

Г. М. ГРИНЕВА, Л. А. ФРОЛОВА

**ЦИТОХРОМНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ДЫХАТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ  
МИТОХОНДРИЙ КОРНЕЙ КУКУРУЗЫ В УСЛОВИЯХ  
КОРНЕВОЙ ГИПОКСИИ**

(Представлено академиком М. Х. Чайлахяном 13 IX 1972)

Адаптация и реставрация системы дыхания после возобновления аэрации зависят от мощности системы митохондрий и от способности их к биогенезу (<sup>1, 2</sup>). Показано (на дрожжах), что кислород обладает функцией запускающего механизма, который индуцирует образование интегрированной дыхательной цепи и восстанавливает мембранную структуру митохондрий в клетках, выращенных без кислорода (<sup>3</sup>).

Известно, что дыхательная цепь высших растений отличается от таковой животных большим структурным разнообразием. Комплексы электронно-транспортной цепи у растений характеризуются менее строгой стабилизацией, что обеспечивает большую лабильность отдельных компонентов.

Исследование дифференциальных спектров поглощения цитохромов у различных видов растений показало, что дыхательная цепь высших растений состоит из трех цитохромов b, двух цитохромов c. Цитохромоксидаза представлена цитохромами a + a<sub>3</sub>. При этом отмечалось, что окислительная активность митохондрий различных видов растений была близкой и составляла около 1000 μмол. O<sub>2</sub> на 1 мг N, независимо от метаболического состояния ткани. Авторы подчеркивают, что важным фактором, контролирующим интенсивность дыхания ткани, является количество митохондрий в клетке (<sup>4</sup>).

В литературе пока нет достоверных сведений о состоянии дыхательной цепи митохондрий в растительной ткани при низких режимах аэрации. Не известно, как отражается кислородное голодание на составе и содержании цитохромных компонентов в корковой системе.

В данной работе мы пытались выяснить, сохраняется ли структурная организация дыхательной цепи у растений, корни которых находятся в различных условиях гипоксии.

Таблица 1

Содержание цитохромов в митохондриях корней и в основании стебля кукурузы в условиях затопления

| Длительность затопления, дни | Орган            | Варианты опыта | Количество цитохромов, м <sup>1</sup> мол. на 1 мг белка |            |            | Отношение                    |                              |
|------------------------------|------------------|----------------|--|------------|------------|------------------------------|------------------------------|
|                              |                  |                | a <sub>a<sub>3</sub></sub>                               | b          | c          | b/a <sub>a<sub>3</sub></sub> | c/a <sub>a<sub>3</sub></sub> |
| 3                            | Корни            | Контроль       | 0,06±0,017   | 0,07±0,014 | 0,07±0,014 | 1,7                          | 1,2                          |
|                              |                  | Затопление     | 0,066±0,017  | 0,12±0,017 | 0,17±0,04  | 2,0                          | 2,6                          |
| 7                            | Основание стебля | Контроль       | 0,1±0,02   | 0,08±0     | 0,09±0,01  | 0,8                          | 0,9                          |
|                              |                  | Затопление     | 0,12±0,02  | 0,11±0,03  | 0,17±0,03  | 1,0                          | 1,4                          |
| 7                            | Корни            | Контроль       | 0,07±  | 0,045±     | 0,04±0,004 | 0,64                         | 0,9                          |
|                              |                  | Затопление     | +0,0,019   | +0,0001    |            |                              |                              |
|                              |                  |                | 0,055±0,003  | 0,1±0,045  | 0,09±0,025 | 1,9                          | 1,6                          |

С этой целью изучали состав и концентрацию дыхательных переносчиков в митохондриях корней кукурузы в нижней части стебля, примыкающей к корням. Митохондрии выделяли из 10-дневных растений кукурузы, корневая система которых затапливалась  $\frac{1}{2}$  раствором Кюпа в течение трех и семи суток. Таким образом, растения находились в условиях постепенно нарастающей гипоксии, которая после трех суток затопления переходила в анаэробноз, так как к этому времени кислород почти нацело исчезал из окружающего корни раствора. Контрольные растения росли в условиях нормального увлажнения. Опыт проводили в условиях оранжерии, на свету.

Митохондрии выделяли сразу после окончания опытной экспозиции. Для опыта брали нижнюю и среднюю части корней, исключая базальную часть и придаточные, стеблевые корни. От основания стебля отрезали участки длиной в 1 см. Митохондрии выделяли в соответствии с ранее применяемой методикой<sup>(5)</sup>, в полученной фракции определяли белок по Лоури. Суспензию митохондрий хранили в сухом льду. Цитохромы определяли на дифференциальном двухлучевом спектрофотометре ДСФ-2 при комнатной температуре. Спектры поглощения регистрировали в кюветах (восстановленная дитионитом минус окисленная феррицианидом формы). Содержание цитохромов рассчитывали по общепринятой методике<sup>(6)</sup>, при этом использовали длины волн трех точек спектра — максимума поглощения и двух ближайших минимумов. Для цитохрома  $a_3$ : максимум 600—580 и минимум 580—620; для цитохрома  $b$  соответственно 560 и 580—540; для цитохромов с 550 и 580—540  $\mu$ . Коэффициенты молекулярной экстинкции для цитохромов  $a_3$  8;  $b$  17;  $c$  22.

Анализ спектров поглощения показал наличие в тканях кукурузы типичного набора цитохромов для интегрированной дыхательной цепи митохондрий. При расчете содержания цитохромов на сырой вес одного корня обнаружилась такая же тенденция, как и при расчете на белок митохондрий.

Как видно из табл. 1 и рис. 1, в корнях уже после 3-дневного затопления содержание всех цитохромов значительно увеличилось, особенно возросло содержание цитохрома  $c$ . При более продолжительном затоплении, в течение 7 дней, концентрация цитохромов хотя и снижается, но остается все же выше, чем в контроле, за исключением цитохромов терминального участка цепи  $a + a_3$ .

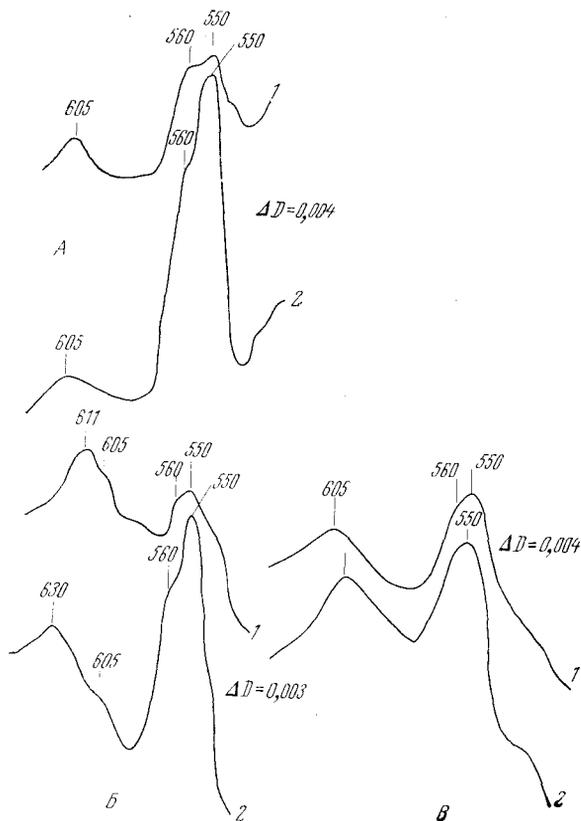


Рис. 1. Спектры поглощения цитохромов в митохондриях корней и нижней части стебля кукурузы в условиях затопления. 1 — контроль, 2 — затопление. А — 3-суточное затопление (корни), Б — 7-суточное затопление (корни), В — 7-суточное затопление (основание стебля)

В тканях базальной части стебля содержание всех цитохромных компонентов в условиях затопления возрастает по сравнению с контролем (табл. 1, рис. 1B).

Интересно, что при затоплении отношение содержания цитохромов нижней части стебля к содержанию их в корнях повышается в два-три раза. При этом важно отметить, что в тканях стебля увеличивается концентрация переносчиков цитохромоксидазного комплекса.

Было обнаружено, что в условиях затопления в корнях и в базальной части стебля интенсифицируется тканевое дыхание и улучшается кислородный режим (рис. 2), т. е. растения в условиях корневой гипоксии приобретают специфические адаптивные черты. Активность дыхательных ферментов в основании стебля при затоплении сохраняется на уровне контроля, в то время как в корнях в условиях анаэробноза она падает (8).

При этом ультраструктура клеток корней сохраняла нормальную морфологию. Нижняя же часть стебля приобретала черты мезофилизации.

Таким образом, при ослабленном снабжении корней кислородом наряду с другими параметрами дыхательной системы существенно изменяется и содержание цитохромных компонентов.

Деаэрация корней в сочетании с нормальным газообменом листьев на воздухе обуславливает, по-видимому, активную адаптацию дыхательной системы, что, в частности, отражается на структурной организации электронно-транспортной цепи митохондрий.

В корнях и в тканях примыкающей к ним части стебля индуцируется накопление цитохромов *b* и *c*, причем образование последнего идет особенно интенсивно.

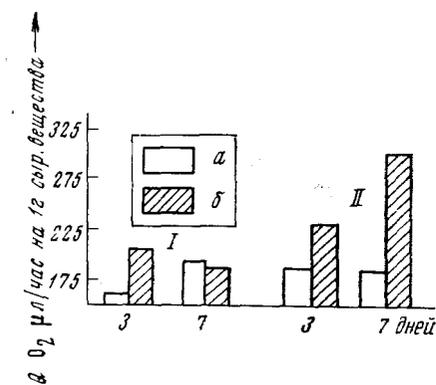


Рис. 2. Поглощение кислорода корнями (I) и нижней частью стебля (II) после 3 и 7 суток затопления. *a* — затопление, *b* — контроль

Механизм индуцированного накопления цитохрома *c* в дыхательной цепи пока не ясен. Во всяком случае, аккумуляция цитохрома *c* в митохондриях свидетельствует о тесной связи митохондрий с другими мембранами клетки, в частности с мембранами эндоплазматического ретикулума, где и синтезируется этот фермент. Накопление цитохрома *c* в митохондриях вызвано, по-видимому, высокой лабильностью этого переносчика. Предполагается (9, 10), что благодаря этим специфическим свойствам цитохром *c* способен регулировать метаболическое состояние клетки.

Авторы приносят глубокую благодарность Е. Н. Моховой и И. М. Симаковой за оказание помощи в проведении экспериментов.

Институт физиологии растений  
им. К. А. Тимирязева  
Академии медицинских наук СССР  
Москва

Поступило  
8 IX 1972

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 1 Ф. З. Меерсон, В. Д. Помойщиков, Б. А. Ямпольская, ДАН, 203, № 4, 973 (1972).
- 2 G. S. P. Groot, W. Rouslin, G. Schatz, J. Biol. Chem., 247, № 6, 1735 (1972).
- 3 T. Singer, K. Rocca, E. Kearney, Proc. Symp. of Intern. Union of Biochem. Flavins and Flavoproteins, Amsterdam—London, N. Y., 1966, p. 391.
- 4 C. Lance, W. D. Bonner, Plant. physiol., 43, 5, 756 (1968).
- 5 Г. М. Гринева, И. Н. Андреева, В. А. Липасова, Биохимия, 33, 4, 766 (1968).
- 6 Ю. В. Евтодченко, Е. Н. Мохова, Сборн. Механизмы дыхания, фотосинтеза и фиксации азота, «Наука», 1967, стр. 35.
- 7 Г. М. Гринева, И. Н. Андреева, Е. А. Ступишина, Физиол. раст., 17, 4, 655 (1970).
- 8 Г. М. Гринева, Л. А. Фролова, Физиол. раст., 19, 2, 348 (1972).
- 9 E. Margoliasch, G. H. Barlow, V. Byers, Nature, 228, № 5273, 723 (1970).
- 10 K. S. Cheah, B. Chance, Biochem. et biophys. acta, 223, 1, 55 (1970).