

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ ПРИ ХРАНЕНИИ

Коваль О.А.<sup>1\*</sup>, Гуць В.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный университет пищевых технологий, Украина, Koval\_andreevna@ukr.net;

<sup>2</sup> Национальный университет пищевых технологий, Украина, Goots@ukr.net;

\* Коваль О.А.

### **Введение**

Существенный прогресс в технологии пищевых продуктов напрямую зависит от технологических процессов, более полного использования сырья с одновременным повышением качества и безопасности готовых продуктов. Это особенно актуально в рыночных условиях, когда маркетинговые стратегии требуют от производителя конкурентоспособной продукции, способной максимально долго сохранять свои свойства. Невозможно дальнейшее развитие пищевых технологий без эффективного и широкого использования достижений фундаментальных наук: математики, физики, химии, биологии, современных знаний в области физико-химической механики, моделирования технологических процессов.

Под качеством продуктов понимают совокупность свойств, обеспечивающих физиологические потребности человека в пищевых и вкусовых веществах, безопасность для здоровья и дающие возможность отличать продукты друг от друга.

Во время длительного хранения качество продукта, как правило, ухудшается. Меняются его органолептические свойства: внешний вид, консистенция, цвет, запах, вкус. Ухудшается биологическая ценность: уменьшается содержание витаминов, незаменимых жирных кислот и др. Накапливаются вредные для здоровья продукты распада белка, происходит разложение углеводов, окисление жиров, образуются ядовитые вещества, болезнетворные микроорганизмы.

Приоритетной задачей, которую нужно решать производителям продуктов питания и прогнозирования срока их хранения, является соответствие органолептических, биохимических, микробиологических, структурно-механических и других качественных показателей физиологическим потребностям организма человека независимо от срока хранения.

Для решения этой задачи необходимо разработать модель продукта, учесть необходимый химический состав (белки, жиры, углеводы, содержание влаги и др.), определить органолептическую оценку (вкус, аромат, цвет, сочность и др.), структурно-механические и другие свойства, а также кинетику их изменений. На этапе разработки продукта, внедрения его в производство для сохранения его качества важно оптимизировать соотношение показателей, влияющих на биологическую, пищевую и энергетическую ценность по различным критериям соответствия, достичь характерные для разрабатываемого продукта структурно-механические свойства [1, 2].

### ***Объекты и методы исследований***

Объектом исследования служили пищевые продукты, процессы порчи пищевых продуктов. Методы исследования аналитические, на основе проведенных органолептических, измерительных методах по определению химического состава, биохимических исследований качества пищевых продуктов.

***Аналитическое моделирование процессов изменения качества пищевых продуктов.*** Все пищевые продукты состоят из биоматериалов, которые со временем меняют свои свойства, разлагаются и портятся. Процесс порчи объективный, его нельзя предотвратить, можно только контролировать и влиять с целью замедления.

Основными способами воздействия на качество продукта будем считать: правильный выбор рецептуры, технологии, упаковки, транспортировки, соблюдение режимов хранения. Для оценки процесса порчи необходимо знать закономерности его протекания. При изучении таких закономерностей должны быть применены современные методы моделирования. Учитывая, что порча продукции в основном происходит в процессе его хранения и является функцией времени, модели должны строиться по законам кинетического моделирования [4].

Процессы порчи пищевых продуктов принято классифицировать по трем основным видам процессов, происходящих в продукте: физические; химические; микробиологические изменения.

Между ними существует определенная корреляция и в большинстве случаев в том или иной степени наблюдаются все три вида порчи. Как правило, они связаны между собой по законам нелинейной (непрямой) зависимости и влияют друг на друга.

Практика хранения многих пищевых продуктов (мясо, молоко, рыба) показывает, что есть явно выраженный показатель порчи продукта. Например, вареная колбаса пришла в негодность в результате быстрого за время ( $t$ ) увеличения количества токсических веществ ( $y$ ), вызванного плесенью. В таком случае кинетическую модель изменения качества продукта можно записать в виде дифференциального уравнения

$$m_i \frac{d^2}{dt^2} y(t) - a \frac{d}{dt} y(t) = 0, \quad (1)$$

где  $a$  – характеристика токсичности плесени;  $m_i$  – приведенное к единице массы продукта количество плесени.

Представим решение уравнения (1), приняв начальные условия  $y(0) = 0 \Rightarrow \frac{dy}{dt} = V_{oy}$ .

Учтя их, получим

$$y(t) = \frac{V_{oy} m_i (\exp(\frac{at}{m_i}) - 1)}{a} \quad (2)$$

Выполнив дифференцирование последнего уравнения, найдем скорость накопления токсического вещества

$$\frac{d}{dt} y(t) = V_{oy} \exp(\frac{at}{m_i}) \quad (3)$$

Метод получения численных значений  $a$  и  $m_i$  в упрощенной модели (1) предложено основывать на интерполяции экспериментальных данных и их анализе.

Из экспериментальных данных  $y(t)$  находим численные значения  $y_1$  при  $t_1$  и  $\frac{dy_1}{dt_1} = V_1$ . Скорость  $V_1$  находим исходя из графика функции как тангенс  $tg \alpha$  где  $\alpha$  - угол наклона касательной в точке  $t_1$ . Обязательным есть выполнение условия  $t_1 \neq 0$ .

Строим систему двух алгебраических уравнений (4), (5) и находим две неизвестные величины  $a$  и  $m_i$ .

$$y_1 = \frac{V_{oy} m_i \exp\left(\frac{at_1}{m_i}\right)}{a} \quad (4)$$

$$V_1 = V_{oy} \exp\left(\frac{at_1}{m_i}\right) \quad (5)$$

### **Результаты исследований**

Разработанная теория кинетического моделирования качества и прогнозирования срока годности пищевых продуктов на базе дифференциальных уравнений второго порядка с широкими возможностями варьирования начальными условиями открывает значительно большие возможностей анализа кинетики накопления вредных веществ в продукте, по сравнению с существующими сенсорными методами. Открывает новые возможности для разработки стандартов квалитетической оценки качества пищевых продуктов.

Если для определения срока годности пищевых продуктов применять метод анализа состояния профиля качества в интервале заданного ограничения площади, тогда постоянные интегрирования  $C_1$  и  $C_2$  находят, решая задачу заданность краевыми условиями в интервале  $y_1 \div y_2$ .

В этом случае решение уравнения (1) запишем

$$y(t) = \frac{y_1 \exp\left(\frac{at_1}{m_i}\right) - y_2}{\exp\left(\frac{at_1}{m_i}\right) - 1} - \frac{(y_1 - y_2)a \exp\left(\frac{at_1}{m_i}\right)}{\exp\left(\frac{at_1}{m_i}\right) - 1} \quad (6)$$

Выполнив дифференцирование, найдем скорость изменения состояния системы

$$\frac{dy}{dt} = \frac{y_2 - y_1}{\exp\left(\frac{at_1}{m_i}\right) - 1} a e^{at} \quad (7).$$

Представленные модели найдут применение при прогнозировании порчи различных пищевых продуктов, определении срока их годности и промежуточного состояния в любой отрезок времени хранения, проектирования новых видов продукции или изменений их рецептуры.

### **Выводы**

Представлен метод получения математического описания процесса изменения качества пищевых продуктов (порчи) на базе дифференциальных уравнений второго порядка для анализа кинетики накопления вредных веществ в различных пищевых продуктах.

Представленные модели найдут применение при прогнозировании порчи пищевых продуктов, определении срока их годности и промежуточного состояния в любой отрезок времени хранения, проектирования новых видов продукции или изменений их рецептуры.

Предложена теория моделирования качества пищевых продуктов при их хранении. В основу положено анализ дифференциальных уравнений второго порядка, описывающих кинетику накопления вредных веществ и изменение структурно-механических свойств. Модель может также учитывать исходное состояние продукта - количество вредных веществ и скорость их накопления, влияние на процесс температуры, влажности, наличие кислорода, состояние упаковки и другие факторы. Показаны пути упрощения модели и возможности ее практического использования. [4]

### **Библиографический список**

1. Смоляр В.И. Рациональное питание. – К.: Наук. Думка, 1991. –368 с.
2. Коваль О.А. Якість м'ясної сировини // Мясной бизнес. – К. –№6. – 2002. – С. 6-9.
3. SAGUY, I., KAREL, M. Modeling of quality deterioration during food processing and storage //Food Technology. – 1980. – 34(2). –P. 78-85.
4. Гуць В.С., Коваль О.А. Моделювання якості молочних продуктів з урахуванням терміну зберігання і вмісту шкідливих речовин // Інноваційні технології, проблеми якості і безпеки сировини та готової продукції у м'ясній та молочній промисловості: Міжнародна науково-технічна конференція. 27-28 листопада 2007 р. – К., – 2007. – С. 90-92.
5. Гуць В.С. Прикладна реологія і інтенсифікація процесів харчових виробництв. Дис. ...д. т. н.: 05.18.12. –К., 1999. – 393 с.