

В последние годы в технологии хлебопекарного производства за рубежом и в нашей стране широко используют замораживание с целью замедления или прерывания брожения теста и для сохранения готовой продукции. В настоящее время практикуют использование замораживания на различных стадиях технологического процесса: после замеса, на различных этапах расстойки и выпечки полуфабрикатов. Основная проблема в криотехнологиях хлебопечения - это ухудшение качества готовых изделий, в частности, уменьшение удельного объема и формоустойчивости, а также отделение корки от мякиша, ее ломкость и хрупкость. Замораживание полуфабрикатов хлебо-пекарного производства - это сложный процесс, приводящий к изменению их микробиологических, реологических (структурно-механических) и теплофизических свойств. Для оптимизации процесса производства хлебобулочных изделий на основе замороженных полуфабрикатов необходимы исследования комплекса процессов, происходящих на стадиях замораживания, хранения, дефростации, расстойки и выпечки [1,2]. Особенно подвержены глубоким изменениям клейковинные белки, ферменты муки, клетки дрожжей и молочнокислых бактерий. Крахмал отличается резистентностью к низкотемпературной обработке, однако его разрушение происходит при замерзании воды, находящейся в крахмале. Изменения структурно- механических свойств теста происходит в результате рекристаллизации льда, вызывающей ослабление трехмерной белковой структуры, ответственной за газодерживание в тесте. Отрицательное действие замораживания на структурно- механические свойства теста и качество готовых изделий связано не только с повреждением белковой матрицы кристаллами льда, но и с действием глютатиона, выделяемого поврежденными дрожжевыми клетками, а также снижением активности ферментов теста. Многие исследователи для приготовления замороженного теста рекомендуют использовать улучшители различных групп и принципа действия, особое место среди которых занимают ферментные препараты, применение которых обусловлено необходимостью стабилизации свойств теста в процессе его замораживания и хранения. Существенным преимуществом применения ферментов перед другими хлебопекарными улучшителями является их узкая специфичность действия, проявление активности при определенных технологических параметрах (температура, pH среды, наличие активаторов и ингибиторов), что создает возможность регулировать окончание процесса ферментации пищевых продуктов[1-3]. Виды ферментных препаратов, применяемых в производстве замороженного теста, и их влияние на свойства и качество хлеба представлены в табл.1 .

Ферменты	Оказываемое влияние
α -Амилазы	Повышение газообразующей способности теста, увеличение удельного объема хлеба, однородности структуры мякиша
Глюкоамилазы	Увеличение объема,

улучшение цвета корки, аромата, продление срока хранения хлеба Протеазы Увеличение газоудерживающей способности теста, увеличение пластичности теста, увеличение пористости и объема хлеба Оксидо-редуктазы Повышение устойчивости теста при хранении, стабилизация его свойств Ксиланазы Увеличение водопоглотительной способности муки, снижение вязкости теста, увеличение пористости и удельного объема хлеба Липазы Увеличение стабильности теста, улучшение цвета и состояния корки, структуры и цвета мякиша, замедление черствения Основной группой ферментов, используемых для интенсификации процесса приготовления теста и улучшения качества хлеба на основе замороженных полуфабрикатов, являются амилолитические ферменты [4]. Сахарообразующая способность муки обусловлена активностью собственных α - и β -амилаз муки, а также доступностью и атакуемостью крахмальных зерен. Крахмал под действием α -амилазы разлагается в основном на низкомолекулярные декстрины, очень легко переводимые β -амилазой муки в мальтозу [3,4], которая в свою очередь является дополнительным источником питания для дрожжевых клеток. Декстрины в свою очередь препятствуют ретроградации крахмала (образованию новых водородных связей между цепочками олигосахаридов) и возникновению поперечных связей между молекулами крахмала и белков клейковины, ведущих к черствению хлеба [5,6]. В хлебопечении применяют α -амилазы различной природы происхождения – бактериальные, грибные и растительные (солодовые), имеющие различные температурные и pH- оптимумы действия. Так, для бактериальной α -амилазы оптимальные значения pH находятся в диапазоне 5,8-6,0; для грибной – 4,8-5,8; для солодовой – 4,7-5,4. Следует отметить, что бактериальная α -амилаза отличается высокой термостабильностью, она сохраняет свою активность в интервале температур от 80 до 110 °C, тогда как грибная α -амилаза может инактивироваться при температуре 63-71 °C, т.е. раньше, чем начнется клейстеризация крахмала и он станет доступным для действия ферментов [4-6]. Мальтогенная амилаза (изофермент α -амилазы) проросшего зерна проявляет свою активность при температуре 60-70°C, в начальный период выпечки, модифицируя амилопектин, с образованием олигосахаридов и декстринов. Помимо амилаз в технологии хлебобулочных изделий на основе замороженных полуфабрикатов используют также глюкоамилазу, гидролизующую 1,4- α - также 1,6- α -глюкозидные связи амилозы и амилопектина с образованием глюкозы и небольшого количества декстринов. Оптимальные условия действия глюкоамилазы – pH 3,0-5,0; температура 55-60°C. Специалисты отмечают, что амилолитические ферменты оказывают наиболее эффективное действие при добавлении к муке с упругой, недостаточно эластичной клейковиной, с пониженной сахарообразующей способностью и автолитической активностью. Кроме того, при переработке муки слабой по силе и с пониженным содержанием клейковины, амилолитические препараты целесообразно применять совместно с

улучшителями окислительного действия, например с аскорбиновой кислотой, азодикарбонамидом, пероксидом кальция и др. [3,6]. В России выпускают ряд амилолитических ферментных препаратов Амилоризин П10х (Г10Х, Г20Х), Амилосубтилин Г10х, Глюкоаваморин Г20х, Глюкоамилаза очищенная, Глюконигрин Г20х, Амилонигрин Г10х и Г20х. На отечественном рынке присутствуют также ферментные препараты, обладающие амилолитической активностью, выпускаемые фирмами "Quest Int. Nederland B.V." (Нидерланды), "Novo Nordisk" (Дания) и "Danisco Ingredients" (Дания). Преимуществами амилолитических ферментов серии Grindamil, Fungamil, Novamil и AMG являются агломерированный тип данных препаратов, что позволяет снизить распыление при их использовании, а также отсутствие сопутствующих ферментов, которые могут оказать отрицательное влияние на свойства теста и качество хлебобулочных изделий [7]. Многочисленные научные исследования [4-8] и широкое практическое применение препаратов амилолитического действия доказывают эффективность и целесообразность их использования в криотехнологиях хлебопечения. Особое место среди ферментных препаратов, применяемых в криотехнологии хлебопечения, занимают протеолитические ферменты бактериального и грибного происхождения. Установлено, что бактериальные протеазы (рН 8,0) резко увеличивают растяжимость клейковины, уменьшая ее эластичность, тогда как грибные протеазы (рН 4,7) увеличивают растяжимость клейковины постепенно, улучшая ее эластичность [9]. При низкотемпературной обработке тестовых полуфабрикатов наблюдается укрепление клейковинного каркаса, тесто становится малорастяжимым и менее эластичным. С другой стороны, перекристаллизация льда может привести к механическому разрушению и ослаблению трехмерной структуры белка. Указанные факторы отрицательно влияют на реологические свойства дефростированных тестовых полуфабрикатов, а следовательно, на пористость и объем готовых изделий [1,2]. Клейковина пшеницы при достаточно длительном воздействии на нее протеолитических ферментов подвергается гидролитическому расщеплению до аминокислот, что, как правило, носит отрицательный характер в традиционных технологиях хлебопечения. В производстве хлебобулочных изделий на основе замороженных полуфабрикатов использование протеолитических ферментов позволяет уменьшить вязкость теста, увеличить его пластичность и эластичность, сократить продолжительность замеса для формирования оптимальных структурно-механических свойств дефростированных тестовых полуфабрикатов [7-9]. В практике хлебопечения наиболее широкое применение находят препараты Протосубтилин Г10х и Г20х, Нейтраза 1,5 MG (Novozims, Дания) и Grindamil PR (Danisco Ingredients, Дания), содержащие нейтральные бактериальные протеазы. Для регулирования реологических свойств теста, подвергающегося низкотемпературной обработке, путем целенаправленного изменения свойств

клейковины, целесообразно также применение ферментов окислительно-восстановительного действия. В настоящее время в качестве таких препаратов используют липоксигеназу и глюкооксидазу, а также комплексы их с каталазой или пероксидазой [4,7,10]. Липоксигеназа катализирует окисление цис-форм ненасыщенных жирных кислот (линолевой, линоленовой и арахидоновой) с образованием в основном гидроперекисей, которые являются активными окислителями. Глюкозооксидаза катализирует окисление глюкозы кислородом с образованием γ -глюконолактона, который спонтанно превращается в глюконовую кислоту и пероксид водорода. Гидроперекиси как и перекись водорода вызывают окисление HS-групп в молекулах белков и протеаз, что приводит к образованию дополнительных дисульфидных связей. В результате этого белок упрочняется, уменьшается вязкость и липкость теста, ограничивается активность протеиназ пшеничной муки. Помимо аминокислот белка перекись водорода способна окислять глутатион дрожжевых клеток и гемицеллюлозы муки. Эти два фактора приводят к существенному увеличению гидратации и водопоглотительной способности теста, большей эластичности клейковинного каркаса, в результате чего улучшаются адгезионные свойства тестовых полуфабрикатов. Применение липоксигеназы эффективно при выработке хлебобулочных изделий на основе замороженных полуфабрикатов с высоким содержанием жиров. Глюкооксидазу рекомендуется использовать совместно с каталазой, разлагающей избыток перекиси водорода на воду и кислород. [4,7,11]. При выработке хлебобулочных изделий на основе замороженных полуфабрикатов рекомендуется использовать препараты глюкозооксидазы Grindamil Sure Bake и Глюзим (Novozymes). В настоящее время гемицеллюлазы и целлюлазы находят применение в технологиях замороженных полуфабрикатов из ржаной, смеси ржаной и пшеничной муки, а также из различных зерновых масс. Наиболее изученными и функционально-технологичными ферментами данной группы являются ксиланазы. Под действием ксиланазы нерастворимые ксиланы и пентозаны муки гидролизуются до ксилоолигосахаридов, что предотвращает образование комплексов пентозанов с клейковиной, отрицательно влияющих на реологические свойства теста. Продукты частичного гидролиза пентозанов имеют высокую водоудерживающую способность, в результате чего образуется гидратированный клейковинный каркас повышенной эластичности, вязкость теста снижается, что в свою очередь обеспечивает высокие показатели пористости и объема хлебобулочных изделий [7]. Кроме того, продукты гидролиза пентозанов препятствуют взаимодействию крахмала с белками, что замедляет процесс черствения хлеба. Для хлебопекарной отрасли предлагается ряд ферментных препаратов, проявляющих гемицеллюлазную и ксиланазную активность – Pentopan Mono, Pentopan BG (Novozims); Grindamil H, Grindamil XV, Grindamil S; Veron HE, Veron ST (Rohm. Tech. Inc. Malden, Германия) и др. В

последние годы отмечается стабильный рост спроса среди потребителей на сдобные и слоеные хлебобулочные изделия, в том числе на основе замороженных полуфабрикатов. Эффективным средством стабилизации структурно-механических свойств полуфабрикатов и качества таких изделий является применение липолитических ферментных препаратов. Липаза осуществляет гидролиз триацилглицеридов с образованием моно- и диглицеридов, обладающих поверхностно-активными свойствами, до конечных продуктов - жирных кислот и глицерина. В тесте образуются дополнительные водородные связи и гидрофобные взаимодействия между модифицированными гликолипидами и белками клейковины, за счет чего укрепляются структурно-механические свойства полуфабрикатов, повышается стабильность тестовых заготовок при расстойке; а также увеличивается удельный объем изделий, улучшается структура и цвет мякиша, продлеваются сроки свежести хлеба[4,7,12,13]. В связи с вышеизложенным липолитические ферменты часто служат альтернативой добавления эмульгаторов при замесе теста. В качестве препаратов с липолитической активностью в хлебопечении применяют Novozim 677 BG (Novo Nordisk), Liporan 50 BG (Novozims, Дания) и др. Зарубежный и отечественный опыт применения ферментных препаратов в технологии хлебобулочных изделий доказывает целесообразность использования композиций ферментов, обладающих различными принципами действия, при выработке хлебобулочных изделий на основе замороженных полуфабрикатов. Широкое применение находят мультиэнзимные композиции, основу которых составляют мальтогенная и α -амилазы, ксиланаза, глюкоамилаза, липаза [4,7,13,14]. Практическое использование синергетического эффекта композиций ферментных препаратов находит также реализацию в разработке оптимальных составов комплексных хлебопекарных улучшителей, в состав которых помимо ферментов входят другие добавки целевого назначения. Таким образом, ферментные препараты являются эффективным средством регулирования структурно-механических свойств полуфабрикатов, интенсификации технологического процесса, а также стабилизации качественных характеристик и продления сроков свежести готовых изделий, выработанных на основе криотехнологии.