

УДК 664.6:621.3.029

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ЗЕРНА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ (ЭМПВЧ)

О.А. Коман, А.Д. Тошев

Рассмотрено преимущество СВЧ-обработки зерна и продуктов его переработки, что способствует уменьшению экономических потерь при переработке микробиологически загрязненного зерна, повышению качественных показателей, обеспечению безопасности потребления зерновых продуктов для здоровья.

Ключевые слова: переработка зерна, обеззараживание, зерновая масса.

Проблема получения хлебопекарной продукции с низкими показателями микробиологической обсемененности в последние годы наблюдается повсеместно. Заболевание хлеба картофельной болезнью и плесневение остаются самыми распространенными видами микробиологической порчи хлебобулочных изделий.

Существенный вред наносит плесневение хлеба, возбудителями которого выступают фитопатогенные грибы; большая часть из них продуцирует метаболиты, токсичные для человека и животных, ухудшающие хлебопекарные свойства зерна и муки.

В основном фитопатогенная микрофлора грибов представлена грибами родов *Penicillium* и *Mucor*. Установлена линейная зависимость между количеством спор грибов в муке и активностью их в процессе хранения в хлебе. По данным ученых Ф.М. Кветного, Р.Д. Поландовой, количество спор в муке составляет от 200 до 1500 КОЕ/г, что вызывает плесневение хлеба на третьи сутки после выпечки [3].

Заболевание хлеба картофельной (тягучей) болезнью вызвано развитием в хлебе споровых бактерий рода *Bacillus subtilis* (картофельная палочка), *Bacillus mesentericus* (сенная палочка). Содержание микроорганизмов в муке зависит от их исходного количества в зерновой массе, условий хранения зерна, способов очистки, выхода и сорта муки [2, 4].

Любая зерновая масса содержит сапрофитную микрофлору, которая представлена двумя экологическими группами: полевая микрофлора и микрофлора хранения. Каждая из групп влияет на микробиологические процессы, происходящие в зерновых массах при хранении, изменяя качество и влияя на качественные показатели продуктов его переработки. По данным литературных источников и проведенных экспериментальных данных, на зерне насчитывается от 20 до 2500 тыс. микроорганизмов на один грамм зерна. Наличие высокого уровня содержания спорообразую-

ших бактерий способствует последующему загрязнению муки возбудителями картофельной болезни и увеличивают риск возникновения этого заболевания хлеба.

Исследования различных помольных партий муки показали, что уровень зараженности муки бактериями рода *Bacillus* изменяется от 500 до 2000 КОЕ/г и таким образом превышает предельно-допустимые нормы в 2,5–10 раз (СанПин 2.3.21078-01). В соответствии с Техническим регламентом Таможенного союза 021/2011 для муки пшеничной, используемой на выпечку пшеничного хлеба, не допускается зараженность возбудителями картофельной болезни хлеба через 36 часов после лабораторной выпечки [2]. Инфицированная мука не может быть использована для производства хлеба и хлебобулочных изделий.

Исключительная устойчивость бактерий рода *Bacillus* по отношению к высоким температурам приводит к тому, что споры сохраняют жизнеспособность в процессе выпечки хлеба. Температура внутренней части выпекаемого теста не превышает 100–102 °С. Сохранившиеся в хлебе споры при остывании его и при наличии благоприятных условий (температура 33–42 °С, кислотность менее рН 5 град.) начинают развиваться, вызывая в мякише хлеба биохимические изменения. В результате ухудшается товарный вид продукта, хлеб представляет опасность для здоровья человека ввиду накопления в нем бактериальных токсинов и условно-патогенных микроорганизмов [2, 5].

Для предупреждения развития бактерий рода *Bacillus* используют химические, физические и биологические способы ингибирования [1].

Химические методы предупреждения микробиологической порчи хлеба предусматривают применение органических кислот: сорбиновой, пропионовой, уксусной, сорбатов, пропионатов и ацетатов, антибиотика (низин), позволяющих задерживать плесневение и появление болезни до 10–20 суток. При этом остаточное содержание кислот и солей органических кислот требует существенных изменений в технологическом процессе производства хлеба, а также влияет на вкусовые качества продукта, способствует образованию устойчивых форм микроорганизмов. Широкое применение в хлебопекарной отрасли находит использование комплексных хлебопекарных улучшителей, в состав которых входят консерванты, ферменты, активаторы процессов брожения теста. Применение пищевых добавок, консервантов не позволяет получить экологически чистый продукт.

Биологические способы предупреждения заболеваемости хлеба основаны на культивировании в мучных средах микроорганизмов с образованием органических кислот, антибиотиков и других протектов. Максимально ингибирующим эффектом обладают пропионовая закваска, концентрированные молочнокислые закваски, мезофильные закваски.

Процесс приготовления пропионовой, молочнокислой и мезофильной заквасок достаточно продолжителен и состоит из двух циклов: разводочного и производственного.

Продолжительность разводочного цикла – не менее пятидесяти часов. При этом он требует строгого контроля технологических параметров и санитарного режима производства. Производственный цикл требует дополнительного оборудования и соблюдения определенного ритма отбора закваски на замес теста. На крупных хлебопекарных предприятиях, работающих в непрерывном режиме, используется оборудование, позволяющее контролировать технологические параметры на каждой стадии технологического процесса, при необходимости охлаждать полуфабрикаты. На малых предприятиях внедрение такого способа практически невозможно.

Рассмотренные биологические методы предупреждения заболеваемости хлеба имеют общие недостатки: достаточно сложную технологию и оснащенность микробиологическими лабораториями, значительные затраты на приобретение дополнительного оборудования, длительное время приготовления.

Проблема заболевания хлеба усугубляется еще и тем, что происходит адаптация спорных бактерий к ранее разработанным способам и препаратам по их уничтожению, а применение пищевых добавок, консервантов не позволяет получить экологически чистый хлеб, соответствующий по качеству требованиям государственного стандарта.

Безопасными и технологичными являются электрофизические методы. Совмещение очистки зерна при подготовке к помолу и обработка муки на мукомольных предприятиях либо в хлебопекарном производстве современным и эффективным СВЧ-нагревом позволяет снизить бактериальную обсемененность муки и зернопродуктов, как следствие – и готового хлеба. Этот метод является комбинированным и объединяет воздействие двух полей: теплового и электромагнитного.

Диэлектрический нагрев основан на смещении зарядов и связанных с ними молекул при воздействии на вещество (продукт) переменного электромагнитного поля. На перемещение заряженных частиц затрачивается работа, которая из-за наличия внутреннего межмолекулярного трения увеличивает температуру объекта. Диэлектрические потери при частотах, используемых для тепловой обработки пищевых продуктов, обусловлены в основном наличием полярных молекул воды.

Хлебопродукты, содержащие до 14–15 % влаги, можно считать полярным диэлектриком. Основным фактором, определяющим темп возрастания температуры при диэлектрическом нагреве, является удельная мощность ($P_{уд}$), устанавливаемая по отношению колебательной мощности СВЧ-генератора к объему обрабатываемого изделия.

Тепловая стерилизация – процесс, вследствие которого происходит коагуляция белковых веществ, входящих в состав протоплазмы клеток

микроорганизмов. Высокая устойчивость к тепловому воздействию наблюдается у спор бактерий, в том числе картофельной палочки, выдерживающих температуру до 130 °С при конвективном нагреве.

В муке бактерии рода *Bacillus* находятся в споровой форме. Влага, содержащаяся в зернопродуктах, и технологические параметры подготовки сырья к производству позволяют создать благоприятные условия прорастания спор. В случае СВЧ-нагрева возможно провести прогревание спор мгновенно и инициировать их прорастание. При этом спора теряет свою устойчивость и в связи с тем, что этот процесс необратим, клетка разрушается.

Бактериальная клетка представителей рода *Bacillus* окружена капсулой, содержащей до 98 % воды (Е.Н. Мишустин) [4]. Цитоплазматическая мембрана клетки служит главным барьером между цитоплазмой и окружающей внешней средой. Составной частью мембраны являются липиды (15...50 % от сухой массы). Около 50 % поверхности цитоплазматической мембраны составляют мембранные белки, погруженные в липидный биослой, некоторые из них находятся на поверхности. При нарушении цитоплазматической мембраны бактериальная клетка погибает.

Молекула воды является дипольной и играет основную роль в процессе поглощения энергии при диэлектрическом нагреве пищевых продуктов. Жиры, в свою очередь, обладают высокой теплопроводностью. Поэтому при воздействии СВЧ-поля на бактериальную клетку повышается первоначально внутренняя энергия капсулы бактерии, а при дальнейшем повышении температуры становится уязвим липидный слой цитоплазматической мембраны. Высокая теплопроводность липидов усиливает коагуляцию белка, что и приводит к гибели бактериальной клетки. Влажность муки, зерна и отрубей позволяет регулировать степень обработки продукта в СВЧ-поле.

Основу исследования составляла методика активного планирования эксперимента, позволяющая установить причинно-следственные связи воздействия СВЧ-энергии на зернопродукты и показатели эффективности. В табл. представлена биологическая эффективность воздействия ЭМП СВЧ на зерновые продукты.

Таблица
Биологическая эффективность воздействия ЭМП СВЧ
на зерновые продукты

Объект исследования	Снижение зараженности зерновых продуктов, %			
	p. <i>Bacillus</i>	p. <i>Mucor</i>	p. <i>Penicillium</i>	ОМЧ
Мука пшеничная хлебопекарная	88–94	87–88	100	97–98
Дробленое зерно	86–87	100	100	98–99
Отруби пищевые	80–90	100	100	96–97

Из полученных исследований следует, что бактерии рода *Bacillus* чрезвычайно стабильны к воздействию температуры [6]. СВЧ-нагрев зернопродуктов на высоких уровнях мощности позволил достичь снижения концентрации микроорганизмов. Воздействие ЭМП СВЧ в данном случае направлено на инициацию спор к прорастанию, повышение внутренней энергии основной массы бактериальной клетки, которое приводит к разрушению ее капсулы и цитоплазматической мембраны, значит, к ее разрушению. Содержание спор в муке и зерновых продуктах остается на предельно допустимом уровне (100–200КОЕ/г) [5, 6].

Низкий уровень мощности оказывает стимулирующее влияние на прорастание спор, однако активного роста бактерий при этом не наблюдается. Соблюдение в хлебобулочных изделиях определенных уровней кислотности, влажности, температурных параметров охлаждения и хранения хлеба не дает возможности для дальнейшего развития возбудителей.

Стимулирующее действие СВЧ-нагрева оказывает аналогичное влияние на микрофлору грибной этиологии. Воздействие низкой температурой (35...45 °С) активизирует процесс прорастания спор грибов, находящихся в периоде покоя. При максимальной скорости нагрева происходит денатурация белковой составляющей клетки грибов и их разрушение.

Жесткие режимы обработки (крайние верхние точки) дают наибольший эффект обеззараживания от патогенной микрофлоры, но значительно снижают хлебопекарные свойства муки. Учитывая, что основной задачей исследования наряду со снижением зараженности является сохранение хлебопекарных свойств муки, использование высоких режимных параметров обеззараживания не представляется возможным. Высокую скорость нагрева рекомендуется использовать только для обработки муки со слабой клейковиной (II–III группы) с целью улучшения ее качества.

Исследования различных режимов обработки хлебопекарной муки подтверждают факт, что полного разрушения клейковины не выявлено. Наиболее значительным изменением, наблюдаемым в результате воздействия высокочастотной обработки муки и дробленого зерна, является укрепление клейковины и повышение ее водопоглонительной способности.

Одновременное повышение активности амилалитических и протеолитических ферментов и водопоглонительной способности клейковины позволяет в процессе брожения теста стабилизировать гидролиз сахаров и белков, и таким образом получить хлеб с хорошо развитой пористостью с увеличенным объемным выходом.

Кроме этого, при использовании в технологическом процессе производства СВЧ-обработки зерновых продуктов не требуется применение каких-либо дополнительных методов обеззараживания.

Определены эффективные режимы воздействия СВЧ-поля на продукты из зерна, изменяющие также их биохимический состав:

- кислотность уменьшается в 1,1...1,2 раза;
- в дробленном зерне и муке активность амилалитических и протеолитических ферментов повышается;
- происходит укрепление клейковины. Повышается группа качества клейковины, при этом мука переводится из II группы (удовлетворительная, слабая) в I группу (хорошая);
- хлебопекарные качества дробленного зерна и муки улучшаются.

Использование ЭМП СВЧ в технологии переработки продуктов из зерна позволяет получить экологически чистое сырье и готовую продукцию, что в очередной раз доказывает преимущество СВЧ-обработки зерна и продуктов его переработки. Внедрение разработанных методов будет способствовать уменьшению экономических потерь при переработке микробиологически загрязненного зерна, повышению качественных показателей, обеспечению безопасности потребления зерновых продуктов для здоровья нашего населения.

Библиографический список

1. Ауэрман, Л.Я. Технология хлебопекарного производства / Л.Я. Ауэрман; под общ. ред. Л.И. Пучковой. – 9-е изд., и доп. – СПб.: Изд. «Профессия», 2002. – 416 с.
2. Афанасьева, О.В. Микробиология хлебопекарного производства / О.В. Афанасьева; С.–Петербург. Фил. Гос. НИИ хлебопекарной пром-ти (СПб. Ф ГОСНИИХП). – СПб.: Береста, 2003. – 221 с.
3. Микробиологический контроль на хлебопекарных предприятиях / сост.: Г.Г. Юсупова, О.А. Сидорова, О.Л. Тарутина и др. – М.: ГосНИИХП, Московская типография. – 2008. – 334 с.
4. Мишустин, Е.Н. Микробы и зерно / Е.Н. Мишустин, Л.А. Трисвятский. – М.: Изд-во Академии наук СССР, 1963. – 292 с.
5. Сборник современных технологий хлебобулочных изделий / под ред. А.П. Косована. – М.: РАСХН, 2008. – 268 с.
6. Технический регламент таможенного союза 021/2011 (ТР ТС 021/2011) «О безопасности пищевой продукции».
7. Юсупова, Г.Г. Особенности влияния электромагнитного поля СВЧ на развитие микробов зерна и продуктов его переработки / Г.Г. Юсупова, О.А. Корман, В.Н. Цугленок. – Красноярск: Красноярский гос. аграр. Ун-т., 2005. – 108 с.
8. Тошев, А.Д. Использование СВЧ-энергии в производстве мучных кондитерских изделий / А.Д. Тошев, А.А. Рушиц, Б.М. Кисимов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2012. – 110 с.

[К содержанию](#)