

全面稳定性指数理论在河豚保质期预测中的应用

薛伟锋^{1*}, 王玫¹, 曹文军², 刘水琳¹

(1. 大连海关技术中心, 大连 116000; 2. 中国检验认证集团辽宁有限公司, 大连 116039)

摘要: **目的** 建立一种基于全面稳定性指数(global stability index, GSI)理论预测河豚保质期的新方法。**方法** 基于恒温加速实验, 测定河豚在 0、4、7 和 10 °C 储藏温度下的感官、菌落总数、挥发性盐基氮和 *K* 值变化规律, 建立河豚 GSI 保质期预测模型。**结果** 计算得到的 GSI 值满足零级动力学模型。阿伦尼乌斯方程活化能和指前因子分别为 72.32 kJ/mol 和 4.81×10^{12} 。GSI 实验值和预测值相对误差绝对值在 10% 范围内。通过 GSI 模型预测, 获得河豚在 0、4、7 和 10 °C 下的保质期分别为 14.3、9.0、6.4 和 4.6 d。**结论** 建立的 GSI 预测模型在 0~10 °C 储藏温度范围内能够有效预测河豚的新鲜度。

关键词: 河豚; 保质期; 温度; 全面稳定性指数理论

Application of global stability index theory to shelf life prediction of puffer fish

XUE Wei-Feng^{1*}, WANG Mei¹, CAO Wen-Jun², LIU Shui-Lin¹

(1. Technical Center of Dalian Customs, Dalian 116000, China;
2. China Certification & Inspection Group Liaoning Co., Ltd., Dalian 116039, China)

ABSTRACT: Objective To establish a new method for predicting the shelf life of puffer fish based on the theory of global stability index (GSI). **Methods** Based on the constant temperature accelerated experiment, the changes of sensory, total bacterial count, volatile base nitrogen and *K* value of puffer fish at storage temperatures of 0, 4, 7 and 10 °C were measured, and the shelf life prediction model of puffer fish GSI was established. **Results** The calculated results of GSI fitted a zero-order kinetic model. The activation energy and the corresponding pre-exponential constant of GSI in Arrhenius equation were 72.32 kJ/mol and 4.81×10^{12} , respectively. Relative error absolute values between predicted and observed GSI values were all below 10%. The product shelf lives at 0, 4, 7 and 10 °C were calculated to be 14.3, 9.0, 6.4 and 4.6 d, respectively. **Conclusion** The established GSI-based model can effectively predict the freshness of puffer fish at the range of 0-10 °C during different storage temperatures.

KEY WORDS: puffer fish; shelf life; temperature; global stability index theory

0 引言

随着生活水平的提高, 普通的海产品已经无法满足消费者追求更高生活品质的需求。在消费者可承受价格下,

海珍品不断涌入市场, 极大地丰富了消费者的日常餐桌。大连庄河市是国家战略《辽宁沿海经济带发展规划》中的重要组成部分, 该地区是辽宁省水产品加工基地, 出口总量分别占辽宁省和大连市的 53% 和 67%, 尤其是河豚产品,

基金项目: 辽宁省自然科学基金博士启动基金项目(2019-BS-008)、大连海关科研项目基金项目(2021DK11)

Fund: Supported by the Doctor Start-up Fund of Natural Science Foundation of Liaoning Province (2019-BS-008), and the Research Fund of Dalian Customs (2021DK11)

*通信作者: 薛伟锋, 博士, 主要研究方向为食品保质期预测模型。E-mail: xwf526@163.com

*Corresponding author: XUE Wei-Feng, Ph.D, Technical Center of Dalian Customs, Dalian 116000, China. E-mail: xwf526@163.com

年出口占全国 10%以上。据报道^[1], 中国地区河豚年捕获量占全球总量的 70%, 主要用于出口, 以日本、韩国和美国为主。河豚作为一类重要的海珍品, 具有营养丰富、味道鲜美等特点, 因而逐渐受到消费者的青睐。新鲜的河豚很容易变质, 而储存在冷冻条件下却可以延长其保质期, 因此该保存方法被广泛应用于渔业和家用^[2-4]。合理的保质期意味着能够满足消费者期望, 传统的保质期确定方法是通过不断的实验摸索, 该方法耗费大量人力物力^[5-6], 已经证明不是最有效的获取保质期途径, 建立预测模型逐渐成为一种替代实验摸索的有效方法。目前, 关于河豚保质期预测模型的研究尚未见报道。

作为最经典的保质期预测模型—阿伦尼乌斯模型, 其考察对象为温度对保质期影响^[7]。在此基础上, 陆续发展了多种保质期预测模型, 如初均速法, 主要用于药物制剂领域^[8]; Q_{10} 法在食品和药物制剂领域应用都较多^[9]; 威布尔风险分析(Weibull hazard analysis, WHA)模型除了应用于食品领域外, 化妆品领域也有涉及^[10-14]。目前全面稳定性指数(global stability index, GSI)理论预测模型仅在食品领域(如蔬菜^[15-19]、果汁^[20]和奶粉^[21])有所应用, 其反映的也是产品品质受温度的影响, 但其最大优势是将独立的多个品质指标通过合理的数学运算有机整合为一个综合品质指标, 对该品质指标进行评价后, 获得预测保质期。该模型能够有效克服仅基于产品单一品质指标评估产品品质片面性, 孤立看待复杂食品体系中的每一指标的缺陷。尽管 GSI 模型已成功应用于鲷鱼^[22]、武昌鱼^[23]和鲫鱼^[24]等鱼类的保质期预测, 但该模型是否适用于河豚保质期预测尚不清楚, 而且实验设计中不同的储藏条件(如温度、相对湿度和时长)也有可能对模型预测结果造成显著影响^[25-26]。基于此, 本研究将要建立的 GSI 模型, 正是将河豚感官、理化和微生物性质等方面多个独立指标进行整合, 在设定储藏条件下, 通过有效监督河豚整体品质变化, 达到准确预测河豚保质期的目的。

1 材料与方 法

1.1 仪器与试剂

BSA124S 型天平(精度 0.1 mg, 德国 Sartorius 公司); Milli-Q 超纯水系统(德国 Merck 公司); CL-40M 型高压灭菌锅(日本 ALP 有限公司); LC-20A 液相色谱仪、VP-ODS C_{18} (4.6 mm×150 mm, 5 μ m)色谱柱(日本 Shimadzu 有限公司); 400SW 型均质器(法国 Interscience 有限公司); S220 型 pH 计(瑞士 Mettler Toledo 有限公司); THS-AOC-100AS 型恒温恒湿试验机(广东庆声科技有限公司); DK-80 型恒温水浴锅(上海一恒科技有限公司); K1100F 型自动凯氏定氮仪(济南海能仪器股份有限公司); 0.22 μ m 滤膜(上海生工生物工程股份有限公司)。

次黄嘌呤核苷(hypoxanthine riboside, HxR)、次黄嘌呤(hypoxanthine, Hx)、腺苷三磷酸(5'-Adenylate triphosphate, ATP)、

腺苷二磷酸(adenosine diphosphate, ADP)、腺苷酸(adenosine monophosphate, AMP)、肌苷酸(inosinemonphosphate, IMP)(纯度 $\geq 95\%$, 美国 Sigma 公司); 磷酸二氢钾、氧化镁、氯化钠、氢氧化钠、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠(分析纯)、溴甲酚绿指示剂(国药集团化学试剂有限公司); 平板计数琼脂培养基(北京陆桥生物技术有限责任公司); 硼酸、盐酸、高氯酸、95%乙醇(分析纯)、甲基红指示剂(天津科密欧化学试剂有限公司)。

1.2 实验方法

1.2.1 溶液配制

根据文献[25]介绍方法, 配制硼酸、盐酸、氢氧化钠、甲基红、溴甲酚绿、甲基红和溴甲酚绿混合指示液、磷酸盐缓冲液(贮存液和稀释液)和无菌生理盐水等溶液, 以及平板计数琼脂培养基。

磷酸二氢钠溶液(0.2 mol/L): 将 27.6 g 一水合磷酸二氢钠用超纯水溶解并定容至 1 L, 此溶液设为 A。

磷酸氢二钠溶液(0.2 mol/L): 将 53.6 g 七水合磷酸氢二钠用超纯水溶解并定容至 1 L, 此溶液设为 B。

磷酸盐缓冲液(0.05 mol/L, pH 6.5): 将上述 171.25 mL 溶液 A 和 78.75 mL 溶液 B 混合后, 测定溶液 pH 为 6.5, 继续加入超纯水定容至 1 L。

高氯酸溶液(10%体积分数): 将 10 mL 高氯酸用超纯水定容至 100 mL。

氢氧化钾溶液(1 mol/L): 将 56.0 g 氢氧化钾用超纯水溶解并定容至 1 L。

1.2.2 试样制备和储藏

从庄河市已通过农业农村部审核的某河豚养殖厂中选取大小和体重接近的河豚(红鳍东方鲀)若干条, 现场对河豚进行去头、去尾、去内脏和去鳞处理后, 于碎冰保鲜条件下立即运回实验室。常温空气下放置 3 h 后切块, 装入聚乙烯无菌袋中避光储藏于 0、4、7 和 10 $^{\circ}$ C 的恒温恒湿试验机中, 相对湿度均为 50%。

1.2.3 指标测定

根据实验需要, 每次从恒温恒湿试验机中随机取出 3 份河豚样品进行如下指标分析。

(1)感官得分: 由 7 位实验室人员在经过统一培训后, 从河豚颜色、气味和肌肉情况 3 个层面进行打分^[27], 每个层面设定 1~5 分, 分数高/低代表河豚品质优/劣, 5 分代表非常喜欢, 1 分代表非常厌恶, 3 分被认为是河豚可接受度临界值, 各层面得分平均值记作该评价员最终打分。各评价员最终打分进行加和后作为河豚感官得分, 21 分作为感官得分可接受度临界值。

(2)菌落总数: 根据文献[25]介绍方法进行测定。

(3)挥发性盐基氮: 根据文献[25]介绍方法进行测定。

(4)K 值: 该值是以分析肌肉中三磷酸腺苷及其降解产物为基础, 通过计算获得的一个指标^[28-29], 如式(1)所

示。大量研究^[30-34]表明, K 值可以作为评价水产品新鲜度的一个重要指标。具体测定过程如下: 将剁碎的 5 g 河豚置于离心管内, 加入预冷(4 °C)后 10%高氯酸 10 mL, 均质 1 min, 4 °C 离心, 取上清液。沉淀物继续加入 10 mL 冷却的 10%高氯酸洗涤, 离心, 重复 3 次。合并所有上清液, 用 1 mol/L 氢氧化钾溶液调节 pH 至 6.5 左右, 定容于 50 mL 容量瓶, 溶液经 0.22 μm 滤膜过滤后待测。采用 VP-ODS C₁₈ (4.6 mm×150 mm, 5 μm) 色谱柱, pH 6.5 的 0.05 mol/L 磷酸盐缓冲液平衡洗脱, 样品进样量为 10 μL, 流速 1 mL/min, 柱温 30 °C, 检测波长 254 nm。

$$K/\% = \frac{C_{HxR} + C_{Hx}}{C_{ATP} + C_{ADP} + C_{AMP} + C_{IMP} + C_{HxR} + C_{Hx}} \times 100\% \quad (1)$$

式中, C_{HxR} 、 C_{Hx} 、 C_{ATP} 、 C_{ADP} 、 C_{AMP} 和 C_{IMP} 分别为次黄嘌呤核苷、次黄嘌呤、腺苷三磷酸、腺苷二磷酸、腺苷酸和肌苷酸的浓度(mol/g)。

1.3 预测模型

1.3.1 多指标整合

将表征河豚品质的 4 个指标通过式(2)整合为一个整体指标^[20], V_{ij} 的计算公式见式(3)。

$$GSI_j = 1 - \sum \alpha_i V_{ij} \quad (2)$$

$$V_{ij} = \frac{C_{ij} - C_{i0}}{L_i - C_{i0}} \quad (3)$$

式(2)、(3)中, j 、 \sum 、 α_i 和 V_{ij} 分别为储藏时间、 $i=1\sim n$ 的相应值的总和(n 为指标数量)、指标 i 重要程度的权重系数和指标 i 于第 j 天的测定值变化率。其中, V_{ij} 可通过式(3)计算

获得, C_{ij} 、 C_{i0} 和 L_i 分别为指标 i 于第 j 天的测定值、第 0 d 的初始值以及保质期终点临界值。

1.3.2 GSI 动力学反应

式(4)和(5)分别描述的是河豚 GSI 值随储藏时间变化的零级和一级动力学反应, 经过拟合后, 确认最优反应级别。

$$[GSI] = [GSI]_0 - kt \quad (4)$$

$$[GSI] = [GSI]_0 \exp(-kt) \quad (5)$$

式中, $[GSI]$ 、 $[GSI]_0$ 、 k 和 t 分别为 t 时刻整体品质计算值、0 时刻整体品质初始值、速率常数和储藏时间。

1.3.3 模型可靠性

根据 KAYMAK-ERTEKIN 等^[35]提出的方法, 采用式(6)验证模型可靠性。

$$P/\% = \frac{|C_{ei} - C_{ci}|}{C_{ei}} \times 100\% \quad (6)$$

式(6)中, C_{ei} 和 C_{ci} 分别为指标 i 的实验测定值和模型计算值。

2 结果与分析

2.1 品质指标变化

河豚感官、菌落总数、挥发性盐基氮和 K 值 4 个品质指标随储藏温度和时间的变化情况见表 1。由表 1 可知, 4 个指标受储藏温度和时间影响明显, 可以用于反映河豚品质变化情况, 证明了本研究构建河豚保质期预测模型所选取的 4 个品质指标是合理的。结果显示, 储藏温度的升高加速了 4 个品质指标的变化速率。除感官得分不断降低外, 其余 3 个品质指标均随着储藏时间的增加而呈现上升趋势。

表 1 河豚品质评价指标变化结果($n=3$)

Table 1 Results of change in puffer fish quality evaluation indices ($n=3$)

温度/K (°C)	储藏时间/d	感官得分	菌落总数/(lg CFU/g)	挥发性盐基氮/(mg/100 g)	K 值/%
283 (10)	0	35.0±0.9	3.4±0.2	7.2±0.2	9.1±0.2
	1	29.0±0.5	3.8±0.3	9.1±0.2	14.9±0.5
	3	20.7±0.5	4.9±0.4	12.4±0.5	31.2±0.3
	7	4.1±0.2	7.0±0.4	19.0±0.5	63.8±1.4
	0	35.0±0.9	3.4±0.2	7.2±0.2	9.1±0.2
280 (7)	4	21.9±0.4	5.0±0.3	13.3±0.6	33.4±1.2
	8	10.6±0.3	6.7±0.3	23.9±0.5	60.3±1.3
	10	3.4±0.4	7.5±0.5	27.2±0.7	78.2±1.8
277 (4)	0	35.0±0.9	3.4±0.2	7.2±0.2	9.1±0.2
	3	27.2±1.2	4.5±0.3	8.6±0.5	15.8±0.8
	6	22.2±1.2	5.2±0.3	12.1±0.5	27.4±1.1
273 (0)	15	7.0±0.4	7.3±0.3	22.3±1.2	62.0±1.7
	0	35.0±0.9	3.4±0.2	7.2±0.2	9.1±0.2
	6	24.7±1.2	4.7±0.2	10.0±0.3	21.3±0.5
	15	12.9±0.5	6.4±0.4	16.9±0.7	50.0±1.4
	20	6.4±0.3	7.4±0.5	20.8±0.6	66.0±1.9

2.2 GSI 模型

2.2.1 指标临界值和权重系数确定

在河豚感官得分评价过程中,当每个评价成员认为河豚感官平均得分低至3分时,即认为河豚已达到腐败临界值,以7人评价小组平均得分加和后获得的感官得分21分作为河豚腐败终点。通过检索标准和文献,未发现关于河豚菌落总数腐败临界值的报道,因此,本研究选择参考文献^[22-23,36]中报道的关于其他鱼类和海虾菌落总数腐败临界值(7 lg CFU/g)作为河豚菌落总数腐败临界值。30 mg/100 g的挥发性盐基氮值被认为是水产品可被消费者接受的上限^[37],同样适用于本研究中河豚。杨文鸽等^[38]以K值达到60%作为鲜鱼腐败的开始,因此本研究同样选择该值作为河豚腐败临界值。根据文献^[21,25-26]报道,将描述感官、理化 and 微生物层面品质指标权重设定为同等重要性,GSI模型能够获得良好的预测效果,因此,本研究设定各指标权重系数均为0.25。

2.2.2 GSI 实验值

将各品质指标实测值($C_{1j} \sim C_{4j}$)及其临界阈值($L_1 \sim L_4$,分别为21、7、30和60)代入式(3),获得各参数对应变化率(V_{ij}),再将 V_{ij} 和各权重系数($\alpha_1 \sim \alpha_4$,均为0.25)代入式(2),获得不同储藏条件下河豚综合品质GSI实验值。

2.2.3 模型建立

经零级和一级动力学模型拟合后,只有零级反应符合线性变化,结果见表2,说明零级反应速率常数可以用于构建河豚保质期预测模型。将式(4)代入阿伦尼乌斯方程[式(7)],推导出基于GSI值的河豚保质期预测模型,如式(8)所示。

表2 零级反应模型拟合相关系数(R^2)和速率常数(k)

Table 2 Correlation coefficients (R^2) and rate constants (k) for zero-order kinetics models

储藏温度/ $^{\circ}\text{C}$	R^2	k
0	0.9990	0.0745
4	0.9959	0.0962
7	0.9997	0.1666
10	0.9990	0.2173

$$k = k_0 e^{-E_a/RT} \quad (7)$$

式中, k 、 k_0 、 E_a 、 R 和 T 分别为反应速率常数、指前因子、活化能(kJ/mol)、摩尔气体常数[8.3144 J/(mol·K)]和热力学温度(K)。

$$SL = \frac{[GSI]_0 - [GSI]}{k_0 \exp(-E_a/RT)} \quad (8)$$

式中,SL为保质期(d)。

如图1所示,将式(7)进行lnk对1/T线性拟合后,获得较高的相关系数($r^2=0.9598$),证明了阿伦尼乌斯方程可

以用于本研究中河豚保质期预测模型构建。式(7)中 k_0 和 E_a/R 分别为e的29.202次幂和拟合直线斜率的绝对值8.6983,经计算, k_0 和 E_a 分别为 4.81×10^{12} 和72.32 kJ/mol,将其带入式(8)获得式(9)。在河豚品质初始时刻和保质期终点时刻,[GSI]₀和[GSI]分别设定为1和0,计算获得河豚在0、4、7和10℃下保质期分别为14.3、9.0、6.4和4.6 d。

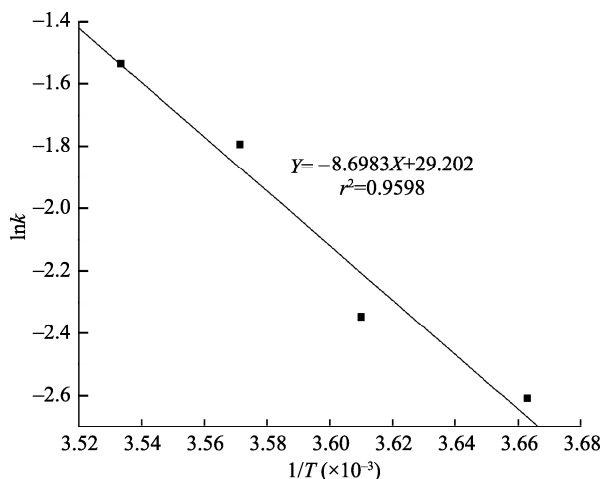


图1 GSI衰减速率常数(lnk)与1/T的关系

Fig.1 Relationship between GSI attenuation rate constant (lnk) and 1/T

$$SL = \frac{[GSI]_0 - [GSI]}{4.81 \times 10^{12} \exp(-8698/T)} \quad (9)$$

2.2.4 模型验证

如表3所示,不同储藏温度和时间下,河豚GSI实验值与模型预测值相对误差(P)绝对值均小于10%,说明本研究建立的河豚保质期预测模型是可靠有效的^[35]。经该模型估算,河豚在20℃存放条件下的保质期约为1.6 d,而通过实验获得的保质期为1.5 d(由感官得分、菌落总数、挥发性盐基氮和K值4个品质指标中的任一指标最先接近该指标临界值所在储藏时间确定),保质期相对误差绝对值小于10%,模型预测结果理想,证明了该模型在外推温度下仍具有良好的保质期预测能力。

3 结论

本研究通过将表征河豚品质的4个指标,包括感官、菌落总数、挥发性盐基氮和K值整合为一个综合评价指标GSI,用于构建河豚品质随温度和时间变化的保质期预测模型。该模型从河豚整体品质变化入手,克服了独立指标预测保质期可能带来的片面性,因此更加客观和可靠。本研究建立的保质期模型预测20℃储藏条件下河豚保质期为1.6 d,与实验获得的保质期(1.5 d)非常接近,说明本研究建立的预测模型不仅在0~10℃范围内具有可靠的预测结果,甚至在外推温度条件下仍具有可靠的预测结果。该

模型的建立,为河豚的质量监控、销售及其储藏提供了一定的参考依据。本研究发现,新鲜河豚在0~10℃的保质期

为4.6~14.3 d,为了确保河豚肉质鲜美,并且保留大部分营养成分,建议新鲜河豚处理后冷藏保存,并尽快食用。

表3 GSI预测模型可靠性
Table 3 Reliability of GSI prediction model

温度/℃	储藏时间/d	GSI 实验值	GSI 预测值	P/%	温度/℃	储藏时间/d	GSI 实验值	GSI 预测值	P/%
0	0	1.0000	0.9797	2.03	4	0	1.0000	0.9528	4.72
	6	0.5051	0.5327	-5.47		3	0.6244	0.6642	-6.37
	15	-0.1403	-0.1378	1.78		6	0.3504	0.3756	-7.20
	20	-0.4988	-0.5103	-2.30		15	-0.4718	-0.4902	-3.91
7	0	1.0000	1.0020	-0.20	10	0	1.0000	0.9738	2.62
	4	0.3333	0.3356	-0.68		1	0.7342	0.7565	-3.03
	8	-0.3139	-0.3308	-5.38		3	0.3096	0.3219	-3.99
	10	-0.6764	-0.6640	1.83		7	-0.5385	-0.5473	-1.63

参考文献

- [1] SREELAKSHMI KR, RAJ R, RENJITH RK, *et al.* Quality and shelf life assessment of puffer fish (*Lagocephalus guentheri*) filets during chilled storage [J]. *J Aquat Food Prod Technol*, 2019, 28(1): 25-37.
- [2] 马妍, 谢晶, 周然, 等. 冻藏温度对河豚鱼肉微观结构及生化指标的影响[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2014, 42(5): 141-146.
MA Y, XIE J, ZHOU R, *et al.* Effects of frozen storage temperature on ultrastructure and biochemical properties of *Takifugu obscurus* [J]. *J Northwest Agric Forest Univ (Nat Sci Ed)*, 2014, 42(5): 141-146.
- [3] 马妍, 谢晶, 周然, 等. 冻藏温度对河豚鱼微生物及品质特性的影响[J]. *食品科学*, 2012, 33(6): 288-292.
MA Y, XIE J, ZHOU R, *et al.* Effect of temperature on microbiological and quality properties of puffer fish during cold storage [J]. *Food Sci*, 2012, 33(6): 288-292.
- [4] ZHOU R, LIU Y, XIE J, *et al.* Effects of combined treatment of electrolysed water and chitosan on the quality attributes and myofibril degradation in farmed obscure puffer fish (*Takifugu obscurus*) during refrigerated storage [J]. *Food Chem*, 2011, 129(4): 1660-1666.
- [5] HERNÁNDEZ MD, LÓPEZ MB, ÁLVAREZ A, *et al.* Sensory, physical, chemical and microbiological changes in aquacultured meagre (*Argyrosomus regius*) filets during ice storage [J]. *Food Chem*, 2009, 114(1): 237-245.
- [6] PALEOLOGOS EK, SAVVAIDIS IN, KONTOMINAS MG. Biogenic amines formation and its relation to microbiological and sensory attributes in ice-stored whole, gutted and filleted Mediterranean Sea bass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. *Food Microbiol*, 2004, 21(5): 549-557.
- [7] LABUZA TP. Enthalpy-entropy compensation in food reactions [J]. *Food Technol*, 1980, 34(2): 67-77.
- [8] 范云龙, 周善尧, 李维刚, 等. 初均速法测定药剂贮存稳定性的误差估算[J]. *中国医药工业杂志*, 1997, 28(3): 141-143.
FAN YL, ZHOU SY, LI WG, *et al.* Estimated error of determination of storage stability of drug using initial uniform rate method [J]. *Chin J Pharm*, 1997, 28(3): 141-143.
- [9] 徐志州, 张桂芳. Q₁₀法预测卡莫氟片热稳定性[J]. *中国药师*, 2000, 3(6): 342-343.
XU ZZ, ZHANG GF. Thermal stability prediction of kamoflurane tablets with Q₁₀ method [J]. *Chin Pharm*, 2000, 3(6): 342-343.
- [10] 周兆清, 曹蕊, 王楠, 等. 感官评价在化妆品中的应用[J]. *日用化学品科学*, 2015, 38(10): 10-13.
ZHOU ZQ, CAO R, WANG N, *et al.* Application of sensory evaluation in cosmetics [J]. *China Surfactant Deterg Cosm*, 2015, 38(10): 10-13.
- [11] 丛琳, 邓慧, 邓燕柠, 等. 感官评价及其在化妆品上的应用[J]. *广东化工*, 2015, 42(13): 161-162.
CONG L, DENG H, DENG YN, *et al.* Sensory evaluation and its application in cosmetics [J]. *Guangdong Chem Ind*, 2015, 42(13): 161-162.
- [12] 殷园园, 吴梦洁, 林文强. 化妆品感官分析评价小组的测试实践[J]. *北京日化*, 2016, (1): 18-24.
YIN YY, WU MJ, LIN WQ. The testing practice of cosmetics sensory analysis and evaluation group [J]. *Beijing Daily Chem*, 2016, (1): 18-24.
- [13] 马萍, 林文强, 霍刚. 感官评估在遮瑕产品市场研究中的应用[J]. *日用化学品科学*, 2015, 38(8): 13-16.
MA P, LIN WQ, HUO G. Preparation of antibacterial cotton fabric and representation of antibacterial activity [J]. *China Surfactant Deterg Cosm*, 2015, 38(8): 13-16.
- [14] 职蕾蕾, 於勤, 鲁楠. 消费者对保湿乳感官评价的性别差异[J]. *日用化学品科学*, 2015, 38(1): 34-37.
ZHI LL, YU Q, LU N. Gender differences in the consumers' sensory evaluation of moisturizing lotions [J]. *China Surfactant Deterg Cosm*, 2015, 38(1): 34-37.
- [15] ANSORENA MR, GONI MG, AGUERO MV, *et al.* Application of the general stability index method to assess the quality of butter lettuce during postharvest storage using a multi-quality indices analysis [J]. *J Food Eng*, 2009, 92(3): 317-323.
- [16] ANSORENA MR, AGUERO MV, GONI MG, *et al.* Assessment of lettuce quality during storage at low relative humidity using global stability index methodology [J]. *Ciência Tecnol Alime*, 2012, 32(2): 366-373.
- [17] 高丽伟, 张良伟, 黄丹枫, 等. 不同栽培方式对鸡毛菜贮藏保鲜品质的

- 影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2013, (6): 1757-1763.
- GAO LW, ZHANG LW, HUANG DF, *et al.* The influence on preservation quality in fresh storage of pakchoi by different cultivation methods [J]. *J Food Saf Qual*, 2013, (6): 1757-1763.
- [18] 李强, 顾海宁, 杜依登, 等. 综合稳定性指数法在菠菜贮存期预测中的应用[J]. 食品工业科技, 2013, 34(16): 330-333.
- LI Q, GU HN, DU YD, *et al.* Application of the general stability index method to predict shelf life of spinach [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2013, 34(16): 330-333.
- [19] 潘梦垚, 卢立新, 唐亚丽, 等. 基于 Global Stability Index (GSI)理论的水煮笋软罐头货架期预测[J]. 食品工业科技, 2013, 34(17): 86-90.
- PAN MY, LU LX, TANG YL, *et al.* Shelf life prediction for boiled bamboo shoots in flexible retort pouches based on Global Stability Index (GSI) theory [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2013, 34(17): 86-90.
- [20] ACHOUR M. A new method to assess the quality degradation of food products during storage [J]. *J Food Eng*, 2006, 75(4): 560-564.
- [21] 薛伟锋, 刘玥婷, 刘东言. 基于全面稳定性指数理论的乳粉保质期预测模型的建立[J]. 乳业科学与技术, 2021, 44(1): 33-38.
- XUE WF, LIU YT, LIU DY. Application of the global stability index method to shelf life modelling of milk powder [J]. *J Dairy Sci Technol*, 2021, 44(1): 33-38.
- [22] HONG H, LUO Y, ZHU S, *et al.* Application of the general stability index method to predict quality deterioration in bighead carp (*Aristichthys nobilis*) heads during storage at different temperatures [J]. *J Food Eng*, 2012, 113(4): 554-558.
- [23] BAO Y, LUO Y, ZHANG Y, *et al.* Application of the global stability index method to predict the quality deterioration of blunt-snout bream (*Megalobrama amblycephala*) during chilled storage [J]. *Food Sci Biotechnol*, 2013, 22(5): 1-5.
- [24] YAO L, LUO Y, SUN Y, *et al.* Establishment of kinetic models based on electrical conductivity and freshness indicators for the forecasting of crucian carp (*Carassius carassius*) freshness [J]. *J Food Eng*, 2011, 107(2): 147-151.
- [25] 薛伟锋, 侯辰侠, 陈溪, 等. 基于全面稳定性指数理论的庄河大骨鸡保质期预测[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(2): 381-386.
- XUE WF, HOU CX, CHEN X, *et al.* Shelf life prediction for Zhuanghe Dagu chicken based on global stability index theory [J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 11(2): 381-386.
- [26] 薛伟锋, 沈葆真, 田卓, 等. Global Stability Index 方法在大骨鸡保质期预测中的应用[J]. 中国食物与营养, 2021, 27(4): 26-30.
- XUE WF, SHEN BZ, TIAN Z, *et al.* Application of global stability index method in shelf life prediction for Zhuanghe dagu chicken [J]. *Food Nutr China*, 2021, 27(4): 26-30.
- [27] OJAGH SM, REZAEI M, RAZAVI SH, *et al.* Effect of chitosan coatings enriched with cinnamon oil on the quality of refrigerated rainbow trout [J]. *Food Chem*, 2010, 120(1): 193-198.
- [28] STOKNES I, RUSTAD T. Proteolytic activity in muscle from atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. *J Food Sci*, 1995, 60(4): 711-714.
- [29] YOKOYAMA Y, SAKAGUCHI M, KAWAI F, *et al.* Changes in concentration of ATP-related compounds in various tissues of oyster during ice storage [J]. *Bull Jap Soc Sci Fish*, 1992, 58(11): 2125-2136.
- [30] 杨文鸽, 李太武, 徐大伦, 等. 外塘雌雄甲鱼肌肉营养成分的分析与评价[J]. 水利渔业, 2004, 24(1): 15-18.
- YANG WG, LI TW, XU DL, *et al.* Analysis and evaluation of muscle nutrition components of male and female turtle in outer pond [J]. *Water Fish*, 2004, 24(1): 15-18.
- [31] 戚晓玉, 李燕, 周培根. 日本沼虾冰藏期间 ATP 降解产物变化及鲜度评价[J]. 水产学报, 2001, 25(5): 482-484.
- QI XY, LI Y, ZHOU PG. Changes in content of ATP related compounds in the muscle of *Macrobrachium nipponense* during ice storage and evaluation of the freshness [J]. *J Fish China*, 2001, 25(5): 482-484.
- [32] ANDO M, NAKAMURA H, HARADA R, *et al.* Effect of super chilling storage on maintenance of freshness of kuruma prawn [J]. *Food Sci Technol Res*, 2004, 10: 25-31.
- [33] ABU BF, SALLEH AB, RAZAK CNA, *et al.* Biochemical changes of fresh and preserved freshwater prawns (*Macrobrachium rosenbergii*) during storage [J]. *Int Food Res J*, 2008, 15(2): 181-191.
- [34] 曹荣, 刘琪, 殷邦忠. 对虾冷藏过程中感官品质与鲜度指标变化研究[J]. 湖南农业科学, 2010, (21): 90-94.
- CAO R, LIU Q, YIN BZ. Changes in organoleptic quality and freshness index of prawns during cold storage [J]. *Hunan Agric Sci*, 2010, (21): 90-94.
- [35] KAYMAK-ERTEKIN F, GEDIK A. Kinetic modelling of quality deterioration in onions during drying and storage [J]. *J Food Eng*, 2005, 68(4): 443-453.
- [36] 李学鹏. 中国对虾冷藏过程中品质评价及新鲜度指示蛋白研究[D]. 浙江: 浙江工商大学, 2011.
- LI XP. Studies on quality assessment and protein indicators of freshness in Chinese shrimp (*Fenneropenaeus chinensis*) during refrigerated storage [D]. Zhejiang: Zhejiang Gongshang University, 2011.
- [37] SHAMSHAD SI, KHER UN, RIAZ M, *et al.* Shelf life of shrimp (*Penaeus merguensis*) stored at different temperatures [J]. *J Food Sci*, 1990, 55(5): 1201-1205.
- [38] 杨文鸽, 薛长湖, 徐大伦, 等. 大黄鱼冰藏期间 ATP 关联物含量变化及其鲜度评价[J]. 农业工程学报, 2007, 23(6): 217-222.
- YANG WG, XUE CH, XU DL, *et al.* Changes of ATP-related compounds contents and freshness evaluation of *Pseudosciaena crocea* meat during iced storage [J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2007, 23(6): 217-222.

(责任编辑: 于梦娇 韩晓红)

作者简介

薛伟锋, 博士, 主要研究方向为食品保质期预测模型。

E-mail: xwf526@163.com