

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

УДК 581.14:581.1.03
doi: 10.17223/19988591/18/16

И.Ф. Головацкая¹, А.С. Минич², И.Б. Минич², М.А. Большакова¹

¹Биологический институт Томского государственного университета (г. Томск, Россия)

²Томский государственный педагогический университет (г. Томск, Россия)

РЕГУЛЯЦИЯ РОСТА И РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ *Brassica oleracea* L. С ПОМОЩЬЮ КОРРЕКЦИИ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Исследование выполнено при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (ГК № П283 от 23.07.2009).

Изучали зависимость роста и развития растений белокочанной капусты сорта Точка от корректированного солнечного излучения. Показана динамика структуры побега и организации фотосинтетического аппарата растений при формировании рассады. Выявлено стимулирующее действие люминесцентного излучения флуоресцентных пленок в красной области спектра на растяжение листовой поверхности, накопление сухой биомассы и хлорофилла а. Отсутствие люминесцентного излучения у пленок или его нестабильность во времени способствовали увеличению числа ярусов у растений.

Ключевые слова: *Brassica oleracea* L.; флуоресцентные пленки; красный свет; синий свет; фотосинтетические пигменты; чистая продуктивность фотосинтеза; морфогенез.

Введение

В настоящее время в практике растениеводства широко применяют флуоресцентные полимерные пленки, выступающие в качестве селективных фильтров солнечного излучения [1–4]. Такие пленки за счет введения в их состав фотолуминофоров преобразуют часть длинноволнового УФ-излучения в красную область спектра [5–7]. Использование флуоресцентных пленок в защищенном грунте обеспечивает ускорение процессов жизнедеятельности растений и повышение их продуктивности [2, 3, 8]. Нашими многолетними испытаниями в вегетационных сооружениях и лабораторных фитотронах, покрытых модифицированными пленками, было показано повышение хозяйственной продуктивности растений относительно контрольного покрытия. Растения, выращенные под модифицированными покрытиями, отличались от контрольных быстрым развитием,

высоким урожаем и качеством плодов [1–4]. Остается открытым вопрос об оптимальной величине коррекции солнечного излучения для оптимизации жизнедеятельности растений. Представляет интерес поиск механизмов действия смешанного светового потока на растения при оптимизации их светового режима выращивания.

Цель исследования – изучение влияния коррекции солнечного излучения на рост и развитие сельскохозяйственной культуры *Brassica oleracea* L.

Материалы и методики исследования

В связи с оптимизацией условий выращивания сельскохозяйственных культур в условиях защищенного грунта изучали морфофизиологические особенности растений белокочанной капусты (*Brassica oleracea* L.) ранне-спелого сорта Точка (семейство Brassicaceae) при использовании флуоресцентных пленок.

Для коррекции солнечного излучения были выбраны стабилизированные и нестабилизированные флуоресцентные пленки с разной интенсивностью люминесцентного излучения в красной области спектра (табл. 1). Наличие стабилизатора обеспечивало сохранение физико-химических и оптических свойств пленки, а следовательно, и длительность воздействия красной области спектра. Теплички-каркасы площадью в основании 1 м² были покрыты немодифицированной полиэтиленовой пленкой (контроль) и флуоресцентными пленками толщиной 0,120 мм лабораторных образцов, предоставленных В.С. Райдой (канд. хим. наук, доцент кафедры органической химии Томского государственного педагогического университета), изготовленных с применением полимерной композиции [9, 10]. Флуоресцентные пленки от поверхности грунта располагались на расстоянии 0,6 м, над растениями – от 0,4 до 0,6 м в зависимости от срока их вегетации.

Фотофизические характеристики пленок рассчитаны по спектрам, полученным на спектрометре «AvaSpec 2048» (Avantes, Нидерланды) и акустооптическом спектрометре «Кварц 3102В» (Россия) по методикам, представленным в [7]. Особенностью флуоресцентных (опытных) пленок является их способность преобразовывать около 1% падающей УФ-А-радиации в излучение красной области спектра с максимумом 615 и 626 нм [11] с интенсивностью излучения от 3,9 до 20,6 отн. ед. в зависимости от типа и количества введенного в состав флуоресцентной пленки люминофора. Флуоресцентные пленки по сравнению с контролем (немодифицированной пленкой) пропускают УФ-А- и УФ-В-излучение меньше на 5–10% за счет его поглощения, отражения и рассеивания частицами люминофора, а также преобразования его в красный свет. Интегральное светопропускание флуоресцентных пленок меньше, чем у контрольной пленки, всего на 0,33–0,98% (табл. 1).

Таблица 1

Фотофизические характеристики модифицированных пленок для теплиц

Вариант пленки	Стабилизатор	Интенсивность люминесцентного излучения, отн. ед. (длина волны, нм)	Интегральное пропускание, %	Пропускание пленками электромагнитного излучения, %		
				УФ-диапазон, нм		ФАР, нм
				290–330	320–400	380–710
Контроль	–	–	93,6	67,1	72,6	82,9
Ф-16	T622	20,6 (626)	93,2	50,5	57,3	63,5
Ф-15	T622	5,2 (626)	94,0	56,4	66,0	71,9
Ф-14	–	5,9 (626)	94,0	61,1	69,3	77,4
Ф-13	–	3,9 (626)	94,2	56,0	65,0	71,1
Ф-10	T622	17,6 (615)	93,8	59,1	74,4	79,0
Ф-8	T622*	–**	75,1	49,8	63,6	68,9

*T622 – Тинувин 622; ** – синий краситель.

В процессе культивирования растений изучали *накопление биомассы и структуру побега* (сухую биомассу и длину побега, количество ярусов, площадь листа второго яруса, суммарную площадь листовой поверхности, чистую продуктивность фотосинтеза). *Содержание хлорофиллов а и b* (Хла и Хлб) и *каротиноидов* (Кар) определяли спектрофотометрически в 100%-ных ацетоновых экстрактах растительного материала, рассчитывая по формулам [12]. *Структурную организацию мезофилла* изучали по методикам [13], для чего высечки из листьев общей площадью 3,8 см² фиксировали этанолом, а затем мацерировали в 2,0–3,5 моль-экв/л HCl при температуре не выше 90°C. Суспензии мацерата доводили до 5 мл и подсчитывали число клеток в камере Горяева (не менее 16 камер варианта). Далее рассчитывали общее число клеток на единицу площади листа (см²) и целый лист.

Статистическая обработка выполнена в программе StatSoft STATISTICA 6.0, а построение графиков – в программе MS Excel 2003. Данные представлены в виде средних арифметических значений ростовых (n = 50) и биохимических (n = 5) параметров с двусторонними доверительными интервалами. При сравнении групп растений, различающихся по условиям выращивания, выявили статистически значимые отличия изученных параметров по сравнению с контролем с учетом t-критерия Стьюдента для 95%-ного уровня значимости [14]. Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез в исследовании принимался равным 0,05.

Результаты исследования и обсуждение

В ходе исследования установили зависимость морфогенеза растений *Brassica oleracea* L. от действия красного света различной интенсивности, полученного при люминесценции люминофора, и радиации в области УФ и суммарной фотосинтетически активной радиации (ФАР) (см. табл. 1). По

динамике ростовых показателей растений оценивали скорость прохождения начальных этапов онтогенеза и оптимум условий для формирования технически зрелой рассады капусты.

В результате исследования установили, что на начальных этапах развития преимущество в росте получали растения под пленками Ф-13 и Ф-10. Растения капусты на 20-е сут имели большую длину побега на 15 и 21% соответственно (рис. 1). В то же время увеличение числа ярусов происходило под пленками Ф-10 и Ф-16 на 20 и 30% соответственно, по сравнению с контролем. Наиболее благоприятные условия для формирования суммарной листовой поверхности растений создавали пленки Ф-10, Ф-14, Ф-13 и Ф-16 (в 2 раза, на 40, 38 и 22% соответственно больше контроля), тогда как под пленкой Ф-8 отмечали ингибирование растяжения листовой поверхности на 20% по сравнению с контрольными растениями. Подобные ростовые реакции при адаптации растений к условиям под пленками были сопряжены с интенсивностью и спектром излучения КС, уровнем пропускания ФАР и УФ-излучения.

Положительный эффект действия условий под пленками Ф-10 и Ф-16, по-видимому, был связан с более высокой интенсивностью красного света (КС) и более низкой интенсивностью УФ-А, тогда как отрицательный эффект Ф-8 можно было объяснить отсутствием люминесцентного излучения и более низкой интенсивностью излучения ФАР (см. табл. 1). При этом отмечали большую эффективность коротковолнового КС с длиной 615 нм, по сравнению с 626 нм. Уменьшение пропускания в области ФАР в ряду обсуждаемых пленок сопровождалось также снижением стимулирующего эффекта от применения пленок. Наблюдаемый в нашем эксперименте стимулирующий эффект действия КС на рост листовой поверхности капусты согласуется с данными для других видов растений [4, 15–19].

Последующие наблюдения за развитием рассады капусты показали увеличение абсолютных размеров побега и листовой поверхности. На 23-и сут активный рост (число ярусов и поверхность листьев) стабильно обеспечивали условия под пленкой Ф-10, тогда как под пленкой Ф-8 рост побегов по-прежнему тормозился (маленькая площадь листьев, короткий побег) (рис. 1). Замедленный рост растяжением при увеличении синей области (СС) спектра ФАР (пленка Ф-8) сопровождался снижением накопления сухой биомассы (рис. 2), что отмечали и другие авторы [15–18].

В процессе дальнейшего развития колебания внешних условий изменяли ростовые реакции растений в ответ на действие комплексной солнечной радиации в защищенном грунте. Наиболее благоприятные условия для роста листа создавались под пленками Ф-10, Ф-13 и Ф-15, что выражалось в активном растяжении листовой поверхности (рис. 1) и накоплении биомассы (рис. 2) у 33- и 35-дневных растений.

За период с 33-х по 35-е сут растения капусты формировали 7-ярусный побег, оптимальный для рассады на стадии технической зрелости. К 35 сут-

кам растения характеризовались большей длиной побега (Ф-13) или большим числом ярусов (Ф-14 и Ф-8) (рис. 1), накапливали большую сухую биомассу (Ф-10, Ф-13, Ф-15 и Ф-16) (рис. 2), формируя большую поверхность листьев. При этом наибольшую площадь листовых пластинок имели растения, выросшие под пленкой Ф-10 (в 2 раза больше контроля).

Из всего вышеизложенного следовало, что коррекция солнечного излучения в области УФ и КС обеспечивала оптимальный рост (длина побега, число ярусов, площадь поверхности листьев) растений белокочанной капусты сорта Точка по сравнению с контролем.

Положительный эффект действия на формирование фотосинтезирующей поверхности растений оказывало большинство вариантов исследуемых пленок. Увеличение сухой биомассы определяли условия под пленками Ф-10, Ф-13, Ф-15 и Ф-16.

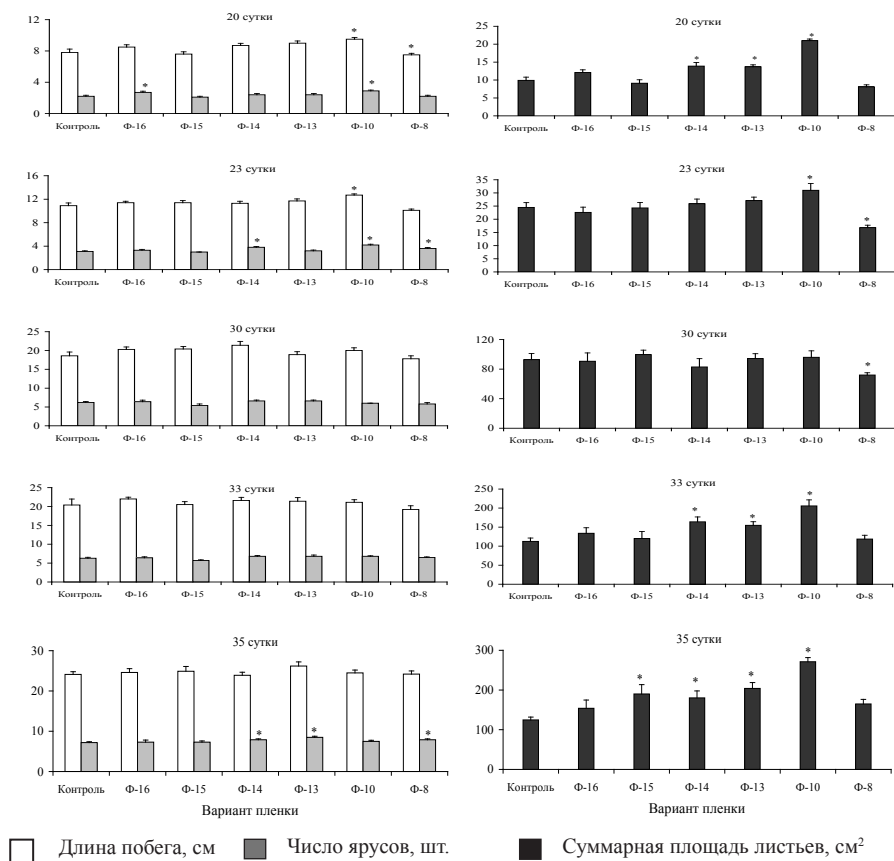


Рис. 1. Ростовые параметры растений белокочанной капусты сорта Точка, выращенных под различными флуоресцентными пленками.

* Статистически значимые отличия от контроля ($p < 0,05$)

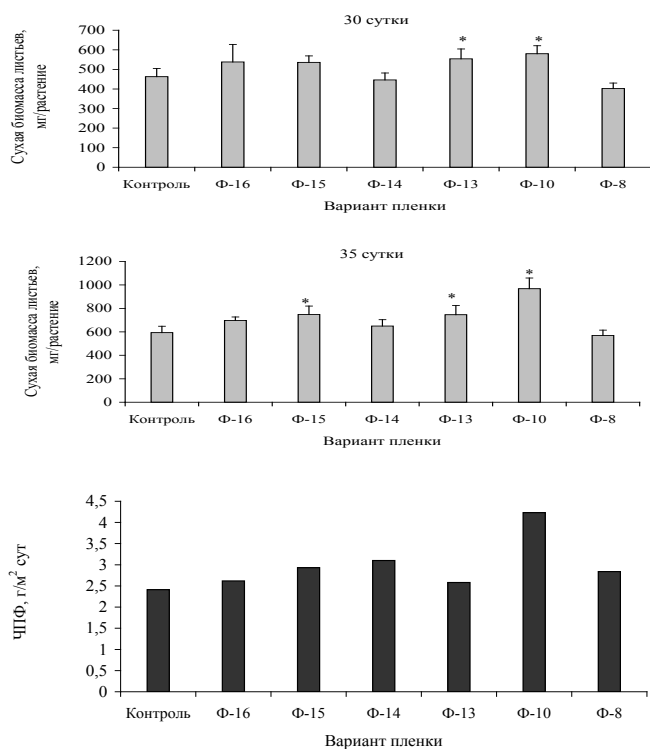


Рис. 2. Сухая биомасса и чистая продуктивность фотосинтеза растений капусты, выращенных под флуоресцентными полиэтиленовыми пленками

При этом, однако, *чистая продуктивность фотосинтеза* растений капусты повышалась за период с 30-х по 35-е сут у вариантов Ф-10, Ф-14, Ф-15 и Ф-8 соответственно на 75, 28, 22 и 18% по сравнению с контролем. Пленка Ф-10 создавала условия, в которых растения развивались на протяжении всего эксперимента лучше, чем под обычной полиэтиленовой пленкой, по всем параметрам и к 33-м сут обеспечивала формирование рассады технической зрелости.

Оптические свойства листьев определяются анатомическим строением тканей листа, состоянием пигментных систем. Для характеристики организации фотосинтетического аппарата использовали размеры листовой поверхности, общее число клеток паренхимы в единице площади и в целом листе и содержание зеленых и желтых пигментов фотосинтеза, рассчитанное на единицу площади листа и тысячу клеток.

Изучение *мезоструктуры* листа капусты проводили на 2-м ярусе. При исследовании растений учитывали, что кроме возраста целого растения существует возраст конкретного листа, так как прирост растения осуществляется метамерами. Каждый новый лист живет «своей жизнью», т.е. с мо-

мента появления он проходит все стадии развития. Однако на его формирование оказывают действие как донорно-акцепторные отношения с другими структурными элементами побега, так и факторы внешней среды. Донорно-акцепторные отношения можно рассматривать как фактор эндогенной регуляции морфогенеза. Они поддерживаются за счет перераспределения в растении продуктов фотосинтеза и фитогормонов. В эксперименте анализировали молодой активно растущий (3-и сут) и завершивший рост (10-е сут) лист второго яруса.

Наши исследования показали, что на 20-е сут развития у растений всех вариантов начинал формироваться лист 3-го яруса, тогда как лист 2-го яруса находился на стадии растяжения. Свидетельством активного растяжения поверхности молодого листа служило уменьшение количества клеток в единице поверхности и в расчете на лист опытных растений по сравнению с контролем (рис. 3), связанное с превышением скорости растяжения клеток над их делением в этот период. Однако в варианте Ф-8 отметили уменьшение листовой поверхности и количества клеток относительно других опытных вариантов, что, вероятно, определялось торможением процессов как растяжения, так и деления клеток.

Анатомо-морфологические исследования роста листа второго яруса показали общую тенденцию в изменении структуры мезофилла, свидетельствующую о схожих процессах, происходящих в нем под контрольной и опытными пленками и зависимость прежде всего от эндогенных факторов, среди которых можно выделить физиологическое состояние листа, активность корней и соседних листьев. Так, в ранние периоды онтогенеза, когда фотосинтетическая продуктивность ограничена, а поглощательная и метаболическая деятельность корней еще слабая, формируются мелкие листья. Быстрое и обильное поступление ассимилятов и корневых метаболитов в формирующие листья, а также активация собственных биосинтезов определяют размеры листьев.

В ходе формирования листа в течение 7 сут площадь его поверхности увеличилась в 3–4 раза в зависимости от варианта. Одновременно увеличивалось общее число клеток мезофилла в листе, что свидетельствовало о продолжающемся клеточном делении в палисадной ткани. Подобный вывод напрашивается исходя из известных данных о неоднородности ростовых процессов, связанных с разной продолжительностью деления и растяжения различных тканей листа [20]. Раньше всего заканчивается деление и растяжение клеток эпидермиса, затем губчатой паренхимы и в последнюю очередь – деление клеток палисадной паренхимы и растяжение их в высоту.

У опытных растений достоверно увеличивалось количество клеток мезофилла в листе по сравнению с листом контрольных растений. Активация клеточного деления листа, по-видимому, произошла вследствие уменьшения интенсивности УФ-излучения опытными пленками. Важность УФ-излучения для регуляции роста листа показана группой авторов [21, 22].

Действие УФ-Б-излучения на растение обуславливает утолщение листа, которое снижает проникновение УФ-Б внутрь листа и таким образом защищает фотосинтетически активные клетки мезофилла.

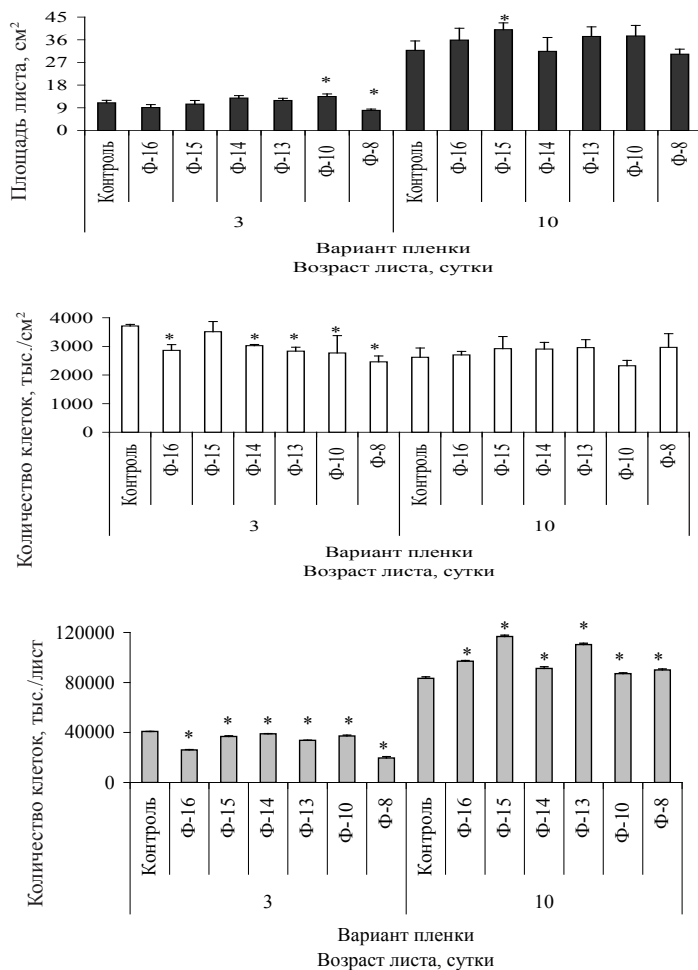


Рис. 3. Площадь и количество клеток листа 2-го яруса 23- и 30-суточных растений капусты, выросших под разными флуоресцентными пленками

Исследование динамики пигментов фотосинтеза в листьях 2-го яруса растений капусты выявило зависимость их уровня от возраста листа и условий освещения под флуоресцентными пленками (рис. 4). Наиболее активный и продолжительный рост листа при добавлении низкоэнергетического излучения красной области спектра (под пленками Ф-10 на 3-и сут и Ф-15 на 10-е сут) сопровождался сохранением содержания фотосинтетических пиг-

ментов в единице площади листа на уровне контроля, что свидетельствовало об их дополнительном синтезе *de novo*. Более раннее завершение роста листа и снижение в нем содержания зеленых и желтых пигментов при снижении интегрального излучения за счет УФ и ФАР (под пленкой Ф-8) могло указывать на старение листа, а появление следующего яруса – на опережающее развитие растений.

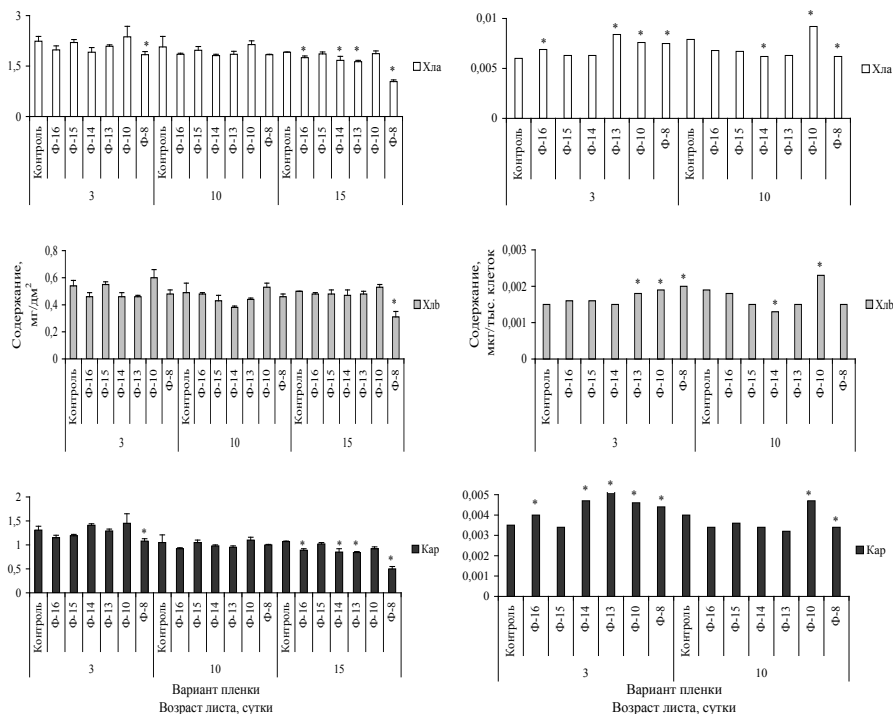


Рис. 4. Содержание пигментов фотосинтеза в листьях 2-го яруса 23–35-дневных растений капусты, выросших под разными флуоресцентными пленками

Расчет содержания фотосинтетических пигментов на 1 000 клеток показал, что под всеми вариантами флуоресцентных пленок создаются условия, благоприятные для синтеза Хла, однако различные модификации пленок неоднозначно влияют на этот процесс. Увеличение интенсивности люминесцентного излучения с длиной волны 615 и 626 нм соответственно до 17,6 и 20,6 относительных единиц (пленки Ф-10 и Ф-16, см. табл. 1) привело к повышению уровня Хла и каротиноидов в расчете на 1 000 клеток молодого листа. В процессе роста листа сохранялся пигмент-стимулирующий эффект люминесценции с длиной волны 615 нм. Интересно то, что для молодого листа имело значение не только КС, но и уровень коротко- и длинноволнового УФ-излучения. Уменьшение доли этого излучения (плен-

ка Ф-13 и Ф-8) обуславливало активный синтез фотосинтетических пигментов в молодом листе.

В процессе роста листа под пленкой Ф-8 происходило значительное снижение (в 1,5–2 раза) пигментов как в единице площади листа, так и в расчете на 1000 клеток, по сравнению с другими исследуемыми пленками. Это могло быть связано с более ранним завершением роста листа, а следовательно, с его старением.

Для каротиноидов известна защитная функция хлорофиллов от фотоокисления, вследствие этого их уровень может служить индикатором фотозащиты фотосинтетической функции. Под пленкой Ф-10 при достаточно высоком уровне УФ-А и ФАР накапливается статистически значимый уровень каротиноидов в расчете на 1000 клеток, что обуславливает и повышенный уровень Хла и Хлв, а следовательно, и фотосинтетическую активность листа 2-го яруса более длительное время. Полученные результаты согласуются с данными [23].

По литературным данным существует несколько предположений о возможных механизмах действия коррекции солнечного излучения флуоресцентными пленками на рост и развитие растений. Во-первых, увеличение доли КС в светопотоке повышает синтез пигментов [19]. Во-вторых, увеличение доли воздействующего КС на хлорофилл увеличивает интенсивность фотосинтеза [19, 8]. В-третьих, происходит световое насыщение реакций у растений за счет увеличения количества полезной энергии в результате преобразования УФ-радиации люминофором в пленке и хлорофиллом [5], стимулирующей процесс фотосинтеза. В-четвертых, в регуляции участвуют специфические фоторецепторы КС с длиной волны приблизительно 600 нм [24].

Исходя из представленных выше результатов исследований морфогенеза капусты, можно говорить о влиянии всего скорректированного солнечного излучения на растение. Коррекция солнечного излучения сразу по нескольким параметрам (интенсивность УФ-А- и УФ-В-излучения, ФАР и излучения в красной области солнечного спектра) обуславливает изменение интенсивности ростовых процессов, контролируемых несколькими эндогенными регуляторными системами – фото- и гормональными системами, их взаимодействием. В связи с этим большую роль в адаптации растений капусты к КС и УФ-А-излучению на уровне ростовых и биохимических ответов растений может играть совместное действие регуляторных фоторецепторов семейства фитохромов (phy A–D) и криптохромов (cry 1–2). Подтверждением данного положения могут служить наши более ранние исследования световых мутантов модельного растения *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh экотипа *Landsberg erecta* [25–27], представителя того же семейства Brassicaceae, как и *Brassica oleracea* L. В лабораторных условиях при использовании ламп видимого и ультрафиолетового излучений под флуоресцентной пленкой Ф-10 показано, что при нарушении синтеза фитохрома В у растений мутан-

та *hy3* был снижен уровень физиологических ответов на действие красного света низкой интенсивности, а компенсаторные механизмы за счет работы фитохрома А и криптохромной системы у мутанта были малоэффективны [25]. У растений *hy3*, культивируемых под флуоресцентной пленкой, торможение процессов роста, развития и уменьшение семенной продуктивности были сопряжены с уменьшением содержания регуляторов роста зеатина, индолил-3-уксусной и абсцизовой кислот (ИУК и АБК) и с увеличением уровня связанной формы цитокининов (рибозида зеатина) по сравнению с диким типом *Ler* [25]. В отсутствии фоторецептора криптохрома 1 у мутанта *hy4* отмечено уменьшение листовой поверхности и ее биомассы, при этом снижалось содержание ИУК и зеатина относительно *Ler*. Полученные данные свидетельствовали, что излучение, прошедшее через флуоресцентную пленку Ф-10 с максимумом люминесцентного излучения в области 615 нм, оказывал регуляторное действие на скорость ростовых реакций через активацию фитохромов и криптохромов, изменяющих гормональный баланс растений. Эти же группы фоторецепторов отвечают за поглощение лучей зеленой (ЗС) части спектра [26, 27], несущей наибольшую часть энергии в спектре солнечного света.

Согласно данным других авторов, УФ оказывает основное (84%) ингибирующее действие на рост молодых листьев арабидопсиса под прямым солнечным излучением [28]. Изменения морфологии растений могут быть связаны с УФ-индуцированными изменениями в содержании флавоноидов, которые являются эндогенными регуляторами скорости транспорта и окисления фитогормона индолилуксусной кислоты [29], а следовательно, гомеостаза ауксина, на изменения которого указано в нашей работе с пленкой УФ-10 [25]. Отрицательная корреляция между содержанием флавоноидных гликозидов и высотой и относительным ростом показана для *Betula pendula* [30].

Заключение

Скрининг ростовых реакций растений белокочанной капусты сорта Точка, выращенных под флуоресцентными пленками с разными спектрами пропускания (табл. 1), показал, что наибольшая сухая биомасса формировалась в условиях со сниженной долей УФ и стабильным излучением в красной области спектра (Ф-15, Ф-16, Ф-13 и Ф-10). Эффективность адаптации растений к меняющимся условиям освещения была обусловлена лабильностью фотосинтетического аппарата, которая обеспечивала растениям активный рост и развитие. Увеличение доли КС под флуоресцентными пленками в присутствии УФ-излучения приводило к повышению содержания каротиноидов и Хла в расчете на 1 000 клеток листа растения капусты, а снижение доли УФ (290–330 нм) в светопотоке на фоне большей интенсивности ФАР и затухающей красной досветки (Ф-13 и Ф-14) – к росту числа ярусов. Для получения рассады капусты технической зрелости была рекомендована

флуоресцентная пленка марки Ф-10, характеризующаяся люминесценцией в красной области спектра и снижением пропускания УФ. Наиболее стабильный эффект проявлялся при выращивании растений под пленкой с максимумом люминесцентного излучения 615 нм. Однако эффективность этой пленки в регуляции роста могла быть связана не только с увеличением красной области спектра, но и большей долей всех областей видимого спектра (см. табл. 1, пропускание ФАР по сравнению с другими опытными пленками). Возможно, сохранение высокого уровня ФАР в солнечном излучении уменьшало негативные действия УФ-излучения, прежде всего УФ-Б.

В качестве механизма действия корректированного флуоресцентной пленкой солнечного излучения на морфогенез растений выступают фоторегуляторные системы растений, состоящие из фоторецепторов семейств криптохромов и фитохромов, поглощающих соответственно СС, ЗС и УФ-А и КС. В систему трансдукции светового сигнала может вовлекаться гормональный комплекс, состоящий из ИУК, АБК и цитокининов. Компенсация негативного действия УФ-излучения возможна также через индукцию синтеза фотопротекторов (флавоноидов, каротиноидов).

Использование флуоресцентных пленок позволяет целенаправленно изменять спектральный состав солнечного света, что может служить важным инструментом в исследовании особенностей фоторегуляции растений в естественных условиях. Особенно перспективно такое направление исследований в связи с возможностью быстрой реализации результатов на практике. В качестве модели для биологического тестирования условий под флуоресцентными пленками может быть использованы растения, культивирование которых востребовано растениеводством. В качестве отзывчивой светокультуры можно использовать капусту, так как именно эта культура в условиях Западной Сибири требует применения рассадного способа выращивания, а получение рассады технической зрелости проводят в защищенном грунте.

Литература

1. Минич А.С., Минич И.Б., Зеленчукова Н.С., Райда В.С. Особенности роста растений и продуктивность у гибридов огурца при выращивании под фотолюминесцентной и гидрофильной пленкой // Сельскохозяйственная биология. 2010. № 1. С. 81–85.
2. Minich A.S., Minich I.B., Shaitarova O.V. et al. Vital Activity of *Lactuca sativa* and Soil Microorganisms under Fluorescent Films // TSPU Bulletin. 2011. № 8 (110). P. 78–84.
3. Головацкая И.Ф., Райда В.С., Лежук Р.И. и др. Физиолого-биохимические особенности роста и продуктивность растений овощных культур при выращивании под светокорректирующими пленками // Сельскохозяйственная биология. 2002. № 5. С. 47–51.
4. Астафурова Т.П., Верхотурова Г.С., Зайцева Т.А. и др. Особенности роста и развития растений огурца при выращивании под светокорректирующими пленками // Сельскохозяйственная биология. 2003. № 5. С. 44–48.
5. Kusnetsov S.I., Lepianin G.V., Mironov U.I. et al. "Polisvetan", a high performance material for cladding greenhouses // Plasticulture. 1989. Vol. 83, № 3. P. 13–20.
6. Карасев В.Е. Полисветаны – полимерные светотрансформирующие материалы для сельского хозяйства // Вестник Дальневосточного отделения РАН. 1995. № 2. С. 66–73.

7. Райда В.С., Иваницкий А.Е., Бушков А.В. и др. Исследование особенностей преобразования излучения солнца УФ и видимого диапазонов светокорректирующими пленками с люминофорами на основе соединений европия // Оптика атмосферы и океана. 2003. Вып. 16, № 2. С. 1126–1132.
8. Щелоков Р.Н. Полисветаны и полисветановый эффект // Известие АН СССР. 1986. № 10. С. 50–55.
9. Минич А.С., Райда В.С., Майер Р.А. Полимерная композиция для получения пленок. Патент РФ 2047623. Бюл. изобр., опубл. 10.11.95. БИ 31.
10. Райда В.С., Минич А.С., Майер Э.А. Проблемы и перспективы производства и применение светокорректирующих полимерных пленок // Светокорректирующие пленки для сельского хозяйства. Томск : Спектр, 1998. С. 4–5.
11. Райда В.С., Иваницкий А.Е., Майер Э.А., Толстиков Г.А. Особенности пропускания света светокорректирующими пленками ПЭВД с люминофорами на основе комплексных соединений европия // Пластмассы. 2003. № 12. С. 35–39.
12. Шлык А.А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев // Биохимические методы в физиологии растений / под ред. О.А. Павлиновой. М. : Наука, 1971. С. 154–170.
13. Мокроносов А.Т., Борзенкова Р.А. Методика количественной оценки структуры и функциональной активности фотосинтезирующих тканей и органов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. Л., 1978. Т. 61. С. 119–133.
14. Лакин Г.Ф. Биометрия : учеб. пособие для биол. спец. вузов. М. : Высш. шк., 1990. 352 с.
15. Карначук Р.А. Регуляторное влияние зеленого света на рост и фотосинтез листьев // Физиология растений. 1987. Т. 34, № 4. С. 765–773.
16. Протасова Н.Н. Светокультура как способ выявления потенциальной продуктивности растений // Физиология растений. 1987. Т. 34, № 4. С. 812–822.
17. Дроздова И.С., Бондар В.В., Воскресенская Н.П. Совместное действие фоторегуляторных реакций, вызываемых красным и синим светом, на фотосинтез и морфогенез растений редиса // Физиология растений. 1987. Т. 34, № 4. С. 786–794.
18. 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.
19. Воскресенская Н.П. Фоторегуляторные реакции и активность фотосинтетического аппарата // Физиология растений. 1987. Т. 34, № 4. С. 669–684.
20. Сытник К.М., Мусатенко Л.И., Богданова Т.Л. Физиология листа. Киев : Наукова думка, 1978. 392 с.
21. Burchard P., Bilger W., Weissenböck G. Contribution of hydroxycinnamates and flavonoids to epidermal shielding of UV-A and UV-B radiation in developing rye primary leaves as assessed by ultraviolet-induced chlorophyll fluorescence measurements // Plant Cell Environ. 2000. Vol. 23. P. 1373–1380.
22. Meijkamp B.B., Doodeman G., Rozema J. The response of *Vicia faba* to enhanced UV-B radiation under low and near ambient PAR levels // Plant Ecology. 2001. Vol. 154. P. 135–146.
23. Middleton E.M., Teramura A.H. The Role of flavonol glycosides and carotenoids in protecting soybean from ultraviolet-B damage // Plant Physiology. 1993. Vol. 103. P. 741–752.
24. Kosobryukhov A.A., Kreslavski V.D., Khramov R.N. et al. Effect of additional low intensity luminescence radiation 625 nm on plant growth and photosynthesis of plants // Biotronics. 2000. Vol. 29. P. 23–31.
25. Минич А.С., Минич И.Б., Зеленчукова Н.С. и др. Роль красного люминесцентного излучения низкой интенсивности в регуляции морфогенеза и гормонального баланса *Arabidopsis thaliana* // Физиология растений. 2006. Т. 53, № 6. С. 863–868.

26. Головацкая И.Ф. Роль криптохрома 1 и фитохромов в регуляции фотоморфогенетических реакций растений на зеленом свете // Физиология растений. 2005. Т. 52, № 6. С. 822–829.
27. Головацкая И.Ф., Карначук Р.А., Ефимова М.В. и др. Роль криптохрома 1 и фитохромов А–Е в регуляции роста арабидопсиса на зеленом свете // Вестник Томского государственного университета. 2007. № 297. С. 184–187.
28. Sarvikas P., Hakala M., Päsikää E. et al. Action spectrum of photoinhibition in leaves of wild type and *npq1-2* and *npq4-1* mutants of *Arabidopsis thaliana* // Plant Cell Physiology. 2006. Vol. 47. P. 391–400.
29. Jansen M.A.K. Ultraviolet-B radiation effects on plants: induction of morphogenic responses // Physiol. Plant. 2002. Vol. 116. P. 423–429.
30. Mutikainen P., Walls M., Ovaska J. et al. Costs of herbivore resistance in clonal saplings of *Betula pendula* // Oecologia. 2002. Vol. 133. P. 364–371.

Поступила в редакцию 22.02. 2012 г.

Tomsk State University Journal of Biology. 2012. № 2 (18). P. 151–165

doi: 10.17223/19988591/18/16

**Irina F. Golovatskaya¹, Aleksandr S. Minich²,
Irina B. Minich², Marina A. Bolshakova¹**

¹ Biological Institute of Tomsk State University, Tomsk, Russia

² Tomsk State Pedagogical University, Tomsk, Russia

REGULATION AND DEVELOPMENT OF *Brassica oleracea* PLANTS GROWTH WITH THE HELP OF SUNLIGHT CORRECTION

Now scientists study the agriculture technologies that increase plants productivity and regulate their vital activity. It is especially crucial for food crops. In agricultural practice there has been recently found application of fluorescent films luminescent in the spectrum red area due to UV radiation absorption by luminophor loaded into their structure. The optimum size of solar radiation correction for optimization of plants development is not investigated. Search of action mechanisms of the mixed light stream on plants is of interest. In this connection, the purpose of research was studying influence of solar radiation correction on growth and development of an agricultural crop of cabbage.

In the experiment we studied the influence of solar radiation correction on growth and development of *Brassica oleracea* L. plants Tochka variety depending on the type of used fluorescent films. Experimental films differed in spectrum, intensity and luminescence stability, which were defined by type and quantity of inserted luminophor. We applied fluorescent films luminescent in spectrum red area with maxima in wavelengths 615 nm and 626 nm and radiation intensity in the range from 3,9 to 20,6 relative units.

As a control we used plants growing under a not modified film. Growing energy of sprouts, linear and quantitative growth parameters and biomass accumulation were estimated. The content of photosynthetic pigments was defined by a spectrophotometric method. The analysis of growth and biochemical parameters of plants was carried out during vegetation period after 20–35 days.

Production process of plants was substantially determined by the intensity of photosynthesis. First of all, it's the formation of photosynthetic apparatus itself (leaves area, amount of the leaf mesophyll cells and content of photosynthetic pigments), sec-

ondly – productivity of photosynthesis (dry weight, net productivity of photosynthesis). Biomass accumulation occurred at the expense of substances synthesized in the process of cell division, shoot expansion and increase in the number of storeys. In the process of the experiment a stimulatory action of red light on expansion of leaves surface and stem, content of chlorophyll a was found. Red light promoted development of cabbage plants and increased their dry weight. The increase in luminescent radiation intensity with wavelength 615 nm and 626 nm accordingly to 17,6 and 20,6 relative units (films Φ -10 and Φ -16) resulted in an increase of Chl a and carotenoid level in counting on thousand cells of a young leaf of the second storey. In the process of leaf growth the pigment-stimulating effect of more short-wave luminescent radiation (615 nm) remained. The reduction of the part of short- and long-wave UV radiation in total solar flux (films Φ -13 and Φ -8) caused active synthesis of photosynthetic pigments in the young leaf and cell division in the process of leaf growth.

The obtained data allow recommending F-10fluorescent film for increasing productivity of *Brassica oleracea* L. plants Tochka variety.

Key words: *Brassica oleracea* L.; fluorescent films; red light; blue light; photosynthetic pigments; net photosynthesis productivity; growth and plant development.

February 22, 2012