

MONIKA TRZĄSKOWSKA, DANUTA KOŁOŻYN-KRAJEWSKA,  
ANTONI GORYL

## PROGNOZOWANIE WZROSTU I PRZEŻYWALNOŚCI BAKTERII PROBIOTYCZNYCH W FERMENTOWANYM SOKU MARCHWIOWYM

### Streszczenie

Celem pracy było skonstruowanie prognostycznych modeli wzrostu i przeżywalności bakterii potencjalnie probiotycznych w fermentowanym soku marchwiowym.

Stwierdzono, że liczba bakterii *Lactobacillus acidophilus* CH-2, zastosowanych do fermentacji soku marchwiowego, utrzymywała się na wysokim poziomie przez cały badany okres przechowywania.

Na podstawie badań empirycznych liczby bakterii potencjalnie probiotycznych w soku marchwiowym, skonstruowano modele prognostyczne, które w zadowalający sposób opisują wzrost i przeżywalność tych bakterii w badanym produkcie. Skonstruowane matematyczne modele wzrostu i przeżywalności bakterii probiotycznych fermentowanego soku marchwiowego umożliwiają szacowanie okresu przydatności do spożycia tego produktu, w zależności od warunków przechowywania.

**Słowa kluczowe:** mikrobiologia prognostyczna, bakterie kwasu mlekowego, sok marchwiowy, probiotyk

### Wprowadzenie

W latach 80. XX w. powstała nowa subdyscyplina mikrobiologii żywności – mikrobiologia prognostyczna. Schaffner i Labuza [15] zdefiniowali mikrobiologię prognostyczną jako połączenie wyników badań „dyscyplin: mikrobiologii żywności, inżynierii i statystyki, aby zapewnić użyteczne przewidywanie zachowania mikroorganizmów w żywności”.

Według Ross i McMeekin [14], wyniki przedstawiane w formie równań matematycznych przez interpolację mogą służyć do przewidywania zachowania drobnoustro-

---

Dr inż. M. Trząskowska, prof. dr hab. D. Kołożyn-Krajewska, Katedra Techniki i Technologii Gastronomicznej Wydz. Nauk o Żywieniu Człowieka i Konsumpcji, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, ul. Nowoursynowska 159 C, 02-776 Warszawa, dr A. Goryl, Katedra Ekonometrii, Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, ul. Rakowicka 27, 31-510 Kraków

jów w nowych warunkach otoczenia, tj. takich, które nie były rzeczywiście testowane. Taki sposób postępowania umożliwia:

1. Przewidywanie przydatności do spożycia produktu i jego bezpieczeństwa lub zmian w jego strukturze. Pozwoli to także racjonalnie projektować nowe procesy i produkty o odpowiednim poziomie bezpieczeństwa i trwałości.
2. Obiektywną kontrolę procesu produkcji w celu zapewnienia bezpieczeństwa, w związku z tym realizację założeń systemu HACCP.
3. Obiektywną ocenę skutków uchybień w warunkach przechowywania produktów żywnościowych.

Modele fermentacji zazwyczaj dotyczą koncentracji substratów lub produktów, podczas gdy modele prognostyczne zwykle opisują liczbę komórek lub czynniki hamujące wzrost drobnoustrojów, np. temperaturę, pH lub aktywność wody ( $a_w$ ) [17].

Do tej pory zastosowano modelowanie prognostyczne do kilku gatunków bakterii kwasu mlekowego traktowanych jako drobnoustroje niepożądane [2, 3, 6, 7, 13]. Podjęto również badania interakcji bakterii kwasu mlekowego i bakterii patogennych [1, 9, 10, 18]. Ma to związek z możliwością produkcji przez LAB pewnych substancji bakteriostatycznych i bakteriobójczych. Najmniej liczna jest grupa modeli bakterii dobroczynnych, dodawanych celowo do produktu, aby kształtować cechy sensoryczne i zdrowotne żywności fermentowanej [4, 5].

Ze względu na niewielką liczbę modeli prognostycznych drobnoustrojów celowo dodawanych do żywności, podjęto próbę zbadania wybranych czynników wzrostu i przeżywalności bakterii potencjalnie probiotycznych w soku warzywnym i opracowanie matematycznego modelu przeżywalności tych bakterii.

Celem pracy było skonstruowanie prognostycznych modeli wzrostu i przeżywalności bakterii potencjalnie probiotycznych w fermentowanym soku marchwiowym. Zakresem badań objęto oznaczenie liczby bakterii *Lactobacillus acidophilus* CH-2 w fermentowanym soku marchwiowym przechowywanym przez 32 dni w temperaturze 5, 10 i 15°C oraz skonstruowanie mikrobiologicznych modeli prognostycznych (liniowych, nieliniowych i modeli powierzchni odpowiedzi).

### **Material i metody badań**

Material do badań stanowił sok marchwiowy z dodatkiem sacharozy i wybranego w etapie projektowania szczepu bakterii *Lactobacillus acidophilus* CH-2. Sok marchwiowy z dodatkiem *Lactobacillus acidophilus* CH-2 fermentowano w temp. 32°C przez 15 godz. Stosowany w badaniu szczep bakterii kwasu mlekowego pochodził z kolekcji Instytutu Technologii Fermentacji i Mikrobiologii Politechniki Łódzkiej.

Liczbę bakterii fermentacji mlekowej *L. acidophilus* CH-2 w soku marchwiowym oznaczano metodą płytkową przez posiew wgłębny na podłożu MRS, inkubacja w temp. 30°C przez 72 godz. Wyniki podano w jednostkach tworzących kolonie w  $\text{cm}^3$

produktu (jtk/cm<sup>3</sup>), natomiast podczas konstruowania modeli zastosowano logarytm dziesiętny liczby bakterii. Liczę bakterii *L. acidophilus* CH-2 w soku marchwiowym oznaczano bezpośrednio po fermentacji i co 4 dni do 32. dnia przechowywania.

Fermentowany sok marchwiowy przechowywano w wysterylizowanych kolbach stożkowych z korkiem z waty, w temp. 5, 10 i 15°C, w cieplarni z chłodzeniem o termostabilności  $\pm 0,05^\circ\text{C}$ .

Do konstruowania mikrobiologicznych modeli prognostycznych zastosowano następujące funkcje: regresji liniowej, regresji wykładniczej, funkcję Gompertza, funkcję logistyczną, powierzchnię odpowiedzi Gompertza, powierzchnię odpowiedzi logistyczną, powierzchnie wielomianowe.

Przyjęto poziom istotności  $p = 0,05$ . Obliczeń dokonano w programie TableCurve 2D (jedna zmienna niezależna) i TableCurve 3D (dwie zmienne niezależne) firmy SYSTAT Software Inc.

## Wyniki i dyskusja

Do pasteryzowanego soku marchwiowego dodawano szczep *L. acidophilus* CH-2 w liczbie średnio 7,2 log jtk/cm<sup>3</sup>. Fermentacja tego soku w temp. 32°C, przez 15 godz., powodowała wzrost liczby bakterii do średnio 8,96-9,01 log jtk/cm<sup>3</sup>. W soku przechowywanym w temp. 5, 10 i 15°C, przez 32 dni średnia liczba bakterii wynosiła odpowiednio 8,86, 8,95 i 8,84 jtk/cm<sup>3</sup> (tab. 1).

Prozdrowotne działanie żywności fermentowanej, dobroczynny wpływ zawartych w niej bakterii jest związany z liczbą żywych komórek obecnych w produkcie w okresie przydatności do spożycia. Wielu autorów zaleca spożywanie odpowiednio dużej liczby żywych bakterii probiotycznych. W definicji probiotyków nie podaje się dokładnej liczby bakterii, która wywiera efekt zdrowotny, jednak zaleca się spożywanie co najmniej 6 log do 9 log dziennie, aby go wywołać [8, 11, 16].

Mikrobiologiczny model prognostyczny jest wyrażeniem matematycznym opisującym wzrost, przeżywalność, inaktywację lub zmiany biochemiczne mikroorganizmów w żywności. Modele pierwszorzędowe opisują zmiany liczby bakterii w czasie, pod wpływem określonych warunków środowiska i kultury bakteryjnej. Dane empiryczne opisujące zmiany liczby drobnoustrojów są dopasowywane do funkcji takich, jak: funkcja liniowa, logistyczna, funkcja Gompertza [12].

W przypadku pierwszorzędowego modelu liniowego (funkcja regresji liniowej) statystycznie istotne oszacowanie ( $p < 0,05$ ) uzyskano jedynie odnośnie zmian zachodzących w produkcie przechowywanym w temp. 5°C, współczynnik determinacji  $r^2 = 0,68$ . Dane uzyskane w soku marchwiowym przechowywanym w temp. 10 i 15°C nie pozwoliły statystycznie istotnie oszacować wzrostu i przeżywalności *L. acidophilus* CH-2 ( $p > 0,05$ ).

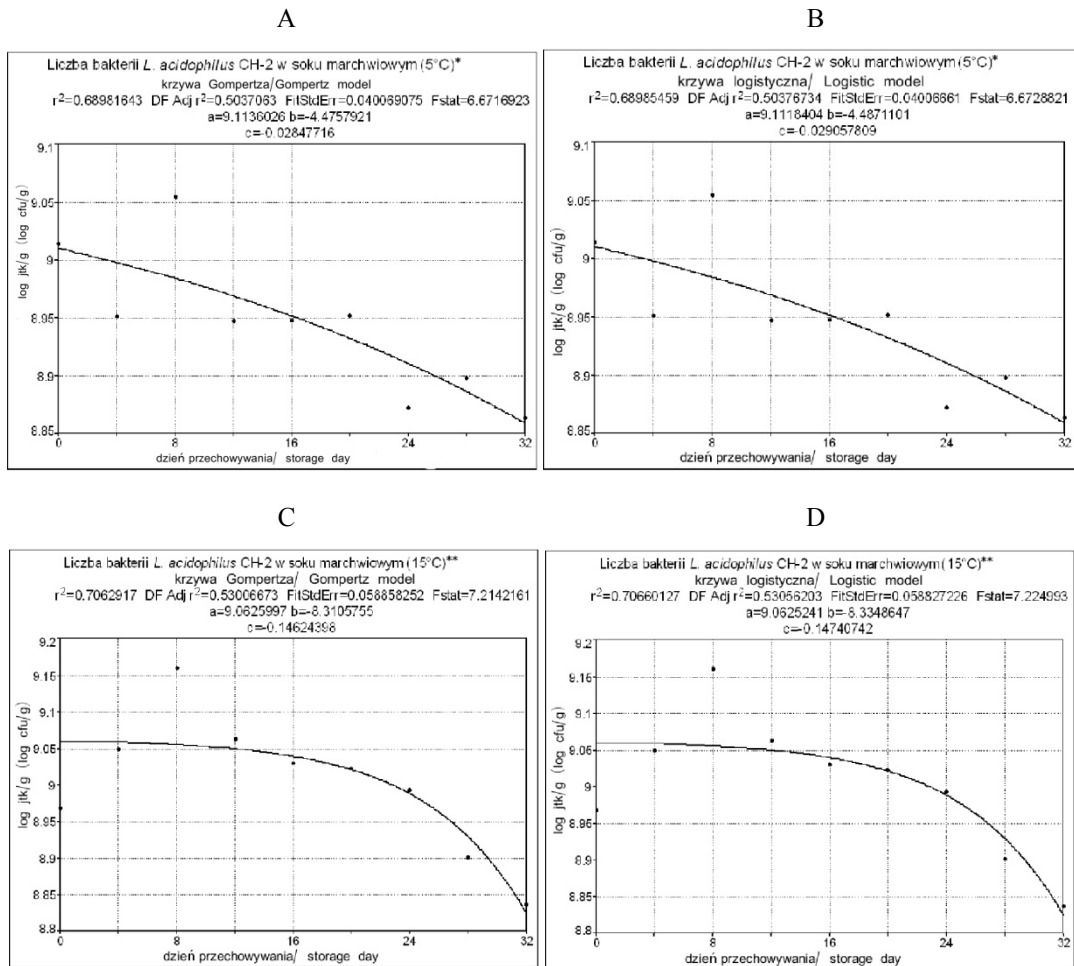
Tabela 1

Liczba bakterii *Lactobacillus acidophilus* CH-2 w fermentowanym soku marchwiowym, przechowywanym w temp. 5, 10 i 15°C, przez 32 dni.  
*Lactobacillus acidophilus* CH-2 count in fermented carrot juice stored at a temperature of 5, 10 and 15°C, during a period of 32 days.

Temperatura Temperature	Dzień przechowywania Day of storing	0	4	8	12	16	20	24	28	32
5°C	Liczba powtórzeń Number of repeats	18	21	23	17	22	18	19	24	22
	Średnia arytmetyczna Arithmetic mean	9,01	8,95	9,05	8,95	8,95	8,95	8,87	8,90	8,86
	Odchylenie standardowe Standard deviation	0,24	0,10	0,23	0,10	0,10	0,06	0,06	0,11	0,07
10°C	Liczba powtórzeń Number of repeats	12	12	12	12	12	11	12	11	12
	Średnia arytmetyczna Arithmetic mean	8,96	8,98	8,99	9,03	8,98	8,90	8,97	8,91	8,95
	Odchylenie standardowe Standard deviation	0,03	0,05	0,04	0,08	0,07	0,15	0,04	0,10	0,04
15°C	Liczba powtórzeń Number of repeats	16	18	18	18	18	17	20	20	20
	Średnia arytmetyczna Arithmetic mean	8,97	9,05	9,16	9,06	9,03	9,02	8,99	8,90	8,84
	Odchylenie standardowe Standard deviation	0,06	0,06	0,07	0,06	0,04	0,06	0,06	0,09	0,07

Wśród zastosowanych pierwszorzędowych modeli nieliniowych (funkcja wykładnicza, logistyczna i Gompertza) najlepsze dopasowanie uzyskano stosując funkcję logistyczną i Gompertza. Współczynnik determinacji  $r^2 = 0,70$  wskazuje na umiarkowanie dobre dopasowanie danych eksperymentalnych do modelu. Na rys. 1. przedstawiono wykresy krzywych Gompertza i logistycznych zmiany liczby bakterii *L. acidophilus* CH-2 w soku marchwiowym przechowywanym w temp. 5 i 15°C przez 32 dni. W próbach przechowywanych w temp. 10°C uzyskane statystyki nie objaśniały zmienności zmiennej (czasu przechowywania) w zadowalający sposób. Wartość współczynnika determinacji była niższa od  $r^2 = 0,30$ .

Model powierzchni odpowiedzi (drugorzędowy) jest to równanie regresji, które może zawierać składniki liniowe ( $x$ ), kwadratowe ( $x^2$ ), sześciennicze ( $x^3$ ), odwrotne  $1/x$  oraz interakcje tych składników. Często stosuje się logarytmowanie danych źródłowych, które ułatwia dopasowanie modelu do danych [17]. Zaletą tych modeli jest łatwość stosowania, jednak ze względu na zawarte w nich liczne parametry mogą stać się nieczytelne. Dlatego należy ze szczególną uwagą analizować uzyskane modele czy wiarygodnie przewidują wzrost mikroorganizmów [19].



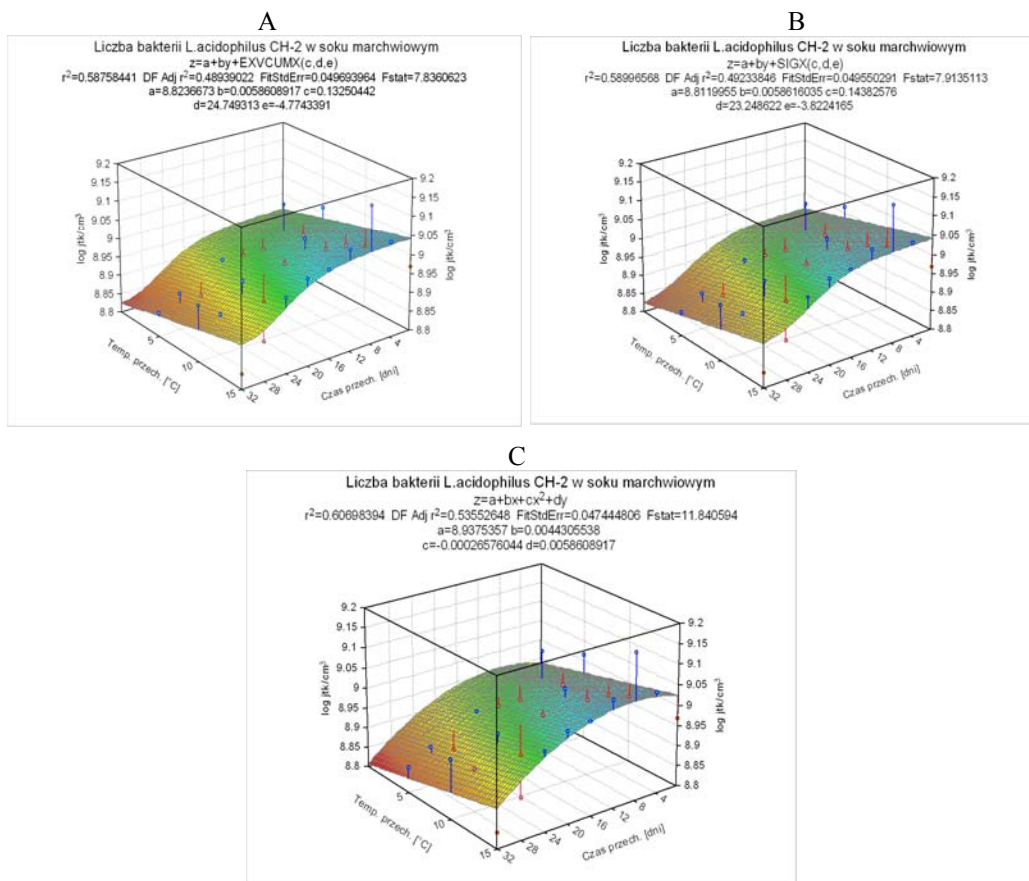
Objaśnienia: / Explanatory notes:

\* *L. acidophilus* CH-2 count in the fermented carrot juice stored at a temperature of 5°C;

\*\* *L. acidophilus* CH-2 count in the fermented carrot juice stored at a temperature of 15°C.

Rys. 1. Krzywa Gompertza (A i C) i krzywa logistyczna (B i D) zmiany liczby bakterii *L. acidophilus* CH-2 w soku marchwiowym przechowywanym w temp. 5°C (A i B) 15°C (C i D) przez 32 dni.

Fig. 1. Gompertz curve (A and C) and logistic curve (B and D) of the change in the *L. acidophilus* CH-2 bacteria count in the carrot juice stored for 32 days at a temperature of 5°C (A and B) and of 15°C (C and D).



Objaśnienia: / Explanatory notes:

\* *L. acidophilus* CH-2 count in the fermented carrot juice

Rys. 2. Model powierzchni odpowiedzi Gompertza (A), logistyczny (B) i wielomianowy (C) zmiany liczby bakterii *L. acidophilus* CH-2 w soku marchwiowym.

Fig. 2. Surface Model of the Gompertz response (A), and logistic (B) & polynomial (C) surface models of the change in *L. acidophilus* CH-2 bacteria count in the carrot juice.

W przeprowadzonym doświadczeniu, na podstawie otrzymanych danych eksperymentalnych, skonstruowano modele powierzchni odpowiedzi Gompertza, modele powierzchni odpowiedzi logistyczne i modele wielomianowe wzrostu i przeżywalności bakterii *L. acidophilus* CH-2 w fermentowanym soku marchwiowym. W modelach, na osi z przedstawiono logarytm dziesiętny jednostek tworzących kolonie (jtk) w  $\text{cm}^3$  produktu, jako funkcję czasu (oś x) i temperatury przechowywania (oś y) fermentowanego soku marchwiowego. Na rys. 2. zamieszczono modele powierzchni odpowiedzi Gompertza ( $r^2 = 0,58$ ), logistyczny ( $r^2 = 0,58$ ) i wielomianowy ( $r^2 = 0,60$ ) zmiany liczby

bakterii *L. acidophilus* CH-2 w soku marchwiowym. Modele skonstruowano na podstawie wyników badań własnych. W tab. 2. przedstawiono natomiast szczegółowe wyniki estymacji, obejmujące nie tylko miary jakości modeli i oceny parametrów, ale także ich błędy średnie szacunku i statystyki t-Studenta, pozwalające ocenić statystyczną istotność otrzymanych ocen parametrów.

Większość ocen parametrów statystycznie istotnie różni się od zera na poziomie istotności 0,05 ( $p < 0,05$ ) (wskazuje na to też wysoka wartość statystyki F), co oznacza, że w większości parametry zostały dostatecznie precyzyjnie oszacowane, aby mieć do nich zaufanie. To z kolei oznacza także, że zmienne występujące w modelu (czas i temperatura) wywierają istotny wpływ na zmienną zależną (log liczby drobnoustrojów). Niestety niezbyt duża wartość współczynnika determinacji  $r^2$  wskazuje na umiarkowany stopień wyjaśnienia zmienności zmiennej zależnej przez model.

Tabela 2

Wyniki estymacji modeli powierzchni odpowiedzi Gomperta (A), logistyczny (B) i wielomianowy (C) zmiany liczby bakterii *L. acidophilus* CH-2 w soku marchwiowym.

Estimation results of the surface model of the Gompertz response (A), and of the logistic (B) & polynomial (C) surface models of the change in *L. acidophilus* CH-2 bacteria count in the carrot juice.

**A**

Model powierzchni odpowiedzi Gomperta $z=a+by+EXVCUMX(c,d,e)$ Gompertz model $EXVCUMX(c,d,e)=c*\exp(-\exp(-(x-d)/e))$						
$r^2$	Adjustowany $r^2$	Dopasowanie błędu standardowego	Wartość F			
$r^2$	DF Adj $r^2$	Fit standard Error	F-value			
0,5876	0,4894	0,0497	7,8361			
Parametr Parameter	Wartość Value	Błąd standardowy Standard Error	Wartość t t-value	95% granica ufności 95% Confidence Limits		P> t  P> t
a	8,8237	0,0422	209,2206	8,7362	8,9111	0,000
b	0,0059	0,0023	2,5019	0,0010	0,0107	0,020
c	0,1325	0,0441	3,0056	0,0411	0,2239	0,007
d	24,7493	3,4693	7,1338	17,5544	31,9443	0,000
e	-4,7743	3,6895	-1,2940	-12,4259	2,8773	0,209
Źródło Source	Suma kwadratów Sum of Squares	Stopnie swobody DF	Średnia kwadratowa Mean Square	Statystyka F F Statistic	P>F P>F	
Regresja Regression	0,0774	4	0,0194	7,84	0,000	
Błąd Error	0,0543	22	0,0025			
Suma Total	0,1317	26				

**B**

Logistic $z=a+by+\text{SIGX}(c,d,e)$ / Logistic model $\text{SIGX}(c,d,e)=c*(1/(1+\exp(-(x-d)/e)))$						
$r^2$	Adjustowany $r^2$	Dopasowanie błędu standardowego	Wartość F			
$r^2$	DF Adj $r^2$	Fit standard Error	F-value			
0,5900	0,4923	0,0496	7,9135			
Parametr	Wartość Value	Błąd standardowy Standard Error	Wartość t t-value	95% granica ufności 95% Confidence Limits		P> t  P> t
a	8,8120	0,0676	130,3156	8,6718	8,9522	0,0000
b	0,0059	0,0023	2,5094	0,0010	0,0107	0,0200
c	0,1438	0,0727	1,9776	-0,0070	0,2947	0,0606
d	23,2486	4,6861	4,9611	13,5302	32,9671	0,0001
e	-3,8224	3,6806	-1,0385	-11,4556	3,8108	0,3103
Źródło Source	Suma kwadratów Sum of Squares		Stopnie swobody DF	Średnia kwadratowa Mean Square	Statystyka F F Statistic	P>F P>F
Regresja Regression	0,0777		4	0,0194	7,9135	0,000
Błąd Error	0,0540		22	0,0025		
Suma Total	0,1317		26			

**C**

Powierzchnia wielomianowa/ Polynomial surfaces						
$r^2$	Adjustowany $r^2$	Dopasowanie błędu standardowego	Wartość F			
$r^2$	DF Adj $r^2$	Fit standard Error	F-value			
0,6070	0,5355	0,0474	11,8406			
Parametr	Wartość Value	Błąd standardowy Standard Error	Wartość t t-value	95% granica ufności 95% Confidence Limits		P> t  P> t
a	8,9375	0,0316	283,2107	8,8723	9,0028	0,0000
b	0,0044	0,0032	1,3656	-0,0023	0,0111	0,1853
c	-0,0003	0,0001	-2,7243	-0,0005	-0,0001	0,0121
d	0,0059	0,0022	2,6205	0,0012	0,0105	0,0153
e	8,9375	0,0316	283,2107	8,8723	9,0028	0,0000
Źródło Source	Suma kwadratów Sum of Squares		Stopnie swobody DF	Średnia kwadratowa Mean Square	Statystyka F F Statistic	P>F P>F
Regresja Regression	0,0518		3	0,0023	0,000	0,000
Błąd Error	0,1317		23	0,0057		
Suma Total	0,1835		26			



W tab. 3. zestawiono oszacowaną, obliczoną za pomocą skonstruowanego modelu powierzchni odpowiedzi liczbę bakterii  $L_{LAB}$  (O) oraz dane eksperymentalne (E) uzyskane w przeprowadzonym doświadczeniu przechowalniczym. W świetle powyższych uwag o jakości oszacowanych modeli, dane oszacowane wydają się wiarygodne w badanym i niezbadanym czasie (dzień 36.) i temperaturze (20°C) przechowywania.

Tabela 3

Porównanie oszacowanej liczby bakterii  $L_{LAB}$  w soku marchwiowym przechowywanym w temp. 5, 10 i 15°C obliczonej na podstawie modelu powierzchni odpowiedzi Gomperta do uzyskanych danych eksperymentalnych oraz prognoza  $L_{LAB}$  w soku marchwiowym przechowywanym w temp. 20°C i w 36. dniu przechowywania.

Comparing the estimated  $L_{LAB}$  bacteria count in the carrot juice stored at a temperature of 5, 10 and 15°C, calculated on the basis of the surface model of the Gompertz response with the experimental data, and the prediction of the bacteria count in the carrot juice at a temperature of 20°C and on the 36<sup>th</sup> day of storing.

Dzień Day	Temperatura Temperature	5°C	10°C	15°C	20°C
0	O*	8,9847	9,0140	9,0433	9,0726
	E*	9,0144	8,9693	8,9693	
4	O	8,9838	9,0131	9,0424	9,0717
	E	8,9513	8,9826	9,0489	
8	O	8,9816	9,0109	9,0402	9,0695
	E	9,0545	8,9890	9,1611	
12	O	8,9766	9,0059	9,0352	9,0645
	E	8,9471	9,0336	9,0633	
16	O	8,9659	8,9952	9,0245	9,0538
	E	8,9479	8,9826	9,0297	
20	O	8,9445	8,9738	9,0031	9,0324
	E	8,9522	8,9020	9,0235	
24	O	8,9093	8,9386	8,9679	8,9973
	E	8,8723	8,9736	8,9938	
28	O	8,8713	8,9007	8,3000	8,9593
	E	8,8977	8,9053	8,9017	
32	O	8,8643	8,8837	8,9130	8,9423
	E	8,8636	8,9456	8,8374	
36	O	8,8530	8,8823	8,9116	8,9409

Objaśnienia: / Explanatory notes:

O\* -dane oszacowane / estimated data; E\* - dane eksperymentalne / experimental data

## Wnioski

1. Liczba bakterii *Lactobacillus acidophilus* CH-2, zastosowanych do fermentacji soku marchwiowego, utrzymywała się na wysokim poziomie (ok.  $10^9$  jtk/cm<sup>3</sup>) przez cały badany okres przechowywania, co jest cechą konieczną do uznania produktu za probiotyczny.

2. Na podstawie badań empirycznych liczby bakterii potencjalnie probiotycznych w soku marchwiowym, przechowywanym w temperaturze 5, 10 i 15°C, skonstruowano modele prognostyczne (powierzchni odpowiedzi Gomperta ( $r^2 = 0,58$ ), logistyczny ( $r^2 = 0,58$ ) i wielomianowy [ $r^2 = 0,60$ ]), które w zadowalający sposób opisują wzrost i przeżywalność tych bakterii w badanym produkcie. W celu potwierdzenia zdolności modelu do szacowania wzrostu i przeżywalności bakterii w badanym produkcie należy przeprowadzić jego weryfikację.

*Praca była prezentowana podczas VIII Konferencji Naukowej nt. „Żywność XXI wieku – Żywność a choroby cywilizacyjne”, Kraków, 21–22 czerwca 2007 r.*

### Literatura

- [1] Breidt, F., Fleming, H. P.: Modeling of the competitive growth of *Listeria monocytogenes* and *Lactococcus lactis* in vegetable broth. *Appl. Environ. Microbiol.*, 1998, **64** (9), 3159–3165.
- [2] Devlieghere, F., Debevere, J., van Impe, J.: Effect of dissolved carbon dioxide and temperature on the growth of *Lactobacillus sake* in modified atmospheres. *Int. J. Food Microbiol.*, 1998, **41** (3), 231–238.
- [3] Devlieghere, F., van Belle, B., Debevere, J.: Shelf life of modified atmosphere packed cooked meat products: a predictive model. *Int. J. Food Microbiol.*, 1999, **46** (1), 57–70.
- [4] Gianotti, A., Vannini, L., Gobetti, M., Corsetti, A., Gardini, F., Guerzoni, M. E.: Modelling of the activity of selected starters during sourdough fermentation. *Food Microbiol.*, 1997, **14** (4), 327–337.
- [5] Gomes, A. M. P., Vieira, M. M., Malcata, F. X.: Survival of probiotic microbial strains in a cheese matrix during ripening: simulation of rates of salt diffusion and microorganism survival. *J. Food Eng.*, 1998, **36** (3), 281–301.
- [6] Gómez, N., García, D., Álvarez, I., Raso, J., Condón, S.: A model describing the kinetics of inactivation of *Lactobacillus plantarum* in a buffer system of different pH and in orange and apple juice. *J. Food Eng.* 2005, **70** (1), 7–14.
- [7] Kilimann, K., Hartmann, C., Delgado, A., Vogel, R., Ganzle, M.: A fuzzy logic-based model for the multistage high-pressure inactivation of *Lactococcus lactis* ssp. *cremoris* MG 1363. *Int. J. Food Microbiol.*, 2005, **98** (1), 89–105.
- [8] Lee, Y.-K., Salminen, S.: The coming of age of probiotics, *Trends Food Sci. Technol.*, 1995, **6** (7), 241–245.
- [9] Malakar, P., Martens, D., Zwietering, M., Béal, C., van 't Riet, K.: Modelling the interactions between *Lactobacillus curvatus* and *Enterobacter cloacae*: I. Individual growth kinetics. *Int. J. Food Microbiol.*, 1999, **51** (1), 67–79.
- [10] Martens, D., Béal, C., Malakar, P., Zwietering, M., van 't Riet, K.: Modelling the interactions between *Lactobacillus curvatus* and *Enterobacter cloacae*: II. Mixed cultures and shelf life predictions, *Int. J. Food Microbiol.*, 1999, **51** (1), 53–65.
- [11] Mattila-Sandholm, T., Myllärinen, P., Crittenden, R., Mogensen, G., Fondén, R., Saarela, M.: Technological challenges for future probiotic foods. *Int. Dairy J.*, 2002, **12** (2-3), 173–182.
- [12] McDonald, K., Sun, D.-W.: Predictive food microbiology for the meat industry: a review. *Int. J. Food Microbiol.*, 1999, **52** (1-2), 1–27.

- [13] Rodrigo, D., Ruíz, P., Barbosa-Cánovas, G., Martínez, A., Rodrigo, M.: Kinetic model for the inactivation of *Lactobacillus plantarum* by pulsed electric fields. *Int. J. Food Microbiol.*, 2003, **81** (3), 223–229.
- [14] Ross, T., McMeekin, T.: Predictive microbiology. *Int. J. Food Microbiol.*, 1994, **23**, 241–264.
- [15] Schaffner, D., Labuza, T.: Predictive microbiology: where are we and where are we going? *Food Technol.*, 1997, **51**, 95–99.
- [16] Schrezenmeir, J., de Vrese, M.: Probiotics, prebiotics, and synbiotics—approaching a definition. *Am. J. Clin. Nutr.*, 2001, **73** (2), 361S–364.
- [17] Whiting, R. C.: Microbial modeling in foods. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 1995, **35**, 467–494.
- [18] Vereecken, K., Devlieghere, F., Bockstaele, A., Debevere, J., van Impe, J.: A model for lactic acid-induced inhibition of *Yersinia enterocolitica* in mono- and coculture with *Lactobacillus sakei*. *Food Microbiol.* 2003 **20** (6), 701–713.
- [19] Zwietering, M. H., Rombouts, F. M., van't Riet, K.: Some aspects of modeling microbial quality of food. *Food Control*, 1993, **4** (2), 89–96.

## PREDICTING THE GROWTH AND SURVIVAL OF PROBIOTIC BACTERIA IN FERMENTED CARROT JUICE

### S u m m a r y

The objective of the research was to construct predictive models of growth and survival of potentially probiotic bacteria in a fermented carrot juice.

It was found that the count of *Lactobacillus acidophilus* CH-2 bacteria used in the fermentation process of carrot juice remained at the same high level during the entire period of storing.

On the basis of the empirical investigations into the count of potentially probiotic bacteria in the carrot juice, predictive models were constructed, which satisfactorily described the growth and survival of those bacteria in the product investigated. The constructed mathematical models of growth and survival of probiotic bacteria of the fermented carrot juice make it possible to estimate shelf life of the product studied in relation to its storage conditions.

**Key words:** predictive microbiology, lactic acid bacteria, carrot juice, probiotic ☒