

## **ВЛИЯНИЕ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ МОДИФИКАЦИИ КРАХМАЛА МУКИ ИЗ ЗЕРНА БЕЛОЙ КУКУРУЗЫ НА КАЧЕСТВО ХЛЕБА ДЛЯ ПАЦИЕНТОВ С ДИАГНОЗОМ ЦЕЛИАКИЯ**

**Бурнацева А.А., Хмелевская А.В., Газзаева А.А., Гусалова М.И., Караева И.Т.**

Северо-Осетинский государственный университет имени Коста Левановича Хетагурова, г. Владикавказ, Российская Федерация

**Аннотация.** Исследовано влияние ферментов с амилолитической активностью на степень гидролиза муки из белого зерна кукурузы с целью повышения качества безглютенового хлеба для специального питания. Гидролизовали крахмал с помощью грибной  $\alpha$ -амилазы и глюкоамилазы в количестве 0,005 % и 0,03 % к массе муки соответственно. В результате количество сахаров увеличилось до 5,0 % - 5,5 %. Оптимальное значение pH 4,7 для действия ферментов устанавливали добавлением 0,065 % лимонной кислоты. Гидролизу подвергали 50 % муки из зерна белой кукурузы от общего количества, влажность гидролизата 65%. Помимо моно- и дисахаридов, в гидролизате накапливалось 3,5 % на СВ декстринов, из них – 1,3 % - ахро- и мальтодекстрины, снижающие степень черствения хлеба.

**Ключевые слова.** Целиакия, хлеб, мука из зерна белой кукурузы, крахмал, гидролиз,  $\alpha$ -амилаза, глюкоамилаза.

## **EFFECT OF ENZYMATIC MODIFICATION OF WHITE CORN FLOUR STARCH ON THE QUALITY OF BREAD FOR PATIENTS DIAGNOSED WITH CELIAC DISEASE**

**Burnatseva A.A., Khmelevskaya A.V., Gazzaeva A.A., Gusalova M.I., Karaeva I.T.**

North Ossetian State University, Vladikavkaz, Russian Federation

**Abstract.** The effect of enzymes with amylolytic activity on the degree of hydrolysis of white corn flour in order to improve the quality of gluten-free bread for special nutrition was studied. Starch was hydrolyzed using mushroom  $\alpha$ -amylase and glucoamylase in an amount of 0.005 % and 0.03 % by weight of flour, respectively. As a result, the number of sugars increased to 5.0 % - 5.5 %. The optimal pH value of 4.7 for the action of enzymes was set by adding 0.065 % citric acid. Hydrolysis was subjected to 50 % of white corn flour from the total amount, the humidity of the hydrolyzate was 65%. In addition to mono-and disaccharides, the hydrolysate accumulated 3.5 % on THE basis of dextrans, of which-1.3 % - achro-and maltodextrans, reducing the degree of stale bread.

**Key words.** Celiac disease, bread, white corn flour, starch, hydrolysis,  $\alpha$ -amylase, glucoamylase.

Введение. Использование специальных продуктов питания, среди которых определенная роль отводится продуктам для категории людей с заболеваниями, связанными с непереносимостью некоторых компонентов муки (целиакия, диабет и др.), является одним из эффективных путей коррекции и профилактики различных заболеваний [1].

Целиакия является прогрессирующим аутоиммунным недугом, который распространен среди приблизительно 1,0 % населения стран Европейского содружества, России, вызванный непереносимостью глютена [2]. Этим термином объединяют проламины пшеницы – глиадин, ржи – секалин и ячменя – гордеин, так как они характеризуются высоким содержанием пролина и глутамина в структуре белковой молекулы. Потребление глютенсодержащих продуктов больными целиакией приводит к атрофии и повреждению ворсинок кишечника. В результате чего они вынуждены пожизненно придерживаться безглютеновой диеты.

В Российской Федерации производство «gluten-free» продуктов недостаточное, значительная часть их завозится из-за рубежа [3]. В связи с чем, актуальной является задача производства мучных изделий из безглютеновых видов растительного сырья. Кукурузная мука является альтернативным видом муки по отношению к глютенсодержащим пшеничной, ржаной и ячменной муке и может использоваться для производства «gluten-free» мучных изделий., глобулин – 5,0-6,0, проламин (зеин) – 40,0-55,0, глютелин (зеинин) – 30,0-45,0. Зеин кукурузы имеет молекулярную массу 51000. Имеются данные о том, что наружные слои эндосперма содержат больше белка, чем внутренние и роговидный слой эндосперма также богаче белком, чем мучнистый.

Вместе с тем, зеин кукурузной муки не способен формировать клейковидный каркас при приготовлении теста, что отражается отрицательным образом на структурно-механических характеристиках полуфабрикатов и готовых изделий. Кроме того, активность собственных амилолитических ферментов кукурузной муки низкая [4]. Поэтому проблема поиска новых путей использования кукурузной муки для улучшения качества безглютеновых видов хлеба является актуальной.

Из анализа литературных источников известно о применении различных природных добавок при производстве хлеба из безклейковинных видов муки: гидроколлоидов (ксантан, гуаровая камедь, модифицированный крахмал), эмульгаторов (глицерин, лецитин и др.) и некоторых ферментов (папаин, субтилизин и др.) [5]. Использование методов, которые позволяют модифицировать химические компоненты безглютеновой муки с помощью ферментов, является актуальным направлением в технологии производства мучных изделий для больных целиакией.

Кукурузная мука является перспективным видом сырья для модификации, так как характеризуется высоким содержанием полисахаридов – 80,0 %, в то время как содержание сахаридов всего 0,9 %, кроме того – низкая активность  $\alpha$ - и  $\beta$ -амилаз. Поэтому, улучшить качество безглютенового хлеба из кукурузной муки возможно путем использования ее ферментативной модификации с применением ферментов, обладающих амилолитической активностью.

Цель исследований заключалась в изучении ферментативной модификации крахмала муки из зерна белой кукурузы с помощью ферментов, обладающих амилолитической активностью с последующим накоплением моно- и дисахаридов, необходимых в технологии производства безглютенового хлеба.

Материал и методы исследований. В ходе проведения исследований необходимо было определить количество образующихся сахаров и декстринов, изменение газообразующей способности муки, титруемой кислотности, а также изменение степени черствения безглютенового хлеба из муки белой кукурузы, подвергнутой ферментативной модификации.

В ходе проводимых исследований использовали цельнозерновую муку, полученную из белозерной кукурузы, препарат грибной  $\alpha$ -амилазы (5000SKB/г, оптимальные pH 4,7 - 5,8 и температура 40-50°C) и препарат глюкоамилазы (500 AMG/г, оптимальные pH 3,0-5,5 и температура 40-64°C). Применяемые в ходе исследований дрожжи хлебопекарные прессованные, соль пищевая, лимонная кислота соответствовали требованиям действующей нормативно - технической документации. Оптимальными для действия двух ферментов были выбраны следующие значения: pH 4,7 и температура 40°C. Для получения нужного значения pH к массе кукурузной муки добавляли лимонную кислоту в количестве 0,065%. Ферментные препараты предварительно разводили в воде в соотношении 1:10 при температуре 25-30°C. Готовили полуфабрикаты - гидролизаты влажностью 53%, 56%, 65%, 78% - путем смешивания белой кукурузной муки, лимонной кислоты, подготовленных ферментов и воды и выдерживали их в термостате при 40°C до накопления сахаридов в количестве 5,0-5,5%. Образовавшееся количество сахаридов (в пересчете на мальтозу) и содержание декстринов определяли по общепринятым методикам [6].

Тесто для безглютенового хлеба готовили на основе полуфабриката - гидролизата влажностью 53%, путем добавления суспензии прессованных дрожжей (3% к массе муки), солевого раствора плотностью 1,2 г/см<sup>3</sup> (1,2 % к массе муки). Формовали заготовки по 250г, которые выдерживали 45 минут при температуре 32°C и относительной влажности воздуха 85%. Процесс выпечки осуществляли при температуре 180°C в течение 25-30 минут. Полученный безглютеновый хлеб охлаждали при температуре 23-27°C в течение 30 минут.

Микробиологические процессы в тесте изучали по изменению газообразующей способности на приборе АГ - 1 волюметрическим методом за период созревания теста. Готовые образцы хлеба анализировали не раньше, чем через 3 часа после выпечки. Изменение степени черствения хлеба проводили с помощью пенетрометра АП - 4/1 по деформации мякиша, а также по крошковатости мякиша. Определяли также пористость мякиша известным методом [7].

Результаты и их обсуждение. Одна из главных проблем при производстве безглютенового хлеба, в т.ч. из кукурузной муки – структурно-механические показатели. Кроме того, низкая активность собственных амилолитических ферментов кукурузной муки приводит к тому, что в тесте не хватает сбраживаемых сахаров для его созревания. Как результат, маленький объем безглютенового хлеба с плотным мякишем, который быстро черствеет.

При проведении исследований использовали грибную  $\alpha$ -амилазу «Альфамальт VC 5000 SN» с активностью 5000 SKB/г и глюкоамилазу «Глюкомил» - 500 AMG/г. Известно, что  $\alpha$ -амилаза гидролизует  $\alpha$ -1,4-гликозидные связи в молекуле амилозы, в результате образуются мальтоза и декстрины. В отличие от  $\alpha$ -амилазы, глюкоамилаза гидролизует  $\alpha$ -1,6-гликозидные связи амилопектина, а также декстрины с образованием глюкозы.

Дозировка ферментов зависит от их активности. Рекомендуемые производителем ферментов дозировки составляют 5 - 10 г  $\alpha$ -амилазы «Альфамальт VC 5000 SN» на 100 кг муки. Однако, эти рекомендации не распространяются на кукурузную муку, крахмал которой отличается от крахмала пшеничной муки, а, следовательно, и скорость ферментативных преобразований будет различна. Так, размер зерен кукурузного крахмала составляет 5 - 25 мкм, а пшеничного - 20 - 35 мкм. Поэтому при проведении исследований остановились на максимальной по рекомендациям дозировке  $\alpha$ -амилазы 0,01 % к массе муки. Бездрожжевое тесто из кукурузной муки готовили влажностью 53,0 %, влажность контрольного образца из пшеничной муки составила 45,0 %. Увеличение влажности кукурузного теста связано с большей влаго-абсорбционной емкостью муки из зерна белой кукурузы, которая имеет более мелкий размер зерен крахмала и более высокое содержание амилопектина (70 %), в связи с чем ее гранулы крахмала более гигроскопичны.

Продолжительность ферментативного гидролиза составляла 3 часа при температуре 40 °С. Установлено, что за 60 мин в результате гидролиза образовалось 3,5 % на СВ (в пересчете на мальтозу) сахаридов, за 120 мин – 5,5 % и за 180 мин – 6,5 %, что превышает данные по гидролизу теста из пшеничной муки на 15,2 %, на 27,3 % и на 31,0 % соответственно.

Известно, что для выработки хлеба по классической технологии, необходимо порядка 5,0-5,5% сахаров [5]. На следующем этапе определяли накопление моно - и дисахаридов при дозировках препарата  $\alpha$  - амилазы в количестве 0,002%, 0,005% и 0,007% к массе муки из зерна белой кукурузы. Установлено, что за 3 часа ферментации в гидролизате накапливается 4,5% моно - и дисахаридов при дозировке фермента 0,005%. Следовательно, использование только одной грибной  $\alpha$  - амилазы неэффективно из-за значительной продолжительности гидролиза. В связи с чем, применяли дополнительно препарат глюкоамилаза, рекомендуемая дозировка которого составляет 0,75 на 1кг крахмала.

Использовали дозировки глюкоамилазы 0,03-0,05% к массе муки из зерна белой кукурузы при замесе бездрожжевого теста, которое подвергали ферментации в течение 3 часов при температуре 40°С. Установлено, что дозировка глюкоамилазы в количестве 0,03% позволяет получить за 3 часа брожения 4,5% на СВ сахаридов (в пересчете на мальтозу). Следовательно, применение грибной  $\alpha$  - амилазы в количестве 0,005% и глюкоамилазы в количестве 0,03% к массе муки создадут синергический эффект при ферментативном гидролизе, что будет способствовать интенсификации процесса.

Так как, рН кукурузной муки 5,5, то для получения оптимального для действия ферментов значения рН 4,7, вносили в смесь 0,065% лимонной кислоты к массе муки.

Существует непосредственная зависимость между влажностью среды и активностью ферментов, в связи, с чем готовили полуфабрикаты различной влажности, которые в дальнейшем подвергали ферментативному гидролизу (табл.1). Влажность полуфабриката определялась исходя из внесения 100,75,50 и 25% муки из зерна белой кукурузы от общерецептурного значения.

Таблица 1 -Накопление сахаридов в гидролизате из кукурузной муки

Продолжительность гидролиза, мин	Содержание сахаридов (в пересчете на мальтозу), % на СВ							
	С грибной $\alpha$ - амилазой				С глюкоамилазой			
	Количество муки в гидролизате, % от общего количества							
	100	75	50	25	100	75	50	25
	Влажность, %							
	53	56	65	78	53	56	65	78
0	0,39	0,30	0,19	0,10	0,39	0,30	0,19	0,10
30	0,88	0,93	0,96	0,94	1,10	1,86	2,62	2,30
60	1,48	1,86	2,24	2,01	2,52	2,81	3,10	2,96
90	1,70	2,32	2,93	2,69	3,03	3,74	4,50	4,18
120*	1,93	2,83	3,78	3,32	4,20	5,04	5,88 *	5,34
150	2,38	3,30	4,23	3,78	4,84	5,64	6,48	6,07
180	3,09	3,78	4,58	4,18	5,09	6,01	6,93	6,43

Как видно из табл. 1, с учетом синергического эффекта оптимальным следует считать следующий вариант: продолжительность гидролиза 120 минут, влажность полуфабриката 65%, количество муки в гидролизате 50% от общего количества кукурузной муки в тесте. При этом в гидролизате накапливается 5,88% на СВ сахаридов.

Помимо моно-и дисахаридов в гидролизате накапливаются декстрины. Их избыточное количество в тесте, приводит к липкости мякиша, эластичность мякиша ухудшается. Поэтому, определяли накопление декстринов в гидролизате в течение 2 часов (рис. 1).

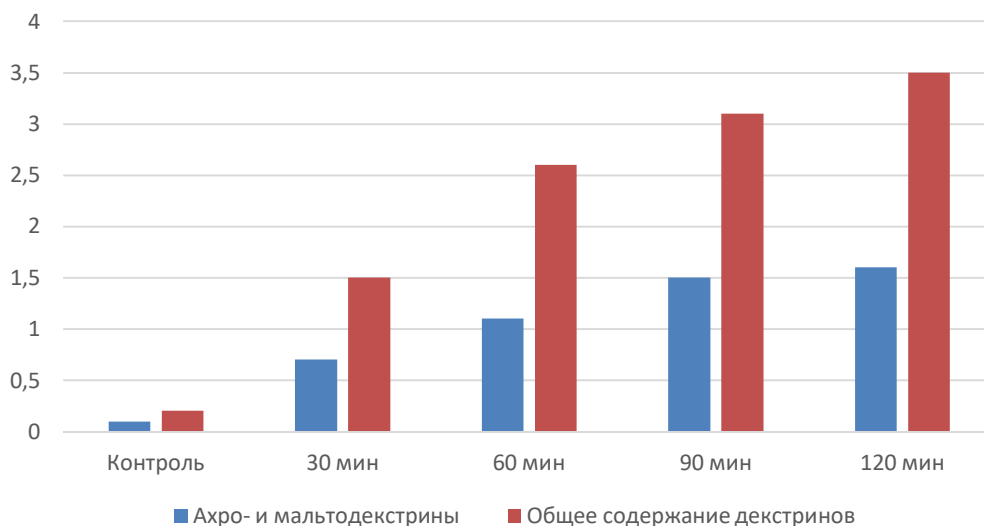


Рисунок 1 - Накопление декстринов в процессе ферментативного гидролиза полуфабриката из кукурузной муки

Как видно, содержание декстринов в гидролизате на 91,4 % больше, чем в контроле. Содержание низкомолекулярных декстринов, таких как ахро- и мальтодекстрины, составило за 120 мин гидролиза 1,5 % а СВ, что на 93,3 % больше, чем в контроле. Известно, что низкомолекулярные декстрины снижают степень черствения хлеба.

Изучали изменение хода микробиологических процессов в тесте влажностью 53 % с использованием гидролизата, полученного при оптимальных значениях (рис. 2).

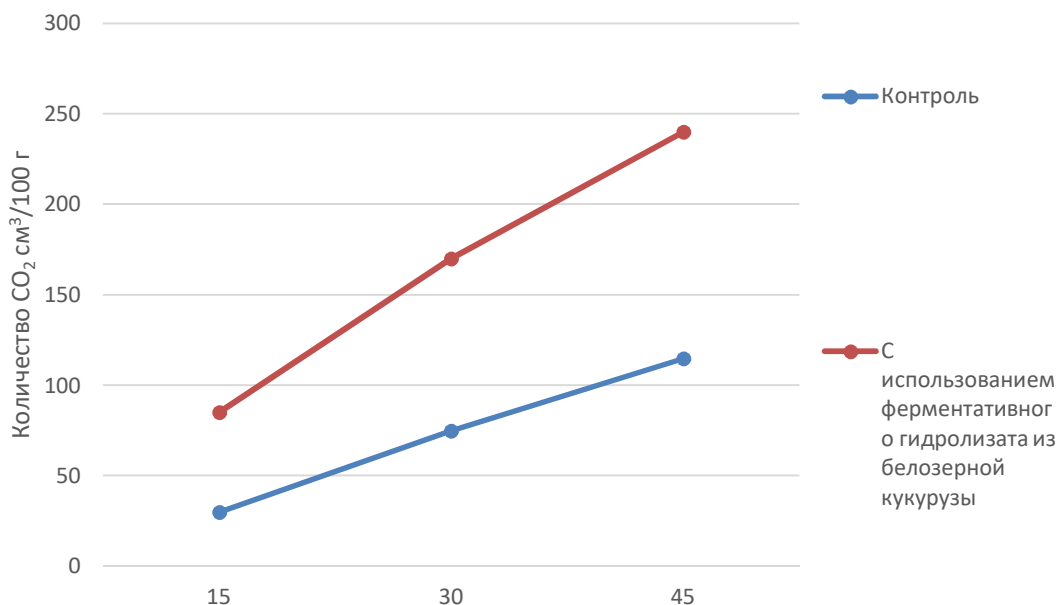


Рисунок 2 - Изменение газообразующей способности теста

Как видно, в опытном образце количество выделившегося углекислого газа на 58,3 % больше, чем в контрольном за 45 мин, что свидетельствует о большей интенсивности микробиологических процессов, так как дрожжевые клетки, при применении гидролизата, получили дополнительный источник сбраживаемых сахаров.

В результате ферментативной модификации крахмала муки из зерна белой кукурузы и накопления простых сахаров, улучшились структура мякиша и объем готовых изделий (табл. 2).

Анализ показателей качества готовых изделий показал положительный эффект применения гидролизата, полученного ферментативной обработкой крахмала муки из зерна белой кукурузы: увеличился на 13,9 % удельный объем, пористость – на 14,8 %, снизилась степень черствения хлеба за 24 часа на 41,4 %.

Таблица 2 – Качественные характеристики хлеба из белой кукурузной муки

Показатели	Значение для образца хлеба	
	без гидролизата	с гидролизатом
Удельный объем, см <sup>3</sup> /г	1,22	1,39
Кислотность, град.	1,50	2,80
Пористость, %	31,7	36,4
Крошковатость, % через		
3 ч	3,00	1,80
24 ч	7,45	3,10
Общая деформация мякиша, ед. пенетromетра, через		
3 ч	43	54
24 ч	29	41

**Выводы.** Проведены исследования по изучению влияния ферментов с амилолитической активностью на степень гидролиза муки из белого зерна кукурузы с целью повышения качества безглютенового хлеба для больных целиакией. Использование дозировки грибной  $\alpha$ -амилазы 0,005 % и глюкоамилазы 0,03 % к массе белой кукурузной муки позволяет увеличить количество моно- и дисахаридов до 5,0 – 5,5 %, что положительно повлияло на качество готовых изделий: удельный объем увеличился на 13,9 %, степень черствения снизилась на 41,4 %.

#### Список использованных источников

1. Бурнацева А.А. Перспективные направления комплексного использования продуктов переработки кукурузы для производства специализированных продуктов питания / А.А. Бурнацева, А.В. Хмелевская // Актуальные проблемы биологии и экологии. Махачкала: АЛЕФ, 2018. – С. 131-136.
2. Копишинская С. В. Современные представления о целиакии / С. В. Копишинская // Казанский медицинский журнал. – 2016. – т. 97, №1. – С. 101-107.
3. Рынок безглютеновой продукции // Пищевая индустрия. – 2017. - №1 (31). – С. 8-10.
4. Хмелевская А.В. Разработка безглютенового хлеба на основе рационального использования природных ресурсов / А.В. Хмелевская, А.А. Бурнацева, М.И. Гусалова, И.Т. Караева. // International Scientific and Practical Conference "AgroSMART – Smart Solutions for Agriculture". Тюмень: KnELifeSciences, 2019. – С. 31-39.
5. Дробот В.И. Особенности технологического процесса изготовления безбелкового хлеба / В.И. Дробот, А.М. Грищенко, Л.А. Л.А. Михоник // Хлебопекарная и кондитерская промышленность Украины. – 2010. - №6(67). – С.20-22.
6. Петров К. П. Практикум по биохимии пищевого растительного сырья сырья / К. П. Петров. – М.: Пищевая промышленность, - 1978. – 287 с.
7. Пучкова Л.И. Лабораторный практикум по технологии хлебопекарного производства / Л.И. Пучкова. – СПб.: ГИОРД, 2004. – 259 с.

Работа выполнена в рамках инициативной НИР.