

УДК 579.676

Поступила в редакцию 29.08.2019
Received 29.08.2019**И.Е. Лобазова, И.М. Почицкая***РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси
по продовольствию», г. Минск, Республика Беларусь***ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ПРЕДИКТИВНОЙ МИКРОБИОЛОГИИ
ДЛЯ *L. MONOCYTOGENES* В СОЛЕВОЙ СРЕДЕ**

Аннотация. В настоящей работе отражены результаты исследования по применению предиктивных моделей роста чистой культуры *L. monocytogenes* в бульоне Фрейзера с различными концентрациями NaCl. В работе использовали *L. monocytogenes* штамм ATCC 19111. Полученные кривые роста были оценены с помощью первичных моделей Барани и Робертса, тринейной модели в программе ComeBase, а также в IPMP программе с помощью моделей Барани, Гомперца Хуанга и Бучанана. В ходе математических расчетов было отмечено, что наилучшие результаты были получены с помощью моделей Гомперца и Барани.

Ключевые слова: предиктивные модели, скорость роста, *L. monocytogenes*

I.E. Labazava, I.M. Pochitskaja*RUE «Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National
Academy of Sciences of Belarus», Minsk, Republic of Belarus***APPLICATION OF MICROBIOLOGICAL MODELS FOR
L. MONOCYTOGENES IN SALT SOLUTION**

Abstract. We conducted a study on the use of predictive growth models of a pure *L. monocytogenes* culture in Fraser broth with various concentrations of NaCl. In this article, *L. monocytogenes* strain ATCC 19111 was used in the study. The obtained growth curves were evaluated using the primary Barani and Roberts models, the trilinear model in ComeBase also in the IPMP program using Barani, Gompertz Huang and Buchanan models. In the course of mathematical calculations, it was noted that the best results were obtained using the Gompertz and Barani models.

Keywords: predictive models, growth rate, *L. monocytogenes*

Введение. Понятие безопасности пищевых продуктов непосредственно связано с деятельностью патогенных и токсигенных бактерий (микроорганизмов рода *Salmonella*, вида *Listeria monocytogenes*, некоторых колиформных бактерий, токсигенных стафилококков) [1].

Способность продукта поддерживать рост *L. monocytogenes* в процессе хранения определяется как наиболее важный критерий возможности возникновения риска листериоза [2]. Листериоз не является широко распространенной инфекцией, так как по количеству выявленных случаев он значительно уступает сальмонеллезам и кампилобактериозам, однако превосходит их по летальности и тяжести клинического течения [3].

Источник возбудителя листериоза — больные и переболевшие животные, а также животные — листерионосители, листерии также обнаруживаются в рыбе и продуктах моря. *L. monocytogenes* заражает рыб в водоемах, поселяясь на поверхности их тела и используя в качестве источника питания эскулин рыбьей слизи.

Ранее нами было установлено, что *L. monocytogenes* чаще всего обнаруживаются в тушках цыплят, мясе механической обвалки и малосоленой рыбе. Учитывая, что последняя является готовым продуктом и, таким образом, представляет собой наибольшую опасность, рассмотрим как влияет наличие соли в концентрации 1 % и 3 % на жизнедеятельность микроорганизма.

Как известно, срок хранения пищевых продуктов может быть ограничен:

- 1) наличием и ростом патогенных для человека микроорганизмов в концентрациях, способных вызывать заражение или производить опасные для здоровья токсины;
- 2) ростом микроорганизмов в высоких концентрациях, придающих неприятный вкус и запах пищевым продуктам [4].

Испытания, проводимые при хранении естественно-обсемененных и искусственно-контаминированных образцов, являются важным инструментом для оценки порчи и безопасности пищевых продуктов. Известно, что на микроорганизмы влияют высокое давление, процессы нагрева и замораживания, концентрация соли, активность воды, pH, органические кислоты, копчение, наличие конкурентной микрофлоры, а также температура и влажность. Испытания позволяют прогнозировать срок годности продуктов и оценивать изменения, происходящие в них, однако являются весьма трудоемкими и дорогостоящими.

В последнее время все более расширяется применение математических моделей для прогнозирования реакции микроорганизмов на условия внешней среды. Математическая модель, количественно описывающая комбинированный эффект окружающих параметров, может использоваться для прогнозирования роста, способности выживать или инактивации микроорганизмов и дает важную информацию о безопасности продукта и его сроке годности.

Причины, по которым предиктивная микробиология является эффективным инструментом управления в пищевой микробиологии:

- 1) возможность предотвратить или минимизировать рост микроорганизмов, а не оптимизировать его, как часто происходит в биотехнологии;
- 2) концентрация целевых клеток намного ниже, чем в биотехнологии;
- 3) важное значение имеет кинетика лаг-фазы;
- 4) наличие небольшого объема точной информации о физико-химических процессах, происходящих в пищевой системе.

Научное обоснование математических моделей базируется на предположении о том, что закономерности роста, выживания и инактивации микроорганизмов могут быть рассчитаны и выражены с помощью уравнений и формул, учитывающих определенный набор производственных параметров и условий внешней среды. Разработка таких моделей позволяет определить степень безопасности пищевых продуктов в процессе их производства на всех этапах от момента получения сырья до реализации и употребления готового продукта [5].

Модели первого порядка описывают изменения в популяции микроорганизмов со временем с помощью расчетов таких кинетических параметров, как время задержки роста, специфическая скорость роста, максимальное количество клеток в популяции. Модели второго порядка описывают зависимость параметров модели первого порядка от условий окружающей среды, а модели третьего порядка представляют собой средства компьютерной обработки данных, преобразующие данные моделей первого и второго порядков в удобный для пользователя вид.

Рост бактерий характеризуется четырьмя стадиями роста: лаг-фаза, экспоненциальная фаза роста, стационарная фаза (максимальная плотность популяций) и гибель клеток.

Целью данной работы является сравнительный анализ первичных предиктивных моделей роста *L.monocytogenes* в бульоне Фрейзера при различных концентрациях соли (0 %, 1,0 % и 3,0%), выбор оптимальной модели на основании полученных результатов.

Материалы и методы исследований.

Бактериальная культура. В работе был использован штамм *L.monocytogenes* ATCC 19111, полученный из коллекции MicroBioLogics, Inc (США) в виде LYFO DISK. Для получения чистой культуры, вскрыли флакон с лиофилизированными дисками и один стерильно перенесли пробирку, в которую внесли 0,5 мл стерильного физиологического раствора, затем раздавили диск тампоном и смочили полученной суспензией. Перенесли суспензию на чашку и рассеяли до получения изолированных колоний. Для получения ночной культуры изолированную колонию перенесли в 5 мл бульона Фрейзера и инкубировали при температуре 37 °С в течение 18 ч.

Инокулирование и подсчет выросших колоний. В три колбы, содержащие бульон Фрейзера ($V = 50$ мл) с концентрацией поваренной соли 0 %, 1,0 % и 3,0 %, вносили ночную культуру *L.monocytogenes* из расчета, чтобы первоначальная концентрация микроорганизма составляла 100 КОЕ/мл.

Первичное моделирование. Для полученных кривых роста *L.monocytogenes* в бульоне Фрейзера с различными концентрациями поваренной соли применяли первичные предиктивные модели Барани (Baranyi & Roberts, 1994), модель Хуанга (Huang, 2008, 2013), трехфазную линейную модель Бучанана (Buchanan, Whiting and Damert, 1997), модифицированную модель Гомпертца (Zwietering, Jongenburger, Rombouts & Van'treit, 1990). Вычисления проводили в программе ComeBase с помощью надстройки DMFit <https://browser.combase.cc/DMFit.aspx>, а также программы IPMP 2013 (USA) — <http://www.ars.usda.gov/Services/Docs.htm?docid=23355>.

Параметры роста включают лаг-фазу (LT), максимум специфической скорости роста (μ_{\max}), максимум бактериальной популяции клеток (y_{\max}).

Модель Хуанга (2008, 2013) описывает кривую роста с лаг-фазой, экспоненциальной и стационарной фазами. Концентрация бактериальной популяции выражается через натуральный логарифм.

Удельную скорость роста обозначают через μ_{\max} , продолжительность лаг-фазы — λ , коэффициент перехода из лаг-фазы $\alpha = 4$ [6–10].

$$Y(t) = Y_0 + Y_{\max} - \ln\{e^{Y_0} + [e^{Y_{\max}} - e^{Y_0}]e^{-\mu_{\max} \cdot t}\}. \quad (1)$$

$$B(t) = t + \frac{\frac{1}{\infty} \ln(1 + e^{-\infty(t-\lambda)})}{1 + e^{\alpha\lambda}}. \quad (2)$$

Whiting, Buchanan и Damert (1997) [12, 13] предложили трехуровневую систему описания стадий процесса математического моделирования, которая включает следующие стадии:

- ♦ получение и анализ данных;
- ♦ первичное моделирование;
- ♦ вторичное моделирование;
- ♦ валидация модели;
- ♦ третичное моделирование,

и может быть описана следующими уравнениями:

$$y = y_0, \text{ если } t < \text{lag}, \quad (3)$$

$$y = y_0 + k(t - \text{lag}), \text{ если } \text{lag} \leq t < t_{\max}, \quad (4)$$

$$y = y_{\max}, t \geq t_{\max}, \quad (5)$$

где t_{\max} — время при котором $y = y_{\max}$.

Для подсчета клеток можно использовать как натуральный, так и десятичный логарифм. Кривая описывает три фазы роста.

Модель Барани [14], описанная в IPMP, выражается уравнением (6):

$$Y_t = Y_0 + \mu_{\max} \cdot A(t) - \ln\left\{1 + \frac{\exp[\mu_{\max} \cdot A(t)] - 1}{\exp(Y_{\max} - Y_0)}\right\}, \quad (6)$$

где $A(t) = t + \frac{1}{\mu_{\max}} \cdot \ln[\exp(-\mu_{\max} \cdot t) + \exp(-h_0) - \exp(-\mu_{\max} \cdot t - h_0)]$; Y_{\max} , Y_0 , $Y(t)$ — бактериальная популяция, количество клеток, выраженная через натуральный логорифм; h_0 — физиологическое состояние микроорганизма в рассматриваемых условиях. (7)

Для подсчета клеток также можно использовать как натуральный, так и десятичный логарифм. Все четыре параметра: Y_0 , Y_{\max} , h_0 и μ_{\max} выражаются уравнением нелинейной регрессии.

Модифицированная модель Гомперца в программе IPMP, выражается уравнением (8):

$$Y_{(t)} = Y_0 + (Y_{\max} - Y_0) \cdot \exp\left\{-\exp\left[\frac{\mu_{\max} e}{Y_{\max} - Y_0}(\lambda - t) + 1\right]\right\}, \quad (8)$$

где λ — продолжительность лаг фазы.

Рост бактериальной популяции выражают в натуральных логарифмах.

В модели Барани и Робертса [14] (используется в ComeBase DMFit) мгновенная скорость роста в момент времени t определяется концентрацией клеток $x(t)$, состояние окружающей среды E_2 , физиологическим состоянием клеток, которую можно описать через $q(t)$ и функцией ингибирования $u(x)$. Тогда концентрация клеток в партии культуры описывается дифференциальным уравнением (9):

$$\frac{d}{dt} x = \mu_{\max} \alpha(t) u(x) x, \quad (9)$$

где $(0 \leq t < \infty; 0 < x)$, первоначальные значения $x(0) = x_0$ и $x_0 > 0$,

отсюда:

$$\frac{d}{dt} y = \frac{1}{1 + e^{-Q(t)}} \mu_{\max} (E_2) (1 - e^{m(y - y_{\max})}), \quad (10)$$

$$\frac{d}{dt} Q = \mu_{\max} (E_2), \quad (11)$$

$$y(0)=y_0 \text{ и } b Q(0)=\ln q_0, \quad (12)$$

где $Q(t)=\ln q(t)$.

Удельная скорость роста зависит от фактического времени, время — от окружающей среды, на которую воздействуют функц $E_2(t)$ и $\mu_{\max}(E_2)$, которые можно задать.

На скорость роста $y(t)$, влияет как первоначальная концентрация клеток y_0 , так и их физиологическое состояние q_0 . Если $\alpha(t)=1$, то решение уравнений (10–12), обозначается как $p(t)$, не зависит от q_0 и называется потенциальной скоростью роста $p(t)$, которая будет увеличиваться, если клетки были инокулированы из экспоненциальной фазы. Максимальная удельная скорость роста потенциальной кривой равна μ_{\max} , а первоначальное значение увеличивается (13):

$$h_0 = \mu_{\max} \lambda \ln \left(1 + \frac{1}{q_0} \right) = -\ln \alpha_0, \quad (13)$$

и достигает логарифма потенциального роста к концу лаг-фазы. В лаг-фазе потенциальная скорость роста $p(t)$ зависит от физиологического состояния клеток.

Заметим, что, согласно этой модели, $q(t)$ растет до бесконечности, что биологически невозможно. В модели есть допущение, что в лаг-фазе $q(t)$ растет согласно кинетике первого порядка, мгновенная скорость которого, $\mu_{\max}(t)$, зависит от окружающей среды. Затем в экспоненциальной фазе есть определенный «избыток» $q(t)$, но это не влияет на концентрацию клеток, потому что они не могут вырасти быстрее потенциальной удельной скорости роста. Лаг-период описывается функцией $\alpha(t)$, зависящей от физиологического состояния инокулята q_0 , которое зависит также как μ_{\max} в E_2 . Однако, если окружающая среда изменяется в лаг-фазе, то на функцию $\alpha(t)$ будет влиять $E_2(t)$ концепция q_0 , отраженная в формуле (11).

Оценка предиктивных моделей. Для оценки первичных предиктивных моделей [15–20] было использовано значение наименьшей ошибки, полученной с помощью квадратного корня (RMSE) (14):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (\text{предиктив. знач. } i - \text{реальное. знач. } i)^2}{\text{данные } (n) - \text{предлагаемое. знач. } (p)}}. \quad (14)$$

Значение RMSE должно стремиться к нулю.

Результаты и обсуждение. На рис. 1. представлены кривые роста *L.monocytogenes* в бульоне Фрейзера с различным содержанием поваренной соли при 37 °С.

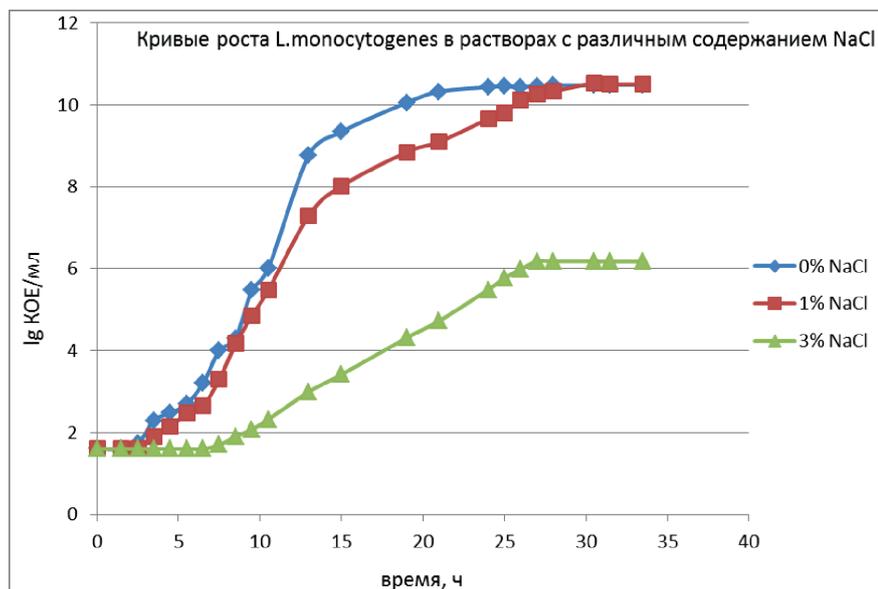


Рис. 1. Кривые роста *L.monocytogenes* в бульоне Фрейзера с $C_{NaCl}=0\%$ (1), с $C_{NaCl}=1\%$ (2) и с $C_{NaCl}=3\%$ (3)

Fig. 1. *L.monocytogenes* growth curves in the Fraser broth with $C_{NaCl}=0\%$ (1), with $C_{NaCl}=1\%$ (2) and $C_{NaCl}=3\%$ (3)

Из рис. 1 видно, что лаг-фаза данных кривых (1) и (2) выражена нечетко, а к моменту времени 30 часов все три кривые выходят в стационарную фазу роста.

На рис. 2–3 представим результаты построения кривых роста *L.monocytogenes* в бульоне Фрейзера с содержанием поваренной соли 1,0% с применением предиктивных моделей первого порядка Барани-Робертса и трилинейной, используемых в программе ComBase с надстройкой DMFit.

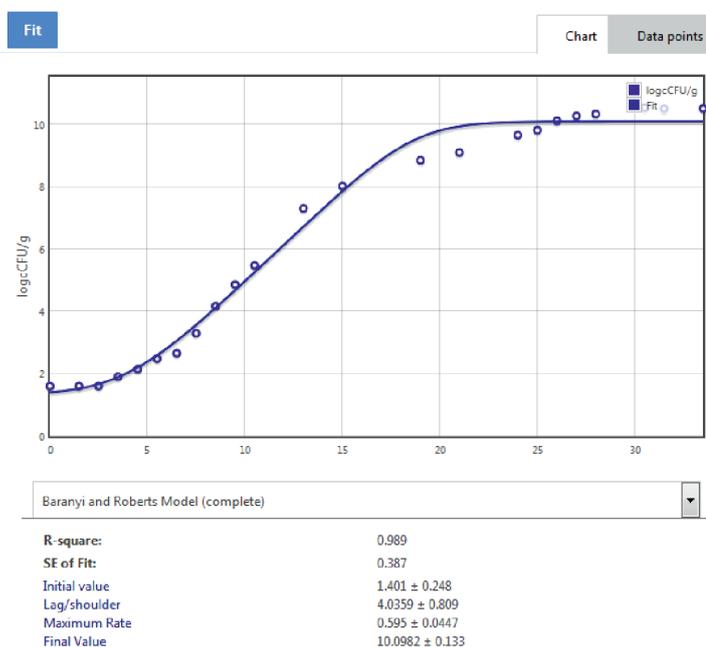


Рис. 2. Кривая роста *L.monocytogenes* в бульоне Фрейзера с концентрацией NaCl=1,0 %, построенная с помощью модели первого порядка Барани-Робертса в программе ComBase
 Fig. 2. Growth curve of *L.monocytogenes* in Fraser broth with NaCl concentration = 1,0 %, constructed using first-order model Baranyi-Roberts in the ComBase program

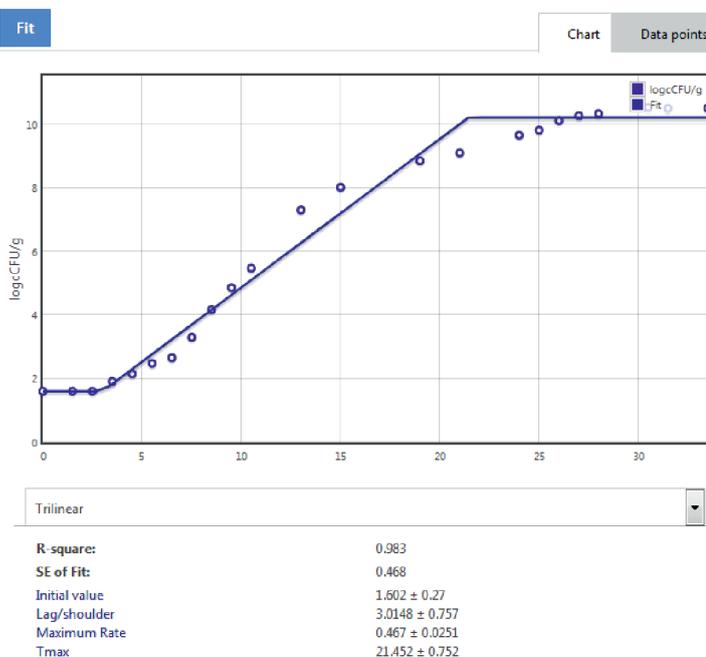


Рис. 3. Кривая роста *L.monocytogenes* в бульоне Фрейзера с концентрацией NaCl=1,0 %, построенная с помощью трилинейной модели первого порядка в программе ComBase
 Fig. 3. Growth curve of *L.monocytogenes* in Fraser broth with NaCl concentration = 1.0 %, constructed using trilinear first-order model in the ComBase program

Полученные расчетные данные для кривых роста *L.monocytogenes* в бульоне Фрейзера с концентрацией NaCl=0 % и 3,0% получены аналогичным образом и сведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты применения первичных предиктивных моделей роста *L.monocytogenes* в бульоне Фрейзера, содержащем 0 %, 1,0 % и 3,0 % NaCl в программе ComeBase
Table 1. Results of the application of primary predictive growth models of *L.monocytogenes* in Fraser broth containing 0%, 1.0%, and 3.0% NaCl in ComeBase

Система	Модель	$\text{Log}(N_0)/Y_0^*$	$\text{Log}(N_{\max})/Y_{\max}^*$	μ_{\max}	RMSE
<i>L.monocytogenes</i> в бульоне Фрейзера	Барани и Робертса	$1,735 \pm 0,121$	$10,412 \pm 0,0697$	$0,82 \pm 0,0352$	0,219
	Трилинейная модель	$1,807 \pm 0,15$	$16,28 \pm 0,367$	$0,718 \pm 0,0306$	0,3
<i>L.monocytogenes</i> в бульоне Фрейзера с 1 % NaCl	Барани и Робертса	$1,401 \pm 0,248$	$10,098 \pm 0,133$	$0,595 \pm 0,0447$	0,387
	Трилинейная модель	$1,602 \pm 0,27$	$21,452 \pm 0,752$	$0,46 \pm 0,0251$	0,468
<i>L.monocytogenes</i> в бульоне Фрейзера с 3 % NaCl	Барани и Робертса	$1,543 \pm 0,0379$	$6,245 \pm 0,0502$	$0,263 \pm 0,0065$	0,0872
	Трилинейная модель	$1,602 \pm 0,0113$	$26,921 \pm 0,092$	$0,233 \pm 0,0013$,0299

На рис. 4 представим результаты построения кривой роста *L.monocytogenes* в бульоне Фрейзера, содержащем 0 % NaCl, с применением предиктивных моделей первого порядка, используемых в программе IPMP 2013 (USA).

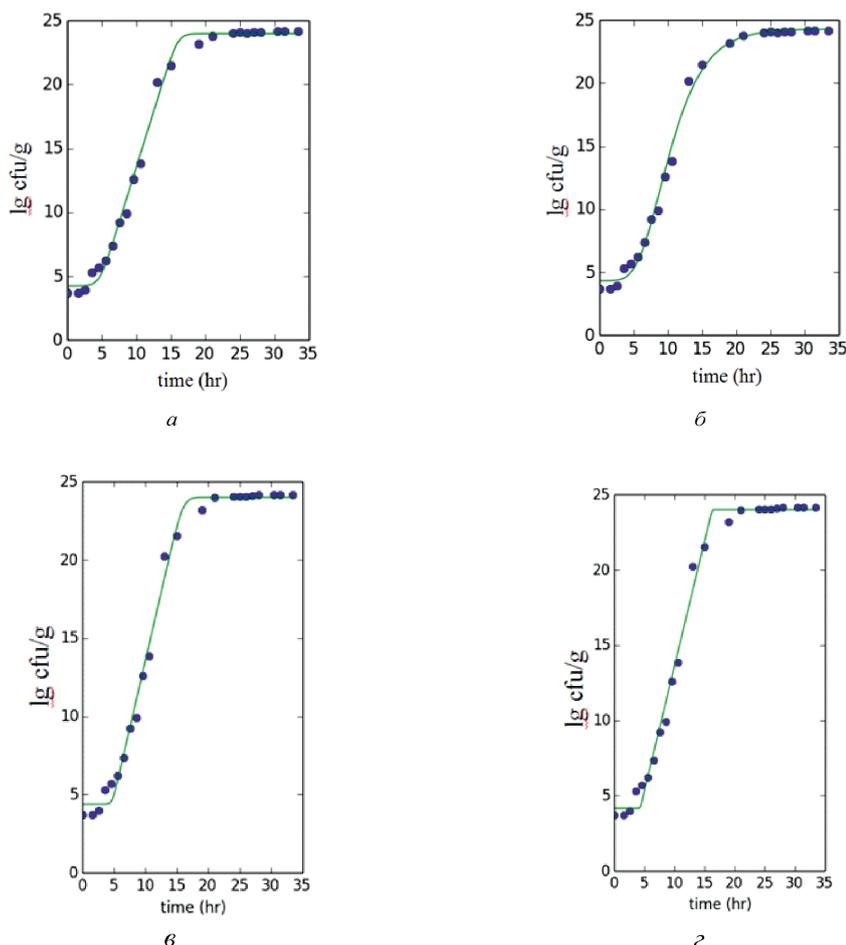


Рис. 4. Кривые роста *L.monocytogenes* в бульоне Фрейзера с концентрацией NaCl=0%, построенные с помощью моделей первого порядка а) Барани; б) Гомперца; в) Хуанга; г) Бучанана (трилинейная модель) в программе IPMP 2013 (USA)

Fig. 4. Growth curves of *L.monocytogenes* in Fraser broth with NaCl concentration = 0%, constructed using first-order models a) Barani; b) Gompertz; c) Huang; d) Buchanan (trilinear model) in IPMP 2013 (USA)

Полученные расчетные данные сведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты применения первичных предиктивных моделей роста *L.monocytogenes* в бульоне Фрейзера, содержащем 0 %, 1,0 % и 3,0 % NaCl в программе IPMP 2013 (USA)
 Table 2. The results of the application of primary predictive growth models of *L.monocytogenes* in Fraser broth containing 0 %, 1.0 % and 3.0 % NaCl in IPMP 2013 (USA)

Система	Модель	$\ln(N_0)/Y_0^*$	$\ln(N_{max})/Y_{max}^*$	μ_{max}	RMSE
<i>L.monocytogenes</i> в бульоне Фрейзера	Модель Барани	4,23 ± 0,311	23,96 ± 0,194	1,733 ± 0,078	0,614
	Модель Гомперца	4,32 ± 0,298	24,307 ± 0,215	2,077 ± 0,12	0,592
	Модель Хуанга	4,367 ± 0,314	23,968 ± 0,209	1,733 ± 0,082	0,660
	Модель Бучанана	4,162 ± 0,345	23,974 ± 0,218	-	0,69
<i>L.monocytogenes</i> в бульоне Фрейзера с 1 % NaCl	Модель Барани	3,695 ± 0,56	23,146 ± 0,324	1,298 ± 0,097	0,973
	Модель Гомперца	3,46 ± 0,323	24,036 ± 0,251	1,496 ± 0,067	0,506
	Модель Хуанга	3,821 ± 0,518	23,212 ± 0,331	1,242 ± 0,085	0,981
	Модель Бучанана	3,689 ± 0,623	22,729 ± 0,381	-	1,078
<i>L.monocytogenes</i> в бульоне Фрейзера с 3 % NaCl	Модель Барани	3,577 ± 0,08	14,4 ± 0,103	0,592 ± 0,013	0,614
	Модель Гомперца	3,624 ± 0,135	15,406 ± 0,337	0,662 ± 0,032	0,311
	Модель Хуанга	3,698 ± 0,063	14,444 ± 0,098	0,562 ± 0,010	0,17
	Модель Бучанана	3,689 ± 0,026	14,235 ± 0,031	-	0,069

Из полученных данных видно, что наиболее точно кривые роста описываются моделями, имеющими лаг-фазу. Наилучшим образом рост *L.monocytogenes* описывается в бульоне Фрейзера, содержащем 3 % соли (RMSE имеет значения 0,087).

В результате анализа предиктивных моделей, описывающих рост *L.monocytogenes* в бульоне Фрейзера, содержащем различные концентрации соли, можно сделать вывод о том, что скорость роста выше, а следовательно, при одинаковой температуре порча продукта происходит быстрее в бульоне Фрейзера без соли. Увеличение концентрации соли с 0 % до 1, 0% способствует торможению роста микроорганизма на 75 %, а дальнейшее увеличение содержания NaCl с 1,0 % до 3,0 % замедляет рост листерий в 2,27 раза. На основании вышесказанного можно сделать вывод о том, что технологический прием соления замедляет рост листерий в пищевых продуктах.

Список использованных источников

1. Стрингер, М. Охлажденные и замороженные продукты / М. Стрингер, К. Денис. — СПб. : Профессия, 2004. — 496 с.
2. Ефимочкина, Н.Р. Эмерджентные бактериальные патогены в пищевой микробиологии / Н.Р. Ефимочкина. — Москва: изд-во РАМН. — 2008. — 256 с.
3. Тартаковский, И.С. Листерии: роль в инфекционной патологии человека и лабораторная диагностика / И.С. Тартаковский // Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. — 2000. — N2. — С. 20–30.
4. Pírez-Rodríguez, F. Predictive Microbiology in Foods / F. Pírez-Rodríguez, A. Valero // Springer Briefs in Food, Health, and Nutrition, New York, USA. — 2013. — 128 p.
5. Краснова, М.А. Исследование динамики развития микроорганизмов при различных температурах для создания модели прогнозирования сроков годности охлажденного мяса / М.А. Краснова // Всероссийская молодежная научная конференция с международным участием: Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук. — Кемерово. — 2011. — С. 30–36.
6. Hwang, L. Growth kinetics of *Listeria monocytogenes* in broth and beef frankfurters — determination of lag phase duration and exponential growth rate under isothermal conditions / L. Hwang. — Journal of Food Science. — 2008. — 73. — P. 235–242.
7. Hwang, L. Thermal inactivation of *Listeria monocytogenes* in ground beef under isothermal and dynamic temperature conditions / L. Hwang. — Journal of Food Engineering. — 2009. — P. 380–387.
8. Hwang, L. Evaluating the effect of temperature on microbial growth rate - the Ratkowsky and a Belehrádek type models / L. Hwang, C. Hwang, J.G. Phillips. — Journal of Food Science. 2009. — 76. — P. 547–557.
9. Hwang, L. Effect of temperature on microbial growth rate — thermodynamic analysis, the Arrhenius and Eyring-Polanyi connection / L. Hwang, C. Hwang, J.G. Phillips. — Journal of Food Science. — 2009. — 76. — P. 553–560.
10. Hwang, L. Optimization of a new mathematical model for bacterial growth / L. Hwang. — Food Control. — 2013. — 32. — P. 283–288.

11. Baranyi, J. Mathematics of predictive microbiology / J. Baranyi. — International Journal of Food Microbiology. — 1995. — 26. — P. 199–218.
12. Buchanan, R. Model for the nonthermal inactivation of *Listeria monocytogenes* in a reduced oxygen environment / R. Buchanan, M. Golden. — Food Microbiology. — 1995. — N. 12 — P. 230–212.
13. Buchanan, R. When is simple good enough: a comparison of the Gompertz, Baranyi, and three phase linear models for fitting bacterial growth curves / R. Buchanan, R. Whiting, W. Damert. — Food Microbiology. — 1997. — 14. — P. 313–326.
14. Baranyi, J. A non-autonomous differential equation to model bacterial growth / J. Baranyi, T. Roberts. — International Journal of Food Microbiology. — 1993. — N. 10. — P. 43–59.
15. Albarrachn, W. Salt in food processing; usage and reduction / W. Albarrachn, I. S6nchez, R. Grau, M. Barat. — Journal of Food Science Technology. — 2011. — 46 (7). — P. 1329–1336.
16. Dalgaard, P. Modelling of microbial growth / P. Dalgaard. — International Dairy Federation. — 2009. — N. 433. — P. 45–60.
17. Dalgaard, P. Comparison of maximum specific growth rates and lag times estimated from absorbance and viable count data by different mathematical models / P. Dalgaard, J. Koutsoumanis. — Journal Microbiology Methods. — 2001. — N. 43. — P. 183–196.
18. Le Marc, Y. Modelling the growth kinetics of *Listeria* as a function of temperature, pH and organic acid concentration / Y. Le Marc, V. Huchet, C.M. Bourgeois, J.P. Guyonnet, P. Mafart, D. Thuault. — Journal Food Microbiology. — 2002. — N. 73 (2–3). — P. 219–237.
19. Mejlholm, O. Modeling and predicting the growth boundary of *Listeria monocytogenes* in lightly preserved seafood / O. Mejlholm, P. Dalgaard. — Journal Food Protection. — 2007. — N. 70 (1). — P. 70–84.
20. Mejlholm, O. Predicting growth rates and growth boundary of *Listeria monocytogenes* an international validation study with focus on processed and ready-to-eat meat and seafood / O. Mejlholm, A. Gunvig, C. Borggaard, J. Blom-Hanssen, L. Mellefont, T. Ross, F. Leroi, T. Else, D. Visser, P. Dalgaard. — International Journal Food Microbiology. — 2010. — N. 141 (3). — P. 137–150.

References

1. Stringer M. Chilled and Frozen Food. *St. Petersburg: Profession*, 2004, 496 p. (in Russian).
2. Efimochkina N.R. Emergent bacterial pathogens in food microbiology. *Moscow: Publishing House of the Russian Academy of Medical Sciences*, 2008, 256 p. (in Russian).
3. Tartakovsky I.S. *Listeria*: a role in human infectious pathology and laboratory diagnosis. *Clinical Microbiology and Antimicrobial Chemotherapy*, 2000, no.2, pp. 20–30 (in Russian).
4. P6rez-Rodr6guez F, Valero A. Predictive Microbiology in Foods. *Springer Briefs in Food, Health, and Nutrition, New York, USA*, 2013, 128 p.
5. Krasnova M.A. Study of the dynamics of the development of microorganisms at various temperatures to create a model for predicting the shelf life of chilled meat. *All-Russian Youth Scientific Conference with International Participation: Modern Problems of Fundamental and Applied Sciences*, 2011, pp. 30–36 (in Russian).
6. Hwang L. Growth kinetics of *Listeria monocytogenes* in broth and beef frankfurters — determination of lag phase duration and exponential growth rate under isothermal conditions. *Journal of Food Science*, 2008, vol.73, pp. 235–242.
7. Hwang L. Thermal inactivation of *Listeria monocytogenes* in ground beef under isothermal and dynamic temperature conditions. *Journal of Food Engineering*, 2009, pp. 380–387.
8. Hwang L. Evaluating the effect of temperature on microbial growth rate — the Ratkowsky and a Belehr6dek type. *Journal of Food Science*, 2009, vol.76, pp. 547–557.
9. Hwang L. Effect of temperature on microbial growth rate — thermodynamic analysis, the Arrhenius and Eyring-Polanyi connection. *Journal of Food Science*, 2009, vol.76, pp. 553–560.
10. Hwang L. Optimization of a new mathematical model for bacterial growth. *Food Control*, 2013, vol.32, pp. 283–288.
11. Baranyi J. Mathematics of predictive microbiology. *International Journal of Food Microbiology*, 1995, vol. 26, pp. 199–218.
12. Buchanan R., Golden M. Model for the non thermal inactivation of *Listeria monocytogenes* in a reduced oxygen environment. *Food Microbiology*, 1995, no.12, pp. 230–212.
13. Buchanan R., Whiting R., Damert W. When is simple good enough: a comparison of the Gompertz, Baranyi, and three phase linear models for fitting bacterial growth curves. *Food Microbiology*, 1997, vol.14, pp. 313–326.
14. Baranyi J., Roberts T. A non-autonomous differential equation to model bacterial growth. *International Journal of Food Microbiology*, 1993, no.10, pp. 43–59.
15. Albarrachn W., S6nchez I, Grau R, Barat M. Salt in food processing; usage and reduction. *Journal of Food Science Technology*, 2011, vol.46 (7), pp. 1329–1336.

16. Dalgaard P. Modelling of microbial growth. *International Dairy Federation*, 2009, no.43, pp. 45–60.
17. Dalgaard P., Koutsoumanis J. Comparison of maximum specific growth rates and lag times estimated from absorbance and viable count data by different mathematical models. *Journal Microbiology Methods*, 2001, no.43, pp. 183–196.
18. Le Marc Y., Huchet V., Bourgeois C.M., Guyonnet J.P., Mafart P., Thuault D. Modelling the growth kinetics of *Listeria* as a function of temperature, pH and organic acid concentration. *Journal Food Microbiology*, 2002, no.73 (2–3), pp. 219–237.
19. Mejlholm O., Dalgaard P. Modeling and predicting the growth boundary of *Listeria monocytogenes* in lightly preserved seafood. *Journal Food Protection*, 2007, no.70 (1), pp. 70–84.
20. Mejlholm O., Gunvig A., Borggaard C., Blom-Hanssen J., Mellefont L., Ross T., Leroi F., Else T., Visser D., Dalgaard P. Predicting growth rates and growth boundary of *Listeria monocytogenes* an international validation study with focus on processed and ready-to-eat meat and seafood. *International Journal Food Microbiology*, 2010, no.141 (3), pp. 137–150.

Информация об авторах

Почицкая Ирина Михайловна — кандидат сельскохозяйственных наук, начальник Республиканского контрольно-испытательного комплекса по качеству и безопасности продуктов питания РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (220037, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Козлова, 29). E-mail: pochitskaja@yandex.ru.

Лобазова Ирина Евгеньевна — кандидат химических наук, заведующая лабораторией микробиологических исследований Республиканского контрольно-испытательного комплекса по качеству и безопасности продуктов питания РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (220037, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Козлова, 29). E-mail: lobazova@mail.ru.

Information about authors

Pochitskaya Iryna M. — Ph.D. (Agricultural), the head of the Republican control and testing complex for foodstuffs quality and safety of RUE «Scientific-Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus» (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: pochitskaja@yandex.ru.

Labazava Iryna E. — PhD (Chemist) the head of the Microbiological laboratory of the Republican control and testing complex for foodstuffs quality and safety of RUE «Scientific-Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus» (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lobazova@mail.ru.