

<https://doi.org/10.3176/biol.1964.3.04>

## ЗНАЧЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА СВЕТА ДЛЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЗЕЛЕННОГО РАСТЕНИЯ\*

Н. П. ВОСКРЕСЕНСКАЯ,  
кандидат биологических наук

Растительные клетки содержат значительное количество систем, способных поглощать свет в различных участках спектра. Поэтому ответные реакции растения на воздействие света поразительно многообразны. Их можно рассматривать как в аспекте фотосинтеза, так и с точки зрения роста и развития.

Действие на зеленые растения солнечной радиации (в пределах от 350 до 750  $m\mu$ ) прежде всего связано с поглощением в этой области света хлорофиллом, пигментом, наличие которого обеспечивает осуществление фотосинтеза. Фотосинтез — единственный процесс, в результате которого получаемая световая энергия накапливается в виде энергии химических связей. Иными словами, в фотосинтезе, из неорганических веществ —  $CO_2$  и воды, при помощи энергии света и хлорофилла синтезируется органическое вещество зеленого растения — источник жизни на земле.

Накопление органического вещества требует высоких интенсивностей света. Свет ниже 1000 лк для большинства высших наземных растений уже не приводит к увеличению веса растения, поскольку расход органических веществ на дыхание при таких освещенностях превышает его синтез. С увеличением освещения интенсивность фотосинтеза возрастает и при  $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$  дневного освещения для большинства растений фотосинтез превышает дыхание в 20—30 раз.

Наряду с фотосинтезом в видимой области спектра наблюдается также вторая группа фотохимических реакций. Эти реакции приводят к изменению некоторых ростовых и формативных процессов. В отличие от фотосинтеза, они не требуют высоких освещенностей. Достаточно иногда нескольких люксов, чтобы фотохимическая реакция протекала в определенном направлении. Спектр действия этих реакций отличен от фотосинтеза, что указывает на участие в них иных систем, нежели хлорофилл. Эти реакции не приводят к запасанию энергии. Они скорее имеют характер пускового механизма, создающего возможность к осуществлению различных, часто весьма существенных для жизнедеятельности растения, фотоэффектов за счет активации или инактивации различных регуляторных систем.

На рис. 1 приведены спектры действия фотосинтеза, синтеза хлорофилла и некоторых других, зависящих от спектрального состава света,

\* Доклад, прочитанный на I республиканской конференции по фотосинтезу.

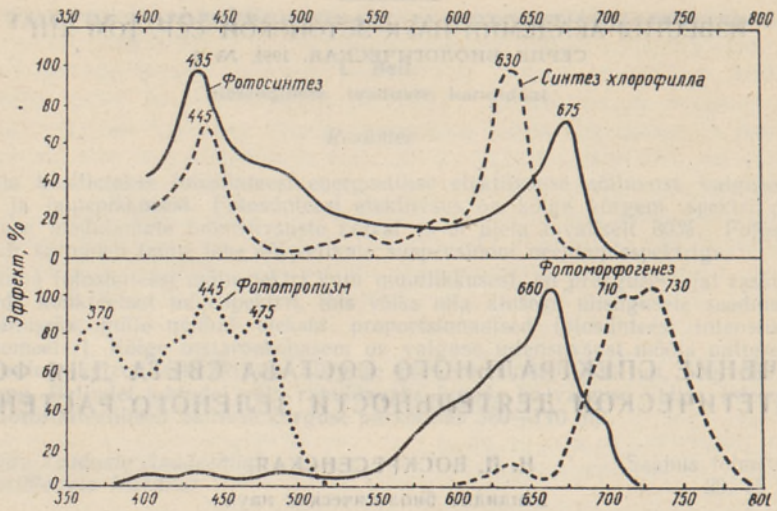


Рис. 1. Спектры действия некоторых реакций в растении.

реакций (Virgin, 1961). Как видно, спектры действия фотосинтеза и синтеза хлорофилла удивительно повторяют друг друга, что соответствует тому, что наличие хлорофилла и поглощение им энергии света обуславливает возможность фотосинтеза. Оба процесса могут происходить принципиально в любом участке спектра, в пределах от 400 до 700  $\mu$ m. На нижней части рисунка даны спектры действия фотореакций, принадлежащих ко второй группе. Это реакции фототропизма и фотоморфогенеза. За явление фототропизма, т. е. движения растений по направлению к свету, ответственна коротковолновая область спектра (так же, как за изменение вязкости и проницаемости плазмы). Реакции фотоморфогенеза (к ним можно отнести ряд ростовых эффектов, как: прорастание светочувствительных семян, раскрытие семядолей, вытягивание стебля), а также накопление антоцианов и некоторые реакции, связанные с развитием растений (Куперман, 1961) имеют спектр действия в красной, длинноволновой области спектра. Реакции фототропизма обусловлены системами, поглощающими свет коротковолновой части спектра. Предполагается, что это, скорее всего вещества флавиновой природы (Virgin, 1961). Реакции фотоморфогенеза, по-видимому, вызываются веществами типа флавоноидов (Mohr, 1961).

Изучение ответной реакции растения на воздействие светом разного спектрального состава, т. е. изучение спектров действия реакций, позволяет выявить светочувствительные системы, ответственные за эту реакцию. Однако в естественных условиях местообитания растения подвергаются воздействию смешанного света. В этом случае, все светочувствительные реакции должны происходить одновременно. Спектры действия отдельных реакций в таком случае зачастую перекрываются, что приводит к суммированию эффекта воздействия света на растение. Поэтому, изучение спектров действия процессов вообще, и фотосинтеза в частности, позволяет скорее выявить потенциальные возможности растения в отношении той или иной фотохимической реакции, чем решить вопрос о конечной эффективности этой реакции для растения на смешанном свете, в условиях когда эти фотореакции (или продукты этих реакций) находятся во взаимодействии друг с другом.

Однако, как прием, позволяющий глубже познать взаимодействие растения со светом и оценить роль отдельных участков солнечного спек-

тра для жизнедеятельности растения, изучение спектров действия отдельных реакций, происходящих в растении, вполне оправдано.

Как указывалось (рис. 1), фотосинтез осуществляется в участке спектра от 400 до 700  $m\mu$ . Однако эффективность фотосинтеза по спектру неодинакова.

Как правило, зависимость фотосинтеза от длины волны света определяется при низких интенсивностях на восходящем участке световой кривой фотосинтеза. В этих условиях (из-за недостатка света) скорость фотосинтеза ограничивается его фотохимической стадией. В таких условиях величина фотосинтеза для каждой длины волны должна определяться количеством света, поглощенного в данном участке спектра эффективными в фотосинтезе пигментами. Для высших зеленых растений зависимость фотосинтеза от длины волны изучена меньше, чем для водорослей и с менее детальной характеристикой изменения эффективности фотосинтеза по спектру. Тем не менее, совокупность имеющихся данных так же, как и в случае зеленых водорослей, указывает на меньшую эффективность для ассимиляции  $CO_2$  лучей сине-зеленой части спектра по сравнению с красной частью (Рабинович, 1953). Наиболее общепринятое объяснение — экранирование хлорофилла неактивными или менее активными в фотосинтезе пигментами-каротиноидами. Однако если в области 480  $m\mu$  это и имеет место, то для зеленой части (до 580  $m\mu$ ) такое предположение мало обосновано, поскольку каротиноиды практически не поглощают свет этой части спектра. Тогда остается предположить, что менее эффективное использование на фотосинтез сине-зеленых лучей связано с расходом части поглощенной хлорофиллом энергии на другие процессы, кроме фиксации углекислоты.

Таким образом, вопрос о действии спектрального состава света на интенсивность фотосинтеза нельзя считать окончательно решенным.

Влияние спектрального состава света на качественную сторону фотосинтеза — путь превращений усвоенной в фотосинтезе  $CO_2$  в различные органические соединения, изучено еще меньше. Впервые этот вопрос был поставлен Ничипоровичем (1953) в лаборатории фотосинтеза Института физиологии растений АН СССР 12 лет назад, в связи с пересмотром представлений о неизменности и универсальности продукта фотосинтеза в любых условиях. В настоящее время разнообразие путей превращения углерода в фотосинтезе в различные вещества, установленное экспериментально в указанной лаборатории, является общепризнанным (Ничипорович, 1953, 1961; Бассам, Кальвин, 1961; Krotkov, 1960). Предположение о влиянии спектрального состава света на путь превращений  $CO_2$  было связано с высказыванием Любименко (1935) о существовании в фотосинтезе помимо основной (поглощение света хлорофиллом) и других фотохимических реакций, имеющих различные спектры действия.

Одним из результатов дополнительных фотореакций, по мнению Ничипоровича (1961), может являться изменение пути превращений двуокиси углерода, усвоенной в фотосинтезе.

В настоящее время правильность выдвинутой гипотезы подтверждена данными лаборатории и встречает сторонников за рубежом (Caule, Emerson, 1957; Hauschild и др., 1962).

Изучение действия спектрального состава света на путь превращений двуокиси углерода, усвоенной в фотосинтезе, производилось таким же методом, как определение влияния спектрального состава света на интенсивность фотосинтеза. Растения выращивались в обычных условиях освещения и на время опыта помещались в различные участки спектра. В данных опытах спектр делился на 2 части — длинноволновую (от 580 до 700  $m\mu$ ) и коротковолновую (от 400 до 580  $m\mu$ ). Экспозиция на

«красном» (580—700  $m\mu$ ) и сине-зеленом (400—580  $m\mu$ ) свете менялась от часов до секунд (Воскресенская, 1952, 1953, 1956).

Для секундных и минутных экспозиций химический анализ образованных веществ заменялся радиоизотопным. Листья в таком случае подкармливались во время экспозиции не обычной, а радиоактивной двуокисью углерода, после чего определялось как общее количество  $C^{14}O_2$ , усвоенной листом, так и распределение радиоактивности в образованных веществах. Интенсивности света в опытах ниже насыщающих фотосинтез (не более  $8 \cdot 10^4$  эрг/см<sup>2</sup> сек). Свет выравнивался по количеству падающих квантов или по интенсивности фотосинтеза. В первом случае сине-зеленый свет (как и в опытах других исследователей) был менее эффективен для фотосинтеза, чем красный. Поэтому мы проверяли изменение пути превращений  $CO_2$  и при втором способе выравнивания света, поскольку одинаковая активность накопления органического вещества в обоих участках спектра является хорошим основанием к тому, чтобы все изменения в пути превращений  $CO_2$  относить только за счет действия качества, а не интенсивности света.

Специфическая реакция воздействия спектрального состава света на продукты фотосинтеза оказалась однозначной в обоих случаях (табл. 1).

Таблица 1  
Действие качества света на продукты фотосинтеза

$\lambda$ , $m\mu$	Растение	Принцип выравнивания света	Распределение органических веществ по группам (% от сухого вещества, образовавшегося в фотосинтезе)			
			Углеводы	Белки	Органические кислоты	Прочие
580—700	Кукуруза	По падающим квантам	65,6	17,3	—	17,1
		По привесу	25,9	1,3	2,4	70,0
	Подсолнечник	По падающим квантам	37,0	21,8	—	41,2
		По привесу	25,6	22,0	2,0	50,4
400—580	Кукуруза	По падающим квантам	49,7	20,9	—	29,4
		По привесу	18,0	11,0	4,0	67,0
	Подсолнечник	По падающим квантам	23,9	22,6	—	54,5
		По привесу	12,4	36,8	3,8	47,0

При освещении в течение 4—5 часов, отделенных от растения листьев, доля ассимилированной  $CO_2$ , содержащаяся в углеводах была больше на красном свете, чем на сине-зеленом, а доля ассимилированной  $CO_2$ , содержащаяся в белках и органических кислотах была больше на сине-зеленом свете. Сдвиги в соотношении вещества под влиянием спектрального состава света наблюдаются очень быстро. Достаточно листья экспонировать 20—30 сек в разных участках спектра, чтобы наблюдать существенные различия (табл. 2) в попадании  $C^{14}O_2$  в некоторые соединения.

Таблица 2

Распределение  $C^{14}$  в различных продуктах фотосинтеза

Время экспозиции, сек	Красный свет (580—700 $m\mu$ )			Сине-зеленый свет (ртутные линии 436, 546, 577 $m\mu$ )		
	Общая активность, $имп/мин$	В углеводах, %	Аминокислоты, фосфорные эфиры сахаров, органические кислоты	Общая активность, $имп/мин$	В углеводах, %	Аминокислоты, фосфорные эфиры сахаров, органические кислоты
30	2 000	7,5	20,7	2 500	3,7	43,9
90	14 870	13,8	53,5	12 200	11,4	65,0
180	32 000	44,9	40,0	33 900	20,1	57,8

Опять-таки, радиоактивность неуглеводных соединений оказалась выше при фотосинтезе в сине-зеленых лучах, а углеводов, особенно к моменту усиленного их образования (3 минуты экспозиции) — в красных. Поскольку интенсивность фотосинтеза была одинакова, то уменьшение содержания углеводов на сине-зеленом свете явилось следствием более активного превращения  $C^{14}O_2$  в этих условиях в вещества неуглеводного характера. Очевидно, в первую очередь, это азотистые соединения — аминокислоты, пептиды, белки. Таким образом, синтез азотистых соединений специфически усиливается сине-зеленым светом. Это показано на табл. 1 и 2, а также и на рис. 2. Усвоенная за 30 сек (при одинаковом фотосинтезе) радиоактивная двуокись углевода на сине-зеленом свете значительно интенсивнее входила в состав таких аминокислот как аспарагиновая и аланин, чем на красном. При продлении экспозиции в этих же условиях освещения, но в атмосфере с обычной углекислотой, ранее усвоенная листом радиоактивная углекислота продолжала скорее поступать в аминокислоты на сине-зеленом свете.

Что касается углеводов, то их количество, под влиянием освещения сине-зелеными лучами, уменьшается только в том случае, если употребляются ненасыщающие фотосинтез интенсивности света, где в минимуме фотохимические реакции фотосинтеза. При насыщающих интенсивностях света качество света влияет только на синтез азотистых веществ, а накопление углеводов происходит одинаково. Этот факт дополнительно указывает на специфическое действие коротковолновой радиации на синтез азотистых соединений за счет каких-то фотохимических реакций, вызываемых сине-зеленым светом. Значение для усиленного образования азотсодержащих соединений играют линии спектра 436, 546 и возможно, 577  $m\mu$ , поскольку эффект наблюдался как с люминесцентными лампами синего света, имеющими кроме этих линий сплошной спектр излучения, с максимумом в коротковолновой области, так и с ртутными лампами, из которых системой светофильтров исключались все лучи кроме указанных выше линий.

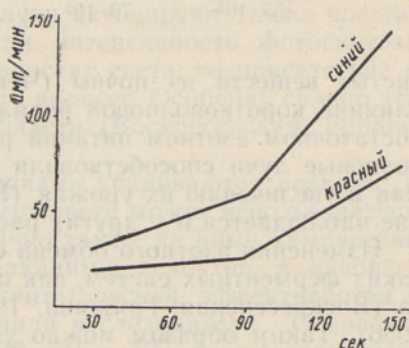


Рис. 2. Активность аминокислот (аспарагиновой и аланина).

Реакция фотосинтетического аппарата растений на коротковолновую радиацию в отношении синтеза азотистых соединений устойчива и сохраняется при длительном выращивании растений под разными источниками света. Так у растений фасоли сорта 'Триумф', выращенных под синими и красными люминесцентными лампами, при одинаковом сухом весе, содержание общего, а особенно белкового азота в листьях, даже на богатом азотном фоне, было выше при синем освещении, по сравнению с красным (табл. 3) (Воскресенская, Гришина, 1959) коротковолновые лучи способствуют не только усилению синтеза, но и поступлению азо-

Таблица 3

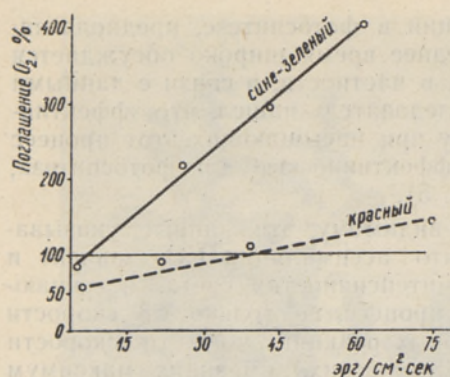
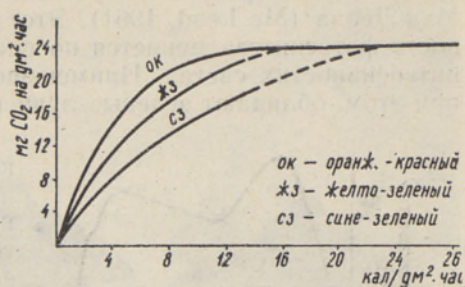
Содержание общего и белкового азота в листьях  
(в процентах)

Интенсивность света, эрг/см <sup>2</sup> ·сек		Под красными лампами		Под синими лампами	
Красные лучи	Синие лучи	N общий	N бел- ковый	N общий	N бел- ковый
23·10 <sup>8</sup>	30·10 <sup>8</sup>	5,98	4,71	6,58	5,98
40·10 <sup>8</sup>	48·10 <sup>8</sup>	5,89	4,70	6,20	5,36
55·10 <sup>8</sup>	73·10 <sup>8</sup>	5,75	4,67	5,79	5,05

тистых веществ из почвы (Чень-Инь, 1961), поэтому положительное влияние коротковолновой радиации особенно ярко проявляется при недостаточном азотном питании растений. В опытах с фасолью коротковолновые лучи способствовали также более дружному созреванию семян и увеличению их урожая (Воскресенская, 1959). Аналогичное явление наблюдается и у других растений (Novell и др., 1957).

Изменения азотного обмена сопровождаются изменением активности таких ферментных систем, как цитохромная, каталаза, аскорбиноксидаза (Воскресенская, Гришина, 1959; Appleman, 1952; Чернавина, Рубин, 1956). Таким образом можно утверждать, что за счет фотохимических реакций, имеющих различные максимумы по спектру, происходят изменения в пути усвоения CO<sub>2</sub> в фотосинтезе. Сине-зеленый свет способствует усилению синтеза азотистых соединений. Реакция устойчива и сохраняется при длительном выращивании. Очевидно, особенности усвоения CO<sub>2</sub> в коротковолновых лучах накладывают отпечаток на весь обмен зеленого растения, что может вызвать (даже при одинаковом накоплении биомассы) изменение качества урожая.

Помимо ассимиляции CO<sub>2</sub>, спектральный состав света действует также на другие процессы, происходящие в зеленом листе с использованием энергии света, поглощенной хлорофиллом. Так, поглощение кислорода, так называемое «световое дыхание» в зеленом растении происходит с различной скоростью в красных и сине-зеленых лучах (Воскресенская, Гришина, 1960). Если листья с белого света перенести в эти участки спектра, то при любой интенсивности сине-зеленого света поглощение кислорода оказывается значительно выше, чем в красных (рис. 3). Зависимость этого процесса как раз обратна той, которая наблюдается для ассимиляции CO<sub>2</sub> (рис. 4). На рисунке для сравнения дана также световая зависимость ассимиляции CO<sub>2</sub> (данные Габриельсена, цитируется по Рабинович, 1953). Если для ассимиляции CO<sub>2</sub> наиболее эффективна красно-оранжевая часть спектра, то для поглощения кислорода — сине-зеленая. Зависимость поглощения кислорода от интенсивности света в обоих участках спектра указывает, что реакция осу-

Рис. 3. Поглощение  $O_2$  листьями на свету (в процентах от темнового).Рис. 4. Световая зависимость ассимиляции  $CO_2$ .

шествляется за счет энергии света, поглощенной хлорофиллом. Одновременно усиление реакции в коротковолновых лучах свидетельствует, что какие-то светочувствительные системы, участвующие в этой реакции, специфически активируются синие-зеленым светом.

Кроме поглощения  $O_2$ , синие-зеленые лучи активируют также восстановление  $NO_2$ ,  $NO_3$ ,  $SO_4$ . При этом, если интенсивность фотосинтеза определять при ненасыщающих интенсивностях света, то присутствие в листе указанных веществ может тормозить процесс. Особенно сильно это торможение выражено в синие-зеленой области (Воскресенская, Гришина, 1962) (табл. 4).

Таким образом, коротковолновыми лучами усиливаются реакции, в которых поглощаемая хлорофиллом энергия света может использоваться не только на ассимиляцию  $CO_2$ , но частично также на иные химические процессы. Этими фотохимическими реакциями, вероятно, в какой-то мере можно объяснить снижение фотосинтетической эффективности в коротковолновых лучах, которое наблюдали исследователи. Очевидно, это не каротиноиды, поскольку линии 436, 546 и 577  $m\mu$  не совпадают

Таблица 4

Влияние  $SO_4$ ,  $NO_3$ ,  $NO_2$  на фиксацию  $C^{14}O_2$  листьями табака в разных участках спектра

Окислители	Активность фиксации $C^{14}O_2$ (% к контролю)	
	Синий свет (линии 436, 546, 577 $m\mu$ )	Красный свет (линии 600— —700 $m\mu$ )
$NaNO_2$ 0,005 л/моль	66	79
$KNO_3$ 0,01 л/моль	68	86
$Na_2SO_4$ 0,01 л/моль	74	81

с максимумом поглощения света этими пигментами. Однако эти линии близко соответствуют максимумам спектров поглощения некоторых других фотоактивных систем, например, цитохромных, которые находятся также в хлоропласте и по современным представлениям участвуют в механизме фотосинтеза, т. е. трансформации поглощенной хлорофиллом энергии в энергию химических связей (Арнон, 1961). Наличие

двух или более фотохимических реакций в фотосинтезе, предполагавшееся Ничипоровичем (1953), в последнее время широко обсуждается в мировой литературе по фотосинтезу, в частности, в связи с данными Мак-Леода (Mc Leod, 1961). Этот исследователь нашел, что эффективность фотосинтеза меняется по спектру при насыщающих этот процесс интенсивностях света. Наименьшей эффективностью для фотосинтеза, при этом, обладают зеленые лучи (рис. 5).

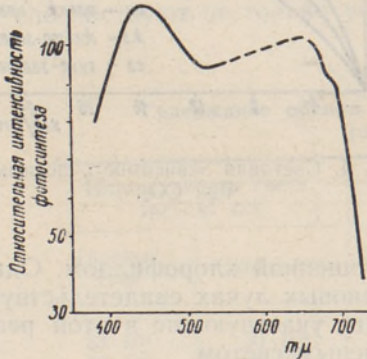


Рис. 5. Спектр действия фотосинтеза при насыщающих интенсивностях света.

По-видимому, эти данные указывают, что ассимиляция  $\text{CO}_2$  зависит и при интенсивностях света, насыщающих процесс, не только от скорости темновых реакций, но и от скорости фотохимических, имеющих максимум спектра действия и насыщение иные, чем усвоение  $\text{CO}_2$ .

Таким образом, спектры действия фотосинтеза (его количественной и качественной стороны) и некоторых других светочувствительных реакций ассимиляционного аппарата растений указывают на весьма существенное значение для этих реакций спектрального состава света.

Если еще учесть, что спектральный состав света может оказывать влияние на ростовые и формативные процессы в растении, которые происходят в зеленом растении одновременно с фотосинтезом, становится ясным, что спектральный состав света — существенный фактор в жизнедеятельности растений. Особое значение он имеет при выборе оптимальных источников освещения для светокультуры. Это положение можно иллюстрировать, например, следующими данными из работ Протасовой (1962). На рис. 6 изображены растения салата одного возраста, выращенные при свете красных и синих люминесцентных ламп и ламп ДРЛ (ртутно-люминесцентных), свет которых выравнен по энергии. Как видно, не только общий вес растений, но и их внешний вид, в зависимости от разных источников освещения, были резко различными. Для салата, продуктивность которого определяется развитием вегетативной массы — листьев, наиболее выгодным источником, очевидно, является синий свет.

Принципиальные данные получены Протасовой (1962) для фотосинтеза растений, выращенных под зелеными и красными люминесцентными лампами (рис. 7). Ход световых кривых фотосинтеза при зеленом и красном свете резко отличен. На зеленом свете — интенсивность фотосинтеза достигала практически насыщения при  $60 \cdot 10^{14}$  квантов и имела значительно более низкие абсолютные показатели, чем на красном. На красном свете, даже при освещении  $70 \cdot 10^{14}$  квантов, насыщения фотосинтеза не достигалось и показатели последнего были значительно выше, что указывает на большие возможности повышения продуктивности фотосинтеза в этих условиях, в отличие от зеленых ламп. Эти данные согласуются с указаниями всех исследователей о наименьшей эффективности зеленых лучей для фотосинтеза. Одной из причин падения фотосинтеза в этой области может являться то, что лучи этой области спектра наиболее эффективны для светового поглощения кислорода (Воскресенская, Гришина, 1960).

Основываясь на данных Протасовой, уже сейчас можно сделать вы-





Рис. 6. Салат (возраст 45 дней), выращенный при одинаковой интенсивности физиологической радиации люминесцентных ламп: К — красного света, С — синего света, ДРЛ — ламп дуговых ртутно-люминесцентных.

вод о том, что лампы, имеющие в своем спектре только зеленые лучи, будут наименее эффективны при светокультуре растений.

Конечно, в естественных условиях на смешанном свете, при суммировании всех фотореакций, изменения в жизнедеятельности растений не будут столь ярки, как при искусственном вычленении отдельных участков спектра. Однако нельзя забывать, что само качество смешанного света, т. е. соотношение света отдельных участков спектра может меняться и в естественных условиях. Так, для посева, особенно при его достаточном загущении, качество света, благодаря избирательному поглощению верхними листьями, преимущественно света красной и синей области спектра будет меняться вместе с изменением интенсивности.

По некоторым данным в многоярусных растительных (древесных и травянистых) сообществах, растения нижних ярусов получают свет, состоящий главным образом из зеленых лучей. Растения такой «зеленой тени» характеризуются малой продуктивностью, низким плато световой кривой фотосинтеза, низким дыханием, повышенным накоплением органических кислот, невыносливостью к высоким интенсивностям света. Все эти показатели обычно связывают с малыми освещенностями. Поэтому принято и говорить о «явлении теневыносливости» растений, т. е. приспособленности к малым освещенностям. Одна-

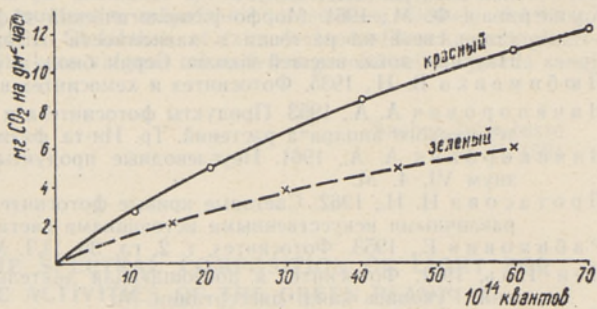


Рис. 7. Зависимость интенсивности фотосинтеза листьев свеклы (*Beta vulgaris*) от числа падающих квантов света.

ко ход световой кривой таких растений удивительно похож на световую кривую растений Протасовой с зеленых ламп, изменения в обмене также можно связать с качественными сдвигами в пути усвоения углерода  $\text{CO}_2$ .

Имея в виду наличие различных фотохимических реакций растений, не только связанных с фотосинтезом, но и других, и то, что соотношение этих реакций может влиять на обмен веществ и продуктивность фотосинтеза, необходимо учитывать характер светопотока, поглощаемого растением. Это позволит лучше оценить за счет чего в каждом случае изменяется интенсивность фотосинтеза и продуктивность посевов.

Возможные изменения спектрального состава света в посевах по ярусам, в зависимости от густоты стояния растений и структуры посевов, до сих пор совершенно не изучены. В то же время нам кажется, что учет спектральных изменений света в посевах не пустой вопрос. Он может представить определенный интерес при создании оптимальных световых условий для повышения продуктивности посевов и возможно, формирования качества хозяйственного урожая. Возможное изменение качества света необходимо также учитывать при создании светоизмерительных приборов для учета радиации в посевах.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Арнон Д. И., 1961. Фотосинтетическое фосфорилирование и единая схема фотосинтеза. V МБК, Симпозиум VI, 8, М.
- Бассем Дж. А., Кальвин М., 1961. Путь  $\text{CO}_2$  в фотосинтезирующем растении. V МБК, Симпозиум VI, 3, М.
- Воскресенская Н. П., 1952. О влиянии спектрального состава света на соотношение веществ, образующихся при фотосинтезе. ДАН СССР, 86, 2.
- Воскресенская Н. П., 1953. Значение спектрального состава света для фотосинтетического образования веществ. ДАН СССР, 93, 5.
- Воскресенская Н. П., 1956. Об образовании органических кислот и аминокислот при фотосинтезе в разных условиях освещения. Физиол. растений, 3, вып. 1, 49.
- Воскресенская Н. П., Гришина Г. С., 1959. О действии интенсивности и спектрального состава радиации на обмен веществ и урожай. ДАН СССР, 124, 2.
- Воскресенская Н. П., Гришина Г. С., 1960. Поглощение кислорода зелеными листьями в зависимости от интенсивности и спектрального состава света. Физиол. растений, 7, вып. 5, 497.
- Воскресенская Н. П., Гришина Г. С., 1962. О конкурентных отношениях между  $\text{CO}_2$  и некоторыми другими окислителями при фотосинтезе в различных участках спектра. ДАН СССР.
- Куперман Ф. М., 1961. Морфо-физиологический эффект действия спектрального состава света на растения в зависимости от продолжительности фотопериода. Научные докл. высшей школы. Серия биол. наук, 4, 136.
- Любименко В. Н., 1935. Фотосинтез и хемосинтез в растительном мире. М.
- Ничипорович А. А., 1953. Продукты фотосинтеза и физиологическая роль фотосинтетического аппарата растений. Тр. Ин-та физиол. раст. АН СССР, вып. 1, 8, 3.
- Ничипорович А. А., 1961. Неуглеводные продукты фотосинтеза. V МБК, Симпозиум VI, 4, М.
- Протасова Н. Н., 1962. Световые кривые фотосинтеза на естественном свете и под различными искусственными источниками света. В печати.
- Рабинович Е., 1953. Фотосинтез, т. 2, гл. 30. ИЛ. М.
- Чен-Инь, 1961. Фотосинтез и поглощающая деятельность корневой системы растений. Рукопись канд. диссертации. М.
- Чернавина И. А., Рубин Б. А., 1956. Формирование фотосинтетического аппарата у различных групп растений в связи с условиями их существования (Сообщ. 2). Вестн. Моск. ун-та. Серия биол., 2, 11.
- Appleman D., 1952. Catalase-chlorophyll relationship in barley seedlings. Plant Physiol., 27, 3, 613.
- Cayle T., Emerson R., 1957. Effect of wave-length on the distribution of carbon-14 in the early products of photosynthesis. Nature, 179, No. 4550, 89—90.
- Hauschild A. H. W., Nelson C. D., Krotkov G., 1962. The effect of light quality on the products of photosynthesis in *Chlorella vulgaris*. Canad. J. Bot., 40, 1, 179.

- Howell Robert, Krober W., Orland A., Collins F. Y., 1957. The effect of light quality on growth and composition of soybean. *Plant Physiol.*, 32, Suppl.
- Krotkov G., 1960. The nature of photosynthetic products. *Trans. Roy. Soc. Canada, Sec. V*, vol. 54, Ser. III, I.
- McLeod G. C., 1961. Action spectra of lightsaturated photosynthesis. *Plant Physiol.*, 36, 1, 114.
- Mohr H., 1961. The effect of longvisible and near infrared radiation on plants. *Proc. 3rd Intern. Congr. on Photobiology*, 44. Ed. Christensen and Buchmann.
- Virgin H. Y., 1961. Plant cell response to visible light excluding photosynthesis. *Progress in photobiology. Elseviers publ. Comp.*, 15. Ed. Christensen and Buchmann.

Институт физиологии растений  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
29. II 1964

## VALGUSE SPEKTRAALSE KOOSTISE TÄHTSUS ROHELISE TAIME FOTOSÜNTEESILE

N. P. Voskressenskaja,  
bioloogiliste teaduste kandidaat

### Resümee

Taimerakud sisaldavad palju selliseid süsteeme, mis on võimelised neelama valgust spektri eri osades. Seetõttu on taime vastusreaktsioonid valguse toimele erakordselt mitmekesised. Neid võiks tinglikult jagada ühelt poolt fotosünteesi fotokeemilisteks reaktsioonideks, teiselt poolt — kasvu ja arengut mõjutavateks fotoreaktsioonideks. Viimastega, erinevalt fotosünteesist, ei kaasne energia akumulatsiooni. Neil on üksnes reguleeriv iseloom, mis määrab kasvu- ja arenguprotsesside suuna. Need reaktsioonid kulgevad madalatel valguse intensiivsustel ja toimuvad niisuguste süsteemide osavõtul, mis neelavad valgust spektri punases või sinises osas, kuid ei ole samased klorofülliga.

Fotosünteesi mõjuspektrist nähtub, et see protsess toimub valguse lainepikkustel 400—700 m $\mu$ . Fotosünteesi efektiivsus spektri eri osades pole aga ühesugune, vaid on suurem spektri punases ja väiksem sinirohelses osas. Nii fotosünteesi kvalitatiivne külg (süsihappegaasi muundumise teed) kui ka protsessi intensiivsus sõltuvad valguse lainepikkusest. Lühilaineline kiirgus (400—580 m $\mu$ ), võrreldes pikalainelisega (580—700 m $\mu$ ), suurendab süsiniku lülitumist lämmastikku sisaldavatesse ühenditesse (aminohapetesse ja valkudesse) ning orgaanilistesse hapetesse. Samal ajal aktiveerib siniroheline valgus järskult niisuguseid valgustundlike reaktsioone nagu hapniku neeldumine ja mõnede teiste oksüdeerijate taandamine. Mitteküllastavatel valguse intensiivsustel on oksüdeerijate taandamine seotud fotosünteesi (CO<sub>2</sub> assimilatsiooni) intensiivsuse langemisega.

Esitatud materjalid näitavad, et taimede fotosünteesilises aparatis kulgeb mitu fotokeemilist reaktsiooni, mis erinevad üksteisest spektri maksimumide poolest. Seetõttu võib valguse spektraalse koostise muutumine mõjuda nii fotosünteesi üldisele efektiivsusele kui ka CO<sub>2</sub> muundumise teedele. Oletatakse, et taimede looduslikes kasvutingimustes võib valguse spektraalne koostis koos valguse intensiivsusega oluliselt mõjutada saagi kvaliteeti ja suurust.

NSV Liidu Teaduste Akadeemia  
Taimefüsioloogia Instituut

Saabus toimetusse  
29. II 1964

## THE IMPORTANCE OF THE SPECTRAL COMPOSITION OF LIGHT FOR PHOTOSYNTHETIC ACTIVITIES OF THE GREEN PLANT

N. P. Voskressenskaya

### Summary

There is a great number of systems in plant cells that can absorb light in different parts of the spectrum. Therefore the responses of plant to illumination are extremely variable and may be divided into two groups: the photochemical reactions of photosynthesis and the photoreactions that influence plant growth and development. The latter group of photoreactions, in contrast to the photosynthesis, is not accompanied by the accumula-

tion of energy and has only a regulatory character determining the direction of growth and development. These reactions proceed at very low light intensities with a participation of systems that absorb light in both red and blue regions of the spectrum, but which are not identical with the chlorophyll.

As it may be seen from the action spectrum of photosynthesis, this process takes place at the wavelengths 400—700  $\mu$ . Still, the efficiency of photosynthesis is not equal in all parts of the spectrum — it is greater in the red part and smaller in the blue-green part of the spectrum. The qualitative side of the process (i. e. the path of carbon in photosynthesis) also depends on the wavelength of light. The short-wave radiation (400—580  $\mu$ ), in comparison with the long-wave radiation (580—700  $\mu$ ), leads to an increase of the amount of  $\text{CO}_2$ , which will be turned into nitrogen compounds (aminoacids and proteins) and organic acids. At the same time, in blue-green light there is a sharp activation of such light-sensitive reactions as absorption of oxygen and the reduction of some other oxidizers. At unsaturative light intensities the reduction of oxidizers is associated with a drop in the intensity of photosynthesis (i. e. in carbon dioxide assimilation).

It is clear that there are at least two photochemical reactions of the plant photosynthetic apparatus, differing from each other in spectral maximums. Therefore a change of the spectral composition of light may affect both the total efficiency of photosynthesis and the path of carbon in it. It is supposed that in natural growth conditions of plants, the spectral composition of light and its intensity play an important role in the formation of the quality and quantity of the yield.

Academy of Sciences of the U. S. S. R.,  
Institute of Plant Physiology

Received  
Feb. 29th, 1964