

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЯКОСТІ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

В. С. Гуць, В. А. Русавська, О.А. Коваль

Віктор ГУЦЬ,

доктор технічних наук, професор,
Київський національний університет культури і мистецтв,
м. Київ, Україна,
goots@ukr.net

Валентина РУСАВЬКА,

кандидат технічних наук, професор,
Київський національний університет культури і мистецтв,
м. Київ, Україна,

Ольга КОВАЛЬ,

кандидат технічних наук, доцент,
Національний університет харчових технологій,
м. Київ, Україна
Koval_andreevna@ukr.net

Якість продуктів харчування, способи їх зберігання - предмет особливої уваги для підтримки здорового способу життя. Під якістю продуктів розуміють сукупність властивостей, які забезпечують фізіологічні потреби людини в харчових і смакових речовинах, безпечні для його здоров'я і дають можливість відрізнити продукти один від іншого. Під час тривалого зберігання якість продукту, як правило, погіршується. Змінюються його органолептичні властивості: зовнішній вигляд, консистенція, запах, смак. Погіршується харчова цінність: зменшується вміст вітамінів, незамінних жирних кислот, накопичуються шкідливі для здоров'я продукти розпаду білка, окислення жирів, утворюються отруйні речовини, розмножуються хвороботворні мікроби.

Пріоритетним завданням при використанні продуктів харчування є визначення терміну їх зберігання, відповідності органолептичних, біохімічних, мікробіологічних, структурно-механічних та інших якісних показників фізіологічним властивостям організму людини.

Для характеристики якості харчових продуктів необхідно мати їх оцінку, яка дозволяла б врахувати необхідний хімічний склад (білки, жири, вуглеводи, вітаміни і ін.), органолептичні показники (смак, аромат, колір, соковитість і ін.), структурно-механічні властивості (твердість, в'язкість, крихкість, пружність і ін.), визначити кінетику їх змін в залежності від прийнятої технології, кількості і активності корсенвантів, термінів зберігання.

При оцінці якості продукту важливо встановити співвідношення показників, які впливають на біологічну, харчову та енергетичну цінність за різними, характерними для конкретних продуктів, критеріями відповідності (Смоляр В. І. Рациональное питание. - К.: Наук. Думка, 1991.- 368 С. Коваль О.А. Якість м'ясної сировини / М'ясний бізнес.-2002 №6.-С.6-9.

Харчові продукти в основному складаються з біоматеріалів, які з часом змінюють свої структурно - механічні властивості, розкладаються і псуються. Процес псування об'єктивний, його не можна запобігти, можна тільки контролювати і впливати на нього для уповільнення. Основними способами впливу можна вважати: правильний вибір технології і рецептури продукту, упаковки та умов транспортування, дотримання режимів зберігання.

Щоб оцінити процес псування необхідно знати закономірності його протікання. В основу таких закономірностей повинні бути покладені сучасні методи моделювання. З огляду на те, що псування продукції проходить в процесі її зберігання і є функцією часу, моделі повинні будуватися за законом кінетичного моделювання (Гуць В.С., Коваль О.А. Моделювання якості молочних продуктів з урахуванням терміну зберігання.....).

Процеси псування харчових продуктів прийнято класифікувати за трьома основними видами: фізичні (структурно-механічні); хімічні; мікробіологічні. Між ними існує кореляційний зв'язок і в більшості випадків в тій, чи іншій мірі, спостерігаються всі три види псування. Як правило, вони пов'язані між собою за законами нелінійної залежності та впливають один на одного.

При зберіганні харчових продуктів існує кілька основних факторів, що впливають на тривалість і визначають вид псування: температура, рН,

активність води, наявність кисню, інтенсивність світлового потоку, різноманітність і властивості інгредієнтів, а також продуктів їх розпаду.

Ефективним засобом для попередження мікробіологічного псування і протікання цілого ряду хімічних реакцій, що знижують якість харчових продуктів при зберіганні, є зниження активності води в харчових продуктах. Для зниження активності води використовують такі технологічні прийоми, як сушка, в'ялення, додавання різних речовин (цукор, сіль і ін.), заморожування. З метою досягнення тієї чи іншої активності води в продукті можна застосовувати різні технологічні прийоми.

У таблиці 1 наведено основні причини, що перш за все впливають на тривалість зберігання харчових продуктів в побуті та в закладах харчування.

Таблиця 1.

Основні причини, що впливають на тривалість збереження харчових продуктів

Харчовий продукт	Причини погіршення якості	Основні фактори впливу
1	2	3
Молоко	Окислення, прогрівання, зростання кількості мікроорганізмів	Кисень, температура, сторонні домішки, стан сировини
Сухе молоко	Окислення, потемніння, комкування	Кисень, вологість, температура, упаковка
Молочні продукти	Окислення, прогрівання, кристалізація лактози	Кисень, температура, упаковка, технологія
Морозиво	Утворення і зростання кристалів льоду і лактози, окислення	Температура (заморожування / розморожування), кисень
Свіжа яловичина	Зростання кількості мікроорганізмів (бактерій), окислення, втрата вологи	Температура, кисень, світло, вологість
Свіжа птиця	Зростання кількості мікроорганізмів	Температура, кисень
Свіжа риба, морепродукти	Зростання кількості мікроорганізмів, окислення	Температура, кисень, механічні пошкодження

Фрукти, овочі	Ферментативне розм'якшення, зростання мікроорганізмів, забій, втрата вологи	Температура, світло, кисень, вологість, механічні пошкодження при транспортуванні
Хліб	Міграція вологи (черствіння), ретроградація крохмалю, зростання мікроорганізмів	Вологість, температура, кисень, стан сировини
Сухі зернові сніданки	Міграція вологи (розм'якшення), ретроградація крохмалю, окислення, ламкість	Вологість, температура, окислення, упаковка
1	2	3
М'які хлібобулочні вироби	Міграція вологи (черствіння), зростання мікроорганізмів (цвілі), ретроградація крохмалю	Вологість, температура, кисень
Хрусткі хлібопекарські вироби / смажені продукти (крекери і т. д.)	Міграція вологи (розм'якшення), пліснява, окислення, ламкість	Вологість, температура, кисень, світло, механічні пошкодження при транспортуванні, упаковка
Шоколад	Кристалізація цукру (цукрове посивіння), кристалізація, окислення	Вологість, температура, упаковка
Цукерки	Міграція вологи, кристалізація цукру	Температура, вологість, упаковка
Пиво	Окислення, зростання кількості мікроорганізмів	Кисень, світло, температура
Кава, чай	Окислення, температурний опік (зневоднення), виморожування вологи	Кисень, температура, вологість
Заморожене м'ясо	Окислення, зміна структури, погіршення	Кисень, температура, вологість

	технологічних характеристик, температурний опік (зневоднення), виморожування ВОЛОГИ	
--	---	--

Існує багато методів моделювання зміни якості різних матеріальних систем (SAGUY, I., KAREL, M. Modeling of quality deterioration during food processing and storage//Food Technology, 1980, 34(2), 78-85.). Враховуючи складність математичного моделювання псування харчових продуктів при зберіганні, запропонована узагальнена модель зміни якості без їх заморозки. Вона включає змінний залежний показник $y(t)$ якості продукт, і враховує основні, на нашу думку, фактори впливу температуру Tn та узагальнений показник K кількості і якості консервантів, що, за своїм функціональним призначенням, впливають на тривалість t зберігання продукту.

Запишемо таку модель у вигляді диференційованого рівняння другого порядку. Воно відображає в балах зв'язок величини оцінки якості $y(t)$ продукту від часу t зберігання і пов'язано з рушійною силою процесу - загально прийнятним показником активності води:

$$\left(\frac{d^2}{dt^2} y(t)\right) + R \left(\frac{d}{dt} y(t)\right) = A_w \quad (1)$$

де R - узагальнена характеристика, яка відображає вплив на якість продукту наявність і активність консервантів – K та температури зберігання - Tn . ($R = K / Tn$), A_w - рушійна сила зміни стану системи в нашому випадку це показник активності води.

Величину узагальненої характеристики R якості продукту можна визначити маючи експериментальні дані для кожного виду продукції, кількості і активність (якість) консервантів в їх рецептурі, а також температури зберігання, побудувавши, наприклад, рівняння регресії.

$$R = a * K + v * Tn + c * K / Tn + (2),$$

де a, b, c – коефіцієнти нелінійного рівняння регресії. Слід мати на увазі, що залежно від продукту та умов зберігання може бути і інша функціональна залежність.

Розв'язок рівняння (1) при початкових умовах $y(0) = 0, D(y)(0) = V_0$ буде (Дьяконов В.П. (2006). *Maple 9.5/10 в математике, физике и образовании*, 720. – М.: СОЛОН-Пресс.):

$$y(t) = -\frac{e^{(-Rt)}(V_0 R - \dot{A}w)}{R^2} + \frac{\dot{A}w t}{R} + \frac{V_0 R - \dot{A}w}{R^2} \quad (2)$$

Виконавши диференціювання останнього рівняння, знайдемо швидкість псування продукту:

$$V = \frac{d}{dt} y(t) = \frac{e^{(-Rt)}(V_0 R - \dot{A}w)}{R} + \frac{\dot{A}w}{R} \quad (3)$$

З рівняння (3) також можна знайти значення показника $y(t)$ якості продукт помножив швидкість на тривалість процесу.

Можливість практичного використання запропонованої математичної моделі розглянемо на прикладі прийнявши початкову швидкість процесу псування $V_0 = 0.01$ та показники активності води, які виберемо з таблиці 2 для різних продуктів.

Для сирів $A1w = 0.95$; печива $A2w = 0.5$; сухарів $A3w = 0.2$, використавши рівняння (2), визначимо функціональну залежність швидкості псування V від $R, A1w, A2w, A3w$. Для наглядності представимо її у вигляді 3д графіків використавши комп'ютерну програму «Maple» побудови графіків - plot3d.

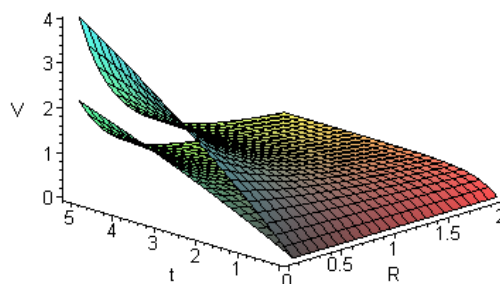


Рис.1 Залежність швидкості V псування продуктів за показниками активності води A_w $A1_w = 0.95$ (верхня поверхня); $A2_w = 0.5$ (нижня поверхня), при тривалості t зберігання до п'яти днів та зміні узагальненої характеристики R від нуля до двох.

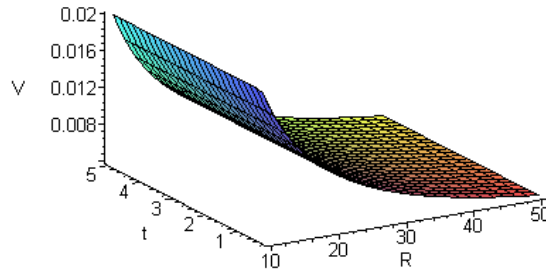


Рис.2. Залежність швидкості V псування продуктів за показником активності води $A3_w = 0.2$ при тривалості t зберігання до п'яти днів та зміні узагальненої характеристики R від нуля до двох.

Аналіз графіків показує, що зменшення показника активності води з $A1_w=0.95$ до $A3_w=0.2$ при змінних величинах R від нуля до двох приводить до зниження швидкості псування продукту приблизно в 100 разів.

Таблиця 2

Показники активності води

продукт	Вологість,%	a_w	продукт	Вологість,%	a_w
фрукти	90-95	0,97	мед	10-15	0,75
яйця	70-80	0,97	карамель	8-9	0,65
м'ясо	60-70	0,97	печиво	7-8	0,50
сир	40	0,92- 0,96	шоколад	6-7	0,40
джем	30-35	0,82- 0,94	Сухий цукор	0,2-0,15	0,10
хліб	40-50	0,95	сухарі	5-6	0,20

Висновки. Розроблена теорія кінетичного моделювання якості і визначення терміну придатності харчових продуктів на базі диференціальних рівнянь другого порядку відкриває значно більші, у порівнянні з існуючими сенсорними методами, можливості для розробки стандартів оцінки якості харчових продуктів. Представлена математична модель знайде застосування

при прогнозуванні псування різних харчових продуктів, визначенні терміну їх придатності і проміжного стану в будь-який відрізок часу зберігання.

Література.

1. Смоляр В И. Рациональное питание.-К.: Наук. Думка, 1991.-368 с.
2. Коваль О.А. Якість м'ясної сировини / Мясной бізнес.-2002.-№6.-С.6-9.
3. SAGUY, I., KAREL, M. Modeling of quality deterioration during food processing and storage//Food Technology, 1980, 34(2), 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. Доп. С. 90-92. Київ, 2007 (27-28 листопада).
- 5 Дьяконов В.П. (2006). *Maple 9.5/10 в математике, физике и образовании*, 720. – М.: СОЛОН-Пресс.