

DOI 10.25741/2413-287X-2018-09-3-020

УДК: 664.6/.7

ВЛИЯНИЕ ФЕРМЕНТОВ ЗЕРНА НА БИОХИМИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В НЕМ ПРИ ХРАНЕНИИ

О. ШИЛКОВА, С. БЕЛЕЦКИЙ, К. ГУРЬЕВА, ФГБУ НИИ проблем хранения Росрезерва

E-mail: grain-miller@yandex.ru

Приводится информация о влиянии ферментов зерна на биохимические процессы, происходящие в нем при хранении; описана роль ферментов зерна в его дозревании; приведены данные об изменении активности ферментов в процессе хранения зерна.

Ключевые слова: зерно, пшеница, ячмень, кукуруза, ферменты, значение, свойства, активность ферментов, послеуборочное дозревание, хранение.

Значение и свойства ферментов зерна. В зерне злаковых растений, как и во всяком живом организме, функционирует большое количество ферментов (энзимов), ускоряющих (катализирующих) химические реакции в живых системах. Ферменты вырабатываются живыми клетками в ничтожно малых количествах, однако ввиду высокой активности вызывают изменения в огромной массе вещества. Действие ферментов специфично: каждый из них катализирует только определенную реакцию для одного вещества, а чаще для группы веществ сходного строения [1].

На активность ферментов оказывают влияние различные факторы: температура, кислотность или щелочность среды, добавление некоторых химических веществ, из которых одни усиливают активность ферментов (активаторы), другие, наоборот, ослабляют ее (парализаторы) или даже совсем приостанавливают действие ферментов (например, соли тяжелых металлов: серебра, ртути, меди, свинца и др.) [2].

Весьма важным фактором активности ферментов является температура. С ее повышением до определенного уровня активность ферментов увеличивается. Для многих ферментов оптимальная температура находится в пределах 40–55°C. Нагревание до 70–80°C разрушает почти все ферменты, они свертываются и теряют каталитические свойства. Большое значение для активности ферментов имеет и активная кислотность среды, иначе концентрация водородных ионов, выражаемая величиной pH. Каждый фермент проявляет свое действие в определенных преде-

The data on the influence of endogenous enzymes within the grain on the biochemical changes in it during the storage are presented; the role of the enzymes in its postripening maturation is highlighted; the dynamics of enzymatic activities within the grain during the storage are analyzed.

Keywords: grain, wheat, barley, corn, enzymes, role, properties, enzymatic activities, postripening maturation, storage.

лах pH. Большинство из них растворимы в воде, глицерине, слабых растворах (до 25%) сернокислового аммония и осаждаются из растворов ацетоном, насыщенным раствором (75%-ным) сернокислового аммония (это используется для получения препаратов ферментов) [1].

Биохимические процессы, происходящие в зерне при его хранении. К ним относится *послеуборочное дозревание*, наблюдающееся в первые 1,5–3 месяца хранения. При соблюдении благоприятных условий (относительная влажность воздуха ниже 75%, насыщенность межзернового пространства кислородом, положительная температура) послеуборочное дозревание сопровождается синтезом высокомолекулярных запасных веществ из низкомолекулярных, накопленных в зерне в ходе фотосинтеза растения и налива зерна. При дозревании заканчиваются процессы образования полисахаридов, белков и жиров; уменьшается доля растворимых углеводов и небелкового азота; белки клейковины уплотняются, качество ее улучшается; снижается доля свободных жирных кислот и несколько возрастает содержание триглицеридов и других липидов; всхожесть зерна достигает максимума. Одновременно при послеуборочном дозревании активность ферментов, в частности, амилолитического комплекса, а также каталазы и монофенол-моноксигеназы ослабевает, что свидетельствует об ослаблении окислительно-восстановительных процессов в зерне в ходе послеуборочного дозревания. При этом активность ферментов снижается до уровня, характерного для хорошо созревшего зерна [1].



Активность каталазы как характеристика жизнеспособности зерна изменяется в процессе хранения в зависимости от способа уборки зерна. При одинаковых исходных данных активность каталазы зерна, убранного при однофазной комбайновой уборке, снижается с большей интенсивностью при хранении, чем у зерна, полученного путем обмолота снопов после уборки [3].

Завершение послеуборочного дозревания и вступление зерна в состояние покоя фактически являются началом *процесса старения*. Старение также идет под действием ферментативного комплекса зерна и при участии кислорода воздуха. Однако основная направленность его противоположна дозреванию.

При хранении зерна наблюдаются как качественные, так и количественные изменения белков. При этом общее содержание азотистых веществ остается постоянным или незначительно возрастает за счет уменьшения доли углеводов, расходуемых на дыхание. Однако снижаются растворимость белков и атакуемость их пищеварительными ферментами. Так, за два года хранения при температуре 24°C пшеницы с влажностью 11% атакуемость белков снизилась на 8%, а кукурузы — на 3,6%. Одновременно наблюдаются повышение доли аминного азота и уменьшение содержания белков. Постепенно изменяется аминокислотный состав белков, в частности, снижается доля доступного лизина. Особенно существенны эти изменения в первые месяцы хранения и при сушке, даже очень щадящей. Изменяется также доля гистидина и аргинина.

Наиболее неустойчива в период хранения липидная фракция зерна, состоящая в основном из непредельных жирных кислот. При протекающих ферментативных процессах в липидном комплексе расщепляются фосфо- и гликолипиды, глицериды; при этом накапливаются свободные жирные кислоты. Ненасыщенные жирные кислоты, особенно свободные, под действием кислорода воздуха и фермента липоксигеназы окисляются. Накапливаются перекиси, гидроперекиси и другие продукты окисления, которые могут образовывать комплексы с белками и углеводами [5].

Проведенные в ФГБУ НИИПХ Росрезерва исследования производственных партий пшеницы при хранении в силосах показали, что за четыре года хранения кислотное число жира увеличивалось незначительно, и его величина не превышала 18 мг КОН/1 г жира, что характерно для хорошо сохранившегося здорового зерна. Это свидетельствует о невысокой активности липолитических ферментов в период хранения зерна в сухом и охлажденном состоянии [5]. Тем не менее, повышение содержания свободных жирных кислот влияет на белковый комплекс, образуя белково-липидные комплексы, при этом белки теряют растворимость, клейковина становится более крепкой и крошливой.

При сравнительном изучении липазы пшеницы, ржи и овса установлено, что наибольшую активность проявляет зерновка овса, наименьшую — пшеницы. Концентрация липазы в зародыше в 100 раз выше, чем в эндосперме. При изучении

липазы ржи отмечено, что при влажности ржаной муки 17% гидролиз этилового эфира олеиновой кислоты протекал вдвое быстрее, чем при влажности 9%, но и при такой влажности можно обнаружить активность липазы [1].

Изменение активности ферментов в процессе хранения зерна. Об активности ферментов судят по результатам их действия на субстрат. Например, об активности амилазы — по количеству крахмала, превращенного в мальтозу при определенных условиях за определенный период времени. В настоящее время известно и хорошо изучено большое количество ферментов. Рассмотрим некоторые из них, имеющие наибольшее значение для биохимических процессов, протекающих в зерне и оказывающих влияние на его качественное состояние при хранении и переработке [1–2].

По данным Пирожковой З. Г., длительное хранение пшеницы при температуре –20 и +5°C не оказывало существенного влияния на активность каталазы. Так, при хранении пшеницы сорта Саратовская 29 активность каталазы (мг 0,1 N KMnO₄ на 10 г сухого вещества) соответственно изменялась с 30,2 до 29,2 и 29,0; сорта Лютеценс 758 — с 31,3 до 26,0 и 30,0. В качестве контроля использована рядовая пшеница с активностью 28,7, хранившаяся при температурах от –20 до –27,4°C и от +5 до +28,3°C.

Активность протеаз в пшенице изменяется равномерно в процессе хранения, причем сначала она снижается, но после преодоления точки созревания (сентябрь, октябрь) вновь увеличивается (ноябрь). Подобным образом происходит изменение количества растворимого белка. Длительное действие низких отрицательных температур на зерно обусловило повышение активности протеолитических ферментов. Так, при температуре хранения –20°C активность протеаз пшеницы (мг азота на 100 г сухих веществ) повышалась с 200,9 до 293,4, а при температуре +15°C в сорте Саратовская 29 повышалась до 307,9.

В процессе хранения кукурузы разных фаз спелости активность липазы снижалась у зерна в фазе поздней молочной спелости в 3, а восковой и полной — в 1,1 раза. Хотя активность липазы (мл 0,1 N КОН на 1 г зерна) в первые дни после уборки повышалась через трое суток хранения с 1,46 до 1,55, через семь суток хранения — до 1,69 [4].

Наблюдаемое увеличение уровня неорганического фосфата в хранящейся пшенице могло быть объяснено как следствие активности фитазы — в зародыше и оболочке зерновки она изменяется в процессе хранения, но окончательного инактивирования фермента не происходит. Высказываются предположения, что наряду с реакцией разрушения в зерне может происходить ферментативный синтез.

Результаты недавних исследований влияния условий хранения на активность антиоксидантной системы и физиолого-биохимические процессы зерна [4] показали, что у семян ячменя, заложенных на хранение в естественных условиях с низкой влажностью (до 14%), сохраня-

лись достаточно высокие показатели качества на фоне небольших колебаний значений активности окислительных и антиоксидантных процессов. Продолжительное хранение приводит к резкому снижению активности супероксиддисмутазы и каталазы, а также к повышению концентрации продуктов перекисного окисления липидов. Пероксидаза сохраняет свою активность на протяжении всего времени хранения [4]. Таким образом, установлено, что гипобиотическое состояние семян ячменя в условиях естественного хранения сопровождается низкой активностью окислительных процессов и антиоксидантной системы. Длительное хранение семян зерновых культур приводит к снижению их жизнеспособности и всхожести, активности оксидоредуктаз на фоне повышения продуктов перекисного окисления липидов. Естественное старение семян сопровождается снижением активности антиоксидантной системы. Неблагоприятные условия хранения также способствуют накоплению продуктов перекисного окисления липидов и активации антиоксидантной системы защиты.

В заключение следует отметить, что роль катализаторов биохимических процессов необычайно велика не только в аспекте жизнедеятельности зерна как живого организма при созревании, послеуборочном дозревании, хранении, но и на всех других стадиях переработки, а также при

прорастании. В процессе длительного хранения изменение качества зерна обусловлено как дыхательными, так и биохимическими процессами, которые протекают под воздействием ферментов и влияют на отдельные компоненты зерна.

Литература

1. *Братерский, Ф.Д.* Ферменты зерна. — М.: Колос, 1994. — 196 с.
2. *Р. Карл Хосни.* Зерно и зернопродукты. — СПб.: Профессия, 2006. — 330 с.
3. *Грюнвальд, Н.В.* Проблемы качества зерна, возникающие в процессе его длительного хранения // Хранение и переработка зерна. — 2006. — №5. — С. 31–33.
4. *Гридина, С.Б.* Ферментативная активность зерновых культур / С.Б. Гридина, Е.П. Зинкевич, Т.А. Владимирцева, К.А. Забусова // Вестник Красноярского ГАУ. — 2014. — №8.
5. *Гурьева, К.Б.* Исследование динамики качества и безопасности пшеницы государственного резерва при длительном хранении в силосах разных типов элеваторов / К.Б. Гурьева, Е.В. Иванова, С.Л. Белецкий // Инновационные технологии производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд: междунар. науч. сб. Вып. VII / ФГБУНИИПХ Росрезерва; под общ. ред. С.Е. Уланина. — М.: Галлея-Принт, 2017. — С. 94–104. ■