

– 52,73 т/га и Вектар – 50,09 т/га, при использовании систем вентилирования 3-4-го технологического уклада: Бриз – 50,71 т/га, Скарб – 46,91 т/га, Рагнеда – 48,05 т/га и Вектар – 45,35 т/га. Следовательно, прибавка урожая составила 2,17 т/га у сорта Бриз, и статистически достоверно от 3,48 т/га (Скарб) до 4,74 т/га (Вектар), и на 4,68 т/га у сорта Рагнеда.

Четкой закономерности влияния способа хранения на урожайность семенного картофеля не установлено, наибольшее влияние оказали условия хранения, нежели способ.

Установлено, что урожайность картофеля в среднем за 2018–2020 гг. зависела от условий выращивания (фактор Е), с долей влияния этого фактора – 57,56 %. Существенное влияние оказали факторы А «сорт» и С «условия хранения» (ТХ), с долей влияния 7,99 % и 9,84 % соответственно, а взаимодействие этих факторов на 10,92 %. Влияние других взаимодействий факторов на урожайность было не существенно, рисунок 1.

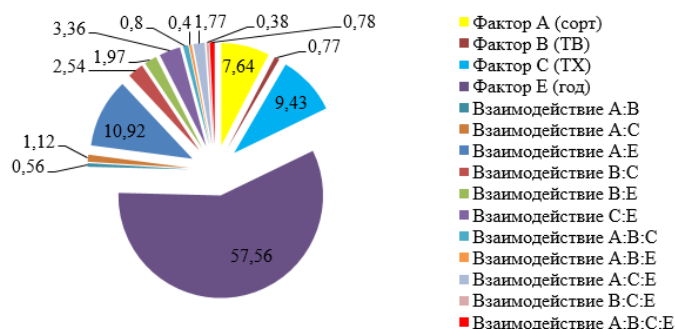


Рисунок 1. Доля влияния факторов (сорт, технология возделывания и хранения, год) и их взаимодействие на урожайность семенного картофеля, %, 2018-2020 гг.

Исходя из вышеизложенного установлено, что урожайность семенного картофеля зависит не только от сорта, технологии возделывания, но существенно от условий хранения и года. Способ хранения не влияет на урожайность картофеля.

Список использованной литературы

1. Технологии хранения картофеля / К.А. Пшеченков [и др.] ; Рос. акад. с.-х. наук, Всерос. науч.-исслед. ин-т картоф. хоз-ва им. А.Г. Лорха, Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова. – [б. м.] : Картофелевод, 2007. – 191 с.
2. Зиновьев, Ю.И. Хранение картофеля в помещениях с принудительной вентиляцией : обзор зарубеж. и отечеств. лит. / Ю.И. Зиновьев. – М. : [б. и.], 1967. – 112 с.
3. Картофель : (возделывание, уборка, хранение) / Д. Шпаар [и др.] ; ред. Д. Шпаар. – 4-е изд., дораб. и доп. – М. : Агрodelo, 2007. – 457 с.
4. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур: сборник отраслевых регламентов. / Ин. аграр. экономики НАН Беларуси; рук. разработ. В.Г. Гусаков [и др.]. – Мн.: Бел. наука, 2005. – 460 с.
5. Методические рекомендации по специализированной оценке сортов картофеля / С.А. Банадысев [и др.] ; М-во сел. хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь. – Минск : [б. и.], 2003. – 71 с.
6. Методика исследований по культуре картофеля // НИИ картофельного хозяйства. Ред. кол. Н.С. Бацанов [и др.] – М.: 1967. – 265 с.

УДК 536.2

Смагина М.Н., Смагин Д.А., кандидат технических наук, доцент

Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, г. Могилев

МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ТЕРМООБРАБОТКЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ МЯСНОГО ФАРША

Мясные изделия при нагревании представляют собой влажное капиллярно-пористое тело с жировыми прослойками, подвергающееся преобразованию от вязко-пластичного материала исходного продукта до упруго-эластично-пластичного готового продукта.

Наиболее полно температурное поле капиллярно-пористых заготовок, подвергаемых тепловой обработке, описывается системой уравнений

$$\begin{cases} \frac{\partial t}{\partial \tau} = k_{11}\Delta^2 t + k_{12}\Delta^2 u + k_{13}\Delta^2 p; \\ \frac{\partial u}{\partial \tau} = k_{21}\Delta^2 t + k_{22}\Delta^2 u + k_{23}\Delta^2 p; \\ \frac{\partial p}{\partial \tau} = k_{31}\Delta^2 t + k_{32}\Delta^2 u + k_{33}\Delta^2 p, \end{cases} \quad (1)$$

где u – влагосодержание; p – внутреннее давление; k_{ij} – комплексные кинетические коэффициенты. В безразмерной форме температурное поле может быть представлено в виде:

$$\frac{t - t_0}{t_c - t_0} = f(Ki, Ko, Pn, Lu, Fo, \varepsilon, \frac{x}{l_{\text{оп}}}) \quad (2)$$

Моделирование по уравнениям (1) и (2) крайне сложно из-за необходимости учитывать большое количество разнородных факторов, взаимное влияние которых досконально не изучено. Упрощая (1) и (2), можно перейти к балансовому уравнению, устанавливающему связь между количеством подводимой теплоты и воз-

можными статьями ее расхода. Связывая скорость прогрева $\frac{dt_{\text{np}}}{d\tau}$ со скоростью обезвоживания $\frac{dM}{d\tau}$:

$$\alpha F(t_{\text{cp}} - t_{\text{n}}) = (gc_{\text{ж}} + bc + 0,01c_{\text{в}}\omega) \frac{dt_{\text{np}}}{d\tau} + r \frac{dM}{d\tau}, \quad (3)$$

Для решения уравнения (3) необходимо проведение значительного количества уточняющих экспериментальных исследований.

Распределение температур в мясных продуктах можно описать на основе анализа балансов теплообмена в различных внутренних слоях:

$$q_{\text{wp}} - q_{\text{wy}} = q_{\text{zm}}, \quad (4)$$

где q_{wp} – количество тепла, поступающего к слою, Дж; q_{wy} – количество тепла, уходящего из слоя, Дж; q_{zm} – количество тепла, сохраняемого слоем, Дж.

При преобразовании (3) получается выражение для центрального слоя:

$$T_i' = T_i + \left[\frac{(R_m - \frac{2i-1}{2}\Delta R)(T_{i-1} - T_i) - (R_m - \frac{2i+1}{2}\Delta R)(t_i + t_{i+1})}{\Delta R^2(R_m - i\Delta R)} \right] \times \left[\frac{\lambda\Delta t}{\rho c} \right], \quad (5)$$

где R_m – радиус изделия, м; $i = 0 \dots n$ – номер внутреннего слоя.

Уравнение (5) решить в общем виде крайне сложно из-за несимметричности прогрева, сложности состава, переменности размеров и теплофизических свойств, протекающих физико-химических и биохимических реакций и других факторов.

Таким образом, для математического моделирования необходимо отказаться от учета сопутствующих факторов, сосредоточившись на особенностях теплообменного процесса.

Перенос тепловой энергии описывается уравнением Фурье, согласно которому количество теплоты, проходящее через элемент изотермической поверхности за промежуток времени, пропорционально температурному градиенту:

$$dQ_{\tau} = -\lambda \frac{dt}{dn} dF d\tau, \quad (6)$$

где dQ_{τ} – количество теплоты, Дж; dF – элемент изотермической поверхности; $d\tau$ – промежуток времени; $\frac{dt}{dn}$ – температурный градиент.

Рассматривая уравнение Фурье совместно с уравнением сохранения энергии, можно получить дифференциальное уравнение в частных производных:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left[\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right] + \frac{q_v}{c\gamma}, \quad (7)$$

Мясопродукты являются реальными телами и, соответственно, имеют конечную скорость движения теплоты.

Для приближенного расчета процессов перераспределения температуры при малых значениях скорости распространения теплоты можно использовать уравнение А.В.Лыкова:

$$\frac{\lambda}{\omega^2} \frac{\partial^2 t}{\partial \tau^2} + \frac{1}{a} \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}, \quad (8)$$

В предельном случае уравнение (8) переходит в дифференциальное уравнение теплопроводности для одномерного потока.

Математическая формулировка исследуемого процесса при постановке задачи имеет вид:

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial t}{\partial \tau} \right)_c &= a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}, \\ t(x, 0) &= T_0 \\ -\lambda \frac{\partial t}{\partial x} + \alpha(T_c - t) \Big|_{x=\delta} &= 0 \\ \lambda \frac{\partial t}{\partial x} + \alpha(T_c - t) \Big|_{x=-\delta} &= 0 \end{aligned} \quad (9)$$

Описание процесса предполагает его разделение на период разогрева и период основной термообработки.

В ряде работ предложено разделять процесс нагревания мясопродуктов по характеру протекающих физико-химических реакций составных частей. В первом периоде тепло расходуется на прогрев мясного фарша, внутренние физико-химические процессы имеют эндотермический характер. Во втором периоде тепло затрачивается в основном на испарение влаги и нагрев центральных слоев мясного фарша до необходимой температуры.

В работах А.М. Бражникова предложен метод решения уравнения теплопроводности для мясных изделий, основанное на теории «температурного фронта». Процесс распространения энергии рассматривался по схеме: продукт состоит из двух областей – возмущенной и невозмущенной; между возмущенной и невозмущенной областями существует граница раздела – «фронт возмущений» или «температурный фронт»; процесс распространения теплоты в теле происходит в две стадии. Согласно принятой схеме первая стадия заканчивается в момент достижения «температурным фронтом» геометрического центра, т.е. координата температурного фронта $\rho=0$. Вторая стадия характеризует все остальное время нагрева (теоретически это время равно безграничности).

Однако предложенные варианты не эффективны. В первом случае начальный период слишком длинный и выходит за пределы периода разогрева. Во втором случае начальный период крайне мал и фактически заканчивается, когда тело еще прогревается.

Период разогрева и период основной термообработки можно определить из скорости распространения теплоты в толще тел на основе анализа темпа нагревания:

$$m = \frac{\psi \alpha F}{c_p \rho V} \quad (10)$$

Уравнение, описывающее нестационарное температурное поле, имеет вид:

$$\Theta = \sum_{n=1}^{\infty} A(\mu_n) U(\mu_n, \bar{\xi}) \exp(-\mu_n^2 Fo), \quad (11)$$

где A , U – функции; μ_n – корни характеристического уравнения.

С увеличением времени τ члены ряда (11) будут быстро убывать, ряд становится быстросходящимся. Температурное поле описывается первым членом ряда:

$$\Theta = A_1 U_1 \exp(-\mu_1 F_0), \quad (12)$$

Логарифмируя последнее уравнение и опуская индексы:

$$\ln \Theta = \ln(AU) - \mu F_0 \quad (13)$$

Натуральный логарифм Θ соответственно изменяется во времени по линейному закону.

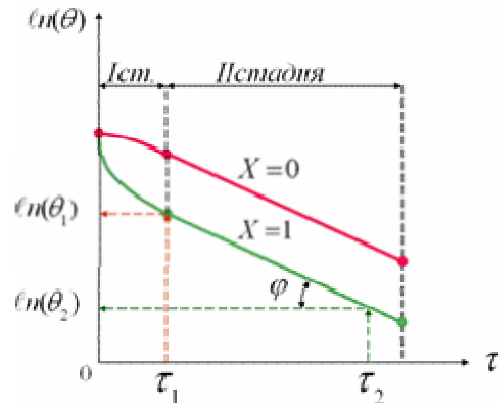


Рисунок 1. Зависимость $\ln(\Theta)$ от времени при нагревании

Темп нагревания в первой и второй стадии будет отличен и постоянен на заданном участке. Период разогрева равен длительности первой стадии, период основной термообработки – второй стадии.

Список использованной литературы

1. Теплотехнические аспекты эффективной выпечки ржано-пшеничного формового хлеба: монография / В.А. Брызун [и др.]; под общ. ред. В.А. Брызуна. – М.: Пищепромиздат, 2005. – 132 с.
2. Пелеев, А.И. Тепловое оборудование колбасного производства / А.И. Пелеев, А.М. Бражников, В.А. Гаврилова. – М.: «Пищевая промышленность», 1970. – 383 с.
3. Тышкевич, А.С. Исследование физических свойств мяса. / А.С. Тышкевич. – М.: Пищевая промышленность, 1972. – 96 с.
4. Исаченко, В.П. Теплопередача. Учебник для вузов. / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – 3-е изд. – М.: «Энергия», 1975. – 488 с.
5. Бражников, А.М. Теория термической обработки мясopодуKтов / А.М. Бражников. – М.: Агрoпрoмиздат, 1987. – 271 с.

УДК 664.61

**Халгаева К.Э., кандидат сельскохозяйственных наук, Капарова Н.А.,
Карманов В.Е.**

Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова, г. Элиста,
Российская Федерация

БИОТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЦЕЛЬНОЗЕРНОВОГО ХЛЕБА

Важнейшей особенностью биотехнологических процессов является то, что реакции образования и разрушения протекают с помощью живых микроорганизмов, которые потребляют из окружающей среды вещества, растут, размножаются, выделяют продукты метаболизма. В основе биотехнологии хлебопекарного производства лежат реакции обмена веществ, происходящие при жизнедеятельности дрожжевых клеток, молочнокислых бактерий и других микроорганизмов в анаэробных условиях [4].

Сегодняшние изменения в наборе и качестве продовольственного сырья, продуктов питания, технологических приемах переработки и хранения пищи не могут не влиять на ее состав, качество и биологическую ценность. В последние годы приобрела особую остроту проблема населения всеми