

Н.А. Шмалько, И.А. Чалова, Н.Л. Ромашко

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УГЛЕВОДНО-АМИЛАЗНОГО КОМПЛЕКСА ХЛЕБОПЕКАРНЫХ СМЕСЕЙ С АМАРАНТОВОЙ МУКОЙ

Работа посвящена исследованию реологических характеристик углеводно-амилазного комплекса хлебопекарных смесей, состоящих из ржаной, пшеничной и амарантовой муки. Результаты изучения кинетики и динамики реологического поведения клейстеризованных мучных суспензий на компьютеризированном приборе Амилотест АТ-97 (ЧП-ГА) показали целесообразность использования амарантовой муки для частичной замены ржаной муки в составе ржано-пшеничных хлебопекарных смесей.

Углеводно-амилазный комплекс, реологические характеристики, хлебопекарные смеси, амарантовая мука.

Введение

Известно, что качество хлеба, вырабатываемого из ржаной муки или ее смесей с пшеничной мукой, определяется вкусом, ароматом, формой, объемом, окраской и состоянием корки, разрыхленностью, структурой пористости, цветом мякиша и расплываемостью подового хлеба. У ржаного хлеба, особенно из обойной и обдирной муки, по сравнению с пшеничным хлебом меньше объем, более темноокрашенные мякиш и корка, меньшая пористость и несколько липкий мякиш, что обусловлено преимущественно особенностями углеводно-амилазного комплекса ржаной муки. В составе данного комплекса, кроме наличия углеводов, содержится активная альфа-амилаза, способная накапливать в тесте при недостаточной его кислотности значительное количество декстринов, придающих нежелательную липкость мякишу [1].

Для оценки хлебопекарных свойств ржаной муки или хлебопекарных смесей с ее использованием в основном применяются показатели, опосредованно оценивающие активность амилаз. Наиболее применяемые на практике – это показатель автолитической активности, определяемый по способности при прогреве водно-мучной суспензии накапливать определенное количество водорастворимых веществ (ГОСТ 27495-87), а также показатель числа падения, методика определения основана на измерении длительности приготовления клейстеризованной водно-мучной суспензии в вискозиметрической пробирке при температуре 100 °С, времени опускания в ней калиброванного по геометрическим размерам и массе штока, а также фиксации суммарного времени в секундах (ГОСТ 27678-88).

При определении влияния состояния углеводно-амилазного комплекса муки на качество хлеба наряду с активностью амилаз некоторые исследователи уделяют внимание изучению свойств и структуры крахмала. Плавление (клейстеризация) нативных зерен крахмала зависит от температуры, влажности, рН среды, вносимых пищевых ингредиентов, а также от активности амилолитических ферментов и упорядоченности структуры зерен самого крахмала. Тип структуры крахмала оказывает влияние на изменение реологических свойств водно-мучной суспензии в процессе клейстеризации крахмала, то есть

на параметры плавления зерен крахмала и, в частности, на температуру перехода упорядоченной структуры в неупорядоченное состояние.

Сам процесс клейстеризации характеризуется тем, что по мере повышения температуры увеличивается колебание крахмальных молекул, разрушаются межмолекулярные связи, что приводит к освобождению мест связывания для взаимодействия с молекулами через водородные связи. Такое проникновение воды и увеличивающееся разделение больших и длинных сегментов крахмальных цепей увеличивает неупорядоченность в общей структуре и уменьшает число и размер кристаллических областей. При дальнейшем нагреве в присутствии большого количества воды происходит полная потеря кристалличности, сопровождающаяся потерей очертания крахмальных зерен. Большие по размеру крахмальные зерна клейстеризуются при более низкой температуре, чем мелкие. Во время клейстеризации зерна крахмала начальное повышение температуры приводит к значительному подъему вязкости, что связано с набуханием крахмальных зерен. Затем набухшие крахмальные зерна разрываются и дезинтегрируют, вызывая падение вязкости [2].

Большинство современных исследователей (Юрьев, Немировская, Даниленко, Жушман, Карпов и др.) придерживаются методологии расчета кристаллических и молекулярно-упорядоченных структур в нативных зернах крахмала на основании анализа термодинамических кривых их плавления с помощью метода дифференциальной сканирующей микрокалориметрии. Анализ процесса деструкции амилозы и амилопектина, а также температурного режима перехода упорядоченной структуры зерен крахмала в неупорядоченное состояние может быть проведен на основании изучения кинетики измерения реологических свойств клейстеризованной водно-мучной суспензии при ее линейном нагревании от 20 до 100 °С, что позволяет максимально воспроизводить изменение состояния крахмала в тестовой заготовке при ее прогреве в ходе выпечки [3].

При анализе деструкции крахмала необходимо учитывать, что нативные зерна крахмалов злаков имеют кристаллическую структуру, образованную двойными спиралями полисахаридов (преимущественно амилопектина) по А-типу упаковки их макро-

молекулярных цепей в элементарной ячейке. Аморфные области таких крахмалов состоят из структур как молекулярно-упорядоченных, образованных двойными спиралью полисахаридов, например амилозы, выполняющих роль дефектов кристаллической структуры, так и неупорядоченных, роль которых в структурной организации нативных зерен крахмала соответствует роли молекулярно-упорядоченной структуры.

Для крахмала зерна амаранта характерно наличие А-типа кристаллической структуры. При этом гранула крахмала амаранта имеет определенную сферическую или многоугольную структуру, в которой молекулы амилопектина перпендикулярны поверхности этих структур и направлены к внешней поверхности гранулы. Регулярная ориентация аморфных и прозрачных областей образует структуру, известную как мальтийский крест. Некристаллические или аморфные области содержат молекулы амилозы и фрагменты молекул амилопектина, не вовлеченные в кристаллы. Поглощенная вода гидратных аморфных областей может довольно свободно распространяться в пределах гранулы, а при желатинизации амилоза образует гель вне гранул крахмала, в то время как амилопектин остается внутри набухших гранул и медленно перекристаллизовывается. Вследствие малого размера гранул крахмала амаранта для него характерна повышенная набухаемость при низкой растворимости и пониженное субстратное сродство к ферменту альфа-амилазе. Кроме того, амарантовый крахмал за счет большого содержания амилопектиновой фракции относят к «восковидным культурам», которые отличаются высокой вязкостью и желатинизацией при высоких температурах [4], что актуально для производства стабильных пищевых сред, исключая процесс старения геля.

Объекты и методы исследований

В качестве объектов исследований выступали отдельно мука пшеничная первого сорта, ржаная обдирная и сортовая амарантовая (цельнозерновая, белковая, нативная), а также составленные из них хлебопекарные смеси. Реологические характеристики клейстеризованных суспензий исследуемых видов муки и их смесей определяли путем измерения вязкости проб в режиме «тестограмма» на компьютеризованном приборе Амилотест АТ-97 (ЧП-ТА) при постоянной температуре термостатирования 100 °С в течение 20 мин. Проведение математической обработки экспериментальных данных в режиме «тестограмма» позволяет определить скорость деструкции крахмального геля (λ , с⁻¹) под действием собственных амилолитических ферментов, а также рассчитать значение критерия автолитической активности (Δ) крахмалсодержащего сырья, характеризующего динамику скорости деструкции крахмального геля в термостатируемой водно-мучной суспензии по формулам:

$$F(\tau) = (F_{\max} - F_{\min}) \cdot \exp^{-\lambda\tau} + F_{\min}; \quad (1)$$

$$\Delta = \left[\frac{F_{\max} - F_{\min}}{F_{\min}} \right] \cdot \lambda, \quad (2)$$

где F_{\max} – максимальная вязкость крахмального геля, Н; F_{\min} – минимальная вязкость крахмального геля, Н [2].

Участок кривой тестограммы до пика отражает образование крахмального геля, а участок после пика – его деструкцию, интенсивность которой определяется активностью амилолитических ферментов.

Результаты и их обсуждение

Полученные данные свидетельствуют, что наибольшая скорость деструкции крахмала среди объектов исследований наблюдается в клейстеризованных суспензиях амарантовой муки, особенно в нативной (рис. 5), очевидно, за счет более низкой по сравнению с хлебопекарной мукой температурой плавления зерен крахмала, то есть температурой перехода упорядоченной структуры в неупорядоченное состояние. При этом критерий автолитической (ферментативной) активности для амарантовой цельнозерновой муки (рис. 3) незначителен, а для амарантовой белковой муки (рис. 4) он того же порядка, что и для пшеничной муки (рис. 1), для амарантовой нативной муки, напротив, приближается к ржаной муке (рис. 2).

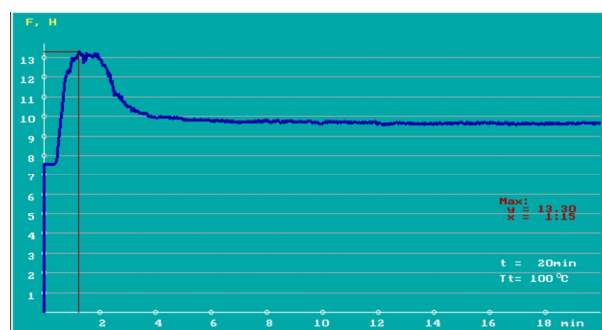


Рис. 1. Тестограмма пшеничной муки



Рис. 2. Тестограмма ржаной муки



Рис. 3. Тестограмма амарантовой цельносмолотой муки



Рис. 4. Тестограмма амарантовой белковой муки



Рис. 5. Тестограмма амарантовой нативной муки

Наряду с этим можно отметить, что для сортовой амарантовой муки характерный «пик» на кривых тестогрмм выражен слабо, что свидетельствует о протекании неполной клейстеризации крахмала амаранта, начинающейся вначале с интенсивного набухания его зерен и вызванного этим постепенного разрушения их структуры, в результате чего водно-мучная суспензия при нагревании превращается в более густую, не до конца проклейстеризованную массу. Очевидно, что в данном случае замедление клейстеризации крахмала наряду с особенностями его строения вызвано также содержанием таких сопутствующих компонентов в амарантовой муке, как сахара, белки и жиры. Так, вещества, связывающие воду (сахара, белки), тормозят клейстеризацию крахмала, уменьшая тем самым количество влаги для участия в клейстеризации, при этом сахара уменьшают силу крахмальных гелей, играя роль пластификатора и вмешиваясь в образование зон связывания. Наличие липидов в амарантовой муке приводит к увеличению температуры клейстеризации, повышению ее температуры, уменьшению силы крахмального геля, что можно связать с образованием соединений между компонентами жирных кислот как с амилозой, так и с длинными внешними цепями амилопектина. Образование этих комплексов препятствует доступу воды в гранулу и участвует в замедлении процесса зон связывания.

Кроме того, среди объектов исследования наличие прямоугольного участка кривой как плато-фазы стабильности характерно только для муки пшеничной и амарантовой цельносмолотой. Предположительно, что при прогреве водно-мучной суспензии пшеничной муки в начальной стадии процесса клей-

стеризации из-за своей высокой способности к комплексообразованию амилоза за счет линейной структуры образует посредством действия альфа-амилазы комплексное соединение, которое при дальнейшем прогреве водно-мучной суспензии в течение определенного промежутка времени способно не диссоциироваться и быть более устойчивым к деструкции. Наличие участка плато-фазы стабильности на кривой тестогрмм при прогреве водно-мучной суспензии амарантовой цельносмолотой муки обусловлено содержанием в ней гемицеллюлозы, липидов и белков, способствующих физической модификации крахмала.

Соответственно участок кривой тестогрмм после достижения пика для водно-мучных суспензий хлебопекарной и амарантовой муки (см. рис. 1–5), отражающий деструкцию крахмального геля, описывается следующими уравнениями:

$$F(1,15) = (13,30 - 9,60) \cdot e^{-\lambda \cdot 1,15} + 9,60; \quad (3)$$

отсюда $\lambda = 0,83$; $\Delta = 0,320$.

$$F(0,35) = (11,84 - 8,50) \cdot e^{-\lambda \cdot 0,35} + 8,50; \quad (4)$$

отсюда $\lambda = 2,67$; $\Delta = 1,049$.

$$F(1,36) = (8,70 - 8,50) \cdot e^{-\lambda \cdot 1,36} + 8,50; \quad (5)$$

отсюда $\lambda = 2,76$; $\Delta = 0,065$.

$$F(0,57) = (8,48 - 7,90) \cdot e^{-\lambda \cdot 0,57} + 7,90; \quad (6)$$

отсюда $\lambda = 4,58$; $\Delta = 0,336$.

$$F(0,23) = (8,64 - 8,00) \cdot e^{-\lambda \cdot 0,23} + 8,00; \quad (7)$$

отсюда $\lambda = 10,98$; $\Delta = 0,879$.

При изучении реологических характеристик клейстеризованных водно-мучных суспензий хлебопекарных смесей установлено, что с увеличением доли амарантовой цельносмолотой муки скорость деструкции крахмала в испытуемых пробах возрастает, но не превосходит контрольный образец, что свидетельствует о недостаточной степени амилолиза в данных пробах. Скорость процесса клейстеризации мучных суспензий, содержащих амарантовую белковую муку, с увеличением ее количества в смеси значительно повышается вследствие снижения массовой доли крахмала и повышения его доступности автолизу, что приводит к снижению вязкости и разжижению консистенции суспензий. Наряду с этим увеличение дозировки амарантовой нативной муки в хлебопекарных смесях (2,5; 7,5 и 12,5 % взамен ржаной муки) вызывает увеличение скорости деструкции крахмального геля, тем самым уменьшая вязкость и повышая разжижение суспензий, что способствует повышению автолитической активности (рис. 6–9). В данном случае характер получаемых кривых тестогрмм аналогичен графикам для контрольной смеси, где соотношение ржаной и пшеничной муки равно 50:50, что свидетельствует о большей

эффективности замены ржаной муки амарантовой на-
тивной мукой по сравнению с ее другими видами.

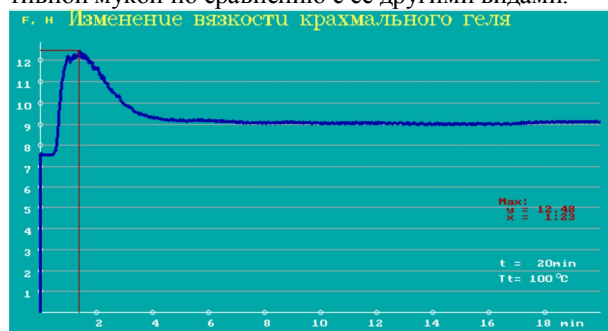


Рис. 6. Тестограмма хлебопекарной смеси 1



Рис. 7. Тестограмма хлебопекарной смеси 2



Рис. 8. Тестограмма хлебопекарной смеси 3



Рис. 9. Тестограмма хлебопекарной смеси 4

Условные обозначения:

хлебопекарная смесь 1 – пшеничная и ржаная мука, взятые в соотношении 50:50;

хлебопекарная смесь 2 – пшеничная, ржаная и амарантовая мука, взятые в соотношении 50:47,5:2,5;

хлебопекарная смесь 3 – пшеничная, ржаная и амарантовая мука, взятые в соотношении 50:42,5:7,5;

хлебопекарная смесь 4 – пшеничная, ржаная и амарантовая мука, взятые в соотношении 50:37,5:12,5.

Соответственно участок кривой тестогрaмм после достижения пика для водно-мучных суспензий изучаемых хлебопекарных смесей (см. рис. 6–9), отражающий деструкцию крахмального геля, описывается следующими уравнениями:

$$F(1,23) = (12,48 - 9,60) \cdot e^{-\lambda \cdot 1,23} + 9,60; \quad (8)$$

отсюда $\lambda = 0,98$; $\Delta = 0,294$.

$$F(1,22) = (12,50 - 9,10) \cdot e^{-\lambda \cdot 1,22} + 9,10; \quad (9)$$

отсюда $\lambda = 0,81$; $\Delta = 0,303$.

$$F(1,50) = (11,44 - 8,90) \cdot e^{-\lambda \cdot 1,50} + 8,90; \quad (10)$$

отсюда $\lambda = 0,84$; $\Delta = 0,237$.

$$F(1,31) = (11,40 - 8,90) \cdot e^{-\lambda \cdot 1,31} + 8,90; \quad (11)$$

отсюда $\lambda = 0,97$; $\Delta = 0,272$.

Таким образом, изучение реологических характеристик углеводно-амилазного комплекса хлебопекарной и амарантовой муки, а также хлебопекарных смесей с их использованием с учетом изменения состояния и свойств крахмала в ходе процесса его клейстеризации показало возможность осуществления частичной замены традиционной ржаной муки амарантовой мукой.

Список литературы

1. Пашенко, Л.П. Технология хлебобулочных изделий / Л.П. Пашенко, И.М. Жаркова. – М.: КолосС, 2006. – 389 с.
2. Черных, В. Технологические критерии оценки углеводно-амилазного комплекса пшеничной муки / В. Черных, М. Ширшиков // Хлебопродукты. – 2002. – № 1. – С. 21–24.
3. Пищевая химия / А.П. Нечаев, С.Е. Трауберг, А.А. Кочетова и др.; под ред. А.П. Нечаева. – Изд. 4-е, испр. и доп. – СПб.: ГИОРД, 2007. – 640 с.
4. Офицеров, Е.Н. Углеводы семян амаранта / Е.Н. Офицеров, Э.Х. Офицорова // Аграрная Россия. – 2001. – № 6. – С. 43–51.

SUMMARY

N.A. Shmalko, I.A. Chalova, N.L. Romashko

Rheological characteristics of carbohydrate-amylase complex of baking mixes with amaranth flour

The work is devoted to the study of the rheological characteristics of carbohydrate-amylase complex of baking mixes, consisting of rye, wheat and amaranth flour. The results of studying the kinetics and dynamics of the rheological behavior of gelatinized flour suspensions on a computerized device Amilotest AT-97 (CP-TA) have shown the expediency of using amaranth flour for partial substitution for rye in the rye-wheat baking mixes.

Carbohydrate-amylase complex, rheological properties, baking mixes, 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