

УДК 664.657:577.15

Н.В. Степычева, П.Н. Кучеренко

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АМИЛОЛИТИЧЕСКИХ ФЕРМЕНТНЫХ ПРЕПАРАТОВ
ДЛЯ ЗАМЕДЛЕНИЯ РЕТРОГРАДАЦИИ КРАХМАЛА***

(Ивановский государственный химико-технологический университет)

e-mail: laki@isuct.ru

Представлен обзор литературных источников, посвященных проблеме замедления ретроградации крахмала. Процесс ретроградации рассмотрен на примере черствения хлеба. Описаны наиболее значимые механизмы черствения; названы основные способы сохранения свежести изделий. В статье рассмотрены также различные аспекты применения ферментных препаратов с амилолитической активностью для замедления ретроградации крахмала и сохранения свежести хлеба.

Ключевые слова: ретроградация, свежесть, черствение, ферментный препарат, амилаза

Ретроградация крахмала, а также способы ее замедления стали предметом ряда исследований, в которых она изучалась на примере крахмальных клейстеров и паст [1, 2]. Общеизвестным является факт, что этот процесс лежит в основе черствения хлеба. Установлено, что изменения, протекающие в коллоидных системах, содержащих крахмал, и в хлебе при его хранении, практически идентичны [3, 4]. Однако с точки зрения практики наиболее интересны работы, посвященные замедлению ретроградации крахмала с целью сохранения свежести хлеба. В данной статье рассмотрены механизмы процесса черствения хлеба, а также различные аспекты применения ферментных препаратов с амилолитической активностью для его замедления.

Проблема сохранения свежести хлеба изучается уже более 150 лет и по-прежнему не потеряла своей актуальности [5]. Статистическими исследованиями установлено, что в странах с высоким уровнем потребления хлеба потери, вызванные непродолжительными сроками сохранения свежести изделий, достигают 10-15% объема произведенной продукции [6]. Быстрое усыхание и черствение изделий является наиболее распространенной причиной ухудшения их товарных свойств. При этом хлеб теряет мягкость, повышается крошковатость мякиша, снижается его эла-

стичность, теряется вкус и аромат, присущие свежему изделию; корка теряет блеск и хрупкость; слой мякиша, находящийся под коркой, становятся сухими и жесткими [7]. Причиной подобных изменений служит целый ряд сложных процессов, протекающих с различной скоростью и касающихся основных компонентов хлебного мякиша [8].

Несмотря на то, что механизм черствения кажется всесторонне изученным, единая теория, в полной мере раскрывающая сущность этого процесса, до сих пор не сформирована. На сегодняшний день основными факторами, определяющими изменения текстуры мякиша при хранении, считаются ретроградация крахмала и перераспределение влаги между крахмалом и клейковиной [9-11], а также между частями изделия (перемещение влаги от центра мякиша к корке) [12-14]. Кроме того, изучены изменения в белковой части мякиша, отмечена роль липидов и водорастворимых пентозанов [15-18] (табл. 1). Существуют версии, учитывающие не только изменения биополимеров мякиша, но и взаимодействия между ними [19, 20].

Во время хранения наблюдается образование водородных связей между гидроксильными группами (-ОН) цепочек амилозы и аминоклупами (-NH₂) белковых молекул, а также непосредственно между цепочками амилозы [5, 21].

* Обзорная статья

Предположения о роли структурных компонентов хлеба в процессе черствения [20]
Table 1. Assumptions on a role of bread structural components in the process of hardening [20]

Вещество	Роль в черствении
1. Крахмал	Постепенный переход крахмала из аморфного состояния в кристаллическое играет важную роль в процессе черствения
	Степень кристаллизации крахмала и жесткость мякиша не имеют прямой зависимости, таким образом, можно предположить, что кристаллизация крахмала – не единственная причина черствения
1.1. Амилопектин	Амилопектин оказывает сильное влияние на процесс черствения, т.к. нагревание хлеба до 50 °С (температура плавления амилопектина) может вернуть изделию свежесть
	Ретроградация амилопектина является важной составляющей процесса черствения, однако не только она обуславливает изменения в текстуре
1.2. Амилоза	Амилоза участвует в процессе черствения лишь в первые сутки хранения хлеба, поэтому ее роль может только дополнять роль амилопектина
	Реорганизация внутригранулярной амилозы увеличивает жесткость крахмальных зерен при хранении
	Определенную роль играет агрегирование амилозы и амилопектина
2. Белок (глютен)	Взаимодействия крахмала и глютена между собой играют немаловажную роль в процессе черствения
	Изменение подвижности полимерных цепей обусловлено изменениями в состоянии белка и/или перераспределением влаги внутри мякиша
3. Пентозаны	Водорастворимые и нерастворимые пентозаны увеличивают сжимаемость мякиша, но не влияют на скорость черствения
	Хлеб, богатый арабиноксиланами, отличается большей скоростью ретроградации крахмала из-за высокой влажности, несмотря на то, что изначально он мягче, чем контрольный образец
4. Липиды	Липиды муки и жировые продукты в рецептуре изделий способны замедлять черствение

Большинством исследователей главная роль в черствении хлеба отводится ретроградации крахмала как основного компонента хлеба, составляющего до 70% сухих веществ готовых изделий [10, 22, 23]. При выпечке крахмальные зерна набухают и частично клейстеризуются с поглощением воды, выделяемой коагулирующими белками. При этом крахмал переходит из кристаллического состояния в аморфное [24, 25]. Во время хранения происходит обратный переход его в кристаллическое состояние, который называется ретроградацией. Понятие о ретроградации было впервые введено Л. Линде, эта идея была развита и экспериментально подтверждена рядом исследователей (И. Катц, Р. Керр, С. Ким, Б. Д'Апполониа и др.) [26]. Т. Шоч и Д. Френч предложили модель, описывающую обратимое при нагревании агрегирование амилопектина в качестве основной причины черствения хлеба [27]. При этом изменениям в амилозной фракции придается гораздо меньшее значение. Предполагается, что ретроградация амилозы происходит только в первые сутки хранения, а дальнейшее увеличение жесткости происходит при участии амилопектина [14, 28, 29]. Таким образом, принимая во внимание большое значение углеводно-амилазного комплекса при черствении, именно воздействие на крахмал можно считать наиболее перспективным методом сохранения свежести хлеба.

Замедлить процесс черствения можно введением некоторых видов дополнительного сырья [30, 31], усовершенствованием способов приготовления теста [32, 33], подбором оптимального режима выпечки [34, 35], выбором рационального режима хранения готовых изделий [36, 37]. Однако проведение подобных мероприятий не всегда осуществимо и целесообразно [38].

Более эффективной мерой по замедлению черствения хлеба является применение хлебопекарных улучшителей [22, 39]. В частности, можно замедлить ретроградацию крахмала внесением в тесто веществ, повышающих гидрофильные свойства мякиша – модифицированных крахмалов, декстринов, камедей и т.п. [40-44]. Поверхностно-активные вещества способствуют улучшению физико-механических свойств мякиша хлеба, образуя комплексы с амилозой [45-47].

Существенного увеличения сроков сохранения свежести хлеба можно добиться использованием ферментных препаратов. Главным действующим компонентом таких добавок являются ферменты – биохимические катализаторы белковой природы, способные ускорять химические реакции [22]. Для хлебопекарной промышленности наибольшее значение имеют следующие классы ферментов: гидролазы, оксидо-редуктазы и трансферазы [48].

Добавление ферментных препаратов позволяет направленно воздействовать на основные структурные компоненты муки и теста (крахмал, белки, пентозаны, липиды), регулируя, таким образом, свойства теста и ход технологического процесса. Главными задачами, решаемыми с помощью ферментов, являются: сокращение производственного цикла за счет интенсификации процессов тестоприготовления, стабилизация свойств сырья, получение хлеба стабильно высокого качества, способного дольше сохранять свою свежесть [49, 50].

Исследованию воздействия различных видов ферментов на скорость черствения хлеба посвящено множество работ, как в России, так и за рубежом. Изучены возможности продления свежести изделий при использовании препаратов с

амилазной, протеиназной, ксиланазной активностью, а также некоторых других. Наиболее эффективными в этом отношении большинством исследователей признаны амилолитические ферментные препараты [10, 51].

Амилолитические ферменты относятся к классу гидролаз и катализируют реакции гидролиза крахмала – растительного полисахарида сложного строения, состоящего из 13-30% амилозы и 70-85% амилопектина [25, 52, 53]. В зависимости от типа разрываемой связи и ее расположения в молекуле субстрата ферменты данного семейства делятся на несколько видов: α - и β -амилазы, глюкоамилаза (или амилоглюкозидаза), пуллулаза, изоамилаза и некоторые другие [48, 54]. Механизм воздействия амилолитических ферментов на крахмал представлен на рис. 1.

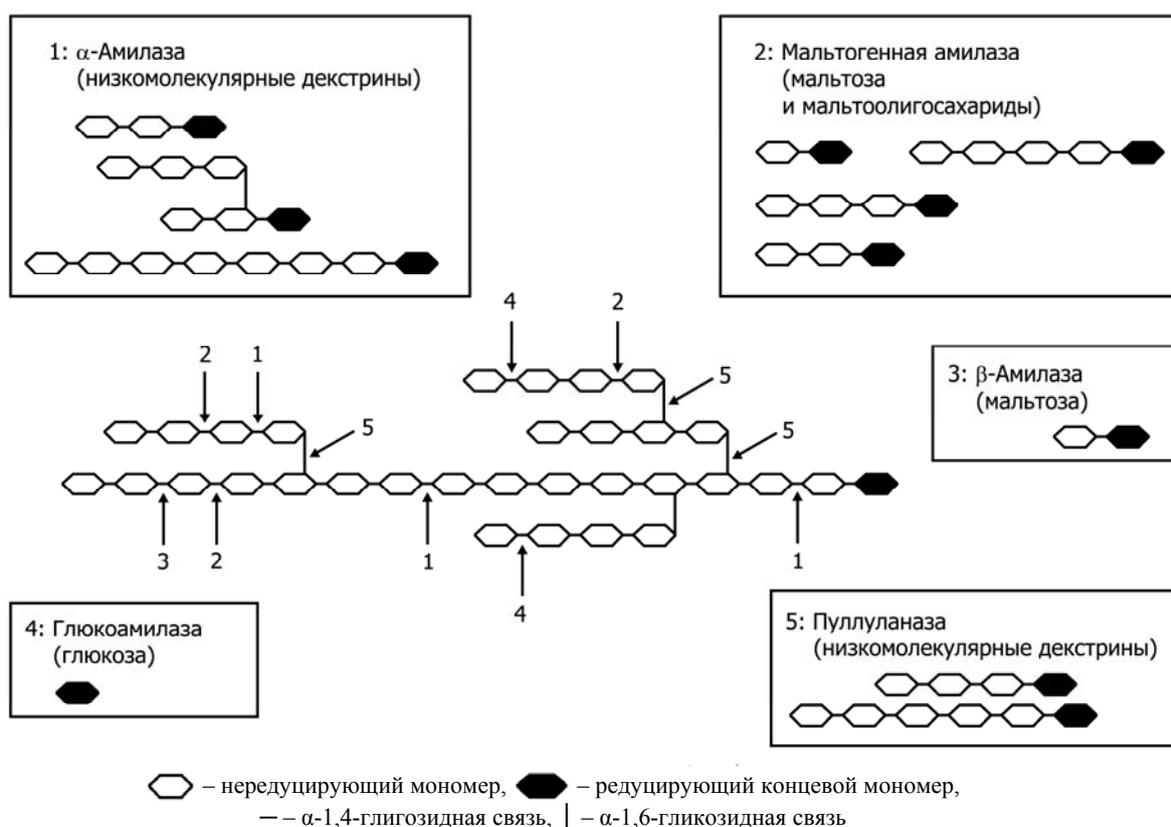


Рис. 1. Схема гидролиза крахмала амилолитическими ферментами разных видов: 1 – α -амилаза, 2 – мальтогенная амилаза, 3 – β -амилаза, 4 – глюкоамилаза, 5 – пуллулаза [50].

Fig. 1. Scheme of starch hydrolysis by various starch degrading enzymes: \square – non-reducing monomer, \blacksquare – reducing terminal monomer, – – α -1,4- glycosidic bond, | – α -1,6- glucosidic bond; 1 – α -amylase, 2 – maltogenic amylase, 3 – β - amylase, 4 – amyloglucosidase, 5 – pullulanase [50]

Препараты с амилолитической активностью широко используются в хлебопечении для корректировки хлебопекарных свойств муки [24]. Ферментативное воздействие на крахмал способствует увеличению количества сахаров в тесте, что приводит к интенсификации процесса брожения, усилению газообразования на этапе окончательной расстойки и на ранних стадиях выпечки.

В свою очередь, это приводит к увеличению объема изделий, улучшению пористости и текстуры мякиша [55, 56]. Наиболее часто для повышения качества хлеба и продления срока его хранения применяют препараты α -амилазы.

α -Амилаза (КФ 3.2.1.1) – фермент, вызывающий неупорядоченное гидролитическое расщепление α -1,4-гликозидных связей крахмала с