

文章编号:1000 - 0615(2005)04 - 0540 - 07

罗非鱼特定腐败菌生长动力学模型和货架期预测

许 钟, 肖琳琳, 杨宪时

(中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090)

摘要:以有氧冷藏养殖罗非鱼为研究对象,建立和验证了用于预测冷藏罗非鱼微生物学质量和剩余货架期的特定腐败菌生长动力学模型。感官、总挥发性盐基氮(TVBN)评价和微生物生长动态分析表明,罗非鱼在0~15℃贮藏中的特定腐败菌为假单胞菌,在0、5、10、15℃,感官货架期终点的假单胞菌数平均值为 $7.70 \pm 0.11 \log_{10} \text{cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ 。假单胞菌在0、5、10、15℃的生长实验值用于建立生长动力学模型表明,Gompertz方程能很好地描述假单胞菌在0~15℃温度区域的生长动态。 N_{\max} (最大菌数)受贮藏温度的影响不大,在4种温度下平均值在 $8.85 \pm 0.18 \log_{10} \text{cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ 。温度对 μ_{\max} (最大比生长速率)和Lag(延滞时间)的影响,采用Behradek方程描述呈现良好线性关系。用贮藏在3、8℃假单胞菌的生长实验值,验证建立的模型,偏差度为0.97~1.01,准确度为1.02~1.04,货架期预测值和实测值的相对误差分别为3.47%和-7.91%,显示建立的模型可以快速可靠地实时预测0~15℃贮藏罗非鱼的微生物学质量和剩余货架期。

关键词:尼罗罗非鱼;冷藏;假单胞菌;生长动力学模型;微生物学质量;货架期预测

中图分类号:S983

文献标识码:A

Microbial growth kinetics model of specific spoilage organisms and shelf life prediction for tilapia

XU Zhong, XIAO Lin-lin, YANG Xian-shi

(East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China)

Abstract: A series of experiments had been carried out to develop and validate the growth kinetics model of specific spoilage organisms for predicting the microbial quality and remaining shelf life of cultured tilapia stored aerobically in cold temperature. The results from microbiological behaviors analysis, organoleptical quality and TVBN evaluation identified *Pseudomonas* spp. as special spoilage organisms of tilapia stored at 0 - 15℃. At the end of shelf life, the average number of *Pseudomonas* spp. was $7.70 \pm 0.11 \log_{10} \text{cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ at temperatures 0, 5, 10 and 15℃. The kinetics models of *Pseudomonas* spp. had been developed and the results showed growth dynamics of this organism under 0 - 15℃ could be well described by a Gompertz type model. The temperature had no significant effect on N_{\max} (maximum cell concentration), the average value of N_{\max} was determined to be $8.85 \pm 0.18 \log_{10} \text{cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ under those four temperatures. The temperature dependence of *Pseudomonas* spp. kinetic parameters - μ_{\max} (maximum specific growth rate) and Lag (lag phase) were modeled using Behradek model. The correlation regression showed could finely describe the influence of temperature on growth. Validation of built kinetic models was preferred by comparing with experimental development of *Pseudomonas* spp. grown on tilapia at temperatures 3, 8℃. Bias and accuracy factors were used as comparison indices and range from 0.97 to 1.01 and from 1.02 to 1.04, respectively. The results derived from validation showed that the developed models could finely predict the growth kinetic of *Pseudomonas* spp. at 0 - 15℃. Basic errors between predicted shelf life and real shelf life were 3.47% and -7.91% at 3, 8℃ respectively, it suggested microbial growth models built in our research were valuable for rapid and realistic prediction of the microbial quality and remaining shelf life of cultured tilapia stored aerobically from 0 to 15℃.

Key words: *Oreochromis niloticus*; cold storage; *Pseudomonas* spp.; growth kinetics model; microbial quality; shelf life prediction

收稿日期:2004-06-29

资助项目:农业部948项目(2001-478)

作者简介:许钟(1955-),女,山东枣庄人,副研究员,从事水产品加工和品质保障技术的研究。Tel:021-65678984, E-mail:

xuzhong@smmail.cn

新鲜鱼类是最易腐败的一类食品,鱼类腐败主要是微生物生长活动的结果^[1],监测和控制鲜鱼微生物学质量是水产加工流通业的重要任务。近年来食品微生物预报技术在国外被广泛研究,利用数学模型定量描述食品特性(如 pH、水分活度)和加工流通环境因子(如温度、氛围气体)对食品中微生物生长、残存、死亡动态的影响,用来预测食品的货架寿命和微生物学安全^[2]。对鲜鱼类腐败微生物研究的结果表明,在大多数情况下,鲜鱼类所含微生物中只有部分微生物参与腐败过程^[3],这些适合生存和繁殖并产生腐败臭味和异味代谢产物的微生物,就是该产品的特定腐败菌(specific spoilage organisms, SSO)^[4]。由于是 SSO 造成腐败,所以 SSO 的对数和产品剩余货架期之间存在密切关系,这就有可能依据 SSO 初始数和生长模型来预测产品的剩余货架期^[5]。国内尚未见鱼类特定腐败菌及其生长动力学研究的报道,国外已发表的可以用于鱼类的食品特定腐败菌生长动力学数学模型有:磷发光杆菌(*Photobacterium phosphoreum*)^[6,7]、假单胞菌(*Pseudomonas* spp.)^[8-11]和腐败希瓦氏菌(*Shewanella putrefaciens*)^[12]。这些模型大部分是使用在液体培养基上得到的实验数据建立的,因为在培养基上比在真实食品容易控制不同因子,能在很短时间内获得建模所需的大量实验数据。然而,由于没有考虑如鱼肉组织的不同和微生物之间的相互影响,模型往往过高评价真实鱼类中微生物的生长速率,使预测值有较大误差。直接从自然鱼得到实验数据,并开发预报数学模型有一定的实际困难,但由于消除了培养基和微生物多样性所带来的误差,增加了预测模型的准确度^[13]。

本文研究了我国淡水养殖罗非鱼在 0~15 低温贮藏中的特定腐败菌及其生长动态,在此基础上建立了特定腐败菌假单胞菌的生长动力学数学模型,验证了用此数学模型预测冷藏罗非鱼剩余货架期和假单胞菌生长动态的可靠性,试图为罗非鱼冷藏链鲜鱼流通提供冷藏链参数设计和鲜度管理的数字化工具。

1 材料与方法

1.1 贮藏实验

罗非鱼是我国淡水养殖的主要鱼种,其肉质细嫩美味、泥腥味轻,深受消费者喜爱,也是重要

的出口水产品。实验用淡水养殖尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*),由北极品水产(浙江)有限公司提供。活鱼送到实验室后立即放入冰水中休克,选用大小基本一致的鱼(每尾重 500~650 g),剖开腹腔去除内脏,洗净,装入下有篦子能沥水的塑料盆中,盖上有漏气孔的盖,放入高精度低温培养箱(Sanyo MIR 153, 日本),分别控制贮藏温度 0、5、10、15 ± 0.1 。每隔适当时间取出试样鱼进行感官质量评价、细菌总数和假单胞菌计数、TVBN 测定。每种温度至少进行 2 次贮藏实验。

为了验证所建立模型的可靠性,另外进行了温度为 3 和 8 的贮藏实验,误差为 ± 0.1 。

1.2 样品处理

试验鱼去鳞洗净,用干净吸纸擦干后,沿脊骨从头至尾剖切,取得整个半条鱼肉和鱼皮,使用组织捣碎机打碎。

1.3 感官质量评价

由 6 名经过训练的评价员组成感官评价小组,以鲜鱼的气味和蒸熟后鱼的气味和味道作出评价。采用一种相对简单的 3 分法,0 为最好品质,2 为可接受界限^[14],当半数或以上评价员评价 2 或以上时,即为感官拒绝点。

蒸熟时取中段鱼块用铝箔包好,待锅中水沸腾后,将试样放入锅内的金属篦子上,盖上锅盖蒸 20 min,取出后立即进行感官评价。感官拒绝点前后同时进行总挥发性盐基氮(TVBN)测定。

1.4 微生物计数和培养基

称取打碎鱼肉 10.0 g,加入 90 mL 0.1%蛋白胍无菌生理盐水,高速振荡后,以 10 倍稀释将鱼肉浆稀释后,取数个浓度合适的稀释液 0.1 mL,涂布于培养基表面。每个样品至少取 2 个稀释液,每个稀释液涂布 3 个平皿。

细菌总数(TVC):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),25 培养 48 h。

假单胞菌数(*Pseudomonas* spp.):假单胞菌专用培养基(CFC, Oxoid code CM 559, and supplemented with SR 103, 英国),25 培养 48 h。

1.5 总挥发性盐基氮测定

称取打碎鱼肉 10.00 g 于锥形瓶中,加入 20 mL 水、20 mL 10%三氯醋酸,用玻璃棒搅匀,振摇,浸渍 30 min 后过滤,滤液按半微量定氮法进行,每个样品至少做 2 个平行。

1.6 数据处理和回归分析

实验数据用 Statistica (Release 4.5) 统计分析软件 (StatSoft, Inc.) 采用最小平方差法, 选择适当的数学模型进行回归。

2 数学模型和模型验证

2.1 微生物生长动力学模型

将在 0、5、10、15 贮藏罗非鱼中得到的假单胞菌实验数据, 分别用修正的 Gompertz 方程^[15]描述生长动态。修正的 Gompertz 方程如下:

$$\log N(t) = \log N_0 + \log \frac{N_{\max}}{N_0} \times \exp \left\{ - \exp \left[\frac{\mu_{\max} \times 2.718}{\log(N_{\max}/N_0)} \times (Lag - t) + 1 \right] \right\} \quad (1)$$

式中, t 为时间(h), $N(t)$ 为 t 时的菌数, N_{\max} 、 N_0 为最大和初始菌数 (cfu · g⁻¹), μ_{\max} 为微生物生长的最大比生长速率 (h⁻¹), Lag 为微生物生长的延滞时间(h)。

2.2 温度对微生物生长影响动力学模型

温度对假单胞菌生长影响的动力学模型由 Belehradek 方程^[16]描述。Behlradek 方程如下:

$$\sqrt{\mu_{\max}} = b_{\mu} \times (T - T_{\min\mu}) \quad (2)$$

$$\frac{1}{Lag} = b_{Lag} \times (T - T_{\min Lag}) \quad (3)$$

式中, T 为摄氏温度(°C), T_{\min} 为生长的最低温度, 即在此温度时最大比生长速率为零, b 是方程的常数。

2.3 微生物生长动力学模型验证和预测模型的可靠性评价

将另外在 3、8 贮藏罗非鱼中得到的假单胞菌实验数据, 用修正的 Gompertz 方程, 得到的假单胞菌生长曲线和动力学参数, 与假单胞菌生长动力学模型得到的 3、8 预测值进行比较, 验证建立的假单胞菌生长动力学预测模型的可靠性。

应用建立的假单胞菌生长动力学模型求得 3、8 的预测值, 与罗非鱼 3、8 贮藏实验测得的假单胞菌生长的数值比较, 采用偏差度和准确度^[17], 评价建立的(1)假单胞菌生长动力学预测模型的可靠性。偏差度和准确度用下式表示:

$$\text{偏差度} = 10 \frac{\sum \log(N_{\text{预测}}/N_{\text{实测}})}{n} \quad (4)$$

$$\text{准确度} = 10 \frac{\sum \log(N_{\text{预测}}/N_{\text{实测}})}{n} \quad (5)$$

式中, $N_{\text{实测}}$ 为实验测定的假单胞菌数, $N_{\text{预测}}$ 为 $N_{\text{实测}}$ 同一时间的假单胞菌预测值, n 为实验次数。

2.4 货架期预测与验证

有氧冷藏罗非鱼的货架期 (SL, h), 根据建立的假单胞菌生长动力学模型, 就可以通过这一特定腐败菌从初始菌数 (N_0) 到最小腐败量 (N_s) 所需的增殖时间来预测。

将贮藏在 3、8 温度中的罗非鱼实验得到的货架期与模型预测的货架期进行比较, 验证建立的罗非鱼货架期预测模型的可靠性, 以相对误差表示。

3 结果与讨论

3.1 特定腐败菌和最小腐败量的确定

由于是特定腐败菌 (SSO) 导致鱼类腐败, 为了精确预测鲜鱼的货架寿命, 首先必须确定鲜鱼的 SSO 以及最小腐败量 (N_s), 即鱼品鲜度遭到感官拒绝时的特定腐败菌数量。如果 SSO 和 N_s 已确定, 就可以在腐败范围 (特定腐败菌导致鱼类腐败的内外环境条件的范围) 内, 建立 SSO 生长动态模型, 然后应用模型预测鱼品的质量和货架期^[6]。

在贮藏期间, SSO 的生长比其他微生物快, 并且腐败活性强^[18]。因此对 SSO 的确定上, 不仅要分析贮藏中的菌相变化, 而且要鉴定产生异味的定性能力 (腐败潜在性) 和产生腐败代谢物的定量能力 (腐败能力)^[5]。假单胞菌是典型的低温腐败菌, 其中分解蛋白质和脂肪的菌种较多, 被认为是有氧冷藏淡水鱼的特定腐败菌^[19]。图 1 是实验得到的细菌总数 (25 培养 48 h) 和假单胞菌数采用修正的 Gompertz 方程回归, 得到的罗非鱼 0、10 贮藏中微生物生长曲线。从图中可见, 新鲜罗非鱼最初受到多种微生物的污染, 但在低温贮藏中, 假单胞菌逐渐成为优势菌。实验中假单胞菌的生长与感官评价品质下降十分接近, 在 0、5、10、15 4 种温度下, 假单胞菌在感官货架期终点的数量即 N_s 平均值为 $7.70 \pm 0.11 \log_{10} \text{cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ (平均值 \pm SD), 货架期终点的 TVBN 平均值为 $20.1 \pm 1.66 \text{ mg} \cdot (100\text{g})^{-1}$ (平均值 \pm SD, 表 1)。因此认定假单胞菌是 0~15 贮藏罗非鱼的特定腐败菌, 可以依据假单胞菌的生长模型来预测罗非鱼的剩余货架期。

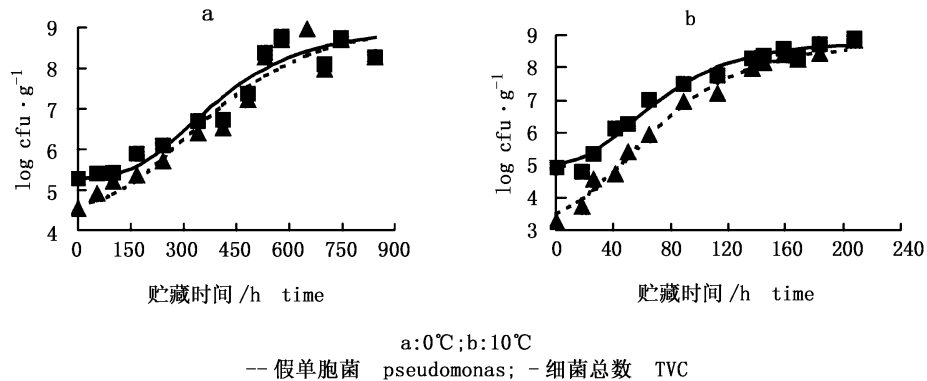


图 1 罗非鱼在 0、10 °C 贮藏中假单胞菌数和细菌总数的变化

Fig. 1 Development of *Pseudomonas* and TVC grown on tilapia stored at 0 and 10 °C

表 1 罗非鱼在 0、5、10、15 °C 贮藏中初始的假单胞菌数及感官拒绝(货架期终点)时的假单胞菌数和 TVBN 值

Tab. 1 *Pseudomonas* counts and TVBN values at the time of storage beginning and organoleptical rejection (end points of shelf life) of tilapia stored aerobically at 0, 5, 10 and 15 °C

| 贮藏温度(°C) temperature | 货架期(h) shelf life | N_0 (log ₁₀ cfu · g ⁻¹) | N_S (log ₁₀ cfu · g ⁻¹) | TVBN[mg · 100g ⁻¹] |
|-----------------------|-------------------|--|--|--------------------------------|
| 0 | 490 | 4.54 | 7.58 | 19.7 |
| 5 | 229 | 3.42 | 7.63 | 20.1 |
| 10 | 124 | 3.28 | 7.77 | 22.3 |
| 15 | 61 | 3.84 | 7.82 | 18.3 |
| 平均值 average value ±SD | — | — | 7.70 ±0.11 | 20.1 ±1.66 |

3.2 微生物生长曲线和动力学参数

图 2 是假单胞菌在 0、5、10、15 °C 4 种温度的罗非鱼贮藏试验得到的生长实验值,利用修正的 Gompertz 方程计算求得预测生长曲线。结果表明, Gompertz 方程能较好地描述假单胞菌生长的 S 型曲线,在 4 种温度所得的回归相关系数值均较高。利用 Gompertz 方程求得假单胞菌生长动力学参数见表 2。与最大比生长速率(μ_{max})和生长延滞时间(Lag)不同,在 0 ~ 15 °C,假单胞菌最大菌数(N_{max})值受贮藏温度的影响不大,平均值在 $8.85 \pm 0.18 \log_{10} \text{cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ (平均值 ±SD)。

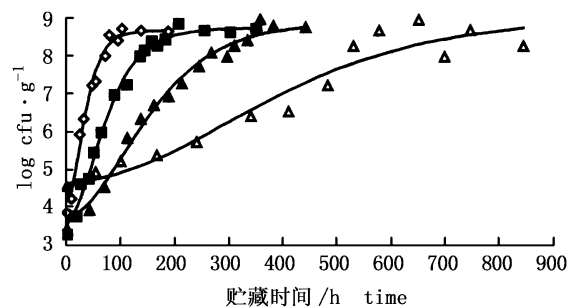


图 2 罗非鱼在 0、5、10、15 °C 贮藏中假单胞菌生长曲线

Fig. 2 Kinetic curves of *Pseudomonas* growth on tilapia stored at 0, 5, 10 and 15 °C

表 2 罗非鱼在 0、5、10、15 °C 贮藏中假单胞菌生长的最大比生长速率、延滞时间和最大菌数

Tab. 2 Maximum specific growth rate, lag phase and maximum cell concentration of *Pseudomonas* grown on tilapia stored aerobically at 0, 5, 10 and 15 °C

| 贮藏温度(°C) temperature | μ_{max} (h ⁻¹) | Lag(h) | N_{max} (log ₁₀ cfu · g ⁻¹) | R^2 |
|----------------------|--------------------------------|--------|--|-------|
| 0 | 0.00788 | 84.5 | 9.08 | 0.967 |
| 5 | 0.0223 | 17.9 | 8.91 | 0.994 |
| 10 | 0.0450 | 5.71 | 8.74 | 0.996 |
| 15 | 0.0820 | 2.77 | 8.68 | 0.994 |

3.3 温度对微生物生长动力学参数的影响

得到的图2和4种温度的 Gompertz 方程能很好地预测 0、5、10、15 温度条件下的假单胞菌生长,但无法描述温度的变化对假单胞菌生长的影

响。温度对假单胞菌生长动力学的影响,一般可由 Belehradek 方程描述。由图3可见,Belehradek 方程描述的温度与最大比生长速率(μ_{max})、延滞时间(Lag)呈现良好的线性关系。

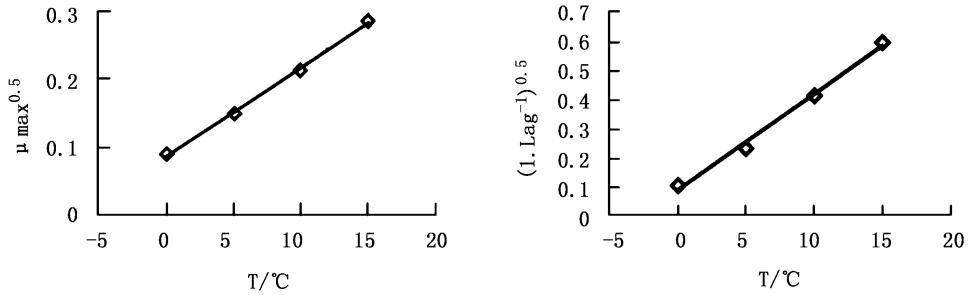


图3 温度与 μ_{max} 、Lag 的关系

Fig. 3 Temperature dependence of μ_{max} and Lag showed

如上述,假单胞菌生长动力学参数 (N_{max} 、 μ_{max} 、Lag) 与温度的关系,最大菌数 (N_{max}) 基本恒定在 $8.85 \log_{10} \text{cfu} \cdot \text{g}^{-1}$,最大比生长速率 (μ_{max}) 和延滞期 (Lag) 可以用 Belehradek 方程描述,因此我们就可利用 Belehradek 方程评估温度对假单胞菌生长动力学的影响。

的生长动力学参数 N_{max} 、 μ_{max} 、Lag 的实验值与利用 Belehradek 方程求得的预测值的比较。图4为假单胞菌在 3、8 温度的罗非鱼贮藏试验得到的生长实验值,利用修正的 Gompertz 方程得到的生长曲线,与假单胞菌生长动力学预测模型得到的预测生长曲线的比较。

3.4 微生物生长动力学模型验证与评价

表3为罗非鱼贮藏 3、8 温度下假单胞菌

表3 罗非鱼在 3、8 贮藏中假单胞菌生长动力学参数的预测值和实测值

Tab.3 Predicted and observed values of growth kinetic parameters for tilapia stored at 3,8

| 贮藏温度() temperature | N_0 ($\log_{10} \text{cfu} \cdot \text{g}^{-1}$) | $N_{max \text{ prd}}$ ($\log_{10} \text{cfu} \cdot \text{g}^{-1}$) | $N_{max \text{ obs}}$ ($\log_{10} \text{cfu} \cdot \text{g}^{-1}$) | $\mu_{max \text{ prd}}$ (h^{-1}) | $\mu_{max \text{ obs}}$ (h^{-1}) | Lag prd (h) | Lag obs (h) |
|------------------------|---|---|---|--|--|----------------|----------------|
| 3 | 3.96 | 8.85 | 8.70 | 0.0156 | 0.0187 | 27.1 | 32.2 |
| 8 | 3.56 | 8.85 | 8.77 | 0.0361 | 0.0345 | 7.80 | 7.68 |

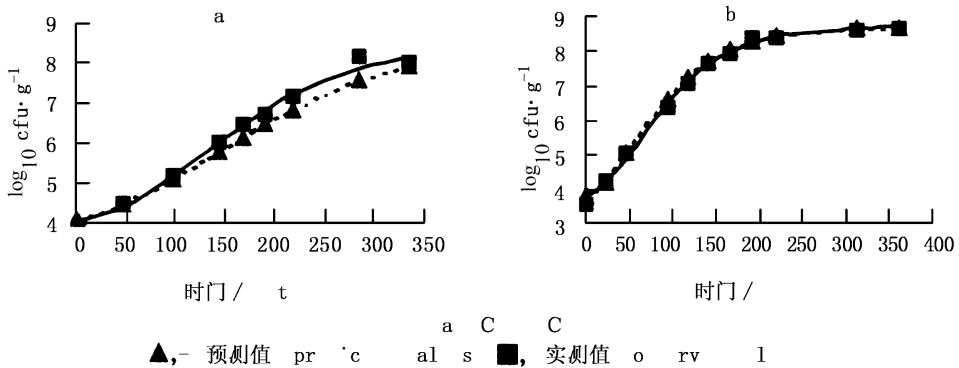


图4 罗非鱼在 3、8 贮藏中预测和实测的假单胞菌数与预测和实测的假单胞菌生长曲线

Fig. 4 Predicted and observed kinetic curves and predicted and observed numbers of *Pseudomonas* growth on tilapia stored at 3,8

为了定量评价建立的模型的可靠性, Ross^[18]提出了偏差度和准确度的概念。偏差度用来检查预测值的上下波动幅度,准确度是衡量预测值和实测值之间的差异。1.0 表示预测值没有误差,1.1 和 0.9 分别表示预测值的上下误差各为 10%。表 4 为罗非鱼贮藏 3、8℃ 温度下假单胞菌的实测值,与利用假单胞菌生长动力学预测模型求得 3、8℃ 温度下假单胞菌预测值的比较,得到的偏差度和准确度。

表 4 罗非鱼在 3、8℃ 贮藏中假单胞菌预测值的偏差度和准确度

Tab. 4 Bias and accuracy factors of predicted numbers of *Pseudomonas* for tilapia stored at 3, 8

| 贮藏温度(℃) temperature | 实验次数 time | 偏差度 bias | 准确度 accuracy factor |
|------------------------|--------------|-------------|------------------------|
| 3 | 9 | 0.97 | 1.04 |
| 8 | 11 | 1.01 | 1.02 |

由表 4 可见,建立的数学模型能很好地预测假单胞菌在这 2 种温度下的生长动态,偏差度为 0.97~1.01,准确度为 1.02~1.04。特别是 8℃ 偏差度和准确度分别为 1.01 和 1.02,这在图 4 中也能清楚地显示,预测生长曲线与实验生长曲线几乎重叠。验证结果表明,本研究建立的预测模型能预测假单胞菌在 0~15 天的罗非鱼中的生长状态。

3.5 剩余货架期预测与验证

0~15 天贮藏罗非鱼的剩余货架期(SL, h)根据建立的假单胞菌生长动力学模型,就可以用假单胞菌这一特定腐败菌从初始菌数(N_0)增殖到最小腐败量(N_s)所需的时间来预测。我们已经知道假单胞菌的 N_s 为 $7.70 \log_{10} \text{cfu} \cdot \text{g}^{-1}$,最大菌数(N_{\max})为 $8.85 \log_{10} \text{cfu} \cdot \text{g}^{-1}$,因此,只要实时测定罗非鱼的假单胞菌数(N_0),就可依据下式和 Behradek 方程计算出罗非鱼此时的 0~15 天中任何冷藏温度的剩余货架期。由式 1 可得:

$$SL = Lag - \frac{8.85 - \log N_0}{2.718 \times \mu_{\max}} \times \left\{ \ln \left[- \ln \frac{7.70 - \log N_0}{8.85 - \log N_0} \right] - 1 \right\} \quad (6)$$

如果知道罗非鱼的初始假单胞菌数(N_0)和经过的温度履历,也可以通过上式实时求得剩余货架期。

表 5 为罗非鱼在 3、8℃ 贮藏中货架期预测值

和实测值的比较,预测值和实测值的相对误差分别为 3.47% 和 -7.91%,结果显示,采用本研究开发的假单胞菌生长动力学数学模型可以快速可靠地实时预测 0~15 天贮藏罗非鱼的剩余货架期。

表 5 罗非鱼在 3、8℃ 贮藏中货架期的预测值和实测值

Tab. 5 Predicted and observed shelf lives of tilapia stored at 3, 8

| 贮藏温度(℃) temperature | SL prd (h) | SL obs (h) | 相对误差(%) basic error |
|------------------------|------------|------------|------------------------|
| 3 | 298 | 288 | 3.47 |
| 8 | 139 | 150 | -7.91 |

注:相对误差 = [(SL prd - SL obs) / SL obs] × 100%

Notes: basic error = [(SL prd - SL obs) / SL obs] × 100%

4 结论

假单胞菌的生长动力学模型已有报道,也已用来评估真实食品,结果显示评估数值高于真实食品中微生物的生长。例如 Pin 等^[20]用假单胞菌 Pin & Baranyi 模型来评估真实食品,误差超过 40%,这是由于模型是在液体培养基上得到的实验数据建立的。本研究所有的实验数据来自自然污染的罗非鱼,肌肉组织和微生物相互之间对假单胞菌生长的影响已经包括在模型中,因此预测精度大大提高。

本研究为设计和评估罗非鱼冷却链的技术参数,预测和监控冷却链罗非鱼的鲜度品质获得了一种有效工具。在贮藏流通中鱼品的实际温度往往是波动的,因此有必要进一步研究波动温度条件下预测模型的适合性。

参考文献:

- [1] Gram L, Huss H H. Microbiological spoilage of fish and fish products[J]. Int J Food Microbiol, 1996, 33: 121 - 137.
- [2] Mcmeekin T A, Olly J A, Ross T N, et al. Predictive Microbiology: Theory and Application[M]. Somerset: Research Studies Press Ltd, 1993.
- [3] Man C M D, Jones A A. Shelf life Evaluation of Foods[M]. Gaithersburg Maryland USA: Aspen Publishers Inc, 2000, 110 - 139.
- [4] Lund B M, Baird-Parker T C, Gould G W. The Microbiological Safety and Quality of Food[M]. Gaithersburg Maryland USA: Aspen Publishers Inc, 2000, 472 - 506.
- [5] 杨宪时,许 钟,肖琳琳. 水产食品特定腐败菌与货架期的预测和延长[J]. 水产学报, 2004, 28(1): 106 - 111.
- [6] Dalgaard P. Modelling of microbial activity and prediction of

- shelf life of packed fresh fish[J]. *Int J Food Microbiol*, 1995, (26): 305 - 318.
- [7] Dalgaard P, Mejlholm O, Huss H H. Application of an iterative approach for development of a microbial model predicting the shelf-life of packed fish[J]. *Int J Food Microbiol*, 1997, 38: 169 - 179.
- [8] Ratkowsky D A, Olley J, McMeekin T A, *et al.* Relation between temperature and growth rate of bacterial cultures[J]. *J Bacteriol*, 1982, 149:1 - 5.
- [9] Ratkowsky D A, Lowry R K, McMeekin T A, *et al.* Model for bacterial cultures growth rate throughout the entire biokinetic temperature range[J]. *J Bacteriol*, 1983, 154:1222 - 1226.
- [10] Neumeier K, Ross T, McMeekin T A. Development of a predictive model to describe the effects of temperature and water activity on the growth of spoilage pseudomonads[J]. *Int J Food Microbiol*, 1997, 38(1):45 - 54.
- [11] Pin C, Baranyi J. Predictive models as means to quantify the interactions of spoilage organisms [J]. *Int J Food Microbiol*, 1998, 41:59 - 72.
- [12] Dalgaard P. Evaluation and prediction of microbial fish spoilage [D]. Lyngby, Denmark, Technological Laboratory, Danish Ministry of Fisheries. 1993.
- [13] Pin C, Sutherland J P, Baranyi J. Validating predictive models of food spoilage organisms[J]. *J Appl Microbiol*, 1999, 87:491 - 499.
- [14] Taoukis P S, Koutsoumanis K, Nychas G J E. Use of time temperature integrators and predictive modelling for shelf life control of chilled fish under dynamic storage conditions[J]. *Int J Food Microbiol*, 1999, 53:21 - 31.
- [15] Zwietering M H, Jongenburger I, Rombouts F M, *et al.* Modeling of the bacterial growth curve [J]. *Appl Environ Microbiol*, 1990, 56:1875 - 1881.
- [16] Davey K R. A predictive model for combined temperature and water activity on microbial growth during the growth phase[J]. *J Appl Bacteriol*, 1989, 67:483 - 488.
- [17] Ross T. Indices for performance evaluation of predictive models in food microbiology [J]. *J Appl Microbiol*, 1996, 81:501 - 508.
- [18] Dalgaard P. Freshness, quality and safety in seafoods [Z]. <http://www.exp.ie/flair.html>, 2000.
- [19] Lund B M, Baird-Parker T C, Gould G W. *The Microbiological Safety and Quality of Food*[M]. Gaithersburg Maryland USA: Aspen Publishers Inc, 2000, 472 - 506.
- [20] Pin C, Sutherland J P, Baranyi J. Validating predictive models of food spoilage organisms[J]. *J Appl Microbiol*, 1999, 87, 491 - 499.

欢迎订阅 2006 年《动物学报》

《动物学报》于 1935 年创刊,由中国动物学会和中国科学院动物研究所共同主办,是我国动物学领域中历史最悠久、最具权威性的学术刊物之一,在国内外有广泛的影响。《动物学报》为动物学研究领域的综合性学术期刊,主要刊登原创性的研究论文,优先发表创新突出、理论性强和有关中国特有动物的研究论文,并刊登特定研究领域中的综述(以特约稿为主)。主要领域包括:生态学和行为学,系统学和动物地理学,生理学和生物化学,生殖、发育和衰老生物学,遗传、细胞和分子生物学;主要栏目为综述、研究论文、观点与方法、研究简报。

《动物学报》可全文免费下载址(www.actazool.org),双月刊,大 16 开本,双月下旬出版,国内、外发行,每期定价 49 元。邮发代号:2 - 497,全国各地邮局均可订阅,也可与编辑部联系补订或补刊等有关事项。

编辑部地址:北京海淀北四环西路 25 号《动物学报》编辑部(邮编:100080)

电话:010 - 62624530

E-mail: zool@ioz.ac.cn