

Н.А. Шмалько

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БЕЛКОВО-ПРОТЕИНАЗНОГО КОМПЛЕКСА ХЛЕБОПЕКАРНОЙ ПШЕНИЧНОЙ И АМАРАНТОВОЙ МУКИ

Работа посвящена проведению сравнительного анализа белково-протеиназного комплекса хлебопекарной пшеничной и амарантовой муки с целью определения перспектив использования последней в качестве замены традиционной муки в хлебопекарном производстве. Результаты проведенного анализа свидетельствуют о наличии в сортовой амарантовой муке специфического состава белковых веществ, проявляющих высокие функциональные свойства, что обуславливает целесообразность ее использования взамен части хлебопекарной пшеничной муки при выработке хлебобулочных изделий.

Белково-протеиназный комплекс, фракционный состав белка, функциональные свойства, амарантовая мука.

Введение

Белково-протеиназный комплекс хлебопекарной пшеничной муки включает белковые вещества, протеолитические ферменты, активаторы и ингибиторы протеолитических ферментов. Так, в зерне пшеницы может содержаться от 7 до 26 % белка (в среднем около 10–12 %), в состав которого входят собственные белки – протеины и в небольшом количестве протеиды – соединения белков с веществами небелковой природы.

Белки зерна пшеницы по способности растворяться в различных растворителях подразделяют на альбумины (растворимые в воде), глобулины (растворимые в водных растворах солей), проламины – глиадин (растворимые в 60–80 % растворе этилового спирта) и глютелины – глютен (растворимые в 0,1–0,2%-ных растворах щелочей). Альбумины и глобулины составляют 13–22 % от общего количества белка. Основную часть белковых веществ составляют глиадин и глютен (соответственно 40–50 и 34–42 % от общего содержания белка в зерне пшеницы). Белковые вещества муки во время замеса и последующей отлежки или брожения теста способны интенсивно набухать. При этом нерастворимые в воде фракции белкового вещества муки (глиадиновая и глютелиновая) образуют упругую, пластичную, способную растягиваться массу, называемую клейковиной. Глютен придает клейковине упругие свойства, а глиадин обуславливает растяжимость и связность, при этом ни глютен, ни глиадин в отдельности не обладают характерными реологическими свойствами клейковины, только взаимодействие этих фракций в едином комплексе создает клейковинный белок.

Предполагают, что полипептидные цепи глиадина в разных местах и разными связями соединяются с полимеризованными молекулами глютелиновой фракции, объединяя их в сложную трехмерную сетку переплетающихся полипептидных цепей (Вакар А., 1975). В структуре такой сетки значительную роль, помимо ковалентных дисульфидных связей, играют нековалентные взаимодействия: водородные, электростатические (ионные) связи и гидрофобное взаимодействие. Всем им отводится важная роль при объяснении различий в реологичес-

ких свойствах крепкой и слабой клейковины (растяжимости, связности, упругости, эластичности).

Реологические свойства пшеничной клейковины и теста обусловлены тем, что линейная структура глютелина обеспечивает сильное раскручивание достаточно гибких полипептидных цепей и постоянное перемещение их относительно друг друга. Свойство эластичности возникает вследствие тенденции растянутых, незакрученных полипептидных цепей возвращаться к их прежней конформации. При этом крепкая клейковина отличается от слабой клейковины меньшей растворимостью в разных растворителях, большим количеством водородных и дисульфидных связей.

Функциональные свойства биополимеров являются важными физико-химическими характеристиками, обуславливающими определенную структуру, технологические и потребительские свойства пищевых продуктов (Толстогузов В., 1987). К наиболее важным функциональным свойствам относятся растворимость, водо- и жиросвязывающая способность, способность стабилизировать дисперсные системы (эмульсии, пены, суспензии). Белки с высокими функциональными свойствами хорошо растворяются в воде, образуют прочные гели, стабильные эмульсии и пены; белки с низкими функциональными свойствами не набухают в воде, не способны образовывать вязкие, эластичные массы, гели, не стабилизируют пены и эмульсии. Так, белки пшеничной клейковины, несмотря на низкую растворимость в воде (не более 2–5 %), образуют структурные коллоидные системы – гели, которые выдерживают нагревание, замораживание и сушку [1].

Ферментный комплекс пшеничной муки содержит протеиназы, относящиеся к протеолитическим ферментам типа папаиназ и расщепляющие белки по пептидным связям. Для протеиназ этого типа характерна способность активироваться соединениями восстанавливающего действия, в частности соединениями, содержащими сульфгидрильную группу – SH (цистеин, глутатион), и инактивироваться веществами окислительного действия (KBrO₃, KJO₃, H₂O₂, кислород воздуха и др.). Протеиназы при действии на клейковину и тесто сильно их разжижают, понижают упругость и увеличивают текучесть за счет разрыва пептидной связи [2].

Специфические свойства белка амаранта обусловлены наличием большей доли в его составе (до 60–80 %) легкорастворимых альбуминов и глобулинов. Подобный фракционный состав белка амаранта является следствием функционирования уникальной белоксинтезирующей системы, которая в достаточном количестве снабжается аспартамом и другими протеиногенными аминокислотами [3]. Протеиназный комплекс зерна амаранта характеризуется наличием двух групп протеолитических ферментов – протеаз, катализирующих гидролиз пептидной связи в молекулах белков и пептидов. Первая группа ферментов извлекается дистиллированной водой, вторая группа – 0,35%-ным раствором карбоната натрия. В водорастворимой фракции обнаружены четыре типа протеаз, проявляющих максимальную активность при pH 4,25; 5,10; 7,20 и 8,10, в щелочной фракции – пять типов протеаз, наиболее активных при pH 5,65; 6,05; 6,40; 6,75 и 7,50 [4].

Кроме специфических хлебопекарных свойств, белки зерна амаранта отличаются более высокой по сравнению с белками пшеничной клейковины биологической ценностью и усвояемостью, что обуславливает возможность использования продуктов переработки зерна амаранта в хлебопечении в качестве белковых обогатителей для выработки функциональных хлебобулочных изделий [5]. С учетом появления современной технологии помола зерна амаранта в сортовую амарантовую муку, обладающую высокой пищевой и биологической ценностью [6], целесообразным представляется проведение сравнительного анализа ее белково-протеиназного комплекса с пшеничной мукой с целью определения целесообразности применения в хлебопекарном производстве.

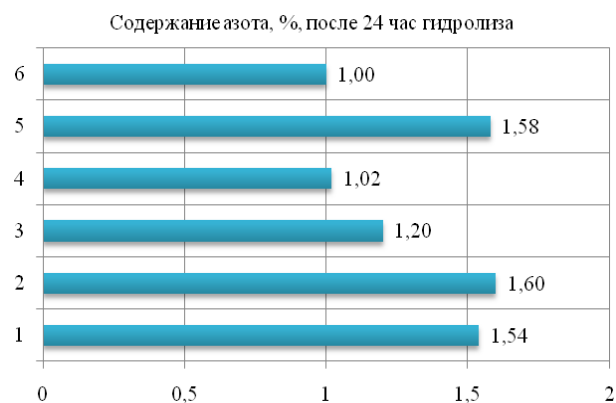
Объекты и методы исследований

Объектами исследования явились мука пшеничная хлебопекарная высшего и первого сорта, общего назначения (тип М75-23), мука сортовая амарантовая (цельносмолотая, белковая, нативная). В объектах исследования определяли содержание водорастворимого азота методом Лоури, растворимость азотсодержащих веществ в слабом растворе уксусной кислоты (0,05 М), фракционный состав белков методом Осборна, массовое распределение белковых фракций методом капиллярного зонального электрофореза, функциональные свойства биополимеров (водо- и жиродерживающая, жироземмулирующая, пенообразующая способность, коэффициент пенообразующей способности, стойкость пены, коэффициент стойкости пены) по методикам ВНИИЖ, суммарную активность протеолитических ферментов путем автолиза водно-мучной суспензии при pH 4,6 и 7,0 (по методу *Покровской Н.Ф., 1971*), активность ингибиторов протеолиза: пепсина по осаждению в 0,3 М ТХУК, трипсина по Трис-буферу pH 7,5, химотрипсина по молочно-ацетатной смеси [5].

Результаты и их обсуждение

Экспериментально установлено, что наибольшее содержание водорастворимого азота среди объектов исследования характерно для амарантовой белковой муки (4,6 %), что в 2,6 раза выше, чем в пшеничной муке высшего сорта, в 1,9 раза выше, чем в пшеничной муке первого сорта, в 1,6 раза выше, чем в амарантовой цельносмолотой муке, в 3,5 раза, чем в амарантовой нативной муке. Степень гидратации белков пшеничной хлебопекарной муки после 24 ч гидролиза резко повышается по сравнению с белками амарантовой муки, за исключением белковой, очевидно, за счет увеличения доли растворимого высокомолекулярного глютенина при взаимодействии противоположно заряженных ионов растворителя (H^+) с поверхностью белковых частиц, заряженных положительно в кислой среде (рис. 1).

Рис. 1. Содержание азота, %, после 24 ч гидролиза в



растворе 0,05 М уксусной кислоты: 1 – мука пшеничная хлебопекарная высшего сорта; 2 – мука пшеничная хлебопекарная первого сорта; 3 – мука пшеничная общего назначения (тип М75-23); 4 – мука амарантовая цельносмолотая; 5 – мука амарантовая белковая; 6 – мука амарантовая нативная

Белки амарантовой цельносмолотой и нативной муки обладают меньшей растворимостью, по-видимому, вследствие приближения pH среды к изоэлектрической точке белка амаранта (5,1–5,5), при которой суммарный заряд на молекуле белка равен нулю и частицы лишены способности отталкиваться за счет электростатических взаимодействий с молекулами растворителя. Высокая степень гидратации белков амарантовой белковой муки по сравнению с другими видами амарантовой муки обусловлена особенностями ее фракционного состава (табл. 1) и различием хроматографических фракций по молекулярному весу (табл. 2).

Фракционный состав объектов исследования по Осборну [3]

Объекты исследования	Содержание белковых фракций, %, на сухое вещество				
	альбумины	глобулины	проламины	глютелины	нерастворимый белок
Мука пшеничная высшего сорта	5,2	12,6	35,6	28,2	8,7
Мука пшеничная первого сорта	13,2	12,7	36,4	29,6	8,1
Амарантовая цельносмолотая мука	50,5	25,9	3,6	15,4	4,5
Амарантовая белковая мука	56,7	17,0	4,9	11,8	3,0
Амарантовая нативная мука	57,0	21,4	7,5	9,1	5,0

Таблица 2

Массовое распределение электрофоретических фракций в белке амарантовой муки

Амарантовая мука	Количество молекулярных форм	Область ОЭП (rf)		
		rf < 0,4	rf 0,4–0,6	rf > 0,6
Цельносмолотая	16	8	2	5
	100,0 %	13,7 %	7,0 %	79,3 %
Белковая	5	–	–	5
	100 %	–	–	100 %
Нативная	7	–	1	6
	100 %	–	62,1 %	37,9 %

Суммарный белок амарантовой цельносмолотой муки представлен 16 молекулярными формами, из них в области быстрой миграции содержатся 5 основных компонентов по мере убывания максимального молекулярного веса: 11-S глобулин (398 кДа), альбумин 2 (300 кДа), 7-S глобулин (166 кДа), альбумин 1 (133,4 кДа), Р-глобулин (30 кДа), проламин (20 кДа). Для белка амарантовой белковой муки характерно содержание 5 молекулярных форм, из них максимальный удельный вес приходится на фракцию альбумин 2 (61,50 %), для белка сортовой нативной – 7 молекулярных форм также с наибольшей по весу фракцией альбумин 2 (62,07 %). Очевидно, что молекулярная масса фракций белка амаранта значительно меньше глютеина (50–3000 кДа) и сопоставима по большинству компонентов с глиадином (30–45 кДа), поэтому можно предположить, что белок амаранта может участвовать в образовании коагуляционной структуры клейковины в хлебопекарных смесях, составленных из пшеничной и амарантовой муки.

Амарантовая белковая мука содержит в своем составе в основном частицы зародыша и алейронового слоя, поэтому ее белки представлены в основном альбуминами и глобулинами, выполняющими каталитическую функцию при прорастании зерна. Для амарантовой цельносмолотой и нативной муки характерно

большее разнообразие молекулярных форм белка за счет включения частиц эндосперма, большая часть белков приходится на альбумины и глобулины, меньшая часть – на запасные (проламины и глютелины), что не позволяет данным видам сырья сформировать реологическое тело с упруго-вязко-пластическими свойствами. В связи с этим при использовании амарантовой муки в хлебопечении целесообразно осуществлять только частичную замену ей хлебопекарной пшеничной муки.

Изучение функциональных свойств биополимеров объектов исследования (табл. 3) показало, что биополимеры амарантовой муки, особенно нативной, обладают более высокой способностью удерживать воду и жир, чем биополимеры хлебопекарной пшеничной муки. Очевидно, что в амарантовой цельносмолотой и белковой муке с высоким содержанием белка и, соответственно, аминокислот главная роль в адсорбции воды и жира отводится именно им за счет участия их гидрофильных и гидрофобных остатков с молекулами воды или жира с образованием на поверхности мономолекулярного слоя. Содержание преимущественно только крахмала в амарантовой нативной муке обуславливает ее высокую вододерживающую способность за счет интенсивного поглощения влаги крахмальными зёрнами амаранта, отличающимися малыми размерами и высокой удельной поверхностью. Высокая способность белков удерживать воду в хлебоуточных изделиях повышает их выход, удлиняет сроки хранения и улучшает текстуру. Одновременно с этим высокая жиродерживающая способность белков обеспечивает нежную и однородную структуру изделий, исключает их сморщивание и отделение жира, поэтому с этих позиций использование амарантовой муки в качестве обогатителей (филлеров) наряду с традиционными в хлебопекарном и кондитерском производстве (сухой пшеничной клейковиной и яичным порошком) является целесообразным.

Функциональные свойства биополимеров объектов

Наименование объектов исследования	Водоудерживающая способность	Жирудерживающая способность	Жиросульгирующая способность	Пенообразующая способность	Коэффициент пенообразующей способности	Стойкость пены	Коэффициент стойкости пены
Мука пшеничная высшего сорта	64	76	40	50	59	200	1,70
Мука пшеничная первого сорта	66	87	30	29	34	350	3,00
Мука амарантовая цельносомлотая	100	79	35	43	51	233	1,92
Мука амарантовая белковая	210	106	42	50	60	200	1,70
Мука амарантовая нативная	343	99	20	20	24	500	4,20
Пшеничная клейковина	190	120	68	67	–	47	–
Яичный порошок	190	180	32	10	–	–	–

Жиросульгирующая и пенообразующая способности биополимеров амарантовой муки, за исключением нативной, находятся на одном уровне или превосходят хлебопекарную пшеничную муку. Данные свойства белков используются для получения жировых эмульсий и пен за счет присутствия в одной белковой цепи гидрофобных и гидрофильных группировок, обеспечивающих распределение молекул определенным образом на границе раздела фаз вода–масло и вода–газ. Ориентация гидрофильных групп белка к воде, а гидрофобных – к маслу на границе раздела фаз в виде прочного адсорбционного слоя снижает поверхностное натяжение в дисперсных системах, делает их агрегативно устойчивыми и одновременно вязкими.

Эмульгирующая способность белков определяет их возможность формировать жировые эмульсии. В данном случае белки амаранта могут проявлять свойства поверхностно-активных веществ неионогенного или амфолитного действия. В связи с этим замена части хлебопекарной пшеничной муки амарантовой мукой представляется возможной для повышения объема и улучшения структуры пористости хлебобулочных и мучных кондитерских изделий.

Поэтому предполагается, что внесение белка амаранта в клейковину пшеничной муки будет способствовать модификации ее функциональных свойств в сторону усиления водопоглощения, эмульгирования жира, структурообразования полуфабрикатов с определенными реологическими свойствами, что приведет к повышению качества готовых изделий.

Протеолитические ферменты амарантовой муки, представленные различными молекулярными формами (изоферментами), проявляют активность слабее, чем ферменты хлебопекарной муки (табл. 4), при этом более существенный прирост азота наблюдается в кислой среде, а учитывая то, что при протеолизе мучных полуфабрикатов большая роль отводится нейтральным протеазам, активность которых может подавляться ингибиторами собственных протеаз зерна амаранта: ингибитором I (по Аль-Рахмуну) и ингибитором II (по Ибрагимову) (табл. 5), можно пола-

гать, что при замене части хлебопекарной муки амарантовой мукой активность протеолиза будет снижаться, тем самым компенсируя нарушение в балансе клейковинообразующих белков, определяющих реологические свойства теста.

Таблица 4

Суммарная активность протеолитических изоферментов объектов исследования

Объекты исследования	Прирост азота в водно-мучной суспензии в ходе автолиза при 40 °С, мг	
	pH 4,6 (кислая протеаза)	pH 7,0 (нейтральная протеаза)
Мука пшеничная высшего сорта	0,14	0,07
Мука пшеничная первого сорта	0,65	0,22
Амарантовая цельносомлотая мука	0,21	0,01
Амарантовая белковая мука	0,17	0,06
Амарантовая нативная мука	0,32	0,23

Таблица 5

Активность ингибиторов протеолиза в сырье, усл. ед. [3]

Объекты исследования	Активность ингибитора		
	пепсина	трипсина	химотрисина
Мука пшеничная высшего сорта	0,07	0,06	–
Мука пшеничная первого сорта	0,08	0,05	–
Амарантовая цельносомлотая мука	0,16	0,34	0,04

Таким образом, можно отметить, что высокая степень гидратации белков амарантовой муки, обусловленная преимущественным содержанием водорастворимой фракции, не позволяет сформировать из нее реологическое тело с оптимальными упруго-вязкопластическими свойствами. С другой стороны, при за-

мене части хлебопекарной пшеничной муки амарантовой мукой введение ингибиторов протеолиза амаранта в тесто будет способствовать снижению активности протеолитических ферментов, тем самым компенси-

руя нарушение в балансе структурообразующих белков клейковины, что свидетельствует о возможности подобной замены.

Список литературы

1. Нечаев, А.П. Пищевая химия / А.П. Нечаев, С.Е. Траубенберг, А.А. Кочеткова и др.; под ред. А.П. Нечаева. – 4-е изд., испр. и доп. – СПб.: ГИОРД, 2007. – 636 с.
2. Пучкова, Л.И. Технология хлеба / Л.И. Пучкова, Р.Д. Поландова, И.В. Матвеева. – СПб.: ГИОРД, 2005. – 559 с.
3. Чернов, А.И. Особенности белков амаранта (*Amaranthus L.*): экстракция, свойства, использование / А.И. Чернов, Ю.А. Куликов, Г.А. Гасимова // Нетрадиционные природные ресурсы, инновационные технологии и продукты: Рос. акад. естеств. наук. – М., 2005. – Вып. 12. – С. 70–81.
4. Траоре, К. Особенности белково-протеиназного комплекса зерна амаранта: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.04 – Биохимия. – М., 1995. – 25 с.
5. Шмалько, Н.А. Разработка технологий хлебобулочных изделий функционального назначения с использованием продуктов переработки семян амаранта: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.01 / Шмалько Наталья Анатольевна. – Краснодар, 2005. – 150 с.
6. Смирнов, С.О. Разработка технологии разделения зерна амаранта на анатомические части и получения из них нативных продуктов: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.01 – технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства. – М., 2006. – 215 с.

ГОУ ВПО «Кубанский государственный
технологический университет»,
350072, Россия, г. Краснодар, ул. Московская, 2.
Тел./факс: (861) 274-11-64
e-mail: adm@kgtu.kuban.ru

SUMMARY

N.A. Shmalko

Comparative Analysis of Protein-Proteinase Complex of Breadwheat and Amaranth Flours

The article is devoted to a comparative analysis of protein-proteinase complex of breadwheat flour and amaranth flour in order to determine the prospects of using the latter as a traditional flour replacer in breadmaking. The results of the analysis testify the presence of specific proteins in amaranth flour variety that exhibit high functional properties. This fact makes the use of amaranth flour instead of breadwheat flour in bakery goods production feasible.

Protein-proteinase complex, protein fractional composition, functional properties, amaranth flour.

Kuban State University of Technology
2, Moskovskaya Street, Krasnodar, 350072, Russia
Phone/Fax: (861) 274-11-64
e-mail: adm@kgtu.kuban.ru

