

Висновки

На підставі дослідження інтенсивності накопичення редукуючих цукрів та амінного азоту можна рекомендувати спосіб приготування заварки з пшеничного борошна з додаванням борошна солоду сої чи борошна сої та використання ферментного препарату в кількості 0,002 % до маси борошна в тісті.

Встановлено дозування закваски (42-48) %, що забезпечує стабільні показники якості заквасок, високу підйомну силу заквасок, сприяє скороченню тривалості вистоювання, збільшенню питомого об'єму хліба, подовженню збереження свіжості. Використання пшеничного борошна для приготування заварки і закваски сприяє утворенню хліба з невисокою кислотністю, і такий хліб може бути рекомендований для вживання людям із захворюванням шлунково-кишкового тракту [4].

Література

1. Пат. № 15527 Україна. Спосіб приготування оцукреної заварки на хмелю для виробництва хлібопекарських виробів / Малиновський В.В., Белей О.В., Букшина Л.С., Дахно Б.М., Церковна С.М. // Бюлетень №7. – 2006.
2. Пат. № 2174303 Россия. Способ производства хлеба «Фатима» / Чехоева В.И., Поландова Р.Д., Харлампович И.Я., Калагова Ф.Н.// Бюлетень № 34. – 2002. – С.1.
3. Пат. № 2258 372 Россия. Способ приготовления бездрожжевого хлеба / Пащенко Л.П., Никитин И.А., Павлова Н.В. // Воронежская государственная технологическая академия. – Бюл. № 23. – 2005.
4. Пат. № 40846 Україна. Спосіб виготовлення хліба з використанням хмелевих заквасок /Юрчак В.Г., Рак В.П., Ірха Ю.О., Ганжа М.І., Голікова Т. П.// Національний університет харчових технологій. – Бюлетень № 8. – 2009. – С.1.

УДК 664:613.2:006.015.8

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СМЕШИВАНИЯ ТЕСТООБРАЗНЫХ МАСС ХЛЕБОПЕКАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Пшенишнюк Г.Ф., канд.техн.наук, доцент, Павловский С.Н, канд.техн.наук, доцент
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса**

Разработан потенциометрический экспресс-метод определения содержания поваренной соли в тестообразных массах хлебопекарного производства, дана статистическая оценка распределения хлорида натрия в тесте, которое при смешивании компонентов его рецептуры подчиняется нормальному закону Гаусса.

The potentiometric quick test of definition of a salt content in doughy masses of hlebobaking effecting is developed, the statistical assessment distributions sodium chloride in the paste which at mixing together of components of its formula submits to the normal law of Gauss is yielded.

Ключевые слова: поваренная соль, рН-метрия, дисперсия, воспроизводимость, смешивание, однородность, эффективность процесса.

Основным требованием, предъявляемым к любой композиционной системе, является высокая однородность ее физических и химических параметров, которая достигается только при равномерном распределении компонентов в объеме смешиваемого материала. Поэтому смешивание можно определить как процесс, целью которого является превращение исходной системы, характеризующейся упорядоченным распределением компонентов, в систему, характеризующуюся неупорядоченным, статистически случайным распределением [1, 2].

Основы формальной теории смешивания и диспергирования разработаны с применением теории вероятностей и математической статистики и использованы для оценки процессов в изготовлении порошкообразных минеральных композиций и малонаполненных пластмасс [1, 2, 3, 4], а также при разработке технологии резиносмешения [5].

Обычно допускают [1], что при идеальном перемешивании компонентов в смеси распределение их концентраций подчиняется закону биномиального распределения для конечного числа частиц или гауссовому распределению при непрерывной функции вероятностей. В работах [5,6,7,8] указывается на случайный характер рассеивания компонентов при смешивании и подчинение его нормальному распределению Гаусса, а, следовательно, и законам математической статистики.

Однако, как отмечает Торнер [2], на практике решающее значение имеет не характер распределения диспергируемого вещества в смеси (случайный или неслучайный), а степень отклонения имеющегося распределения от случайного. По мере приближения смеси к случайной, выборочная дисперсия σ^2 стремится к предельному или минимальному значению генеральной дисперсии σ^2 [9]. Это явление использовано для оценки степени гомогенности смешиваемого материала.

Известны различные статистические критерии оценки качества процесса смешивания, в частности, индексы перемешивания Мак-Келви, Мора, Лейси, Ластовцева и Хвальнова и многие др. [4].

В настоящее время технология хлеба еще не располагает достаточным количеством исследований для создания обобщенной теории смешивания многокомпонентных производственных рецептур теста и математических моделей, количественно описывающих кинетические закономерности процесса смешивания. Практическую сложность в оценке степени гомогенности хлебопекарного теста составляет выбор достоверных и правомерных индикаторов гомогенности, представительно и с достаточной точностью определяющих его однородность.

А.Ф.Горячевой и сотр. [11] показана возможность использования в качестве индикатора гомогенности теста – жира. Известны методы определения однородности теста по изменению его влажности [12,13], плотности [14], удельного электрического сопротивления [15], рассеивании металлических частиц в объеме смешиваемого материала [6], реологическим характеристикам [16] и т.д.

Вышеперечисленные методы оценки однородности теста продолжительны во времени и требуют химических реактивов либо специальных приборов. По-видимому, наиболее приемлемыми индикаторами однородности теста являются компоненты его рецептуры с минимальным массовым расходом. В качестве такого индикатора нами выбран хлорид натрия. Его количественное содержание в отдельных пробах теста определяли потенциометрическим экспресс-методом с использованием прибора рН-340.

Для оценки процесса смешивания использовали индекс качества смеси Мак-Келви [4], который характеризует степень ее отклонения от идеальной и рассчитывается по формуле

$$I = \sigma / S, \quad (1)$$

где σ – теоретическое СКО концентрации индикатора в идеальной смеси, %;

S – выборочное среднее квадратическое отклонение (СКО) концентрации индикатора в реальной смеси, %.

pNa , ед.

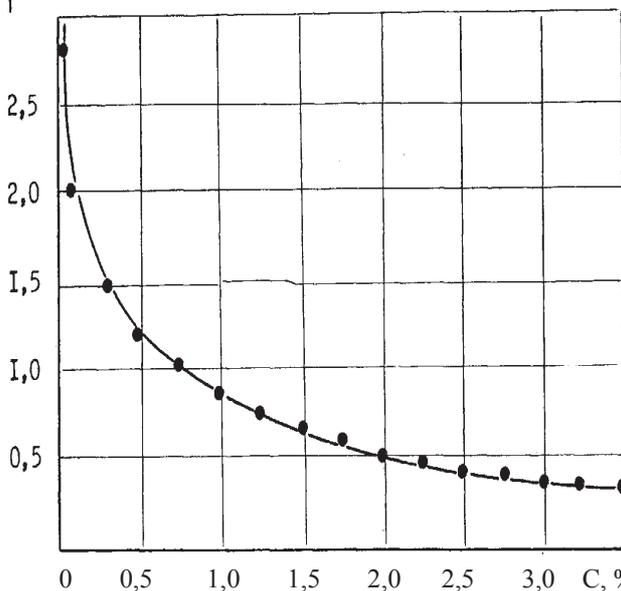


Рис 1. – Зависимость активной концентрации ионов натрия от концентрации поваренной соли в тесте

Удовлетворительное совпадение расчетных и эмпирических точек получено при аппроксимации зависимости полиномом второго порядка. Однако для разбавленных растворов NaCl (меньше 0,6 %) на-

В качестве индикатора однородности теста использовали хлорид натрия, который является обязательным компонентом большинства хлебо-булочных изделий с массовым расходом (1-2) кг на 100 кг муки.

Методы теххимического контроля и ГОСТ 5698-51 предусматривают количественное определение хлорида натрия только в готовых изделиях. Для теста разработан кулонометрический метод [17]. Также известны экспрессные методы определения поваренной соли в комбикормах [18,19]. Однако все они продолжительны во времени и требуют использования дорогостоящих и дефицитных реактивов.

Нами исследована возможность количественного определения NaCl в тесте экспресс-методом на приборе рН-340. Для этого в качестве измерительного датчика использовали стеклянный электрод ЭСЛ-51-05. Датчиком сравнения служил вспомогательный хлорсеребряный электрод ЭВЛ-

Для перевода показаний рН-метра из единиц pNa в концентрацию NaCl, данные экспериментальной калибровочной кривой, которая приведена на рис. 1, подвергали статистической обработке на ЭВМ.

блюдали значительное отклонение расчетных данных от результатов опытов. Максимальное совпадение точек было достигнуто при аппроксимации эмпирической зависимости полиномом третьего порядка.

Получены следующие регрессионные уравнения:

$$C = 5,87 - 8,10pNa + 2,95pNa^2 ; \quad (2)$$

$$C = 6,87 - 12,43pNa + 8,32pNa^2 - 1,99pNa^3. \quad (3)$$

Статистическую значимость коэффициентов уравнений и их адекватность проверяли по соответствующим дисперсиям. Согласно результатам статистической обработки экспериментальных данных, регрессионные уравнения (2) и (3) с доверительной вероятностью соответственно $P = 0,95$ и $P = 0,99$ адекватны результатам эксперимента и позволяют определять концентрацию NaCl в жидкой фазе теста.

Теория статистического оценивания параметров и проверки гипотез позволяет делать научно обоснованные выводы о всей генеральной совокупности по выборке из нее [20].

Для определения объема выборки n задавались желаемой степенью точности оценки Δ и доверительной вероятностью P . Используя результаты экспериментальных и статистических данных и значение критерия Стьюдента t_s при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы $f = 12$, получим:

$$n = (t_s^2 \cdot S_b^2) / \Delta^2 = (2,18^2 - 0,1^2) / 0,025^2 \approx 76 \quad (4)$$

С целью повышения надежности результатов эксперимента, объем выборки принимали равным 100 опытам.

Опыты проводили с заведомо хорошо перемешанным тестом. Для стабилизации коллоидно-химических процессов его выдерживали в термостате при 303 °К в течение 0,5 ч, раскатывали в пласт толщиной (0,023-0,030) м и делили поверхность острым ножом на приблизительно равные квадраты. В полученных пробах теста на приборе pH-340 определяли активную концентрацию ионов Na⁺, а по уравнению (2) - концентрацию NaCl в жидкой фазе теста. Эмпирические данные, сгруппированные по их величине, приведены в табл. 1.

Таблица 1 — Результаты экспериментального определения концентрации хлорида натрия в тесте

Варианты	Частоты	Варианты	Частоты	Варианты	Частоты	Варианты	Частоты
C _i	n _i						
2,0	2	2,13	5	2,25	5	2,39	2
2,01	1	2,15	4	2,26	4	2,42	2
2,04	2	2,16	3	2,29	4	2,44	1
2,06	2	2,18	6	2,30	2	2,45	1
2,07	4	2,19	6	2,32	4	2,47	1
2,09	3	2,20	9	2,34	3	2,48	1
2,10	2	2,21	6	2,36	4	-	-
2,12	4	2,23	5	2,38	2	-	-

Эмпирический интервал концентрации разбивали на 8 частичных интервалов: 2,0 - 2,06; 2,06 - 2,12; 2,12 - 2,18; 2,18 - 2,24; 2,24 - 2,30; 2,30 - 2,36; 2,36 - 2,42; 2,42 - 2,48.

Приняв середины частичных интервалов в качестве новых вариантов C_i, получили равноотстоящие варианты C₁=2,03, C₂=2,09, C₃=2,15 и т.д. Затем находили частоты новых вариантов n_i.

Для построения по опытным данным нормальной кривой распределения, необходимо знать среднюю арифметическую и дисперсию выборки. Их определяли методом произведений [10].

Правильность вычислений проверяли по выполнению тождества

$$\sum n_i(U_i+1)^2 = \sum n_i \cdot U_i^2 + 2 \sum n_i \cdot U_i + n = 448 \quad (5)$$

Затем вычисляли условные моменты первого и второго порядка:

$$b_1 = (\sum n_i \cdot U_i) / n = 16 / 100 = 0,16; \quad (6)$$

$$b_2 = (\sum n_i \cdot U_i^2) / n = 316 / 100 = 3,16. \quad (7)$$

Тогда выборочные средняя C , дисперсия S^2 и среднее квадратическое отклонение S концентрации NaCl в тесте составят:

$$C = b_1 \cdot h + C_0 = 0,16 \cdot 0,06 + 2,21 = 2,22 \% ; \quad (8)$$

$$S_2 = (b_2 b_{12}) \cdot h^2 = (3,160,162) \cdot 0,06^2 = 0,01128; \quad (9)$$

$$S = \sqrt{S_2} = \sqrt{0,01128} = 0,106. \quad (10)$$

Оценка закона распределения достаточно точно достигается путем нахождения частот по частотам эмпирического и вычисленного рядов друг с другом. Нахождение теоретических частот вариационного

ряда по тому или иному закону распределения вероятностей носит название выравнивания эмпирических распределений.

Для нормального закона теоретические выравнивающие частоты определяли по формуле [21].

$$n_i' = [(n \cdot h) / S] \varphi(U_i), \quad (11)$$

где n — сумма наблюдаемых частот;

h — разница между соседними вариантами;

$\varphi(U_i)$ — функция нормированного отклонения.

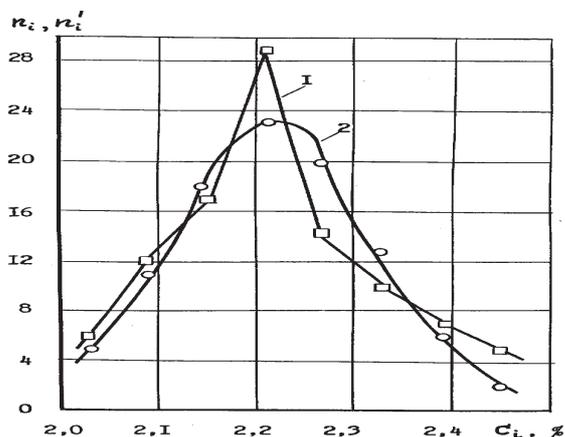


Рис. 2 — Эмпирическая (1) и выровненная по нормальному закону (2) кривые распределения концентрации хлорида натрия в тесте при смешивании

По выравнивающим частотам n_i' и опытным частотам n_i строили теоретическую (нормальную) и эмпирическую кривые распределения концентрации NaCl в тесте, которые приведены на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что вычисленные и эмпирические частоты в общем неплохо согласуются между собой. Статистическую оценку расхождений между эмпирическими и теоретическими частотами вариационного ряда осуществляли по величине критерия согласия Пирсона хи-квадрат. Для этого по каждому классу вариационного ряда находили разницу между опытными и теоретическими частотами, возводили ее в квадрат и делили на соответствующую теоретическую частоту. Сумма полученных отношений для классов вариационного ряда и будет являться величиной наблюдаемого критерия хи-квадрат [21].

Алгоритм вычисления критерия и результаты промежуточных расчетов приведены в [21]. Эти данные использовали для контроля правильности выполнения вычислений. Должно выполняться следующее тождество

$$X_p^2 = \sum (n_i - n_i')^2 / n_i' = [\sum n_i^2 / n_i'] - n. \quad (12)$$

Для проведенных расчетов $X_p^2 = 105,73 - 100 = 5,73$.

По числу степеней свободы $f = 8 - 3 = 5$ и уровню значимости $\alpha = 0,05$ определяли критическое значение хи-квадрат, которое для рассматриваемого случая равно $X_{табл}^2 = 11,10$.

Так как фактическая величина критерия хи-квадрат не превосходит критического значения при данном пороге его доверительной вероятности и числе степеней свободы, отвергнуть нулевую гипотезу оснований нет. Следовательно, расхождение эмпирических и теоретических частот незначимое, а распределение концентрации NaCl в тесте согласуется с гипотезой о нормальном распределении генеральной совокупности.

Сравнение теоретической кривой, построенной по выравнивающим частотам и полигона эмпирических частот указывает на несколько большее накопление вариантов в левой части вариационного ряда. Кроме того, вершина кривой приподнята вверх из-за чрезмерного накопления вариантов в левой части вариационного ряда. Эти накопления предположительно указывают на существование левой асимметрии и положительного эксцесса эмпирического распределения S_i^* деления NaCl в тесте.

Определяли значимость коэффициентов асимметрии As и эксцесса Ex , которые характеризуют меру отклонения эмпирического распределения от закона нормального распределения. Для этого по способу суммирования [22] рассчитывали значения S_i^* и α_i , а затем — условные моменты b_i распределения хлорида натрия в тесте, которые составили:

$$b_1 = d_1 / n = 0,16; \quad b_2 = (S_1^* + 2S_2^*) / n = 3,16; \quad b_3 = (\alpha_1 + 6\alpha_2 + 6\alpha_3) / n = 3,28; \quad b_4 = (S_1^* + 14S_2^* + 36S_3^* + 24S_4^*) / n = 27,16.$$

Условные моменты b_i использовали для определения центральных моментов распределения M_i , которые равны:

$$M_2 = b_2 - b_1^2 = 3,13; \quad M_3 = b_3 - 3b_2b_1 + 2b_1^3 = 1,77; \quad M_4 = b_4 - 4b_3b_1 + 6b_2b_1^2 - 3b_1^4 = 25,55.$$

Так как $M_2 = 3,13$ — центральные эмпирические моменты третьего и четвертого порядка составят $S_3 = 5,54$ и $S_4 = 9,80$. Тогда коэффициенты асимметрии и эксцесса экспериментального распределения концентрации NaCl в тесте составят $As = M_3 / S_3 = 1,77 / 5,54 = 0,32$; $Ex = M_4 / S_4 - 3 = 25,55 / 9,80 - 3 = -0,39$.

Полученные значения As и Ex меньше критических при $P = 0,95$ и $n = 100$, следовательно, асимметрия и эксцесс экспериментального распределения концентрации NaCl в тесте являются признаками случайны-

ми [22]. Таким образом, распределение хлорида натрия в хлебопекарном тесте при смешивании его компонентов подчиняется нормальному закону Гаусса, а к ее выборке применимы законы математической статистики.

Выводы

Разработанный экспресс-метод определения хлорида натрия, как обязательного компонента рецептуры большинства хлебобулочных изделий, может быть рекомендован для оперативного контроля содержания поваренной соли в тесте [23], изучения кинетических закономерностей процесса смешивания тестообразных масс хлебопекарного производства [24] и оценки технологической эффективности работы тестомесильных машин [25].

Литература

1. Мор В.Д. Теория смешивания и диспергирования. – В кн.: Переработка термопластичных материалов/Под ред. Э. Бернхарда: пер.с англ.-М.:Химия,1965, С. 131-168.
2. Торнер Р.В. Теоретические основы переработки полимеров: Механика процессов.– М.: Химия, 1977.- 464 с.
3. Макаров Ю.А. Аппараты для смешивания сыпучих материалов.- М.: Машиностроение,1973. - 215 с.
4. Мак-Келви Д.М. Переработка полимеров.-М.: Химия,1965. - 442 с.
5. Переработка каучуков и резиновых смесей: Реологические основы, технология, оборудование/ Е.Г. Вострокнутов, М.И. Новиков и др. – М.: Химия, 1980. - 280 с.
6. Урьев Н.В., Талейсник М.А. Физико-химическая механика и интенсификация образования пищевых масс. – М.: Пищевая пром-сть, 1976. - 240 с.
7. Батунер Л.М., Позин М.Е. Математические методы в химической технике.- М.:Химия, 1968. – 823 с.
8. Длин А.Н. Факторный анализ в производстве.-М.: Статистика, 1975. – 328 с.
9. Хальд А. Математическая статистика с техническими приложениями.-М.:Издательство, 1956.-664 с.
10. Штербачек З., Тауск И. Перемешивание в химической промышленности. – Госхимиздат,1963. – 416 с.
11. Горячева А.Ф., Щербатенко В.В. Механическая обработка теста.-М.: Пищевая пром-сть, ЦНИИ-ТЭИпищепром, 1968. – 60 с.
12. Берман Г.К., Абрамов Н.И., Мачихин С.А.Критерий перемешивания при замесе теста. - Хлебопекарная и кондитерская пром-сть, № 5, 1976 – С. 29-31.
13. Гончаров М.Д.Оценка однородности смеси в процессе образования теста.- Хлебопекарная и кондитерская пром-сть, № 3, 1964 – С. 3-8.
14. Лунин Л.Н., Мачихин Ю.А.Определение качества перемешивания пищевых масс.- Хлебопекарная и кондитерская пром-сть, № 10, 1968 – С.16-17.
15. Электрический метод контроля качества замеса теста/С.А. Мачихин, В.В. Дмитриев, А.Е. Гвоздили, А.П. Родин.- Хлебопекарная и кондитерская пром-сть, № 11, 1971. – С. 15-18.
16. Щербатенко В.В., Кузьминский Р.В., Васин М.И. Оценка качества замеса теста. – Хлебопекарная и кондитерская пром-сть, 1978. – С. 32-35.
17. Загиддилина Г.З., Юникова Н.В. Определение поваренной соли в тесте кулонометрическим методом. - Хлебопекарная и кондитерская пром-сть, 1980. – С. 30-31.
18. Захарченко И.М.,Зиринь Ф.П., Романовский В.Н. Экспресс-метод химического определения поваренной соли в комбикормах. – М.: Труды ВНИИКП, вып. 2., 1970. – С.159-171.
19. Сергеев В.М.,Емельянов Д.Е. Ускоренный метод определения поваренной соли в комбикормах посредством потенциометрического титрования. – М.: Труды ВНИИКП,1970, вып. 2. – С. 127-134.
20. Математическая статистика/ В.М. Иванов, В.Н. Калинина, Л.А. Нешумова и др.-М.: Высшая школа, 1981. – 317 с.
21. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика.-М.: Высшая школа, 1977. – 479 с.
22. Лакин Г.Ф. Биометрия. – М.: Высшая школа, 1973. – 343 с.
23. Пшенишнюк Г.Ф., Козлов Г.Ф. Определение содержания поваренной соли в тесте экспрессным методом. – Хлебопекарная и макаронная промышленность, № 8, 1981.–С. 14-19.
24. Пшенишнюк Г.Ф., Чмырь А.Д. Кинетические закономерности процесса смешивания ингредиентов теста. – Изв. Вузов. Пищевая технология, № 5, 1984. – С.31-35.
25. Пшенишнюк Г.Ф., Чмырь А.Д. Математическая модель процесса смешивания ингредиентов теста. - Хлебопекарная и кондитерская промышленность, № 9, 1986. – С. 19-22.