

Aneta OCIECZEK

e-mail: daszenka@am.gdynia.pl

Katedra Organizacji Usług Turystyczno-Hotelarskich, Wydział Przedsiębiorczości i Towaroznawstwa, Akademia Morska, Gdynia

Ocena możliwości zastosowania testów przyspieszonych w prognozowaniu trwałości makaronów

Wstęp

Jakość jest stopniem, w jakim zbiór inherentnych właściwości spełnia wymagania konsumenta [1]. Jednym z istotnych elementów owego zbioru jest trwałość, nazywana również trwałością przechowalniczą. Terminem tym określa się czas, w którym produkt zachowuje parametry jakościowe na wymaganym poziomie [2, 3]. O trwałości produktów spożywczych decydują w głównej mierze czynniki środowiskowe tj. temperatura, wilgotność, ciśnienie atmosferyczne, promieniowanie świetlne oraz rodzaj opakowania. Wpływ czynników środowiskowych na trwałość przechowalniczą produktów spożywczych uzależniony jest od indywidualnych cech produktu [4]. Dyskwalifikacja jakościowa produktu żywnościowego może być spowodowana niepożądanymi zmianami organoleptycznymi tj. nieprzyjemnym zapachem, zmianą barwy, czy też zmianą struktury produktu [5].

Producenci żywności, będąc zobligowanymi do podawania terminu przydatności do spożycia produktów spożywczych na ich opakowaniach, zainteresowani są poszukiwaniem metod przyspieszonego wyznaczania trwałości ASLT (*Accelerated Shelf-Life Testings*). Badania nad metodami, które pozwalają na skrócenie czasu i zminimalizowanie kosztów wprowadzania nowego produktu na rynek znajdują swe ekonomiczne uzasadnienie.

Celem niniejszej pracy jest ocena możliwości prognozowania trwałości makaronów na podstawie zmiany oceny sensorycznej z zastosowaniem testów przyspieszonych.

Materiał i metody badań

Przeprowadzono badania makaronu bezejacznego, wyprodukowanego w warunkach przemysłowych i przechowywanego w czasie eksperymentu przez okres 12 tygodni.

Próbki przechowywano w komorach klimatycznych zapewniających określoną wilgotność ERH (44 i 75)% oraz temperaturę (25, 30, 35, 40, 45)°C. Badaniu poddano makaron opakowany w folię PP i makaron nieopakowany.

Podstawą budowy modelu było wyznaczenie praktycznego czasu przechowywania PSL (*Practical Storage Life*) w oparciu o zmiany ogólnej oceny sensorycznej według równania:

$$PSL = t + \frac{a_0 - 3,5}{a_0 - a_1} t_c \quad (1)$$

gdzie:

a_0 – najniższa wartość oceny sensorycznej przed przekroczeniem wartości krytycznej (pkt.),

a_1 – najwyższa wartość oceny sensorycznej poniżej wartości krytycznej (pkt.),

t – czas spadku wartości początkowej do poziomu a_0 (dni),

t_c – czas jednego cyklu badawczego (dni),

wartość krytyczna = 3,5 punktu; krytyczny poziom oceny poniżej, którego następuje dyskwalifikacja produktu.

Wyniki oceny sensorycznej były średnią arytmetyczną ocen przyznanych przez pięcioosobowy zespół o sprawdzonej wrażliwości sensorycznej [6].

Omówienie wyników i dyskusja

Zwykle wzrost temperatury powoduje przyspieszenie zmian niekorzystnych dla jakości żywności. Kinetyczno-cząsteczkowa teoria zderzeń aktywnych wyjaśnia mechanizm wpływu wzrostu temperatury na szybkość zachodzących reakcji poprzez osiągnięcie tzw. energii aktywacji. Podwyższenie temperatury powoduje zarówno zwiększenie

częstości zderzeń jak i energii reagujących cząstek. W wyniku tego podniesienie temperatury prowadzi do wzrostu szybkości reakcji. Jednocześnie wzrost aktywności wody powoduje zazwyczaj spadek energii aktywacji [7, 8].

Posługując się równaniem *Arrheniusa* można obliczyć parametry termodynamiczne kompleksu aktywnego, a tym samym szacować wpływ temperatury na szybkość poszczególnych reakcji decydujących o psuciu się żywności. Wpływ wzrostu temperatury na szybkość procesu jest tym większy, im większa jest wartość energii aktywacji. Zatem podwyższenie temperatury w różnym stopniu wpływa na poszczególne procesy [4].

W żywności podczas przechowywania zachodzą zazwyczaj procesy o różnych wartościach energii aktywacji (E_a). W praktyce oznacza to, że temperatura przechowywania wpływa na względną szybkość procesów. W niższych temperaturach relatywnie szybciej będzie zachodził proces o niższej energii aktywacji, w wyższych – proces o wyższej energii aktywacji. Temperatura przechowywania może zatem decydować o rodzaju reakcji odpowiedzialnej za psucie się żywności. Przedstawiony mechanizm wskazuje na ograniczoną przydatność oceny trwałości produktu z wykorzystaniem tzw. testów przyspieszonych bazujących na przechowywaniu produktów spożywczych w wysokiej temperaturze w celu przyspieszenia procesów psucia się. Dlatego podjęto próbę oceny skuteczności testów przyspieszonych w prognozowaniu trwałości makaronów bazujących na zmianie oceny sensorycznej, którą można traktować jako wypadkową wszystkich zachodzących reakcji.

Pierwszym etapem budowy modelu było wyznaczenie praktycznego czasu przechowywania PSL. Jako podstawę do wyliczenia tej wielkości przyjęto wyniki empiryczne ogólnej oceny sensorycznej (Tab. 1).

Tab. 1. Zmiany oceny sensorycznej makaronu w czasie przechowywania

ERH [%]	Temp. [°C]	Wartość początkowa oceny sensorycznej 4,90					
		Czas przechowywania [tyg.]					
		2	4	6	8	10	12
		Bez opakowania					
44	25	4,89	4,18	4,06	3,81	3,61	3,49
	30	4,50	4,14	3,82	3,61	3,49	3,24
	35	4,17	3,88	3,70	3,39	3,18	3,00
	40	3,81	3,68	3,50	3,31	3,06	2,57
	45	3,61	3,56	3,25	2,83	2,05	1,47
75	25	4,63	4,04	3,89	3,61	3,47	2,96
	30	4,04	3,70	3,45	3,11	2,89	2,47
	35	3,68	3,40	3,17	2,71	2,36	1,73
	40	3,47	3,19	3,12	2,76	2,27	1,50
	45	3,26	3,15	2,73	2,12	1,88	1,19
		Opakowanie z folii polipropylenowej					
44	25	4,90	4,40	4,40	4,12	4,06	4,00
	30	4,65	4,20	4,15	3,88	3,83	3,62
	35	4,26	4,00	3,75	3,63	3,49	3,36
	40	4,00	3,87	3,70	3,36	3,19	2,80
	45	3,88	3,55	3,50	3,08	2,86	2,26
75	25	4,76	4,46	4,33	4,07	3,80	3,62
	30	4,39	4,27	4,02	3,90	3,50	3,26
	35	3,99	3,79	3,56	3,31	2,97	2,60
	40	3,70	3,50	3,36	3,05	2,79	2,20
	45	3,51	3,38	3,12	2,60	2,11	1,72

Za krytyczną wartość przydatności konsumpcyjnej uznano wartość 3,50 punktu, uzyskaną przez produkt w ogólnej ocenie sensorycznej.

Czas, po którym ocena sensoryczna osiągnęła wartość krytyczną, przyjęto za praktyczny czas przechowywania (Tab. 2). W obliczeniach założono liniowy przebieg utraty jakości w zakresie wartości od a_0 do a_1 .

Wyznaczone wartości PSL w prezentacji kartezjańskiej nie tworzyły linii prostej, co było powodem poszukiwania równania krzywej wykazującej lepsze dopasowanie do wyznaczonych empirycznie zbiorów punktów. Zastosowano w tym celu metodę najmniejszych kwadratów. Ocenę dopasowania funkcji regresji do danych empirycznych wykonano poprzez wyznaczenie i weryfikację wartości takich parametrów jak: odchylenie standardowe składnika resztowego $Se(Y)$, współczynnik zmienności przypadkowej $Ve(Y)$, współczynnik determinacji $R^2(yx)$ oraz indeks korelacji $R(yx)$ [9].

Tab. 2. Wartości praktycznego czasu przechowywania

Rodzaj opakowania	ERH [%]	Temp. [°C]	PSL [dni]		
Bez opakowania	44	25	83		
		30	69		
		35	51		
		40	42		
		45	31		
		25	67		
	75	30	39		
		35	23		
		40	14		
		45	12		
		Opakowanie z folii PP	44	25	138*
				30	98*
35	69				
40	50				
45	42				
25	99*				
75	30		70		
	35		45		
	40		28		
	45		15		

* wartość punktowa w całym okresie przechowywania nie przekroczyła wartości krytycznej 3,50, dlatego podane wartości ekstrapolowano w oparciu o funkcję kwadratową

Dla każdego wariantu eksperymentu najlepsze dopasowanie do wyznaczonych wartości PSL wykazała funkcja kwadratowa postaci $y = a + bx + cx^2$. Wykorzystanie funkcji kwadratowej do ekstrapolowania trwałości wyrobów makaronowych poza zakres temperatur stosowanych w eksperymencie będącym podstawą budowy tego modelu wiąże się jednak z ryzykiem popełnienia dużego błędu w przypadku przekroczenia współrzędnych ekstremum tej funkcji. Dlatego też wyznaczono również współczynniki modelu zakładającego liniową zależność praktycznego czasu przechowywania wyrobów makaronowych od temperatury składowania produktu. Funkcja ta miała postać $y = a + bx$. Inną zaletą wykorzystania funkcji liniowej do prognozowania trwałości makaronu jest uproszczenie niezbędnych obliczeń. Wyznaczone współczynniki funkcji opisujących zależność PSL od temperatury zestawiono w tab. 3.

Tab. 3. Współczynniki funkcji opisujących zależność PSL od temperatury

Rodzaj opakowania	ERH (%)	Funkcja kwadratowa $y = a + bx + cx^2$			Funkcja liniowa $y = a + bx$	
		a	b	c	a	b
Bez opakowania	44	194	-5,46	0,041	147	-2,62
	75	324	-14,51	0,169	126	-2,71
Opakowanie z folii PP	44	495	-19,53	0,210	162	-2,70
	75	337	-12,43	0,117	176	-3,64

Funkcje opisujące zmiany praktycznego czasu przechowywania wyrobów makaronowych w zależności od parametrów przechowywania weryfikowano w oparciu o wyniki testów przechowalniczych. Obliczone wartości praktycznego czasu przechowywania makaronu porównano z wartościami empirycznymi i zestawiono w tab. 4.

Porównanie wartości uzyskanych z obliczeń opartych na funkcji liniowej i kwadratowej z wartościami empirycznymi pozwoliło stwier-

dzić większą uniwersalność modelu opartego na funkcji liniowej do prognozowania trwałości wyrobów makaronowych przechowywanych w temperaturach wykraczających poza zakres temperatur eksperymentu, na podstawie którego model ten wyprowadzono.

Tab. 4. Porównanie czasu przechowywania makaronu obliczonego w oparciu o zaproponowane funkcje z wartościami doświadczalnymi

Rodzaj opakowania	ERH [%]	Temp. [°C]	Praktyczny czas przechowywania [dni]		
			Wartości obliczone		Wartości praktyczne
			funkcja kwadratowa	funkcja liniowa	
Bez opakowania	44	10	144	121	118
		20	101	95	98
		30	67	68	62
	75	10	196	99	92
		20	101	72	66
		30	41	45	40
Opakowanie z folii PP	44	10	321	135	155
		20	188	108	102
		30	98	81	80
	75	10	224	140	163
		20	135	103	95
		30	70	67	69

Wartości obliczone na podstawie funkcji liniowej wykazały lepsze dopasowanie do wartości praktycznych w przypadku prób nieopakowanych.

Wartości empiryczne PSL makaronu opakowanego przechowywanego w niższych temperaturach wyższe od wyznaczonych w oparciu o model liniowy były prawdopodobnie skutkiem oddziaływania temperatury na intensywność migracji składników folii polipropylenowej. Wyniki badań wpływu opakowań na jakość produktów spożywczych wskazują, że w wyniku migracji może następować zmiana cech sensorycznych produktu. W przypadku niektórych substancji zmiany te mogą być wywołane niewykrywalną instrumentalnie ilością substancji migrującej, nie stanowiącą zagrożenia toksykologicznego, powodującą jednak w produkcji zmiany smaku i zapachu.

W przypadku funkcji kwadratowej, mimo lepszego dopasowania do wartości empirycznych, po przekroczeniu wspomnianego wyżej zakresu temperatur mogą występować odchylenia wynikające ze zmiany charakteru przebiegu funkcji.

Wnioski

1. Badania wykorzystania testów przyspieszonych i metod modelowania matematycznego potwierdziły możliwość prognozowania jakości produktów makaronowych.
2. Przeprowadzona weryfikacja wykazała możliwość zastosowania funkcji liniowej do prognozowania trwałości wyrobów makaronowych przechowywanych w zróżnicowanych warunkach klimatycznych i opakowaniowych.
3. Funkcja kwadratowa może być wykorzystana tylko w przebadanym zakresie temperatur.

LITERATURA

- [1] PN-EN ISO 9000:2001 *Systemy zarządzania jakością. Podstawy i terminologia*.
- [2] Z. E. Sikorski: *Chemia żywności. Skład, przemiany i właściwości*. WNT, Warszawa 2000.
- [3] F. Świdorski: *Towaroznawstwo żywności przetworzonej*. Wyd. SGGW, Warszawa 1999.
- [4] B. Czerniawski, J. Michniewicz: *Opakowania żywności*, AGRO FOOD TECHNOLOGY, Czeladź 1998.
- [5] Z. Cichoń: *Nowoczesne opakownictwo żywności*. Ossolineum, Wrocław 1996.
- [6] H. Barylko-Pikielna: *Zarys analizy sensorycznej*. WNT, Warszawa 1975.
- [7] T. P. Labuza: *Food & Nutrition*, 47, 56, (1982).
- [8] P. P. Lewicki: *Przemysł spożywczy*, 5, (2003).
- [9] W. Makać, D. Urbanek-Krzysztofiak: *Metody opisu statystycznego*, Wydawnictwo UG, Gdańsk 2000.