

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

М. Д. ИОФФЕ

О НАЛИЧИИ ХЛОРОФИЛЛА В ЭНДОСПЕРМЕ КРЕСТОЦВЕТНЫХ

(Представлено академиком Н. А. Максимовым 24 XI 1951)

В результате изучения зародышевого развития некоторых представителей крестоцветных удалось вскрыть весьма характерные и существенные моменты в развитии зародышевых структур, а именно, наличие хлоропластов в эндосперме развивающегося семени.

Роль и значение хлорофилла в формировании плода и семени хорошо известны (1-3). Однако конкретных данных, указывающих на наличие зеленых пластид в эндосперме, в литературе нет, если не считать замечания по этому поводу Гофмейстера (4), вскользь упоминающего о наличии «аморфного» хлорофилла в эндосперме крестоцветных и резедовых. То обстоятельство, что этот весьма интересный факт не обратил на себя внимания и не подвергся изучению, обязано тому, что позднейшие эмбриологи перешли в основном на исследование фиксированного материала. Подобный метод лишил возможности непосредственного наблюдения фитохромов. Тем самым из поля зрения выпал зеленый пигмент, между тем как, по выражению Тимирязева (5), «ни один орган в растительном организме не может сравниться по важности с хлорофиллом».

Использование нами метода непосредственного наблюдения живых объектов позволило обнаружить хлоропласты в зародышевых мешках крестоцветных и выявить очевидное их участие в формировании и деятельности эндосперма. В данном кратком сообщении приводятся результаты исследования некоторых представителей семейства крестоцветных.

Зародышевый мешок редиса (*Raphanus sativus* var. *radicula* Pers.), как и многих (если не всех) крестоцветных, имеет изогнутую форму, вследствие чего халазальный и микропилярный районы находятся в одной плоскости, разделенные выступом, образованным внутренним покровом (интегументом) семяпочки (см. рис. 1). Нуцеллуса обычно к моменту оплодотворения уже нет, имеются лишь его остатки в халазальной части, которые вскоре после оплодотворения также разрушаются, в результате чего зародышевый мешок граничит непосредственно с клетками внутреннего покрова. Таким образом, зародышевый мешок представляет собой полость, окруженную тонким слоем плазмы, в которой происходит развитие ядерного эндосперма. Очень значительные скопления ядер эндосперма имеют место в микропилярном и халазальном районах. Процесс формирования эндосперма сходен у многих крестоцветных и описан рядом авторов, однако все исследования, как отмечалось выше, проводились на фиксированных объектах.

Если произвести срез через живую семяпочку примерно на 10-й день после опыления, то при рассматривании его под бинокулярной лупой можно видеть полость зародышевого мешка, окаймленную как бы зеленой лентой, граничащей с совершенно бесцветными покровами семяпоч-

ки. Кроме того, зеленые сгустки наблюдаются в микропиллярном и халазальном районах, т. е. именно в тех местах, в которых на цитологических препаратах фиксированных

объектов имеет место наибольшее скопление ядер эндосперма (см. рис. 1)*. Исследование отдельных участков эндосперма с иммерсионным объективом показывает, что зеленый цвет обуславливается довольно крупными зелеными пластидами, концентрирующимися вокруг ядер эндосперма.

Дальнейшее развитие семени связано с позеленением зародыша, морфологической его дифференциацией, а также с превращением эндосперма в клеточную ткань. Образование клеток в эндосперме начинается у микропиле, затем захватывает периферическую часть, причем и в клетках пластиды сохраняют свое положение вокруг ядер (см. рис. 2).

По мере своего развития эндосперма заполняют всю полость зародышевого мешка, очень четко подразделяясь на две зоны: периферическую, состоящую из одного слоя клеток, содержащих зеленые пластиды, и многослойную внутреннюю, бесцветную. Эти две зоны можно легко отпрепарировать на свежем материале. Разрезав

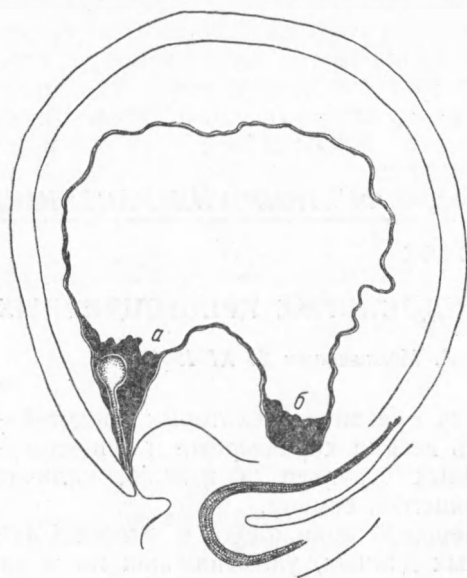


Рис. 1. Схема продольного среза через семечку редиса на 10-й день после опыления. Ядра эндосперма и зеленые пластиды располагаются по периферии зародышевого мешка, а также в микропиллярном (а) и халазальном (б) районах

зеленые пластиды, и многослойную внутреннюю, бесцветную. Эти две зоны можно легко отпрепарировать на свежем материале. Разрезав

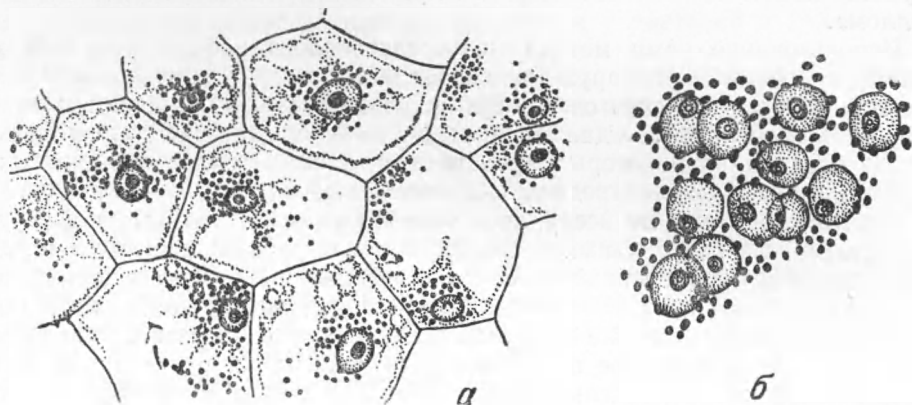


Рис. 2. Отдельные участки эндосперма редиса на 14-й день после опыления. а — в микропиллярном районе уже сформировались клетки эндосперма, ядра окружены зелеными пластидами; б — в халазальном районе эндосперм остался ядерный, ядра находятся в массе хлоропластов

семечку в продольном направлении пополам и удалив зародыш, можно тонкими иглами отделить сначала внутреннюю бесцветную часть эндосперма, имеющую студенистый характер. Она состоит из очень крупных клеток вытянутой формы с маленькими ядрами, принимающими

* На всех рисунках хлоропласты зачернены.

впоследствии неправильную форму. Клетки заполнены клеточным соком, содержащим в растворенном состоянии питательные вещества, идущие в дальнейшем на питание зародыша. Плазмы в этих клетках очень мало, возможно поэтому ядра большей частью отеснены к клеточным стенкам, находясь в пристенном слое плазмы. Кое-где в клетках, а главным образом вокруг ядер, имеются маленькие капельки масла.

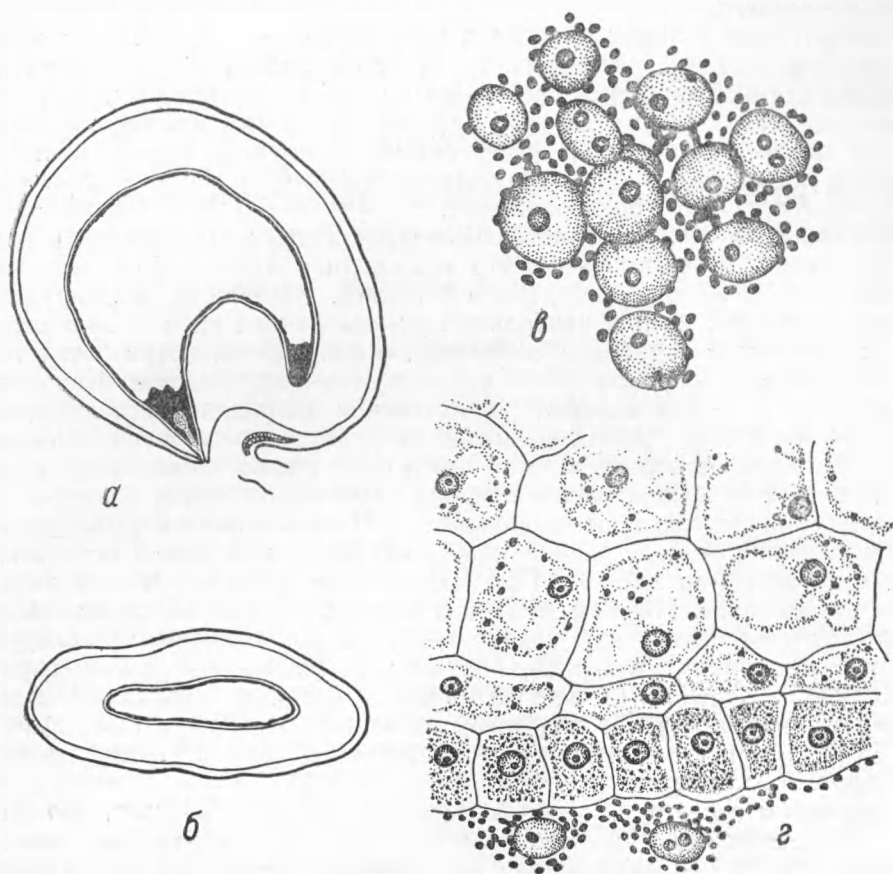


Рис. 3. *а, б* — схемы продольного и поперечного срезов через семечку левкоя; *в* — ядра эндосперма микропиларного района; *г* — четыре ряда клеток внутреннего покрова (интегумента) семечки, из них внутренний (выступающий) слой граничит с ядрами эндосперма, окруженными зелеными пластидами

Совершенно отличным является тип клеток эндосперма, граничащих с остатками внутреннего покрова семечки. Эти клетки значительно мельче, имеют довольно правильную форму (более или менее изодиаметрическую) и уже по мере своего формирования заполняются обильным содержимым. Ядра этих клеток довольно крупные, а вокруг них долгое время в процессе развития семени сохраняются зеленые пластиды. Вся эта зеленая зона также может быть легко отпрепарирована.

При созревании семени разрастающийся зародыш поглощает внутреннюю часть эндосперма и выполняет полость зародышевого мешка. В результате от эндосперма остается лишь его периферическая зона, клетки которой к этому времени теряют хлорофилл и заполняются маслянистым содержимым. Сам зародыш также в конце концов теряет зеленую окраску.

Следовательно, мы видим, что появление зеленых пластид, накопление хлорофилла как в клетках зародыша, так и в эндосперме связано с временем их наиболее активной деятельности, когда происходящий

между материнскими тканями и тканями нового организма обмен веществ особенно интенсивен. Факт наличия хлоропластов в эндосперме, именно в той его части, которая непосредственно граничит с материнскими тканями, позволяет предположить специфичную и весьма важную роль хлорофилла во время развития эндосперма и зародыша. Повидимому, наличие хлорофилла в эндосперме обеспечивает особую активность последнего.

Обнаружение зеленых пластид в эндосперме редиса привело к мысли, что подобное же явление можно будет наблюдать и у других представителей этого же семейства, развитие зародыша которых, как известно, протекает весьма сходно. Действительно, уже предварительный беглый просмотр некоторых крестоцветных, а именно: *Sinapis alba* L., *Brassica juncea* (L.) Czern., *Mattiola annua* Sweet., *Hesperis matronalis* L. подтвердил это предположение.

Из числа названных объектов более детальному исследованию подвергся левкой. Было выяснено, что эндосперм у этого растения развивается по тому же принципу, как и у редиса. Сначала он формируется в виде свободных ядер с наибольшей концентрацией их в микропилярном и халазальном районах семяпочки. Развитие эндосперма, так же как и у редиса, сопровождается образованием хлоропластов. Надо отметить, что у левкой картина расположения хлоропластов получается особенно наглядной благодаря наличию у внутреннего покрова семяпочки выстилающего слоя. Клетки этого слоя имеют таблитчатую форму, отличную от прочих клеток покрова, значительно богаче содержимым и совершенно не содержат хлоропластов. Именно поэтому здесь получается особенно резкая граница между внутренним покровом семяпочки и эндоспермом (см. рис. 3). При дальнейшем развитии семени эндосперм становится клеточным, причем в клетках зеленые пластиды также сохраняют свое положение вокруг ядер, иногда полностью маскируя их. Зеленые пластиды в периферическом слое эндосперма левкой сохраняются очень долго, вследствие чего эндосперм при уже вполне сформированном зародыше имеет вид зеленого мешочка, полностью повторяющего форму зародышевого мешка. Клетки этого слоя заполняются запасными веществами.

Результаты нашего исследования позволяют предположить, что наличие хлоропластов в эндосперме крестоцветных имеет огромное физиологическое значение. Возникновение их в наиболее ответственный период развития семени и скопление в районах особенно интенсивного обмена, а именно, в халазальном (где имеет место приток питательных веществ через ссудистый пучок) и микропилярном (где идет поглощение этих веществ зародышем), говорит о большом участии их в процессе становления нового организма, в обмене веществ между организмом материнским и организмом зарождающимся.

Возможно, что этот факт окажется общим для многих, а может быть, и для всех представителей семейства крестоцветных, приобретая тем самым большое систематическое значение и лишней раз подтверждая филогенетическое единство этого семейства.

Крайне желательны дальнейшие исследования по выявлению роли и значения хлоропластов в ткани эндосперма и определению филогенетического значения этого признака и для других семейств покрытосемянных.

Ботанический институт им. В. Л. Комарова
Академии наук СССР

Поступило
15 X 1951

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. Г. Александров, Бот. журн., 35, № 5 (1950). ² М. С. Яковлев, Тр. БИН АН СССР, сер. 7, в. 2 (1951). ³ Е. Р. Гюббенет, Растение и хлорофилл, 1951. ⁴ W. Hofmeister, Jahrb. f. wiss. Bot., 1 (1858). ⁵ К. А. Тимирязев, Избр. соч., 1, 1948.