

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

И. Н. СВЕШНИКОВА

**О ВОЗНИКНОВЕНИИ ЖИРА В КРАХМАЛЬНЫХ ЗЕРНАХ**

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 15 XII 1953)

Большинство исследователей склоняется к тому, что жир возникает в плазме и только в некоторых случаях в так называемых элеопластах (<sup>1-4</sup>). Многочисленные биохимические исследования показали, что в семенах масличных растений образуется сначала крахмал, который частично или полностью исчезает при созревании семени, уступая место жиру; во время прорастания семян наблюдается обратное превращение жиров в углеводы. Аналогичное явление исчезновения крахмала и накопления сахаров и жиров было установлено при уходе растений в покой в почках плодовых деревьев (<sup>5</sup>). Осенью их клетки обычно заполнены крахмалом, а затем в отдельных клетках продукты распада крахмала, переходящие в жиры, обнаруживают слабое реагирование с осмиевой кислотой и отрицательное с суданом III. Позднее реакция на жиры с суданом III полностью заменяет реакцию на крахмал (<sup>5</sup>). Исследования в области обмена веществ у микробов также показали возможность образования жира за счет различных сахаров. С другой стороны, работы анатомов также указывают на последовательную смену содержащегося в клетках крахмала жиром (<sup>6</sup>). Таким образом, связь между углеводами и жирами не подлежит сомнению. Однако, несмотря на то, что механизм превращения углеводов в жир уже довольно детально изучен, до сих пор не было сделано попыток получить непосредственно из крахмала жир. Цитологически этот процесс исследован совершенно недостаточно, что побудило нас приступить к изучению процессов жиροобразования в клетках семени масличных растений, остановившись в первую очередь на выяснении характера связи между крахмальными зернами и жиром.

Методика исследования была разработана на семенах арахиса, которые, в отличие от семян многих других растений, содержат в зрелом состоянии, кроме алейрона и жира, также и крахмал. Для выявления всех указанных веществ применялась следующая методика. Срезы в живом нефиксированном состоянии готовились возможно тоньше от руки или на замораживающем микротоме. С целью более полного прокрашивания жира шарлахом применялась предварительная обработка срезов иодом в иодистом калии \*. После фиксации иодом срез промывался 70° спиртом и красился на предметном стекле в течение 3 мин. Во избежание выпадения осадка от краски препарат покрывался покровным стеклом. Шарлах готовился по методу А. Н. Бояркина \*\*. После окраски шарлахом срез промывался водой, после чего повторно подвергался окраске иодом. При этой обработке жир окрашивался в красный цвет, крахмал в синий, алейрон в желтый.

\* В 100 мл воды растворялось 2,1 г иодистого калия и затем 0,3 г металлического иода.

\*\* Насыщенный раствор шарлаха в бензоле настаивается 2—3 суток. Для покраски семян исходный раствор разводится 96° спиртом в 8 раз.

Методика, разработанная на семенах арахиса, была применена и к другим объектам. При этом крахмал принимал различную окраску в зависимости от преобладания в нем при покраске иодистым калием синей амилозы или фиолетового амилопектина.

Интересные картины так называемых «элеопластов» у ириса (<sup>2, 4</sup>) привлекли наше внимание к этому объекту. В устьицах листьев ириса до начала цветения никакого масла не обнаруживается, они содержат только крахмальные зерна, окрашивающиеся от иода в голубой цвет. Ко времени цветения растений крахмал в устьицах начинает окрашиваться иодом в буро-фиолетовый цвет, что указывает на преобладание в крахмале в это время амилопектина вместо амилозы. В крахмальных зернах были обнаружены мелкие капельки липонидного характера, окрасившиеся от шарлаха в красный цвет (рис. 1). В дальнейшем эти ка-

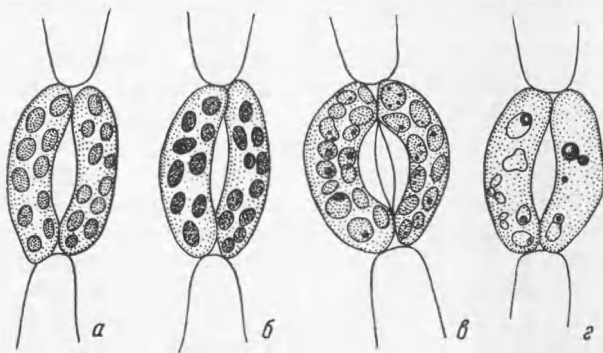


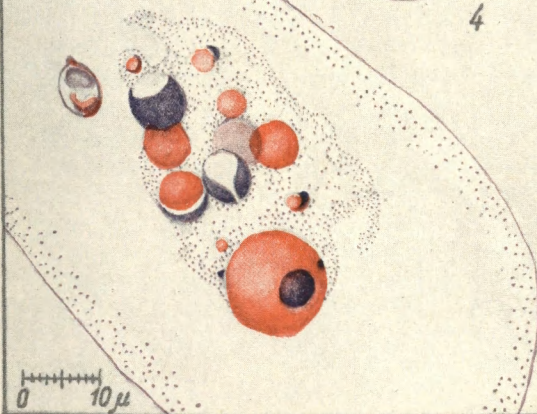
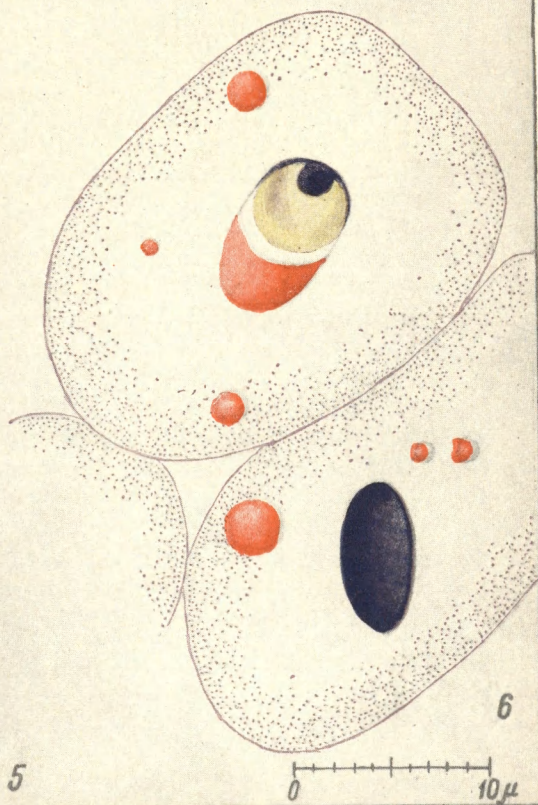
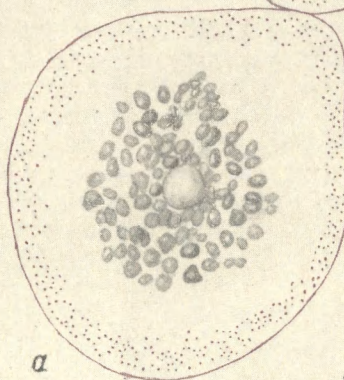
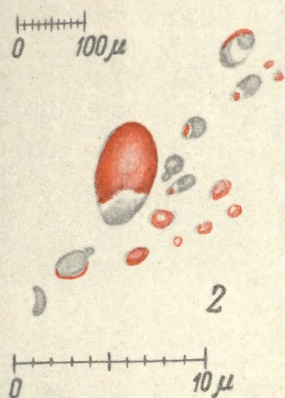
Рис. 1. Образование липонидов в устьицах листьев у ириса (иод + шарлах + иод). а — голубой крахмал (в устьицах до начала цветения); б — фиолетовый (то же); в — начало накопления жира в крахмальных зернах в устьицах цветущих растений ирисов; г — возникновение крупных капель жира и исчезновение крахмала

пельки сливаются и дают более крупные капли, а крахмал деформируется, дает слабое окрашивание от иода и, наконец, исчезает из устьиц. При распаде крахмальных зерен обломки иногда сбиваются к краям устьичных клеток. Ввиду того что шарлах может красить, кроме жиров, также пигменты, была проделана реакция на каротиноиды и хромолипиды. Реакция с иодом не дала черно-зеленого окрашивания, что указало на отсутствие в устьицах каротиноидов, а реакция с серной кислотой не дала красного окрашивания, что свидетельствовало об отсутствии хромолипидов.

Представляло интерес выяснить, является ли характер превращения крахмальных зерен в листьях ириса типичным для процесса жиорообразования у других растений. С этой целью мы подвергли исследованию семена различных масличных растений.

**Подсолнечник.** На определенной фазе развития семени, например у подсолнечника, воспитывавшегося в оранжерейных условиях, на

Рис. 2. 1, 2, 3: образование жира в крахмальных зернах эндосперма горчицы (иод + шарлах + иод). 1 — общий вид 3 при малом увеличении; 2 — деталь из 3в, отдельные крахмальные зерна в момент образования в них жира. 3а — ядро эндосперма, густо покрытое крахмальными зернами, 3б — часть крахмальных зерен на ядре преобразовалась в жир, 3в — преобладание жира и зерен из жира и крахмала. 2, 4, 5, 6: возникновение жира в крахмальных зернах: крахмальные зерна, переходные формы жира и крахмала со светлой зоной между ними и капли жира (иод — + шарлах + + иод). 4 — подсолнечник *Helianthus annuus*, 4а — отдельное зерно крахмала с жиром, 5 — горчица *Sinapis alba*, 6 — мак *Papaver somniferum*.



6-й день после начала цветения семя становится светлосерым с более интенсивным окрашиванием на концах, а семядоли его настолько нежны, что легко раздавливаются при нажиме покровным стеклом. В это время идет еще процесс размножения клеток, на что указывают наблюдаемые митозы, а в зернах крахмала можно наблюдать возникающие капли жира: клетки семядолей подсолнечника заполнены крахмальными зернами разного размера, большей частью овальной формы фиолетово-коричневого цвета после йода в связи с преобладанием в нем амилопектина. Среди этих крахмальных зерен часть зерен не имеет гомогенной крахмальной структуры, в них обнаруживается жир, окрасившийся от шарлаха в красный цвет (рис. 2, 4). В разных зернах эта окраска проявляется в разной степени: некоторые крахмальные зерна почти целиком состоят из крахмала и имеют только маленькие включения жира, у других около половины зерна состоит из жира и, наконец, у третьих почти все зерно состоит из жира и только с одной стороны зерна можно обнаружить краешек из остатка крахмала. Такую же картину можно видеть в клетках семени горчицы, за исключением того, что ее крахмал отличается от крахмала подсолнечника более серо-фиолетовой окраской от йода. Рис. 2, 5.

Подобное же явление постепенного возникновения в крахмальных зернах жира мы обнаружили в оболочке, эндосперме и зародыше формирующихся семян горчицы, мака и льна. Следует отметить, что у каждого вида растения переход крахмала в жир приурочен к определенному периоду времени после начала цветения; начало этого периода совпадает со временем, когда формирование и рост плода приближаются к концу.

**Горчица.** Особенно удобно было наблюдать этот процесс у белой и сарептской горчицы. На 18-й день после начала цветения удалось обнаружить на поперечном срезе семени горчицы следующие детали описанного процесса; в зернах крахмала, где уже начал накапливаться жир, крахмальная зона не непосредственно примыкает к зоне жира, но между ними наблюдается «светлая» зона (рис. 2, 5). Эту светлую зону можно было видеть не только у крупных крахмальных зерен, но также и у мелких и средних (рис. 2, 2). Это массовое образование жира в крахмальных зернах имело место в скоплениях крахмальных зерен, расположенных вокруг ядер эндосперма. Ядра были настолько плотно окружены крахмальными зернами, переходящими в жир, что были различимы с трудом. Сначала можно было видеть ядра, окруженные одним крахмалом (рис. 2, 3 а), затем появились переходные формы зерен крахмала с жиром (рис. 2, 3 б) и капли жира; наконец, еще дальше все ядра были плотно окружены жировыми шариками (рис. 2, 3 в). Общий вид этого перехода крахмала в жир можно видеть на рис. 2, 1.

Еще более ясно ввиду большего размера «светлой» зоны можно наблюдать последнюю в семенах мака (рис. 2, 6). На аналогичной картине перехода крахмала в жир, найденной в семенах мака на 14-й день после цветения, «светлая» зона занимает иногда большой промежуток между жиром и крахмалом, к тому же она неоднородна, в некоторых местах ее появляется слабый коричневый оттенок. Эта светлая зона состоит из промежуточных продуктов, через которые идет превращение крахмала в жир — непосредственные продукты распада крахмала. Закономерное скопление крахмала непосредственно вокруг ядер клеток эндосперма и оболочки семени горчицы, при переходе крахмала в жир (рис. 2, 1, 3, 5), позволяет предполагать участие ядра в процессе взаимопревращения в клетке запасных веществ. Картина часто наблюдаемого явления накопления лейкопластов и хлоропластов на ядрах растительных клеток (1, 2) говорит о справедливости этого предположения. Складчатая форма ядра (рис. 2, 5) указывает на выход из ядра в плазму каких-то веществ в про-

цессе обмена между ядром и плазмой; возможно, что это белковые катализаторы — ферменты.

Кроме описанных выше более или менее крупных крахмальных зерен, в семядолях подсолнечника на той же фазе формирования семени, когда оболочка семени еще светлосерая с более интенсивным окрашиванием на концах, удалось наблюдать мельчайшие крупинки крахмала рядом с мельчайшими капельками жира. Принимая во внимание поставленный вопрос о возможности беспластидного плазменного происхождения крахмала (7), гипотеза о его происхождении в связи с хондриосомами, а мельчайших капель жира — из данного «хондриосомного» крахмала должна явиться предметом дальнейших исследований.

Таким образом, методом цитологического анализа было показано действительно происходящее в созревающих семенах масличных растений образование жира в крахмальных зернах. Если стоять на точке зрения пластидного происхождения крахмала, то можно рассматривать генезис жира из крахмала как процесс, протекающий в органоидах клетки.

В заключение выражаю благодарность проф. А. А. Прокофьеву, под руководством которого было проведено данное исследование, и М. А. Асикритовой за техническую помощь.

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

Поступило  
3 XII 1953

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> P. Dangeard, *Cytologie végétale et cytologie générale*, 1947. <sup>2</sup> A. Guillermond, *C. R. Soc. Biol.*, **109**, 1182 (1932). <sup>3</sup> A. Meyer, *Morphologische und physiologische Analyse der Zelle der Pflanzen und Tiere*, 1920. <sup>4</sup> A. T. Faull, *J. of the Arnold Arb.*, **16**, No. 2 (1935). <sup>5</sup> П. А. Генкель, Е. З. Окнина, Изучение глубины покоя у древесных пород для диагностики их морозоустойчивости, Изд. АН СССР, 1952. <sup>6</sup> Л. И. Джапаридзе, Практикум по микроскопической химии растений, М., 1953. <sup>7</sup> В. Г. Александров, М. М. Яковлев, Л. С. Климокина, *Бот. журн.*, **32**, № 4 (1947).