



УДК 581.132+581.192.7

А. В. ПЕТРЕНКО, Н. Б. ДЕРКАЧ

НАКОПЛЕНИЕ ХЛОРОФИЛЛА В ПРОЦЕССЕ ЗЕЛЕНЕНИЯ ЭТИОЛИРОВАННЫХ ПРОРОСТКОВ ЯЧМЕНЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СТАДИИ ПЛАСТИДОГЕНЕЗА И ДЕЙСТВИЯ КИНЕТИНА

Способность к накоплению протохлорофиллида и хлорофилла изменяется в ходе онтогенеза листа злаков [1], биосинтез пигментов в зеленющих этиолированных листьях также связывают с возрастом проростков [2], что свидетельствует о разной скорости хлорофиллообразования в пластидах, находящихся на различных стадиях формирования. Однако сведения о динамике накопления хлорофилла и общей фотосинтетической активности листьев в зависимости от их возраста и гормональной регуляции сравнительно малочисленны.

К выяснению характера накопления пигментов в постэтиолированных листьях можно подойти с позиции использования своеобразной модели, которую представляет собой лист злаков, содержащий клетки с хлоропластами, находящимися на разных этапах пластидогенеза [3—4]. На фоне разновозрастных клеток и хлоропластов в пределах одного листа представляется возможным проследить характер биосинтетических реакций в зеленющих листьях и роль регуляторов роста цитокининовой природы в процессе образования хлорофилла *de novo* из его предшественника.

Материал и методика

Опыты проводились с выращенными в темноте трех-, пяти- и семидневными проростками ячменя, у которых первые листья срезались и помещались в 0,002 %-ный раствор кинетина (6-фурфуриламинопурина) или в воду (контроль). Этиолированные листья освещались в течение 6 и 24 ч. Выбор световых экспозиций обусловлен тем, что спустя 5—6 ч зеленения появляется согласованность в работе двух фотосистем, достигая уровня нормально развитых листьев после 22 ч освещения [5].

Так как части листа злаков в связи с базипетальным ростом листовой пластинки на начальных стадиях развития заметно различаются по содержанию пигментов и степени сформированности хлоропластов [1, 3, 4], лист после определенной световой экспозиции условно делился на четыре зоны, в которых по методике, изложенной в работах [6, 7], определялось содержание хлорофиллов *a* и *b*. Под первой зоной имелась в виду базальная часть листа, остальные зоны выделялись из вышерасположенных участков листовой пластинки. Считается, что возраст клеток и хлоропластов уменьшается от верхушки листа к его основанию, где располагается меристематическая ткань [3, 4]. Экспериментальные данные обрабатывались статистически [8].

Содержание хлорофилла в трехдневных зеленеющих листьях ячменя при различных световых экспозициях, мг/г сухой массы

Вариант	Зоны листа	Время, ч					
		6			24		
		Хлорофилл <i>a</i>	Хлорофилл <i>b</i>	<i>a/b</i>	Хлорофилл <i>a</i>	Хлорофилл <i>b</i>	<i>a/b</i>
Контроль	1	0,879 ± 0,054	0,186 ± 0,013	4,7	1,889 ± 0,086	0,266 ± 0,031	7,1
	2	1,632 ± 0,009*	0,228 ± 0,010*	7,2	3,282 ± 0,024*	0,612 ± 0,050*	5,4
	3	2,041 ± 0,012*	0,427 ± 0,001*	4,8	4,073 ± 0,032*	0,849 ± 0,028*	4,8
	4	1,914 ± 0,169*	0,359 ± 0,038*	5,3	4,137 ± 0,112*	0,826 ± 0,045*	5,0
Кинетин	1	1,059 ± 0,032	0,187 ± 0,010	5,7	2,162 ± 0,043*	0,361 ± 0,004*	6,0
	2	1,634 ± 0,007*	0,254 ± 0,022*	6,4	3,309 ± 0,049*	0,592 ± 0,011*	5,6
	3	1,876 ± 0,012*	0,284 ± 0,014*	6,6	3,736 ± 0,018*	0,685 ± 0,022*	5,4
	4	1,923 ± 0,038*	0,305 ± 0,007*	6,3	3,929 ± 0,111*	0,707 ± 0,035*	5,6

* Достоверные различия при P_{01} в пределах зон листа (по сравнению с первой зоной). То же в табл. 2.

Результаты и их обсуждение

При анализе содержания пигментов в отдельных частях (зонах) поэтетиолированных листьев установлено, что количество хлорофиллов *a* и *b* после 6 и 24-часовой световой экспозиции выше у более ювенильных (3-дневных) листьев и особенно в области листа, где хлоропласты считаются вполне сформированными (третья и четвертая зоны) (табл. 1—3). По-видимому, изменение количества хлорофилла в значительной мере обусловлено различием в содержании предшественника хлорофилла протохлорофиллида в этиолированных листьях, количество которого изменяется с возрастом [9]. Активное образование хлорофилла, по-видимому, может служить показателем роста самих хлоропластов за счет развития их внутренней структуры или увеличения числа хлоропластов.

В первой и второй зонах, находящихся у основания листа, биосинтез идет более медленно, особенно в самой молодой меристематической зоне, где хлоропласты проходят начальную фазу формирования.

С увеличением возраста этиолированных листьев наблюдается уменьшение отношения хлорофилла *a* к хлорофиллу *b*, достигая у семидневных листьев во всех зонах листьев после 24-часовой световой экспозиции характерного для зеленых листьев значения, равного 3,5. На раннем этапе зеленения (после 6 ч освещения) отношение хлорофилла представлено высокими величинами (5—6) у всех листьев, что свидетельствует об опережающем синтезе хлорофилла *a* над хлорофиллом *b*.

Формирование фотосинтетического аппарата контролируется многокомпонентной системой фитогормонов. Известно, например, что цитокинины способны стимулировать развитие и рост хлоропластов [10, 11], предотвращают пожелтение и гибель срезанных листьев, задерживают убыль в них хлорофилла и белка [12, 13].

При исследовании роли кинетина как регулятора зеленения этиолированных листьев установлено (см. табл. 1—3), что достоверное увеличение содержания хлорофилла на свету под влиянием данного регулятора роста обнаружено только у семидневных листьев. Образование повышенных количеств хлорофилла в присутствии цитокининов объясняется стимуляцией накопления фотохимически активной формы протохлорофиллида [9, 14]. Отсутствие стимулирующего эффекта экзогенного кинетина на биосинтез хлорофилла у трех- и пятидневных листьев можно объяснить тем, что ювенильные листья, по-видимому, содержат

Таблица 2

Содержание хлорофилла в пятидневных зеленеющих листьях ячменя при различных световых экспозициях, мг/г сухой массы

Вариант	Зоны листа	Время, ч					
		6			24		
		Хлорофилл <i>a</i>	Хлорофилл <i>b</i>	<i>a/b</i>	Хлорофилл <i>a</i>	Хлорофилл <i>b</i>	<i>a/b</i>
Контроль	1	0,918±0,044	0,116±0,009	7,9	1,814±0,031	0,336±0,011	5,4
	2	1,414±0,045*	0,215±0,018*	6,6	2,688±0,049*	0,467±0,031*	5,7
	3	1,648±0,054*	0,288±0,033*	5,7	3,313±0,067*	0,556±0,012*	5,9
	4	1,462±0,041*	0,171±0,005*	8,5	2,480±0,054*	0,373±0,027*	6,6
Кинетин	1	0,916±0,051*	0,128±0,003*	7,2	1,735±0,060	0,252±0,013	6,9
	2	1,371±0,051*	0,209±0,014*	6,6	2,590±0,040*	0,385±0,008*	7,7
	3	1,481±0,022*	0,209±0,005*	7,1	2,932±0,060*	0,452±0,010*	6,5
	4	1,335±0,055*	0,189±0,017*	7,1	2,111±0,039*	0,279±0,020*	7,6

Таблица 3

Содержание хлорофилла в семидневных зеленеющих листьях ячменя при различных световых экспозициях, мг/г сухой массы

Вариант	Зоны листа	Время, ч					
		6			24		
		Хлорофилл <i>a</i>	Хлорофилл <i>b</i>	<i>a/b</i>	Хлорофилл <i>a</i>	Хлорофилл <i>b</i>	<i>a/b</i>
Контроль	1	0,480±0,011	0,082±0,004	5,8	1,279±0,054	0,396±0,029	3,2
	2	0,787±0,017	0,164±0,033	4,8	1,545±0,044	0,424±0,004	3,6
	3	0,913±0,067	0,178±0,012	5,1	1,418±0,050	0,384±0,034	3,6
	4	0,513±0,020	0,076±0,009	6,7	0,620±0,033	0,172±0,031	3,6
Кинетин	1	0,496±0,036	0,094±0,004*	5,3	1,439±0,057*	0,412±0,025*	3,5
	2	0,904±0,034*	0,172±0,009*	5,2	2,187±0,079*	0,598±0,016*	3,7
	3	0,196±0,036*	0,205±0,010*	5,8	1,958±0,035*	0,521±0,013*	3,8
	4	0,708±0,024*	0,085±0,009*	8,3	0,766±0,008*	0,186±0,011*	4,1

* Достоверные различия при P_{01} между контролем и опытом (кинетин).

достаточное количество эндогенного кинетина, который синтезируется в корнях, а оттуда поступает в листовую пластинку [13]. Анализируя данные табл. 3, следует отметить, что на раннем этапе зеленения действие кинетина в большей мере проявилось на зоны листа, где хлоропласты вполне сформированы. Содержание хлорофилла в опытном варианте превышает контрольные значения на 30% в основном за счет увеличения количества хлорофилла *a*.

Таким образом, биосинтез хлорофилла в разновозрастных листьях зависит от стадии хлоропластогенеза, а наибольшая активность хлорофиллообразования, усиливающаяся под влиянием кинетина, наблюдается в хлоропластах, отличающихся высокой степенью сформированности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чайка М. Т., Савченко Г. Е.— В сб.: Формирование пигментного аппарата фотосинтеза.— Минск, 1973, с. 105.

2. Везицкий А. Ю., Рудой А. Б.— В сб.: Биосинтез и состояние хлорофиллов в растении.— Минск, 1975, с. 58.
3. Хавкин Э. Е.— В сб.: Рост и гормональная регуляция жизнедеятельности растений.— Иркутск, Сибирское отделение АН СССР, 1974, с. 9.
4. Хавкин Э. Е. Формирование метаболических систем в растущих клетках растений.— Новосибирск, 1977.
5. Рощина В. В., Акулова Е. А.— Физиология растений, 1976, т. 23, № 1, с. 50.
6. Годнев Т. Н. Хлорофилл, его строение и образование в растении.— Минск, 1963.
7. Шлык А. А.— В сб.: Биохимические методы в физиологии растений.— М., 1971, с. 154.
8. Рокницкий П. Ф. Биологическая статистика.— Минск, 1973.
9. Шлык А. А., Аверина Н. Г.— Докл. АН СССР, 1973, т. 213, № 1, с. 235.
10. Микулович Т. П., Хохлова В. А., Кулаева О. Н., Свешникова И. Н.— Физиология растений, 1971, т. 18, № 1, с. 98.
11. Кулаева О. Н., Еркеев М. И., Хохлова В. А., Свешникова И. Н.— Физиология растений, 1972, т. 19, № 5, с. 156.
12. Кулаева О. Н., Девятко О. И.— Физиология растений, 1971, т. 18, вып. 6, с. 288.
13. Кулаева О. Н. Цитокинины, их структура и функция.— М., 1973.
14. Шлык А. А., Аверина Н. Г.— Физиология растений, 1973, т. 20, № 4, с. 63.

Поступила в редакцию
04.03.80.

Кафедра физиологии растений

УДК 581.132

Л. А. ХОДОРЕНКО

ПАРАМЕТРЫ ХЛОРОПЛАСТОВ НЕКОТОРЫХ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ СВЕТОВОГО РЕЖИМА

Если структура посевов, формирование листьев, содержание в них пигментов исследованы довольно неплохо, то изучение этой проблемы на уровне пластид явно недостаточно. Между тем фотосинтетический аппарат представляет собой весьма лабильную систему, подвергающуюся значительным изменениям, в особенности под влиянием такого сильного фактора, как свет [1—3]. Как показано нами ранее, влияние спектрального состава различных люминесцентных ламп на формирование фотосинтетического аппарата незначительно, причем проявляется оно при низких интенсивностях ($15\ 000\ \text{эрг/см}^2 \cdot \text{с}$ и меньше) [1, 2]. Наиболее существенна зависимость параметров фотосинтетического аппарата на уровне листа, клетки и хлоропласта от интенсивности радиации [1, 2, 4].

Коэффициент использования растениями лучистой энергии зависит от рационального светораспределения в листе, которое, в свою очередь, обусловлено анатомической структурой листа, количеством хлоропластов, их размерами, содержанием пигментов и т. д. Это обстоятельство особенно важно учитывать при выращивании растений в условиях закрытого грунта, используя энергию искусственных источников радиации.

В настоящем сообщении рассматриваются данные об изменении основных параметров фотосинтетического аппарата редиса и томатов на уровне листа, клетки и хлоропласта под влиянием различных интенсивностей радиации.

Материал и методика

Растения редиса и томатов выращивали в почвенной культуре в специальной камере станции искусственного климата Института физиологии растений АН СССР. Источник радиации — зеркальные лампы накаливания (ЗН-8) мощностью 500 Вт. В камере поддерживали постоянными температуру ($20\ ^\circ\text{C}$) и влажность воздуха (60%). Для исключения перегрева растений использовался водный экран. Подсчет количества хлоропластов в клетках, измерения диаметров клеток, толщины листа и составляющих ее паренхим проводили при увеличении микроскопа