



УЧЕБНИКИ И УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

В.Г. ЩЕРБАКОВ, В.Г. ЛОБАНОВ

БИОХИМИЯ И ТОВАРОВЕДЕНИЕ МАСЛИЧНОГО СЫРЬЯ

5-е издание, переработанное и дополненное

Рекомендовано Учебно-методическим объединением по образованию в области технологии продуктов питания и пищевой инженерии в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Технология жиров, эфирных масел и парфюмерно-косметических продуктов» направления подготовки дипломированных специалистов 655600 «Производство продуктов питания из растительного сырья»

УДК [581.19 + 620.2] : 664.34(075.8)
ББК [28.57 + 30.609] : 35.782я73
Щ61

Редактор *Н.В. Куркина*

Рецензенты: доктор техн. наук, профессор *С. Ф. Быкова* (Северо-Кавказский филиал Всероссийского НИИ жиров); доктор техн. наук, профессор, член-корреспондент Академии технологических наук РФ *В. Д. Надькта* (Всероссийский НИИ биологической защиты растений)

Щербаков В.Г., Лобанов В.Г.
Щ61 Биохимия и товароведение масличного сырья. — 5-е изд., перераб. и доп. — М.: КолосС, 2003. — 360 с.: ил. — (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений).
ISBN 5—9532—0056—0.

В настоящем издании в отличие от предыдущих (4-е издание вышло в 1991 г.) дополнены и уточнены современные представления о биохимических процессах. Расширены сведения об изменениях химического состава масличных семян, происходящих при их технологической переработке, определяющих биологическую ценность и безвредность продуктов. С учетом новых данных изложен материал о генномодифицированных масличных растениях, их жирно-кислотном составе.

Приведены технологические характеристики редких, перспективных, но малоиспользуемых видов растительного масличного сырья.

Для студентов вузов, обучающихся по специальности «Технология жиров, эфирных масел и парфюмерно-косметических продуктов».

УДК [581.19 + 620.2] : 664.34(075.8)
ББК [28.57 + 30.609] : 35.782я73

ISBN 5—9532—0056—0

© ВО «Агропромиздат», с изменениями, 1991
© Издательство «КолосС», 2003

МОСКВА «КолосС» 2003

биологической ценности липидов и белков, получаемых из масличных семян, — первоочередная задача современной технологии переработки растительного масличного сырья.

РАЗВИТИЕ НАУКИ О МАСЛИЧНЫХ СЕМЕНАХ

Еще в глубокой древности люди использовали растения, из которых можно получать масло. По-видимому, сначала стали использовать масличные растения, в плодах и семенах которых много легкоотделяемого масла. Вероятнее всего, это были оливковое и пальмовое масла, свободно вытекающие из зрелых плодов при небольшом надавливании на сочную мякоть околоплодника. Постепенно полезные дикорастущие растения превратились в систематически возделываемые сельскохозяйственные культуры, что способствовало возникновению маслобойного ремесла, а затем маслобойной промышленности.

В настоящее время промышленное использование новых масличных дикорастущих растений невозможно без введения их в культуру. Главное место среди масличных занимают культурные растения, превосходящие по свойствам исходные дикорастущие.

Развитие технологии растительных масел заметно опережало изучение свойств масличных семян и масел, извлекаемых из них. Несмотря на то, что используют растительные масла уже несколько тысячелетий, изучать их начали сравнительно недавно. Еще в 1669 г. О. Тахениус считал, что в жирах содержится «скрытая кислота», и указывал, что в процессе омыления и последующей обработки мыльных растворов кислотами образуется «жирная масса», отличающаяся от исходного жира.

В XVIII веке сформировались основные направления исследования растений и продуктов их переработки. Основное внимание исследователей в то время привлекало изучение химического состава растений.

В 1783 г. К. В. Шееле, обрабатывая оливковое масло оксидом свинца при нагревании, заметил, что в числе продуктов омыления образуется сладкое вещество. Он установил, что это вещество содержится в растительных и животных жирах, и назвал его «сладким маслянистым принципом». В 1823 г. М. Э. Шеврель определил структуру жиров, выделил олеиновую, стеариновую и некоторые другие жирные кислоты и ввел название «глицерин». Он установил, что «сладкий маслянистый принцип», обнаруженный К. В. Шееле, представляет собой трехатомный спирт. В 1847 г. А. Собrero, обрабатывая азотной кислотой глицерин, который в то время был отходом стеаринового производства, получил маслянистое взрывчатое вещество — нитроглицерин.

В 30-х годах XIX века Т. Соссюр при исследовании прорастающих семян конопли, рапса и некоторых других масличных расте-

ний обнаружил, что жир распадается в них до углеводов. Наблюдая быстрый гидролиз масла в пальмовых плодах, Ж. М. Пелуз и С. Будон в 1839 г. высказали предположение, что в пальмовом масле содержится вещество, разлагающее триацилглицеролы на кислоты и глицерин. Позже Ж. М. Пелуз заметил, что в непроросших и не поврежденных семенах конопли, рапса, мака содержится в основном нейтральный жир, но если семена истолочь, то жир вскоре разлагается на глицерин и свободные кислоты. Он считал, что такое явление обусловлено действием фермента, содержащегося в семенах.

В 1871 г. А. Мюнц отметил, что в масличных семенах мака и сурепицы при прорастании образуются свободные жирные кислоты. Чем дольше прорастают семена, тем больше освобождается жирных кислот, и после 5...6 сут прорастания триацилглицеролы почти совсем исчезают.

Превращения веществ при прорастании масличных семян обстоятельно изучал А. Э. Лясковский, который в 1874 г. опубликовал работу «О прорастании тыквенных семян». Он установил зависимость интенсивности дыхания прорастающих семян от температуры и высказал предположение, что при дыхании наряду с диоксидом углерода образуется вода, и обнаружил аспарагин в проросших масличных семенах.

А. С. Фаминцын в книге «Обмен веществ и превращение энергии в растениях», вышедшей в 1883 г., дал глубокий анализ взаимосвязи процессов обмена веществ в растительном организме. Проблемы биохимии, изложенные А. С. Фаминцыным в первом русском учебнике физиологии и биохимии растений, вышедшем в 1887 г., легли в основу дальнейших исследований на многие десятилетия.

В 1890 г. Д. Э. Грин и независимо от него Р. Зикмунд исследовали в прорастающих семенах клешевины первую растительную липазу. В 1903 г. Д. Белан обнаружил, что при хранении пшеничной муки ее жир постепенно замещается свободными жирными кислотами, которые при очень длительном хранении муки разлагаются. Он предложил оценивать степень свежести муки по соотношению между нейтральным жиром и свободными жирными кислотами. К этому времени уже было известно, что свойства маслосодержащих плодов и семян, проявляющиеся при их хранении и переработке, определяются наличием в их химическом составе большого количества липидов.

В начале XX века особое внимание исследователей биохимии растений привлекали вопросы общеприродного характера. Установление достаточно подробного химического состава растений, открытие ряда ферментов и выявление их роли в обмене веществ, дальнейшее развитие биохимии белков, липидов, углеводов создали основу для выявления общих закономерностей обмена веществ и превращения энергии в живых организмах.

Обширные биохимические исследования растительного масличного сырья были начаты в 1911 г. С. Л. Ивановым. Изучая процесс маслообразования ряда важнейших масличных культур, Иванов в 1924 г. установил зависимость изменения химического состава масла от географического происхождения растений. Так, при выращивании растений в северных или высокогорных районах при созревании синтезируются менее насыщенные жирные кислоты, а при выращивании в южных широтах и на равнинах синтезируются более насыщенные жирные кислоты. Климатическая зависимость процесса маслообразования была многократно проверена С. Л. Ивановым, а также Г. В. Пигулевским и К. П. Кардашевым на многих растениях.

А. М. Голдовский в 1941 г. обнаружил, что в растениях каждая группа органических веществ представлена не одним индивидуальным веществом, а рядом близких по химическому составу и свойствам веществ. В 1946 г. он выдвинул теорию о потоках химических превращений веществ в растениях (глюцидном, протеидном, липидном и изопреновом) и корреляционных связях между этими потоками.

Изучение растений на субклеточном и молекулярном уровнях вновь привлекло внимание исследователей к проблемам обмена веществ в масличном сырье, в частности к проблеме синтеза и распада жиров. Открытие в 1943 г. Ф. А. Липманом кофермента А и обоснование его роли в обмене липидов позволило по-новому объяснить процесс синтеза жирных кислот в созревающих семенах масличных растений. В 1953 г. Ф. Ньюкомб и И. Штумпф в опытах с семядолями арахиса экспериментально подтвердили участие двух и трех углеродных фрагментов, активированных коферментом А, в синтезе жирных кислот. В дальнейшем это позволило найти связь между липидным и другими процессами обмена веществ в масличных растениях.

В 1949 г. А. Ленинджер показал, что в митохондриях клеток происходит процесс окислительного фосфорилирования, обеспечивающий живой организм химической энергией.

Развитие общей биохимии позволило установить ряд фундаментальных научных положений, определивших уровень прикладных научных дисциплин, в том числе биохимии масличных растений.

В 1953 г. Д. Д. Уотсон и Ф. Х. Крик доказали, что молекула дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК) построена из двух нитей. В 1963 г. М. Ниренберг расшифровал генетический код, определяющий структуру белков всех живых организмов — от бактерий до высших растений, животных и человека.

В 1972 г. Полом Бергом была получена первая гибридная (рекомбинантная) ДНК фага лямбда и кишечной палочки с ДНК обезьяньего вируса. Это открытие ознаменовало возникновение генетической, или генной, инженерии, целью которой стало уп-

равление генетической основой живых организмов посредством внедрения или удаления из ДНК специфических генов.

В настоящее время создание трансгенных растений, в том числе масличных (сои, рапса, хлопчатника, льна), наиболее интенсивно ведется в США, Канаде, в меньших объемах — в странах Европы, Южной Америки, Азии и Южной Африки. В России исследования в области трансгенных растений ограничены, а из генномодифицированных продуктов разрешены к применению только семена сои.

Появление усовершенствованных аналитических автоматизированных методов позволило определить структуру белков и их аминокислотную последовательность. К 1986 г. были расшифрованы последовательности нуклеотидов в нуклеиновых кислотах.

Продолжает развиваться быстрыми темпами биохимия клеточных мембран. Выявлены тонкие механизмы регулирования деятельности клетки, характер взаимодействия и ответные реакции компонентов биомембраны на изменения внешних условий. Функции биомембран определяют многие свойства веществ, запасаемых в семенах.

Биохимические исследования масличного сырья в настоящее время проводятся во Всероссийском институте жиров (ВНИИЖ), входящем в научно-производственное объединение масложировой промышленности «Масложирпром» (г. Санкт-Петербург) и его филиалах в Москве и Краснодаре. Здесь ведутся работы в основном прикладного характера и решаются непосредственные технологические задачи, стоящие перед промышленностью. Всероссийский НИИ масличных культур (г. Краснодар), входящий в состав НПО «Масличные культуры», специализируется на решении задач селекции масличных растений. Всероссийский институт растениеводства им. Вавилова (г. Санкт-Петербург) занимается вопросами биологии и физиологии масличных и других растений.

В странах ближнего зарубежья (Украина, Узбекистан) продолжают исследования масличного сырья и продуктов его переработки: в Харькове — занимаются изучением переработки жиров, в Ташкенте — биохимией масличных растений.

За рубежом наиболее значительные исследования в области биохимии и технологии масличного сырья проводятся в США, Англии, Германии и Франции. В США на протяжении многих лет действует Американское общество химиков-жировиков. Общество координирует работы в области химии, биохимии и технологии сои, хлопчатника, подсолнечника и других масличных растений.

В Великобритании создана крупная научная школа, работающая в области теории строения липидов, одним из основателей которой был Т. П. Гильдич.

В Германии в Научно-исследовательском институте жиров

(г. Вюртенберг) издается журнал «Жиры, масла и моющие средства» и ведутся исследования и разработки методов анализа липидов, начатые под руководством Ф. Кауфмана.

Во Франции исследования в области химии и технологии жиров ведет Научно-исследовательский технический институт жировых веществ (г. Париж). Основное направление работы этого института — химия липидов и белковых продуктов переработки масличных семян. Институт издает два специализированных журнала по вопросам технологии жиров, а также по возделыванию и использованию тропических масличных растений — пальм, клещевины и арахиса.

В настоящее время круг проблем, связанных с биохимией и технологией комплексной переработки растительного масличного сырья, непрерывно расширяется. Совершенствуется технология получения растительных масел и белковых продуктов. Пересмотр традиционных приемов переработки масличного сырья, появление новых направлений использования его компонентов на основе безотходных и экологически чистых технологий требуют от инженера-технолога глубокого понимания биохимических и химических процессов, происходящих в масличном сырье.

ЗНАЧЕНИЕ МАСЛИЧНЫХ РАСТЕНИЙ И РАСТИТЕЛЬНЫХ ЖИРОВ

Растительные жиры и масла, составляющие важнейшую часть соединений класса липидов, широко распространены в тканях растений. Они являются обязательным компонентом клеток, хотя большинство растений накапливает сравнительно немного масла. Однако известно несколько сотен культур, у которых в тканях отдельных органов откладывается в запас значительное количество жирных масел. В семенах некоторых растений содержится до 50...70 % липидов от массы. Наибольшее количество запасных липидов обычно сосредоточены в основной ткани семян — зародыше и эндосперме, другие ткани относительно бедны липидами.

Группа растений различных ботанических семейств, родов и видов, обладающих способностью концентрировать большие количества масел, получила название масличной. *Масличными* называют растения, в семенах или плодах которых жирные масла накапливаются в количествах, экономически оправдывающих их промышленную переработку.

По мере развития техники и технологии количество масличных культур, из которых можно извлекать масла, непрерывно расширяется за счет растений со сравнительно невысоким содержанием масла. Если не так давно была экономически оправдана промышленная переработка семян с содержанием масла не менее ¼ их

массы, то теперь успешно перерабатывается сырье, содержащее не более 1/10...1/15 масла. В настоящее время в группу промышленных включено более 100 масличных растений.

Наибольший практический интерес представляют жиры и белки семян. Растительные жиры наряду с другими компонентами составляют основу рационального питания человека. Растительные масла употребляют непосредственно в пищу, используют в хлебопекарном и кондитерском производстве в качестве добавок к тесту, при изготовлении печенья, шоколада, халвы, начинок для конфет и других разнообразных продуктов.

Пищевые растительные масла подразделяют на кулинарные, столовые (салатные) и консервные. В кулинарии пищевые растительные масла используют в чистом виде или в виде маргарина и специальных кулинарных жиров. К столовым относят масла, полученные из семян механическим отжимом при относительно низкой температуре, и все рафинированные масла независимо от метода получения. При изготовлении консервов широко применяют рафинированные подсолнечное (особенно из высокоолеиновых сортов подсолнечника), хлопковое, а также оливковое, арахисовое, кунжутное масла и их смеси.

Технические растительные масла широко применяют во многих отраслях народного хозяйства. Это источник получения изолированных жирных кислот, причем из пищевых и не пищевых растительных масел. На втором месте по объему потребления на технические цели стоит производство моющих средств, которые используют в быту и в промышленном производстве. На третьем месте — производство окисленных масел, предназначенных для выработки лаков, красок, олиф, линолеума, клеенок и непромокаемых тканей. Большое количество растительных масел применяют для приготовления охлаждающих жидкостей, технологических смазок, полирующих составов и т.д. Отдельные виды растительных масел используют для приготовления специальных смазочных средств, например, полученного из рицинолевой кислоты касторового масла.

Касторовое, кротонное, молочайное, оливковое и некоторые другие растительные масла широко применяют в производстве фармацевтических препаратов; какао-масло, оливковое, миндальное и касторовое используют для изготовления различных косметических средств.

Белки масличных семян в виде белковых концентратов, изолятов и гидролизатов используют для повышения биологической ценности многих пищевых продуктов, а также в качестве составного компонента комбикормов для животных.

Плодовая и семенная оболочка масличных семян, состоящие в основном из целлюлозы, являются сырьем для гидролизного производства, а также могут служить перспективным источником для получения восков и других химических продуктов. При перера-

ботке 100 т семян подсолнечника получают 47 т масла, 30 т шрота (пищевого и кормового белка), 20 т плодовой оболочки, 3 т составляют потери.

Масличные семена и продукты их переработки содержат кроме масла и белка богатейший комплекс биологически активных соединений, в том числе витаминов и провитаминов (токоферолов, стеролов и каротиноидов, тиамина, рибофлавина, пиридоксина, биотина, фолиевой, пантотеновой и аскорбиновой кислот).

Богат и разнообразен фосфолипидный комплекс масличных семян. В его состав входят: фосфатидилхолины, фосфатидилэтаноламины, фосфатидилсерины, фосфатидилинозитолы, фосфатидные кислоты и их соли. Наконец, в масличных семенах уникальный набор макро-, микро- и ультрамикроэлементов, суммарное содержание которых почти в 2 раза превышает их количество в семенах других культур.

Химический состав масличных семян создает большие возможности для комплексного использования растительного масличного сырья в промышленности. Поэтому основной целью уборки, послеуборочной обработки, хранения и переработки масличных семян является максимальное сохранение всех ценных компонентов растительного масличного сырья в готовых продуктах.

В связи с этим первоочередной проблемой комплексной экологически чистой технологии растительных масел должно явиться создание производственных процессов, обеспечивающих исключение или максимальное ослабление интенсивных воздействий на масличное сырье и окружающую среду с целью сохранения всех ценных компонентов масличных семян при их хранении и переработке.

СОВРЕМЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО РАСТИТЕЛЬНОГО МАСЛИЧНОГО СЫРЬЯ

По объему производства основными видами сырья в мире среди растительных пищевых масел являются соя, различные виды пальм, подсолнечник, рапс, хлопчатник, арахис, олива (маслина), кунжут, сафлор и некоторые другие. Для технических целей готовят масло из льна, клещевины, тунга, периллы, ляллеманции и конопли.

В России пищевые масла в основном получают из семян подсолнечника, сои, рапса; семена других масличных растений (льна, горчицы, клещевины и конопли) перерабатываются в относительно небольших объемах.

В мировом производстве пищевых растительных масел первое место принадлежит соевому маслу, второе пальмовому, третье и четвертое — подсолнечному и рапсовому. Большая роль в общем объеме производства пищевых растительных масел отводится арахисовому, хлопковому и оливковому маслам.

Особое место занимают пальмовые масла — кокосовое, пальмовое и пальмоядровое, общая выработка которых до последнего времени составляла 18...20 % мирового производства растительных масел. Из технических масел в большом объеме производят льняное.

Производство растительных жирных масел имеет бесспорные экономические преимущества по сравнению с производством животных жиров. Кроме того, при переработке масличных семян наряду с маслом можно получить пищевые белки, значение которых в связи с острой проблемой дефицита белковых ресурсов в мире возрастает.

Первое место среди масличных семян занимают соевые бобы, в общем объеме производства масличного сырья на их долю приходится около половины. При переработке сои получают хорошее пищевое масло, а также пищевые белки, которые используют для получения и обогащения других пищевых продуктов.

Второе место в мировых ресурсах масличного сырья занимают семена хлопчатника. При их переработке получают волокно и пищевое масло, а также пищевые белки.

На долю арахиса приходится 10 % производства масличных семян. Арахис является ценной масличной, а также продовольственной культурой.

Четвертое место в производстве масличного сырья занимает подсолнечник. Продолжает расти мировое производство семян подсолнечника. Его стали культивировать в странах, где раньше практически не сеяли (страны ЕЭС, Канады, США). Значительно увеличилось производство подсолнечника в Турции, Румынии и Аргентине. В связи с созданием низкоолеиновых и низкоглицеридных сортов значительно растет также производство рапса. Увеличивается производство копры и пальмового ядра, значительная часть которых экспортируется из стран-производителей.

В России основной масличной культурой является подсолнечник. Выработка всех видов масличных семян в России составляет от 2,8 до 4,5 млн. т в год, доля подсолнечных семян — от 80 до 85 %.

Масложировая промышленность обеспечивает около половины потребности страны в растительных маслах. На протяжении последних лет по импорту закупается от 0,8 до 1,3 млн. т в год подсолнечного и других масел. В то же время продолжается экспорт за рубеж подсолнечного масла и масличных семян. Объемы экспорта и импорта растительного масла практически сравнимы.

Россия закупает подсолнечное масло в Аргентине, на Украине, в Молдавии, Венгрии, а экспортирует в Казахстан, Алжир и Египет. Пальмовое масло импортируется из Индонезии, оливковое в основном из Греции, а также из Испании, Италии, США, Турции и Туниса.

Внедрение достижений биотехнологии в практику селекции

привело к созданию высокопродуктивных сортов и гибридов масличных растений, более устойчивых к заболеваниям, засухе, засоленности почв.

В то же время урожайность масличных растений снижается под влиянием техногенных воздействий на почву, уменьшения плодородности сельскохозяйственных земель и особенно их площади. Доля возделываемой земли на душу населения в мире сократилась с 0,44 га в 1961 г. до 0,26 га в 1997 г. и к 2050 г. она сократится до 0,15 га.

Предлагаемым решением проблемы, согласно некоторым исследованиям, является создание трансгенных растений, способных увеличить количество сельскохозяйственной продукции несмотря на сокращение площади пахотных земель. Для трансгенных растений характерна повышенная устойчивость к гербицидам, насекомым-вредителям, вирусам и грибковым заболеваниям, гарантирующая повышение их продуктивности на 25 % по сравнению с традиционными сортами и гибридами.

В настоящее время в мировой практике разрешены к коммерческому применению следующие трансгенные масличные растения: соя, рапс, хлопчатник и лен. Некоторые из этих культур помимо высокой устойчивости отличаются от традиционных также по жирно-кислотному составу масла.

Хранение до переработки и рациональное использование растительного масличного сырья остается наиболее сложной задачей. Решить ее можно только при глубоком изучении биохимических процессов, происходящих в масличных семенах на стадиях их развития, целенаправленном использовании их физиологических свойств при обработке, хранении и переработке масличного сырья.

При подготовке пятого издания авторами учтены замечания, опубликованные в печати в виде рецензий, рекомендаций, предложенных различными преподавателями, имеющими значительный опыт при чтении данной дисциплины в различных вузах, а также замечания, высказанные в ходе обсуждения рукописи.

Авторы приносят глубокую благодарность всем приславшим отзывы и замечания, направленные на дальнейшее совершенствование учебника.

Часть I

МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МАСЛИЧНЫХ СЕМЯН И ПЛОДОВ

Масличные растения принадлежат к группе семенных (цветковых) растений, которые в настоящее время являются господствующими в растительном мире Земли. Характерное для цветковых растений размножение с помощью семян эффективно способствует сохранению и распространению их видов. Семена после созревания переходят в состояние покоя и легко переносят без повреждения неблагоприятные внешние условия (зимние холода, летнюю засуху и др.), губительные для целых растений. Семена разносятся с помощью ветра, воды и различных животных на большие расстояния, сохраняя при этом жизнеспособность. Наконец, размножение с помощью семян и относительно короткий жизненный цикл травянистых растений, к которым относятся большинство промышленных масличных культур, позволяют им быстро приспосабливаться и приобретать свойства, наиболее отвечающие внешним условиям.

Плоды на растении обычно собраны в соцветия, строение и форма которых значительно влияют на размеры, химический состав и технологическое качество семян.

Соцветия, характерные для большинства масличных растений, делятся на два класса — верхоцветные и бокоцветные (рис. 1.1). У верхоцветных верхушка главной оси соцветия раньше других заканчивается цветком и рост прекращается, а остальные цветки появляются позже на боковых ветвях и развиваются в нисходящей последовательности. Верхушечный цветок первым дает плод. Чем позже появляется цветок, тем более недозрелыми к моменту уборки могут оказаться плоды и семена растения. Семени в верхоцветном соцветии созревают постепенно после роста боковых ветвей. Примерами верхоцветных соцветий у масличных растений являются *верхоцветник* у льна и *извилины (завиток)* у хлопчатника.

У бокоцветных верхушка главной оси соцветия не заканчивается цветком, а продолжает расти, и на ней формируются боковые ветви и цветки. Как правило, к моменту уборки плоды и семена верхушки главной оси соцветия не вызревают. Цветки развиваются в восходящей последовательности — верхние цветки развиваются позже, они хуже снабжаются питательными веществами.

4.1. ЛИПИДЫ

Наиболее важной составной частью масличных семян являются *липиды*.

Липидами называют практически нерастворимые в воде компоненты клетки, которые могут быть экстрагированы из нее органическими растворителями малой полярности. Взаимная растворимость любых веществ зависит от соотношения сил молекулярного взаимодействия в растворителе и растворяемом веществе. Чем ближе по величине силы взаимодействия молекул, тем выше их взаимная растворимость. Величину сил межмолекулярного взаимодействия можно охарактеризовать различными способами, например величиной диэлектрической проницаемости вещества, которая позволяет судить о степени полярности молекул, составляющих вещество.

Диэлектрическая проницаемость большинства растительных масел 3,0...3,2, и только у касторового масла она несколько выше — 4,6...4,7. Растительные масла хорошо растворяются в растворителях, имеющих величину диэлектрической проницаемости, близкую к маслам. Так, при 20° С диэлектрическая проницаемость экстракционного бензина около 2,0, гексана — 1,89, бензола — 2,20, диэтилового эфира — 4,34. Эти растворители очень хорошо растворяют масла. Дихлорэтан (диэлектрическая проницаемость 10,45) и ацетон (диэлектрическая проницаемость 21,5) также растворяют масла, но медленнее. Этанол и метанол (их диэлектрические проницаемости 24,3 и 32,63 соответственно) растворяют масла уже при повышенных температурах. Растворимость масел в воде, диэлектрическая проницаемость которой 81,0, ничтожно мала.

Хорошая растворимость растительных масел в растворителях, имеющих близкую к ним величину диэлектрической проницаемости, позволяет сравнительно легко отделять основную массу липидов от других органических веществ семян. Эта основная масса липидов масличных растений получила название *свободных*. Некоторая часть липидов связана в семенах с белками и полисахаридами более прочными связями, а при обработке семян малополярными растворителями (например, гексаном или бензином) извлекается лишь частично. Чтобы извлечь такие *связанные* липиды, необходимо предварительно разрушить их связи с нелипидными компонентами семян. Частично этого можно добиться при тепловой обработке семян, иногда при интенсивном измельчении семян, а также при действии растворителей несколько большей полярности (этанолом, ацетоном) при повышенных температурах.

Наиболее полное извлечение липидов происходит при обработке измельченных семян спиртовым раствором щелочи при повышенных температурах. При этом полностью разрушаются связи

липидов с белками и полисахаридами. Липиды переходят в раствор в виде продуктов щелочного гидролиза. Извлеченные после такой обработки липиды называют *прочносвязанными*. Таким образом, состав и количество извлекаемых липидов в зависимости от способов обезжиривания материала, вида и полярности растворителя, характера подготовки обезжириваемого материала к извлечению липидов (степени измельчения, глубины подсушивания) непостоянны и меняются в достаточно широких пределах.

4.1.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ЛИПИДОВ

До настоящего времени отсутствует строгая химическая классификация липидов. Это обусловлено большим разнообразием структурных компонентов и многовариантностью их связей с основной тканью. По взаимодействию со щелочами липиды подразделяют на две группы — омыляемые и неомыляемые (рис. 4.1). *Омыляемые липиды* при взаимодействии со щелочами гидролизуются с отщеплением жирных кислот, соединенных сложноэфирной связью, и образуют соли высших жирных кислот — мыла. К омыляемым липидам относятся *простые* и *сложные* липиды. Первые состоят только из остатков жирных кислот и одно-, двух- или трехатомных спиртов, образующих сложные эфиры, в состав вторых входят сложные эфиры остатков жирных кислот и спиртов с замещенными группами.

Неомыляемые липиды не содержат жирно-кислотных остатков, соединенных сложноэфирной связью, поэтому при взаимодействии со щелочами не гидролизуются с освобождением жирных кислот и не образуют мыл. В группу неомыляемых липидов входят изопреноиды — стеролы, каротиноиды, хлорофиллы, жирорастворимые витамины и провитамины, а также другие изопреноидные соединения.

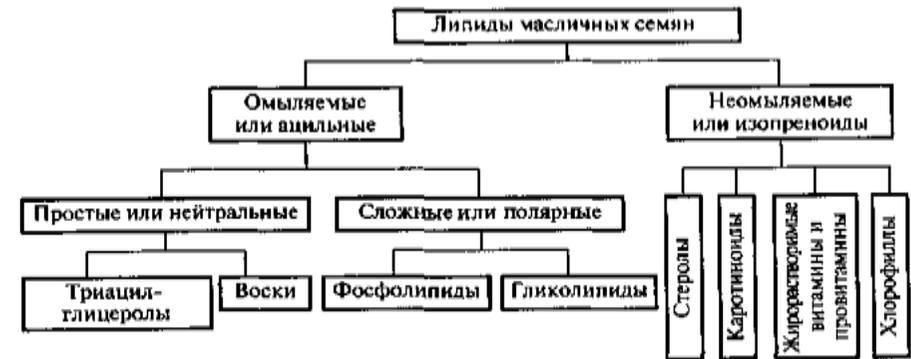


Рис. 4.1. Классификация липидов масличных семян

Многие неомыляемые липиды присутствуют в семенах всех масличных растений и могут быть идентичны для всех растений (например, токоферолы), но содержатся в различных соотношениях. Как правило, они имеют характерное для данного вида растения строение, но сохраняют общую химическую структуру.

Наряду с такими веществами присутствуют специфические для данного масличного растения соединения — сесквитерпен госсипол и его производные в хлопковом масле, сезамин — в кунжутном, тиогликозиды и их производные — в масле растений семейства Капустные.

Липиды масличных семян можно разделить на группы в зависимости от биохимической функции. Основную массу липидов семян и плодов составляют *запасные липиды*, выполняющие в клетках энергетическую функцию. Они легко извлекаются из тканей семян и относятся к свободным липидам. У масличных растений запасные липиды представлены триацилглицеролами, которые составляют 95...97 % получаемых из семян растительных масел.

Структурные липиды образуют биомембраны клетки. По массе их значительно меньше, чем запасных. Это трудноизвлекаемые связанные и прочносвязанные липиды.

Наконец, липиды масличных семян можно разделить по величине полярности их молекул на нейтральные и полярные. Такое разделение основано на их растворимости в органических растворителях различной полярности. Нейтральные липиды легче растворяются в гексане, бензине, диэтиловом эфире, а полярные — в ацетоне и этаноле. Кроме того, при лабораторном разделении нейтральные липиды значительно слабее полярных удерживаются на хроматографических колонках из оксида алюминия и силикагеля.

В липидную фракцию, извлекаемую из масличных плодов и семян, как правило, входят также продукты неполного синтеза или гидролиза всех рассмотренных групп липидов. Разнокачественность семян, поступающих на переработку, обуславливает присутствие среди них недозревших семян с незавершенным синтезом липидов. С другой стороны, в семенной массе могут присутствовать отдельные семена, поврежденные микрофлорой и частично испорченные в результате хранения при повышенной температуре и влажности. В липидном комплексе таких семян возникают процессы гидролитического и окислительного распада.

Липидный состав готовых растительных масел еще больше усложняется в результате образования продуктов изменения природных групп липидов семян под воздействием условий хранения семян и технологических факторов при обезжиривании и рафинации. Продукты гидролиза, окисления, полимеризации и деструкции отдельных групп липидов создают очень сложную смесь переменного состава. Кроме того, в липидном комплексе семян и по-

лучаемых из них масел могут находиться растворимые в липидах чужеродные соединения, попадающие в семена из атмосферы и почвы при созревании, уборке и послеуборочной обработке. Возможно также присутствие в липидах растворимых продуктов жизнедеятельности микрофлоры, развивающейся на семенах в процессе хранения. Многие из этих соединений снижают питательную ценность масла и других продуктов переработки масличных семян и даже токсичны или проявляют нежелательное воздействие на организм человека.

По содержанию липидов масличные семена условно подразделяют на низко-, средне- и высокомасличные. В низкомасличных семенах содержание липидов (масличность) 15...35 %, на 1 г нелипидной части ядра приходится 0,18...0,54 г масла. В среднемасличных семенах содержание липидов 36...55 %, на 1 г нелипидной части ядра приходится 0,55...0,82 г масла. В высокомасличных семенах содержание липидов 56...75 % и выше и на 1 г нелипидной части ядра приходится 0,83...3,0 г и более масла.

Содержание жирных масел в семенах и плодах зависит от ряда факторов, в первую очередь от сортовых особенностей и условий выращивания масличных культур. В табл. 4.1 приведено содержание липидов в наиболее распространенных видах масличного сырья, поступающего для промышленной переработки.

4.1. Содержание липидов в различных масличных культурах

Культура и маслосодержащая часть	Содержание липидов, %	Культура и маслосодержащая часть	Содержание липидов, %
Абрикос ядро косточки	24...45	Крамбе семена	34...38
Арахис семена	24...30	Кукуруза зародыш	18...50
Арахис ядро	54...61	Кунжут семена	52...65
Арбузы семена	12...45	Лаур мякоть плода	25...55
Виноград косточки	10...15	Лен семена	27...47
Вишня косточки	20...30	Льлялеманция семена	29...33
Горчица семена	25...49	Мак семена	40...57
Какао бобы	49...57	Маслина мякоть плода	23...49
Катальпа семена	28...30	Миндаль ядро	40...44
Кешью ядро ореха	48...68	Орех грецкий ядро	55...63
Кедр ядро ореха	26...28	Пальма масличная мякоть плода	46...67
Клеещеница семена	35...59	Пальма масличная ядро плода	45...54

Продолжение

Культура и маслосодержащая часть	Содержание липидов, %	Культура и маслосодержащая часть	Содержание липидов, %
Кокосовая пальма копра	65...72	Перилла семена	46...48
Конопля семена	30...38	Персик ядро косточки	35...46
Кориандр семена	17...25	Соя семена	14...25
Подсолнечник семянка	33...57	Сурелица семена	29...48
Пшеница зародыш	7...8	Табак семена	34...46
Рапс семена	38...45	Тунг ядро плода	48...66
Рис отруби	8...18	Тыква семена	20...40
Рыжик семена	28...44	Хлопчатник семена	19...29
Сафлор семена	25...37	Чай семена	18...20
Слива ядро косточки	30...60		

4.1.2. ЗАПАСНЫЕ ЛИПИДЫ

Главным компонентом растительных масел и жиров, запасаемых клетками масличных семян, являются глицериновые эфиры жирных кислот — *ацилглицеролы*, составляющие основную массу неполярных свободных липидов. Если все три гидроксильные группы глицерола этерифицированы жирными кислотами, то такое соединение называется *триацилглицеролом*. Продуктами неполного синтеза или гидролиза триацилглицеролов в масличных семенах являются диацилглицеролы, моноацилглицеролы и свободные жирные кислоты.

Физические, химические и биологические свойства растительных масел и жиров в основном определяются видом растительного сырья, из которого они получены, а также влиянием следующих факторов:

направлением селекции масличных растений с целью создания сортов и гибридов с комплексом заданных свойств, в том числе наличием или отсутствием специфических жирных кислот;

агротехническими мероприятиями при возделывании растений; так, например, обработка гербицидами ведет к появлению токсичных примесей в масле;

климатическими условиями района возделывания, влияющими на жирнокислотный состав масла;

локализацией масла и жиров в тканях исходного сырья: масла из мякоти плодов, семян и покровных тканей различаются по составу и свойствам;

технологией извлечения масел и жиров, которая определяет полноту извлечения не только масла, но и сопутствующих веществ, а также глубину гидролиза, окисления и полимеризации масел и жиров.

В технологии жиров масла и жиры классифицируются по следующим признакам:

по консистенции масла или жира при 20° С: жидкие, твердые или мазеобразные;

по способности полимеризоваться в присутствии кислорода: высыхающие, полувсыхающие и невысыхающие;

по методу извлечения из маслосодержащего сырья: прессовые, экстракционные;

по методам очистки и переработки: нерафинированные, гидратированные, вымороженные, отбеленные, дезодорированные, гидрированные, переэтерифицированные, фракционированные.

Требования к растительным маслам и жирам по жирнокислотному составу и основным физико-химическим показателям, принятые в Европейском сообществе, зафиксированы в Codex Alimentarius (Codex Alimentarius, V.8, Rome, 1993 г.) Всемирной организации здравоохранения.

В настоящее время известно более 1500 растительных масел. Такое многообразие масел обусловлено различными сочетаниями сравнительно небольшого числа жирных кислот. Известны растительные масла, состоящие из остатков одной жирной кислоты: это однокислотные, или простые *триацилглицеролы*. В состав растительных масел чаще входят триацилглицеролы, содержащие остатки различных жирных кислот.

Триацилглицеролы в химически чистом виде бесцветны, без вкуса и запаха. Окраска масел, их вкусовые качества зависят от находящихся в них омыляемых и неомыляемых липидов.

В воде масла, как уже отмечалось выше, практически нерастворимы. Их плотность при 15° С составляет от 900 до 980 кг/м³ и при повышении температуры уменьшается.

Показатель преломления, или коэффициент рефракции, специфичен для каждого масла. Для большинства масел он равен от 1,44 до 1,48. Показатель преломления у масел с большим содержанием непредельных жирных кислот выше. Температура застывания жидких растительных масел обычно ниже 20° С.

Масла способны растворять газы, а также сорбировать летучие вещества и эфирные масла. Растительные масла имеют высокую молекулярную массу. Так, молекулярные массы масел подсолнечника, хлопчатника, льна, сои составляют 863...938, поэтому они не кипят даже в вакууме. При температуре более 240...250° С они интенсивно разлагаются и образуют летучие продукты термического распада.

Молекулы триацилглицеролов при кипячении с кислотами или

основаниями расщепляются по сложноэфирным связям до глицерола и жирных кислот. В результате щелочного гидролиза или омыления образуются глицерол и мыла. Аналогично идет гидролиз в присутствии фермента липазы. Триацилглицеролы окисляются также кислородом воздуха, особенно при повышенных температурах, с образованием перекисных соединений, оксикислот и продуктов полимеризации, хотя способность окисляться под воздействием кислорода у них ниже, чем у свободных жирных кислот.

Важнейшие свойства ацилглицеролов определяются свойствами входящих в них *жирных кислот*. Как известно, различают *насыщенные* и *ненасыщенные* кислоты. Насыщенные кислоты имеют общую формулу $C_nH_{2n}O_2$, ненасыщенные при одной двойной связи — $C_nH_{2n-2}O_2$, при двух — $C_nH_{2n-4}O_2$, при трех — $C_nH_{2n-6}O_2$. В природных условиях чаще всего встречаются жирные кислоты с четным числом n , обычно от 6 до 24 и более. Среди них наиболее широко распространены жирные кислоты с числом углеродных атомов 16 и 18.

В масле семян подсолнечника содержатся кислоты с числом углеродных атомов C_{14} , C_{16} , C_{18} , C_{20} , C_{22} , C_{24} (более низкомолекулярные кислоты не учтены), в масле семян арахиса — C_8 , C_{12} , C_{14} , C_{16} , C_{18} , C_{20} , C_{22} , C_{24} . В подсолнечном, хлопковом, льняном, соевом и арахисовом маслах преобладают жирные кислоты с 18 углеродными атомами. Они составляют 90 % и более от общей суммы жирных кислот. Остальные жирные кислоты, кроме C_{16} , содержатся в виде следов. Лишь в маслах горчичном и рапсовом растений семейства Капустные наряду с кислотами C_{18} содержится значительное количество жирных кислот с числом атомов C_{20} и C_{22} , присутствие которых в пищевых маслах нежелательно. Масла из тропического сырья (кокосовое и пальмоядровое) содержат главным образом кислоты с числом углеродных атомов менее 18 (C_{14} и C_{16}).

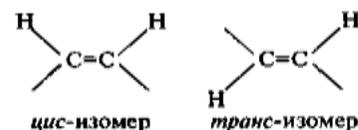
Ненасыщенность жирных кислот обусловлена наличием двойных связей, тройные связи являются исключением. В большинстве растительных масел двойная связь находится между 9-м и 10-м атомами углеродной цепи. Если двойных связей больше одной, они обычно располагаются через три углеродных атома, редко — через два (сопряженные связи). Так как значительная часть углеродной цепи, примыкающей к карбоксильной группе [фрагмент = $CH(CH_2)_7-COOH$], свободна от двойных связей, то максимальное число двойных связей в кислотах масличных растений, содержащих не более 18 атомов углерода, обычно не превышает трех.

Насыщенные и ненасыщенные кислоты различаются по конфигурации. Для насыщенных кислот наиболее вероятна вытянутая конфигурация, энергетически более выгодная. В ненасыщенных кислотах двойная связь в *цис*-конфигурации обуславливает

жесткий изгиб углеродной цепи под углом около 30° . Еще более короткая цепь образуется за счет изгибов у жирных кислот, имеющих две или три двойных связи, что имеет существенное значение при формировании биологических мембран клетки.

В отличие от насыщенных кислот, относительно стойких к различным воздействиям, ненасыщенные кислоты легко окисляются (т.е. масло прогоркает), а также восстанавливаются по месту двойных связей. Восстановление жирных кислот водородом — гидрогенизацию — широко применяют при получении твердых жиров из жидких.

В процессе получения гидрогенизированных масел, необходимых для получения маргаринов и кулинарных жиров, ненасыщенные жирные кислоты *цис*-изомерной формы, биологически активной, усваиваемой организмом человека, превращаются в *транс*-изомеры мононенасыщенных жирных кислот:



В организме человека *транс*-изомеры жирных кислот включаются в структуру фосфолипидов биомембран, изменяя их свойства и функции. *Транс*-изомеры выполняют роль ложных конкурирующих субстратов в синтезе гормонов, простогландинов, лейкотриенов и тромбоксанов, вызывают подавление десатурации жирных кислот и приводят к образованию нежелательных для организма человека соединений.

Поэтому в международных соглашениях внесены требования, ограничивающие долю *транс*-изомеров в жировых продуктах до 20 %, а в продуктах детского питания — не выше 4 % от общей суммы жирных кислот.

В настоящее время в составе твердого расфасованного маргарина доля *транс*-изомеров жирных кислот составляет от 25 до 30 %, в жидком маргарине — от 15 до 25 %.

Одним из технологических решений, позволяющих исключить попадание в пищевые продукты *транс*-изомеров, является полная гидрогенизация растительного масла с последующим смешиванием его с рафинированным маслом для получения жирового продукта с заданными физическими свойствами.

Растительные масла, содержащие жирные кислоты с двойными связями в сопряженном положении, легче окисляются и полимеризуются.

Одной из важнейших характеристик растительных масел, оказывающих отрицательное воздействие на организм человека, является степень их окисленности.

Среди многих факторов, ведущих к развитию в масле окислительных процессов, существенное значение имеет способность растительных масел растворять кислород атмосферы. Растворимость кислорода в подсолнечном масле при атмосферном давлении и температуре 18 — 20°С составляет $(0,3...1,0) \cdot 10^{-3}$ ммоль/л (табл. 4.2).

4.2. Содержание растворенного кислорода в подсолнечных маслах при атмосферном давлении и температуре 20 °С

Масло	Содержание кислорода, ммоль/л · 10 ⁻³
Нерафинированное форпрессовое	0,3 — 1,0
Нерафинированное экстракционное	0,3 — 0,4
Рафинированное	0,3 — 0,5
Рафинированное и дезодорированное	0,3 — 0,4

Растворяясь в масле, кислород интенсивно окисляет ненасыщенные жирные кислоты с образованием свободных радикалов перекисей и гидроперекисей по свободно-радикальному механизму с образованием продуктов окисления токсичной природы.

В связи с этим международные стандарты, принятые Кодексным комитетом по жирам и маслам (Codex Alimentarius) при ВОЗ, установили единый показатель по степени окисленности для всех пищевых растительных масел на уровне перекисного числа не выше 10 ммоль/кг ½ O.

В настоящее время Госсанэпиднадзор России включил эту норму в ГОСТ 1129-93 на подсолнечные масла в качестве обязательной.

Жирные кислоты, содержащие двойные связи, способны высыхать и образовывать пленки. Процесс высыхания обусловлен присоединением кислорода по месту двойных связей при одновременной полимеризации полученного продукта. Высыхание ускоряется ферментом липоксигеназой, а также металлами. На способности ненасыщенных кислот присоединять по месту двойной связи галогены основан один из методов определения степени ненасыщенности жирных кислот и масел.

Жирные кислоты с числом атомов C₁₆, C₁₈ и выше практически нерастворимы в воде, но их натриевые и калиевые соли (мыла) образуют в воде мицеллы, стабилизированные за счет гидрофобных воздействий.

В табл. 4.3 приведены жирные кислоты, обнаруженные в масличных растениях и растительных маслах.

4.3. Жирные кислоты растительных масел

Кислота	Число атомов углерода и обозначение	Природный источник
Насыщенные жирные кислоты C_nH_{2n}O₂		
<i>n</i> -Бутановая (масляная)	C _{4 0}	В большинстве растений (следы)
<i>n</i> -Гексановая (каприловая)	C _{6 0}	Масла плодов кокосовой и масличной пальм
<i>n</i> -Октановая (каприновая)	C _{8 0}	
<i>n</i> -Декановая (капроновая)	C _{10 0}	Масло мускатного ореха
<i>n</i> -Додекановая (лауриновая)	C _{12 0}	
<i>n</i> -Тетрадекановая (миристиновая)	C _{14 0}	
<i>n</i> -Гексадекановая (пальмитиновая)	C _{16 0}	
<i>n</i> -Октадекановая (стеариновая)	C _{18 0}	Масло арахиса
<i>n</i> -Эйкозановая (арахисовая)	C _{20 0}	
<i>n</i> -Докозановая (бегеновая)	C _{22 0}	Масло растений семейства Капустные
<i>n</i> -Тетракозановая (лигноцериновая)	C _{24 0}	Растительные воски
<i>n</i> -Гексакозановая (церотиновая)	C _{26 0}	
<i>n</i> -Октакозановая (монтановая)	C _{26 0}	
<i>n</i> -Триакотановая (мелиссиновая)	C _{30 0}	
Ненасыщенные жирные кислоты C_nH_{2n-2}O₂		
Бутен-2-овая (кротоновая)	C _{4 1}	Масло семян семейства Молочайные
Гексен-3-овая (тиглиновая)	C _{6 1}	Масло плодов семейства Пальмовые, а также масло многих растений (следы)
Децен-3-овая	C _{10 1}	
Додецен-5-овая	C _{12 1}	
Тетрадецен-0-овая (миристоолеиновая)	C _{14 1}	
Гексадецен-3-овая	C _{16 1}	В большинстве растений
Гексадецен-9-овая (пальмитоолеиновая)	C _{16 1}	
Октадецен-6-овая (петрозелиновая)	C _{18 1}	Масло семян петрушки
Октадецен-9-овая (олеиновая)	C _{18 1}	
Эйкозен-5-овая	C _{20 1}	Масло семян семейства Капустные
Докозен-13-овая (эруковая)	C _{22 1}	
Ненасыщенные жирные кислоты C_nH_{2n-4}O₂		
Октадекадиен-9,12-овая (линолевая)	C _{18 2}	В большинстве растений
Ненасыщенные жирные кислоты C_nH_{2n-6}O₂		
Октадекатриен-6,9,12-овая (линоленовая)	C _{18 3}	В большинстве растений
Октадекатриен-9,11,13-овая (элеостериновая)	C _{18 2}	Масло плодов тунга
Оксикислоты		
12-Оксиоктадецен-9-овая (рицинолевая)	18*	Масло семян клещевины
9,10-Диоксиоктадекановая	18*	
Кетокислоты		
4-Кетооктадекатриен-9,11,13-овая (ликановая)	18*	Масло семян семейства Розовые

Продолжение

Кислота	Число атомов углерода и обозначение	Природный источник
Кислоты, содержащие циклопропановую или циклопропенную группу		
Циклопропан-9,10-гексадекановая (циклопропановая)	17*	Масло семян хлопчатника
Циклопропен-9,10-октадекановая (стрекуловая)	19*	
Кислоты, содержащие циклопентеновую группу		
9-(Циклопентенил-2)-нонановая (алеприловая)	14*	
11-(Циклопентенил-2)-ундекановая (гиднокарповая)	16*	Масло семян семейства Гиднокарповые
13-(Циклопентенил-2)-тридекановая (хаульмугровая)	18*	

*Общепринятого сокращенного обозначения нет.

Большинство природных масел и жиров представляет собой сложную смесь ацилглицеролов, свойства которых определяются составом и расположением жирных кислот. Второй структурный элемент — *глицерол* — одинаков для всех масел и жиров. Теоретически каждая из трех гидроксильных групп глицерола может быть этерифицирована любой жирной кислотой и количество различных триацилглицеролов в природных маслах должно быть огромным: при трех различных жирных кислотах — 36 (включая оптические изомеры), при 5 — 76 триацилглицеролов, при 10 — 650. Однако в основной ткани семян практически синтезируется относительно небольшое число жирных кислот, из каждой пары возможных оптических изомеров синтезируется только один, а жирные кислоты, содержащие двойные связи, преимущественно присоединяются ко второй гидроксильной группе глицерола.

При описании стереоспецифического (стереовидового) состава триацилглицеролов природных масел и жиров принято, что первый углеродный атом глицерола находится на вершуг углеродной цепи и обозначается *sn-1*. Так, в масле семян подсолнечника сорта Передовик улучшенный распределение жирных кислот в триацилглицеролах (моль/%), по данным А.И. Кожухова (1986 г.), следующее:

	C _{16:0}	C _{18:0}	C _{18:1}	C _{18:2}
<i>sn-1</i>	13,7	6,2	31,6	48,5
<i>sn-2</i>	—	—	39,3	60,7
<i>sn-3</i>	9,7	10,6	38,0	41,7

Число стереоизомеров триацилглицеролов в масле подсолнеч-

ника этого сорта равно 40, т. е. достаточно большое, но меньше теоретически возможного.

Из полученных данных видно, что в семенах подсолнечника линолевая кислота находится преимущественно в положении *sn-2*, стеариновая и олеиновая кислоты — в *sn-3*, пальмитиновая — в *sn-1*.

Биологическая ценность подсолнечного масла как пищевого продукта во многом определяется позиционным расположением жирных кислот в триацилглицеролах, в первую очередь содержанием линолевой кислоты C_{18:2} в *sn-2*-положении и ее соотношением с другими кислотами. Триацилглицеролы семян сорта Передовик улучшенный в соответствии с указанным выше расположением жирных кислот представляют большую физиологическую ценность, но при этом являются хорошим субстратом окисления — значительная часть ненасыщенных жирных кислот находится в крайних положениях *sn-1* и *sn-3* и легко поддается окислению.

Содержание незаменимой для живого организма линолевой кислоты в метаболически активном *sn-2* положении триацилглицеролов недостаточно. Как известно, потребность организма человека в жирах и маслах со сбалансированным жирно-кислотным составом составляет: 20 — 30 % линолевой кислоты, 40 — 60 % олеиновой и менее 30 % насыщенных кислот.

Сравнивая сорта подсолнечника по позиционному расположению жирных кислот в триацилглицеролах, следует отдать предпочтение сорту подсолнечника Фаворит селекции ВНИИМК, превосходящему сорт Передовик по составу и расположению жирных кислот в триацилглицеролах, близкому к оптимальному.

Исследования показали, что подсолнечник этого сорта имеет высокую биологическую ценность и повышенную устойчивость к окислению даже при перестое семян на растении.

В растительных маслах содержатся также одноокислотные триацилглицеролы, но обычно в небольших количествах. Исключение составляют масла, в которых одна из кислот является специфической или преобладающей. Например, в оливковом масле содержится до 80 % олеиновой кислоты, в касторовом масле — примерно столько же рицинолевой, а в тунговом — элеостеариновой кислот. В таких маслах значительную долю составляют одноокислотные триацилглицеролы указанных жирных кислот.

4.1.3. СТРУКТУРНЫЕ ЛИПИДЫ

Многие структурные липиды биологически активны и повышают пищевую ценность масла; к ним относятся липиды, имеющие витаминную активность, жирорастворимые витамины и провитамины. Другие структурные липиды обуславливают специфи-

Глава 7

ПРОЦЕССЫ, ПРОТЕКАЮЩИЕ В МАСЛИЧНЫХ СЕМЕНАХ ПОСЛЕ УБОРКИ

Уборку масличных семян начинают обычно несколько раньше их полного созревания, поэтому необходимо иметь в виду, что свежесобранные семена частично незрелые. Влажность свежесобранных семян достаточно высокая, хотя и ниже, чем на начальных стадиях созревания семян. Активность ферментного комплекса ниже максимального уровня, но биохимические процессы в семенах все еще достаточно интенсивны. Как правило, процессы синтеза липидов и других запасных веществ в семенах практически закончены (об этом говорит достижение семенами уборочной спелости) и содержание масла может расти только в наиболее незрелых семенах.

Кислотное число масла в семенах, уже после первых дней созревания ставшее небольшим, в дальнейшем, при благоприятных условиях созревания, практически не изменяется.

Следует учитывать еще одну особенность семян уборочной спелости. Активность биохимических и физиологических процессов в отдельных группах семян, убираемых в сроки, рекомендуемые агротехническими нормами, может значительно варьировать. Это обусловлено разнокачественностью семян, а также различием влажности семян, убираемых в разное время суток и при различных погодных условиях.

Таким образом, свежесобранная семенная масса характеризуется незавершенностью созревания и в результате этого высокой неустойчивостью к воздействию внешних неблагоприятных факторов при последующем хранении.

Вследствие высокой биохимической активности масса свежесобранных семян как биологическая система находится в неустойчивом состоянии. Семена легко подвергаются глубоким разрушительным изменениям, что приводит к их гибели как живых организмов. Для сохранения свежесобранных семян необходимо создать специальные условия, чтобы биохимические процессы протекали в желаемом направлении. При соответствующих условиях хранения и обработки созревание свежесобранных семян продолжается после уборки, т. е. происходит их послеуборочное дозревание.

В зависимости от создавшихся внешних условий для семян в стадии уборочной спелости развитие процессов в семенах может идти по нескольким направлениям: дозревание в поле, послеуборочное дозревание, при временном хранении свежесобранных семян и при неблагоприятных условиях — самосогревание (рис. 7.1).

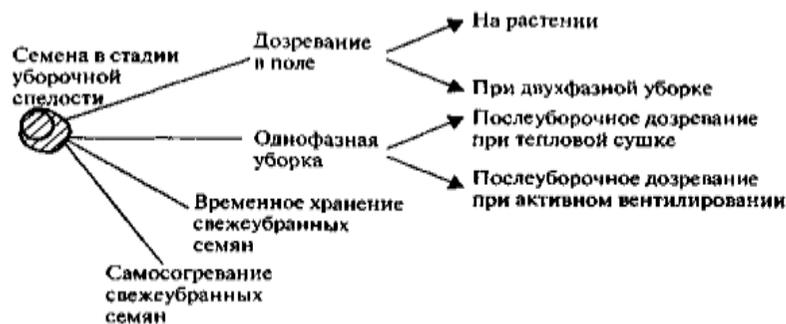


Рис. 7.1. Схема развития послеуборочных процессов в свежесобранном семенном материале

7.1. ДОЗРЕВАНИЕ В ПОЛЕ

Дозревание в поле — это естественное продолжение созревания семян, обычное для дикорастущих растений. Семена остаются на соцветии до самопроизвольного осыпания.

Дозревание на растении. Условия дозревания семян в поле на растении наиболее благоприятны для формирования их высокого технологического качества. Семена достигают физиологической спелости, заканчивая на растении полное формирование как отдельного живого организма. При благоприятных погодных условиях такие семена имеют низкую влажность, интенсивность процессов обмена веществ в них небольшая, что определяет стойкость при хранении. Это, по-видимому, объясняется тем, что при дозревании в естественных условиях у семян наиболее полно проявляются свойства, выработанные растениями в результате естественного отбора и благоприятные для длительного сохранения (до прорастания) жизнеспособного зародыша и его запасных веществ.

По мере дозревания в поле снижается активность ферментного комплекса семян, о чем можно судить по снижению интенсивности дыхания. Одновременно выравнивается влажность семян. Так, у подсолнечника влажность семян во всех зонах соцветия практически одинакова.

После достижения *уборочной спелости* в подсолнечных семенах, оставшихся на растении, некоторое время продолжается накопление масла. Синтез масла идет в основном в наиболее незрелых семенах центральной зоны. В семенах краевой зоны при дозревании семян масла образуется меньше, хотя суммарное его содержание в семенах этой зоны больше, чем у семян центральной зоны. Масличность семян всех зон соцветия постепенно выравнивается до максимальной величины. Лузжистость семян постепенно сни-

жается. Эти положительные изменения продолжают вплоть до осыпания их из соцветия.

Кислотное число масла основной массы семян остается на низком уровне и снижается только у наиболее незрелых семян центральной зоны (см. рис. 6.2).

Двухфазная уборка. Для ускорения дозревания в поле проводят *раздельную (двухфазную) уборку* семян, когда скашивают только соцветия. Главное различие между дозреванием семян на растении и в скошенных соцветиях заключается в скорости обезвоживания семян. При двухфазной уборке скорость обезвоживания семян выше вследствие прекращения поступления воды из корневой системы. Поступление воды и ассимилятов в семена некоторое время еще продолжается из тканей соцветия, где высокая влажность сохраняется относительно долго.

Лузжистость семян раздельной уборки несколько выше, чем у семян, дозревающих на растении. Это, по-видимому, объясняется большим увеличением массы ядра у семян, дозревавших на растении, что приводит к относительному снижению лузжистости.

Интенсивность дыхания в семенах раздельной уборки меньше, чем в семенах, оставленных на растении. Эта разница особенно значительна для семян центральной и срединной зон в первые дни после уборки. Быстрое снижение уровня дыхания и выравнивание его интенсивности в семенах раздельной уборки свидетельствует о повышении их стойкости при хранении.

Содержание белковых веществ в семенах краевой зоны подсолнечника, дозревающих при раздельной уборке, выше, а в семенах срединной и центральной зон ниже, чем у семян, дозревающих на растении. Это обусловлено быстрым увеличением соле- и щелочерастворимых белков в краевой зоне. Различие уровня белков у семян разных зон является результатом увеличения содержания щелочерастворимых белков и уменьшения водорастворимых, свидетельствуя о снижении подвижности белков.

Исследования процессов обмена веществ в семенах позволили сделать вывод, что семена поздней, а также двухфазной уборки лучше хранятся и более пригодны для технологической переработки в качестве масличного сырья. Процесс послеуборочного дозревания этих семян практически заканчивается на растении.

Все указанные положительные биохимические процессы в семенах, дозревающих в поле на растении и при раздельной уборке, наблюдаются только при благоприятных погодных условиях, обычно в течение 7...8 сут после достижения семенами уборочной спелости. Необходимо отметить, что эти процессы происходят только при непрерывном и достаточно быстром обезвоживании семян в благоприятных погодных условиях, прежде всего при отсутствии атмосферных осадков в период дозревания. Переменная

и особенно высокая влажность воздуха, а также дожди в период дозревания могут не только снизить эффективность дозревания, но и вызвать нежелательные гидролитические и окислительные процессы. В результате может произойти увеличение кислотного числа масла, накопление продуктов окисления, уменьшение содержания запасных веществ и т.д. не только из-за активирования собственных гидролитических и окислительных ферментов, но и под воздействием ферментов микрофлоры, развивающейся в этих условиях на семенах.

В связи с этим позднюю уборку семян существующих сортов масличных культур до достижения семенами полной спелости применяют ограниченно, даже если семена к концу созревания не осыпаются из соцветий. Более целесообразна (из-за более короткого срока дозревания) отдельная уборка семян, но она также зависит от погодных условий и ее нельзя проводить при высокой влажности воздуха или дождливой погоде.

7.2. ПОСЛЕУБОРОЧНОЕ ДОЗРЕВАНИЕ СВЕЖЕУБОРАННЫХ СЕМЯН

Поскольку дозревание масличных семян в поле ограничивается рядом условий, большинство масличных семян собирают в стадии уборочной спелости и свежесобранные семена подвергают *послеуборочной обработке*. Цель обработки — обеспечить послеуборочное дозревание семян в специально создаваемых условиях обработки и хранения и исключить таким образом возможность их порчи.

При послеуборочном дозревании стабилизируются свойства семян, полностью потерявших связь с растением. Процесс послеуборочного дозревания включает только взаимопревращения веществ, уже имеющихся в свежесобранных семенах, так как приток новых веществ извне исключен.

Все семена, направляемые на хранение и технологическую переработку, а также посевные семена должны обязательно пройти послеуборочное дозревание.

По окончании послеуборочного дозревания жизнеспособность и технологические свойства семян улучшаются, снижаются влажность и активность ферментной системы, семена приобретают способность к длительному устойчивому хранению.

В результате послеуборочного дозревания семян при переработке прежде всего повышается выход масла, сохраняется низкое кислотное число, выравнивается влажность в семенной массе и происходит перераспределение влаги между ядром семян и оболочкой (семенной или плодовой), что позволяет более эффективно вести процессы отделения оболочки при подготовке семян к обезжириванию. Широко распространено мнение о том, что переработку свежесобранных семян осуществлять труднее и она сопровождается большими потерями масла, чем при переработке пол-

ностью дозревших. Так, известно, что при переработке свежесобранных семян подсолнечника возрастают потери масла с плодовой оболочкой и с шротом, и выход масла снижается.

В масле, полученном из льняных семян, не прошедших послеуборочного дозревания (отлежки), повышается содержание хлорофилла и других структурных липидов.

Признаком завершения послеуборочного дозревания семян является значительное повышение их всхожести и энергии прорастания. К концу послеуборочного дозревания всхожесть приближается к 100 %.

Наибольшее число исследований процесса послеуборочного дозревания и его зависимости от внешних условий в основном и было посвящено вопросам приобретения семенами именно посевных свойств.

Для семян технологического назначения сохранение семенами жизнеспособности очень важно, так как потеря семенами всхожести — показатель глубоких разрушительных процессов в них, технологическое качество таких семян будет низким.

Для технологии хранения наиболее важно установление в семенах после дозревания минимальной интенсивности обмена веществ. Такие семена обладают наиболее благоприятными для длительного хранения свойствами.

Процессы, протекающие при послеуборочном дозревании семян. Большее число исследований было посвящено выяснению вопроса о возможности дополнительного синтеза масла в свежесобранных семенах при послеуборочном дозревании. Установлено, что в семенах, дозревающих в поле без отделения от соцветия, при благоприятных погодных условиях синтез триацилглицеролов продолжается. Рост содержания триацилглицеролов происходит в семенах подсолнечника, оставленных в соцветии при отдельной уборке, в семенах клешевины, дозревающих в срезанных коробочках, в семенах сои при дозревании в плодовой оболочке, в семенах льна и конопли — в соцветиях и коробочках. В этих случаях возможен приток ассимилятов в семена из тканей соцветия и за счет этого дополнительный синтез триацилглицеролов (табл. 7.1).

7.1. Накопление липидов в семенах подсолнечника, дозревающих на растении после достижения уборочной спелости, г на 1000 семян

Сорт растения и зоны соцветия	Длительность перероста, сут			
	0	4	10	17
ВНИИМК 6540:				
краевая	29,07	28,19	29,14	28,00
серединая	26,05	25,70	28,73	28,61
центральная	6,93	9,52	12,10	21,32
ВНИИМК 8931:				
краевая	24,99	26,35	30,20	30,10
серединая	23,00	24,48	28,27	27,65
центральная	8,89	7,98	8,28	16,57

Возможность дополнительного синтеза триацилглицеролов в семенах уже после отделения от соцветия или плодовой оболочки (в обмолоченном состоянии) вызывает скептическую оценку у большинства исследователей. Однако при определенных условиях послеуборочной обработки семян выход извлекаемых липидов (масличность семян) увеличивается. Возрастающая масличность при послеуборочном дозревании некоторые исследователи объясняют продолжающимся синтезом триацилглицеролов за счет имеющихся в тканях ядра подвижных углеводов. Этот вывод также подтверждался одновременным снижением кислотного числа масла в семенах.

После разработки методов прямого определения группового состава липидов семян возможность прироста триацилглицеролов при послеуборочном дозревании свежесобранных семян была отвергнута.

Дальнейшие исследования показали, что при специально создаваемых условиях послеуборочной обработки влажных свежесобранных семян подсолнечника, сои и рапса в них, возможно, протекают ферментативные процессы синтетического характера, аналогичные процессам в дозревающих семенах, приводящих к дополнительному накоплению триацилглицеролов за счет более полного использования имеющихся в семенах ассимилятов.

Увеличение выхода липидов из семян, в которых закончилось послеуборочное дозревание под влиянием тепловой сушки или активного вентилирования, обусловлено переходом в извлекаемую форму структурных липидов, прежде всего фосфолипидов, а также каротиноидов, стеролов, токоферолов и др.

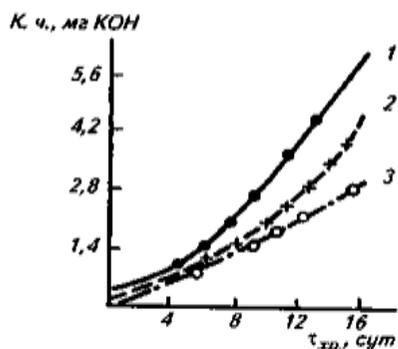


Рис. 7.2. Изменение кислотного числа масла в свежесобранных семенах подсолнечника при хранении (без обработки):

1 — влажностью 11,4%; 2 — влажностью 10,4%; 3 — влажностью 8,7%

Факторы, влияющие на дозревание. Совершенно иначе протекают процессы в свежесобранных семенах, влажность которых сохраняется высокой или снижается недостаточно быстро. В таких семенах начинаются гидролитические и окислительные процессы, инициируемые как собственными ферментами семян, так и ферментами микроорганизмов, всегда присутствующих в семенной массе и достигающих через короткое время большой интенсивности (рис. 7.2). При этом посевные и технологические свойства семян ухудшаются, их ферментная система при глубоких процессах распада инактивируется, и послеуборочное дозревание в семенах ста-

новится невозможным даже при создании в дальнейшем благоприятных условий. Для сохранения таких семян необходимо провести их обработку, чтобы полностью прекратить все биохимические процессы.

Приостановить нежелательные гидролитические и окислительные процессы в свежесобранных семенах, хранящихся без снижения влажности, можно путем понижения температуры до 10...0 °С. На холоде послеуборочное дозревание семян, как и другие биохимические процессы, в том числе разрушительные, идет очень медленно или почти прекращается. Свежесобранные семена с незаконченным процессом дозревания после прекращения действия низких (ниже 0 °С) температур быстро портятся.

Дозревание свежесобранных семян ускоряется по мере повышения температуры до тех пор, пока их ферментные системы не будут повреждены в результате тепловой денатурации. Пределы допустимой температуры при дозревании зависят от влажности семян. Чем выше влажность семян и длительнее нагревание, тем ниже значение температуры, при которой наступает денатурация. В зависимости от условий хранения, отвода паров воды из семенной массы и подвода к семенам кислорода из атмосферы, паро- и газопроницаемости покровных тканей семян температура денатурации колеблется от 25 до 60 °С.

Наиболее быстро послеуборочное дозревание протекает при активном доступе кислорода к семенам (аэрации). Подводить атмосферный воздух к семенам при дозревании требуется по ряду причин. Во-первых, для подвода к семенам кислорода, необходимого для аэробного дыхания, во-вторых, для отвода диоксида углерода и паров воды, а также для отвода теплоты, выделяемой в процессе дыхания семян.

С этой точки зрения наибольшая аэрация происходит при дозревании семян в поле, наименьшая — при хранении семян в виде насыпей большого объема.

Газовый состав атмосферы, окружающей семена, оказывает существенное влияние на послеуборочное дозревание. Наиболее быстро дозревают семена, хранящиеся в кислороде, медленнее происходит дозревание семян в азоте и дольше всего — в диоксиде углерода. Процессы дозревания семян в различных газовых средах регулируемого состава в настоящее время интенсивно исследуются и представляют большой практический интерес.

На продолжительность дозревания, помимо скорости обезвоживания, температуры и состава газовой среды, существенно влияют также сортовые особенности семян. Так, послеуборочное дозревание скороспелых и среднеспелых сортов подсолнечника проходит значительно быстрее, чем позднеспелых сортов с большим вегетационным периодом. Более короткий период дозревания имеют и высокомасличные сорта подсолнечника.

Можно утверждать, что чем интенсивнее протекают процессы

обмена веществ в семенах на стадии послеуборочного дозревания и чем более благоприятны для биохимических процессов условия дозревания (влажность, температура, доступ кислорода), тем эффективнее осуществляется биохимическая перестройка семян и подготовка их к длительному хранению. С другой стороны, чем выше влажность и температура свежесобраных семян и чем интенсивнее обмен веществ в них, тем труднее создать оптимальные условия для послеуборочного дозревания семян и исключить снижение их качества за счет интенсивного течения в них разрушительных процессов.

Биохимические процессы при послеуборочном дозревании семян в целом направлены на снижение активности ферментов, образование химически менее активных комплексов липидов, углеводов и белков и на укрупнение молекул белков и углеводов. Наряду с этим в дозревающих семенах уменьшается активность ингибиторов прорастания, в частности лектинов, ингибиторов гидролитических ферментов и др., растет воздухо- и водопроницаемость семенных и плодовых оболочек. К концу послеуборочного дозревания интенсивность обмена веществ резко снижается, одновременно при создании благоприятных условий семя приобретает способность прорасти. Вследствие минимального обмена веществ дозревшие семена могут длительно сохраняться при оптимальных условиях.

Обработка семян перед хранением. Влажность свежесобраных семян, как правило, выше, чем это необходимо для устойчивого хранения. Семена отличаются более низкими технологическими достоинствами, а также низкой всхожестью. Поэтому свежесобраные семена необходимо подвергать послеуборочной обработке с целью быстрого снижения влажности до уровня, обеспечивающего их устойчивое продолжительное хранение.

Послеуборочная обработка повышает технологические и полевые качества семян и, по существу, ускоряет процессы послеуборочного дозревания. Разработаны различные методы обработки свежесобраных семян перед хранением. Наибольшее распространение получили *тепловая сушка* и *активное вентилирование* воздухом с различными параметрами.

В то же время тепловая сушка всей массы свежесобраных семян в сжатые сроки уборки урожая, также как и активное вентилирование, практически нецелесообразны.

Повышение производительности сушилок или установок для активного вентилирования для обработки всей массы поступающих семян экономически неоправданы, рабочий период их эксплуатации составляет непродолжительное время.

Для более равномерной загрузки и увеличения рабочего периода сушилок и установок для активного вентилирования на маслозаводах применяют временное хранение влажных свежесобраных семян (рис. 7.3).



Рис. 7.3. Схема приемки и хранения семян

Способы временного хранения свежесобраных семян. Семена, в которых процесс послеуборочного дозревания не завершен и влажность их высока, можно хранить какое-то время при создании условий, тормозящих течение биохимических и микробиологических процессов, в семенной массе.

Для временного хранения или консервации влажных свежесобраных семян используют следующие способы: охлаждение (естественное или искусственное) семян до температур ниже $+10^{\circ}\text{C}$; хранение семян в атмосфере с пониженным содержанием кислорода и, наконец, использование химических консервантов для ингибирования жизнедеятельности микроорганизмов, присутствующих в семенной массе, а также частичного или полного ингибирования ферментных систем семян (рис. 7.4).

Располагая устройствами для временного хранения семян, можно проводить их уборку ранее рекомендованных агротехнических сроков, если это необходимо из-за плохой погоды или из-за опасности осыпания семян из-за их разнокачественности и неодновременности созревания. Следует лишь иметь в виду, что



Рис. 7.4. Варианты временного хранения семян

чем более недозрелыми будут убираемые семена, чем выше в них активность биохимических процессов, тем труднее предохранить их от самосогревания и порчи.

Хранение семян при низких температурах. Энергия, которую нужно затратить при тепловой сушке на испарение воды из семян, чтобы их влажность была ниже критической и их можно было бы хранить в обычных хранилищах, намного превышает энергию, необходимую для охлаждения той же партии семян до температуры, при которой можно без значительных потерь сохранить влажные семена.

К сожалению, эта температура зависит от влажности семян. При влажности гидрофильной части семян 20—22 % температура должна быть равна нулю или -10°C . Во всех случаях чем ниже температура, тем длительнее они хранятся, и чем ниже доля воды в семенах, тем они устойчивее при хранении (рис. 7.5).

Известны два способа охлаждения семян: наружным атмосферным воздухом, подаваемым ночью, и воздухом, охлажденным с помощью холодильных устройств.

Необходимая подача воздуха 65—100 м³/ч на 1 т семян. При поступлении после уборки на склад семена должны быть быстро охлаждены (в течение 2 сут) до заданных температур. Вентиляция семян необходимо вести непрерывно, даже если температура воздуха не ниже температуры семян. Подача воздуха необходима для отвода из семенной массы метаболического тепла и удаления паров воды, выделяемых при дыхании семенной массы. Терморегуляторы, помещенные в насыпь семян, должны обеспечить включение системы вентиляции, как только температура воздуха снизится на 2—3 °С ниже температуры семян или приостановится снижение температуры семян в насыпи.

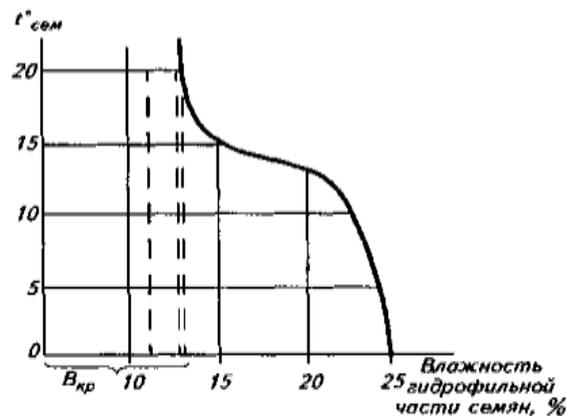


Рис. 7.5. Допустимые сроки хранения влажных семян

Охлаждение семян атмосферным воздухом невозможно в хранилищах силосного типа из-за высокого слоя семян. Расход электроэнергии недопустимо возрастает, а равномерность охлаждения падает, поэтому несмотря на подачу воздуха возможно самосогревание семян в силосе.

При использовании охлажденного воздуха исключается зависимость от погодных условий. Через 24 ч вентилирования температура семян должна снизиться до $+10^{\circ}\text{C}$, а затем еще ниже. Недостаток способа — затраты электроэнергии в 5...10 раз выше, чем при использовании наружного воздуха. Поэтому необходимо создать дополнительные условия: обеспечить теплоизоляцию склада и выключение холодильных установок в ночное время или при пониженной температуре, а также разместить в складе установки для рециркуляции охлажденного воздуха.

Герметичное хранение семян. Хранение семян в газовой среде при недостатке кислорода или герметичное хранение семян применялось еще в древние времена. Для этого использовали подземные хранилища.

В районе Каира были обнаружены круглые ямы диаметром до 1,2 м и такой же глубины, внутри которых уложены жгуты соломы. В Эфиопии и Сирии до сих пор используют подземные хранилища грушевидной формы диаметром до 4,5 м и глубиной 4 м с небольшим отверстием наверху. После загрузки хранилища семенами отверстием сверху закупоривают глиной с соломой, а сверху кладут плоский камень.

В Англии провели опыт по хранению влажного зерна в таких хранилищах с закрытыми крышками в течение года. Влажность зерна при закладке в хранилище была 17—21 %, всхожесть пшеницы — 92 %.

В герметичных хранилищах зерно товарного вида не потеряло, хотя всхожесть семян снизилась до 50 %. Температура зерна была 8—13 °С, влажность 21,5 %. Содержание CO₂ в атмосфере склада 5,4 %. В хранилищах с нарушенной герметизацией зерно заплесневело. Было установлено, что влажное зерно пшеницы влажностью 25 % в герметичных условиях уже в первые 2 ч поглощает около половины кислорода межсеменных пространств, а за 8 ч при 20 °С доля кислорода снижается до 1 %. Содержание CO₂ растет, и зерно переходит к анаэробному дыханию. Происходит самоконсервация зерна с потерей жизнеспособности.

Сохранить семена в герметичном хранилище можно только, если содержание кислорода в атмосфере насыпи семян не превышает 0,2 %. Только в этом случае все живые компоненты семенной массы — семена и микроорганизмы, насекомые — погибнут. Сначала кислород очень быстро расходуется за счет дыхания микроорганизмов, а затем расход уменьшается, в то же время содержание диоксида углерода непрерывно растет, даже после исчерпания кислорода межсеменной атмосферы. При высокой влажности

семян концентрация диоксида углерода может быть настолько высокой, что может привести к отравлению и даже гибели людей на складе.

При герметичном хранении в семенах протекают следующие биохимические процессы:

слабое спиртовое брожение, вызываемое дрожжами рода *Candida*, которые способны жить при недостатке кислорода — у семян появляется спиртовой запах;

гидролиз липидов, гидролиз и денатурация белков, превращение углеводов — в первые часы консервации идут процессы, аналогичные самосогреванию, до тех пор, пока сохраняется кислород и не наступила консервация;

снижается всхожесть семян, тем быстрее и глубже, чем выше влажность семян и их температура, в результате зародыш семян гибнет.

Поэтому при временном хранении семян рационально совмещать холод и бескислородную среду.

Для более быстрого перехода к бескислородным условиям хранения можно вытеснить кислород межсеменных пространств, используя инертные газы, например азот или диоксид углерода в брикетах. В этом случае испаряющийся твердый диоксид углерода дополнительно охладит семенную массу. Главное требование для бескислородного хранения семян — хранилище должно быть герметичным.

Хранение семян в регулируемых газовых средах (РГС). Несмотря на близость этого способа к герметичному хранению, происходит, в отличие от других способов временного хранения, послеуборочное дозревание свежесобраных семян при хранении их в газовых средах с содержанием кислорода от 1 до 2 %, при непрерывном удалении из межсеменных пространств насыпи семян паров воды и диоксида углерода, выделяемых семенами, и непрерывной подпитке газовой среды кислородом до заданного уровня.

Дозревание в РГС идет медленнее, чем дозревание в условиях доступа атмосферного воздуха. Расход газовой среды 0,1—0,15 м³/ч на 1 т семян. Повышение концентрации кислорода усиливает тепловыделение за счет развития микроорганизмов, повышение концентрации диоксида углерода снижает жизнедеятельность семян, поэтому необходимо, чтобы содержание этих двух газов в газовой среде по объему не превышало 2 % для каждого отдельно взятого газа.

Биохимические процессы, протекающие в семенах при хранении в РГС, приводят к следующим изменениям:

к снижению влажности семян — удаление воды из семян идет непрерывно;

к торможению окислительных процессов в липидах — из-за недостатка кислорода;

к торможению гидролитических процессов — в низкокислородной среде семена переходят на пентозофосфатный путь дыхания, менее энергосемкий, чем цикл лимонной кислоты (Кребса) или гликоксилевый цикл;

к угнетению микроорганизмов — нет накопления в семенах микотоксинов;

к завершению процессов послеуборочного дозревания — к концу хранения в РГС растет всхожесть семян.

Недостаток способа хранения в РГС — очень высокая стоимость обработки семян. Для использования этого способа необходимы герметичные хранилища, источники газов, устройства для очистки газов и создание заданных газовых смесей.

Химическое консервирование семян. Способ основан на обработке семян химическими препаратами, обеспечивающими полное прекращение всех биохимических процессов в семенной массе.

Наиболее сложная проблема при применении этого способа — подбор консерванта и равномерное распределение его в семенной массе, а затем последующее удаление консерванта из семян.

Наиболее эффективны низкомолекулярные органические кислоты — уксусная, муравьиная и пропионовая (ПК). Последняя наиболее удобна для промышленного использования. В 1968 г. ее стали использовать для консервирования зерна, а в 1971—1974 гг. авторы учебника совместно с А.И. Журавлевым применили ее для консервирования свежесобранного подсолнечника. Оказалось, что пары ПК уже через 5 мин проникали в зародыш семян и вызывали его гибель. После обработки семян при дозировке 0,3—1,5 % ПК к массе семян все виды микроорганизмов и насекомых погибли через 24 ч.

Под влиянием ПК маслячность семян не изменялась, послеуборочное дозревание (рост всхожести) прекращалось, всхожесть семян после обработки была равна нулю. При электронно-микроскопическом исследовании срезов семян было выявлено укрупнение и разрушение оболочек сферосом.

Биохимические процессы, протекающие в семенах под влиянием ПК, приводят к следующим изменениям:

к снижению pH на поверхности семян до уровня, при котором микроорганизмы не могут развиваться;

к образованию на поверхности семян сплошной пленки ПК, непроницаемой для кислорода и воды, т. е. наступает герметичное хранение в пределах одного семени;

к образованию гидрофобной поверхности на покровных тканях семян — «частоколу» из молекул ПК вокруг семян и микроорганизмов, прекращающему их обмен с окружающей средой и тем самым вызывающему их гибель.

Сушка семян. Это наиболее распространенный в настоящее время метод обработки свежесобраных маслячных семян перед

длительным хранением, а также обязательная обработка влажных семян после временного хранения.

Воздушно-солнечную сушку для ускорения дозревания и приведения семян в устойчивое для хранения состояние использовали при хранении семенных запасов еще с незапамятных времен. Благодаря этому удавалось сохранять семенные запасы до следующего посева.

Воздушно-солнечная сушка частично происходит при дозревании семян при отдельной уборке. Увеличение объема убираемых и заготавливаемых семян потребовало разработки более интенсивных методов их обработки. Традиционным и фактически единственным методом производственной обработки семян перед хранением является сушка смесью воздуха и дымовых газов в сушилках различных типов.

Тепловое воздействие на семена может иметь как положительное, так и отрицательное воздействие. При сравнении воздействия сушки на семена с законченным и незаконченным послеуборочным дозреванием установили, что свежесобранные семена особенно чувствительны к нагреванию и необратимо повреждаются при более низкой температуре, чем полностью дозревшие.

Нагревание свежесобранных семян вызывает ряд взаимосвязанных биохимических процессов в клетках. На первых этапах изучения большинство исследователей пыталось установить действие сушки на изменение кислотного числа масла — одного из основных показателей качества семян и получаемого из них растительного масла.

При этом в одних случаях кислотное число в результате сушки снижалось, в других — повышалось. Противоречивость наблюдаемых результатов объяснялась неоднозначным влиянием различных условий сушки — температуры и продолжительности нагревания семян.

Позже исследователями было установлено, что в семенах при высушивании протекают сложные процессы, вызывающие изменения состава липидного комплекса и величины кислотного числа масла (рис. 7.6).

В начале сушки при рекомендуемых в технологии параметрах происходит активирование ферментного комплекса семян и уси-

ление гидролитических процессов. В результате гидролиза триацилглицеролов образуются свободные жирные кислоты. Таким образом, на первых стадиях сушки, когда семена еще не прогрелись до высокой температуры, кислотное число масла в семенах увеличивается.

При дальнейшем повышении температуры в семенах происходит *инактивация* ферментов, в том числе и гидролитических (липазы), идет глубокая денатурация белковых веществ семян. Гидролиз триацилглицеролов прекращается. Повышение температуры семян вызывает образование комплексов белков со свободными жирными кислотами, образовавшимися при гидролизе триацилглицеролов. Кислотное число масла, определяемое по стандартным методикам, понижается вследствие того, что жирные кислоты в составе белок-липидных комплексов не учитываются по этим методам (табл. 7.2). Как следует из данных табл. 7.2, массовая доля связанных жирных кислот возрастает в 2,5 раза.

7.2. Изменение группового состава связанных липидов семян подсолнечника при тепловой сушке, % от суммы липидов

Группа липидов	Содержание липидов			
	до сушки (после двух- фазной уборки)	температура после сушки, °C		
		60	80	120
Жирные кислоты	2,54	2,53	5,22	6,33
Триацилглицеролы	11,58	21,68	30,71	34,82
Полярные липиды (в основном фосфолипиды)	78,5	72,4	61,1	42,6

Продолжающееся снижение кислотного числа масла в семенах по этой же причине в последующем, третьем периоде сушки в свое время дало основание некоторым исследователям говорить о возможности синтеза масла в семенах в этих условиях. Другие исследователи считали, что синтез масла в семенах при сушке не происходит, а кислотное число масла снижается в результате отгонки из семян летучих жирных кислот, удаляемых вместе с влагой. Однако эти выводы в дальнейшем не получили экспериментального подтверждения. Возможность дополнительного синтеза липидов в ходе технологической сушки полностью исключается, о чем свидетельствуют результаты анализа группового состава свободных и связанных липидов до и после сушки. Так, содержание триацилглицеролов в семенах в результате тепловой сушки уменьшается, а количество белок-липидных комплексов растет.

Возможность течения процессов синтеза триацилглицеролов в высушиваемых семенах, несмотря на отдельные работы, авторы которых предполагают их возможность при специально создан-

Рис. 7.6. Изменение кислотного числа масла в семенах при тепловой сушке:



I — зона гидролиза триацилглицеролов (активирование гидролитических ферментов); II — зона инактивации гидролитических ферментов и образования комплексов свободных жирных кислот с нелипидными компонентами семян; III — связывание свободных жирных кислот в нерастворимые соединения; IV — зона термического распада с образованием кислых продуктов

ных условиях лабораторного эксперимента, большинством исследователей оценивается скептически.

Возможность отгонки низкомолекулярных жирных кислот при сушке, результатом которой явилось бы снижение кислотного числа масла в семенах, также экспериментально не подтвердилась. Летучие продукты, отогнанные из высушиваемых семян подсолнечника и клещевины, оказались не кислыми, а щелочными и влиять на снижение кислотного числа масла не могли.

В высушиваемых семенах идет окисление линолевой кислоты с образованием гидропероксидов и вторичных продуктов окисления. Рост кислотного числа в четвертом периоде сушки обусловлен термическим распадом жирных кислот триацилглицеролов, сопровождающимся разрывом углеродной цепи и образованием низкомолекулярных кислот.

Относительно низкотемпературная тепловая сушка нежелательна, поскольку при медленном снижении влажности семян усиливается гидролиз триацилглицеролов с образованием ди- и моноацилглицеролов и свободных жирных кислот. Высокая температура нагревания семян обеспечивает быстрое снижение влажности и инактивацию ферментов, приводит к связыванию триацилглицеролов и свободных жирных кислот в комплексы с белковыми веществами семян, что снижает выход триацилглицеролов. При этом также идет интенсивное окисление ненасыщенных жирных кислот.

Тепловую сушку семян необходимо вести при оптимальных значениях температуры, чтобы, с одной стороны, свести до минимума гидролитические процессы (путем быстрой тепловой инактивации липазы и других гидролитических ферментов), а с другой — не допустить окислительного распада и связывания липидов, неизбежного при высоких температурах. Но даже при оптимальной тепловой обработке в липидном комплексе высушиваемых семян происходит некоторое уменьшение содержания свободных триацилглицеролов и ненасыщенных жирных кислот (в подсолнечнике линолевой кислоты $C_{18:2}$), возникают гидропероксиды и вторичные продукты окисления, а в масле переходят структурные липиды (преимущественно полярные). В зависимости от температурных условий сушки меняется кислотное число масла.

Влияние тепловой сушки при обычных тепловых режимах (для семян подсолнечника $60...65\text{ }^{\circ}\text{C}$) на белковые вещества семян проявляется в их переходе в менее подвижные формы. По мере роста теплового воздействия в маслячных семенах снижается содержание экстрактивного белкового азота и увеличивается содержание азота нерастворимого остатка.

Соотношение групп белков по растворимости смещается в сторону менее подвижных форм — растет доля щелочерастворимых групп и уменьшается доля водо- и солерастворимых белков.

Электрофоретические спектры белков упрощаются, молекулярная масса белков растет. Глубина биохимических процессов в белковом комплексе семян зависит от начальной влажности семян, глубины их обезвоживания, температуры и продолжительности процесса, а также от степени незрелости семян. Чем выше влажность и степень незрелости семян, тем ниже температура, при которой происходят денатурация белков и потери всхожести семян.

Так, сухие семена подсолнечника влажностью 6 % выдерживают, не повреждаясь, нагревание при температуре до $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 2 ч, а в семенах влажностью 18 % при такой же температуре в течение 30 мин резко снижаются энергия прорастания и всхожесть семян.

Активное вентилирование семян. Этот метод послеуборочной обработки свежесобраных семян, хранящихся насыпью, заключается в продувке слоя семян атмосферным воздухом или смесью воздуха и дымовых газов при температуре $40...45\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Активное вентилирование свежесобраных семян должно сопровождаться их быстрой подсушкой, так как в противном случае в семенах продолжают разрушительные процессы. При медленном обезвоживании семян в семенной массе развиваются гидролитические процессы, особенно в верхних слоях насыпи. Влажность семян в верхнем слое может не только не снижаться, но даже расти из-за перемещения влаги (при подаче воздуха снизу через каналы в полу склада) из нижних слоев насыпи в верхние. Кислотное число масла в семенах при этом повышается. Только при большой подаче воздуха достигается достаточное уменьшение влажности семян, хотя скорость обезвоживания всегда ниже по сравнению с тепловой сушкой.

В результате вентилирования, как и после тепловой сушки, всхожесть и энергия прорастания семян возрастают. Интенсивность дыхания и активность ферментного комплекса несколько снижаются.

Содержание и групповой состав липидов, а также белковые вещества при активном вентилировании изменяются, как и при тепловой сушке. Однако если влажность семян длительное время остается высокой, нежелательные процессы могут идти существенно глубже. Активное вентилирование семян смесью воздуха и дымовых газов при более высокой температуре, чем $40...45\text{ }^{\circ}\text{C}$, по степени изменения веществ в семенах приближается к тепловой сушке, но неравномерность высушивания семян остается высокой.

Для обеспечения быстрой стабилизации семян с высокой влажностью технические возможности существующих установок для активного вентилирования недостаточны или экономически неприемлемы. В связи с этим для предотвращения гидролитических процессов в семенах с высокой влажностью необходимо

использовать тепловую сушку. В то же время чем выше влажность семян, тем глубже в них нежелательные последствия тепловой сушки.

Сравнение тепловой сушки и активного вентилирования подогретым воздухом, ускоряющих послеуборочное дозревание семян, показывает, что направленность биохимических процессов в свежубранных семенах примерно совпадает с естественным дозреванием семян на растении. Необходимо указать, что степень приближения к естественному ходу процессов дозревания при использовании различных методов послеуборочной обработки оказывается различной. Наибольшие отклонения характерны для процессов, параметры которых значительно отличаются от условий естественного дозревания на растении в поле. Максимальные отклонения наблюдаются при тепловой сушке, причем с усилением теплового воздействия они возрастают.

Аэрация семян атмосферным воздухом как активное вентилирование с этой точки зрения занимает среднее положение между дозреванием в поле на растении и тепловой сушкой. Но, к сожалению, послеуборочное дозревание семян в условиях аэрации ограничено, поскольку для этого необходимо, чтобы свежубранные семена имели невысокую начальную влажность. Иначе в семенах неизбежны процессы глубокого распада запасных веществ.

7.3. ПОКОЙ И ХРАНЕНИЕ

Периоду послеуборочного дозревания большинства семян предшествует так называемый *первичный покой* — период, когда нормальные жизнеспособные семена не прорастают даже в оптимальных условиях.

В биохимической литературе понятие «покой семян» объединяет несколько взаимосвязанных явлений. В агрономическом семеноведении наряду с понятием *первичного покоя* применяется понятие *вторичного (индуцированного) покоя*, в результате которого семена после дозревания могут под влиянием неблагоприятных внешних воздействий обратимо потерять способность прорасти. В основе первичного и вторичного покоя лежат аналогичные по характеру физиолого-морфологические процессы, связанные с изменениями температуры и аэрации зародыша.

В технологии хранения *покоящимися* называют *семена*, в которых в результате дозревания в благоприятных естественных условиях или после послеуборочной обработки установился минимальный уровень обмена веществ. В этом состоянии семена наиболее приспособлены к длительному сохранению своих запасных веществ без ухудшения качества и количественных потерь. Задача сохранения семян, в которых закончились процессы послеуборочного дозревания, до переработки сводится к поддержанию и сохранению в состоянии покоя.

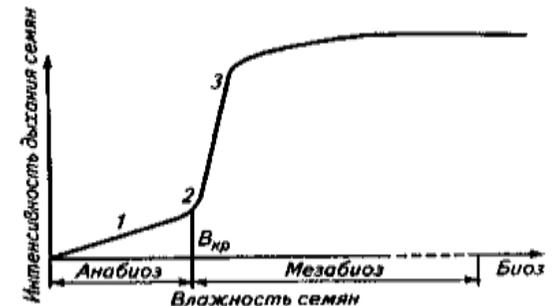
Состояние покоя является естественной стадией развития семян. С точки зрения физиологии семена растений представляют собой организмы, приспособленные для выживания в неблагоприятных условиях. Сухие семена легко переносят высокие и низкие температуры; при повышенной температуре в них не происходит денатурации белков, а при замораживании не образуются кристаллы льда, разрушающие структуру клеток. Переход в состояние покоя препятствует преждевременному прорастанию семян перед зимними холодами и воздействию неблагоприятных факторов при хранении семян. При глубоком снижении влажности дыхательный газообмен в покоящихся семенах постепенно затухает и уменьшается настолько, что не обнаруживается самими совершенными методами исследования. В условиях нулевой влажности семян, отсутствия кислорода и при температуре, близкой к абсолютному нулю, в семенах возможна приостановка жизненных процессов, т. е. наступает их полный покой. После перенесения в благоприятные условия в таких семенах восстанавливаются жизненные процессы.

А. М. Голдовский в 1966 г. по уровню жизнедеятельности и характеру обмена веществ предложил различать три состояния семян: анабиоз, мезабиоз и биоз. При полном *анабиозе* в семенах как в живом организме полностью прекращаются биохимические процессы, но жизнеспособность сохраняется. Полного анабиоза можно достичь только в лабораторных условиях, путем медленного низкотемпературного высушивания семян до влажности, близкой к нулю. Для сохранения семенами состояния анабиоза, кроме минимальной влажности, необходимо поддерживать температуру, близкую к абсолютному нулю, и полностью удалить кислород из атмосферы, окружающей семена. Если влажность и температуру семян в состоянии анабиоза медленно повышать, семена перейдут в состояние неполного анабиоза. При неполном анабиозе в семенах протекают разрушительные процессы небольшой интенсивности, медленно усиливающиеся по мере роста влажности (рис. 7.7).

Содержание влаги в семенах при неполном анабиозе должно

Рис. 7.7. Изменение дыхания семян растений при увеличении влажности:

1 — медленный рост интенсивного дыхания при влажности семян от нулевой до появления в семенах свободной влаги ($V_{кр}$); 2 — быстрый рост интенсивного дыхания при влажности выше $V_{кр}$; 3 — стабилизация интенсивности дыхания на высоком уровне, соответствующем прорастанию семян



быть не выше критической величины, которая характеризует в тканях только количество связанной воды.

Вследствие небольшой интенсивности разрушительных процессов в семенах в состоянии неполного (хозяйственного) анабиоза возможно их длительное сохранение. Если повышать влажность семян за пределы их критической влажности, в структурах семян появляется свободная влага, происходит скачкообразный подъем интенсивности дыхания и семена переходят в состояние *мезабиоза*. В этом состоянии при повышении влажности гидролитические ферменты семян активизируются и начинают разрушать запасные вещества семян. Переход семян, предназначенных для длительного хранения, в состояние *мезабиоза* недопустим.

При дальнейшем увлажнении тканей семена переходят в состояние активной жизнедеятельности — *биоза*. Семена начинают прорастать, и развивается новое растение.

При обычных условиях хранение семян происходит в состоянии неполного анабиоза. Содержание воды в хранящихся семенах ниже критического, а через оболочки, даже очень плотные, проникает кислород. Газообмен внутри сухих семян очень слабый, но все-таки продолжается, идет медленный обмен веществ, расходуются запасные вещества, необратимо нарушаются структуры биомембран клеток и при длительном хранении семена как живой организм гибнут.

Всхожесть старых семян даже при хранении в благоприятных условиях низкая. Лишь незначительная часть их прорастает и дает всходы. Правда, сообщалось о прорастании семян пшеницы, пролежавших в гробницах фараонов более 2000 лет. Однако в настоящее время эти сведения считаются сомнительными.

По продолжительности сохранения жизнеспособности в условиях хранения, которые были приняты за оптимальные, семена подразделяют на три группы: микробиотики (продолжительность жизни до 3 лет), мезабиотики (до 15 лет) и макробиотики (100 лет и более). Эта классификация достаточно условна, так как продолжительность жизни семян зависит от условий хранения, наследственных свойств семян, их морфологических особенностей, в частности водо- и газопроницаемости семенных оболочек.

Из всех известных достоверных примеров сохранения жизнеспособности в естественных условиях наиболее жизнеспособными оказались семена индийского лотоса, найденные на северо-востоке Китая на дне высохшего озера. По периоду полураспада радиоактивного углерода в тканях был определен возраст семян — 1040 ± 210 лет. Старые семена индийского лотоса совершенно непроницаемы, прорастают и дают здоровые и сильные проростки только после разрушения покровных оболочек.

Семена некоторых растений при хранении на открытом воздухе снижают влажность и быстро теряют всхожесть. Например, семена какао погибают уже через 35 ч после начала высухания. Се-

мена некоторых видов растений (дикого риса, дуба, бука, грецкого ореха, тополя, ивы и др.) быстро погибают, если после созревания они остаются на воздухе в условиях, неблагоприятных для прорастания.

Семена подсолнечника в газовой среде, содержащей 98...99 % N_2 и 1...2 % O_2 , сохраняют жизнеспособность дольше, чем на открытом воздухе.

Существенной особенностью семян, способных длительное время оставаться жизнеспособными, вероятно, является наличие у них газонепроницаемых покровных тканей. Процессы, ведущие к нарушению герметичности покровных тканей, например образование трещин и микротрещин при быстром или высокотемпературном высушивании, снижают жизнеспособность семян, открывая доступ кислорода и микрофлоры к зародышу.

Долговечность семян существенно зависит от их химического состава. Обычно более долговечны семена, содержащие в качестве запасного вещества крахмал. Масличные семена, как правило, менее долговечны, хотя среди них тоже встречаются семена, способные длительно сохраняться.

Скорость обезвоживания семян перед хранением, начальный уровень обмена веществ в семенах, температура хранения, зараженность семян микроорганизмами и видовой состав микрофлоры влияют на долговечность семян при хранении.

В большинстве случаев семена, в которых к концу созревания на растении из-за мясистого околоплодника или по другим причинам сохраняется высокая влажность, обычно не переносят высухания и быстро теряют всхожесть при хранении на открытом воздухе. На семена, созревающие в сухих плодах, высушивание оказывает благоприятное действие, и низкое содержание влаги в них является одним из условий, способствующих удлинению жизни таких семян. Как правило, чем меньше влаги в семенах к концу созревания на растении, тем более они долговечны. В то же время глубокое обезвоживание (ниже 3,5 %), приводящее к удалению из белков химически связанной воды, сопровождается снижением всхожести семян и появлением аномалий при развитии проростков.

Жизнеспособность семян. Способность семян сохранять жизнь при хранении является проявлением их жизнеспособности — биологической приспособленности и стойкости семян к изменяющимся внешним условиям. Долговечность, или продолжительность жизни, семян является следствием способности семян сохранять жизнь в оптимальных условиях внешней среды и зависит главным образом от внутренних факторов — уровня и характера обмена веществ семян. Жизнеспособность семян является проявлением их способности противостоять разрушительным внешним факторам и отражает уровень приспособленности семян к условиям внешней среды. С этой точки зрения жизнеспособность семян,

содержащих липиды, выше жизнеспособности крахмалсодержащих семян, содержащих крахмал и белки, в результате более высоких энергетических запасов и более совершенной теплоизоляции.

Очень высокой жизнеспособностью отличаются семена дикорастущих сорных масличных растений. Одна из специфических особенностей этих семян — способность длительно сохранять жизнеспособность даже при хранении в почве, причем отдельные виды семян в почве сохраняют большую жизнеспособность, чем при хранении в сухом виде в лаборатории.

Из семян культурных растений семена горчицы способны длительно храниться в почве без прорастания и не терять всхожесть.

Действие разрушительных факторов при послеуборочном дозревании, хранение семян в неблагоприятных условиях или очень продолжительное хранение приводят к тому, что семена теряют способность к прорастанию и наступает их гибель. Прорастание невозможно, если запасные вещества полностью или в значительной мере израсходованы. При хранении в благоприятных условиях запасные вещества сохраняются и химический состав изменяется меньше.

Согласно общебиологическим законам, старение живых организмов — это наложение ошибок в системе хранения и реализации генетической информации, постепенное нарушение структуры и функции клеток тканей и органов, которые увеличивают вероятность глубоких аномалий, приводящих к смерти. Согласно мнению М.С. Навашина и Е.М. Герасимовой, даже в сухих семенах при хранении продолжают изменяться, поэтому запас сухих покоящихся семян — это «фабрика мутаций», которая работает тем энергичней, чем дольше сохраняются семена.

Причинами старения семян по Харингтону являются разнохарактерные процессы — разрушение хромосом, потеря дыхательной активности, увеличение проницаемости мембран, образование токсичных продуктов, разрушение гормонов, необходимых для прорастания, денатурация белков и самоокисление жиров, которое сопровождается образованием свободных радикалов. Многообразие факторов, приводящих к потере жизнеспособности семян, заставляет рассматривать процесс старения на основе принципа «черного ящика», когда известно только то, что есть на входе (до хранения) и что — на выходе (после хранения).

Зависимость между продолжительностью хранения и всхожестью семян при таком подходе описывается функцией отрицательного нормального распределения (рис. 7.8):

$$N = N_0 e^{-kt}$$

где N — число семян, сохранивших жизнеспособность за время хранения (t) из числа всхожих семян, находившихся в семенной массе в начале хранения (N_0); e — основание натурального логарифма; k — константа.

Такой характер зависимости позволяет полагать, что в семенах

существует некоторое количество ключевых ферментных систем, гибель которых происходит случайно. Чтобы семена потеряли всхожесть, достаточно, чтобы погибли не все ферментные системы, а некоторое их (критическое) число. Как показывает анализ экспериментальных кривых потери семенами жизнеспособности, это критическое число составляет от 20 до 25 % ферментных систем семян. Исследование активности ферментов мертвых семян показало, что они содержат активных дегидрогеназ до 10 % от начального содержания в жизнеспособных семенах. Потери жизнеспособности происходят в результате денатурации наиболее подвижных изоформ дегидрогеназ в процессе старения семян.

Н.П. Красноок пришла к выводу, что в потерявших всхожесть семенах риса дыхание ингибировано, однако полной инактивации окислительно-восстановительных ферментных систем не происходит — сохраняется значительная остаточная активность ключевых аэробных и анаэробных дегидрогеназ, хотя активность оксидаз снижена в значительно большей степени.

Практический интерес представляет вопрос о возможности дальнейшего хранения семян, потерявших жизнеспособность. Представления по этому вопросу противоречивы. Наиболее распространено мнение, что хранить семена можно только в живом состоянии. Известно, что сопротивляемость к повреждению микрофлорой у подсолнечных семян, потерявших жизнеспособность, снижается. В то же время при подготовке к хранению семян, предназначенных к технологической переработке, не всегда ставится условие сохранения ими жизнеспособности, и даже рекомендуется хранить мертвые семена. Несмотря на известность этих рекомендаций, они неубедительны. Снижение энергии прорастания и всхожесть жизнеспособных семян при хранении всегда служат сигналом ухудшения их технологических свойств.

Более того, условия, способствующие гибели семян, например при тепловой обработке, неизбежно активируют развитие разрушительных, в том числе окислительных процессов. С повышени-

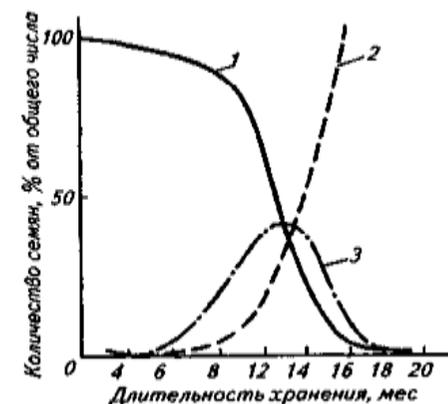


Рис. 7.8. Зависимость жизнеспособности семян от продолжительности хранения:

1 — исходные семена; 2 — показатель потери семенами жизнеспособности (отношение числа семян, потерявших жизнеспособность в течение данного периода, к числу семян, сохранивших жизнеспособность до данного срока хранения); 3 — семена, потерявшие жизнеспособность

ем температуры тепловой сушки всхожесть семян и, следовательно, стойкость к окислительным процессам снижаются (табл. 7.3).

7.3. Всхожесть (%) и антирадикальная активность липидов (мк · экв) высушенных семян подсолнечника при хранении

Температура сушки, °С	Всхожесть при длительности хранения, нед		Антирадикальная активность при длительности хранения, нед				
	I	II	0	1	3	7	11
42 46	42	74	0,132	0,102	0,102	0,095	0,071
55 60	15	52	0,142	0,100	0,109	0,071	0,085
80 82	7	23	0,130	0,091	0,086	0,071	0,075
96 110	12	29	0,166	0,100	0,080	0,069	0,066
Двухфазная уборка (контроль)	73	92	0,089	0,095	0,086	0,095	0,125

Неблагоприятное, повреждающее семена тепловое воздействие приводит к резкому повышению свободнорадикальной активности их липидов. В результате этого в семенах идут окислительные процессы, требующие постоянного расхода антиоксидантов. В семенах, не подвергавшихся тепловой сушке, антиоксиданты расходуются постепенно, антирадикальная активность длительное время сохраняется на стабильном уровне. После сушки в семенах запас антиоксидантов очень быстро исчерпывается при хранении и в дальнейшем не восполняется. Стойкость масла, полученного из семян, высушенных при высоких температурах, при последующем хранении быстро снижается.

Анализ выполненных исследований старения масличных семян свидетельствует, что в потерявших всхожесть мертвых семенах сохраняется высокая активность окислительно-восстановительных и гидролитических ферментов, полного исчерпывания запасных веществ семян не происходит. Потери всхожести тесно взаимосвязаны с развитием в семенах окислительных процессов, накоплением в клетках семян продуктов гидролиза и окисления липидов, а также в связи со структурными изменениями биомембран, ведущими к высвобождению фосфолипидов.

7.4. САМОСОГРЕВАНИЕ

По завершении послеуборочного дозревания семена уже в условиях неполного анабиоза приобретают способность достаточно устойчиво сохраняться в хранилищах обычного типа. Течение биохимических процессов в семенах замедлено, так как влажность семян становится ниже критического уровня, но полной приостановки процессов обмена веществ не происходит. В семенах идет медленный гидролиз триацилглицеролов, растет кислотное число

масел, продолжается окисление жирных кислот, особенно ненасыщенных. Возникают продукты окисления, идет деструкция белковых молекул, из-за разрушения биомембран появляются свободные структурные липиды, извлекаемые вместе с маслом при переработке семян. Но эти процессы при благоприятных условиях хранения протекают медленно, и глубина изменений химического состава масличных семян при обычной продолжительности хранения невелика.

Если условия хранения ухудшаются и возрастает влажность семян, то происходит резкая интенсификация разрушительных процессов. Наиболее глубокие неблагоприятные изменения наблюдаются, если в семенной массе при хранении развивается процесс самосогревания.

Самосогревание — это самопроизвольный распад запасных веществ влажных семян, протекающий в условиях пониженного теплообмена с окружающей средой. Он возникает лишь в большой массе семян. Даже очень влажные семена, если их немного, не самосогреваются.

Самосогревание развивается по типу цепной реакции. В зависимости от исходного состояния семенной массы и условий ее хранения температура семян поднимается до 55...65 °С, а в отдельных случаях — до 75 °С и выше (рис. 7.9).

Область повышенной температуры, т. е. очаг самосогревания, возникает обычно в том месте семенной массы, где находятся семена с высокой влажностью. Теплота, выделяемая при дыхании влажных семян, накапливается и затем конвекционными потоками воздуха в межсеменном пространстве передается на прилегающие участки семенной массы. Повышение температуры интенсифицирует дыхание семян, расположенных вокруг очага самосогревания, их дыхательный газообмен усиливается, а вместе с этим ра-

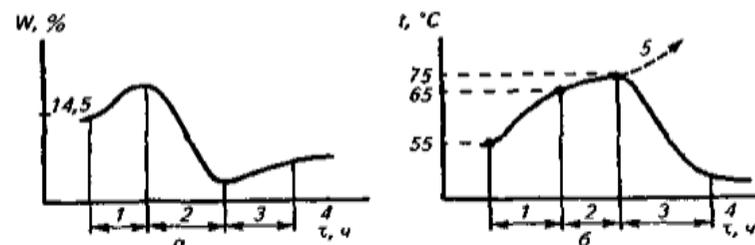


Рис. 7.9. Изменение влажности и температуры семенной массы в процессе самосогревания:

a — влажность 1 — период интенсификации дыхания семян и микрофлоры, 2 — период подсушки вследствие роста температуры семян, 3 — период поглощения влаги из воздуха после окончания самосогревания, 4 — равновесная влажность,
б — температура 1 — период жизнедеятельности семян и микроорганизмов, 2 — период жизнедеятельности термофильных микроорганизмов, 3 — период после прекращения самосогревания, 4 — установившаяся температура, 5 — период небιологического окисления

стет выделение теплоты и влаги в межсеменное пространство — область повышенной температуры расширяется. Самоускоряющийся процесс быстро охватывает всю массу семян, и очаговое самосогревание переходит в сплошное.

Теплота образуется в результате жизнедеятельности всех живых компонентов семенной массы: семян масличных и сорных растений, микроорганизмов, а также насекомых и клещей.

Очень много теплоты и влаги выделяется при дыхании микроорганизмов, которые при благоприятных условиях быстро размножаются и потребляют запасные вещества семян.

Однако самосогревание является результатом не только повышенной физиологической активности семенной массы, но и ее небольшой теплопроводности. Теплота, выделяемая всеми живыми компонентами семенной массы, задерживается в ней. Теплопроводность семенной массы обычно составляет $14...22 \cdot 10^{-5}$ кВт/(м · К). Такая низкая теплопроводность объясняется составом семенной массы: органические соединения семян имеют низкую теплопроводность, воздух межсеменных пространств — еще меньшую (при 20°C — $22 \cdot 10^{-7}$ кВт/(м · К); для сравнения теплопроводность меди $0,3...0,4$ кВт/(м · К).

Роль живых компонентов семенной массы в выделении теплоты на различных стадиях хранения меняется. В обычных условиях хранения микроорганизмы выделяют около 60 % теплоты, образующейся в семенной массе.

Если до самосогревания начальная температура в массе семян была низкой ($10...15^\circ\text{C}$ и ниже), а семена были сухими и полностью дозревшими, то после начала самосогревания в результате попадания воды в массу семян температура повышается медленно. Но по достижении $25...26^\circ\text{C}$ самосогревание ускоряется, так как увеличивается влажность семенной массы за счет дополнительной влаги, выделяемой в процессе дыхания.

Свежеубранные семена, в отличие от дозревших, обычно характеризуются высокой влажностью и активной ферментной системой, а их температура, как правило, уже близка к значению ускоренного хода самосогревания. Процесс самосогревания в дальнейшем развивается и протекает аналогично, независимо от состава семенной массы. Усиленное развитие микроорганизмов на семенах уже на первых стадиях самосогревания приводит к интенсификации дыхания и повышению потребления запасных веществ семян.

В масличных семенах на этой стадии под действием ферментов семян и микрофлоры происходит гидролиз триацилглицеролов. В последующем идет распад жирных кислот до продуктов, используемых для дыхания. Очень быстро температура семенной массы достигает $40...50^\circ\text{C}$, что наиболее благоприятно для бурного развития микроорганизмов. Одновременно резко активизируются процессы гидролиза других запасных веществ в семенах. Эти процес-

сы сопровождаются дальнейшим увеличением влажности и температуры семенной массы вследствие продолжающегося выделения воды и теплоты.

Темпы роста температуры и влажности семян таковы, что исключается возможность прорастания семян. Температура увеличивается быстрее влажности, и при оптимальных температурах влажность оказывается недостаточной для прорастания. Кроме того, в межсеменных пространствах семенной массы быстро расходуется кислород и замещается на CO_2 . Начинается денатурация белков и ферментов семян, в первую очередь наиболее активных белков зародыша, в результате чего семена теряют всхожесть. Дальнейшее повышение температуры приводит к денатурации ферментных систем других частей семян.

При повышении температуры еще более снижается качество семян и масла. В масло начинают переходить структурные липиды и продукты их гидролиза, окисления и полимеризации. Идет окислительная полимеризация жирных кислот и триацилглицеролов, изменяются цвет, вкус и запах масла. Происходит глубокая денатурация и распад белков, сопровождающиеся изменением локализации липидов в клетках зародыша и эндосперма. Основные ткани семян приобретают сначала темно-желтый, а затем черный цвет.

Температура $50...55^\circ\text{C}$ является границей бурного разогревания семенной массы. Вследствие частичной гибели термочувствительных микроорганизмов и денатурации ферментов семян рост температуры замедляется. Однако термофильные микроорганизмы продолжают свою жизнедеятельность, в результате чего температура семян повышается до $65...70^\circ\text{C}$. За пределами этой температуры практически все виды микроорганизмов погибают. Дальнейшее повышение температуры при самосогревании происходит в результате термического окисления органических веществ семян. Семенная масса обугливается, и масличное сырье становится полностью непригодным (см. рис. 7.9). Как правило, после этого начинается понижение температуры семян, но их качество уже не восстанавливается.

Еще до достижения семенной массой температуры 70°C начинаются реакции небиологического окисления органических веществ семян кислородом воздуха. Так, при 40°C в семенной массе образуется небиологическим путем около 10 % CO_2 , при 60°C — 40, а при 70°C и выше — 100 %. В семенах образуются вещества, несвойственные для жизнеспособных семян: накапливаются меланоидиновые соединения (продукты взаимодействия аминокислот, белков и фосфолипидов с углеводами), продукты деструкции белков (полипептиды), продукты полимеризации окисленных липидов и жирных кислот.

При самосогревании выделяются аммиак, метан, сероводород, фенолы и другие низкомолекулярные летучие продукты, способ-

ные образовывать в хранилищах взрывоопасные смеси. Об этом свидетельствуют взрыв Томыловского элеватора в Куйбышевской области (1988 г.), а также ряд взрывов на других элеваторах страны, где на хранение поступили семена подсолнечника с высокой влажностью.

Внешний вид и физико-механические свойства самосогревающейся семенной массы меняются по мере углубления процессов распада веществ семян. В конце самосогревания семенная масса склеивается гумусообразными соединениями (типа продуктов, получаемых при сухой перегонке древесины), образуясь из целлюлозы оболочек семян, и полностью теряет сыпучесть, образуя глыбы. Использовать такую массу в качестве масличного сырья невозможно.

Растительные масла, полученные из семян, в которых произошли даже начальные стадии самосогревания из-за поражения микроскопическими грибами, приобретают несвойственные им цвет и органолептические показатели. Уже через 24 ч после развития грибов в семенах обнаруживаются микотоксины, а масло и шрот становятся токсичными. В составе семян появляются неспецифичные для растений стеролы — эргостерол и холестерол. Для обезвреживания (детоксикации) масел, полученных из зараженных семян, наиболее эффективна только высокотемпературная дезодорация при 220...230 °С и остаточном давлении 532...665 Па.

7.5. ПРОРАСТАНИЕ

Прорастание — процесс формирования нового растения из семян, закончивших послеуборочное дозревание. Это очень быстрый переход жизнеспособного воздушно-сухого семени от почти неактивного состояния покоя к активации всех процессов метаболизма.

Важнейшими условиями, необходимыми для прорастания жизнеспособных, полностью дозревших семян, являются влажность, теплота и наличие кислорода. Вода при прорастании играет роль пускового фактора. Количество воды, поглощаемое семенами до начала прорастания, составляет значительную величину (% к массе семян):

Подсолнечник	56,5	Лен	100,0
Рапс	51,0	Конопля	43,9
Рыжик	43,9	Мак	51,0

Как видно из этих данных, влажность масличных растений, необходимая для прорастания семян, составляет около 50 %, за исключением семян льна, которые впитывают в 2 раза больше воды благодаря присутствию слизи в семенной оболочке. Влажность

нелипидной (гидрофильной) части семян при этом составляет 100...150 %. Такая влажность не может быть достигнута только путем поглощения влаги из воздуха, поэтому прорастание возможно только при попадании в семенную массу капельно-жидкой воды, которая может попасть при транспортировке семян на склад в дождливую погоду или в результате конденсации водяных паров из воздуха межсеменных пространств в верхнем, холодном, слое массы. Поглощение воды не зависит от температуры, кислорода и света. Под влиянием воды происходит гидратация биокolloидов семян, семена набухают, развивая высокое давление, разрывающее семенные оболочки. Давление набухания настолько велико, что семена сои, плотно заполнившие стеклянную бутылку, способны ее разорвать.

Многие семена в благоприятных условиях прорастают уже при температуре от 0 до 10 °С. Семена масличных растений по минимальной температуре, необходимой для прорастания, подразделяют на следующие группы: семена, прорастающие при 1...2 °С (рыжик, горчица, рапс, лямлеманция, сафлор), при 3...5 °С (лен, подсолнечник), при температуре выше 6 °С (соя, перилла), при 9...10 °С (клешевина, кориандр) и прорастающие при 10 °С (кужунт). Такие значения температуры часто наблюдаются в нормально хранящихся семенах. При повышении влажности семян в результате активирования дыхания температура их может быстро повыситься, что еще больше облегчит прорастание. Таким образом, прорастание семян редко ограничивается температурой.

Для прорастания не меньше, чем вода, нужен кислород. Поэтому при хранении прорастают семена только в верхних слоях массы, глубинные слои, даже очень влажные, не прорастают. Это связано с недостатком кислорода и быстрым самоотравлением семян продуктами аэробного дыхания, при затрудненном воздухообмене в глубине семенной массы.

При прорастании семян увеличивается их потребность в кислороде. Даже кратковременное «кислородное голодание» тормозит прорастание. При содержании CO₂ в атмосфере, окружающей семена, равном 17 %, процесс прорастания замедляется, а при 35 % прекращается.

Процесс прорастания семян включает три стадии: реактивацию всех ферментных систем семян, необходимых для активного обмена веществ: синтеза белка, окисления жирных кислот, синтеза АТФ и субстратов для дыхания и синтеза белка; синтез органоидов и ферментов, необходимых для мобилизации запасных веществ семян; развитие проростка — деление, удлинение и дифференциацию клеток.

Когда оводненность семян достигает 50—60 %, через разорванную семенную оболочку появляется кончик зародышевого корня (рис. 7.10).

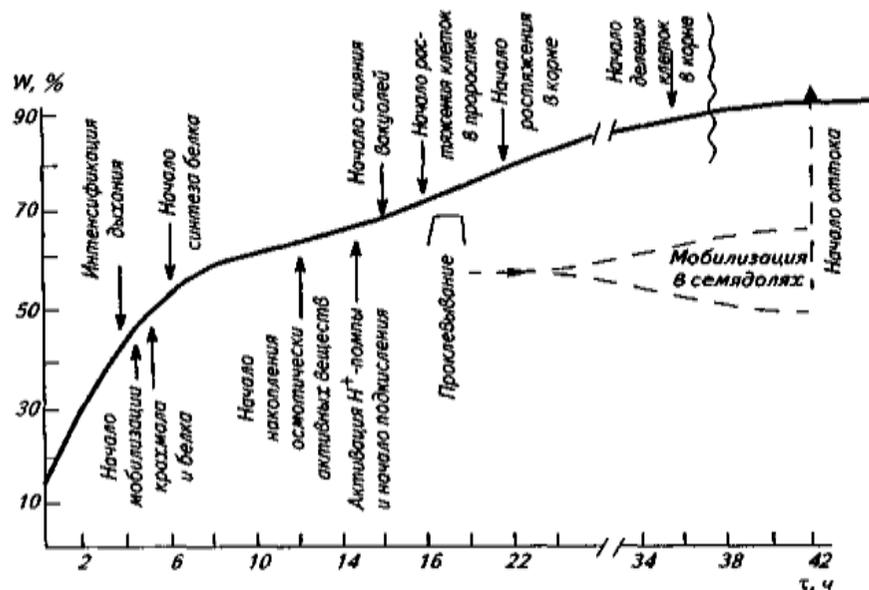


Рис. 7.10. Последовательность физиологических процессов в семенах после начала набухания

Это происходит в результате растяжения клеток зародышевой оси семени, которое обеспечивается подкислением клеточных стенок за счет диоксида углерода, образующегося в процессе дыхания, а также благодаря активации протонной помпы (H^+) в результате освобождения ауксина из связанной формы. Интенсивность дыхания в этот период возрастает в тысячи раз по сравнению с неоводненными семенами. Начинается интенсивное накопление осмотически активных продуктов гидролиза запасных веществ, рост клеток за счет растяжения продолжается. Прорастающее семя в этот период продолжает оставаться гетеротрофным организмом, использующим запасные вещества, накопленные в период созревания, и только после появления всходов оно становится автотрофом.

Возможно, на начальных стадиях прорастания основная часть ферментных систем только активируется, а не синтезируется заново. В прорастающих семенах липиды распадаются до ацетата и превращаются в углеводы, транспортируемые в зародыш и используемые там для дыхания и синтеза соединений, необходимых для прорастания (табл. 7.4).

7.4. Изменение количества и жирно-кислотного состава липидов при прорастании семян хлопчатника

Показатели	Длительность прорастания, сут			
	0	4	7	10
Содержание липидов, %	24,4*	23,1	-	9,7
Содержание жирных кислот, мг на 100 семян	2276	1056	816	424
В том числе:				
$C_{16:0}$	664	301	204	112
$C_{18:0}$	47	34	18	11
$C_{18:1}$	319	223	144	58
$C_{18:2}$	1273	502	450	249

* Из них 95 % триацилглицеролов.

При прорастании масличных семян триацилглицеролы подвергаются ферментативному гидролизу с образованием глицерола и свободных жирных кислот. В жирных кислотах количество двойных связей уменьшается, идет накопление гидроксильных групп — образуются оксикислоты. Гидролитическому распаду подвергаются также фосфолипиды с образованием глицеролов, жирных кислот, фосфорной кислоты и азотистого основания, которые вовлекаются в обмен веществ. Содержание низкомолекулярных водорастворимых кислот в результате распада жирных кислот на низкомолекулярные соединения увеличивается. Последние поступают в проростки, где используются для построения элементов клеток проростка. Таким образом, одновременно с процессами гидролиза запасных веществ в прорастающих семенах с большой интенсивностью идут синтетические процессы. Наибольшая активность ферментного комплекса наблюдается на 6-е... 7-е сутки прорастания.

До недавнего времени оставалось неясным, почему гидролиз запасных белков алейроновых зерен семян собственными протеолитическими ферментами начинается не сразу после начала прорастания, а через 2...3 суток. Основной причиной этого является отсутствие в начальный период прорастания семян активных форм специфических протеаз, которые появляются лишь на 2-е... 3-и сутки прорастания. Под действием специфических протеаз от молекул запасного белка отщепляется один или два коротких пептида, после чего в молекуле белка происходят самопроизвольные конформационные изменения, и она становится доступной для протеаз, расщепляющих запасные белки до крупных пептидов. Затем из крупных пептидов образуются короткие пептиды и аминокислоты. Короткие пептиды, в свою очередь, под действием пептидаз расщепляются до аминокислот.

В прорастающих семенах обнаружены все незаменимые аминокислоты.



Рис. 7.11. Конформационные изменения в запасных белках алейроновых зерен, протекающие под действием специфических протеаз

сырья. Уже на начальных стадиях прорастания уменьшается содержание масла, растет количество продуктов изменения липидов из-за гидролитических и окислительных процессов. Происходит значительная потеря биологической ценности белков. По этим причинам прорастание масличных семян при хранении совершенно недопустимо.

Контрольные вопросы и задания

1. Как изменение жирно-кислотного состава растений одного ботанического вида в северных и южных районах подтверждает представление о жидкокристаллическом строении биомембран клетки?
2. Почему для нормального функционирования биомембран их липиды должны находиться в жидкокристаллическом состоянии?
3. Какая часть молекулы триацилглицерола — остатки жирных кислот или глицерола — содержит больше биологически доступной, т. е. высвобождаемой при окислении в клетке, энергии в расчете на один атом углерода?
4. Напишите суммарные уравнения образования ацетил-КоА из важнейших жирных кислот, содержащих 18 атомов углерода.
5. Какие углеводы подвергаются «раздревеснению» в клеточных стенках тканей стебля и листьев при созревании семян?
6. Почему в семенах масличных растений при созревании уменьшается относительное содержание полярных липидов?
7. Назовите основные фазы развития семян и соответствующие им процессы в цитоплазме и органоидах клетки.
8. Почему синтезу запасных липидов в созревающих масличных семенах предшествует образование из низкомолекулярных соединений крахмала — полимера со значительно большей молекулярной массой по сравнению с триацилглицеролами?
9. Основываясь на механизме синтеза жирных кислот в растениях, объясните

кислоты, в том числе валин, треонин, лейцин, изолейцин, метионин, лизин, аргинин, гистидин, фенилаланин и триптофан, а также значительно возрастает содержание нуклеиновых кислот.

В результате химической модификации запасных веществ семян и использования энергии их распада развивается новое растение, в нем образуются новые ткани и синтезируются необходимые вещества до тех пор, пока растение не перейдет на фотосинтетический путь и начнется синтез этих компонентов из неорганических соединений окружающей среды.

При прорастании семян резко снижается их технологическое качество как масличного

присутствие в природных растительных маслах пальмитиновой кислоты.

10. Напишите химические реакции синтеза триацилглицеролов и фосфолипидов. В чем различие их синтеза?

11. Исходя из химического строения фитина, объясните его роль ингибитора ферментативных реакций в созревающих семенах.

12. Почему сахароза служит исходным соединением в синтезе крахмала и целлюлозы в семенах? Дайте объяснение на основании химического строения сахарозы.

13. Пользуясь схемой синтеза линамарина, напишите схему синтеза амигдалина.

14. Почему при созревании семян снижается относительное содержание минеральных элементов?

15. Почему зародыш содержит больше золы, чем другие ткани семян?

16. Как изменяются биохимические процессы в свежубранных семенах в зависимости от условий послеуборочной обработки?

17. Как изменяются биохимические процессы в семенах, дозревающих в поле, при наступлении дождливой погоды?

18. Как влияют различные способы временного хранения на качество семян, в которых не завершилось послеуборочное созревание?

19. В чем различие биохимических процессов, происходящих в свежубранных семенах, при активном вентилировании и тепловой сушке? При ответе используйте рис. 7.6.

20. Разрушение биомембран клеток основных тканей при тепловой сушке семян сопровождается переходом в извлекаемое масло ценных в биологическом отношении веществ — жирорастворимых витаминов. Почему необходимо ограничивать температуру нагревания семян при сушке, хотя с точки зрения теплотехники повышение температуры целесообразно и ведет к росту эффективности процесса?

21. Почему нежелательна низкотемпературная сушка влажных свежубранных семян?

22. Как вы объясните уменьшение количества триацилглицеролов, содержащих ненасыщенные жирные кислоты, в извлекаемом масле после сушки семян?

23. Какие изменения происходят в белковом комплексе семян при нагревании? Объясните целесообразность тепловой (и влаготепловой) обработки обезжиренных семян сои.

24. В чем различие состояний полного и неполного анабиоза семян? Чем можно объяснить низкую всхожесть старых семян?

25. Кривая потери семенами всхожести (см. рис. 7.8) при хранении (кривая старения) аналогична кривой боя стаканов в столовой, хотя, как известно, стаканы биологически не стареют, они просто каждый день подвергаются опасности быть разбитыми. Какое определение процесса старения семян можно дать из этой аналогии?

26. На каких особенностях семенной массы основан способ временного хранения семян в бескислородной атмосфере?

27. Почему перемещение самосогревающихся семян по транспортерам из одного хранилища в другое неэффективно, а иногда ведет к резкому усилению самосогревания?

28. Как без лабораторных анализов можно определить, подверглись ли масличные семена самосогреванию и какими лабораторными анализами можно подтвердить это предположение?

29. Чем объяснить необходимость присутствия кислорода для прорастания семян?

30. Напишите реакции образования продуктов распада жирных кислот в прорастающих семенах. Какие липолитические ферменты в этом участвуют?

Глава 8

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕМЯН И СЕМЕННЫХ МАСС

Семенная масса, поступающая на хранение, образована миллионами единичных семян, свойства которых варьируют вследствие разнокачественности в широких пределах.

Свойства семян связаны с их анатомией, морфологией, химическим составом и являются характерными для каждой масличной культуры. Из-за большой изменчивости этих характеристик семян, их разнокачественности уже в пределах одного растения и даже отдельного соцветия говорят о средних значениях величин, характеризующих состав и свойства семенных масс. Одним из методов такой оценки является построение вариационных кривых или рядов свойств семян. Свойства семян, определяющие их технологическое качество, подразделяют на физико-механические, физико-химические и физиологические (биологические).

8.1. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

К физико-механическим свойствам единичных семян относятся: геометрическая форма и линейные размеры, абсолютная масса, относительная плотность, аэродинамические, диэлектрические и другие свойства. Они важны при решении многих вопросов послеуборочной обработки, хранения и особенно технологической переработки семян.

При скоплении в большой массе семена приобретают новые, отличные от единичных семян свойства. К ним относятся сыпучесть, насыпная плотность, скважистость, объемная масса и др.

Геометрическая форма и линейные размеры. От геометрической формы и линейных размеров семян зависят тип хранилища, размеры рабочих органов технологических машин, а также способ хранения и переработки семян.

Форма семян характерна для каждой масличной культуры и определяется соотношениями длины, ширины и толщины (рис. 8.1). Семена бывают: шаровидные, когда все размеры близки или одинаковы (в этом случае характеристикой семян является диаметр), эллиптические, чечевицеобразные (характеристиками являются диаметр и толщина), удлинённые и треугольные (характеристиками являются длина — наибольший размер, толщина — наименьший размер и ширина).

При колебаниях влажности семян меньше всего изменяется длина семян. Влажные семена всегда крупнее, чем сухие, по ширине и толщине и практически не отличаются от сухих по длине (табл. 8.1).

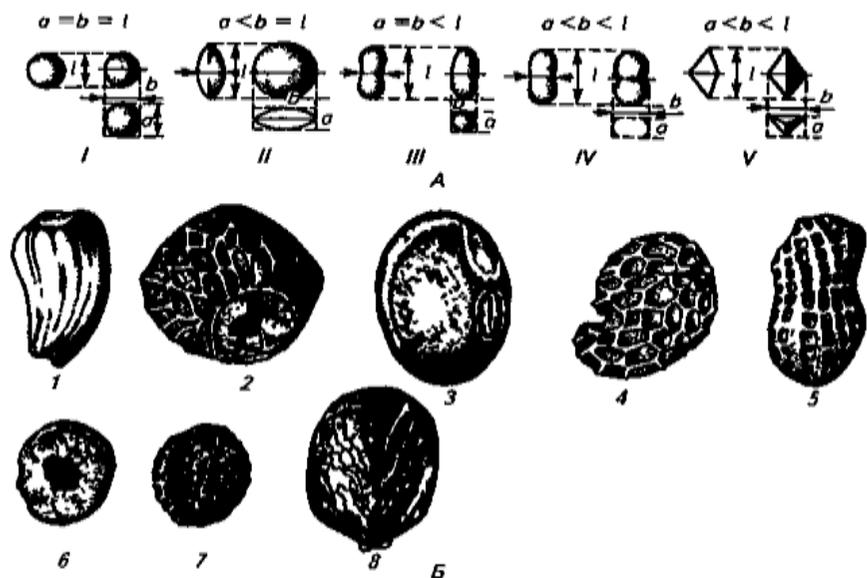


Рис. 8.1. Форма (А) и разновидности (Б) масличных семян:

А I — шаровидные, II — чечевицеобразные, III — эллиптические, IV — удлиненные, V — треугольные, a — толщина семян (наименьший размер), b — ширина, l — длина (наибольший размер),
 Б 1 — сафлор, 2 — кунжут, 3 — соя, 4 — мак масличный, 5 — арахис, 6 — горчица белая, 7 — горчица сизая, 8 — клещевина

Для характеристики формы семян введены понятия «коэффициент формы» и «показатель сферичности». Коэффициент формы — это отношение площади поверхности семени несферической формы к поверхности эквивалентного шара, объем которого равен объему семени.

Показатель сферичности — это отношение площади поверхности равновеликого по объему шара ($F_{ш}$) к площади внешней поверхности семени несферической формы (F_c). Для шарообразных частиц эти характеристики равны 1, для частиц иной формы, в частности семян, коэффициент формы всегда больше 1, а показатель сферичности — меньше 1. Средние значения коэффициента формы высокомасличных семян подсолнечника 1,29... 1,37, показателя сферичности — 0,4...0,6.

При расчете этих характеристик семян необходимо знать поверхность семян F_c . Ее можно определить, исходя из объема единичного семени, который устанавливают экспериментально пикнометрическим методом, методами гидростатического взвешивания, волюмометрии или другими.

8.1. Средние размеры семян масличных культур, мм

Культура, сорт	Длина	Ширина или диаметр	Толщина
<i>Удлиненная форма</i>			
Подсолнечник			
ВНИИМК 8931	11,1	5,8	3,5
Переловик	10,7	5,0	3,3
Смена	11,3	5,4	3,1
Армавирский 3497	11,4	5,3	3,1
Заводская смесь	11,2	5,6	3,1
Клещевина			
Серая	11,2	5,6	5,5
Сангвинус 401	14,7	9,5	6,7
Хлопчатник			
153-Ф	9,6	5,2	4,6
5904-И	8,4	5,2	4,6
Лен масличный	3,8	1,8	0,9
<i>Шаровидная форма</i>			
Соя			
Приморская 529		5,3	
Хабаровская 4		6,4	
Салют 216		5,4	
Горчица			
белая		2,5	
черная		1,0	
Рапс		2,0	
Сурепица		2,0	

Отсюда

$$F_c = 4\pi R(l+3R); R = \frac{5a+6b}{60},$$

где l, a, b — линейные размеры семян

Если форма семян близка к шаровидной, то

$$F_c = \frac{\pi}{9}(a+b+l) = 0,35(a+b+l).$$

В некоторых случаях для расчетов пневмотранспорта семян, теплотехнических и других необходимо знать эквивалентные диаметры d_s единичных семян, которые также рассчитывают, исходя из величины объема единичных семян:

$$d_s = 1,24 \sqrt[3]{\frac{\Sigma W}{n}},$$

где ΣW — суммарный объем n семян, мм³

Как правило, чем крупнее семена данной масличной культуры, тем выше их *технологическое качество*. Например, у подсолнечника мелкие семена имеют большую лужистость, более высокие кислотное число, интенсивность дыхания и активность гидролитических ферментов; содержание масла в них ниже по сравнению с крупными. Плодовая оболочка мелких семян разрушается и отделяется труднее. Этим обусловлена целесообразность раздельного хранения и переработки крупных и мелких семян подсолнечника по различным технологиям. Мелкие семена перерабатывают по более упрощенной технологии. Разделение семян подсолнечника на мелкие и крупные проводят разными способами, например с помощью сит с отверстиями диаметром 6 мм. Мелкие семена обычно составляют до 40 % от массы поступивших на хранение семян.

Масса 1000 семян. Размеры, особенно толщина семян и плодов, тесно связаны с их массой. Для характеристики массы семян введено понятие «*абсолютная масса*» — масса 1000 семян при нулевой влажности.

Ее определяют при фактической влажности семян, а затем пересчитывают на нулевую влажность, т. е. на сухое вещество (г):

$$A = a(100 - b_c)/100,$$

где *a* — масса 1000 семян с фактической влажностью, г; *b_c* — влажность семян, %.

По величине абсолютной массы семена подразделяют на тяжелые, средние и легкие (табл. 8.2).

8.2. Масса 1000 семян масличных растений, г

Культура	A	Культура	A
Тяжелые		Легкие	
Арахис	1000...1200	Горчица белая	3,5...6,0
Соя	140...200	Горчица черная	1,6...2,2
Клещевина	160...300	Рапс	1,9...5,5
Хлопчатник	110...165	Рыжик	0,7...1,6
Подсолнечник	45...100	Кунжут	2,0...5,0
Средние		Мак	0,25...0,7
Сафлор	20...50		
Лен	3...15		
Конопля	12...26		

Относительная плотность. Этот показатель связан с химическим составом, влажностью и относительной плотностью различных тканей семян. Величина относительной плотности семян зависит также от количества воздуха, содержащегося в тканях. Например, у семян подсолнечника воздухоносные ткани занимают 20...35 % объема.

Относительная плотность семян и плодов большинства масличных растений, особенно высокомасличных, меньше 1 (плотности воды). В них преимущественно содержатся липиды с относительной плотностью 0,92. Кроме массовой доли липидов, относительная плотность зависит также от особенностей анатомического строения, пористости тканей и наличия воздухоносной полости между покровными и основными тканями.

Первая группа		Вторая группа	
Подсолнечник	0,65...0,84'	Кунжут	1,08
Конопля	0,87...0,92	Мак	1,14
Клещевина	0,91	Лен	1,16
		Горчица	1,22
		Соя	1,15...1,35

Если относительная плотность сухих семян меньше 1, то при увлажнении семян относительная плотность увеличивается; если больше 1, то при увлажнении семян она снижается.

Физико-механические свойства семян — абсолютная масса, относительная плотность, геометрические размеры — зависят от химического состава (табл. 8.3).

8.3. Физико-механические свойства семян подсолнечника

Фракция	Абсолютная масса, г	Относительная плотность	Содержание, %			
			масла в ядре	белка в ядре	лужи (лужистость)	масла в семенах (масличность)
Исходная партия	87,2	0,722	59,8	24,31	24,2	45,7
Фракция 3 x 3,5 мм, d > 7 мм						
тяжелая	107,8	0,755	59,2	25,9	23,0	46,0
легкая	90,6	0,565	57,1	26,2	28,8	41,2
Фракция 3 x 3,5 мм, d > 6...7 мм						
тяжелая	94,8	0,779	60,5	24,6	23,0	47,0
легкая	78,5	0,609	60,5	23,5	26,4	45,0
Фракция 3 x 5 мм, d > 5...6 мм						
тяжелая	76,7	0,814	62,3	23,7	21,0	49,6
легкая	64,0	0,685	62,0	21,7	24,8	47,1

Как следует из табл. 8.3, между крупностью и масличностью семян существует обратная зависимость, между относительной плотностью, абсолютной массой и масличностью семян — прямая зависимость, между этими показателями и лужистостью семян — обратная зависимость. В то же время фракционирование семенной массы только по размерам не позволяет четко разделить ее на низко- и высокомасличную части.

Аэродинамические свойства. Зависят от формы, абсолютной массы и относительной плотности масличных семян. Состояние семян при продувании воздуха через их слой (при очистке, тепло-

вой сушке, активном вентилировании, пневмотранспортировании и некоторых других технологических процессах) определяется скоростью воздуха.

При небольшой скорости воздуха семена неподвижны, воздух как бы фильтруется через слой семян. При ее увеличении семена, оставаясь в слое, перемещаются относительно друг друга и объем слоя увеличивается. Такой слой называется *кипящим* или *псевдоожигженным*. В кипящем слое каждое семя испытывает воздействие воздушного потока, равное его весу. Скорость воздуха, при которой семена находятся во взвешенном состоянии, называется *критической*, или *скоростью витания*. При еще большей скорости семена уносятся воздушным потоком.

Величина скорости витания зависит от *парусности* семян — отношения площади проекции наибольшего сечения семени на плоскость, перпендикулярную воздушному потоку, к массе семени. Между критической скоростью $v_{кр}$ (м/с) и коэффициентом парусности $K_{п}$ (м⁻¹) существует обратная зависимость:

$$v_{кр} = \sqrt{\frac{g}{K_{п}}}$$

где g — ускорение свободного падения, $g = 9,8 \text{ м}^2/\text{с}$.

Критическую скорость можно также рассчитать по формуле

$$v_{кр} = 3,62 \sqrt{\frac{d_э \gamma_c}{K \gamma_b}}$$

где $d_э$ — эквивалентный диаметр семян, м; γ_c и γ_b — относительная плотность семян и воздуха, кг/м³; K — коэффициент аэродинамического сопротивления семян (учитывает отклонение формы семян от шарообразной, шероховатость поверхности, стесненность движения семян в замкнутом пространстве воздуховода и др.).

8.4. Аэродинамические свойства семян масличных растений

Культура	Критическая скорость, м/с	Коэффициент парусности, м ⁻¹	Культура	Критическая скорость, м/с	Коэффициент парусности, м ⁻¹
Лен	3,3...6,0	0,41	Горчица	3,9...7,2	0,27
Подсолнечник	3,2...8,9	0,24	Мак	2,5...4,3	0,53...1,53
Клешевина	0,6...10,2	0,09	Рапс	8,2	0,15
Конопля	3,2...7,8	0,24	Арахис	12,5...15,0	0,04...0,06
Хлопчатник тонковолокнистый	5,0...9,8	0,14	Соя	9,5...12,5	0,06...0,24

В табл. 8.4 приведены величины критической скорости и коэффициента парусности некоторых масличных плодов и семян.

Для средневолокнистых семян хлопчатника $v_{кр}$ зависит от опушенности и влажности семян, а также от сортности (табл. 8.5).

8.5. Критическая скорость семян хлопчатника, м/с

Сорт	Опушенность	Влажность, %	$v_{кр}$
1	9,0	8,0	7,8
2	9,52	7,9	6,8
3	9,60	8,1	6,3
4	9,81	8,0	6,0

Аэродинамические свойства зависят от химического состава и влажности семян. На основании этой зависимости возможно фракционирование семян (табл. 8.6).

8.6. Аэродинамическое фракционирование хлопковых семян по химическому составу

Дистанция полета, м	Фракция семян, %	Влажность, %	Масличность, %	Кислотное число масла, мг КОН
1	0,2			
2	0,1	9,8	5,8	18,6
3	0,8			
4	1,7	9,5	14,1	10,2
5	7,2	9,6	17,6	7,1
6	16,4	9,4	18,8	3,6
7	18,7	9,3	20,1	3,5
8	22,3	8,9	20,9	3,2
9	19,2	8,8	22,0	3,0
10	8,3	9,1	22,7	1,6
11	4,2			
12	0,8	9,2	20,4	1,9
13	0,1			
Исходная проба семян хлопчатника	100	9,5	18,8	4,7

Диэлектрические свойства. При разработке перспективной технологии, в частности новых методов отделения ядра семян от плодовых и семенных оболочек, внимание исследователей привлекали диэлектрические свойства масличных семян. Было замечено, что диэлектрические постоянные подсолнечных семян сорта ВНИИМК 8931, имеющих масличность 46,29 %, лужистость 23,7 % и абсолютную массу 74,62 г, возрастали у ядер от 3,67 до 18,41 и у плодовой оболочки от 2,47 до 36,00 при изменении влажности их тканей от 3,11 до 10,51 % и от 10,84 до 19,50 % соответственно. Относительная плотность ядер исследуемых семян была равна 1,05; оболочки — 0,66.

Семенная масса представляет собой антропогенную экологическую систему, включающую в себя семена основной культуры,

название которой носит семенная масса, а также различные примеси минерального и органического происхождения, включая семена дикорастущих и культурных растений, не относящихся к основной культуре, микроорганизмы, присутствующие на семенах и примесях, а также газовую среду межсеменного пространства. Свойства семенной массы отличаются от свойств составляющих ее семян.

Сыпучесть. Плоды и семена большинства масличных культур за исключением средневолокнистого хлопчатника, в насыпи связаны между собой очень слабо. Для семенных масс масличных культур характерна хорошая *сыпучесть* — подвижность отдельных семян и их слоев при перемещении по наклонной поверхности. Благодаря сыпучести семена и плоды без значительных трудностей удается загружать на хранение, заполняя почти весь объем хранилища из одной или немногих точек, легко разгружать хранилища с наклонными днищами и перемещать семена без затрат энергии по наклонным трубам и желобам сверху вниз.

Степень сыпучести характеризуется углом естественного откоса и углом самотека. *Угол естественного откоса* (угол внутреннего трения) — это угол между диаметром основания и образующей конуса семян при свободном падении семенной массы на горизонтальную плоскость. Величина его определяет геометрическую форму насыпи семян. *Угол самотека* — это наименьший угол, при котором семенная масса начинает скользить по какой-либо поверхности. Тангенс угла самотека называется *коэффициентом трения*. Как следует из сказанного, угол самотека семян по слою таких же семян равен углу их естественного откоса.

На степень сыпучести семенной массы влияют форма семян, характер и состояние поверхности, влажность, содержание и вид посторонних примесей, материал и состояние поверхности, по которой перемещаются семена. Так, чем ближе форма семян к шару и чем более гладкая их поверхность, тем сыпучее семена. Высокая сыпучесть у семян сои объясняется их шаровидностью, у льна — гладкой поверхностью, покрытой слизистыми веществами. Насыпь семян льна сравнивают с жидкостью и часто говорят, что она «течет». Плоды и семена с шероховатой поверхностью имеют незначительную сыпучесть, а иногда почти теряют это свойство (например, опущенные хлопковые семена средневолокнистых сортов).

С увеличением влажности семян подсолнечника, клещевины и льна увеличиваются коэффициент их трения по железу и дереву и угол естественного откоса. Примеси, как правило, снижают сыпучесть семян. При большом содержании примесей, особенно органических, семенная масса может полностью потерять сыпучесть. Сыпучесть семян сильно снижается в результате самосогревания.

Ниже приведены значения угла естественного откоса некоторых семян и плодов масличных культур (град):

Соя	24...32
Лен масличный	27...34
Подсолнечник	31...45
Клещевина	34...46

Самосортирование. Следствием сыпучести семенной массы является ее способность к самосортированию при перемещении. Особенно значительным может быть самосортирование семенной массы при падении с большой высоты, например при заполнении хранилищ силосного типа, когда падение семян осложняется движением встречного воздушного потока из заполняемого хранилища. В результате различий массы и аэродинамических свойств семян, наличия примесей с другой относительной плотностью происходит рассортирование семенной массы. В образующейся насыпи тяжелые компоненты семенной массы располагаются по оси конуса, легкие — у образующих конуса.

Самосортирование семенной массы происходит также при перевозке семян насыпью автомобильным и железнодорожным транспортом. Тяжелые семена и примеси в этом случае скапливаются на дне вагона или кузова автомашины, а легкие «всплывают» в верхние слои. Эту особенность следует всегда учитывать при отборе проб семян для оценки качества семенной массы.

Плотность укладки и скважистость. Семенная масса, занимающая какое-либо пространство, не заполняет его целиком, так как между отдельными семенами остаются промежутки, заполненные воздухом. Объем, занимаемый семенной массой, состоит из объема собственно семян и примесей и объема воздушных прослоек между ними. Объем собственно семян и примесей, выраженный в процентах от общего объема, называется *плотностью укладки семенной массы*, а объем воздушных промежутков — *скважистостью*.

Величина скважистости зависит от насыпной плотности семян — массы единицы объема, заполняемого семенами. *Насыпная плотность*, или *объемная масса семян*, всегда ниже относительной плотности отдельных составляющих семенную массу. Масса одного литра семян (определяется на специальном приборе — литровой пурке с падающим грузом) называется *натурой* и выражается в граммах.

От плотности укладки семенной массы и ее скважистости зависят распределение в хранящихся семенах теплоты, перемещение воздуха в межсеменном пространстве, передача теплоты путем конвекции и перемещение влаги сквозь семенную массу в виде пара. Благодаря газо- и воздухопроницаемости семенных масс можно осуществлять активное вентилирование или химическое консервирование семенных масс. Запас воздуха в межсеменных

8.7. Физико-механические свойства семян и семенных масс масличих растений

Культура	Влажность семян, %	Абсолютная масса семян, г	Относительная плотность семян, г/см ³	Масса 1 м ³ семян, кг	Объем 1 т семян, м ³	Истинный объем 1 т семян, м ³	Скважистость, %	Обеспеченность семян воздухом, м ³ /т
Подсолнечник	4,3...9,2	40,0...98,1	0,651...0,827	330...470	2,1...3,1	1,2...1,5	40...52	0,8...1,5
Сафлор	7,6	38,6	0,926	540	1,9	1,08	42	0,77
Арахис (плоды)	5,6...7,4	487...1440	0,454...0,754	230...360	2,8...4,3	1,33...2,90	48...60	1,45...2,34
Соя	7,8...11,6	76,1...197,8	1,214...1,326	680...780	1,3...1,5	0,75...0,82	38...46	0,52...0,67
Рапс	6,3...8,8	4,2...5,5	1,133...1,146	660...670	1,4...1,5	0,87...0,88	40...42	0,60...0,63
Горчица	5,2...6,1	2,1...3,2	1,087...1,217	670...690	1,4...1,5	0,86...0,92	37...42	0,55...0,62
Рыжик	6,5...8,8	1,0...1,4	1,144...1,181	640...700	1,4...1,6	0,84...0,87	39...45	0,55...0,70
Лен	6,3...8,7	3,6...9,4	1,069...1,196	640...710	1,4...1,6	0,84...0,94	36...45	0,52...0,71
Кунжут	5,2...6,3	2,6...4,5	1,081...1,121	620...640	1,5...1,6	0,89...0,92	41...44	0,63...0,71
Мак	7,6...8,1	0,4...0,5	1,14...1,20	570...600	1,6...1,7	0,83...0,88	48...52	0,79...0,91
Кориандр	6,7...7,8	5,4...6,6	0,518...0,604	280...340	3,0...3,6	1,66...1,93	40...48	1,20...1,84
Клещевина	5,4...7,4	236...466	0,774...0,990	520...570	1,2...1,8	1,00...1,29	31...44	0,58...0,86

пространства играет важную роль для сохранения жизнеспособности семян.

Величина скажистости зависит от формы, упругости, размеров и состояния поверхности семян, от количества и вида примесей, от массы и влажности семян. При прочих равных условиях крупные семена всегда укладываются менее плотно. Мелкие примеси и семена способствуют более плотной укладке всей семенной массы. Плотность укладки понижается с увеличением влажности семян. Увлажнение хранящихся в массе семян ведет к их набуханию и увеличению объема отдельных семян. Межсеменные пространства при этом уменьшаются, семенная масса уплотняется, т. е. семена слеживаются.

Плотность укладки становится больше при усилении давления на семена, при увеличении высоты слоя и продолжительности хранения. Чем дольше хранятся семена, тем плотнее они укладываются.

Скважистость семенной массы изменяется в зависимости от условий загрузки семян на хранение (высоты падения семян, скорости и т. п.).

Снижение скажистости и уплотнение семенной массы отрицательно сказываются на стойкости семян при хранении, так как при этом снижается обеспеченность семян воздухом, затрудняется тепло- и газообмен и создаются условия для самосогревания.

Физико-механические свойства семян и семенных масс некоторых видов масличих растений приведены в табл. 8.7.

Между многими физико-механическими свойствами семян существуют тесные корреляционные зависимости. Так, выявлены значимые корреляционные связи между линейными размерами и абсолютной массой семян (для подсолнечника коэффициент корреляции 0,94), между относительной плотностью и критической скоростью семян, между скажистостью, объемом и их линейными размерами.

В технологических расчетах для расчета физико-механических характеристик семян — относительной плотности и абсолютной массы семян по величине эквивалентного диаметра семян или их линейным размерам используются эмпирические формулы.

К сожалению, из-за широкого варьирования формы и размеров семян, принадлежащих даже одной культуре, для каждой конкретной партии семян эти расчетные формулы нуждаются в серьезной корректировке.

8.2. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

К физико-химическим свойствам семян относятся теплофизические, сорбционные, гигроскопические, а также другие свойства. Их величину во многом определяют условия хранения семян и технологические приемы их переработки.

Теплофизические свойства. Наиболее важные из них теплоемкость, тепло-, температуро- и термовлагопроводность.

Теплоемкость семян зависит от их химического состава и подчиняется законам аддитивности. Теплоемкость липидов составляет 2,05 кДж/(кг · град), белков и углеводов — 1,41, целлюлозы — 1,33 кДж/(кг · град). Так как теплоемкость воды более высокая — 4,19 кДж/(кг · град), то с повышением влажности семян она тоже повышается. Теплоемкость семян подсолнечника 1,51, конопли — 1,54, льна — 1,65, клешевины — 1,85 кДж/(кг · град).

Низкая **теплопроводность** семенной массы обусловлена большим содержанием в ней воздуха, который является плохим проводником теплоты. Несколько большую теплопроводность имеют сами семена (примерно как у древесины) — в пределах $(14...22) \cdot 10^{-5}$ кВт/(м · К). Это в 500 раз меньше теплопроводности железа и в 2,5...3 тыс. раз меньше теплопроводности меди. Теплопроводность семенной массы при увлажнении сравнительно быстро возрастает.

Температуропроводность — это скорость изменения температуры в семенной массе, которая характеризуется коэффициентом температуропроводности. Для различных семян она равна $(6,15...6,85) \cdot 10^{-4}$ м²/с, т. е. почти в 100 раз меньше, чем для воздуха, и примерно равна температуропроводности воды при 20 °С $(5,1 \cdot 10^{-4}$ м²/с). Семенная масса обладает большой тепловой инерцией. Участки семенной массы, удаленные от ее верхнего слоя, стен и пола хранилища, в течение нескольких месяцев удерживают температуру, при которой они были заложены на хранение. Температуропроводность семенных масс может повлиять на хранение. Так, низкая температура в момент закладки на хранение способствует длительному устойчивому хранению семян. Если температура семян при закладке повышена (например, из-за неудовлетворительного охлаждения после тепловой сушки) или в семенной массе появился участок с повышенной температурой, начнется самонагревание.

При хранении в семенной массе всегда имеется перепад (градиент) температуры — движущей силы термовлагопереноса, который оценивают по величине **термовлагопроводности**. Происходит перемещение влаги в более холодные слои и участки по градиенту теплоты даже при низкой влажности семян. Влага перемещается не только в результате термовлагопроводности, но и переносится в виде пара конвективными потоками воздуха. Эти процессы особенно интенсифицируются при большой разнице температуры в семенной массе и окружающей среде, а также при подводе теплоты в семенную массу при активном вентилировании. Перемещение влаги по направлению потока теплоты может сопровождаться накоплением в поверхностных слоях семенной массы влаги при конденсации водяных паров. В этом случае возможно набухание, даже прорастание семян.

Сорбционная способность семян и семенных масс. Высокая сорбционная способность семенной массы обусловлена свойствами тканей семян, которые интенсивно сорбируют, а затем десорбируют различные газы. Сорбционные свойства массы семян в значительной степени зависят от межсеменных пространств, заполненных воздухом.

Наибольшее практическое значение имеет способность различных семян к сорбции и десорбции паров воды из окружающей атмосферы, т. е. **гигроскопичность**. В зависимости от упругости водяных паров в окружающем воздухе семена увлажняются либо влажность их снижается. Если парциальное давление водяного пара в воздухе больше, чем в непосредственной близости от поверхности семян, то они сорбируют воду, если же парциальное давление водяного пара в непосредственной близости от поверхности семян больше, чем в окружающем воздухе, то происходит десорбция воды.

Процессы сорбции и десорбции влаги обычно находятся в состоянии динамического равновесия, и за одинаковый промежуток времени количества сорбируемой и десорбируемой воды одинаковы. Каждому значению парциального давления водяного пара и температуры вокруг семян соответствует определенное количество сорбируемой и десорбируемой воды. Установившуюся влажность семян при данных параметрах воздуха (относительной влажности и температуре) называют **равновесной**. Максимальная равновесная влажность семян, достигаемая при хранении на воздухе, насыщенном водяными парами (относительная влажность 100 %), является предельной, после чего семена не могут сорбировать парообразную влагу из воздуха. Эту влажность называют **гигроскопической**. Дальнейшее увлажнение семян может идти только за счет впитывания капельно-жидкой влаги.

Процесс поглощения воды тканями сухих семян имеет много общего с набуханием гидрофильных коллоидов. В основе представлений о формах связи воды с материалом лежит предложенный П.А. Ребиндером термодинамический принцип. Поглощение сухим коллоидом первых порций воды протекает с тепловым эффектом, соответствующим энергии образования химической связи. В семенах это химически связанная вода, ее удаление нарушает молекулярную структуру тканей. По мере оводнения коллоида тепловой эффект прогрессивно уменьшается. Это обусловлено тем, что молекулы воды, окружающие гидратационной оболочкой электроотрицательные группировки коллоидов, начинают удерживаться силами электростатического притяжения. Эта вода адсорбционно-связанная, при ее удалении структура тканей семян нарушается, но восстанавливается при последующем увлажнении.

Силы электростатического притяжения обратно пропорциональны квадрату расстояний, поэтому молекулы воды в перифе-

рических слоях водных оболочек удерживаются уже очень слабо и их можно удалить при небольшом внешнем воздействии. При набухании молекулы воды внедряются между молекулами коллоида и раздвигают их. При увеличении расстояния между молекулами коллоида ослабевают силы взаимного притяжения между ними и уменьшается сопротивление внедрению новых молекул воды.

Одновременно при увеличении толщины гидратного слоя быстро уменьшаются силы притяжения воды и процесс набухания затормаживается. Эта вода капиллярно-связанная и осмотически удерживаемая, ее можно удалить из семян при тепловой сушке без нарушения молекулярной структуры тканей.

Таким образом, не вся связанная вода удерживается с одинаковой энергией. Часть воды, удерживаемой силами, меньшими принятой величины, называют *свободной*, а удерживаемой большими силами — *связанной*. Считается, что свободная вода замерзает при $-15...-20^{\circ}\text{C}$, а связанная — при более низкой температуре. Связанная вода включает химически и адсорбционно-связанную; свободной является капиллярно-связанная и осмотически удерживаемая вода.

При накоплении в гидрофильной части влаги более 15% в семенах появляется свободная вода, т. е. среда для протекания обменных реакций, скорость которых быстро растет. Влажность семян, соответствующая появлению в их гидрофильных структурах свободной воды, называют *критической*.

Установлено, что дыхание масличных семян резко усиливается при влажности гораздо более низкой, чем необходимая для достижения такого же уровня дыхания семян немасличных культур. Низкая критическая влажность масличных семян обусловлена присутствием в них липидов, не сорбирующих воду.

При влажности масличных семян выше критической происходит скачкообразное увеличение интенсивности дыхания. На рис. 8.2 видно, что критическая влажность масличных семян разных культур зависит от содержания липидов в семенах. Вода в семенах удерживается только в нелипидной части семян, относительная доля которой с увеличением масляности уменьшается. В связи с этим при одинаковой влажности семян, например подсолнечника и хлопчатника, влажность нелипидной (гидрофильной) части подсолнечных семян выше, чем

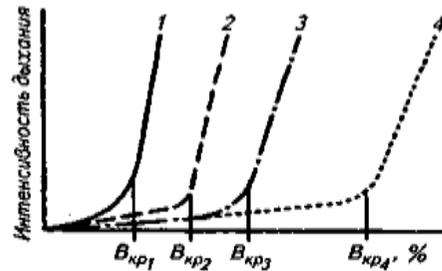


Рис. 8.2. Зависимость интенсивности дыхания семян от влажности:

1 — клешевина; 2 — подсолнечник; 3 — соя; 4 — пшеница

Рис. 8.3. Изотермы сорбции масличных семян (в скобках — масляность, % в пересчете на абсолютно сухое вещество):

1 — клешевина (55,1); 2 — подсолнечник (39,3); 3 — горчица сизая (39,3); 4 — лен (38,5); 5 — рыжик (36,0); 6 — хлопчатник (25,1); 7 — соя (18,0)



у хлопковых, так как нелипидная часть у подсолнечника составляет в среднем 50%, а у хлопчатника 80% и критическая влажность подсолнечных семян ниже, чем хлопковых.

Пренебрегая влиянием различия в химическом составе белков, углеводов, составляющих гидрофильную часть семян, а также анатомическими особенностями семян, критическую влажность семян (%) можно рассчитать по формуле

$$V_{кр} = 14,5(100 - M_c)/100,$$

где 14,5 — влажность гидрофильной (нелипидной) части в момент появления свободной воды в структурах семян (при $M_c = 0\%$); M_c — масляность при влажности семян, равной нулю, %.

Если сорбция (десорбция) воды семенами протекает при постоянной температуре, то получаемые зависимости между относительной влажностью воздуха и равновесной влажностью семян называют *изотермами сорбции* (десорбции). Изотермы сорбции масличных семян при относительной влажности воздуха $\phi > 10\%$, как правило, выпуклы к оси относительной влажности (рис. 8.3). Поглощение влаги из воздуха при $\phi = 0...10\%$ происходит путем мономолекулярной адсорбции, при $\phi = 10...90\%$ — путем полимолекулярной адсорбции и при $\phi = 90...100\%$ — путем поглощения влаги микрокапиллярами.

С понижением температуры увеличивается равновесная влажность семян. По данным ряда исследований, при понижении температуры от 30 до 0°C равновесная влажность зерна различных культур повышается примерно одинаково (на 1,4%). Скорость поглощения влаги семенами почти точно представляет собой логарифмическую функцию температуры.

Из факторов, оказывающих влияние на величину поглощения воды семенами, определяющими являются анатомическое строение и химический состав тканей. При одинаковых температуре и относительной влажности воздуха основные и покровные ткани семян поглощают из воздуха различное количество влаги. Для плодовой оболочки подсолнечника характерен более интенсивный рост влажности при увеличении относительной влажности воздуха, и равновесная влажность ядра всегда меньше, а оболочки — больше влажности семян.

Чем выше масличность семян, тем ниже их равновесная влажность, поэтому в высокомасличных семенах даже при незначительном общем содержании воды содержание влаги в гидрофильной части более высокое.

На рис. 8.4 показано соотношение между суммарной влажностью семян с различным содержанием масла и влажностью их гидрофильной части. Для семян зерновых культур, содержащих очень мало масла (около 2%), эти величины практически совпадают. Для масличных семян влажность гидрофильной части значительно выше суммарной влажности.

Химический состав гидрофильной части семян разных культур различен, поэтому их влагопоглотительная способность не строго одинакова. Однако в целом общая для всех культур обратная зависимость между содержанием масла в семенах и равновесной влажностью сохраняется.

Величина равновесной влажности семян зависит от размеров семян. Равновесная влажность у мелких семян меньше, чем у крупных, вследствие как относительного увеличения поверхности семян, так и различия в химическом составе мелких и крупных семян. На величину равновесной влажности семян кроме структурных особенностей тканей семян и параметров окружающего воздуха оказывает влияние сорбционный гистерезис. В результате гистерезиса кривые увлажнения и высушивания семян не совпадают, поэтому добиться полного выравнивания влажности между семе-

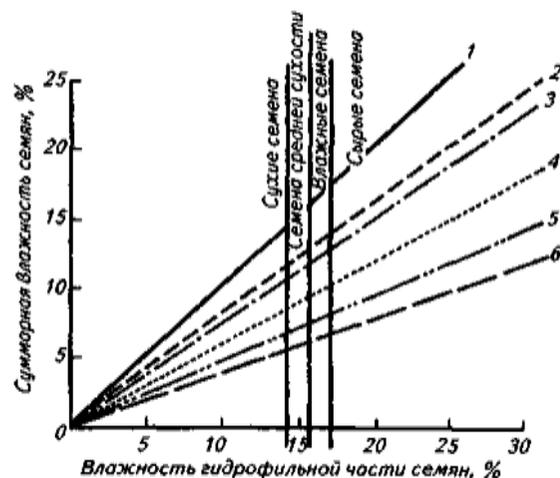


Рис. 8.4. Соотношение между суммарной влажностью семян и их гидрофильной частью (в скобках — масличность, % в пересчете на абсолютно сухое вещество):

1 — пшеница (2,0); 2 — соя (21,1); 3 — хлопчатник (25,3); 4 — подсолнечник (40,9); 5 — клеверина (53,5); 6 — кунжут (62,0)

нами даже в результате длительного хранения в сухом состоянии никогда не удаётся.

При хранении влажность семян достигает величины равновесной влажности, наиболее характерной для данного географического (климатического) района. В слоях семенной массы, соприкасающихся с атмосферным воздухом, влажность семян колеблется в зависимости от относительной влажности и температуры воздуха. Влияние относительной влажности и температуры окружающего воздуха на влажность масличных семян наблюдается при дозревании их в поле, а также при транспортировании и хранении.

При непосредственном контакте с водой семена поглощают огромное ее количество. Так, у семян хлопчатника через 96 ч набухания общее поглощение воды составляет 320%, у подсолнечника через 18...20 ч — 42%. Высокая водопоглощающая способность семян позволяет им при прорастании извлекать воду даже из полусухой почвы.

Кроме воды семена способны в значительном количестве сорбировать диоксид углерода. Интенсивность поглощения CO_2 зависит от влажности семян, температуры и концентрации газа в воздухе. Наиболее интенсивно поглощают CO_2 ткани плодовой оболочки подсолнечника. Ядро также способно поглощать значительное количество CO_2 . Скорость сорбции диоксида углерода плодовой оболочкой в начале опыта в несколько раз больше скорости сорбции ядром. Вследствие этого оболочка очень быстро насыщается CO_2 , а ядро поглощает его длительное время с почти постоянной скоростью.

Возможно, повышенная сорбционная способность ядра является следствием поглощения диоксида углерода растительными маслами, в которых CO_2 растворяется в больших количествах. При повышении температуры и понижении влажности семян сорбция диоксида углерода уменьшается и он легко переходит в окружающую среду. При хранении в тканях семян всегда содержится CO_2 , количество которого определяется условиями окружающей среды.

Для масличных семян, в липидном комплексе которых содержатся ненасыщенные жирные кислоты, особое значение имеет сорбция из окружающей атмосферы кислорода, способного окислять ненасыщенные жирные кислоты по свободнорадикальному механизму.

Присутствие в масле свободных радикалов резко снижает его устойчивость к окислению при хранении.

Состав внутритканевой атмосферы семян может отличаться от состава атмосферного воздуха. Существует динамическое равновесие между поступлением газов из окружающей среды в ткани семян, использованием кислорода на дыхание и выделением в ат-

мосферу газообразных продуктов. От внутритканевого газового режима зависит характер дыхания семян — аэробный или анаэробный.

8.3. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

К ним относятся интенсивность дыхания семенной массы, всхожесть и энергия прорастания семян. Эти свойства определяют состояние семенной массы при хранении и пути ее дальнейшего использования.

В большинстве случаев семенная масса состоит не только из масличных семян определенной культуры (например, подсолнечника, льна, клещевины и т. д.), но и из различных примесей. Условно примеси делят на сорные (семена других культур, минеральный и органический сор и т. п.) и масличные (главным образом поврежденные семена основной масличной культуры).

Кроме того, на семенах и примесях всегда находятся микроорганизмы, а в семенной массе — насекомые-вредители. В целом состояние семян при хранении и их технологические свойства определяются совокупным влиянием компонентов, составляющих семенную массу.

При дыхании в среду, окружающую семена, выделяются вода, диоксид углерода и теплота. Измеряя количество теплоты или CO_2 , можно получить представление об *интенсивности дыхания*, которое всегда сопровождается также убылью сухого вещества семян, величину последнего можно измерить. Если дыхание аэробное, о нем судят по уменьшению содержания кислорода в воздухе, окружающем семена.

Наиболее часто дыхание семян измеряют по количеству газообразных продуктов, которое они поглощают или выделяют. Количество CO_2 , выделяемое единицей массы семян в течение определенного промежутка времени, называется «интенсивностью дыхания семян». Следует отметить, что величины интенсивности дыхания, определяемые по выделению CO_2 , теплоты и по поглощению кислорода, как правило, не совпадают. Несмотря на это, интенсивность дыхания семян, определенная любым из перечисленных методов, позволяет оценить уровень биохимических процессов в семенах и его зависимость от внешних условий.

Интенсивность дыхания сухих семян очень низкая. При повышении влажности семян до критической величины она постепенно увеличивается, а при влажности выше критической резко усиливается (см. рис. 8.2). Скачкообразное возрастание интенсивности дыхания и других биохимических процессов обусловлено появлением свободной воды.

При повышении температуры интенсивность дыхания семян усиливается до тех пор, пока не наступит температурная инактивация дыхательных ферментов. Влияние температуры на интен-

сивность дыхания семян зависит от содержания в них влаги. Интенсивность дыхания влажных семян при повышении температуры резко возрастает, а при достижении критической температуры снижается. Семена средней сухости и сухие активизируются медленнее, но интенсивность дыхания у них начинает снижаться при более высоких температурах, так как низкое содержание воды повышает термостойкость ферментной системы (рис. 8.5).

Если интенсивность дыхания определяют по количеству выделяющегося диоксида углерода, необходимо учитывать, что не весь CO_2 можно отнести за счет дыхания. При изменении температуры может меняться количество газа, удерживаемое в тканях семян, и он может образовываться при небиологическом окислении компонентов семян. Однако эти процессы в большинстве случаев незначительны.

Интенсивность дыхания масличных семян тесно связана с развитием на них микроорганизмов. Роль микроорганизмов в суммарном дыхании семенной массы можно оценить, сравнивая интенсивность дыхания семян при хранении на воздухе и в условиях, исключающих развитие микроорганизмов. Для угнетения микрофлоры семян можно использовать пары пропионовой кислоты и другие вещества с бактерицидными и фунгицидными свойствами.

При содержании в атмосфере, окружающей семена, паров пропионовой кислоты в количестве 0,1 % от массы семян интенсивность дыхания снижается и в дальнейшем сохраняется примерно на одном уровне (рис. 8.6).

При хранении семян в условиях затрудненного газообмена с внешней средой воздух, окружающий семена, обогащается CO_2 и обедняется кислородом. Уже сравнительно невысокие concentra-

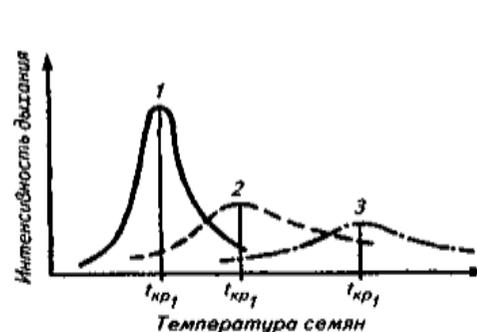


Рис. 8.5. Зависимость интенсивности дыхания семян от температуры:

1 — влажные семена; 2 — семена средней сухости; 3 — сухие семена

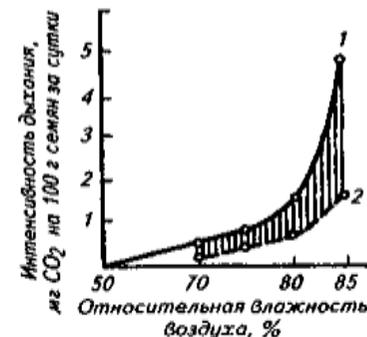


Рис. 8.6. Изменение интенсивности дыхания подсолнечных семян в процессе хранения:

1 — при доступе атмосферного воздуха; 2 — в присутствии пропионовой кислоты (0,1 % к массе семян)

ции CO_2 в трехкомпонентных газовых средах ($\text{O}_2 + \text{N}_2 + \text{CO}_2$) оказывают угнетающее действие на семена, в результате чего уменьшается интенсивность дыхательного газообмена. Снижение интенсивности дыхания происходит даже в условиях, исключающих возможность *кислородного голодания* семян, при содержании CO_2 0,4... 0,8 %. По мере истощения кислорода семена переходят на анаэробный вид дыхания.

При хранении в атмосфере азота у семян наблюдается дыхание, интенсивность которого составляет 3 % от интенсивности дыхания в воздухе.

Снижение интенсивности дыхания семенной массы в регулируемых газовых средах обратно пропорционально содержанию кислорода. Применение газовой среды (98...99 % N_2 и 1...2 % O_2) позволяет хранить семена при минимальной интенсивности дыхания и исключить снижение жизнеспособности хранящихся семян.

В заключение следует подчеркнуть, что интенсивность дыхания семенной массы всегда представляет собой сумму многих составляющих. Дыхание семенной массы можно рассматривать как дыхание собственно семян, микрофлоры семян и сорных примесей, отдельных компонентов сорных примесей и дыхание вредителей семян — насекомых (клещей), а также грызунов и т. п. В свою очередь, например, интенсивность дыхания микрофлоры семян складывается из интенсивности дыхания бактерий, микроскопических грибов и т. п., чья активность зависит от условий хранения (температуры, влажности, аэрации, уровня жизнеспособности семян). Кроме того, интенсивность дыхания самих семян складывается из дыхания их физиологически разнокачественных тканей.

Если принять во внимание разнокачественность семян по уровню обмена веществ, то суммарную интенсивность газообмена семенных масс, поступающих на хранение, надо рассматривать, исходя из числа слагающих компонентов. Долевое участие этих компонентов в общем процессе дыхания, а также их взаимное влияние до настоящего времени исследованы недостаточно.

Глава 9

ПРОМЫШЛЕННОЕ МАСЛИЧНОЕ СЫРЬЕ

В зависимости от использования в народном хозяйстве масличные растения делят на несколько подгрупп. Если растения выращивают главным образом с целью получения из семян жирного масла, а другие продукты, которые получают, являются вторичными и менее ценными по сравнению с маслом, их можно назвать чисто *масличными*. Чисто масличными являются подсолнечник, клещевина, кунжут, сафлор и тунг.

Вторую подгруппу масличных растений составляют *прядыльно-масличные*. Кроме извлечения масла из этих семян получают очень ценное волокно. К прядыльно-масличным относят хлопчатник, лен и коноплю.

До 1860 г. хлопчатник возделывали главным образом для получения волокна, семена же являлись отходом хлопкоочистительных заводов, их не использовали и они загрязняли прилегающие к заводу территории. Хотя хлопковые семена уже более 140 лет используют для получения растительного масла, их масличность остается практически неизменной, так как селекция хлопчатника в основном направлена на повышение качества волокна. Для сравнения укажем, что с помощью селекции масличность подсолнечных семян за последние 50 лет удалось почти удвоить.

Прядыльное и масличное назначения льна являются конкурирующими. Стремление получить максимальный выход технически ценного льняного масла привело в последние годы к значительному увеличению масличности семян.

Третью подгруппу составляют *эфирно-масличные* растения, в семенах которых наряду с жирным содержится эфирное масло. Жирное масло, часто менее ценное, является вторичным продуктом, и его извлекают после получения эфирного. Представителем эфирно-масличных растений, дающих эфирное и жирное масла, является кориандр, после извлечения эфирного масла из его семян получают техническое жирное масло. Само название этого вида масличного сырья (кориандровые отходы) свидетельствует о преимущественном использовании кориандра как эфирно-масличной культуры.

Наконец, можно выделить еще две подгруппы растений, в семенах которых, несмотря на высокое содержание масла, нелипидная часть представляет более высокую ценность. Это, во-первых, растения, богатые легкоусвояемыми пищевыми белками, — *белково-масличные* (соя, арахис); во-вторых, растения, из нелипидной части которых получают пряности, — *пряномасличные* (горчица).

Наряду с семенами масличных растений для извлечения жирных масел все шире используют маслосодержащие части семян немасличных растений — зародыш зерна кукурузы, пшеницы, риса, плодовые косточки и т. п. При переработке овощей, фруктов и других видов растительного сырья семена или другие части, содержащие жирное масло, отделяют и из них получают растительные масла. Хотя объем выработки растительных масел из зародышей зерновых культур и плодовых косточек еще относительно невелик, этим видам масличного сырья в настоящее время уделяют все больше внимания. Это объясняется прежде всего необходимостью расширения сырьевых ресурсов и использования вторичных продуктов производства, а также ценными свойствами их масел, нашедшими применение в различных отраслях промышленности.

9.1. СТАНДАРТЫ НА МАСЛИЧНЫЕ ПЛОДЫ И СЕМЕНА

Качество промышленного растительного масличного сырья — семян и плодов масличных растений — регламентируется системой государственных стандартов. В ней законодательно установлены единые технические требования к масличному сырью, технологии его подготовки к хранению и переработке в растительные масла.

Стандарты на масличные семена включают пять разделов: определение, товарная классификация, технические условия, методы определения качества, хранение и транспортирование. В 1-м разделе сформулировано направление использования семян, во 2-м — приводится товарная классификация, в которую включены типы и подтипы семян и плодов на основе устойчивых ботанических и морфологических признаков, биологических особенностей или района возделывания. В каждом типе семян и плодов указаны нормы примесей семян других типов, как правило, в количестве 5, 10 и 15 %. Если содержание примесей других типов превышает установленную норму, семена или плоды определяют как смесь типов с указанием количества основного и других типов (%). В 3-м разделе приведен перечень требований, предъявляемых к показателям качества семян в количественном выражении.

На основании этих требований определяют группу семян по качеству — влажности, засоренности, степени зараженности вредителями и т. д. В этом же разделе приведено полное описание состава сорной и масличной примесей. В 4-й раздел включены ссылки на стандарты, которыми следует пользоваться для определения показателей качества семян. В 5-м разделе изложены принципы размещения и хранения семян. Семена размещают, транспортируют и хранят в чистых, сухих, без постороннего запаха, не зараженных вредителями транспортных средствах и хранилищах в соответствии с условиями, утвержденными в установленном порядке.

Во всех стандартах на масличные семена установлены нормы по влажности, засоренности, зараженности и свежести (цвет, вкус и запах), а также конкретизированы требования к масличному сырью в зависимости от поставщика и принимающей организации. Так, существенно различаются нормы на *заготавливаемое* масличное сырье, поступающее от сельскохозяйственных предприятий в зернохранилища для хранения до отгрузки на перерабатывающие или другие предприятия или организации, и нормы на сырье, *поставляемое* перерабатывающим заводам. Важнейшими показателями технологического качества семян по ГОСТу являются влажность и засоренность (содержание сорных примесей).

Требования к заготавливаемому масличному сырью предусматривают два уровня качества семян: отвечающие базисным нормам и отвечающие ограничительным нормам. *Базисные нормы* характе-

ризуют уровень качества семян, при котором можно длительно сохранять без дополнительной обработки, а затем перерабатывать и получать продукт стандартного качества. *Ограничительные нормы* характеризуют уровень качества семян, при котором из них в принципе можно получить при технологической переработке доброкачественную продукцию. Устойчивое хранение масличных семян без дополнительной обработки в хранилищах обычного типа возможно при влажности ниже критической величины. Однако в стандартах на масличные семена имеются значительные отклонения от нормы по влажности, обусловленные условиями уборки масличных культур в сельском хозяйстве. Нормы по влажности, определяемые как базисные, для большинства масличных культур составляют 9...14 %, т. е. выше критической. В связи с этим семена с влажностью на уровне базисных норм перед хранением подвергают сушке.

По базисным нормам регламентируется содержание в семенах сорной и масличной примесей. К *сорной примеси* относят минеральную (земля, песок, камешки и т. п.) и органическую (остатки листьев, стеблей, пустые семена, оболочки семян, семена всех дикорастущих и культурных растений, кроме отнесенных по стандартам к масличной примеси, испорченные самосогреванием, сушкой, обуглившиеся, прогнившие, все с явно испорченным ядром).

К *масличной примеси* относят семена данной масличной культуры битые, раздробленные, изъеденные вредителями, щуплые, мелкие, проросшие, с измененным цветом ядра.

Для улучшения качества масличных семян и плодов, получаемых заготовительными организациями от предприятий сельского хозяйства, применяют меры экономического стимулирования. В основу расчетов положены базисные нормы. Так, при отклонении влажности семян и количества сорной примеси от базисных норм увеличивается (или уменьшается) масса принимаемых семян путем пересчета на базисные нормы.

По ограничительным нормам на заготавливаемые масличные семена допускается влажность от 13 до 20 %. Это очень высокая влажность. Поэтому семена необходимо немедленно подсушить или поместить в условия, исключающие возможность самосогревания семенной массы.

Ограничительные нормы по содержанию сорных и масличных примесей для большинства масличных культур одинаковы — 15 % суммарного содержания сорной и масличной примеси (при содержании сорной примеси не более 5 %).

Требования к масличным семенам, поставляемым на перерабатывающие предприятия, более высокие по сравнению с ограничительными, а иногда и базисными нормами. Так, влажность семян подсолнечника, поставляемых на переработку, должна быть 6...8 % (по базисным нормам 7 %). Для большинства культур влаж-

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

ность поступающих на переработку семян должна находиться на уровне базисных норм: для сурепицы и рыжика — 12 %, мака — 11, кунжута — 9 %. Только для семян льна влажность устанавливается по ограничительным нормам и составляет 16 %.

В поступающих на маслодобывающие предприятия масличных семенах должно быть не более 3 % сорных примесей, за исключением клещевины (до 4 %).

Масличные семена, зараженные вредителями хлебных запасов (кроме клеща), запрещено использовать для выработки пищевых продуктов. Зараженность клещом допускается не выше II степени. Не допускается присутствие семян клещевины, а в семенах мака — семян белены свыше 0,1 %.

В семенах рапса, кунжута, сафлора, рыжика, сурепицы, льна масличного и льна-долгунца, а также конопли остаточное количество хлорорганических пестицидов (ДДТ и его метаболитов, сумм изомеров гексахлорана и ГХЦГ) не должно превышать максимально допустимых уровней, утвержденных Минздравом Российской Федерации.

Особые требования предъявляются к масличным семенам, применяемым для получения продуктов детского питания. Так, в семенах подсолнечника остаточное количество пестицидов не должно превышать максимально допустимого уровня, а содержание тяжелых металлов — меди, ртути, свинца, а также афлатоксинов — предельно допустимой концентрации.

9.2. РАСТЕНИЯ СЕМЕЙСТВА АСТРОВЫЕ

В семейство Астровые (Asteraceae) входит несколько видов, способных накапливать жирные масла. Наиболее важное значение среди всех масличных растений в нашей стране имеет подсолнечник ((*Helianthus annuus*)). Другое растение этого семейства — сафлор (*Carthamus tinctorius*) имеет значительно меньшее промышленное значение, хотя в ряде стран его возделывают как масличную культуру достаточно широко.

Подсолнечник и сафлор представляют собой однолетние растения, цветки которых собраны в соцветие типа корзинки. На общем плоском или выпуклом цветоложе плотно сидят отдельные цветки, окруженные по периметру соцветиями общей оберткой из многих листочков. Плод — семянка, не раскрывающаяся при созревании. Характерной особенностью подсолнечника и сафлора является накопление в плодовой оболочке фитомелана, создающего панцирность оболочки. Жирно-кислотный состав масла из этих растений имеет много общего, групповые составы фосфолипидов, стериннов и фенольных веществ (основной компонент — хлорогеновая кислота) также близки.

1. Арутюнян Н. С., Корнева Е. П. Фосфолипиды растительных масел. — М.: Агропромиздат, 1986. — 226 с.

2. Белки семян зерновых и масличных культур /Пер. с англ. Н. А. Емельяновой, А. Г. Тихоновой. — М.: Колос, 1977. — 312 с.

3. Биологический энциклопедический словарь. — М.: Советская энциклопедия, 1986. — 831 с.

4. Биохимия растительного сырья /В. Г. Щербаков, В. Г. Лобанов, Т. Н. Прудникова и др.; Под ред. В. Г. Щербакова. — М.: Колос, 1999. — 376 с.

5. Ботанико-фармакогнозический словарь /К. Ф. Блинова, Н. А. Борисова, Г. Б. Гортинский и др.; Под ред. К. Ф. Блиновой и Г. И. Яковлева. — М.: Высшая школа, 1990. — 272 с.

6. Бохински Р. Современные воззрения в биохимии /Пер. с англ. Е. Ю. Крынецкого, Н. Ф. Крынецкой. — М.: Мир, 1987. — 544 с.

7. Брокерхоф Х., Дженсен Р. Г. Липолитические ферменты /Пер. с англ. Т. П. Левчук, Э. А. Малаховой. Э. А. Толосы. — М.: Мир, 1978. — 396 с.

8. Гудвин Т., Мерсер Э. Введение в биохимию растений /Пер. с англ. А. О. Ганаго, Р. А. Звягильской, Ж. В. Успенской и др. — М.: Мир, 1986. — Т. 1. — 393 с.; Т. 2. — 312 с.

9. Жизнеспособность семян /Пер. с англ. Н. А. Емельяновой. — М.: Колос, 1978. — 415 с.

10. Ленинджер А. Основы биохимии /Пер. с англ. В. В. Борисова, М. Д. Гроздовой, С. Н. Преображенского. — М.: Мир, 1985. — Т. 1. — 367 с.; Т. 2. — 368 с.; Т. 3. — 320 с.

11. Лобанов В. Г., Шаizzo А. Ю., Щербаков В. Г. Теоретические основы хранения и переработки семян подсолнечника. — М.: Колос, 2002. — 592 с.

12. Молекулярная биология клетки /Б. Албертс, Д. Брей, Дж. Льюс и др. /Пер. с англ. В. П. Коржа, Н. В. Сонниной, Н. М. Руткевич и др. — М.: Мир, 1994. — Т. 3. — 504 с.

13. Нэш М. Дж. Консервирование и хранение сельскохозяйственных продуктов /Пер. с англ. Н. А. Габеловой, Н. В. Гаделия. — М.: Колос, 1981. — 311 с.

14. Овчаров К. Е. Физиология формирования и прорастания семян. — М.: Колос, 1976. — 256 с.

15. Полевой В. В., Саламатова Т. С. Физиология роста и развития растений. — Ленинград: Изд-во ЛУ, 1991. — 240 с.

16. Растительный белок /Пер. с франц. В. Г. Долгополова. — М.: Агропромиздат, 1991. — 684 с.

17. Рейн П., Эверт Р., Айххорн С. Современная ботаника /Пер. с англ. В. Н. Гладковой, М. Ф. Даниловой, Ч. М. Кислюк и др. — М.: Мир, 1990. — Т. 1. — 348 с., Т. 2. — 344 с.

18. Тютюнников Б. Н. Химия жиров. — 2-е изд., перераб. — М.: Пищевая промышленность, 1971. — 448 с.

19. Физиология и биохимия покоя и прорастания семян /Пер. с англ. Н. А. Аскоческой, Н. А. Гумилевской, Е. П. Заверткиной, Э. Е. Хавкина. — М.: Колос, 1982. — 495 с.

20. Щербаков В. Г. Химия и биохимия переработки масличных семян. — М.: Пищевая промышленность, 1977. — 180 с.

21. Щербаков В. Г., Иваницкий С. Б. Производство белковых продуктов из масличных семян. — М.: Агропромиздат, 1987. — 152 с.

9.4. ЛЕН

Лен культурный (*Linum usitatissimum*) принадлежит к семейству Льновые и представляет собой однолетнее растение. Соцветие льна — кисть, плод — шаровидная десятигнездная коробочка. У культурного льна коробочка при созревании не раскрывается, у диких форм растрескивается. В гнезде коробочки содержится от одного до десяти семян яйцевидной формы, плоских, с гладкой, блестящей семенной оболочкой (рис. 9.5).

Лен относится к числу древнейших растений, культивируемых человеком. На Русской равнине посевы льна существовали еще в VI в. до н. э. В эпоху неолита применение льна было весьма многосторонним. Волокно стеблей льна использовали для изготовления ниток, веревок, рыболовных сетей, из семян льна выпекали хлеб. Славянские племена, населявшие территорию России, также с древнейших времен возделывали лен. В летописях XI в. упоминается о выращивании льна на масло и волокно. К концу XVII в. главными районами льноводства были Псковская и Суздальская земли. Особенно большое внимание льну уделял Петр I. В 1711 г. он приказал во всех губерниях развивать льняные промыслы. В целях развития маслобойного производства был издан указ, чтобы «семена льняного к морским пристаням для продажи отнюдь не возили, а чтобы привозили масло».

Однако освоить переработку большого количества льняных семян маслобойная промышленность России в то время не могла, и



Рис. 9.5. Лен (*Linum usitatissimum*):

a — поперечный разрез плода-коробочки 1 — семяножка, 2 — плодовая оболочка, 3 — перегородка, *b* — продольный разрез семени 1 — семенная оболочка, 2 — семядоли, 3 — эндосперм, 4 — корешок, *в* — соцветие льна и плоды-коробочки, *г* — внешний вид семян

посевы льна стали резко сокращать. В дальнейшем этот указ был отменен. Лен стали вновь выращивать, продвигаясь на юг Украины и в Ставрополье.

В странах Европы лен в основном возделывают на волокно. Получаемые при этом семена являются вторичным продуктом, из них получают масло.

В стеблях льна до 20 % волокна, которое крепче хлопкового вдвое и шерстяного втрое. Из льняного волокна получают прочные и тонкие ткани.

Из масла льна изготавливают одну из лучших быстросохнувших олиф и жидкие сиккативы, способствующие более быстрому высыханию масел. Способность льняного масла к высыханию обусловлена высоким содержанием линоленовой кислоты в составе триацилглицеролов. Из льняного масла получают также масляные лаки, линолеум. Шрот из семян льна — высококонцентрированный белковый корм для скота.

Из 100 видов льна, распространенных в умеренных и субтропических областях, культурной формой является только лен посевной. Культурный лен подразделяют на три типа, характеризующиеся различными морфологическими особенностями и направлением использования.

Продолжение

Показатели	Базисные нормы	Ограничительные нормы
Содержание примесей, %: сорной масличной	3,0 6,0	15,0*
Зараженность вредителями хлебных запасов	Не допускается	Допускается зараженность клещом
Содержание семян клещевины	То же	Не допускается

* В том числе сорной примеси не более 5,0 %.

Различают четыре состояния семян масличного льна по влажности: сухие (до 8 % включительно), средней сухости (от 8 до 10 % включительно), влажные (от 10 до 13 % включительно) и сырые семена (свыше 13 %).

В зависимости от чистоты семена масличного льна подразделяют на чистые (содержание сорной примеси до 2 % и масличной до 3 % включительно), средней чистоты (содержание сорной примеси от 2 до 4 % и масличной от 3 до 5 % включительно), сорные (содержание сорной примеси более 4 % и масличной более 5 %).

Цвет льняных семян должен быть свойственным цвету нормального семени. У льняных семян не должно быть посторонних запахов.

Семена льна-долгунца, предназначенные для промышленной переработки, в соответствии с ГОСТ 11549—76 должны иметь влажность не более 16 % и чистоту не менее 90 % (по базисным нормам чистота 100 %, влажность 13 %).

Химический состав масла льна сильно изменяется в зависимости от района и условий возделывания, причем географические факторы оказывают значительно большее влияние на состав масла, чем сортовые особенности. В семенах масличного льна большинства сортов содержание липидов в среднем составляет 43 %, различие между районированными сортами по среднему содержанию липидов сравнительно небольшое (2...3 %). Колебание масличности в пределах одного сорта может достигать 4...5 %. Новые сорта масличного льна — Циан, Кустанайский, Рекорд, Миф, Старт — превосходят прежние по сбору масла с 1 га посева и урожайности семян.

Содержание жирных кислот в триацилглицеролах значительно зависит от сорта (табл. 9.20).

К масличным формам принадлежит лен масличный, или лен-кудряш, к прядильным — лен-долгунец. Широко представлены также промежуточные виды — межеумки.

Вегетационный период льна-кудряша до 120 дней, льна-долгунца — 60—90 дней.

В семенах льна всех типов содержится значительное количество масла (наибольшее — в семенах льна масличного, наименьшее — льна-долгунца).

Селекция масличных сортов льна ведется на максимальное ветвление, в результате растения получают низкорослыми. Современные сорта масличного льна — относительно низкорослые растения с большим количеством цветков. Стебель у этих растений ветвится почти от основания.

Основные направления селекции — повышение урожайности и масличности семян, жирно-кислотного состава масла, сокращение продолжительности вегетационного периода, повышение устойчивости к болезням.

Лен масличный дает большой урожай семян, но малоприспособлен для получения волокна. Семена льна крупные, масса 1000 шт. составляет от 3,9 до 15,3 г.

Лен-долгунец — высокорослое растение со стеблем, ветвящимся только на верхушке, несущей цветки. Волокно льна-долгунца длинное, крепкое. Масса 1000 семян от 3,6 до 5,2 г.

Селекция льна-долгунца ориентирована на получение высококачественного волокна. Поэтому уборка льна-долгунца производится на стадии ранней и средней спелости семян.

При возделывании льна-долгунца применяют пестициды, удобрения и протравители семян, допускаемые только при возделывании непищевых растений.

В связи с этим получают семена, не отвечающие требованиям безопасности, масло, полученное из таких семян, следует подвергать рафинации по полной схеме, включая адсорбционную очистку.

Лен-межеумок образует от 1 до 3 стеблей высотой 50—80 см, треть этой длины составляет соцветие. Лен-межеумок выращивается в Центральной и Черноземной зонах России.

Льняные семена как промышленное сырье в зависимости от качества подразделяются на две группы — отвечающие базисным нормам и ограничительным нормам (табл. 9.19).

9.19. Два уровня качества заготавливаемых семян льна (по ГОСТ 10582—76)

Показатели	Базисные нормы	Ограничительные нормы
Влажность, %: для Узбекистана и Таджикистана	11,0	16,0
для остальных районов	13,0	

9.20. Жирно-кислотный состав триацилглицеролов масла льна различных сортов, % от суммы

Жирная кислота	Воронежский 1308	Донской 95	Успех	Авангард	Сибиряк
C _{16:0}	8,62	5,12	4,59	4,30	5,80
C _{18:0}	6,39	4,38	4,52	4,25	2,70
C _{18:1}	26,00	28,43	25,31	21,75	21,40
C _{18:2}	16,69	20,70	14,46	12,20	17,40
C _{18:3}	42,00	41,37	51,13	57,50	52,80

Селекция масличного льна на повышение масличности семян привела к значительному увеличению в льняном масле содержания более ценной кислоты — линоленовой — при одновременном снижении содержания линолевой и олеиновой кислот. Существует прямая связь между масличностью семян льна и содержанием в триацилглицеролах линоленовой кислоты (C_{18:3}). С повышением масличности семян увеличивается содержание наиболее ненасыщенной кислоты.

По жирно-кислотному составу триацилглицеролов различают два типа льняного масла: с высоким содержанием линоленовой кислоты C_{18:3} — в среднем 52—54 % от суммы, и с низким ее содержанием — до 2 % от суммы (табл. 9.21).

9.21. Жирно-кислотный состав триацилглицеролов высоко- и низколиноленового масла, % от суммы

Жирная кислота	Высоколиноленовое масло	Низколиноленовое масло
C _{16:0}	5,7—7	6
C _{18:0}	3—4	4
C _{18:1}	20—20,3	16
C _{18:2}	17—17,3	72
C _{18:3}	52—54	3
C _{20:0}	0—0,1	0—0,1

Выращивание льна в различных географических районах показывает, что накопление ненасыщенных кислот в масле усиливается при пониженной температуре в период созревания и при повышенной обеспеченности растений водой. По этой причине в северных областях России содержание жирных кислот C_{18:3} и C_{18:2} в масле всегда выше, чем в южных и юго-западных районах.

Районированные сорта льна масличного селекции ВНИИМК имеют укороченный вегетационный период — 78...85 дней, высокую масличность семян — 49...50 % и высокую урожайность. Сорта ВНИИМК 620, ВНИИМК 622, Циан, Успех рекомендованы для возделывания на Северном Кавказе, в Западной и Восточной Сибири.

В зависимости от условий созревания льна в масле изменяется содержание неомыляемых липидов, в том числе токоферолов, сте-

ролов и каротиноидов. На ранних стадиях созревания в состав пигментов масла входит хлорофилл, количество которого к моменту уборки уменьшается. Между содержанием хлорофилла и масла в семенах обнаружена обратная зависимость. С завершением семенами послеуборочного дозревания хлорофилл почти полностью исчезает.

Состав стеролов и токоферолов семян льна приведен ниже.

Состав стеролов, % от суммы:	
брасикастерол	0,1—0,9
кампестерол	25—31
стигмастерол	6—9
α-ситостерол	45—53
Δ5-авенастерол	8—12
Δ7-стигмастерол	0—3
Δ7-авенастерол	0—0,6
Всего стеролов, мг/кг	2330
Состав токоферолов, мг/кг:	
α-токоферол	5—10
γ-токоферол	430—575
δ-токоферол	4—8
Всего токоферолов, мг/кг	440—588

Размеры полностью созревших семян варьируют в больших пределах в зависимости от разновидности и происхождения льна. В среднем они следующие (мм): длина 3,7...3,75; ширина 1,8...3,2; толщина 0,9...1,55. Цвет семенной оболочки беловато-желтый, коричневый, оливковый или зеленый. Поверхность здорового семени блестящая, гладкая, но при неблагоприятных условиях хранения она становится тусклой. При набухании семени оболочка ослизняется вследствие набухания гидрофильных углеводов, находящихся в поверхностном слое.

Льняные семена перерабатывают на маслозаводах без отделения семенной оболочки, которая прочно срастается с эндоспермом семян. В лабораторных условиях можно отделить семядоли и зародыш от семенной оболочки.

Химический состав семян льна приведен в табл. 9.22.

9.22. Химический состав семян льна, % в пересчете на сухое вещество

Часть зерна	Содержание						Содержание отдельных компонентов в семени, %
	липидов	протеина (N × 6,25)	целлюлозы	зола	углеводов (кроме целлюлозы)	воды	
Ядро	59,15	19,10	1,29	4,36	16,10	4,18	69,07
Эндосперм	40,36	32,20	5,26	2,56	19,63	5,29	13,92
Собственно семенная оболочка	8,19	1,18	17,93	3,29	62,41	11,36	17,01
Семя в целом	48,40	21,42	4,47	4,06	21,65	4,32	100

Основной маслосодержащей тканью семян является ядро. Содержание липидов в семенной оболочке относительно невелико. Липиды оболочки значительно отличаются по составу от липидов ядра и эндосперма. Подобное различие в составе липидов свойственно покровным тканям семян всех растений, оно обусловлено разницей в физиологических функциях этих тканей.

Максимальное количество целлюлозы сосредоточено в оболочке семян, однако по сравнению с оболочками семян других масличных растений в оболочке льна целлюлозы немного. Зато много других углеводов, в первую очередь слизи (2...7 % от массы абсолютно сухих семян).

Слизи представляют собой легко диспергирующиеся в воде углеводы, состоящие преимущественно из нередуцирующих сахаров и альдобиноновой кислоты, нерастворимой в спирте. Если семена льна намочить в воде, а экстракт затем обработать большим количеством этанола, то можно выделить слизи в виде белой волокнистой массы, которая при полном высыхании становится очень хрупкой. Вместе со слизями из семян частично экстрагируются также белки. Присутствие слизи, покрывающих внешнюю поверхность семян, является специфической особенностью семян льна, позволяющей семенам легче закрепляться на почве при прорастании. Из других углеводов в семенах льна содержатся моно- и дисахара и гемицеллюлозы. В зрелых семенах редуцирующие сахара и крахмал отсутствуют.

Аминокислотный состав льняных семян (% в пересчете на сухое обезжиренное вещество):

Аргинин	2,1...2,8	Фенилаланин	1,7...1,9
Гистидин	0,5...0,6	Треонин	1,0...1,7
Изолейцин	1,1...1,4	Триптофан	0,5...1,0
Лейцин	1,8...2,5	Тирозин	1,7
Лизин	0,8...1,1	Валин	1,7...1,9
Метионин	0,3...1,1		

В незрелых семенах в значительных количествах содержится гликозид линамарин. Содержание линамарина в семенах льна меняется в зависимости от сорта растения, степени спелости семян и их масляности, уменьшаясь по мере созревания семян. В то же время в семенах льна-долгунца, убираемых до достижения полной спелости, меньше масла и больше линамарина. Содержание линамарина в шротах 100...300 мг/кг.

При технологической переработке семян перед обезжириванием их увлажняют и нагревают до 60—70 °С в течение 20—30 мин. В этих условиях на начальной стадии нагревания влажных семян происходит ферментативный гидролиз линамарина с высвобождением синильной кислоты, переходящей в льняной жмых или шрот. Последующая влаготепловая обработка ведет к отгонке синильной кислоты с водяным паром.

Семена льна содержат (мг/кг): кальций — 8,6, фосфор — 19,9, тиамин — 8,8, рибофлавин — 0,004, ниацин — 0,101 пантотеновую кислоту — 0,031 и холин — 4,9. В льняном масле содержится в среднем (%): фосфолипидов — 0,8...0,9, неомыляемых липидов — 0,5...1,1, в том числе каротиноидов 0,27...0,36 мг на 100 г масла.

Плотность льняного масла при 15 °С 934...935 кг/м³, коэффициент преломления при 15 °С — 1,4858...1,4872, кинематическая вязкость при 20 °С — 15,5 · 10⁻⁶ м²/с.

9.6. РАСТЕНИЯ СЕМЕЙСТВА КАПУСТНЫЕ

Семейство Капустные (Brassicaceae) включает несколько видов растений, способных накапливать жирные масла. Представители масличных растений семейства Капустные включают три рода — Brassica (капуста), Sinapis (горчица) и Camelina (рыжик).

243

Род *Brassica* (капуста) включает три вида: *B. juncea* — сарептская горчица, *B. campestris* — сурепица и *B. napus* — рапс. Каждый из видов подразделяется на озимый и яровой. Для ярового рапса применяется специальное название — кольза.

Род *Sinapis* (горчица) включает два вида: *S. alba* — белая горчица и *S. nigra* — черная горчица.

Род *Camelina* (рыжик) включает два вида: *C. sativa* — рыжик посевной и *C. mediterranea* — рыжик средиземноморский (рис. 9.7).

Среди других растений семейства Капустные, которые пока не получили промышленного применения, но содержат в семенах большое количество жирного масла, можно назвать еще одно, недавно бывшее дикорастущим — крамбе. Известно очень много его разновидностей.

Принадлежность всех этих растений к одному ботаническому семейству определяет общность ботанических особенностей и химического состава.

Цветки растений собраны в соцветие-кисть, плод — многосемянный длинный или короткий стручок. Характерное отличие семейства Капустные — содержание в семенах тиогликозидов или гликозинолатов, расщепляющихся под действием гидролитических ферментов с выделением летучих аллиловых горчичных эфирных масел.

Эфирные горчичные масла содержатся в семенах практически всех растений семейства Капустные, но для промышленного получения горчичного порошка и изготовления горчичников приме-

няют только семена горчицы, у которых содержание эфирного масла достаточно велико.

Для жирно-кислотного состава триацилглицеролов масличных растений семейства Капустные характерно содержание *эруковой кислоты* ($C_{22:1}$), которая до последнего времени была специфическим признаком всего ботанического семейства. Несмотря на традиционное использование многими народами мира в питании масел, получаемых из горчицы, рапса, сурепицы и рыжика, содержащаяся в них эруковая кислота губительно влияет на здоровье человека и приводит к патологическим изменениям в организме.

Масло, содержащее много эруковой кислоты, вызывает некротические изменения в миокарде, снижение активности обмена веществ, ожирение и цирроз печени. При понижении содержания в составе триацилглицеролов эруковой кислоты эти изменения проявляются в значительно меньшей степени, поэтому содержание эруковой кислоты в пищевых маслах не должно превышать 5 % от общей суммы жирных кислот. В настоящее время селекционерами созданы низкоэруковые сорта рапса, горчицы, сурепицы, в которых эруковая кислота содержится в следовых количествах.

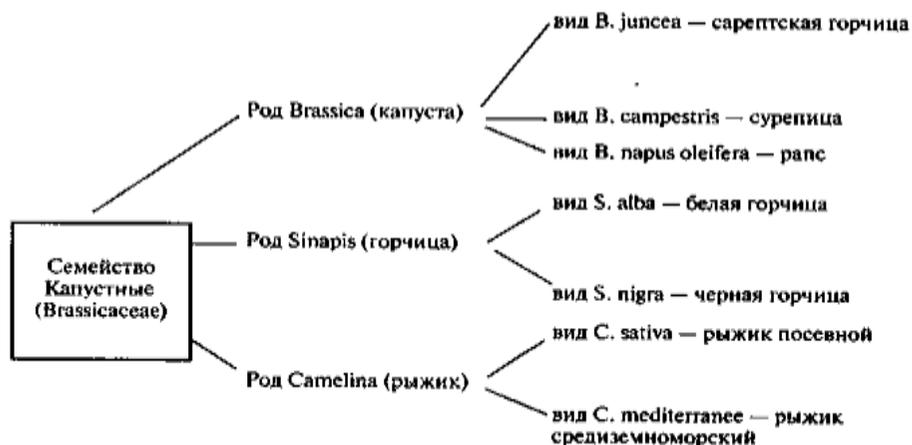


Рис. 9.7. Классификация семейства Капустные (Brassicaceae)

9.6.2. РАПС

Рапс (*Brassica napus* var. *oleifera*) был известен народам Индии и других стран Азии за 4 тыс. лет до н. э. В Средиземноморье рапс был введен в культуру в начале XVI в. Дата появления рапса в России не установлена, хотя известно, что в 1830 г. впервые наша страна начала экспортировать семена рапса. Наибольшее распространение рапс получил в европейской части России. В настоящее время много рапса возделывают в Северной и Центральной Европе и в Канаде, где он является основной масличной культурой.

Семена рапса (рис. 9.9) как промышленное сырье делят на два типа: семена *озимого* и *ярового рапса*; ко 2-му типу относится *кольза* — разновидность ярового рапса (табл. 9.30).

Заготовленные семена рапса различают по качеству (табл. 9.31).

Присутствие семян клещевины в семенах рапса недопустимо. По влажности семена рапса подразделяют: на сухие (до 8 % включительно), средней сухости (от 8 до 10 % включительно), влажные (от 10 до 12 % включительно), сырые (свыше 12 %).

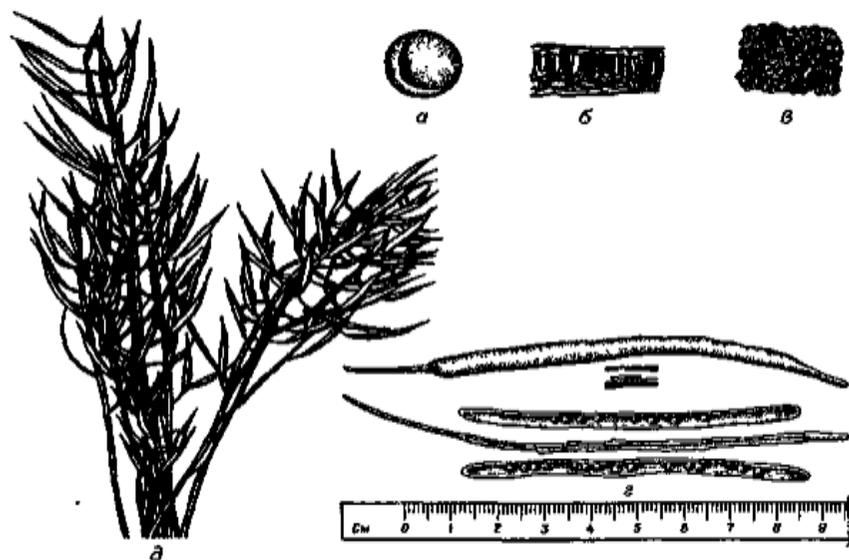


Рис. 9.9. Рапс (*Brassica napus*):

a — семя; б — поперечный разрез семени; в — продольный разрез семени; г — плоды и семена; д — соцветие

Физико-механические характеристики семян озимого рапса представлены в табл. 9.33.

9.33. Физико-механические свойства семян рапса

Влажность, %	Масса 1000 шт., г	Относительная плотность	Эквивалентный диаметр семян, мм
13	5,41	1,110	2,10
17	5,48	1,103	2,12
21	5,56	1,094	2,13
25	5,63	1,090	2,14

В состав семян рапса безруковых сортов входят (% в пересчете на сухое вещество): липиды — 42,3...44,8; белок (N × 6,25) — 23,2...24,9; целлюлоза — 8,8...9,3; зола — 3,7...5,3; тиогликозиды — 2,2...3,6.

В белковый комплекс безруковых сортов рапса входят (%): альбумины — 48,32...61,62; глобулины — 23,04...30,04; глютелины — 10,03...16,17; нерастворимые белки — 18,31...43,22. Молекулярная масса альбуминов 13,3 кДа; глобулинов — 145 кДа.

Если содержание гликозинолатов в рапсовом шроте не более 1 %, то его можно добавлять в комбикорма для птиц и свиней. Если содержание гликозинолатов в шроте выше 1 %, то его можно использовать только в составе комбикормов для жвачных животных. Присутствие гликозинолатов в рационе жвачных животных и птиц вызывает кровоизлияния в печени, угнетение роста животных, у птиц повышается смертность, куриные яйца приобретают коричневую окраску.

Для улучшения рапсового шрота используют несколько методов — термический, биохимический и микробиологический. Термический метод основан на термической активации фермента мурозиназы, биохимический — на экстракции горячей водой продуктов гидролиза тиогликозидов, микробиологический — на обезвреживании микроорганизмами.

Эти методы не получили широкого распространения из-за высокой стоимости и потерь масла и белка. Наиболее дешевым и эффективным способом улучшения шрота является создание и выращивание сортов рапса с пониженным содержанием гликозинолатов — не более 1 % массы сухого обезжиренного вещества.

Плотность рапсового масла при 15 °C — 911...918 кг/м³; показатель преломления при 20 °C — 1,472...1,476; температура застывания — 0...-10 °C; содержание неомыляемых липидов — 0,6...1,0 %.



9.30. Характеристика семян рапса (по ГОСТ 10583—76)

Показатели	Озимый	Яровой
Размер семян	В большинстве крупные, диаметром 2,5...2,75 мм	Средние и мелкие, диаметром 1,2...2,0 мм
Форма	Округлая	Неправильная шаровидная, иногда сжатая с боков, реже округлая
Цвет оболочек	Матовый темно-бурый; у незрелых семян темно-красный	Матовый черный с серым налетом или темно-коричневый; у незрелых семян красноватый
Поверхность оболочек: видимая невооруженным глазом при увеличении в 20...40 раз	Гладкая	Гладкая
	Точечно-ямочная	Точечно-ямочная
Вкус	Травянистый	Травянистый

9.31. Два уровня качества заготавливаемых семян рапса (по ГОСТ 10583—76)

Показатели	Базисные нормы	Ограничительные нормы
Влажность, %	12,0	15,0
Содержание примесей, %:		
сорной	2,0	15,0*
масличной	6,0	
Зараженность вредителями хлебных запасов	Не допускается	Допускается зараженность клещом

* В том числе сорной примеси не более 5 %.

По содержанию примесей семена рапса различают: чистые (сорной примеси до 1, масличной до 3 % включительно), средней чистоты (сорной от 1 до 3, масличной от 3 до 5 % включительно), сорные (сорной примеси выше 3, масличной свыше 5 %).

Зрелые семена рапса имеют серовато-черную, незрелые — красновато-коричневую окраску.

В Канаде, Франции и ряде других стран успешно проведена селекция, в результате которой получен рапс с пониженным содержанием эруковой кислоты в триацилглицеролах и гликозинолатов (тиогликозидов) при одновременном увеличении масличности семян и урожайности. Безэруковый низкогликозинолатный рапс так сильно отличается от исходных сортов, что можно говорить о создании нового вида рапса. В современных безэруковых сортах рапса селекции ВНИИМК (г. Краснодар): Галант, Радикал, Шпат, Ярвелон; сорте Липецкий селекции ВНИПТИ (г. Липецк); сорте Луговской селекции ВИК (Московская область), сорте Дубравинский селекции Ужурской ГССКК (Красноярский край), а также в сортах зарубежной селекции: Канола, Глобал, Ханна и др., содер-

жание эруковой ($C_{22:1}$) и эконоеновой ($C_{20:1}$) жирных кислот меньше 5 %, во многих сортах присутствуют только их следы; содержание гликозинолатов в них снижено до 1,4...1,6 % при урожайности 3,0...3,3 т/га. Изменилось в масле рапса и содержание других жирных кислот (табл. 9.32).

Низколиноленовым сортом рапса является сорт Кубанский с содержанием линоленовой кислоты ($C_{18:3}$) менее 4 %, а также канадский сорт Apollo.

9.2. Жирно-кислотный состав триацилглицеролов семян рапса, % от суммы жирных кислот

Сорт рапса Канола	$C_{16:0}$	$C_{18:0}$	$C_{18:1}$	$C_{18:2}$	$C_{18:3}$	$C_{20:1}$	$C_{22:1}$
Низкоэруковый	3,3—6,0	1,1—2,5	52—67	16—25	6—14	0,1—3,4	0—4,7
Низколиноленовый	4,0—5,0	1,0—2,0	59—66	24—29	2—3	0,1—1,2	0—0,05

Состав стеролов и токоферолов семян рапса приведен ниже.

Состав стеролов, % от суммы:		Состав токоферолов, мг/кг:	
брасикастерол	12—13	α -токоферол	116
кампестерол	30—33	β -токоферол	34
стигмастерол	0,4—0,6	γ -токоферол	737
β -ситостерол	49—55	δ -токоферол	275
$\Delta 5$ -авенастерол	1—2	Всего токоферолов, мг/кг	1165
Всего стеролов, мг/кг	881		

Состав рапсового масла (%): нейтральные липиды — 92,9; фосфатидилхолины — 0,8; фосфатидилэтаноламины — 0,6; моногалактозилдиацилглицеролы — 0,7; дигалактозилдиацилглицеролы — 1,3. Среди фосфолипидов рапса много негидратируемых форм.

Масло безэрукового рапса по жирно-кислотному составу близко к оливковому. Жмыхи рапса низкогликозинолатных сортов богаты белками, их можно без дополнительной обработки использовать в производстве комбикормов. Это позволит не только широко использовать рапсовое масло как полноценное пищевое, но и заменить в производстве комбикормов соевые шроты рапсовыми.

Заготавливаемые и поставляемые семена рапса подразделяют на два класса в зависимости от массовой доли в семенах эруковой кислоты и количества тиогликозидов (гликозинолатов):

I класс (для пищевых целей)	Эруковой кислоты не более 5,0 %; тиогликозидов не более 3,0 %
II класс (для технических целей)	Не нормируется