

冷藏大黄鱼不同细菌生长模型比较

郭全友^{1,2}, 杨宪时¹

- (1. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 农业部海洋与河口渔业重点开放实验室, 上海 200090;
2. 上海水产大学食品学院, 上海 200090)

摘要: 主要研究了养殖大黄鱼 0、5℃ 冷藏过程鱼肉中细菌变化情况, 采用修正的 Logistic 和 Gompertz 模型拟合细菌生长曲线, 经非线性回归分析求出生长动力学参数和细菌生长预测模型。结果表明, 所建立的模型相关系数均大于 0.99, 能有效描述菌落总数的动态变化, 预测不同贮藏时间内的菌落总数。为验证模型的适用性, 把不同时间的菌落总数预测值和实测值比较, 依据均方根评价建立的细菌生长预测模型的适用性。0、5℃ 冷藏过程 Gompertz 模型均方根分别为 0.077 和 0.100, Logistic 模型均方根分别为 0.114 和 0.138, 2 种模型相比, Gompertz 预测结果更为理想。

关键词: 养殖大黄鱼; 冷藏; Gompertz 模型; Logistic 模型

中图分类号: S984.1; TS207.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-2227-(2005)05-0044-06

Comparison of different bacteria growth models on chilled *Pseudosciaena crocea*

GUO Quan-you^{1,2}, YANG¹ Xian-shi

- (1. East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences; Key and Open Laboratory of Marine Estuarine Fisheries, Ministry of Agriculture, Shanghai 200090, China;
2. Food Science College of Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China)

Abstract: Bacterial changes of fish flesh in cultured *Pseudosciaena crocea* stored aerobically at 0, 5°C were mainly analyzed, bacteria growth curves of chilled cultured *P. crocea* was fitted using modified Logistic and Gompertz equations. Kinetic parameters of bacterial growth and predictive model were developed with nonlinear estimation equations. The results showed that the correlation coefficient of developed models was over 0.99, indicating predictive models make it possible to describe the dynamic changes and predict the bacterial number stored at different time. Difference between predicted values and observed values were compared with root mean squares (RMS) for validating the goodness of predictive models of the bacterial growth. RMS of the Gompertz model were 0.077 and 0.100, and RMS of the Logistic model were 0.114 and 0.138 at 0, 5°C, respectively. Predicted values of the Gompertz were significant compared with the Logistic model.

Key words: cultured *Pseudosciaena crocea*; cold storage; Gompertz model; Logistic model

20 世纪 80 年代开始, 澳大利亚、美国、英国、丹麦等国对食品微生物生长、失活、残存和风

收稿日期: 2005-07-26; 修回日期: 2005-08-15

资助项目: 农业部引进国际先进农业科学技术项目资助 (2001-478)

作者简介: 郭全友 (1974 -), 男, 在读硕士, 从事水产品微生物安全研究。E-mail: quanyouguo21@hotmail.com

通讯作者: 杨宪时, E-mail: yangxianshi@21.cn.com

险评估模型进行了广泛研究^[1-3], 目的是使用微生物预测模型描述不同物理和化学条件下微生物变化情况, 客观评价食品在加工、流通、销售、贮藏过程中各种影响因子对食品安全和品质的影响, 运用数学模型对微生物的动态变化进行快速有效预测和评价。近年来, 美国、英国、丹麦等国致力于构建微生物特征数据库, 开发了 Food Micromodel, Pathogen Modeling Program, Seafood Safety and Spoilage Predictor 等专家系统, 用于食品品质预测和安全评估, 实现关键控制点分析, 协作管理者进行管理。

食品微生物生长模型通常有 Monod, Gompertz, Baranyi, Logistic 等模型, 其中修正的 Logistic 和 Gompertz 模型被广泛采用。Baranyi 和 Robert^[4] 综合 Logistic 模型和 Michaeli-Menton 模型开发了 Baranyi 模型, 该模型相对来说比较复杂。本研究中养殖大黄鱼 (*Pseudosciaena crocea*) 取自福建闽东三都湾养殖区 (26°35' ~ 26°55'N), 2005 年 3 月海水温度变化幅度为 10.5 ~ 11.1℃。依据以前对 0、5℃ 恒温冷藏过程中采用感官、挥发性盐基氮 (TVBN)、菌落总数 (TVC) 进行品质变化研究的基础上, 本文采用修正的 Logistic 和 Gompertz 模型拟合细菌生长曲线, 经非线性回归分析, 求出预测模型的动力学参数, 建立了细菌生长预测模型, 并对 2 种模型的适用性进行了分析。

1 材料与方法

1.1 试验材料

大黄鱼在福建省闽东三都湾养殖场捕获 (2005 年 3 月), 立即放入冰水中冷休克。选用大小基本一致的个体 (300 ~ 400 g·尾⁻¹)。

1.2 贮藏实验

到达实验室后, 将鱼腹部朝上装入下有篦子能沥水的塑料盆中, 盖上有漏气孔的盖, 分别放入高精度低温培养箱 (Sanyo MIR 153, 日本) 中, 控制贮藏温度在 0、5 ± 0.1℃。每隔适当时间取出试样鱼进行感官鲜度评价、TVBN、TVC 测定, 综合确定产品货架期, 本次研究未给出和分析感官、TVBN 实验数据。

1.3 样品处理

随机抽取 2 尾试样鱼, 先进行生鱼感官评价,

然后去鳞去内脏去腮洗净, 用干净吸纸擦干。沿脊骨剖切, 取半条鱼肉 (带鱼皮), 用组织捣碎机打碎, 用于 TVBN 和 TVC 测定; 其余半条鱼煮熟后用于感官评价。

1.4 感官鲜度评价

由 6 名经过训练的评价员组成感官评价小组, 评价生鱼的气味和煮熟后鱼的气味和味道。采用 3 分法进行评分, 0 为最好品质, 1 为鲜鱼的鲜香味消失, 0 ~ 1 为高品质期, 2 为明显出现臭味和异味即可接受界限^[5]。当半数或以上评价员评价 2 或以上时, 即为货架期终点 (感官拒绝点)。

煮熟时将带头的半条鱼分别用铝箔包好, 待锅中水沸腾后, 放入锅内的金属篦子上, 盖上锅盖蒸 20 min, 打开锅盖后立即进行感官评价。

1.5 菌落总数计数

称取鱼肉浆 10.0 g, 加入 90 mL 0.1% 蛋白胨无菌生理盐水, 高速振荡后, 以 10 倍稀释将鱼肉浆稀释, 取 3 个浓度合适的稀释液 0.1 mL, 涂布于标准琼胶培养基 (中国科学院上海昆虫科技开发公司康乐培养基有限公司) 平板表面。每个稀释液涂布 2 个平皿, 25℃ 培养 48 h。

1.6 细菌生长曲线拟合

0、5℃ 大黄鱼贮藏实验得到的细菌增殖动态数据, 采用修正的 Gompertz 方程和 Logistic 方程^[6] 描述其生长动态。修正 Gompertz 方程如下:

$$\lg N(t) = A + C \times \exp \{ -\exp [-B \times (t - M)] \} \quad (1)$$

式中 t 为时间 (h), $N_{(t)}$ 为 t 时的菌数 ($\lg \text{CFU} \cdot \text{g}^{-1}$), A 为初始菌数 N_0 ($\lg \text{CFU} \cdot \text{g}^{-1}$), C 为最大菌数 N_{\max} 与 N_0 之差 ($\lg \text{CFU} \cdot \text{g}^{-1}$), M 为 $1/2N_{\max}$ 时的时间 (h), B 为 M 时比生长速率 (h^{-1}), 最大比生长速率 $\mu_{\max} = BC/e$ 。

修正 Logistic 方程如下:

$$\lg N(t) = A + C / \exp \{ 1 + [-B \times (t - M)] \} \quad (2)$$

式中 t 为时间 (h), $N_{(t)}$ 为 t 时的菌数 ($\lg \text{CFU} \cdot \text{g}^{-1}$), A 为最小菌数 N_0 ($\lg \text{CFU} \cdot \text{g}^{-1}$), C 为最大菌数 N_{\max} 与 N_0 之差 ($\lg \text{CFU} \cdot \text{g}^{-1}$), B 为最大比生长速率 μ_{\max} (h^{-1}), M 为 $1/2N_{\max}$ 时的时间 (h)。

实验数据用 Statistica (Release 5.5) 统计软件采用最小平方差法进行非线性回归。

1.7 细菌生长模型的可靠性评价

细菌生长动力学模型求得的预测值, 与大黄鱼

贮藏实验所得的细菌生长的实测值比较, 依据均方根^[7]评价建立的生长动力学预测模型的可靠性。均方根用下式表示:

$$RMS = \left[\frac{\sum_i (\lg N_{i, \text{predicted}} - \lg N_{i, \text{observed}})^2}{n} \right]^{0.5} \quad (3)$$

式中 $\lg N_{i, \text{predicted}}$ 为冷藏实验中菌落总数预测值 ($\lg \text{CFU} \cdot \text{g}^{-1}$), $\lg N_{i, \text{observed}}$ 为菌落总数实测值 ($\lg \text{CFU} \cdot \text{g}^{-1}$), n 为测试次数。

2 结果

2.1 0℃冷藏大黄鱼细菌生长模型

0℃冷藏期间菌落总数实测值和预测值见表1。

表1 0℃冷藏大黄鱼菌落总数

Tab.1 Total viable counts of *P. crocea* stored aerobically at 0℃

lgCFU·g⁻¹

时间/h time	实测值 observed values	Gompertz 预测模型 predictive model		Logistic 预测模型 predictive model	
		预测值 predicted values	残存值 residual values	预测值 predicted values	残存值 residual values
0	5.20	5.20	0.00	5.21	-0.01
49	5.10	5.20	-0.10	5.24	-0.14
76	5.25	5.21	0.04	5.29	-0.04
123.5	5.34	5.42	-0.08	5.48	-0.14
167	6.05	5.95	0.10	5.89	0.16
214	6.50	6.55	-0.05	6.52	-0.02
262	6.89	6.96	-0.07	6.99	-0.10
286	7.10	7.08	0.02	7.12	-0.02
334	7.34	7.22	0.12	7.23	0.11
383	7.22	7.29	-0.07	7.27	-0.05
409	7.31	7.31	0.00	7.28	0.03

表2 0℃冷藏大黄鱼细菌生长动力学参数

Tab.2 Kinetic parameters of bacteria growth on *P. crocea* stored aerobically at 0℃

参数 parameters	N_0 (lgCFU·g ⁻¹)	N_{max} (lgCFU·g ⁻¹)	μ_{max} (h ⁻¹)	M (h)	N_s (lgCFU·g ⁻¹)	货架期/h shelf life
Gompertz 模型 model	5.20	7.33	0.013	170.88	7.31	409
Logistic 模型 model	5.20	7.26	0.024	195.56		

注: N_s 为感官终点细菌数

Note: N_s denotes population at the time of organoleptic rejection.

开始贮藏4~5 d, 细菌生长缓慢, 菌落总数小于6.0 lgCFU·g⁻¹, 这是由于暖带海域水温高于温带海域, 中温菌数量多, 冷藏过程不耐低温, 生长受到抑制, 甚至死亡。同时一些嗜冷菌逐渐适应低温环境, 随着贮藏期的延长, 细菌生长加快, 进入指数生长期, 好冷菌增殖速度逐渐达到高峰, 细菌数呈几何级数增加, 腐败终点依据感官评分、TVBN、TVC (7.31 lgCFU·g⁻¹) 确定产品货架期为409 h。

图1、方程4和方程5是采用修正 Gompertz 方程和 Logistic 方程回归, 得到的0℃冷藏大黄鱼中菌落总数变化曲线和方程, 生长动力学参数见表2。

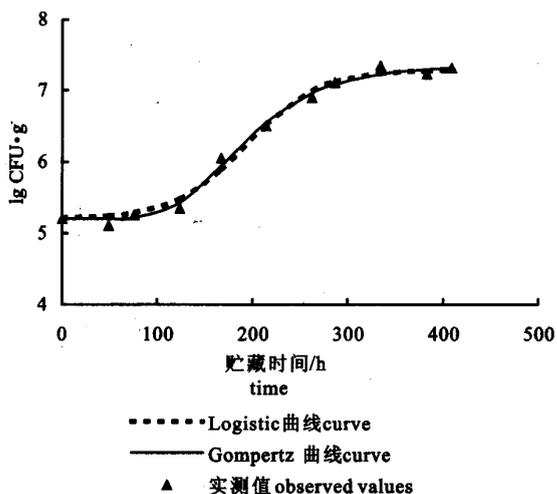


图1 0℃冷藏大黄鱼细菌增殖曲线

Fig. 1 Growth curves of *P. crocea* stored aerobically at 0℃

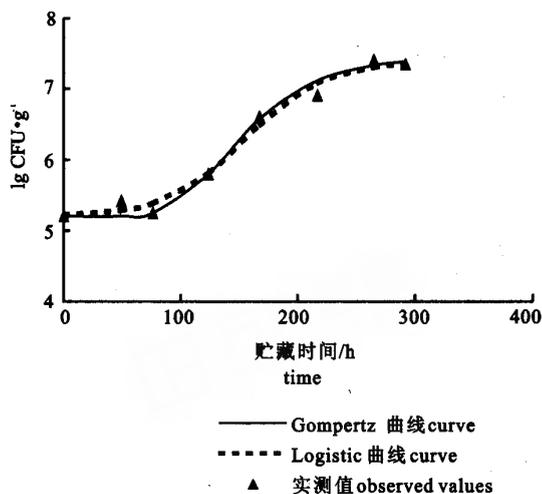


图2 5℃冷藏大黄鱼细菌增殖曲线

Fig. 2 Growth curves of *P. crocea* stored aerobically at 5℃

$$\lg N(t) = 5.20 + 2.13 \times \exp \{ - \exp [-0.015 \times (t - 170.85)] \} \quad (4)$$

$$\lg N(t) = 5.20 + 2.06 / \{ 1 + \exp [-0.024 \times (t - 195.56)] \} \quad (5)$$

2.2 5℃冷藏大黄鱼细菌生长模型

5℃冷藏期间菌落总数实测值和预测值见表3。贮藏初期，细菌生长缓慢，进入指数生长期，细菌增殖速度快于0℃冷藏大黄鱼中细菌增殖速度 (μ_{max} 见表2，表4)，货架期终点菌落总数为7.34

lgCFU·g⁻¹，产品货架期为291 h。

图2、方程6和方程7是采用修正 Gompertz 方程和 Logistic 方程回归，得到的5℃冷藏大黄鱼中菌落总数变化曲线和方程，生长动力学参数见表4。

$$\lg N(t) = 5.20 + 2.29 \times \exp \{ - \exp [-0.019 \times (t - 137.15)] \} \quad (6)$$

$$\lg N(t) = 5.20 + 2.06 / \{ 1 + \exp [-0.024 \times (t - 195.56)] \} \quad (7)$$

表3 5℃冷藏大黄鱼菌落总数

Tab. 3 Total viable counts of *P. crocea* stored aerobically at 5℃

lgCFU·g⁻¹

时间/h time	实测值 observed values	Gompertz 预测模型 predictive model		Logistic 预测模型 predictive model	
		预测值 predicted values	残存值 residual values	预测值 predicted values	残存值 residual values
0	5.20	5.20	-0.00	5.22	-0.02
49	5.41	5.21	0.20	5.29	0.12
76	5.24	5.29	-0.05	5.39	-0.15
123.5	5.79	5.82	-0.04	5.81	-0.02
167	6.60	6.50	0.10	6.48	0.18
216	6.90	7.03	-0.14	7.08	-0.18
264	7.40	7.30	0.10	7.30	0.10
291	7.34	7.37	-0.03	7.34	-0.00

表4 5℃冷藏大黄鱼细菌生长动力学参数

Tab. 4 Kinetics parameters of bacteria growth on *P. crocea* stored aerobically at 5°C

参数 parameters	N_0 (lgCFU·g ⁻¹)	N_{max} (lgCFU·g ⁻¹)	μ_{max} (h ⁻¹)	M (h)	N_i (lgCFU·g ⁻¹)	货架期/h shelf life
Gompertz 模型 model	5.20	7.29	0.016	137.17		
Logistic 模型 model	5.20	7.38	0.030	154.99	7.34	291

2.3 细菌生长模型评价

修正 Gompertz、Logistic 模型含有 4 个参数, 参数值和 RMS 值见表 2、表 4、表 5。从表 5 看出, 2 种模型的相关系数均大于 0.99, 表示 2 种模型均能很好拟合实验数据。0℃贮藏 Gompertz、Logistic 模型的 RMS 分别为 0.077 和 0.138, 5℃贮藏 Gompertz、Logistic 模型的 RMS 分别为 0.100 和 0.114, 2 种预测模型相比, Gompertz 的 RMS 均较小, 其预测结果更为理想。

表5 非线性回归方程分析

Tab. 5 Analysis of nonlinear estimation equation

参数 parameters	均方根 (RMS) root mean square		相关系数 (R) correlation coefficient	
	0℃	5℃	0℃	5℃
	Gompertz 模型 model	0.077	0.100	0.994
Logistic 模型 model	0.138	0.114	0.992	0.995

3 讨论

(1) Whiting 和 Buchanan^[7] 依据预测模型的发展阶段分为菌数增殖变化模型、环境要素模型和专家系统模型。细菌生长曲线通常呈不对称 S 形, 使用 Logistic 模型定量描述细菌生长时, 不能有效表示细菌生长的延滞期, Gibson 等^[8,9] 修正了 Logistic 模型和 Gompertz 模型, 能更好的描述细菌生长情况, 然而受食品成分构成、外界环境因子影响, 数学模型的适用性显现出较大差异。许多研究者^[9,10] 对不同数学模型的性能和适用性进行分析与比较, 结果显示相同的数学模型针对不同的研究对象预测结果存在差异。即使如此, 大家普遍认为 Logistic 模型和 Gompertz 模型的预测效果较好, 并得以广泛应用, 例如修正的 Gompertz 模型被应用于预测

微生物软件程序 Food Micromodel 和 Pathogen Modeling Program 等^[9], Dalggaard 等^[11,12] 把修正的 Logistic 模型用于新鲜和气调包装鱼的微生物品质分析, 建立了 3 参数和 4 参数预测模型。

(2) 建立在恒温条件下的微生物生长模型, 很难有效预测在实际生产、流通、贮藏、消费过程食品微生物的生长变化情况。在实际过程中温度是随机波动的, 无法直接用数学式来描述时间-温度的变化规律, 现在多根据实际过程把时间-温度的变化设定为多个短的假设为恒温的时间间隔, 然后使用分段的数学模型来描述微生物的生长^[13]。本研究建立的数学模型可以快速有效预测大黄鱼 0、5℃恒温冷藏过程细菌生长变化情况, 有待进一步研究建立符合实际流通过程的波动温度预测模型。

致谢: 福建宁德夏威水产食品有限公司管崇乐、上海水产大学食品学院 2004 级硕士研究生周彩华等对实验工作给予了帮助和协作, 谨此致谢!

参考文献:

- [1] EL Marrakchi A, Bouchriti N, Hamama A, et al. Sensory, chemical and microbiological assessment of Moroccan sardin (*Sardina pilchardus*) stored in ice [J]. J Food Prot, 1990, 53 (7): 600 - 605.
- [2] Surette M E, Gill T A, Leblanc P J. Biochemical basis of post-mortem nucleotide catabolism in cod (*Gadus morhua*) and its relationship to spoilage [J]. J Agric Food Chem, 1988, 36 (1): 19 - 22.
- [3] Koutsoumanis K, Giannakourou M C, Taoukis P S, et al. Application of shelf life decision system (SLDS) to marine cultured fish quality [J]. Int J Food Microbiol, 2002, 73 (2-3): 375 - 382.
- [4] Baranyi J, Roberts T A. A dynamic approach to predicting bacterial growth in food. [J]. Int J Food Microbiol, 1994, 23 (3-4): 277 - 294.
- [5] Taoukis P S, Koutsoumanis K, Nychas G J E. Use of time temperature integrators and predictive modeling for shelf life control of

- chilled fish under dynamic storage conditions [J]. *Int J Food Microbiol*, 1999, 53 (1): 21 - 31.
- [6] Zwietering M H, Jongenburger I, Rombouts F M, *et al.* Modeling of the bacterial growth curve [J]. *Appl Environ Microbiol*, 1990, 56 (6): 1875 - 1881.
- [7] Whiting R C, Buchanan R L. Microbial modeling [J]. *Food Tech*, 1994, 48 (6): 113 - 120.
- [8] Gibson A M, Bratchell N, Roberts T A. Predicting microbial growth: growth responses of *Salmonella* in a laboratory medium as affected by pH, sodium chloride and storage temperature [J]. *Int J Food Microbiol*, 1988, 6 (2): 155 - 178.
- [9] Buchanan R C, Whiting R C, Damert C D. When is simple good enough: a comparison of Gompertz, Baranyi, and three-phase linear models for fitting bacterial growth curves [J]. *Food Microbiol*, 1997, 14 (4): 313 - 326.
- [10] Fujikawa Hiroshi, Kai A, Morozumi Satoshi. A new Logistic model for bacterial growth [J]. *J Food Hyg Soc Japan*, 2003, 44 (3): 155 - 160.
- [11] Dalgaard P. Modeling of microbial activity and prediction of shelf life of packed fresh fish [J]. *Int J Food Microbiol*, 1995, 26 (4): 305 - 317.
- [12] Koutsoumanis K, Nychas G J E. Application of a systematic experimental procedure to develop a microbial model for rapid fish shelf life prediction [J]. *Int J Food Microbiol*, 2000, 60 (2 - 3): 171 - 184.
- [13] Fu B, Labuza T P. Predictive microbiology for monitoring spoilage of dairy products with time temperature integrators [J]. *J Food Sci*, 1991, 56 (5): 1209 - 1215.

欢迎订阅 2006 年《上海水产大学学报》

《上海水产大学学报》是上海水产大学主办的以水产科学为主的综合性学术刊物。主要反映自然科学各学科的科研成果, 促进学术与教学研究的交流与繁荣。主要刊载渔业资源、水产养殖和增殖、水产捕捞、水产品保鲜与综合利用、渔业水域环境保护、渔船、渔业机械与仪器、渔业经济与技术管理以及基础研究等方面的论文、调查报告、研究简报、综述与评述、简讯等, 并酌登学术动态和重要书刊的评价等。

目前,《上海水产大学学报》已同时被中文核心期刊要目总览定为中文核心期刊、中国科学院文献情报中心定为中国科技论文统计源期刊、中国科学技术信息研究所定为中国科技核心期刊。

本刊为季刊, 大 16 开, 国内外公开发行。每期单价 10 元。全年定价 40 元 (含邮费)。国际标准刊号: ISSN 1004 - 7271, 国内统一刊号: CN 31 - 1613/S。国内邮发代号: 4 - 604, 国际发行代号: 4822Q。读者可在当地邮局订阅, 也可直接汇款至编辑部订阅。编辑部还有《上海水产大学学报》(1992 - 2001 年) 全文检索光盘, 定价 50 元 (含邮费)。欢迎订阅。

编辑部地址: 上海市军工路 334 号, 上海水产大学 38 信箱, 邮编: 200090

联系电话: 021-65710892, 传真: 021-65710232

E-mail: xuebao@shfu.edu.cn