

基于 Global Stability Index(GSI)理论的水煮笋软罐头货架期预测

潘梦焱¹, 卢立新^{1,2,*}, 唐亚丽^{1,2}, 王 军^{1,2}

(1.江南大学, 江苏无锡 214122;

2.中国包装总公司食品包装技术与安全重点实验室, 江苏无锡 214122)

摘 要:应用食品货架期预测新方法—Global Stability Index(GSI)进行水煮笋软罐头基于综合品质指标的保质期预测。基于恒温加速实验测定分析产品于23、33、43℃储藏温度下的品质变化规律,以色泽、可溶性蛋白质和维生素C作为水煮笋的关键质量指标,应用GSI理论描述产品基于多指标的综合劣变过程,获得不同温度下GSI值的变化趋势。结果表明,水煮笋软罐头GSI值的下降符合零级反应动力学。使用阿伦尼乌斯方程建立GSI货架期预测模型,并表征模型参数,计算出20℃下产品的保质期约为186d。经过理论预测与实验对比,得到的GSI值相对误差在22%以下,证明了该货架期预测方法的可靠性。

关键词:水煮笋,品质,温度,货架期预测,综合品质稳定性指数(GSI)

Shelf life prediction for boiled bamboo shoots in flexible retort pouches based on Global Stability Index(GSI) theory

PAN Meng-yao¹, LU Li-xin^{1,2,*}, TANG Ya-li^{1,2}, WANG Jun^{1,2}

(1.Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2.Key Laboratory of Food Packaging Techniques and Safety of China National Packaging Corporation, Wuxi 214122, China)

Abstract: A new shelf life predicting method for food—Global Stability Index(GSI) was applied to the shelf life prediction for the bamboo shoots packaged in flexible retort pouches based on the global multi-quality indexes. Quality degradation trend of the products was monitored via accelerating testing with constant temperature at 23, 33 and 43°C. The color, soluble protein and vitamin C were regarded as the critical quality indexes of boiled bamboo shoots. The quality degradation process based on total indexes of products was described by the GSI theory. And the GSI values changing trend under different temperature was obtained. It was found that the GSI values changed in line with zero-order reaction kinetics. The GSI shelf life prediction model was established by Arrhenius equation and the corresponding factors in the model were defined. The products shelf life at 20°C was calculated, which was around 186d. At last, the prediction model was validated. All of the relative errors between the predicted and tested GSI values were below 22%, which confirmed that the prediction model was valid.

Key words: boiled bamboo shoots; quality; temperature; shelf life prediction; Global Stability Index(GSI)

中图分类号: TS295^{+.7}

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2013)17-0086-05

作为我国重点农业加工食品,软罐头包装水煮笋因其鲜美的风味、丰富的营养、理想的保质期而受

到世界各地越来越多的消费者青睐。水煮笋色泽鲜亮,富含蛋白质和维生素C^[1],其感官和生化特性综合决定了产品的质量品质。所以,准确预测该产品的货架期需要综合考虑食品本身的多个品质指标。传统的基于阿伦尼乌斯理论的食品货架期预测模型通常只涉及产品单个独立的关键质量指标^[2],仅仅基于某一指标评估产品的品质变化,孤立地看待复杂

收稿日期:2013-01-28 *通讯联系人

作者简介:潘梦焱(1988-),女,硕士研究生,研究方向:食品包装技术与安全。

基金项目:江苏省高校科研成果产业化推进工程项目(JHB2012-25);江南大学创新团队项目(2009CXTD01)。

和色素对DPPH·的反应动力学特性及清除能力研究[J].植物资源与环境学报,2011,20(1):10-16.

[15]唐勇,赵靖,徐静,等.植物总抗氧化能力的微孔板定量测定评价[J].第三军医大学学报,2008,30(6):517-520.

[16] Concepcion S M, Jose A L, Fulgencio S C. A procedure to

measure the antiradical efficiency of polyphenols[J]. J Sci Food Agric, 1998, 76: 270-276.

[17] 吴文龙,王小敏,赵慧芳,等.黑莓品种Boysen果实发育与营养成分的变化规律[J].江苏农业学报,2011,27(1): 146-151.

食品体系中的每一指标,这种经典预测方法虽经过大量学者验证^[3],但存在一定的片面性,不能严格、全面地监控食品品质和货架寿命。为进行基于食品综合品质指标的保质期预测工作,Achour^[4]首次提出了 Global Stability Index(GSI)的理论,并结合阿伦尼乌斯理论将其应用于碳酸饮料的品质变化预测,该理论将表征食品微生物、物理化学和感官品质的各指标统一为一个整体指标,全面考察食品综合品质变化,排除了单指标货架期预测方程的片面性,为食品货架期预测方法的革新提供了可能。后来,Ansorena 等人^[5]对 GSI 方法进行了改进,建立了奶油生菜的货架期预测模型。最近,Hui Hong 等^[6]再一次验证了 GSI 方法的有效性,将该理论成功应用于花鲢鱼品质劣变的预测。目前关于水煮笋软罐头品质劣变规律及其货架期的研究报道甚少,因此,应用 GSI 理论进行该产品基于综合品质指标的保质期预测具有工程价值。本文将产品的色泽作为水煮笋的关键感官指标,将可溶性蛋白质和维生素 C 作为关键营养指标,采用阿伦尼乌斯模型建立基于综合品质稳定性指数 GSI 的货架期预测模型,为水煮笋软罐头货架期品质及寿命的监控提供科学方法。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

18L 罐装水煮毛竹笋 浙江省某企业的 18L 罐装水煮毛竹笋,于当天开罐取笋,用于水煮笋软罐头的制备;KPA/PE,氧气透过系数为 $0.67 \times 10^{-15} \text{ cm}^3 \cdot \text{cm} / \text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$,厚度为 $85 \mu\text{m}$;考马斯亮蓝 G-250(吸光度实验)、牛血清白蛋白(BR) 国药集团化学试剂有限公司;2,6-二氯酚钠(BR) 澳大利亚 Sigma-Aldrich 公司。

DZQ400-2D 单室真空包装机 三联包装(无锡)有限公司;DSX-280A 手提式压力蒸汽灭菌器 上海申安医疗器械厂;PRX-450C 智能人工气候箱 常州诺基仪器有限公司;WSC-S 测色色差计 上海精密科学仪器有限公司;UV-2802 紫外可见分光光度计 龙尼柯(上海)仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 试样制备 从铁罐中取出水煮笋若干支,在 60°C 左右的热水中浸泡 6min 后取出晾干,使用材料 KPA/PE 进行软罐头真空包装(每袋 70g),包装后进行高压蒸汽杀菌,杀菌温度为 115°C ,保压 15min,杀菌完毕后立即将样品用流动水冷却至 35°C 以下,擦干蒸煮袋表面水迹,即得试样成品。

1.2.2 恒温加速储藏实验 将制成的样品避光储藏于不同温度的人工气候箱中,环境条件分别设置为 23°C (75% RH)、 33°C (75% RH) 和 43°C (75% RH)。每隔 3~5d 随机取出不同温度下的三组样品进行相应指标的检测,加速实验周期共 44d。

1.3 指标测定

1.3.1 色差值 ΔE 的检测 首先使用 WSC-S 测色色差计检测水煮笋在 CIELAB 均匀色空间下的 L^* 值、 a^* 值和 b^* 值,每个样品检测 3 次,结果取平均值,再

进行色差 ΔE 的计算,计算公式^[7]如下:

$$\Delta E = \sqrt{(L_t^* - L_0^*)^2 + (a_t^* - a_0^*)^2 + (b_t^* - b_0^*)^2}$$

式中, L_t^* 、 a_t^* 、 b_t^* 分别为储藏第 t 天的亮度值、红度值和黄度值; L_0^* 、 a_0^* 、 b_0^* 分别为水煮笋亮度、红度和黄度的初始值。

1.3.2 可溶性蛋白质的检测 采用改良的考马斯亮蓝 G-250 染色法检测样品的可溶性蛋白质含量。首先,配制浓度为 $250 \mu\text{g}/\text{mL}$ 的牛血清白蛋白溶液,用于蛋白质标准曲线的绘制。依次在 6 支试管内加入 0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0mL 的蛋白质标准溶液,并使用去离子水定容至 1mL,再向每支试管加入 5mL 考马斯亮蓝 G-250 试剂,充分混合后静置 10min,采用 UV-2802 紫外可见分光光度计检测各试管溶液在 595nm 波长下的吸光值。以吸光值为纵坐标,以蛋白质含量(μg)为横坐标,绘制标准曲线。称取水煮笋笋肉 2g,放置于食品加工机中,混合 18mL 去离子水后捣成匀浆,并过滤,吸取 0.5mL 上清液加入试管中,再加入 0.5mL 蒸馏水和 5mL 考马斯亮蓝 G-250 试剂,摇匀后放置 10min,待溶液转变为亮蓝色后测定其在 595nm 波长下的吸光值。每个样品重复检测 3 次。然后根据标准曲线方程计算样品中蛋白质的含量,单位以 mg/g 表示。

1.3.3 维生素 C 的检测 采用 2,6-二氯酚钠滴定法检测水煮笋的维生素 C,具体操作方法参照国家标准 GB 6195-86^[8]。每个样品检测 3 次后取平均值,单位以 $\text{mg}/100\text{g}$ 表示。

1.3.4 感官可接受度检验 采用感官可接受度检验法^[9]确定产品色差 ΔE 的货架寿命终点临界值。结合我国农业标准^[10],由 8 位经培训的评价员对储藏于 33°C 高温下的软包装水煮笋进行感官鉴定,得到水煮笋感官品质不可接受时的各指标描述,见表 1。检测水煮笋感官品质劣变至表 1 所述程度时的色差值 ΔE ,以此检测值作为水煮笋变质终点时的临界值。

表 1 产品不可接受时水煮笋各感官指标描述

Table 1 Sensory index description of boiled bamboo shoots when the products can't be acceptable

感官指标	感官描述
色泽	失去原本的象牙黄,色泽灰暗、无光泽
滋味和气味	有酸腐刺激性气味,口味较差,带变质感
脆度	组织软烂,肉质无嚼劲

1.4 GSI 理论与动力学模型

1.4.1 GSI 指数的计算 Achour^[4]提出了 GSI 指数的计算方法,将食品多个指标转换为一个整体指标,如下式:

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

式中, j 为储藏时间/d; \sum 为 $i = 1 \sim n$ 的相应值的总和,其中 n 为关键质量指标个数; V_{ij} 为指标 i 于第 j 天的检测值变化率; α_i 为表征指标 i 重要程度的权重系数, $\sum \alpha_i = 1$ 。

上式中, V_{ij} 的计算如下:

$$V_{ij} = \frac{(C_{ij} - C_{i0})}{L_i - C_{i0}} \quad \text{式(2)}$$

式中, C_{ij} 为指标 i 于第 j 天的检测值; C_{i0} 为指标 i 第 0 天的初始值; L_i 为指标 i 的货架寿命终点临界值。

式(1)中的 GSI 值随储藏时间的延长而逐渐下降, GSI 接近 1 时, 表明产品品质稳定; 接近 0 时, 表明产品的品质劣变严重。

1.4.2 GSI 指数动力学模型 GSI 指数是基于多指标恒温加速实验检测得到的参数, 反映了温度对食品综合品质的影响, 因此仍符合食品热力学反应规律。式(3)和式(4)分别为表征 GSI 指数下降的零级和一级动力学模型^[11]。

$$\text{零级反应: } [GSI] = [GSI]_0 - k_0 t \quad \text{式(3)}$$

$$\text{一级反应: } [GSI] = [GSI]_0 \exp(-k_0 t) \quad \text{式(4)}$$

式中, $[GSI]$ 为 t 时刻综合品质指数计算值; $[GSI]_0$ 为综合品质指数初始值; k_0 为速率常数; t 为储藏时间。

1.5 模型验证

比较 23、33 和 43℃ 下实际检测的 GSI 值与模型预测值, 以验证 GSI 货架期预测模型的可靠性。按照式(5)计算相对误差 $P(\%)$ ^[12]。

$$P(\%) = \frac{|C_{ei} - C_{ci}|}{C_{ci}} \times 100 \quad \text{式(5)}$$

式中, C_{ei} 为指标 i 的实验检测值; C_{ci} 为指标 i 的模型计算值。

2 结果与讨论

2.1 不同温度下水煮笋各指标的变化

表 2~表 4 分别显示了储藏于三种温度下的软包装水煮笋色差 ΔE 、可溶性蛋白质含量和维生素 C 含量的变化。可以看出, 水煮笋的 ΔE 值在储藏期间逐渐增长, 且温度越高, 增长速率越快。这是由于笋中的色素因氧化作用而损失^[13], 导致逐渐褪色, 同时, 各营养成分的化学反应也会造成笋色泽的劣变^[14]。总体上, 水煮笋蛋白质和维生素 C 含量变化均呈现初期速率大而后期趋于平缓的趋势, 温度每升高

表 2 水煮笋色差 ΔE 、蛋白质含量和维生素 C 含量的检测值(23℃)

Table 2 The determination values of ΔE , protein content and V_c content of boiled bamboo shoots stored at(23℃)

时间(d)	ΔE	蛋白质含量(mg/g)	V_c 含量(mg/100g)
0	0	14.435 ± 0.121	12.917 ± 0.361
5	0.325 ± 0.007 ^a	14.267 ± 0.137	12.708 ± 0.361
10	0.595 ± 0.002	14.005 ± 0.011	12.500 ± 0.000
15	1.341 ± 0.038	13.802 ± 0.013	12.292 ± 0.361
20	2.115 ± 0.017	13.649 ± 0.029	12.083 ± 0.361
25	2.630 ± 0.009	13.349 ± 0.046	11.875 ± 0.000
29	3.079 ± 0.021	13.223 ± 0.011	11.667 ± 0.722
33	3.726 ± 0.012	12.987 ± 0.052	11.667 ± 0.722
37	4.217 ± 0.016	12.572 ± 0.046	11.250 ± 0.000
41	4.630 ± 0.030	12.296 ± 0.063	11.042 ± 0.361
44	4.977 ± 0.023	12.194 ± 0.067	10.833 ± 0.361

注: *检测值的平均值 ± 标准差($n=3$), 表 3、表 4 同。

10℃, 营养成分的损失速率明显提高。常温下(23℃)储藏的软包装水煮笋, 其蛋白质含量在 44d 内一直维持在 12mg/g 以上, 维生素 C 仅损失了 16%; 33℃ 高温下, 样品的蛋白质在第 20d 时便降至 11.815mg/g, 维生素 C 到第 24d 时已经损失了 19%; 而 43℃ 下储藏的样品, 其蛋白质含量在 35d 内衰减了 50%, 维生素 C 极为不稳定, 共损失了 45%。因此, 色泽、蛋白质和维生素 C 均能够反映产品品质的劣变。

表 3 水煮笋色差 ΔE 、蛋白质含量和维生素 C 含量的检测值(33℃)

Table 3 The determination values of ΔE , protein content and V_c content of boiled bamboo shoots stored at(33℃)

时间(d)	ΔE	蛋白质含量(mg/g)	V_c 含量(mg/100g)
0	0	14.435 ± 0.121	12.917 ± 0.361
5	1.588 ± 0.010	13.662 ± 0.717	12.292 ± 0.361
10	3.101 ± 0.028	13.285 ± 1.293	12.083 ± 0.361
15	4.425 ± 0.009	12.472 ± 0.671	11.458 ± 0.361
20	5.543 ± 0.017	11.815 ± 0.017	11.042 ± 0.361
24	7.055 ± 0.008	11.125 ± 0.030	10.417 ± 0.361
28	7.366 ± 0.008	10.862 ± 0.079	10.208 ± 0.361
32	8.084 ± 0.016	10.442 ± 0.648	9.792 ± 0.955
35	8.820 ± 0.025	10.069 ± 0.398	9.375 ± 0.000
38	9.724 ± 0.019	9.573 ± 0.063	9.167 ± 0.361
41	10.209 ± 0.011	9.395 ± 0.017	8.750 ± 0.000

表 4 水煮笋色差 ΔE 、蛋白质含量和维生素 C 含量的检测值(43℃)

Table 4 The determination values of ΔE , protein content and V_c content of boiled bamboo shoots stored at(43℃)

时间(d)	ΔE	蛋白质含量(mg/g)	V_c 含量(mg/100g)
0	0	14.435 ± 0.121	12.917 ± 0.361
3	2.572 ± 0.016	13.197 ± 0.040	12.292 ± 0.361
7	4.868 ± 0.019	12.326 ± 0.560	11.667 ± 0.361
11	7.589 ± 0.013	11.482 ± 0.047	11.042 ± 0.361
14	8.513 ± 0.006	10.922 ± 0.050	10.000 ± 0.000
18	10.384 ± 0.010	9.704 ± 0.051	9.583 ± 0.361
21	11.385 ± 0.006	9.142 ± 0.074	8.958 ± 0.361
25	11.972 ± 0.013	8.524 ± 0.051	8.542 ± 0.361
29	13.272 ± 0.007	7.809 ± 0.007	7.917 ± 0.361
32	14.507 ± 0.016	7.425 ± 0.076	7.292 ± 0.361
35	15.735 ± 0.298	7.129 ± 0.040	7.083 ± 0.361

2.2 水煮笋各指标临界值 L_i 和权重系数 α 的确定

GSI 公式中的指标临界值 L_i 通常由相关标准、法规、企业经验或消费者的评价来确定, 至今, 还未见针对水煮笋软罐头各指标临界阈值的规定, 所以本文对产品进行了可接受度检验, 以求获得产品色泽的寿命终点值。在水煮笋的感官可接受度检验过程中, 当评价小组所有成员确定水煮笋的感官特性劣变至表 1 所述程度时, 即认为产品已达到了自身的失效点^[15], “不可被接受”, 依此得到色差 ΔE 的货架寿命终点临界值为 22 ($L^* \approx 48, a^* \approx 8, b^* \approx 18$)。

至于产品营养成分的临界值,现有的研究通常认为食品某种成分的含量衰减至原来的 50% 时为不可接受^[16], 依此计算得到水煮笋蛋白质含量和维生素 C 含量的货架寿命终点临界值分别为 7.218、6.459mg/100g。

感官指标是评价产品综合质量品质和可接受性的关键因素^[17], 与消费者的喜好程度直接相关^[18], 而各营养成分通常具有同等的重要性, 因此, 本文令色泽对产品品质的影响权重系数为 0.4, 两个营养指标的权重系数均为 0.3, 即 $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 0.4 + 0.3 + 0.3 = 1$ 。

2.3 水煮笋软罐头综合品质稳定性指数 GSI 的变化

将产品三个指标色差、蛋白质和维生素 C 的实验检测值 (C_{1j}, C_{2j}, C_{3j}) 及其临界阈值 ($L_1 = 22; L_2 = 7.218; L_3 = 6.459$) 代入式 (2), 计算出每个指标对应的变化率 V_{ij} , 再将 V_{ij} 和各自的权重系数 ($\alpha_1 = 0.4; \alpha_2 = 0.3; \alpha_3 = 0.3$) 代入式 (1), 即可得到不同温度下水煮笋 GSI 值随时间的变化, 如图 1 所示。水煮笋软罐头的综合品质稳定性指数 GSI 值在储藏期间由初始值 1.0 逐渐降低, 温度越高, 下降速率越快。可见, 降低储藏环境温度有利于产品品质的维持。

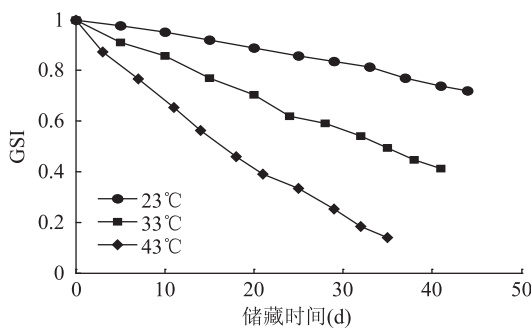


图 1 不同温度下水煮笋 GSI 的变化

Fig.1 Changes in GSI of boiled bamboo shoots during different temperatures storage

2.4 GSI 货架期预测模型的建立

分别使用零级 (式 (3)) 和一级 (式 (4)) 动力学模型对各温度下水煮笋 GSI 值的下降进行拟合, 拟合结果见表 5。比较两种模型拟合的相关系数 R^2 , 发现零级动力学模型能够更加精确地模拟水煮笋 GSI 值的变化过程 ($R^2 > 0.98$)。

表 5 水煮笋 GSI 变化的动力学模型拟合相关系数和速率常数的比较

Table 5 Estimation of the order of GSI changes for boiled bamboo shoots by examining the R^2 and k_θ from plots of zero and first reactions

储藏温度 (°C)	0 级模型拟合			1 级模型拟合		
	R^2	ΣR^2	速率常数 k_θ	R^2	ΣR^2	速率常数 k_θ
23	0.9915		0.00644	0.9822		0.00734
33	0.9966	2.9735	0.01425	0.9895	2.9587	0.02051
43	0.9854		0.02404	0.9870		0.04686

因此, 使用 GSI 的零级反应速率常数进行保质期预测模型的建立。阿伦尼乌斯理论是描述温度对

食品品质变化影响的经典理论, 模型如下式:

$$k = k_0 e^{-E_a/RT} \quad \text{式(6)}$$

式中, k 为反应速率常数; k_0 为指前因子; E_a 为活化能/(kJ/mol); R 为摩尔气体常数, 8.3144J/(mol · K); T 为热力学温度/K。

将 GSI 的零级动力学方程代入上式, 即可推导出基于 GSI 值的产品货架期预测模型, 如下:

$$SL = \frac{[GSI]_0 - [GSI]}{k_0 \exp(-E_a/RT)} \quad \text{式(7)}$$

绘制 GSI 下降速率常数 k_θ 与储藏环境温度 T 的关系图 2 ($R^2 = 0.9906$), 得到 GSI 的活化能 E_a 为 51.300kJ/mol, 指前因子 k_0 为 7.497×10^6 , 代入式 (7) 即可得到水煮笋软罐头基于综合品质指标的货架期预测方程为:

$$SL = \frac{[GSI]_0 - [GSI]}{7.4969 \exp(-6170/T)} \times 10^{-6} \quad \text{式(8)}$$

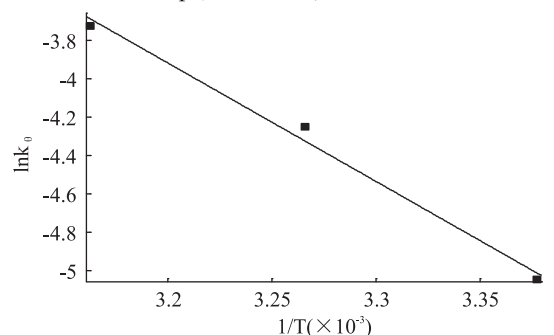


图 2 1/T 与水煮笋 GSI 衰减速率常数的关系

Fig.2 Relationship between 1/T and GSI decreasing rate constant of boiled bamboo shoots

式 (8) 中, $[GSI]_0 = 1$, 当水煮笋品质达到货架寿命终点时, $[GSI] = 0$, 因此计算得到 20°C 下水煮笋软罐头的保质期约为 186d。

2.5 GSI 货架期预测模型的验证

计算 23、33、43°C 下的 GSI 实验实际检测值与模型预测值的相对误差, 见表 6~表 8。可见, 实验周期内, GSI 检测值与预测值的相对误差 P 均在 22% 以下, 说明本文建立的水煮笋 GSI 变化动力学模型及货架期预测模型是可靠、有效的^[12]。

表 6 23°C 下水煮笋软罐头 GSI 实验值与预测值的相对误差
Table 6 Experimental and calculated values of GSI for boiled bamboo shoots in flexible retort pouches at 23°C

储藏时间 (d)	GSI 实验值	GSI 预测值	相对误差 P (%)
5	0.9774	0.9664	1.13
10	0.9519	0.9329	1.20
15	0.9203	0.8993	2.28
20	0.8901	0.8658	2.73
25	0.8586	0.8322	3.07
29	0.8356	0.8054	3.61
33	0.8140	0.7785	4.36
37	0.7684	0.7517	2.17
41	0.7398	0.7249	2.01
44	0.7195	0.7047	2.06

3 结论

本文将 GSI 理论成功应用于水煮笋软罐头感官与营养品质的监测,并建立了基于产品综合品质指标的货架期预测模型。23、33、43℃ 三种温度下,水煮笋 GSI 值的下降均符合零级动力学规律,经模型验证,本文建立的 GSI 预测模型能够准确描述水煮笋在 23~43℃ 温度范围内的品质劣变过程,并能充分反映储藏环境温度对产品综合品质的影响,为该类产品的质量监控及其货架期的预测研究工作提供了崭新的理论依据。

表 7 33℃ 下水煮笋软罐头 GSI 实验值
与预测值的相对误差

Table 7 Experimental and calculated values of GSI for boiled bamboo shoots in flexible retort pouches at 33℃

储藏时间 (d)	GSI 实验值	GSI 预测值	相对误差 P (%)
5	0.9100	0.9337	2.60
10	0.8571	0.8675	1.21
15	0.7702	0.8012	4.02
20	0.7032	0.7349	4.51
24	0.6180	0.6819	10.34
28	0.5917	0.6289	6.29
32	0.5419	0.5759	6.27
35	0.4936	0.5361	8.61
38	0.4469	0.4964	11.08
41	0.4113	0.4566	11.01

表 8 43℃ 下水煮笋软罐头 GSI 实验值与预测值的相对误差

Table 8 Experimental and calculated values of GSI for boiled bamboo shoots in flexible retort pouches at 43℃

储藏时间 (d)	GSI 实验值	GSI 预测值	相对误差 P (%)
3	0.8727	0.9248	5.97
7	0.7658	0.8245	7.67
11	0.6522	0.7242	11.04
14	0.5637	0.6490	15.13
18	0.4597	0.5487	19.36
21	0.3891	0.4735	21.69
25	0.3334	0.3732	11.94
29	0.2510	0.2729	8.73
32	0.1836	0.1977	7.68
35	0.1392	0.1225	12.00

参考文献

[1] Nirmala Chongtham, Madho Singh Bisht, Sheena Haorongbam. Nutritional properties of bamboo shoots: potential and prospects for utilization as a health food [J]. Food Science and Food Safety, 2011, 10: 154-169.

[2] 邱春强, 张坤生, 任云霞, 等. 酱卤鸡肉货架期预测的研究 [J]. 食品工业科技, 2012, 33(22): 351-354.

[3] 史波林, 赵镭, 支瑞聪. 基于品质衰变理论的食品货架期

预测模型及其应用研究进展 [J]. 食品科学, 2012, 33(21): 345-350.

[4] Mohsen Achour. A new method to assess the quality degradation of food products during storage [J]. Journal of Food Engineering, 2006, 75: 560-564.

[5] María R Ansorena, María G Goñi, María V Aguëro, 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]. Journal of Food Engineering, 2009, 92: 317-323.

[6] Hui Hong, Yongkang Luo, Sichao Zhu, 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]. Journal of Food Engineering, 2012, 113: 554-558.

[7] Lalit M bal, Abhijit Kar, Santosh Satya, et al. Kinetics of colour change of bamboo shoot slices during microwave drying [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2011, 46: 827-833.

[8] 江苏省农科院综合实验室. GB6195-86 中华人民共和国国家标准 水果、蔬菜维生素 C 含量测定法(2,6-二氯酚靛滴定法) [S]. 北京: 中国标准出版社, 1986.

[9] 肖龙恩, 钱平, 董新娜, 等. 压缩饼干硬度临界值的确定以及加速实验条件下硬度的变化规律 [J]. 食品科技, 2012(5): 52-56.

[10] 农业部肉及肉制品质量监督检验测试中心. NY/T 1048-2006. 绿色食品笋及笋制品 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.

[11] Valdez-Fragoso Aurora, Mújica-Paz Hugo, Welti-Chanes Jorge, et al. Reaction kinetics at high pressure and temperature: Effects on milk flavor volatiles and on chemical compounds with nutritional and safety importance in several foods [J]. Food and Bioprocess Technology, 2011, 4(6): 986-995.

[12] Figen Kaymak - Ertekin, Atıl Gedik. Kinetic modelling of quality deterioration in onions during drying and storage [J]. Journal of Food Engineering, 2005, 68(4): 443-453.

[13] Balev Desislav, Vulkova Teodora, Dragoev Stefan, et al. A comparative study on the effect of some antioxidants on the lipid and pigment oxidation in dry-fermented sausages [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2005, 40(9): 977-984.

[14] 朱卫星, 王远亮, 李宗军. 蛋白质氧化机制及其评价技术研究进展 [J]. 食品工业科技, 2011(11): 483-486.

[15] Ana Giménez, Gastón Ares, Adriana Gámbaro. Survival analysis to estimate sensory shelf life using acceptability scores [J]. Journal of Sensory Studies, 2008, 23(5): 571-582.

[16] A C Polydera, N G Stoforos, P S Taoukis. Quality degradation kinetics of pasteurized and high pressure processed fresh Navel orange juice: Nutritional parameters and shelf life [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2005(6): 1-9.

[17] 史波林, 赵镭, 支瑞聪. 食品感官货架期确定的一般原则与方法 [J]. 食品科技, 2012, 37(10): 296-301.

[18] 袁亚宏, 王周利, 李彩霞, 等. 鲜榨苹果汁的理化特性和感官品质相关性 [J]. 食品科学, 2012, 33(19): 1-5.