

УДК 664.066

Профессор Г.О. Магомедов, доцент Н.П. Зацепилина,
доцент А. А. Журавлев

(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производства.

тел. (473) 255-38-41.

E-mail: nataha.zatsepilina@yandex.ru

Президент Российского Союза Хлебопекарной Промышленности,
председатель Совета директоров В. Л. Чешинский

(«Русская продовольственная компания»)

E-mail: bxx2@yandex.ru)

Professor G.O. Magomedov, associate professor N. P. Zatsepilina,
associate professor A. A. Zhuravlev

(Voronezh state university of engineering technologies) Department of bread, confectionary, paste and grain processing technology.

phone (473) 255-38-41

E-mail: nataha.zatsepilina@yandex.ru)

President of the Russian Union of the Baking Industry, chairman of
the Board of directors V. L. Cheshinskii

(Russian Food Company)

E-mail: bxx2@yandex.ru)

Разработка сбивного хлеба функционального назначения из муки цельносмолотого зерна пшеницы, ржаных и пшеничных отрубей

Development of a functional purpose whipped bread whole grain wheat, rye and wheat bran

Реферат. В статье рассматривается разработка сбивных хлебобулочных изделий, обогащенных пищевыми волокнами, минеральными веществами, витаминами (ретинолом, токоферолом, витаминами группы В), полиненасыщенными жирными кислотами путем применения ржаных и пшеничных отрубей и муки из цельносмолотого зерна пшеницы. Основным сырьем для обогащения сбивных хлебобулочных изделий являются отруби пшеничные и ржаные. Выбор ржаных и пшеничных отрубей в качестве обогатителя приготавливаемого сбивного хлеба объясняется не только с точки зрения рациональности использования данного вторичного сырья, но и его богатым витаминно-минеральным составом. Отруби пшеничные содержат комплекс необходимых человеку витаминов группы В, в том числе В1, В2, В6, РР и других. Обнаружены также провитамин А (каротин) и витамин Е (токоферол). Отруби богаты минеральными веществами. Среди них — калий, магний, хром, цинк, медь, селен и другие микроэлементы. Благодаря такому составу отруби являются незаменимым диетическим продуктом. Они богаты нерастворимой клетчаткой и могут быть полезны для уменьшения риска развития рака толстой кишки. Ржаные отруби в своем составе содержат пищевые волокна, токоферол (витамин Е), тиамин В1, рибофлавин В2, пантотеновую кислоту В5, холин В4, никотиновую кислоту В3 и др. В отрубях богатый набор микроэлементов и макроэлементов, таких как железо, кальций, магний, фосфор, калий, цинк, йод, селен, хром и т.д. Введением в рацион отруби ржи способствуют профилактики и лечению атеросклероза сосудов, сахарного диабета и анемии. Они восстанавливают кровяное давление, снижают уровень сахара в крови и улучшают работу сердечно-сосудистой системы. Мука из цельносмолотого зерна пшеницы является основным источником в хлебе белка и крахмала, при этом сохраняя максимальную исходную пищевую ценность зерна, обогащает сбивной хлеб макро- и микронутриентами. Анализ химического состава муки из цельносмолотого зерна пшеницы, ржаных и пшеничных отрубей позволяет сделать вывод, что выбор данных видов сырья целесообразен для внесения в рецептуру сбивных хлебобулочных изделий, так как за счет их применения можно повысить содержание в хлебе не только основных нутриентов пищи, но и витаминов, минеральных и биологически активных веществ. В работе установлена математическая зависимость и причинно-следственная связь между технологическими параметрами приготовления теста и сбивного хлеба и их качеством. Определены рациональные дозировки ржаных и пшеничных отрубей в технологии обогащенного сбивного хлеба из муки цельносмолотого зерна пшеницы.

Summary. The article discusses the development of whipped bakery products enriched with dietary fiber, minerals, vitamins retinol, tocopherol, group, polyunsaturated fatty acids through the use of rye and wheat bran and flour of wholegrain wheat. The main raw material for enrichment whipped bakery products used wheat bran and rye. Choice of rye and wheat bran as supplementation prepared whipped bread is explained not only from the point of view of the rationality of the use of this secondary raw materials, but also its rich vitamin and mineral composition. Wheat bran contain the necessary man of b vitamins, including B1, B2, B6, PP and others. Found provitamin a (carotene) and vitamin E (tocopherol). Bran is rich in mineral substances. Among them potassium, magnesium, chromium, zinc, copper, selenium and other trace elements. Thanks to this composition bran are essential dietary product. They are rich in insoluble fiber and can be useful to reduce the risk of developing colon cancer. Rye bran contain dietary fiber, tocopherol E, thiamin B1, Riboflavin B2, Pantothenic acid B5, B4 (choline, nicotinic acid B3, etc. In the bran rich set of microelements and macroelements such as iron, calcium, magnesium, phosphorus, potassium, zinc, iodine, selenium, chromium, etc. the Introduction in the diet, bran rye contribute to the prevention and treatment of atherosclerosis, diabetes and anemia. They restore blood pressure, reduce blood sugar levels and improve the cardiovascular system. Flour from wholegrain wheat is the main supplier of bread protein and starch, while preserving the maximum of the original nutritional value of the grain, enriched whipped bread macro - and micronutrients. The analysis of the chemical composition of flour from wholegrain wheat, rye and wheat bran leads to the conclusion that the choice of these types of materials suitable for making the recipe whipped bakery products, because their use can increase the content in bread is not only the main nutrients of food, but also vitamins, minerals and biologically active. In the work of the established mathematical relationship and causality between technological parameters of dough and whipped bread and their quality. Defined rational dosing rye and wheat bran in technology enriched whipped bread flour wholegrain wheat.

Ключевые слова: сбивной хлеб, ржаные отруби, пшеничные отруби, мука из цельнозернового зерна пшеницы, математические методы планирования

Keywords: whipped bread, rye bran, wheat bran, flour of wholegrain wheat, mathematical methods of planning.

Расширение ассортимента и увеличение объемов производства функциональных продуктов питания становится необходимым для улучшения пищевого статуса населения России в области здорового питания. Недостаточная сбалансированность хлеба как основного продукта питания является проблемой количественного и качественного дефицита витаминов А, Е, В, пищевых волокон, макро- и микронутриентов в рационе питания [1]. Одним из возможных путей решения является привлечение новых источников растительного происхождения (отруби пшеничные, ржаные).

В связи с этим целью работы является разработка обогащенных пищевыми волокнами, минеральными веществами, витаминами А, Е, В, полиненасыщенными жирными кислотами путем применения ржаных и пшеничных отрубей и муки из цельнозернового зерна пшеницы сбивных хлебобулочных изделий.

Задачи исследования:

– установить регрессионную зависимость и причинно-следственную связь между технологическими параметрами приготовления теста и хлеба и их качеством;

– определить рациональные дозировки ржаных и пшеничных отрубей в технологии обогащенного сбивного хлеба из муки цельнозернового зерна пшеницы.

Основным сырьем для обогащения сбивных хлебобулочных изделий выступают отруби пшеничные и ржаные. Выбор ржаных и пшеничных отрубей в качестве обогатителя приготавливаемого сбивного хлеба объясняется не только с точки зрения рациональности использования

данного вторичного сырья, но и его богатым витаминно-минеральным составом. Отруби пшеничные содержат комплекс необходимых человеку витаминов группы В, в том числе В1, В2, В6, РР и другие. Обнаружены также провитамины А (каротин) и витамин Е (токоферол). Отруби богаты минеральными веществами. Среди них — калий, магний, хром, цинк, медь, селен и другие микроэлементы. Благодаря такому составу отруби являются незаменимым диетическим продуктом. Они богаты нерастворимой клетчаткой и могут быть полезны для уменьшения риска развития рака толстой кишки.

Ржаные отруби в своем составе содержат пищевые волокна, токоферол Е, тиамин В1, рибофлавин В2, пантотеновую кислоту В5, холин В4, никотиновую кислоту В3 и др. В отрубях богатый набор микроэлементов и макроэлементов таких, как железо, кальций, магний, фосфор, калий, цинк, йод, селен, хром и т.д. Введение в рацион отрубей ржи способствуют профилактике и лечению атеросклероза сосудов, сахарного диабета и анемии. Они восстанавливают кровяное давление, снижают уровень сахара в крови и улучшают работу сердечно-сосудистой системы. Отруби ржи применяют для профилактики и лечения онкологических заболеваний (рак толстой кишки и др.). Они содержат антиоксиданты в виде витамина Е, который благодаря селену и хрому, хорошо усваивается и замедляет процессы старения и развитие онкологических заболеваний. Польза ржаных отрубей для щитовидной железы в содержании йода.

Мука из цельнозернового зерна пшеницы является основным источником в хлебе белка и

крахмала, при этом сохранив максимальную исходную пищевую ценность зерна, обогащает сбивной хлеб макро- и микронутриентами [2].

Таким образом, анализ химического состава муки из цельносмолотого зерна пшеницы, ржаных и пшеничных отрубей позволяет сделать вывод, что выбор данных видов сырья целесообразен для внесения в рецептуру сбивных хлебобулочных изделий, так как за счет их применения можно повысить содержание в хлебе не только основных нутриентов пищи, но и витаминов, минеральных и биологически активных веществ, пищевых волокон.

Для исследования взаимодействия различных факторов применяли математические методы планирования эксперимента [3]. В качестве основных факторов, влияющих на качество теста, использовалась дозировка ржаных отрубей x_1 (%) и продолжительность перемешивания x_2 (мин); дозировка пшеничных отрубей x_3 (%) и продолжительность перемешивания x_4 (мин). Все эти факторы совместимы и некоррелированы между собой. Критериями оценки влияния условий приняли удельный объем сбивного хлеба с ржаными отрубями (Y_1 , см³/100 г), и с пшеничными отрубями (Y_2 , см³/100 г).

Программа исследований была заложена в матрицу планирования экспериментов. В этом случае применяли центральное композиционное ротатабельное униформпланирование [4].

Сначала построили математическую модель, адекватно описывающую зависимость выбранного выхода параметра от изучаемых факторов. Для этого был реализован активный эксперимент по системе центрального композиционного ротатабельного плана, обеспечивающего получение одинаковой величины дисперсии выходного параметра для любой точки в пределах изучаемой области. Для исключения влияния неконтролируемых параметров на результаты эксперимента порядок опытов рандомизировали посредством таблицы случайных чисел.

В результате статистической обработки экспериментальных данных получили уравнения регрессии (1, 2), адекватно описывающие данный процесс под влиянием исследуемых факторов. Воспроизводимость опытов, значимость регрессионных коэффициентов и адекватность уравнений подтверждена статистическими критериями Кохрена, Стьюдента, Фишера при доверительной вероятности 95 %:

$$Y_1 = 203,99 + 9,07 \cdot X_1 + 0,00633 \cdot X_2 + 5,25 \cdot X_1 \cdot X_2 - 1,93 \cdot X_1^2 - 6,96 \cdot X_2^2 \quad (1)$$

$$Y_2 = 177,17 - 2,06 \cdot X_1 - 1,13 \cdot X_2 - 5,75 \cdot X_1 \cdot X_2 + 9,71 \cdot X_1^2 + 8,95 \cdot X_2^2 \quad (2)$$

Анализ уравнения (1) показывает, что с повышением дозировки ржаных отрубей x_1 и продолжительности перемешивания - x_2 - теста увеличивается удельный объем хлеба. Следовательно, для повышения удельного объема сбитого хлеба следует повышать x_1 и x_2 . Однако при увеличении факторов x_1 и x_2 резко начинает повышаться объемная масса теста, что в последующем снижает удельный объем хлеба. Поэтому придерживались рациональный величины объемной массы сбивного теста 0,35-0,45 г/см³, при варьировании x_1 и x_2 .

Анализ уравнения (2) показывает, что с повышением дозировки пшеничных отрубей x_3 продолжительность замеса теста x_4 , удельный объем сбивного хлеба снижается. Установили, что пшеничные отруби, в отличие от ржаных, на стадии приготовления теста резко повышают вязкость по мере перемешивания, что замедляют процесс пенообразования.

Задача оптимизации была сформулирована следующим образом. Необходимо найти такие значения независимых переменных X_1 и X_2 , при которых удельный объем Y_1 достигает максимального значения. При этом независимые переменные X_1 и X_2 должны находиться в области эксперимента, границы которой определяются значениями факторов в «звездных» точках, т. е. $-1,41 \leq X_i \leq +1,41$

Условие оптимизации представили в виде:

$$\begin{cases} y = 0,5 + 0,02 \cdot X_1 - 0,11 \cdot X_2 + 0,03 \cdot X_1 \cdot X_2 + \\ + 0,2 \cdot X_1^2 + 0,04 \cdot X_2^2 \rightarrow \min \\ X_1^2 + X_2^2 = R^2 \end{cases} \quad (3)$$

в котором последнее уравнение определяет границы области эксперимента (сфера радиусом R) и является ограничением на значения независимых переменных. Для решения поставленной задачи воспользовались методом неопределенных множителей Лагранжа. Для этого составили целевую функцию F :

$$F = 0,5 + 0,02 \cdot X_1 - 0,11 \cdot X_2 + 0,03 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,2 \cdot X_1^2 + 0,04 \cdot X_2^2 + \lambda \cdot (X_1^2 + X_2^2 - R^2) \quad (4)$$

где λ – неопределенный множитель Лагранжа.

В соответствии с вычислительным алгоритмом метода неопределенных множителей Лагранжа составили систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial X_1} = 0,02 + 0,03 \cdot X_2 + 0,4 \cdot X_1 + 2 \cdot \lambda \cdot X_1 = 0 \\ \frac{\partial F}{\partial X_2} = -0,11 + 0,03 \cdot X_1 + 0,08 \cdot X_2 + 2 \cdot \lambda \cdot X_2 = 0 \\ \frac{\partial F}{\partial \lambda} = X_1^2 + X_2^2 - R^2 = 0 \end{cases} \quad (5)$$

По результатам решения системы уравнений (5) получили оптимальные значения дозировки ржаных отрубей и продолжительности перемешивания $X_1 = 6,5$ и $X_2 = 4$ мин., при которых удельный объем сбивного хлеба максимального значения $Y_1 = 210$ см³/100 г с ржаными отрубями.

Для поиска оптимальных параметров x_3 дозировки пшеничных отрубей и x_4 - продолжительность замеса теста, сформулировали задачу оптимизации при $Y_2 \rightarrow \infty$. В результате решения задачи оптимизации получены в кодированных значениях $x_3 = 0,13$ и $x_4 = -0,11$, при которых удельный объем сбивного хлеба с дозировкой пшеничных отрубей достигает максимального значения $Y_2 = 176$ см³/100 г.

Переходя от кодированных значений к натуральным, оптимальные значения $x_3 = 6,0$ % и $x_4 = 15$ мин. По результатам оптимизации процесса производства сбивного хлеба выполнили контрольную выпечку и исследовали свойства сбивного хлеба из муки цельносмолотого зерна пшеницы обогащенный ржаными и пшеничными отрубями (таблица 1).

Т а б л и ц а 1

Показатели качества сбивного хлеба с пшеничными и ржаными отрубями

Показатели качества хлеба	Хлеб на основе пшеничных отрубей.	Хлеб на основе ржаных отрубей.
Органолептические		
Внешний вид:		
Форма	Без боковых выплывов, соответствует форме, в которой выпекался хлеб	Без боковых выплывов, соответствует форме, в которой выпекался хлеб
Поверхность	Без крупных трещин и подрывов	Без крупных трещин и подрывов
Цвет	Коричневый	Коричневый

Продолжение табл. 1

Состояние мякиша:		
Пропечённость	Пропеченный, не липкий, не влажный на ощупь	Пропеченный, не липкий, не влажный на ощупь
Пористость	Равномерная, без пустот и уплотнений	Равномерная, без пустот и уплотнений
Вкус, запах	Свойственный данному виду изделий, без постороннего привкуса и запаха	Свойственный данному виду изделий, без постороннего привкуса и запаха
Физико-химические показатели		
Влажность мякиша, %	48,0	49,5
Кислотность мякиша, град	3,5	3,3
Удельный объём, см ³ /100г	176,0	210,0
Пористость мякиша, %	64,0	66,0

Правильность выбора оптимального соотношения дозировки ржаных и пшеничных отрубей в тесте подтвердили серий параллельных экспериментов, которые показали сходимость результатов. Таким образом, данные контрольного эксперимента по производству сбивного хлеба подтверждают достоверность и адекватность уравнения регрессии и результатов оптимального режима его приготовления. При этом гарантируется повышение пищевой ценности сбивного хлеба из муки цельносмолотого зерна пшеницы с ржаными отрубями: по пищевым волокнам на 74,0 %, минеральным веществам – 10,0-30,0 %, витаминам – 95,0-100,0 %, полиненасыщенным жирным кислотам – 98,0-100,0 %; с пшеничными отрубями: по пищевым волокнам – 82,0 %, минеральным веществам – 10,0-25,0 %, витаминам – 97,0-98,0 %, полиненасыщенным жирным кислотам – 96,0-98,0 %.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Чертов Е.Д., Магомедов Г.О., Зацепина Н.П., Репрынцева Т. А. и др. Сбивные хлебобобулочные изделия для питания школьников // Хлебопродукты. 2014. № 11. С. 58-60.
- 2 Магомедов Г.О., Пономарева Е.И., Алейник И.А. Инновационные технологии сбивных бездрожжевых хлебобобулочных изделий функционального назначения // Фундаментальные исследования. 2008. № 1. С. 71-72.
- 3 Дерканосова Н.М., Журавлев А.А., Сорокина И.А. Практикум по моделированию и оптимизации потребительских свойств пищевых продуктов. Воронеж: ООО «Главреклама», 2011. 167 с.
- 4 Грачев Ю.П., Плаксин Ю. М. Математические методы планирования эксперимента. М.: ДеЛипринт, 2005. 296 с.
- 5 Данина М.М., Иванченко О.Б. Использование экструдированной пшеницы в пивоварении // Вестник Международной академии холода. 2015. № 2. С. 18-22.

REFERENCES

- 1 Срукещм Е.Д., Magomedov G.O., Zatsepilina N.P. Repryntseva T.A. et al. Whipped bakery products for school feeding. Khleboprodukty. [Bakery], 2014, no. 11, pp. 58-60. (In Russ.).
- 2 Magomedov G.O., Ponomareva E.I., Aleynik I.A. Innovative technologies whipped non-yeasted baked goods functionality. Fundamental'nye issledovaniya. [Basic Research], 2008, no. 1, pp 71-72. (In Russ.).
- 3 Derkanosova N.M., Zhuravlev A.A., Sorokina I.A. Praktikum po modelirovaniyu i optimizatsii potrebitel'skikh svoistv [Workshop on modeling and optimization of consumer properties of food]. Voronezh, Glavreklama, 2011. 167 p. (In Russ.).
- 4 Grachev Yu.P., Plaksin Yu.M. Matematicheskie metody planirovaniya eksperimente [Mathematical methods of experiment planning]. Moscow, DeLiprint, 2005. 296 p. (In Russ.).
- 5 Danina M.M., Ivanchenko O.B., Using extruded wheat in brewing. Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda. [International Academy of Refrigeration], 2015, no. 2, pp 18-22. (In Russ.).