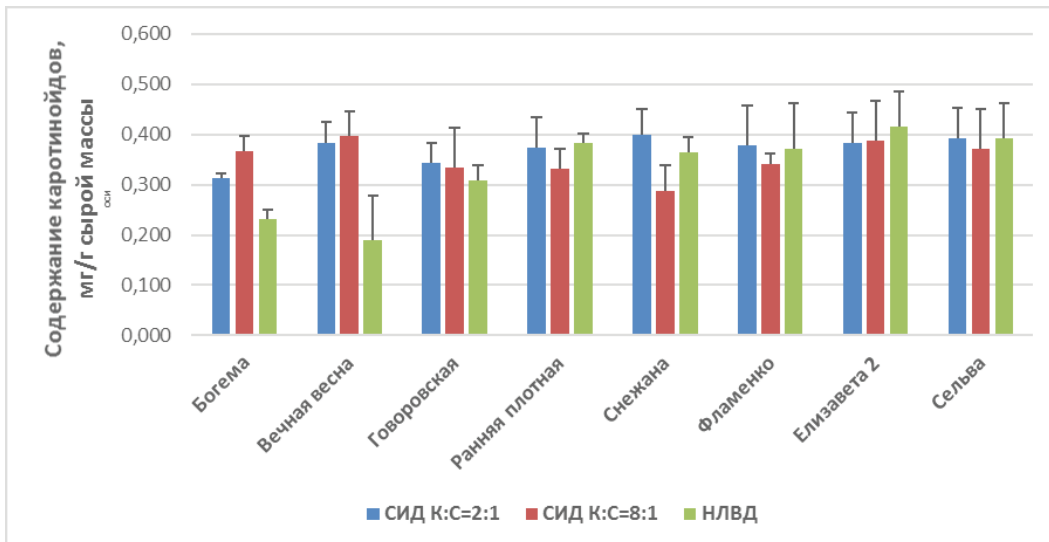


Рис. 2. Содержание каротиноидов в листьях растений земляники, выращенных в условиях разных световых режимов, через 5 мес. после закладки опыта, мг/г сырой массы

Немаловажным показателем, характеризующим фотосинтетическую активность растений, является интенсивность фотосинтеза (рис. 3).

Спустя 5 мес. после начала опыта у короткодневных сортов земляники отмечена следующая закономерность: наиболее низкая интенсивность видимого фо-

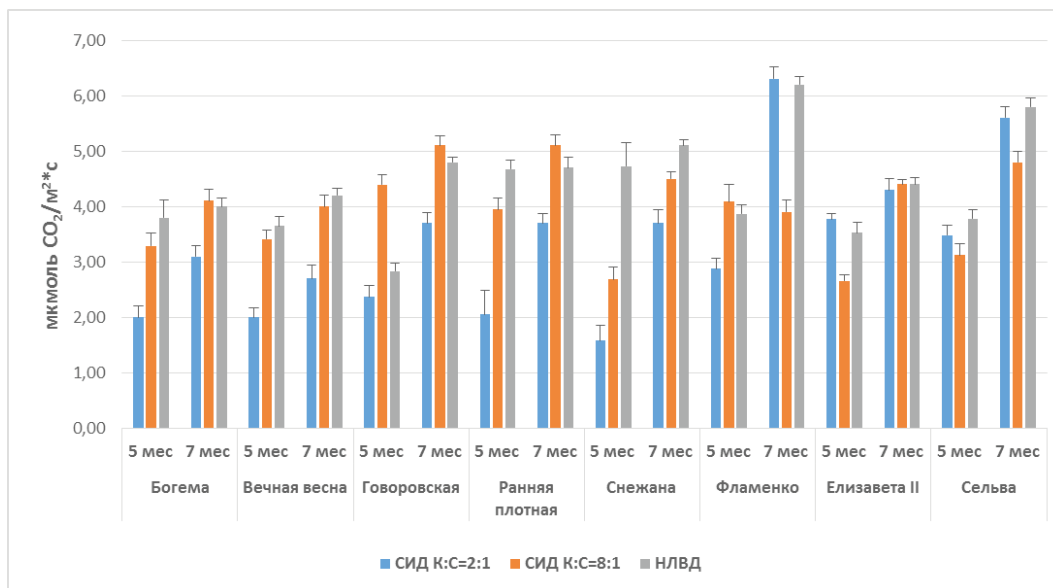


Рис. 3. Интенсивность фотосинтеза растений земляники, выращенных в условиях разных световых режимов, через 5 и 7 мес. после начала опыта, мкмольСО₂/м²*с

тосинтеза была в условиях досвечивания растений светодиодами К:С = 2:1, средняя — при досвечивании К:С = 8:1, максимальная — в варианте с НЛВД. Показатели интенсивности в контроле превышают другие варианты опыта в 2,5–4 раза в зависимости от сорта. Газометрические исследования проводили в январе, когда поступление естественной солнечной радиации минимально, и, следовательно, растения испытывали наиболее сильное влияние искусственных источников света. Исключение составил сорт Говоровская, интенсивность фотосинтеза растений которого была выше в условиях досвечивания светом с увеличенной долей красного составляющей спектра. Как было отмечено выше, суммарное содержание хлорофиллов в условиях досвечивания НЛВД, напротив, было минимальным у всех изученных сортов, что в свою очередь подтверждает отсутствие линейной связи между показателями содержания хлорофилла и интенсивностью фотосинтеза. Во второй срок определений наблюдали увеличение интенсивности видимого фотосинтеза во всех вариантах опыта и у всех сортов, что связано с большим приходом естественной ФАР.

Немного отличная реакция была отмечена у ремонтантных сортов. В вариантах с использованием СИД интенсивность фотосинтеза снижалась или оставалась на уровне контроля, что, возможно, связано с меньшей ППФ. При этом в динамике интенсивность фотосинтеза увеличивалась, особенно в вариантах НЛВД и СИД К:С = 2:1 у сортов Сельва и Фламенко.

В ходе эксперимента наблюдали различия в ростовых реакциях ремонтантных и неремонтантных сортов на качество света (табл. 2).

У всех неремонтантных сортов наиболее высокие растения были получены в условиях досвечивания СИД с низкой долей синего света в спектре. Наиболее заметна эта тенденция у сортов Богема и Вечная весна. Увеличение доли синего света в спектре излучения способствовало уменьшению высоты растений за счет сокращения размеров листовой пластинки и укорачивания черешков листьев, в результате чего габитус растений был более компактным.

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, в частности, существенное увеличение площади листьев. Н.Н. Протасова связывает подобное различие ростовых показателей с усилением синтеза ингибиторов роста (абсцизовой, оксикоричной кислот и др.) у растений под действием синего света. Это приводит к формированию у растений укороченных стеблей и более толстых листьев [15]. Промежуточные значения были получены в контроле под НЛВД.

Аналогичные закономерности прослеживаются по показателям массы листьев, их числа, а также площади листовой поверхности, что подтверждала и визуальная диагностика: растения в варианте СИД К:С = 8:1 были заметно крупнее, с более развитой вегетативной массой.

Противоположная реакция была у ремонтантных сортов, где наибольшей высотой отличались растения в варианте с досвечиванием НЛВД. Подобные закономерности прослеживаются в отношении длины черешков и показателей массы листьев, их числа, а также площади листовой поверхности.

По характеру структуры растений следует отметить, что у неремонтантных сортов в варианте СИД К:С = 8:1 преимущественно происходило наращивание вегетативной массы (надземной части) растений: у сортов Богема, Вечная весна и Говоровская. В то же время у ремонтантных сортов такая реакция была отмечена

Биометрические показатели растений земляники садовой в зависимости от способа досвечивания, 5 мес. после посадки

Сорт	Источник облучения	Высота растений, см	Число листьев, шт.	Площадь листьев, см ²	Сырой вес листьев, г	Длина корневой системы, см	Сырой вес корней, г	Соотношение веса надземной и подземной частей
Берега	СИД К:С = 2:1	17,6 ± 2,2	10,4 ± 2,7	706,4 ± 64,7	14,5 ± 0,7	34,0 ± 5,2	17,2 ± 1,3	0,8
	СИД К:С = 8:1 НЛВД	19,8 ± 1,4 17,9 ± 1,8	16,1 ± 1,5 15,9 ± 1,2	1106,1 ± 54,8 799,6 ± 71,3	26,4 ± 2,5 13,6 ± 1,3	36,6 ± 5,7 31,9 ± 4,6	19,6 ± 2,4 15,8 ± 3,4	1,3 0,9
Вечная весна	СИД К:С = 2:1	15,2 ± 2,1	12,8 ± 3,1	327,3 ± 46,2	12,9 ± 3,4	23,4 ± 5,3	70,0 ± 4,6	0,2
	СИД К:С = 8:1 НЛВД	18,1 ± 1,6 16,6 ± 1,3	36,1 ± 4,4 15,6 ± 6,4	722,4 ± 49,1 529,0 ± 22,4	23,1 ± 2,3 15,6 ± 5,7	24,1 ± 3,7 27,9 ± 6,2	62,7 ± 6,7 71,3 ± 8,8	0,4 0,2
Говоровская	СИД К:С = 2:1	15,1 ± 1,1	10,7 ± 5,2	621,7 ± 29,5	18,4 ± 2,9	21,8 ± 4,3	39,9 ± 4,9	0,5
	СИД К:С = 8:1 НЛВД	18,7 ± 0,7 16,7 ± 0,7	19,9 ± 4,7 14,8 ± 5,8	1215,1 ± 46,6 1003,2 ± 43,3	32,2 ± 2,7 21,7 ± 4,3	25,1 ± 5,6 22,9 ± 4,7	37,1 ± 6,1 49,7 ± 2,8	0,9 0,4
Ранняя плотная	СИД К:С = 2:1	18,7 ± 1,2	15,4 ± 2,5	1249,7 ± 64,6	20,57 ± 2,3	31,8 ± 6,7	78,4 ± 8,0	0,3
	СИД К:С = 8:1 НЛВД	21,1 ± 0,8 20,5 ± 1,5	17,5 ± 3,2 17,6 ± 4,1	1375,6 ± 85,3 1426,1 ± 42,9	24,1 ± 3,7 22,2 ± 4,2	33,0 ± 5,6 29,3 ± 5,5	85,2 ± 12,7 61,9 ± 9,6	0,3 0,5
Снежная	СИД К:С = 2:1	16,4 ± 2,8	12,7 ± 3,8	590,4 ± 87,1	16,5 ± 3,4	23,7 ± 3,9	30,1 ± 3,5	0,5
	СИД К:С = 8:1 НЛВД	22,2 ± 1,4 21,4 ± 0,9	17,8 ± 2,7 16,9 ± 4,8	1402,4 ± 54,9 1264,7 ± 41,4	21,4 ± 3,4 19,0 ± 1,9	29,4 ± 5,2 28,6 ± 4,9	52,4 ± 4,8 50,4 ± 5,1	0,4 0,4

Сорт	Источник облучения	Высота растений, см	Число листьев, шт.	Площадь листьев, см ²	Сырой вес листьев, г	Длина корневой системы, см	Сырой вес корней, г	Соотношение веса надземной и подземной частей
Фламен-ко (Р)	СИД К:С = 2:1	12,1 ± 1,3	50 ± 2,9	359,1 ± 19,5	17,1 ± 4,4	32,1 ± 1,2	22,0 ± 4,4	0,8
	СИД К:С = 8:1	11,2 ± 0,5	55,7 ± 6,4	452,3 ± 30,1	24,0 ± 1,7	34,1 ± 4,8	22,1 ± 1,7	1,1
	НЛВД	11,0 ± 1,3	79,3 ± 10,3	697,9 ± 91,4	34,7 ± 4,9	31,6 ± 4,5	26,5 ± 2,2	1,3
Елизавета II (Р)	СИД К:С = 2:1	13,2 ± 1,2	25,3 ± 1,3	907,3 ± 137,4	29,0 ± 6,3	25,8 ± 2,3	33,7 ± 6,3	0,9
	СИД К:С = 8:1	11,5 ± 0,3	18,3 ± 3,8	733,7 ± 55,9	25,2 ± 2,0	29,8 ± 2,0	26,8 ± 2,0	0,9
	НЛВД	13,6 ± 2,5	40,7 ± 1,7	1494,2 ± 146,6	61,0 ± 6,8	27,4 ± 4,2	50,9 ± 6,8	1,2
Сельва (Р)	СИД К:С = 2:1	13,4 ± 0,7	32,0 ± 5,3	791,9 ± 162,8	26,0 ± 2,9	25,1 ± 2,9	17,0 ± 2,9	1,5
	СИД К:С = 8:1	12,0 ± 0,5	27,7 ± 6,2	836,8 ± 125,0	33,5 ± 2,6	24,5 ± 1,6	17,5 ± 2,6	1,9
	НЛВД	14,5 ± 0,8	50,3 ± 2,7	1206,6 ± 125,7	44,1 ± 1,6	29,4 ± 1,6	31,6 ± 1,6	1,4

в условиях досвечивания НЛВД: у сортов Фламенко, Елизавета II и Сельва значения отношения массы надземной части растений к подземной составили 1,3, 1,2, 1,4 соответственно.

При этом необходимо отметить, что в целом надземная часть растений (количество листьев, их масса) короткодневных сортов спустя 5 месяца после начала опыта была значительно меньше, чем у ремонтантных. Корневая система, напротив, была развита сильнее у растений короткодневных сортов. Поэтому значения отношения веса надземной части растений к подземной у этих сортов сильно отличаются: у короткодневных этот показатель колеблется в пределах 0,2–0,5 (исключение сорт Богема), у ремонтантных сортов — 0,9–1,9.

Второй учет биомассы показал сильные различия в биометрических показателях короткодневных и ремонтантных сортов, особенностях нарастания вегетативной массы, связанные с их различной физиологической реакцией на длину светового дня (табл. 3).

У всех короткодневных сортов отмечено сильное увеличение общей биомассы растений. В зависимости от сорта в 1,5–2 раза увеличились такие показатели, как высота растений, количество листьев, площадь листьев и, следовательно, биомасса листьев. Это связано с увеличением продолжительности естественного дня, большей ППФ и, как следствие, более интенсивной фотосинтетической деятельностью; соответственно у растений формировалась большая площадь ассимилирующей поверхности. Также активное накопление биомассы связано с подготовкой растений к периоду плодоношения.

Изменилась реакция растений на качественный состав света. В первом анализе, проведенном зимой, интенсивность естественного освещения была очень низкой, следовательно, растения испытывали максимальное влияние искусственных источников света. При этом все 5 сортов имели максимально развитую надземную часть в варианте СИД К:С = 8:1. Во второй срок, весной, увеличилась длина естественного светового дня, ППФ, в результате чего были отмечены изменения в динамике накопления биомассы у ряда сортов. Так, у Богемы, Вечной весны и сорта Говоровская в отличие от первого учета наибольшая высота растений, число листьев, площадь их поверхности и сырая масса были в контроле — варианте с НЛВД. У сортов Ранняя плотная и Снежана изменений в динамике обнаружено не было: наилучшие показатели развития вегетативной массы остались в условиях досвечивания СИД с низкой долей синего света.

Иная реакция отмечена у ремонтантных сортов, у которых в результате активного плодоношения с октября постепенно происходило истощение растений, при этом по высоте заметных различий в динамике выявлено не было. Однако по числу листьев наблюдали существенные различия по сравнению с первым учетом. Наибольшее количество листьев было в варианте с НЛВД у трех сортов, несколько меньше листьев было в вариантах СИД К:С = 2:1 и СИД К:С = 8:1. Наибольшее число листьев формировали растения сорта Сельва, наименьшее — Фламенко. Показатели площади листьев во втором учете по вариантам опыта выравнивались и стремились к значениям контрольного варианта (сорт Фламенко), в некоторых случаях превышая его (сорт Елизавета II).

По характеру структуры растений следует отметить, что у неремонтантных сортов в динамике сильных изменений в соотношении надземной и подземной частей растений обнаружено не было — у них равномерно происходило увеличение как массы надземной части, так и массы корневой системы. У ремонтантных сортов

Биометрические показатели растений земляники садовой в зависимости от способа досвечивания, 7 мес. после начала опыта

Сорт	Источник облучения	Высота растений, см	Число листьев, шт.	Площадь листьев, см ²	Сырой вес листьев, г	Длина корневой системы, см	Сырой вес корней, г	Соотношение веса надземной и подземной частей
Борема	СИД К:С = 2:1	21,6 ± 3,4	22 ± 4,2	1404,7 ± 118,9	30,5 ± 1,9	28 ± 4,1	32,8 ± 3,4	0,9
	СИД К:С = 8:1	19,3 ± 1,2	25,1 ± 2,6	1289 ± 108,1	29,1 ± 1,4	26,1 ± 8,1	33,1 ± 5,1	0,9
	НЛВД	22,4 ± 0,4	24,5 ± 3,1	1589 ± 89,4	32,8 ± 0,9	27,4 ± 2,0	29,9 ± 4,3	1,1
Вечная	СИД К:С = 2:1	24,1 ± 3,1	36 ± 5,4	707,7 ± 89,4	30,8 ± 4,1	20,9 ± 5,1	92,6 ± 2,9	0,3
	СИД К:С = 8:1	17,9 ± 0,7	37,8 ± 5,4	602,7 ± 22,9	25,8 ± 1,4	18,4 ± 6,4	99,1 ± 15,1	0,3
	НЛВД	24,6 ± 1,5	38 ± 8,1	801,9 ± 54,8	28,4 ± 5,2	23,7 ± 5,1	85,4 ± 11,8	0,3
Горбов-ская	СИД К:С = 2:1	21,8 ± 1,5	15,4 ± 6,4	892,4 ± 11,5	33,6 ± 1,8	17,1 ± 2,8	65,4 ± 4,5	0,5
	СИД К:С = 8:1	19,4 ± 1,1	22 ± 3,5	1459,9 ± 46,5	36,9 ± 4,8	19,4 ± 2,5	59,8 ± 11,4	0,6
	НЛВД	25,7 ± 3,1	26,4 ± 7,1	1604,8 ± 558	40,7 ± 3,6	16,7 ± 3,1	70,6 ± 3,9	0,6
Ранняя	СИД К:С = 2:1	19,3 ± 1,9	13,1 ± 4,6	1624,3 ± 79,6	22,49 ± 1,7	26,4 ± 2,0	100,5 ± 10,0	0,2
	СИД К:С = 8:1	26,1 ± 1,4	24,5 ± 5,2	1756,7 ± 106,4	26,4 ± 2,8	28,4 ± 3,1	116,9 ± 21,5	0,2
	НЛВД	23,2 ± 1,2	22,1 ± 4,3	1640 ± 77,1	25,4 ± 3,9	23,4 ± 1,5	95,4 ± 16,4	0,3

Снежана	СИД К:С = 2:1	20,1 ± 3,1	11 ± 2,5	730,4 ± 51,1	18,3 ± 5,7	18,9 ± 3,6	37,8 ± 5,4	0,5
	СИД К:С = 8:1	24,6 ± 1,3	26,2 ± 0,9	1608,4 ± 23,4	25,4 ± 2,1	27,9 ± 2,4	67,8 ± 3,7	0,4
	НЛВД	23,3 ± 1,1	22,9 ± 5,1	1462,4 ± 23,5	24,8 ± 1,5	22,4 ± 2,5	75,4 ± 8,8	0,3
Фламен-ко (p)	СИД К:С = 2:1	13,2 ± 1,5	17,3 ± 4,3	576,6 ± 45,1	23,7 ± 1,8	26,3 ± 3,6	30,9 ± 1,8	0,8
	СИД К:С = 8:1	13,1 ± 1,1	20,7 ± 6,8	629,1 ± 129,3	25,5 ± 4,9	22,7 ± 2,0	25,9 ± 4,3	1,0
	НЛВД	15,3 ± 2,1	35,3 ± 1,2	788,3 ± 67,5	33,0 ± 4,4	22,3 ± 2,3	31,6 ± 2,9	1,0
Елизавета II (p)	СИД К:С = 2:1	16,8 ± 0,5	30,7 ± 1,9	1369,6 ± 177,9	48,8 ± 7,4	23,4 ± 1,3	55,0 ± 4,2	0,9
	СИД К:С = 8:1	14,6 ± 1,0	42,3 ± 4,6	1790,4 ± 50,9	67,6 ± 1,5	24,5 ± 1,1	62,8 ± 7,0	1,1
	НЛВД	11,8 ± 0,4	38,7 ± 3,2	1139,2 ± 173,3	46,3 ± 7,0	21,1 ± 1,0	75,3 ± 14,2	0,6
Селва (p)	СИД К:С = 2:1	14,4 ± 1,0	39,3 ± 8,0	1167,4 ± 122,6	43,5 ± 8,3	25,9 ± 1,6	54,6 ± 6,6	0,8
	СИД К:С = 8:1	12,0 ± 1,4	25,3 ± 2,3	627,7 ± 117,2	20,8 ± 4,5	22,8 ± 2,0	24,7 ± 2,0	0,8
	НЛВД	14,1 ± 0,8	54,7 ± 2,3	1327,9 ± 69,0	44,8 ± 1,1	27,1 ± 2,0	49,5 ± 4,0	0,9

соотношение надземной части к подземной во втором учете по сравнению с первым несколько изменялось: значения стремились к единице либо были меньше единицы, что, возможно, было связано с истощением растений в результате продолжительного первого плодоношения, со старением листьев, их более быстрым отмиранием и, следовательно, меньшей долей вегетативной надземной массы. Закономерности распределения массы корневой системы по вариантам опыта были схожи с данными первого учета, отличаясь увеличением общей массы корневой системы по всем вариантам опыта.

Важным интегральным показателем мезоструктуры листа является удельная поверхностная плотность листьев (УППЛ). Это показатель отражает содержание биомассы на единицу площади листовой пластинки и косвенно может служить мерой ее толщины. Чем больше величина УППЛ, тем эффективнее идут процессы фотосинтеза, так как в расчете на единицу поверхности листа синтезируется большая биомасса. Кроме того, значение УППЛ листа имеет генетическую обусловленность и у различных генотипов оно различно [1]. Реакция сортов на условия освещения значительно различалась: наибольшие значения УППЛ были выявлены в вариантах СИД К:С = 2:1 у большинства сортов, наименьшие значения — в варианте СИД К:С = 8:1 (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

Биометрические показатели (сухая биомасса) растений земляники при разных световых режимах через 7 мес. после начала опыта

Сорт	Источник облучения	Сухой вес листьев, г	Сухой вес корней, г	УППЛ, сухая мг/см ²
Богема	СИД К:С = 2:1	9,2 ± 2,5	6,6 ± 1,8	8,5 ± 0,4
	СИД К:С = 8:1	8,3 ± 1,4	5,9 ± 0,4	7,5 ± 0,8
	НЛВД	9,1 ± 0,6	4,9 ± 0,9	6,1 ± 0,6
Вечная весна	СИД К:С = 2:1	8,8 ± 1,7	20,6 ± 3,5	5,2 ± 0,1
	СИД К:С = 8:1	8,9 ± 2,2	20,6 ± 4,1	4,4 ± 0,5
	НЛВД	7,6 ± 1,8	17,1 ± 3,5	4,6 ± 0,5
Говоровская	СИД К:С = 2:1	9,6 ± 3,1	14,5 ± 2,9	6,8 ± 0,8
	СИД К:С = 8:1	11,9 ± 3,0	11,8 ± 2,1	5,5 ± 0,4
	НЛВД	12,3 ± 2,8	9,2 ± 1,5	5,9 ± 0,5
Ранняя плотная	СИД К:С = 2:1	6,8 ± 0,9	18,3 ± 3,8	4,9 ± 0,3
	СИД К:С = 8:1	8,8 ± 0,6	23,9 ± 4,2	4,4 ± 0,1
	НЛВД	8,5 ± 0,7	17,7 ± 4,0	5,0 ± 0,2
Снежана	СИД К:С = 2:1	6,1 ± 0,5	5,8 ± 0,6	6,6 ± 0,7
	СИД К:С = 8:1	8,5 ± 1,1	11,1 ± 0,9	5,1 ± 0,4
	НЛВД	8,3 ± 1,5	12,6 ± 1,4	6,7 ± 0,6

Сорт	Источник облучения	Сухой вес листьев, г	Сухой вес корней, г	УППЛ, сухая мг/см ²
Фламенко (р)	СИД К:С = 2:1	6,5 ± 0,6	3,8 ± 0,3	5,4 ± 0,7
	СИД К:С = 8:1	7,1 ± 1,3	3,8 ± 0,9	3,8 ± 1,0
	НЛВД	9,9 ± 1,2	4,3 ± 0,5	3,5 ± 1,2
Елизавета II (р)	СИД К:С = 2:1	13,8 ± 1,9	10,9 ± 0,2	2,1 ± 0,3
	СИД К:С = 8:1	19,2 ± 0,7	11,9 ± 1,9	1,7 ± 0,2
	НЛВД	15,7 ± 2,2	17,8 ± 3,4	2,2 ± 0,1
Сельва (р)	СИД К:С = 2:1	12,5 ± 2,8	9,1 ± 1,2	2,8 ± 0,3
	СИД К:С = 8:1	6,2 ± 1,2	3,8 ± 0,1	4,9 ± 1,3
	НЛВД	14,3 ± 0,5	8,5 ± 0,9	2,3 ± 0,3

Повышенное содержание синего света индуцировало торможение роста осевых органов и площади листьев, при этом формировались листья с большей УПП.

Листья неремонтантного сорта Богема и ремонтантного Фламенко характеризовались наиболее высокой по сравнению с другими сортами УПП по трем вариантам освещения, при этом наибольшее значение получено в варианте СИД К:С = 2:1. В целом у неремонтантных сортов показатели УППЛ были выше по сравнению с ремонтантными.

По завершении этапа плодоношения у всех сортов наступает массовый переход к вегетативному размножению. Установлено сильное влияние светового режима на особенности и интенсивность формирования столонов (усоплетей) — органов вегетативного размножения земляники (рис. 4).

Количество сформированных усов контроле (НЛВД) было в 4–5 раз больше по сравнению с досвечиванием светодиодами (у неремонтантных сортов) и в 2,5–3 (у ремонтантных). Таким образом, досвечивание растений узкоспектральным светом в зоне физиологически активной радиации ингибирует закладку вегетативных почек. Если принимать во внимание тот факт, что в течение дня растения освещаются естественным светом полного спектрального состава (солнечный свет), вероятно, ключевую роль в данной реакции играют период, когда растения испытывают влияние только узкоспектрального света (утренние и вечерние часы). Такой эффект носит название end-of-day effect и оказывает заметное действие на фотоморфогенез разных культур [19, 22, 25]. Так, 30-минутное досвечивание (после 9-часового светового дня) растений хризантемы красным и дальним красным светом вызывает уменьшение площади листовой поверхности листьев и удлинение черешков [19, 20]. Досвечивание красным светом проростков тыквы способствует удлинению гипокотила на 59–65% по сравнению с контролем [25].

Количественные показатели продуктивности и структуры урожая сильно варьировались в зависимости от генетических особенностей сорта, а также от условий выращивания (табл. 5).

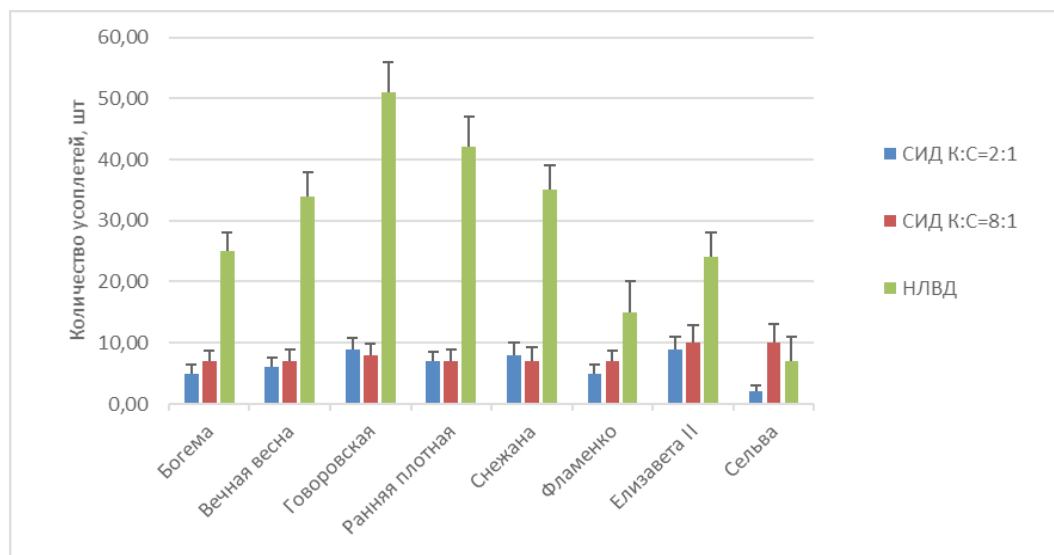


Рис. 4. Количество усоплетей, сформированных растениями земляники садовой при разных световых режимах, 7 мес. после начала опыта, шт.

Высокая доля синего света в спектре (вариант СИД К:С = 2:1) приводит к уменьшению количественных показателей урожая у большинства короткодневных сортов и ремонтантного сорта Фламенко, что позволяет сделать вывод о нецелесообразности выращивания земляники данных сортов в условиях этого светового режима.

Уменьшение синей составляющей в световом потоке (вариант СИД К:С = 8:1) способствует значительному увеличению урожайности растений сортов Говоровская, Ранняя плотная и Снежана, показатели которой на данном варианте были максимальными и превышали контроль (НЛВД) в 1,9–3,8 раз, и вариант СИД 2:1 — в 1,9–5,5 раз (сорт Говоровская и Снежана соответственно).

Досвечивание растений НЛВД обеспечивало наиболее высокую продуктивность у нейтральнодневных сортов Фламенко и Сельва. Необычная реакция была у сорта Елизавета II, у растений которого на данном варианте освещения не наблюдалось второй волны плодоношения. Вместо закладки цветочных почек шло активное формирование столонов — органов вегетативного размножения. В результате урожайность этого сорта при выращивании в условиях освещения натриевыми лампами была низкой и уступала урожайности короткодневных сортов, выращенных при светодиодном освещении (в случае варианта К:С = 8:1). Также отмечены различия в структуре урожая: размер и масса плодов короткодневных сортов сильно варьировались, однако средняя масса ягод была выше, чем у фотопериодически нейтральных сортов.

Число сформировавшихся цветков у нейтральнодневных сортов значительно выше за счет двух волн плодоношения, однако фактическая вызреваемость плодов (отношение количества полученных плодов к общему количеству цветков) ниже и составляет порядка 50% (у короткодневных 60–70%), что вызвано достаточно высоким уровнем абортивности цветков.

Таблица 5

**Продуктивность и структура урожая растений земляники
в условиях разных световых режимов**

Сорт	Источник облучения	Число цветков, шт/раст.	Число плодов, шт/раст.	Средняя масса плода, г	Вызреваемость, %	Продуктивность, г/раст.
Богема	СИД К:С = 2:1	18 ± 1,9	10 ± 1,8	5,4 ± 0,1	56	39,51
	СИД К:С = 8:1	10 ± 0,7	6 ± 2,5	4,5 ± 0,6	60	21,25
	НЛВД	48 ± 3,8	26 ± 3,5	6,0 ± 0,4	54	142,56
Вечная весна	СИД К:С = 2:1	25 ± 2,1	5 ± 1,9	3,4 ± 0,5	20	18,13
	СИД К:С = 8:1	50 ± 4,0	19 ± 2,8	4,6 ± 0,2	38	68,51
	НЛВД	51 ± 3,8	19 ± 3,4	3,5 ± 0,6	37	70,11
Говоровская	СИД К:С = 2:1	21 ± 1,7	16 ± 2,4	5,0 ± 0,1	76	65,43
	СИД К:С = 8:1	27 ± 2,3	20 ± 1,8	5,8 ± 0,9	74	127,33
	НЛВД	26 ± 1,7	19 ± 2,2	3,7 ± 0,5	73	65,24
Ранняя плотная	СИД К:С = 2:1	18 ± 1,5	12 ± 1,9	4,5 ± 0,5	67	52,26
	СИД К:С = 8:1	29 ± 3,1	22 ± 3,3	6,7 ± 0,2	76	148,84
	НЛВД	15 ± 1,7	11 ± 1,7	4,8 ± 0,8	73	50,46
Снежана	СИД К:С = 2:1	8 ± 1,2	5 ± 0,9	4,8 ± 0,7	63	23,61
	СИД К:С = 8:1	30 ± 2,7	21 ± 2,3	6,2 ± 0,6	70	130,44
	НЛВД	14 ± 0,8	8 ± 1,0	5,2 ± 0,7	57	34,73
Фламенко (р)	СИД К:С = 2:1	35 ± 3,7	21 ± 1,0	5,4 ± 0,6	62	121,91
	СИД К:С = 8:1	42 ± 6,8	23 ± 2,3	5,2 ± 0,5	55	126,99
	НЛВД	67 ± 3,1	36 ± 3,6	4,6 ± 0,4	54	159,85
Елизавета II (р)	СИД К:С = 2:1	22 ± 3,4	15 ± 1,7	4,1 ± 0,4	68	64,99
	СИД К:С = 8:1	31 ± 5,6	18 ± 4,2	3,4 ± 0,3	58	61,59
	НЛВД	18 ± 1,8	11 ± 2,9	4,6 ± 0,3	61	55,36
Сельва (р)	СИД К:С = 2:1	98 ± 2,6	46 ± 1,2	6,0 ± 0,2	47	241,39
	СИД К:С = 8:1	63 ± 7,3	34 ± 2,2	4,7 ± 0,3	54	166,42
	НЛВД	140 ± 14,0	61 ± 9,1	4,4 ± 0,4	44	259,83

Таким образом, продолжительность плодоношения ремонтантных сортов и количество сформированных цветков значительно превышали аналогичные показатели короткодневных сортов. При этом продуктивность последних в условиях досвечивания СИД с низким содержанием синего света (вариант К:С = 8:1) соизмерима с показателями урожайности ремонтантного сорта Фламенко и значительно превышает продуктивность ремонтантного сорта Елизавета II. Это доказывает возможность и перспективность использования СИД с соотношением К:С = 8:1 для выращивания земляники в теплице в условиях светокультуры [21, 23, 24].

С точки зрения целесообразности и эффективности выращивания в светокультуре на основе узкополосных светодиодов более перспективными можно считать землянику сортов Говоровская, Ранняя плотная и Снежана. Растения характеризовались наиболее высокой продуктивностью при досвечивании СИД К:С = 8:1: урожайность превышала контроль в 1,9 раза у сорта Говоровская, в 2,9 раза у сорта Ранняя плотная и в 3,8 раза у сорта Снежана.

В настоящее время выведение сортов с улучшенным биохимическим составом обусловлено все возрастающей потребностью в экологически чистых пищевых продуктах с компонентным составом, сбалансированным по содержанию питательных и биологически активных веществ. Одними из важных компонентов биохимического состава, определяющим плотность, транспортабельность свежих плодов, расход сырья при переработке, являются растворимые сухие вещества. В среднем содержание растворимых сухих веществ у сортов земляник колеблется в пределах 8–10%. В настоящее время особый интерес представляют сорта, содержащие в плодах растворимых сухих веществ более 12% [11]. Анализ содержания сухих веществ показал влияние как разных световых режимов, так и сортовых особенностей растений на содержание сухого вещества в плодах (табл. 6).

Т а б л и ц а 6

Содержание сухих водорастворимых веществ в плодах земляники в условиях разных световых режимов, %

Сорт	СИД К:С = 2:1	СИД К:С = 8:1	НЛВД
Богема	8,4 ± 1,5	10,9 ± 2,5	13,5 ± 3,6
Вечная весна	8,7 ± 1,0	11,4 ± 2,8	9,0 ± 2,2
Говоровская	8,4 ± 1,3	10,3 ± 2,4	15,2 ± 2,8
Ранняя плотная	8,5 ± 0,9	9,07 ± 1,6	15,7 ± 3,1
Снежана	13,6 ± 2,8	10,8 ± 1,9	18,8 ± 2,8
Фламенко	7,9 ± 0,8	3,3 ± 0,7	10,2 ± 1,1
Елизавета II	6,3 ± 0,4	4,9 ± 1,0	8,1 ± 1,7
Сельва	9,6 ± 1,0	7,3 ± 1,5	10,9 ± 1,6

У всех изученных в опыте сортов земляники, независимо от их фотопериодической реакции, наибольшее количество сухих веществ в плодах было в условиях контроля (НЛВД). В условиях досвечивания узкоспектральным светом содержание сухих веществ в плодах всех сортов было ниже, чем в контроле. При этом реакция

сортов на разное соотношение красного и синего света в светодиодных облучателях была различной. Наибольшее содержание сухих растворимых веществ практически у всех короткодневных сортов (кроме Снежаны) было в варианте СИД К:С = 8:1. Обратная реакция была у нейтральнодневных сортов, а также короткодневного сорта Снежана, наиболее благоприятным режимом досвечивания для которых оказался вариант СИД К:С = 2:1, т.е. с высокой долей синей составляющей в спектре светового потока.

Таким образом, сорта земляники с разной фотопериодической реакцией по-разному реагируют на соотношение разных диапазонов в радиационных спектрах при досвечивании растений. Если говорить о сортовых особенностях, то следует отметить, что общее содержание сухих веществ в плодах разных сортов сильно варьировалось независимо от режима досвечивания растений. Растения короткодневных сортов (например, Говоровская) содержали сухих веществ примерно в 1,5 раза больше, чем нейтральнодневные.

Накопление сахаров в плодах земляники садовой варьируется в широких пределах в зависимости от сорта и от условий выращивания. Анализ сахаров в плодах показал существенные колебания в их содержании в зависимости как от сортовой принадлежности растений, так и от типа источника освещения (табл. 7).

Т а б л и ц а 7

**Содержание сахаров в плодах земляники
при разных световых режимах, % от сырой массы**

Сорт	Источник облучения		
	СИД К:С = 2:1	СИД К:С = 8:1	НЛВД
Богема	7,3 ± 1,2	9,9 ± 0,8	11,5 ± 1,4
Вечная весна	6,3 ± 0,1	10,1 ± 0,9	7,4 ± 0,4
Говоровская	5,3 ± 0,3	9,2 ± 1,2	14,0 ± 1,6
Ранняя плотная	6,9 ± 0,4	8,2 ± 0,7	11,4 ± 1,4
Снежана	11,4 ± 0,6	9,0 ± 0,6	16,9 ± 0,8
Фламенко (р)	5,8 ± 0,2	2,6 ± 0,7	9,4 ± 0,7
Елизавета 2 (р)	4,2 ± 0,7	3,4 ± 0,6	7,1 ± 1,2
Сельва (р)	7,7 ± 0,4	5,4 ± 1,2	5,3 ± 0,9

У большинства сортов (Богема, Говоровская, Ранняя плотная, Фламенко, Елизавета II) наибольшее количество сахаров накопилось в условиях контроля — досвечивания растений НЛВД, где их содержание сильно превышает среднестатистические данные по данной культуре в норме. Также высокое содержание сахаров было отмечено у растений, выращенных в условиях досвечивания СИД с 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 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% 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.

Таким образом, короткодневные сорта по накоплению сухих растворимых веществ и общих сахаров заметно превосходят ремонтантные сорта. Известно также превосходство неремонтантных сортов по антиоксидантной активности плодов (содержанию флавоноидов, антоцианов и др.) [11].

Установлено влияние спектрального состава света на содержание аскорбиновой кислоты (витамина С) в плодах земляники (табл. 8).

Т а б л и ц а 8

Содержание аскорбиновой кислоты в плодах земляники, мг% от сырой массы

Сорт	Источник облучения		
	СИД К:С = 2:1	СИД К:С = 8:1	НЛВД
Богема	7,6 ± 0,6	7,3 ± 0,7	6,9 ± 0,8
Вечная весна	5,0 ± 0,8	4,6 ± 0,5	5,0 ± 1,1
Говоровская	6,0 ± 0,4	4,9 ± 0,9	9,8 ± 2,4
Ранняя плотная	2,2 ± 0,6	6,2 ± 1,2	8,6 ± 1,6
Снежана	5,8 ± 0,9	3,2 ± 1,2	7,2 ± 1,4
Фламенко	17,8 ± 1,4	13,1 ± 0,7	15,9 ± 3,1
Елизавета II	19,5 ± 2,3	8,2 ± 1,0	16,4 ± 1,6
Сельва	8,4 ± 1,0	10,9 ± 1,5	16,9 ± 3,3

Ремонтантные сорта независимо от условий выращивания содержали значительно большее количество аскорбиновой кислоты в плодах, чем короткодневные. Сортная реакция на разные световые режимы сильно различалась. У ряда сортов максимальное содержание витамина С в плодах было отмечено при досвечивании СИД с высокой долей синего спектра в световом потоке (Богема, Фламенко и Елизавета 2), у других сортов — в контроле (Говоровская, Ранняя плотная, Снежана, Сельва). Вместе с тем уменьшение доли синего света в спектре у всех сортов вело к уменьшению содержания аскорбиновой кислоты.

Выводы

1. Показана принципиальная возможность выращивания земляники садовой в условиях светокультуры с досвечиванием растений облучателями на основе узкополосных светоиспускающих диодов (СИД).

2. Досвечивание растений всех изученных сортов земляники садовой (как короткодневных, так и ремонтантных) узкополосным светом в красной и синей области

спектра способствовало более интенсивному синтезу хлорофиллов в листьях, чем при облучении растений натриевыми лампами высокого давления. Увеличение доли синего света в спектре излучения облучателей на основе СИД стимулировало биосинтез хлорофиллов у растений большинства изученных сортов, кроме сортов Богема, Фламенко и Сельва.

3. Досвечивание растений короткодневных (неремонтантных) сортов земляники светом СИВ с повышенным содержанием синего света (К:С = 2:1) сортов вызвало уменьшение размеров листовых пластинок и укорачивание черешков листьев. Таким образом, высокая доля синего света в спектре излучения светильника вызывает торможение роста вегетативных органов растений земляники в сравнении с другими вариантами. Количество сформированных усов у всех сортов земляники независимо от их фотопериодической реакции в контроле (НЛВД) было в 4–5 раз больше у неремонтантных сортов и в 2,5–3 раза у ремонтантных сортов по сравнению со светокультурой на основе досвечиванием СИД.

4. Наиболее высокая продуктивность в условиях светокультуры была у неремонтантных сортов Говоровская, Ранняя плотная, Снежана (в варианте СИД К:С = 8:1) и ремонтантных сортов Фламенко и Сельва (в варианте НЛВД). Данные сорта земляники можно рекомендовать для дальнейших исследований по выращиванию в светокультуре.

5. Наибольшее содержание сахаров в плодах отмечено у растений в условиях выращивания с досвечиванием НЛВД. Также повышенное содержание сахаров было у растений, выращенных в условиях досвечивания СИД варианта К:С = 8:1. Короткодневные сорта по содержанию в плодах растворимых сухих веществ и сахаров заметно превосходят ремонтантные сорта. Наибольшее содержание витамина С в плодах у одних сортов было отмечено в варианте СИД К:С = 2:1 (Богема, Фламенко и Елизавета 2), у других сортов — в варианте с НЛВД (Говоровская, Ранняя плотная, Снежана, Сельва). Однако уменьшение доли синего света в спектре (СИД К:С = 8:1) у всех сортов вело к уменьшению содержания аскорбиновой кислоты.

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

Библиографический список

1. *Абдуллаев Х.А., Каримов Х.Х.* Индексы фотосинтеза в селекции хлопчатника. Душанбе: Дониш, 2001. 267 с.
2. *Беркович Ю.А., Кривобок Н.М., Смолянина С.О., Ерохин А.Н.* Космические оранже-реи: настоящее и будущее. М.: ООО Фирма «Слово», 2005. 367 с.
3. *Брандт А.Б.* Использование эффективных единиц. Светотехника. № 1. 1980. С. 24–26.
4. *Валеев Р.А., Кондратьева Н.П., Кондратьева М.Г.* Использование светодиодных осветительных установок (LED) при выращивании меристемных растений // Известия Международной академии аграрного образования (МАО). 2012. Вып. 14. Т. 2. С. 373–375.
5. *Герасимчук Ю.В., Скрыпник Н.Н., Корж Б.В.* Светоимпульсная облучательная установка для сооружений защищенного грунта // В сб.: Проблемы фотоэнергетики растений и повышение урожайности. Львов, 1984. 240 с.
6. *Гладин Д.В.* Использование светодиодных технологий в сельском хозяйстве // Полупроводниковая светотехника. 2012. № 2. С. 60–65.

7. *Говорова Г.Ф., Говоров Д.Н.* Земляника. М.: Издательский дом МСГ, 2010. С. 57–71.
8. *Ермаков Е.И.* Методы биохимического исследования растений. Ленинград: Колос, 1972. 456 с.
9. *Зайцева Т.А., Луговцева К.А.* Формирование структуры и развитие функциональной активности фотосинтетического аппарата в клетках разных зон роста первичного листа пшеницы под влиянием света различного спектрального состава // Физиология и биохимия культур растений. 1994. Т. 26. С. 444–450.
10. *Карначук Р.А., Головацкая И.Ф.* Гормональный статус, рост и фотосинтез растений, выращенных на свету разного спектрального состава // Физиология растений. 1998. Т. 45. № 6. С. 925–934.
11. *Макарова Н.В., Стрюкова А.Д.* Сравнительный анализ химического состава и антиоксидантной активности ремонтантного и неремонтантного сортов земляники садовой. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://kubansad.ru/sites/default/files/konf_mol_uch_5/sec%205/Strjukova.doc.
12. *Ничипорович А.А.* Физиология фотосинтеза и продуктивность растений. М.: Наука, 1982. С. 7–33.
13. *Плотникова Г.В.* Экспертиза свежих плодов и овощей. Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2004. 522 с.
14. *Причко Т.Г., Германова М.Г.* Актуальные проблемы садоводства России и пути их решения: Материалы науч.-практ. конф., Орел, 13–15 июля 2007 г. ВНИИСПК им. Мичурина РАСХН; Редкол.: М.Н. Кузнецов и др. Орел: Изд-во ВНИИСПК, 2007. С. 174–176.
15. *Протасова Н.Н., Кефели В.И.* Фотосинтез и рост высших растений, их взаимосвязь и корреляции. Физиология фотосинтеза. М.: Наука, 1982. 251 с.
16. *Тихомиров А.А., Лисовский Г.М., Сидько Ф.Я.* Спектральный состав света и продуктивность растений. Новосибирск: Наука, 1991. 168 с.
17. *Третьяков Н.Н.* Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений / Н.Н. Третьяков, Е.И. Кошкин, Н.М. Макрушин и др.; Под ред. Н.Н. Третьякова. М.: Колос, 2000. 640 с.
18. *Яковцева М.Н., Говорова Г.Ф., Тараканов И.Г.* Фотоморфогенетическая регуляция роста, развития и продукционного процесса растений земляники садовой (*Fragaria × ananassa* L.) в условиях светокультуры // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2015. № 3. С. 25–35.
19. *Janni L.B., Theo J.B., Jesper M.A.* End-of-day lighting with different red/far-red ratios using light emitting diodes affects plant growth of *Chrysanthemum morifolium* // Hortscience. V. 49. 2007. P. 1609–1611.
20. *Khattak A.M., Pearson S.* Spectral filters and temperature effects on the growth and development of chrysanthemums under low light integral. Plant Growth Regulation. V. 64. 2006. P. 61–68.
21. *Kumakura H., Shishido Y.* Effect of temperature and photoperiod on flower bud initiation in everbearing type strawberry cultivar // Sci. Hort. V.64. 1995. P. 85–94.
22. *Moe R., Heins R.* Control of plant morphogenesis and flowering by light quality and temperature // Acta Horticulturae. 1990. P. 89.
23. *Nishizava T.* The length and number of epidermal cells in petioles of strawberry plants as affected by photoperiod and temperature during vegetative and resting periods // Sci. Hort. V. 61. 1992. P. 559–564.
24. *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 Horticulturae. 2012. P. 107–110.
25. *Yang Z.C., Kubota C., Chia P., Kacira M.* Effect of end-of-day far-red light from a movable LED fixture on squash rootstock hypocotyl elongation // Sci. Hort. V. 151. 2012. P. 81–86.

PHOTOMORPHOGENESIS AND CROP PRODUCTION IN VARIOUS STRAWBERRY (*FRAGARIA* × *ANANASSA* DUCH.) ONTOGENETIC TYPES GROWN WITH LED LIGHTING

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

(Russian Timiryazev State Agrarian University)

In controlled environment we studied the physiological responses of various strawberry varieties to supplementary artificial lighting (high pressure sodium lamps or narrow-band LEDs), emphasizing plant growth and development rhythmicity, yield and biochemical indicators of fruit quality. The total yield of Bohemia variety grown under HPS lamps was several times higher than that of plants grown under LED supplementary lighting. Qualitative and quantitative indicators of Snezhana grades were higher in environments with LED lighting.

The effect of supplementary lighting on morphogenesis and features of vegetative propagation was studied. The number of stolons formed under HPS lamps was 2–5 times higher as compared to LEDs. The total yield of short-day varieties Govorovskaya, Rannyaya plotnaya and Snezhana grown under LED R:B = 8:1 was several times higher than that of plants grown under HPS lamps. The highest yield of ever-bearing strawberry was obtained in control (HPS lamps).

The highest sugar accumulation in the fruits was found under HPS. High sugar content also was obtained under LED light enriched with red (R:B = 8:1). Short-day varieties contained higher amount of dry soluble matter and total sugars than ever-bearing ones.

The highest amount of ascorbic acid was found under LED light enriched with blue (Bohemia, Flamenco and Elizabeth II), and under HPS (Govorovsky, Rannyaya plotnaya, Snezhana, Selva). Reduction of the blue light share in the spectrum resulted in a decrease in the ascorbic acid content.

Key words: *Fragaria* × *ananassa*, horticultural lighting, light-emitting diodes, photomorphogenesis, photosynthetic pigments, productivity, yield quality.

References

1. Abdullaev H.A., Karimov H.H. Indeksy fotosinteza v selekcii hlochatnika. [Photosynthesis Indices in cotton breeding]. Dushanbe. Donish Publ. 2001. 267 p.
2. Berkovich Ju.A., Krivobok N.M., Smoljanina S.O., Erohin A.N. Kosmicheskie oranzherei: nastojashhee i budushhee. [Space greenhouses: Present and Future]. Moscow. «Slovo» Publ. 2005. 367 p.
3. Brandt A.B. Ispol'zovanie jeffektivnyh edinic [The use of efficient units]. Svetotekhnika. Lighting engineering. 1980. № 1. P. 24–26.
4. Valeev R.A. Ispol'zovanie svetodiodnyh osvetitel'nyh ustanovok (LED) pri vyrashhivanii meristemnyh rastenij [The use of LED lighting systems for growing plants meristem]. Izvestija Mezhdunarodnoj akademii agrarnogo obrazovaniya (MAAO) [Journal of International Academy of Agrarian Education]. 2012. Vol. 2. № 14. P. 373–375.
5. Gerasimchuk Ju.V. Svetoimpul'snaja obluchatel'naja ustanovka dlja sooruzhenij zashhishhennogo grunta [Flash light irradiation device for greenhouse-like constructions]. Problemy fotoenergetiki rastenij i povyshenie urozhajnosti. [Problems of plants photovoltaic energetics of plants and increasing yields]. L'vov. 1984. 240 p.
6. Gladin D.V. Ispol'zovanie svetodiodnyh tehnologij v sel'skom hozjajstve [The use of LED technology in agriculture]. Poluprovodnikovaja svetotekhnika. Semiconductor lighting. 2012. № 2. P. 60–65.

7. *Govorova G.F., Govorov D.N.* Zemljanika [Strawberry]. Moscow. Publishing House MSG. 2010. P. 57–71.
8. *Ermakov E.I.* Metody biohimicheskogo issledovanija rastenij. [Methods of biochemical study of plants]. Leningrad. Kolos Publ. 1972. 456 p.
9. *Zajceva T.A., Lugovceva K.A.* Formirovanie struktury i razvitie funkcional'noj aktivnosti fotosinteticheskogo apparata v kletkah raznyh zon rosta pervichnogo lista pshenicy pod vlijaniem sveta razlichnogo spektral'nogo sostava [Structure formation and development of the functional activity of the photosynthetic apparatus in the cells of different zones of the growth of the primary leaf of wheat under the influence of light of different spectral composition]. Fiziologija i biohimija kul't. rastenij. [Physiology and Biochemistry of the crops]. 1994. Vol. 26. P. 444–450.
10. *Karnachuk R.A., Golovackaja I.F.* Gormonal'nyj status, rost i fotosintez rastenij, vyrashhennyh na svetu raznogo spektral'nogo sostava [Hormonal status, growth and photosynthesis of plants grown in the light of different spectral composition]. Fiziologija rastenij. Plant Physiology. 1998. Vol. 45. № 6. P. 925–934.
11. *Makarova N.V., Strjukova A.D.* Sravnitel'nyj analiz himicheskogo sostava i antioksidantnoj aktivnosti remontantnogo i neremontantnogo sortov zemljaniki sadovoj. (Comparative analysis of the chemical composition and antioxidant activity of ever-bearing and not ever-bearing varieties of strawberry). Available at: http://kubansad.ru/sites/default/files/konf_mol_uch_5/sec%205/Strjukova.doc.
12. *Nichiporovich A.A.* Fiziologija fotosinteza i produktivnost' rastenij. [The physiology of photosynthesis and plant productivity]. Moscow. Nauka. 1982. P. 7–33.
13. *Plotnikova G.V.* Jekspertiza svezhih plodov i ovoshhej. [Expertise of fresh fruits and vegetables]. Novosibirsk: Sibirskoe universitetskoe izdatel'stvo. 2004. 522 p.
14. *Prichko T.G., Germanova M.G.* Aktual'nye problemy sadovodstva Rossii i puti ih reshenija. [Actual problems of Russian gardening and their solutions]. Materialy nauch.-prakt. konf., Orel 13–15 ijulja 2007 [Proc. Scient. Conf., July, 13–15, 2007]. Orel. 2007. P. 174–176.
15. *Protasova N.N., Kefeli V.I.* Fotosintez i rost vysshih rastenij, ih vzaimosvjaz' i korreljacii. Fiziologija fotosinteza. [Photosynthesis and growth of higher plants, their interrelation and correlation. Physiology of photosynthesis]. Moscow. Nauka Publ. 1982. 251 p.
16. *Tihomirov, A.A., Lisovskij, G.M., Sid'ko, F.Ja.* Spektral'nyj sostav sveta i produktivnost' rastenij. [The spectral composition of light and plant productivity]. Novosibirsk. Nauka Publ. 1991. 168 p.
17. *Tret'jakov N.N.* Fiziologija i biohimija sel'skohozjajstvennyh rastenij [Physiology and biochemistry of agricultural plants]. Moscow. Kolos Publ. 2000. 640 p.
18. *Jakovceva M.N., Govorova G.F., Tarakanov I.G.* Fotomorfogeneticheskaja reguljacija rosta, razvitija i produkcionnogo processa rastenij zemljaniki sadovoj (*Fragaria h ananassa L.*) v uslovijah svetokul'tury [Photomorfogenetic regulation of growth, development and production process of strawberry plants (*Fragaria x ananassa L.*) under photoculture]. Izvestiya of TSKhA. Journal of Timiryazev Agricultural Academy. 2015. № 3. P. 25–35.
19. *Janni L.B., Theo J.B., Jesper M.A.* End-of-day lighting with different red/far-red ratios using light emitting diodes affects plant growth of *Chrysanthemum morifolium*. Hortscience. Vol. 49. 2007. P. 1609-1611.
20. *Khattak A.M., Pearson S.* Spectral filters and temperature effects on the growth and development of chrysanthemums under low light integral. Plant Growth Regulation. № 64. 2006. P. 61–68.
21. *Kumakura H., Shishido Y.* Effect of temperature and photoperiod on flower bud initiation in everbearing type strawberry cultivar. Sci. Hort. Vol. 64. 1995. P. 85–94.
22. *Moe R. and R. Heins.* Control of plant morphogenesis and flowering by light quality and temperature. Acta Horticulturae. 1990. 89 p.
23. *Nishizava T.* The length and number of epidermal cells in petioles of strawberry plants as affected by photoperiod and temperature during vegetative and resting periods. Sci. Hort. Vol. 61. 1992. P. 559–564.

24. *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 Horticulturae*. 2012. P. 107–110.

25. *Yang Z.C., Kubota C., Chia P., Kacira M.* Effect of end-of-day far-red light from a movable LED fixture on squash rootstock hypocotyl elongation. *Sci. Hort.* Vol. 151. 2012. P. 81–86.

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

Буланова Ирина Александровна — маг. сельского хозяйства по направлению «Агрономия», магистерская программа «Фитотехнологии и биопродукционные системы» (127550, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: orion7787@mail.ru).

Тараканов Иван Германович — д. б. н., проф., зав. кафедрой физиологии растений РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, 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, the Department of Plant Breeding and Seed Science of Horticultural Crops, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya str., 49; e-mail: galina.govorova@mail.ru).

Bulanova Irina Aleksandrovna — Master-student (Agriculture), Master program «Phytotechnologies and bio-production systems», Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya str., 49; e-mail: orion7787@mail.ru).

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