

KATARZYNA KAJAK, DANUTA KOŁOŻYN-KRAJEWSKA

**SZACOWANIE OKRESU PRZYDATNOŚCI DO SPOŻYCIA
PRODUKTÓW MIĘSNYCH ZA POMOCĄ
MODELI PROGNOSTYCZNYCH**

Streszczenie

Celem badań było opracowanie modeli prognostycznych umożliwiających szacowanie okresu przydatności do spożycia produktów mięsnych z rozdrobnionego mięsa wołowego. Utworzono liniowe modele z wyrazem wolnym wzrostu (ogólnej liczby drobnoustrojów) OLD [log jtk/g], zawierające wszystkie analizowane zmienne (dodatek NaCl i NaNO₂, czas przechowywania i temperaturę) z zastosowaniem regresji liniowej oraz modele powierzchni odpowiedzi Gomperta i logistyczne wzrostu (ogólnej liczby drobnoustrojów) OLD [log jtk/g] z uwzględnieniem wpływu dodatku NaCl i NaNO₂. Obliczenia wykonano nieliniową metodą najmniejszych kwadratów, za pomocą algorytmu Gaussa-Newtona. Na podstawie danych uzyskanych z analiz mikrobiologicznych opracowano liniowe modele ogólnej liczby drobnoustrojów (OLD), umożliwiające szacowanie okresu przydatności do spożycia produktów mięsnych, przede wszystkim w niskiej temperaturze przechowywania (5°C). Otrzymane, dobrze dopasowane statystycznie, modele powierzchni odpowiedzi Gomperta i logistyczne, w zadowalający sposób umożliwiają prognozowanie okresu przydatności do spożycia produktów mięsnych, przede wszystkim w zakresie wyższej temperatury przechowywania (15°C).

Słowa kluczowe: mikrobiologia prognostyczna, modelowanie, mięso wołowe, NaCl, NaNO₂

Wprowadzenie

Bezpieczeństwo mikrobiologiczne żywności jest zazwyczaj określane za pomocą testów „challenge test”. Testy takie naśladują wpływ czynników środowiskowych na produkty żywnościowe, warunki wzrostu i rozprzestrzenianie się drobnoustrojów patogennych i saprofitycznych oraz dostarczają informacji niezbędnych do określenia okresu przydatności do spożycia żywności w ustalonych warunkach przechowywania produktu. Testy te są jednak kosztowne i długotrwałe [2, 5, 7].

Duża różnorodność produktów mięsnych, procesów przetwórczych, metod pakowania, przechowywania i dystrybucji powodują, że w wyrobach gotowych są obecne różne mikroorganizmy. Możliwości rozwoju drobnoustrojów można ograniczyć, przechowując produkty w warunkach chłodniczych i przestrzegając łańcucha chłodniczego. Odpowiedź mikroorganizmów na główne czynniki zewnętrzne i wewnętrzne (np. temperatura czy dodatek substancji konserwujących) może zostać wyrażona w postaci równania matematycznego, które zostanie zastosowane do obiektywnego szacowania ryzyka wystąpienia infekcji pochodzenia żywnościowego, intoksykacji lub zepsucia produktu pod wpływem mikroflory saprofitycznej [5].

Wiedza o kinetyce wzrostu drobnoustrojów oraz odpowiednie badania pomogą określić okres przydatności do spożycia produktu przechowywanego w określonej temperaturze i przewidzieć ten okres, podczas zmiennej temperatury przechowywania [3]. Konstrukcja bardziej precyzyjnych modeli prognostycznych będzie możliwa, gdy zacznie się do tego celu wykorzystywać wiedzę o fizjologii i biologii molekularnej zachowania się bakterii w żywności [1].

Zazwyczaj modelowanie polega na zastosowaniu metod regresji liniowej i nieliniowej, a dane dotyczące wzrostu oraz parametry modelu dopasowywane są do równania przy użyciu różnych algorytmów [9]. Wszystkie modele są uproszczeniem skomplikowanych procesów warunkujących wzrost bakterii. Muszą być upraszczane do racjonalnej liczby wejściowych parametrów, które łatwo jest zmierzyć (temperatura, pH, a_w) [4]. Dobry model powinien charakteryzować się jak najmniejszą liczbą parametrów niezbędnych do otrzymania wartości prognozowanych, zgodnych z wartościami empirycznymi. Fu i Labuza [3] twierdzą, że modele z jedną lub dwiema zmiennymi są równie praktyczne w użyciu, jak modele powierzchni odpowiedzi mające wiele zmiennych.

Modele mogą stać się efektywną częścią np. procesu przetwórczego mięsa i pomóc w zapobieganiu zatruciom pokarmowym. Programy komputerowe mogą służyć oszacowaniu okresu przydatności do spożycia produktów spożywczych, m.in. mięsa i produktów mięsnych [5]. Tradycyjne metody mikrobiologiczne odnoszą się tylko do konkretnych warunków przechowywania produktu. Dzięki zastosowaniu modeli prognostycznych można pokonać te bariery. Zadaniem wszystkich modeli jest przewidywanie bezpieczeństwa mikrobiologicznego lub okresu przydatności do spożycia żywności [6].

Celem badań było opracowanie modeli prognostycznych umożliwiających szacowanie okresu przydatności do spożycia modelowych produktów mięsnych z rozdrobnionego mięsa wołowego. Parametrami modeli były: czas, temperatura przechowywania produktów, dodatek NaCl i NaNO₂. Przedstawione w pracy badania stanowią kontynuację doświadczeń w zakresie prognozowania mikrobiologicznego, dotyczącego produktów mięsnych, reprezentujących grupę wyrobów z mięsa

rozdrobionego, prowadzonych przez zespół Zakładu Technologii Gastronomicznej i Higieny Żywności SGGW w Warszawie.

Materiał i metody badań

Materiałem do badań były produkty mięsne w postaci kulek (typu „meat-ball”), wykonane w warunkach laboratoryjnych. Stanowiły one modelowy produkt z mięsa rozdrobnionego. Produkty wykonano z mielonego mięsa wołowego z udźca, bułki tartej w ilości 100 g na 1000 g mięsa, mleka UHT o zawartości 2% tłuszczu w ilości 100 ml na 1000 g mięsa, cebuli w ilości 100 g na 1000 g mięsa, NaCl (0, 1 i 2%) oraz NaNO₂ (0 ppm, 60 ppm i 120 ppm). Surowce do badań kupowano w sieci sklepów detalicznych. Kupowano mięso świeże, bezpośrednio po rozbiorze tuszy.

Wykonano 9 wariantów modelowych produktów z mięsa rozdrobnionego, z różnymi wielkościami dodatku NaCl i NaNO₂ (tab. 1).

Tabela 1

Warianty modelowych produktów mięsnych z dodatkiem NaCl i NaNO₂.

The variants of model meat products with some added NaCl and NaNO₂.

Wariant produktu Variants of product	Dodatek NaCl Added NaCl [%]	Dodatek NaNO ₂ Added NaNO ₂ [ppm]
A	0	0
B	0	60
C	0	120
D	1	0
E	1	60
F	1	120
G	2	0
H	2	60
I	2	120

Do mielonego mięsa dodawano NaCl i NaNO₂, a następnie poddawano procesowi peklowania w temp. 4°C przez 2 godz. Po godzinie peklowania masę ponownie mieszano. Do odważonego zapeklowanego mięsa dodawano odważone pozostałe składniki i dokładnie mieszano. Formowano kulki mięsne o masie 100 ± 5g, które umieszczano w blaszkach wyłożonych folią aluminiową i pieczono w piekarniku elektrycznym w temp. 150°C do momentu osiągnięcia wewnątrz produktu temp. 75°C (termopara Czaki ThermoProduct, typ EMT-302).

Upieczone produkty były przykrywane folią aluminiową i chłodzone do temperatury pokojowej. Po schłodzeniu produkty pakowano w torebki polietylenowe (o grubości 0,66 mm, przepuszczalne w stosunku do pary wodnej $8,96 \text{ g/m}^2/24 \text{ godz.} \pm 0,28$, przepuszczalne w stosunku do tlenu $888 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ godz.}$), zgrzewano i przechowywano w inkubatorze mikrobiologicznym z dochładzaniem (Prebatem) w temp. 5, 10 i 15°C do 16 dni. Wykonano 10 serii produkcji.

Mikrobiologicznie oznaczano ogólną liczbę drobnoustrojów tlenowych mezofilnych (skrótowo: ogólna liczba drobnoustrojów) – OLD [jtk/g], metodą zalewową na agarze odżywczym (Noack Poland), temp. inkubacji 37°C , czas inkubacji 48 godz., według PN-A-82055-6:1994 [8].

Obliczenia statystyczne przeprowadzono z użyciem pakietu statystycznego: Statgraphics Plus for Windows, ver. 4.1, Statistical Graphics Corp. oraz Microsoft Excel. Na podstawie testu Shapiro-Wilka stwierdzono, że próby nie miały rozkładu normalnego, dlatego do analiz statystycznych zastosowano nieparametryczny odpowiednik analizy wariancji: test Kruskalla-Walisa. Różnice testowano na poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

Utworzono liniowe modele, z wyrazem wolnym, wzrostu OLD [log jtk/g], zawierające wszystkie analizowane zmienne (dodatek NaCl i NaNO_2 , czas przechowywania i temperaturę) (1) z zastosowaniem regresji liniowej.

$$Y = a + b \cdot T + c \cdot t + d \cdot \text{NaCl} + e \cdot \text{NaNO}_2 \quad (1)$$

gdzie: Y – log jtk/g bakterii,
 T – temperatura przechowywania [$^\circ\text{C}$],
 t – czas przechowywania [dni],
 NaCl – dodatek NaCl [%],
 NaNO_2 – dodatek NaNO_2 [ppm],
 a-e – parametry do określenia.

Modele powierzchni odpowiedzi Gompertza (2) i modele powierzchni odpowiedzi logistyczne (3) wzrostu OLD [log jtk/g] z uwzględnieniem wpływu dodatku NaCl i NaNO_2 obliczano nieliniową metodą najmniejszych kwadratów, za pomocą algorytmu Gaussa-Newtona.

$$Y = a + b \cdot [\exp(-\exp(-(t-c)/d))] \cdot [\exp(-\exp(-(T-e)/d))] + f \cdot \text{NaCl} + g \cdot \text{NaNO}_2 \quad (2)$$

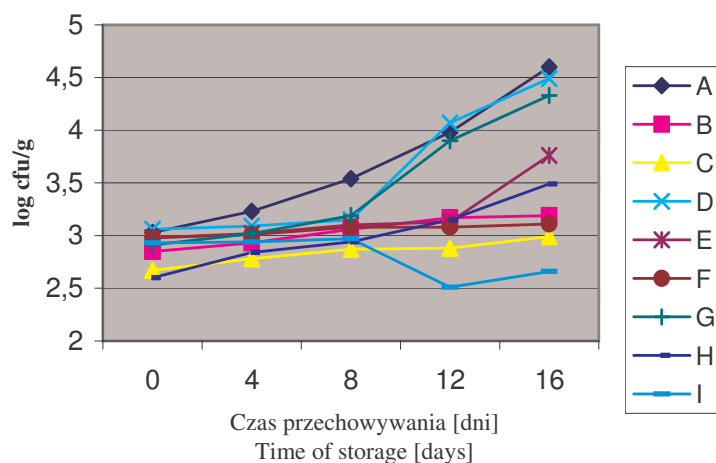
$$Y = a + b \cdot [1/(1 + \exp(-(t-c)/d))] \cdot [1/(1 + \exp(-(T-e)/d))] + f \cdot \text{NaCl} + g \cdot \text{NaNO}_2 \quad (3)$$

gdzie: Y – log jtk/g bakterii,
 t – czas przechowywania [dni],
 T – temperatura przechowywania [$^\circ\text{C}$],
 NaCl – dodatek NaCl [%],
 NaNO_2 – dodatek NaNO_2 [ppm],
 a-g – parametry do określenia.

Okres przydatności do spożycia określano zakładając końcową liczbę drobnoustrojów OLD = 6 log jtk/g.

Wyniki i ich omówienie

Na podstawie badań mikrobiologicznych stwierdzono, że w czasie przechowywania produktów pieczonych peklowanych najwyższą dawką NaNO₂ (120 ppm) bez dodatku soli lub z 1-procentowym dodatkiem NaCl, nie zaobserwowano statystycznie istotnego wzrostu OLD podczas całego okresu przechowywania w temp. 5°C (różnice między dniem 0. a 16. nie są większe od 0,32 log jtk/g). W innych produktach nastąpił istotnie statystyczny wzrost OLD w 12. dniu przechowywania, średnio o 1 log (rys. 1).



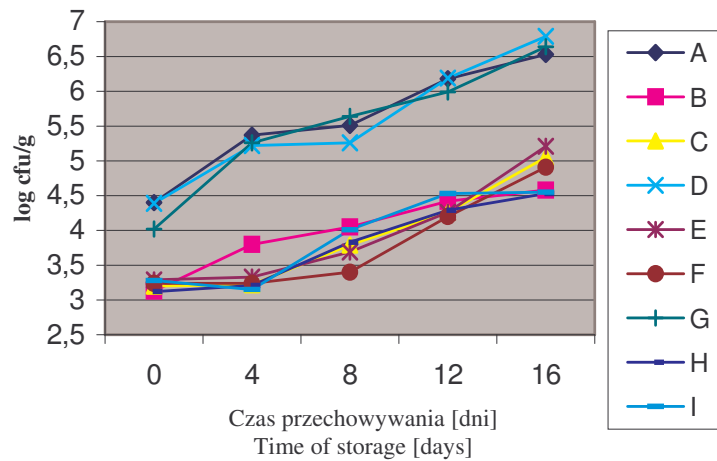
Rys. 1. Ogólna liczba drobnoustrojów (OLD) (log jtk/g) w produktach przechowywanych w temperaturze 5°C.

Fig. 1. Total viable count TVC (log cfu/g) in meat products stored at temperature 5°C.

W temp. 10°C (rys. 2) już po 4 dniach przechowywania produktów bez dodatku NaNO₂ zanotowano statystycznie istotny wzrost liczby bakterii, średnio o 1 log. W produktach z dodatkiem NaNO₂ statystycznie istotny wzrost OLD zanotowano w 8. dniu przechowywania produktów (średnio wzrost wynosił 0,6 log jtk/g). Po 16 dniach przechowywania produktów z dodatkiem NaNO₂ w temp. 10°C wartości OLD nie przekroczyły 5,5 log jtk/g.

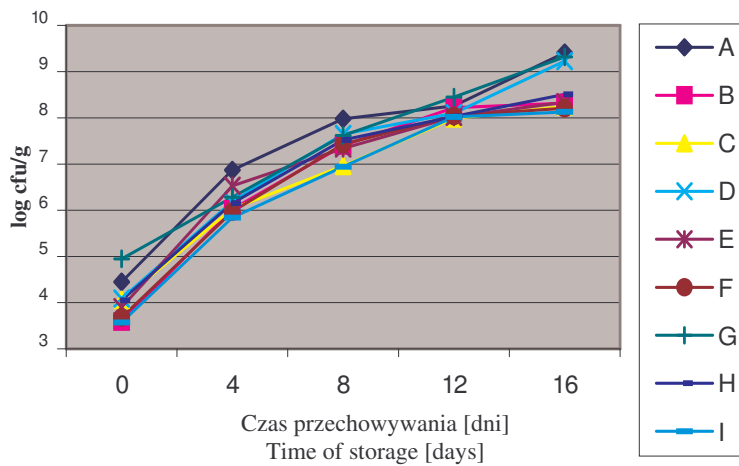
W produktach przechowywanych w najwyższej temp. (15°C) OLD wzrastała przez cały czas trwania doświadczenia. Stwierdzono statystycznie istotny wzrost liczby bakterii (średnio o 2,30 log jtk/g) już po 4 dniach przechowywania i dalszy wzrost podczas kolejnych dni (rys. 3). W produktach z największym dodatkiem NaNO₂

zaobserwowano spowolnienie wzrostu bakterii, co objawiało się brakiem statystycznie istotnych różnic w liczbie bakterii w 12. i 16. dniu przechowywania (różnice nie przekraczały 0,25 log jtk/g).



Rys. 2. Ogólna liczba drobnoustrojów (OLD) (log jtk/g) w produktach przechowywanych w temperaturze 10°C.

Fig. 2. Total viable count TVC (log cfu/g) in meat products stored at temperature 10°C.



Rys. 3. Ogólna liczba drobnoustrojów (OLD) (log jtk/g) w produktach przechowywanych w temperaturze 15°C.

Fig. 3. Total viable count TVC (log cfu/g) in meat products stored at temperature 15°C.

Obliczone liniowe modele, z wyrazem wolnym, wzrostu OLD (4) w solonych i peklowanych produktach mięsnych, przechowywanych w różnej temperaturze przez 16 dni, uwzględniające 4 analizowane zmienne (czas i temperatura przechowywania produktów oraz dodatek NaCl i NaNO₂), charakteryzują się stosunkowo wysokim współczynnikiem determinacji, R² = 0,85 (tab. 2), co wskazuje, że takie proste modele mogą w dostateczny sposób opisywać zachowanie się bakterii.

$$Y_{\text{OLD}} = 0,50 + 0,37 \cdot T + 0,15 \cdot t - 0,04 \cdot \text{NaCl} - 0,01 \cdot \text{NaNO}_2 \quad (4)$$

Tabela 2

Wartości parametrów i statystyki opisowe modelu liniowego wzrostu OLD [log jtk/g] z wyrazem wolnym. Parameters and statistical descriptions of a linear model of growth in the total viable count (TVC) [log cfu/g].

Wyszczególnienie Specification		T [°C]	t [dni] [days]	NaCl [%]	NaNO ₂ [ppm]
Wartość parametru Parameters	0,50	0,37	0,15	-0,04	-0,01
Błąd standardowy Standard error	0,24	0,02	0,01	0,08	0,00
Test t-Studenta t-Student test	2,14	22,18	12,16	-0,43	-6,02

Zmienne niezależne modelu (temperatura i czas przechowywania, dodatek NaCl i NaNO₂) powinny być silnie skorelowane ze zmienną zależną (OLD), a słabo między sobą. W utworzonym modelu można zauważyć właśnie takie zależności (tab. 3). Modele te potwierdzają, że największy wpływ na wzrost drobnoustrojów wywiera temperatura przechowywania. Można zauważyć dodatnią korelację czasu przechowywania ze wzrostem liczby bakterii (współczynnik korelacji wzrostu OLD w czasie wynosi R = 0,428). Najmocniej ze wzrostem drobnoustrojów była skorelowana temperatura przechowywania produktów, a najslabiej zawartość NaCl (tab. 3).

Stwierdzono ujemną korelację między wielkością dodatku NaNO₂ a wzrostem OLD. Wraz ze wzrostem ilości dodanego NaNO₂ zmniejszała się liczba bakterii. Wpływ NaCl na wzrost drobnoustrojów był niejednoznaczny: przy wyższym dodatku NaCl obserwowano mniejszą liczbę bakterii wyrażoną jako OLD.

W pracy opracowano modele powierzchni odpowiedzi Gompertza wzrostu OLD [log jtk/g] (5) oraz modele powierzchni odpowiedzi logistyczne OLD [log jtk/g] (6) z uwzględnieniem wpływu dodatku NaCl i NaNO₂. Ponieważ otrzymane modele są

czterowymiarowe (czas i temperatura przechowywania produktów, dodatek NaCl i NaNO₂) nie przedstawiono ich formy graficznej, a jedynie równania.

Tabela 3

Macierz współczynników korelacji liniowej modeli wzrostu OLD.

Coefficients Matrix of the linear correlation of models of growth in the total viable count [TVC].

Parametry Parameters	OLD TVC	T	T	NaCl	NaNO ₂
OLD / TVC	1	0,781	0,428	-0,015	-0,212
T	-	1	0	0	0
t	-	-	1	0	0
NaCl	-	-	-	1	0
NaNO ₂	-	-	-	-	1

$$Y = 3,56 + 11,25 \cdot [\exp(-\exp(-(t-2,48)/5,26))] \cdot [\exp(-\exp(-(T-12,40)/5,26))] - 0,04 \cdot \text{NaCl} - 0,01 \cdot \text{NaNO}_2 \quad (5)$$

$$Y = 3,16 + 11,64 \cdot [1/(1+\exp(-(t-3,54)/3,68))] \cdot [1/(1+\exp(-(T-14,52)/3,68))] - 0,04 \cdot \text{NaCl} - 0,01 \cdot \text{NaNO}_2 \quad (6)$$

Powyższe modele mają po 7 parametrów (parametr f oznacza NaCl, parametr g oznacza NaNO₂), oraz wysokie wartości współczynnika determinacji, $R^2 = 0,95$. W każdym z otrzymanych modeli parametr dotyczący wpływu NaCl (parametr f) nie był statystycznie istotny. Oznacza to brak wpływu NaCl na zmianę liczby mikroorganizmów w przeprowadzonych badaniach (tab. 4 i 5).

Okresy przydatności do spożycia solonych i peklowanych produktów mięsnych przechowywanych w różnej temperaturze obliczono przyjmując wartość OLD = 6 log [jtk/g]. Na podstawie przeprowadzonych badań empirycznych stwierdzono, że taka wartość jest osiągnięta w ciągu od 2,5 do 4,5 dnia odpowiednio w przypadku produktów bez dodatku NaCl i NaNO₂ i w produktach z największym dodatkiem NaCl i NaNO₂. W temp. 5°C przechowywania produktów nie zanotowano wartości 6 log OLD podczas trwania doświadczenia.

Porównując okresy przydatności do spożycia produktów mięsnych, szacowane na podstawie uzyskanych modeli, do okresów uzyskanych z badań empirycznych można stwierdzić, że prognozy te w wielu przypadkach wydają się być prawdopodobne (tab. 6)

Tabela 4

Wartości parametrów i statystyki opisowe modelu powierzchni odpowiedzi Gompertza wzrostu OLD [log jtk/g].

Parameters and statistical descriptions of the Gompertz response surface model of the TVC growth [log cfu/g].

Parametry Parameters	A	b	c	d	e	F	g
Wartość parametru Parameters	3,56	11,25	2,48	5,26	12,40	-0,04	-0,01
Błąd standardowy Standard error	0,11	1,73	0,35	0,64	0,66	0,05	0,00
Test t-Studenta t-Student test	31,10	6,51	7,16	8,28	18,90	-0,77	-10,75
Poziom istotności Significance level	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,44	0,00

Tabela 5

Wartości parametrów i statystyki opisowe modelu powierzchni odpowiedzi logistycznej wzrostu OLD [log jtk/g].

Parameters and statistical descriptions of the logistic response surface model of the TVC growth [log cfu/g].

Parametry Parameters	A	b	c	d	e	F	g
Wartość parametru Parameters	3,16	11,64	3,54	3,68	14,52	-0,04	-0,01
Błąd standardowy Standard error	0,15	2,12	0,36	0,39	1,15	0,05	0,00
Test t-Studenta t-Student test	20,39	5,49	9,96	9,48	12,64	-0,79	-10,96
Poziom istotności Significance level	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,43	0,00

Okresy przydatności do spożycia produktów podczas przechowywania w temp. 5°C, wyznaczone na podstawie modelu liniowego, nie różnią się w zależności od wielkości dodatku NaNO₂ i NaCl.

Na podstawie skonstruowanych modeli powierzchni odpowiedzi Gompertza i logistycznych nie udało się oszacować czasu w przypadku produktów

przechowywanych w temp. 5 i 10°C. Modele OLD w produktach mięsnych nie osiągają wartości 6 log jtk/g. Uzyskane modele powierzchni odpowiedzi Gompertza i logistyczne uwzględniające dodatek NaCl i NaNO₂, umożliwiły obliczenie czasu przydatności do spożycia produktów mięsnych przechowywanych w temp. 15°C. W takiej temperaturze przechowywania stwierdzono wydłużenie okresu składowania wraz ze wzrostem wielkości dodatku NaNO₂. Nie są to jednak duże różnice.

Tabela 6

Okresy przydatności do spożycia [dni] solonych i peklowanych produktów mięsnych, przechowywanych w różnej temperaturze, wyliczone na podstawie uzyskanych modeli.

Shelf-live rates [days] of cured and salted meat products stored at different temperatures; the rates were computed using the predictive models developed.

Temp. przechow Storage temperatur e	Wielkość dodatków NaCl i NaNO ₂ / Amounts of NaCl and NaNO ₂ added									
	NaCl [%]	0	0	0	1	1	1	2	2	2
	NaNO ₂ [ppm]	0	60	120	0	60	120	0	60	120
5°C	Model prognos. Predictive Model	Okres przydatności do spożycia / Shelf-live of meat products								
	Lin	24,3	24,4	24,5	24,6	24,7	24,7	24,9	24,9	25,0
10°C	E	11	---	---	11	---	---	12	---	---
	Lin	12,0	12,1	12,1	12,3	12,3	12,4	12,5	12,6	12,7
15°C	E	2,5	4	4,1	3,8	3	4	3	4,1	4,5
	Lin	-0,3	-0,3	-0,2	-0,1	0	0,1	0,2	0,3	0,3
	Gw	2,9	4,1	5,4	3,0	4,2	5,5	3,1	4,3	5,6
	Lw	5,9	7,2	9,0	6,0	7,3	9,1	6,0	7,4	9,3

Lin – model liniowy z wyrazem wolnym, E – badania empiryczne, Gw – model powierzchni odpowiedzi Gompertza z wyrazem wolnym, Lw – model powierzchni odpowiedzi logistyczny z wyrazem wolnym; Lin – linear model with a free factor (parameter); E – empirical research; Gw – Gompertz response surface model with a free factor (parameter); Lw – logistic response surface model with a free (added) parameter.

Okresy do osiągnięcia wartości 6 log oszacowane na podstawie modeli powierzchni odpowiedzi logistycznych wzrostu OLD są znacznie dłuższe niż wartości szacowane na podstawie analogicznych modeli Gompertza, co potwierdza lepsze dopasowanie do danych eksperymentalnych funkcji Gompertza w porównaniu z logistyczną. Funkcja logistyczna, w przeciwieństwie do Gompertza, jest symetryczna w punkcie przegięcia krzywej [10]. Podobne spostrzeżenia poczynili McDonald i Sun

[5]. Z reguły lepsze dopasowanie modelu do danych uzyskuje się stosując funkcję Gomperta, ponieważ wiele krzywych wzrostu bakterii jest niesymetrycznych.

Oszacowane na podstawie modeli powierzchni odpowiedzi Gomperta, uwzględniających dodatek NaCl i NaNO₂, okresy przydatności do spożycia solonych i peklowanych produktów mięsnych, przechowywanych w temp. 15°C, są zbliżone do wielkości uzyskanych eksperymentalnie. Okresy przydatności do spożycia szacowane na podstawie modeli powierzchni odpowiedzi logistycznych, uwzględniających dodatek NaCl i NaNO₂ są dłuższe i wydają się mało wiarygodne. Model liniowy z wyrazem wolnym uznano za nieprzydatny, gdyż oszacowane na jego podstawie okresy przydatności do spożycia nie przekraczają jednego dnia, a w niektórych przypadkach przyjmują wartość ujemną (tab. 6).

Wnioski

1. Na podstawie danych uzyskanych z analiz mikrobiologicznych opracowano liniowe modele ogólnej liczby drobnoustrojów (OLD), umożliwiające szacowanie okresu przydatności do spożycia produktów mięsnych, przede wszystkim w niższej temperaturze przechowywania (5°C).
2. Statystycznie dopasowane modele powierzchni odpowiedzi Gomperta i logistyczne w zadowalający sposób prognozują okres przydatności do spożycia produktów mięsnych, przede wszystkim w zakresie wyższej temperatury przechowywania (15°C).

Literatura

- [1] Baird-Parker A. C.: Development of industrial procedures to ensure the microbiological safety of food. *Food Contr.*, 1995, **1**, 29-36.
- [2] Baranyi J., Roberts T. A.: Mathematics of predictive food microbiology. *Int. J. Food Microbiol.*, 1995, **2**, 199-218.
- [3] Fu B., Labuza T. P.: Shelf-life prediction: theory and application. *Food Control* 1993, **3**, 125-133.
- [4] Knøchel S., Gould G.: Preservation microbiology and safety: Quo vadis?. *Trends Food Technol.*, 1995, **4**, 127-131.
- [5] McDonald K., Sun D.-W.: Predictive food microbiology for the meat industry: a review. *Int. J. Food Microbiol.*, 1999, **1-2**, 1-27.
- [6] McMeekin T. A., Presser K., Ratkowsky D., Ross T., Salter M., Tienungoon S.: Quantifying the hurdle concept by modelling the bacterial growth/no growth interface. *Int. J. Food Microbiol.*, 2000, **1-3**, 93-98.
- [7] Notermans S., in 't Veld P.: Microbiological challenge testing for ensuring safety of food products. *Int. J. Food Microbiol.*, 1994, **1-2**, 33-39.
- [8] PN-A-82055-6:1994. Mięso i przetwory mięsne. Badania mikrobiologiczne. Oznaczanie ogólnej ilości drobnoustrojów.
- [9] Ratkowsky D. A.: Principles of nonlinear regression modelling. *J. Ind. Microbiol.*, 1993, **3-5**, 195-199.

- [10] Schaffner D. W., Labuza T. P.: Predictive microbiology: where are we, and where are we going? Food Technol., 1997, **4**, 95.

ASSESSMENT OF THE SHELF-LIFE OF MEAT PRODUCTS USING PREDICTIVE MODELS

S u m m a r y

The objective of this paper was to construct and develop predictive models, the application of which it makes possible to assess the shelf-life of meat products produced of ground beef meat. There were constructed primary linear models with a free parameter of growth of the total viable count (TVC) [log cfu/g] containing all the analyzed variables (the addition of NaCl and NaNO₂, storage time, and temperature); the said models were constructed using a linear regression, as well as Gompertz (G) and logistic (L) response surface models of the growth of total viable count (TVC) [log cfu/g] including the impact as exerted by NaCl and NaNO₂ added. The computation was performed using a nonlinear least squares method supported by the Gauss-Newton algorithm. On the basis of the results obtained from the microbiological analyses performed, linear models of the total viable count (TVC) were developed; with those models, it was possible to assess the shelf-life of meat products, and, first of all, of those stored at a low temperature (5°C). The Gompertz and logistic surface response models obtained and statistically well fitted, enable manufacturers to satisfactorily predict the shelf-life of meat products, in particular of those stored at a higher storage temperature (15°C).

Key words: predictive microbiology, modelling, beef-meat, NaCl, NaNO₂ ☒