

АНАТОМИЯ РАСТЕНИЙ

В. Г. АЛЕКСАНДРОВ и О. Г. АЛЕКСАНДРОВА

**О ЯДРЕ В КЛЕТКАХ ЭНДОСПЕРМА ЗЛАКОВ И ЕГО РОЛИ
ПРИ НАЛИВЕ И ДОЗРЕВАНИИ ЗЕРНОВКИ**

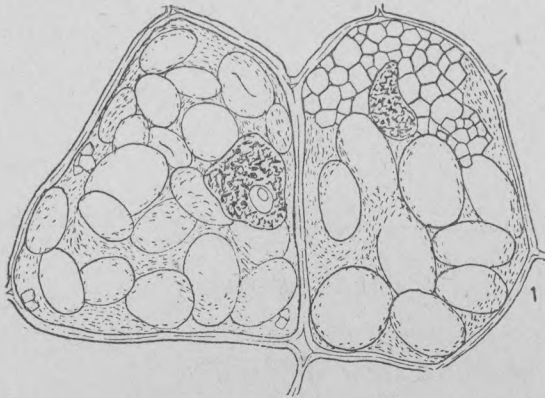
(Представлено академиком А. А. Сапегиным 29 VI 1938)

Еще в 1896 г. было указано, что ядра клеток эндосперма злаков в зрелой зерновке бывают сильно деформированы⁽¹⁾. Деформация ядер, происходящая повидимому вследствие давления на них тесно набивающихся в клетку крахмальных зерен, является результатом отмирания этих ядер⁽²⁾. Нередко ядра клеток эндосперма при полной, так называемой мертвой, спелости зерновки не только превращаются в бесформенные комочки, но и совсем почти растворяются⁽³⁾. Процесс отмирания ядер начинается с исчезновения ядрышек, за которым следует разрушение хроматиновой сети. Явления ядерной дезорганизации обнаруживаются довольно рано, распространяясь от центральных участков ткани эндосперма к периферии последнего. Наряду с весьма ранним началом отмирания ядер наблюдается усиленная вакуолизация протоплазмы вокруг ядер. Образование вакуолей начинается еще раньше, задолго до появления клеточных оболочек в эндосперме, когда ядра находятся в стадии усиленного деления, т. е. когда ткань эндосперма можно вполне считать меристематичной. И преждевременная вакуолизация протоплазмы, и резко выраженное отмирание ядер являются своеобразнейшими явлениями, присущими формирующемуся эндосперму злаков, определенно отличающимися поведением живого содержимого клеток этой ткани от содержимого клеток тканей других частей растения.

В настоящей статье мы коснемся только некоторых деталей состояния ядра в клетках эндосперма, которые по нашему мнению связаны с особенностями налива и дозревания зерновки.

В одном из наших сообщений⁽⁴⁾ были изложены результаты исследований над строением зерновки пырея и житняка (*Agropyrum*). Исследование обнаружило весьма своеобразные черты в строении эндосперма *Agg. cristatum*: в каждой клетке центральной части эндосперма присутствует по небольшой, но хорошо оформленной друзе оксалата кальция и совсем нет хондриосомного крахмала. Специальными наблюдениями было установлено, что друза оксалата кальция образуется на месте клеточного ядра при его дегенерации и разрушении. У видов *Agropyrum*, в эндосперме которых друз оксалата кальция не образуется, ядро также часто почти бесследно разрушается, но хондриосомный крахмал отлагается в избытке. Эти наблюдения дали возможность сделать два существенных предположения: 1) образование хондриосомного крахмала несомненно связано с дея-

тельностью и состоянием клеточного ядра эндоспермальных клеток; 2) образование хондриосомного крахмала является по видимому прямым следствием нормально идущего процесса дегенерации и разрушения ядра. Дальнейшие наши исследования дали фактический материал, подтверждающий по нашему мнению эти предположения.



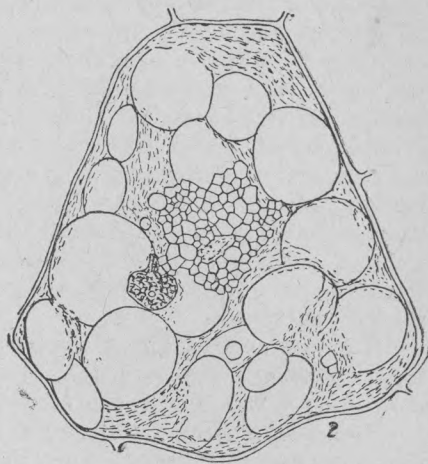
Фиг. 1.

Хондриосомный крахмал—важнейший фактор налива зерновки. Заполняя промежутки между пластидными крахмальными зёрнами, хондриосомный крахмал, накапливаясь в том или другом количестве, осуществляет различную степень полноты налива. При отсутствии хондриосомного крахмала зерновка пшеницы вырастает щуплой (5, 6). В различных климатических условиях и в зависимости от экологической

сущности той или другой формы пшеницы налив идет с различной быстротой, достигая к состоянию полного созревания различной полноты. Особенно замедленными темпами происходит налив и созревание пшениц за Полярным кругом. С целью проследить некоторые детали в процессе налива зерновки пшеницы, ускользающие в обычных климатических условиях, нами были собраны и зафиксированы (спирт с небольшим количеством уксусной кислоты) зерновки различных пшениц на полях Полярного отделения Всесоюзного института растениеводства (Хибинь). Сбор производился 4 IX 1936 г. Несмотря на сентябрь и на предстоящую уборку зерновки почти всех пшениц были еще в состоянии молочной спелости и лишь некоторые из них—начала восковой спелости. В Хибинах пшеница дозревает, будучи убранной с поля, в снопах.

На прилагаемых фигурах изображены клетки центральной части эндосперма. Срезы пшеницы из Финляндии и Ирана были монтированы в глицерине и исследовались спустя почти год после монтировки, поэтому хорошо просветлились; срезы польской пшеницы просветлялись хлоралгидратом незадолго до исследования и тоже были монтированы в глицерине.

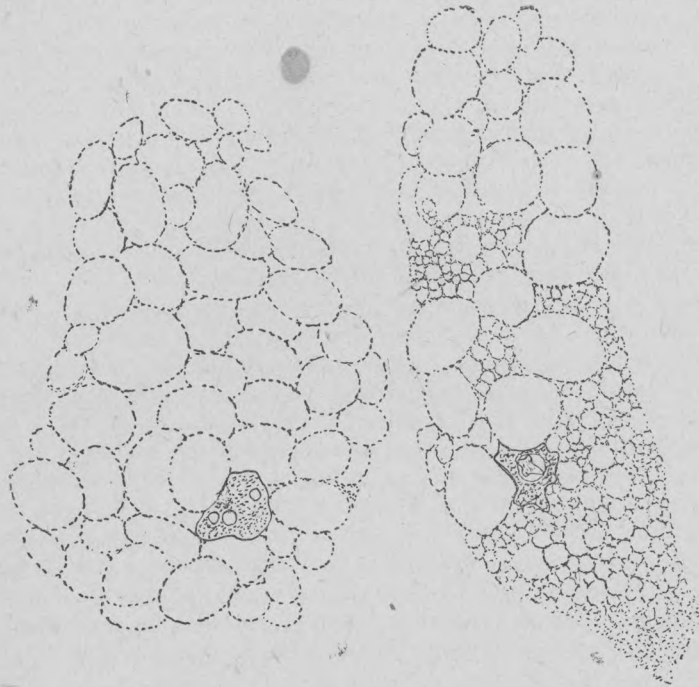
На фиг. 1 изображены две клетки из эндосперма середины зерновки *Tr. vulgare* var. *erythrospermum* Körn. из Финляндии (К. 19315). В клетке, расположенной слева, ядро деформировано еще немного, имеет ядрышко, вообще имеет вид нормального ядра эндоспермальных клеток. Хондриосомного крахмала нет, если не считать восьми мелких зернышек, расположенных по периферии клетки в некотором отдалении от ядра. В клетке справа ядро сильно деформировано, без ядрышка, но вокруг



Фиг. 2.

остатков ядра, непосредственно примыкая к ним, группируется масса хондриосомного крахмала. Срезы производились толстые, в толще каждого среза было не менее 3—4 слоев клеток, поэтому не могло быть боязни, что ядра перерезаны при приготовлении среза и потому деформированы; деформация ядер часто наблюдается во всех клетках среза.

На фиг. 2 изображена клетка из эндосперма середины зерновки *Tr. vulgare* var. *ferrugineum* Al. из Ирана (К. 14335). Ядро деформировано и по отношению к размерам клетки сильно редуцировано (сравнить с ядрами



Фиг. 3.

клеток фиг. 1, зарисованных при том же, как и фиг. 2, увеличении). Около ядра расположена большая группа хондриосомного крахмала.

Приведем еще один пример. На фиг. 3 изображены две клетки из эндосперма верхушки зерновки польской пшеницы *Tr. polonicum* L. (К. 7045). Препарат просветлен в хлорал-гидрате, оболочки клеток различимы с большим трудом, от крахмальных зерен остались лишь их силуэты. В клетке, расположенной с левой стороны, ядро деформировано незначительно и имеет три ядрышка; в клетке справа ядро сильно деформировано, имеет лишь одно ядрышко с включением. Хорошо видно, что в деформации ядра участвуют непосредственно примыкающие к нему крахмальные зерна. В левой клетке нет хондриосомного крахмала, в правой этого крахмала много, при этом накопление его происходит в том конце клетки, где расположено ядро.

Логика приводимых примеров убеждает в том, что ядро клеток эндосперма имеет непосредственное отношение к образованию хондриосомного крахмала. В чем осуществляется это отношение, пока еще неясно. Можно лишь только утверждать, что образование хондриосомного крахмала связано с процессами дегенерации и разрушения ядра и притом с нормальным ходом этих процессов. Можно также полагать, что деформация ядер эндоспермальных клеток, производимая давлением окружающих ядро крах-

мальных зерен, есть явление посмертное, т. е. ядро сначала отмирает, а затем уже происходит деформация его. Следовательно не деформация является причиной отмирания ядра, как думают некоторые исследователи; она повидимому—лишь следствие отмирания. Клетки с разрушающимися ядрами некоторое время продолжают быть живыми, т. е. протоплазма и пластиды их сохраняют в известной мере свое жизнедеятельное состояние, но координация в деятельности этих элементов клеточного содержимого нарушается. Поэтому-то клетки эндосперма злаков и переполняются крахмалом, происходит налив зерновки. Отсюда вывод: отмирание ядер в клетках эндосперма злаков способствует полноте налива зерновки. Во вполне зрелых зерновках эндосперм представляет собой физиологически мертвую ткань. На это указывает ряд исследователей (7,8). Из живой ткани эндосперма зародыш едва ли мог бы извлечь необходимые для его прорастания и дальнейшего развития питательные вещества. Следовательно самый процесс окончательного созревания (дозревания) зерновки связан теснейшим образом с отмиранием ядер эндоспермальных клеток; повидимому различная продолжительность так называемого послеуборочного дозревания есть до некоторой степени отражение различий в быстроте и полноте разрушения ядерного аппарата.

Отмирание и деформация ядер происходят не только в клетках созревающего эндосперма злаков. Такие же явления происходят у различных растений в клетках эндосперма или семядолей семян (9). Вообще в тканях, где откладываются запасные вещества, ядра часто деформируются и отмирают, в особенности же при старении этих тканей.

Приводимыми рисунками мы демонстрируем начальную стадию образования хондриосомного крахмала, осуществляющего налив зерновки. В эндосперме мягких пшениц крахмал этот заполняет при завершении процесса налива все промежутки между пластидными крахмальными зернами, оставляя очень мало места для белковых прослоек. Как идет заполнение, под влиянием каких импульсов,—еще пока неясно. Следует лишь отметить, что в молодом эндосперме кукурузы Лямпе наблюдал энергичное струйчатое движение протоплазмы (10).

Анатомическая лаборатория.
Всесоюзный институт растениеводства.
Пушкин.

Поступило
4 VI 1938.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Zimmermann, Die Morphologie u. Physiologie d. pflanzlichen Zellkerne (1896). ² Brenchley, Ann. of Botany, **23**, 117—139 (1909). ³ Günther, Botan. Arch., **18**, 294—319 (1927). ⁴ Александров и Александрова, ДАН, XVIII, № 2 (1938). ⁵ Александров и Александрова, ДАН, XVIII, № 4—5 (1938). ⁶ Александров и Александрова, ДАН, XVIII, № 8 (1938). ⁷ Bruschi, Ann. of Botany, **22**, 447—463 (1908). ⁸ Weissflog, Bot. Arch., **5**, 283—312 (1924). ⁹ Tischler, Allgemeine Pflanzenkaryologie (1921). ¹⁰ Lampe, Bot. Gazette, **91**, 337—376 (1931).