

ДИНАМИКА НАКОПЛЕНИЯ МАСЛА И ЖИРНЫХ КИСЛОТ В СЕМЕНАХ КРЕСТОЦВЕТНЫХ КУЛЬТУР

Т.Я. Прахова, доктор сельскохозяйственных наук

Федеральный научный центр лубяных культур,
442731, Лунино, Пензенская область, ул. Мичурина, 16
E-mail: prakhova.tanya@yandex.ru

Изучали динамику накопления масла и жирных кислот в семенах масличных крестоцветных культур применительно к условиям Среднего Поволжья. Объектом исследований служили рыжик яровой сорта Юбилар и горчица белая сорта Люция. Образцы для анализа отбирали каждые 10 дней, начиная с момента образования семян. Показано, что на начальных стадиях образования семян у этих культур содержание жира практически одинаковое и составляет 3,2-3,8%. Затем интенсивность процесса накопления масла у них изменялась и содержание жира в семенах увеличивалось в 2-3 раза. Максимальное содержание масла (27,2 и 39,8%) у горчицы белой и рыжика ярового отмечено при достижении семенами полной зрелости. По мере созревания семян усиливался синтез линолевой и линоленовой кислот, содержание которых снижалось соответственно на 29,1 и 17,2%. Содержание в масле олеиновой кислоты также уменьшалось: на 9,0% у рыжика ярового и всего на 4,6% у горчицы белой. Содержание эруковой кислоты повышалось независимо от культуры.

DYNAMICS OF ACCUMULATION OF OIL AND FATTY ACIDS IN THE SEEDS CROPS OF BRASSICACEAE

Prakhova T.Ya.

Federal Research Center for Bast Fiber Crops,
442731, Lunino, Penztskaya oblast, ul. Michurina, 16
E-mail: prakhova.tanya@yandex.ru

The aim of the research is to study the dynamics of the accumulation of oil and fatty acids in seeds the oil of Brassicaceae crops in relation to the conditions of the Middle Volga region. The object of research was the Camelina sativa variety Yubilyar and the Sinapis alba variety Lyutsiya. Samples for analysis were taken every 10 days, starting from the moment of seed formation. In the initial stages of seed formation in Camelina and Sinapis alba, the fat content is almost the same and varies from 3.2 to 3.8%. Then the intensity of the oil-accumulating process in crops of cabbage changes and the fat content the seeds increases by 2-3 times. The maximum oil content (27.2 and 39.8%) in of Sinapis alba and of Camelina sativa is noted when the seeds reach full maturity. As the seeds mature, the synthesis of linoleic and linolenic acids increases, their content decreases by 29.1 and 17.2%. The content of oleic acid in oil is also reduced by 9.0% in camelina and only 4.6% in mustard. The content of erucic acid increases, regardless of culture.

Ключевые слова: рыжик посевной, горчица белая, динамика маслонакопления, масличность, жирные кислоты

Key words: Camelina sativa, Sinapis alba, oil accumulation dynamics, oil content, fatty acids

У масличных растений к одним из важнейших запасных веществ относятся триацилглицерины, которые представляют собой основу практически всех растительных масел [1]. Растительные масла служат не только важнейшим пищевым и кормовым продуктом, но и сырьем для получения, например, олиф, смазочных материалов и биотоплива [2-4].

Известно, что у масличных растений масла образуются и запасаются, как правило, исключительно в семенах. При этом от других запасных веществ жиры отличаются тем, что в ходе созревания семян их количество и качественный состав подвергается значительным изменениям [5]. На продолжительность и интенсивность образования, а также на количество накопленного масла влияют сортовые и видовые особенности культуры, а также комплекс внешних факторов [6, 7]. Общая направленность процесса образования жира заключается в последовательном интенсивном увеличении его количества в формирующихся семенах с момента завязывания семян до их созревания.

В основном процесс образования масла в семенах масличных растений происходит с первых дней формирования семян. Однако у многих масличных культур (подсолнечника, льна, рапса и других) развивающиеся семена в течение первых 10-15 дней потребляют поступающие в них растворимые углеводы (простые сахара)

на построение клеток и оболочек. Лишь спустя примерно 2 недели после цветения в них появляется жир, начинается процесс образования и отложения масла [6, 8]. Усиливает этот процесс нормальное увлажнение почвы в период вегетации, особенно от цветения до созревания семян, а также высокие среднесуточные температуры [5, 9]. Образование и накопление масла у большинства масличных растений ученые активно изучают уже в течение ряда десятилетий, и накоплено достаточно данных, чтобы в общих чертах представить динамику этих процессов по мере созревания семян [1, 8, 10, 11].

Целью нашей работы было изучение продолжительности и характера протекания образования масла и накопления жирных кислот в семенах масличных капустных культур применительно к условиям Среднего Поволжья.

Методика. Объектом исследований служили рыжик яровой сорта Юбилар и горчица белая сорта Люция. Образцы для анализа отбирали каждые 10 дней, с момента образования семян. Содержание масла определяли в агрохимической лаборатории института общепринятыми методами [12]. Идентификацию и определение содержания жирных кислот проводили методом газожидкостной хроматографии на хроматографе «Кристалл 5000.1», количественную обработку хроматограмм – по площадям пиков с применением

компьютерной программы «Хроматэк Аналитик 2.5». Количественное содержание ВЖК рассчитывали методом процентной нормализации по площади.

Исследования проводили в течение 2016-2018 гг., которые различались по метеорологическим условиям. Период вегетации 2016 г. протекал в условиях умеренного увлажнения – ГТК составил 1,1 при умеренно высоких среднесуточных температурах 18,7 °С. При этом период цветения – спелости характеризовался как умеренно-засушливый с ГТК 0,8. В 2017 г. условия от конца цветения до созревания семян обеих культур были более засушливыми: ГТК составил 0,7, но в целом вегетационный период яровых масличных культур оказался умеренно влажным с ГТК 0,9 и среднесуточными температурами 17,6 °С. В 2018 г. в целом вегетационный период протекал в острозасушливых условиях с ГТК 0,3-0,4 при достаточно высоких среднесуточных температурах – 18,6-18,9 °С.

Результаты и обсуждение. Общая направленность процесса образования жира заключается в последовательном интенсивном увеличении степени его накопления в формирующихся семенах с момента завязывания до созревания. В семенах обеих культур в период налива этот процесс начинался сразу после оплодотворения и длился до полной спелости семян. В то же время практически на всех стадиях развития семени содержание жира оказалось выше у ярового рыжика, чем у горчицы белой (рис. 1).

На начальных стадиях развития (начало образования семян) у обеих культур содержание жира было практически одинаковое – 3,2-3,8%. В это время процесс накопления жира протекал медленно, поскольку в начальный период созревания в семенах наблюдается высокое содержание полисахаридов, растворимых углеводов и белка. Начиная со второй стадии развития семян отмечается неравномерность течения этого процесса и изменение его скорости, что связано с биологическими особенностями культур и, по-видимому, с реакцией растений на гидротермические условия.

У ярового рыжика наиболее высокая интенсивность накопления жира наступала на 20-е и последующие сутки после окончания цветения. При этом синтез белка уменьшался и усиливалось превращение углеводов в жиры. В момент второй стадии отбора (семена прозрачные водянистые) содержание жира в семенах резко увеличивалось, почти в 3 раза и составляло 8,9 %, что выше содержания масла в семенах горчицы в 2 раза.

Интенсивность накопления масла в семенах ярового рыжика оказалась выше, чем у горчицы белой. Так, на второй стадии развития семян их масличность составила 8,9%, на третьей и четвертой стадии увеличилась в 2,0-2,8 раза – соответственно до 18,6 и 24,6%. В этот период у горчицы белой значение данного показателя повысилось незначительно – на 1,0-4,6%. Начиная с четвертой стадии (семена зеленые и твердые) и до их молочно-восковой спелости содержание жира в семенах рыжика ярового увеличилось лишь на 2,9-7,0 %.

У горчицы белой скорость накопления масла возрастала только на пятой стадии отбора (семена бледно-желтые), то есть почти на 48-50-й день после начала плодобразования. На четвертой стадии развития семян содержание жира составило 8,7%, а на пятой оно увеличилось в 3 раза и достигло 25,9%. При наступлении молочно-восковой спелости накопление масла у культур замедлялось и к моменту полной зрелости семян содержание жира повысилось всего на 1,1% у горчицы и на 5,3% у рыжика.

Максимальное содержание липофильных соединений (27,2 и 39,8%) у обеих культур отмечено при достижении семенами полной зрелости. В этот период накопление масла в семенах в основном стабилизировалось. Следует отметить, что в семенах вначале накапливаются свободные кислоты, затем идет синтез глицерина и жирных кислот. Образование насыщенных и ненасыщенных кислот происходит одновременно в течение всего процесса [4]. При этом на раннем этапе созревания семян любой масличной культуры (семена прозрачные водянистые и зеленые водянистые) масло независимо от видовой принадлежности (рыжик или горчица) имеет высокую концентрацию пальмитиновой, стеариновой, олеиновой и линолевой кислот. К полной спелости семян количество насыщенных кислот снижается в 2-3 раза: содержание олеиновой кислоты – всего в 1-1,3 раза, линолевой – в 2,5-4 раза в зависимости от культуры (табл. 1).

При достижении семенами стадии зеленые твердые происходит перераспределение содержания жирных кислот и образуется эруковая кислота, содержание которой постепенно увеличивается и к фазе восковой спелости достигает максимального значения. Далее, к полной спелости семян содержание эруковой кислоты уменьшается на 0,5% у рыжика ярового и на 1,4% у горчицы белой и составляет соответственно 3,1 и 27,2%.

Такая тенденция отмечена и при накоплении эйкозеновой (гондоиновой) кислоты у рыжика ярового. Начиная со стадии семена зеленые водянистые, где ее значения минимальны (3,5%), концентрация эйкозеновой кислоты постепенно повышалась и достигала максимальных значений в фазе восковой спелости семян (15,2%). При полной спелости семян содержание кислоты снижалось на 0,7%. У горчицы накопление гондоиновой кислоты происходило с первых этапов завязывания семян (семена прозрачные водянистые) и увеличивалось до полной их зрелости на 0,2-11,2%.

Характер изменения содержания полиненасыщенных кислот (С 18:2 и С 18:3) у горчицы белой протекала более интенсивно. Концентрация линолевой и линоленовой кислот достигала максимальных значений в начале образования семян (семена прозрачные водянистые) – соответственно 38,6 и 27,3%. В первые три фазы развития семян (от прозрачных водянистых до зеленых твердых) содержание этих кислот резко снижалось – соответственно на 9,2-18,6 и 5,3-10,2%,



Процесс накопления масла в семенах рыжика ярового и горчицы белой.

Динамика накопления жирных кислот в семенах

Содержание жирной кислоты, %	Состояние семян					
	прозрачные водянистые	зеленые водянистые	зеленые твердые	бледно-желтые	восковая спелость	семена зрелые
Рыжик яровой						
Пальмитиновая	13,4	10,2	9,3	5,4	5,4	5,3
Стеариновая	4,5	2,7	2,4	2,1	2,3	2,3
Олеиновая	22,2	15,4	15,0	14,2	13,8	13,8
Эйкозеновая	-	3,5	9,1	14,3	15,2	14,5
Эруковая	-	-	1,5	3,3	3,5	3,1
Линолевая	39,1	31,8	26,9	18,7	18,6	18,5
Линоленовая	42,9	37,2	32,3	35,5	35,5	36,2
Горчица белая						
Пальмитиновая	7,6	4,6	3,1	2,9	2,6	2,6
Стеариновая	4,4	3,0	1,4	1,3	1,2	1,2
Олеиновая	36,0	35,5	33,9	33,6	31,4	31,4
Эйкозеновая	0,2	4,2	10,0	10,6	10,9	11,2
Эруковая	-	-	23,3	26,1	28,6	27,2
Линолевая	38,6	29,4	10,8	9,9	9,6	9,5
Линоленовая	27,3	17,1	11,8	11,2	10,1	10,1

в дальнейшем незначительно – на 0,1-0,9 и 0,6-1,1%. Тенденция снижения линолевой кислоты отмечена и у рыжика ярового во все фазы развития семян. Однако характер протекания этого процесса был менее интенсивным. Максимальное содержание линолевой кислоты выявлено в первой стадии развития семян – 39,1% и далее снижалось до 18,5%.

У рыжика ярового наибольшее количество линоленовой кислоты содержалось в прозрачных семенах – 42,9%. Далее ее концентрация снижалась на 4,9-5,7% и минимум отмечен в твердых зеленых семенах – 32,3%. При последующих стадиях развития семян содержание этой кислоты снова возросло на 3,9% и достигало 36,2% в зрелых семенах.

В семенах рыжика ярового к концу созревания увеличивалась доля линоленовой кислоты в масле и снижалась доля линолевой и олеиновой кислот. У горчицы белой во время созревания семян концентрация линоленовой и линолевой кислот в масле уменьшалась. Таким образом, динамика накопления масла в семенах обеих культур подчиняется общим закономерностям и происходит на всех этапах их формирования.

В процессе накопления жирных кислот установлено, что масло из незрелых семян характеризуется повышенным содержанием насыщенных кислот – пальмитиновой и стеариновой. По мере созревания семян усиливается синтез полиненасыщенных линолевой и линоленовой кислот, содержание которых снижается соответственно на 29,1 и 17,2%. Содержание в масле

олеиновой кислоты также уменьшается на 9,0% у рыжика ярового и всего на 4,6% у горчицы белой. Содержание эруковой кислоты повышается, независимо от культуры.

Литература

1. Сидоров Р.А., Цыдендамбаев В.Д. Биосинтез жирных масел у высших растений // Физиология растений. – 2014. – № 1. – Т. 61. – С. 3.
2. Waraich E.A., Ahmed Z., Ahmad R., Ashraf M.Y., Saifullah, Naeem M.S., Rengel Z. Camelina sativa, a climate proof crop, has high nutritive value and multiple-uses: a review // Australian Journal of Crop Science. – 2013. – AJCS 7 (10). – P. 1551-1559.
3. Prakhova T.Ya., Prakhov V.A., Danilov M.V. Changes in the Fat-acidic Composition of Camelina sativa Oilseeds Depending on Hydrothermal Conditions // Russian Agricultural Sciences. – 2018. – V. 44. – № 3. – P. 221-223.
4. Neha Sharma Assessment of Biofuel Potential in India // Int J Recent Sci Res. – 2017 – 8(5) – P. 17125-17127.
5. Новиков Н.Н. Биохимия растений – М.: КолосС, 2012. – С. 618-621.
6. Галицкий Д.Н., Шаманин В.П. Влияние условий окружающей среды на накопление масла в семенах льна масличного и его качество // Вестник Новосибирского ГАУ. – 2015. – № 2 (35). – С. 18-24.
7. Прахов В.А., Данилов М.В. Жирнокислотный состав маслосемян рыжика ярового в зависимости от ги-

- дротермических условий // Сб. материалов конференции «Достижения современной аграрной науки сельскохозяйственному производству». – Калуга, 2017. – С. 131-134.
8. Прахова Т.Я. Изучение процесса маслообразования в семенах рапса для селекции на масличность // Сб. материалов конференции «Актуальные и новые направления в селекции и семеноводстве сельскохозяйственных культур». – Владикавказ, 2017. – С. 95-97.
9. Шарапов Н.И. Масличные растения и маслообразовательный процесс. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1959. – 443 с.
10. Харченко Л.Н. Динамика накопления жирного и алилового масла в семенах сарептской горчицы // Сб. научно-исследовательских работ по масличным и эфиромасличным культурам. – Советская Кубань, 1961. – С. 174-179.
11. Ибрагимов Д.Э., Махмудов А.Ш., Махмудова Т.М. Изменение компонентного состава масла семян *ARCTIUM TOMENTOSUM* MILL. в различных фазах // Вестник Таджикского национального университета. – 2017. – № 1-3. – С. 221-227.
12. Ермаков А.И. Методы биохимического исследования растений – Л.: Агропромиздат, 1987. – 430 с.

Поступила в редакцию 01.04.19
После доработки 10.05.19
Принята к публикации 07.06.19