

不同贮藏温度对自热食品货架期的影响

樊沁昕^{1,2}, 谢忆雯², 高振洪², 高睿², 丁甜², 姜竹茂¹

(1. 烟台大学 生命科学学院, 山东 烟台 264005;

2. 浙江大学 生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310058)

摘要: 目的 研究不同贮藏温度对自热食品(咖喱鸡块菜肴包)感官品质、pH值、 L^* (亮度)、 a^* (红绿色值)、 b^* (黄蓝色值)、挥发性盐基氮(Total Volatile Basic Nitrogen, TVB-N)值、硫代巴比妥酸反应物(Thiobarbituric Acid-reactive Substance, TBARS)值的影响。方法 分别在温度为40, 50, 60℃下贮藏样品, 然后测量其各项理化指标。结果 贮藏温度对于咖喱鸡块的多项指标存在显著影响。在同一天测定时, 温度越高, 咖喱鸡块的感官评分、 L^* 越低, 而TBARS值、TVB-N含量越高; 3个温度下样品pH值都呈现出较为激烈的波动态势, 但贮藏温度为40℃时, 变动程度相对较缓; a^* 在贮藏温度为50℃时有更为剧烈的变化趋势, 其次是60和40℃; 温度对样品 b^* 的变化并未起到较大的作用。通过一级动力学方程和阿伦尼乌斯方程构建了咖喱鸡块菜肴包的货架期预测模型。结论 通过皮尔逊相关性分析选取TVB-N作为判断因子, 利用此模型得到的咖喱鸡块菜肴包货架寿命预测值与实际值相对误差低于10%, 说明模型准确率较高。

关键词: 自热食品; 咖喱鸡块; 货架期; 加速试验; 货架期预测模型; 阿伦尼乌斯方程

中图分类号: TS251.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2020)15-0163-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.15.024

Effect of Different Storage Temperature on Shelf Life of Self-heating Food

FAN Qin-xin^{1,2}, XIE Yi-wen², GAO Zhen-hong², GAO Rui², DING Tian², JIANG Zhu-mao¹

(1. School of Life Sciences, Yantai University, Yantai 264005, China;

2. School of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

ABSTRACT: The work aims to study the effect of different storage temperature on sensory quality, pH value, L^* (brightness), a^* (red-green value), b^* (yellow-blue value), total volatile basic nitrogen (TVB-N) and thiobarbituric acid-reactive substance (TBARS) of self-heating food (curry chicken dishes). The samples were stored at 40 °C, 50 °C and 60 °C, respectively and then the physical and chemical indexes were measured. On this basis, storage temperature had a significant influence on various indexes of curry chicken. On the same day, as the temperature increased, the sensory score and L^* decreased, but the TBARS and TVB-N increased. The pH of samples fluctuated sharply at all three temperature, but changed slowly at 40 °C. a^* had a more drastic change trend at 50 °C followed by 60 °C and 40 °C. Temperature had no significant effect on the change of b^* of samples. The shelf-life prediction model of curry chicken was constructed through the first-order kinetics equation and Arrhenius equation. TVB-N is selected as the judgment factor by Pearson correlation analysis. The relative error between the predicted shelf life and the actual shelf life of curry chicken is less

收稿日期: 2019-11-19

基金项目: 国家重点研发计划子课题(2018YFD0400504)

作者简介: 樊沁昕(1997—), 女, 烟台大学硕士生, 主攻食品加工与安全。

通信作者: 姜竹茂(1961—), 男, 烟台大学副教授, 主要研究方向食品科学技术。

than 10%, which proves the accuracy of the model.

KEY WORDS: self-heating food; curry chicken; shelf life; acceleration test; shelf life prediction model; Arrhenius equation

自热食品是指能够通过内含的热源成分自行加热的便捷产品,期间无明火烟的产生,主要包括被加热食物、热源、激活剂等部分^[1],具有方便快捷、种类多、安全可靠、卫生环保等特点^[2]。目前,城市化社会越来越表现出“现金充裕,时间不足”的特点。不管是工作忙碌、社会生活忙碌的单身人士,还是需要不同时间点进食的家庭成员,似乎都不太愿意花较多时间在做饭等家务上,而更愿意做出更方便的选择。根据 Institute of Grocery Distribution (IGD) 的最新研究,55%的人选择花费 30 min 或更少的时间准备和烹饪主餐,11%的人花费不到 10 min^[3]。自热食品的消费性质明显,像军用、旅游、交通运输等特殊场合的需求都可以得到满足,人们不方便自行进行餐食的制作时,自热食品也很好地体现了它便捷安全的优势。可以看到,便捷性的饮食方式越来越被社会所需要,自热食品的重要性日益体现^[4]。目前,国外有关于即食食品包装的研究^[5],以及对即食黑蛤等自热类食品货架期的预测^[6-9],国内也有针对盐水鹅、即食风味米饭等自热类食品的相关研究^[10-18]。从总体来看,国内外对自热食品及其货架期相关的研究报道还很少,这与此行业极大的市场潜力存在严重的不平衡性。与此同时,大众越来越关注食品安全,人们希望不仅能够买到符合标准的产品,并且食品可以在较长时间保持较高的质量,因此,自热食品行业大规模的发展必须要有可靠的质量保障作为基础^[19],应该加大对这一领域的重视程度。

鉴于此,文中实验通过加速货架期实验探索咖喱鸡块的货架期预测模型,测定成品的相关指标,进行简单的检验,以达到预测咖喱鸡块剩余货架期的目的,为自热食品领域的研究提供参考和经验,一定程度上为企业销售提供建议,避免损失。

1 实验

1.1 材料与试剂

主要材料:高温蒸煮铝箔袋(PET/Al/PA/PP)包装的咖喱鸡块菜肴包,购于黄山美行美科技食品股份有限公司。

主要试剂:氯化钾、硼酸、乙醇、盐酸、无水碳酸钠、乙二胺四乙酸二钠、硫代巴比妥酸,国家集团化学试剂有限公司;溴甲酚绿指示剂、甲基红指示剂、氧化镁、三氯乙酸,阿拉丁控股集团有限公司。

1.2 仪器与设备

主要仪器与设备:电热恒温培养箱,上海-恒科

学仪器有限公司;搅拌机,九阳股份有限公司;色差仪,美国亨特立有限公司;电子天平,上海光正医疗有限公司;均质机,常州金坛良友仪器有限公司;pH计,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;自动型凯氏定氮仪,浙江托普仪器有限公司;电热恒温振荡水槽,上海-恒科技有限公司;离心机,曦玛离心机(扬州)有限公司;磁力搅拌水浴锅,常州金坛良友仪器有限公司;分光光度计,日本 Shimadzu 公司。

1.3 方法

1.3.1 测定时间间隔的确定

实验主要参考 Q_{10} 值测定的方法,样品贮藏温度分别为 40, 50, 60 °C, 取样时间间隔拟定:在 60 °C 贮藏条件下为 5 d, Q_{10} 值假定为 2, 则 40 和 50 °C 的取样时间间隔按照式(1)计算,可知分别为 20 d 和 10 d。为了得到更加精确的货架期时间,将 40 °C 和 50 °C 的取样时间间隔都定为 10 d。

$$f_2 = f_1 \cdot Q_{10}^{\Delta T/10} \quad (1)$$

式中: f_1 为较高温度 T_1 下的测试时间(d); f_2 为较低温度 T_2 下测试时间(d); Q_{10} 为温度 T 时的贮藏期/温度为 $(T+10)$ 时的贮藏期; ΔT 为 T_1 与 T_2 的温度差。

1.3.2 感官评定

感官评定标准见表 1。

1.3.3 L^* , a^* , b^*

L^* , a^* , b^* 参考 Stinco C M 等^[20]的方法采用色差仪测量。

1.3.4 pH 值

参考 GB 5009.237—2016 的方法测量 pH 值。

1.3.5 蛋白质水解(挥发性盐基氮值)

参考 GB 5009.228—2016 方法中的第二法——自动凯氏定氮仪法测定挥发性盐基氮(TVB-N)值。

1.3.6 脂肪氧化(丙二醛含量)

参考 GB 5009.181—2016 中第二法——分光光度法测量丙二醛含量(TBA 值)。

1.3.7 咖喱鸡块品质动力学模型的构建

1.3.7.1 动力学方程

Labuza^[21]认为,食品在加工贮藏过程中,大部分品质变化都符合零级或一级反应动力学规律。在鸡肉的品质变化中,一级反应动力学模型被广泛用于预测货架期^[22]。动力学方程可以体现贮藏品质指标变化与时间 t 之间的关系,也可对产品的货架期进行预测。

表 1 咖喱鸡块感官评定标准
Tab.1 Standard for sensory evaluation of curry chicken

指标 (权重)	内容	评分				
		9~10 (很好)	7~8 (较好)	5~6 (一般)	3~4 (较差)	1~2 (很差)
色泽 (10%)	样品颜色和 光泽	颜色鲜明, 富有光泽	颜色较鲜明, 光泽稍暗淡	颜色略鲜明, 光泽较暗淡	颜色不鲜明, 光泽差	颜色很差, 基本无光泽
形状 (10%)	样品的外表形态和 内在结构	形态完整美观	形态较美观	形态较差	形态很差	外观难看
口感 (25%)	样品咀嚼的感觉	软硬适中, 嫩滑 细腻, 口感好	质地一般, 口感较好	质地偏软, 口感稍差	质地较软烂, 口感较差	质地软烂, 口感很差
风味 (25%)	样品的挥发出的 自然香气	肉香浓郁	肉香稀淡	肉香较差, 带轻微异味	肉香很差, 异味较大	几乎无肉香, 异味大
滋味 (30%)	样品的味道	味道醇厚	醇厚感一般	味道较淡	味道清淡	味道很差

零级反应： $[A]=[A_0]+k_0\times t$ (2)
一级反应： $\ln[A]=k_1t+\ln[A_0]$ (3)
式中： A_0 和 A 分别为样品贮藏前和贮藏时间 t 时观测的指标值； k 为贮藏品质指标变化速率常数； t 为样品的贮藏时间（d）。

1.3.7.2 阿伦尼乌斯关系模型

阿伦尼乌斯方程表明了变化速率常数 k 与热力学温度 T 的关系。首先计算出不同温度下的 k 值，以 $\ln k$ 对 $1/T$ 作图可得到斜率为 $-E_a/R$ 、截距为 $\ln k_0$ 的线性方程，即可计算出反应活化能 E_a 和前因子 k_0 [23]。

阿伦尼乌斯方程： $k=k_0\exp(-E_a/RT)$ (4)

式（4）取对数后： $\ln k=\ln k_0-E_a/RT$ (5)

式中： k_0 为方程的前因子（频率因子）； E_a 为贮藏品质指标变化反应的活化能（kJ/mol）； T 为热力学温度（K）； R 为气体常数（8.3144 J/(mol·K)）。

通过感官评分终点对应的贮藏品质指标值及某一贮藏温度获得阿伦尼乌斯方程，并且带入动力学方程，就可以预测食品货架期。

1.4 数据处理

利用 Excel 进行数据处理和图表绘制，结果用平均值±标准差表示，并用 SPSS 25.0 进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 贮藏温度对咖喱鸡块感官品质的影响

在不同温度下咖喱鸡块的感官评定分数随时间变化的情况见图 1，可知均呈下降的趋势。贮藏初期 3 种贮藏温度的评分情况相差不大，但越到后期差距越来越大。说明随着贮藏时间的延长，温度对咖喱鸡块的外观和口感都存在显著的影响，温度越高，感官评分越低，在 60℃条件下咖喱鸡块在贮藏 80 d 时就达到感官评价终点，在 50℃条件下咖喱鸡块在贮藏

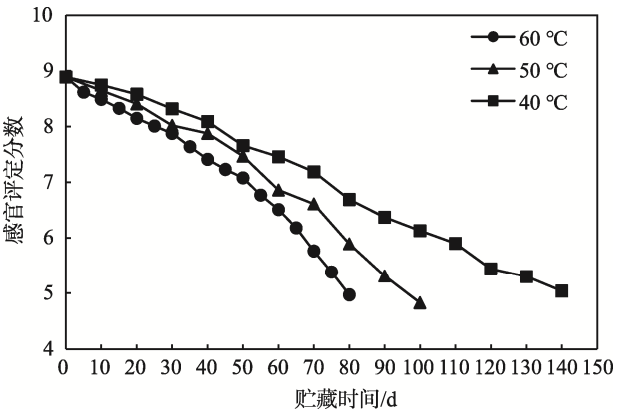


图 1 贮藏温度对咖喱鸡块感官品质的影响
Fig.1 Effect of storage temperature on sensory quality of curry chicken

100 d 时达到感官评价终点，而在 40℃条件下咖喱鸡块在贮藏 140 d 时才达到感官评价终点。

2.2 贮藏温度对咖喱鸡块 pH 值的影响

通过图 2 可以看出，3 种温度下咖喱鸡块的 pH 值都呈现出较为激烈的波动态势。具体来看，在 60℃和 50℃条件下咖喱鸡块 pH 值的波动幅度和频次较大，出现了下降—上升—下降—上升—下降的轨迹，但趋势并不是很一致；在 40℃条件下咖喱鸡块 pH 值的波动较为缓和，但后期下降趋势很明显，在 140 d 时达到了 6.26±0.00 的低点。pH 值的不同可能是由于糖类、脂肪氧化分解与蛋白质分解多种反应在不同温度下相互叠加抵消程度存在差异造成的。

2.3 贮藏温度对咖喱鸡块 L^* ， a^* ， b^* 的影响

通过图 3 可以看出，随着贮藏时间的延长，3 种贮藏温度下咖喱鸡块汤汁的亮度都在下降，且温度越高，则下降幅度越大。这与邱春强等 [11] 针对酱卤鸡肉货架期研究时的结论一致。在贮藏 80 d 时，60℃条件下亮度仅为 62.84±0.03，此时 50 和 40℃下对应的

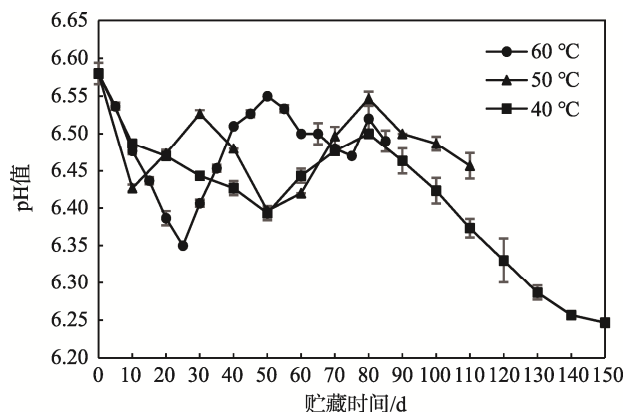


图2 贮藏温度对咖喱鸡块 pH 值的影响
Fig.2 Effect of storage temperature on pH value of curry chicken

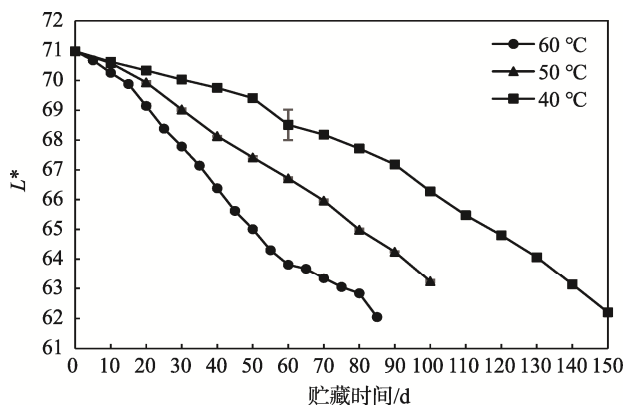


图3 贮藏温度对咖喱鸡块 L^* 的影响
Fig.3 Effect of storage temperature on L^* value of curry chicken

亮度为 64.99 ± 0.03 , 67.72 ± 0.04 , 且在 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下咖喱鸡块汤汁的亮度直到货架期终点 (140 d) 才变为与 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 货架期终点 (80 d) 差不多的水平。

通过图 4 可以看出, 3 种温度条件下样品汤汁的红色呈增加的态势, 贮藏初期 3 种温度的变化幅度相差不大, 后期差距逐步加大。在 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下 a^* 增加的速度最快, 在 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下位居第 2, 在 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下缓慢上升; 在 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下咖喱鸡块汤汁在货架期终点 (第 80 天) 时 a^* 为 9.88 ± 0.03 , 在 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下咖喱鸡块汤汁在货架期终点 (第 100 天) 为 16.32 ± 0.07 , 在 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下咖喱鸡块汤汁在货架期终点 (第 140 天) 为 12.96 ± 0.04 。

通过图 5 可以看出, 随着时间的延长, 咖喱鸡块汤汁中 b^* 呈直线上升趋势, 但温度在黄度的变化中并没有起到较大的作用, 3 者的变化曲线基本重合。在 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下样品到达货架期终点 (第 80 天) 时, 其 b^* 为 72.45 ± 0.02 , 同期在 50 和 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下 b^* 分别为 72.88 ± 0.01 , 72.62 ± 0.05 , 几乎处在同一水平。

2.4 贮藏温度对咖喱鸡块 TBARS 值的影响

由图 6 可知, 随着贮藏时间的增加, 3 种贮藏温

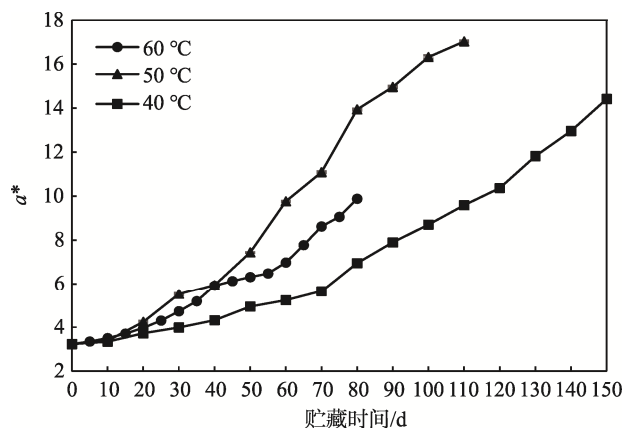


图4 贮藏温度对咖喱鸡块 a^* 的影响
Fig.4 Effect of storage temperature on a^* value of curry chicken

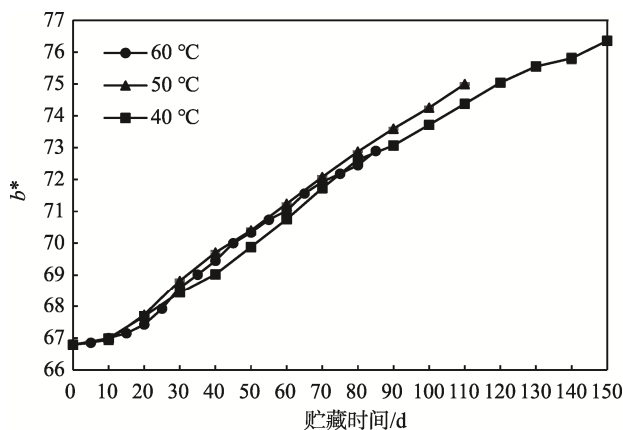


图5 贮藏温度对咖喱鸡块 b^* 的影响
Fig.5 Effect of storage temperature on b^* value of curry chicken

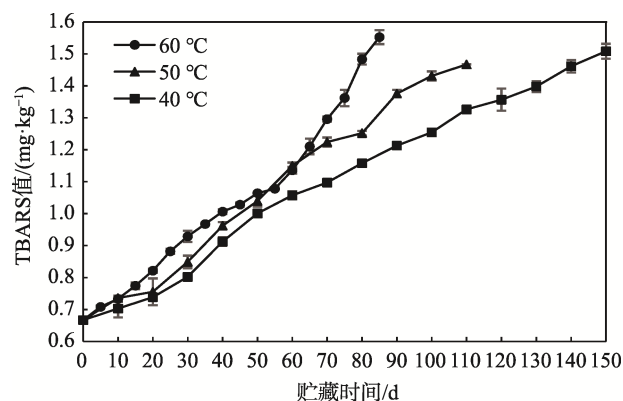


图6 贮藏温度对咖喱鸡块 TBARS 值的影响
Fig.6 Effect of storage temperature on TBARS value of curry chicken

度下咖喱鸡块中 TBARS 值均表现出增长的趋势。在贮藏 0~50 d 时, 3 种类型样品中 TBARS 值变化程度相差不大, 其中 50 和 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下还出现多段几乎重合的现象, 随后相互逐渐形成较大的差距。在同样的贮藏时间下, $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下 TBARS 值最高, 之后是 50 和 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, 说明温度对咖喱鸡块 TBARS 值有显著影响,

当温度越高时,变化也就越快。陈睿等^[24]在研究真空包装鸡肉早餐肠,以及丁捷等^[17]在研究胡辣牛肉的实验过程中都得到了相似的结论。

2.5 贮藏温度对咖喱鸡块 TVB-N 含量的影响

由图 7 可知,贮藏在 3 种温度条件下的咖喱鸡块样品中的 TVB-N 含量均随着时间的延长而呈现增加的趋势,并且温度越高,变化的幅度越明显。在贮藏 70 d 时,50 和 40 ℃贮藏条件下咖喱鸡块样品中 TNB-N 含量接近,分别为(1.176±0.036)mg/kg,(1.156±0.056)mg/kg,但随后仍以较大的差距分化,整体趋势不变。高欣^[25]、许立兴^[26]、李秋庭^[14]等在关于鸡肉货架期的研究中都给出了一致的观点。

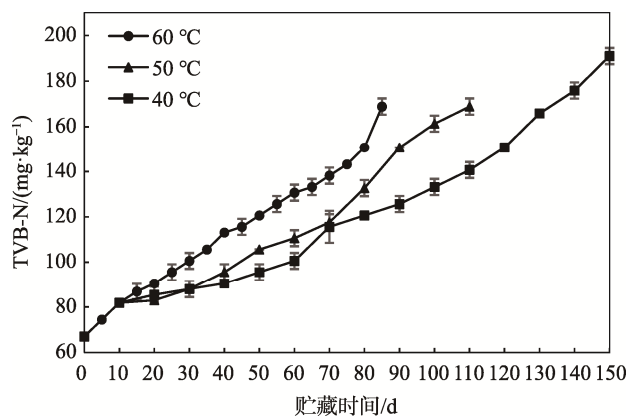


图 7 贮藏温度对咖喱鸡块 TVB-N 含量的影响
Fig.7 Effect of storage temperature on TVB-N value of curry chicken

2.6 咖喱鸡块菜肴包货架期预测模型的建立

2.6.1 咖喱鸡块菜肴包感官评价与各指标的皮尔逊相关系数

皮尔逊相关系数用来描述 2 个变量 X 和 Y 之间的相关性(线性相关),其值介于-1 与 1 之间,一般用 r 表示, $|r|$ 越大则表示相关性越强。以下分别分析了 PET/Al/PA/PP 包装下咖喱鸡块样品贮藏期间感官评分和理化指标间的皮尔逊相关系数,见表 2。综合 2 种包装方式可以看出,TVB-N 含量与感官评分之间有着相对更好的相关性,感官评分随着 TVB-N 含量的增加而下降,所以选取 TVB-N 含量作为咖喱鸡块品质变化和货架期预测模型的关键指示因子。

2.6.2 咖喱鸡块菜肴包 TVB-N 随时间变化的方程

表 3 分别罗列了 60, 50, 40 ℃下 TVB-N 含量随贮藏时间变化的回归方程及相关参数值(y 代表 $\ln(\text{TVB-N 值})$, x 代表时间 t)。可以看到,3 个贮藏温度下建立的方程中, R^2 值均大于 0.97, 拟合度好。

2.6.3 咖喱鸡块菜肴包 TVB-N 阿伦尼乌斯曲线

以 $\ln k$ 为纵坐标, $1/T$ 为横坐标,进行作图,见图 8。

表 2 咖喱鸡块贮藏期间感官评分和理化指标间的皮尔逊相关系数

Tab.2 Pearson correlation coefficient between sensory evaluation and physicochemical index of curry chicken during storage

温度/℃	L^*	a^*	b^*	TBARS 值	TVB-N 值
60	0.958**	-0.996**	-0.977**	-0.994**	-0.989**
50	0.990**	-0.996**	-0.983**	-0.982**	-0.993**
40	0.986**	-0.979**	-0.996**	-0.991**	-0.993**

注: *表示差异显著 ($P<0.05$); **表示差异极显著 ($P<0.01$)

表 3 不同贮藏温度下咖喱鸡块 TVB-N 含量随时间变化的回归方程

Tab.3 Regression equation of TVB-N value of curry chicken with time at different storage temperature

贮藏温度/℃	回归方程	R^2	K	$\ln k$
60	$y = 0.0095x + 1.9959$	0.97926	0.0095	-4.656
50	$y = 0.0081x + 1.9437$	0.98596	0.0081	-4.816
40	$y = 0.0064x + 1.9683$	0.98659	0.0064	-5.051

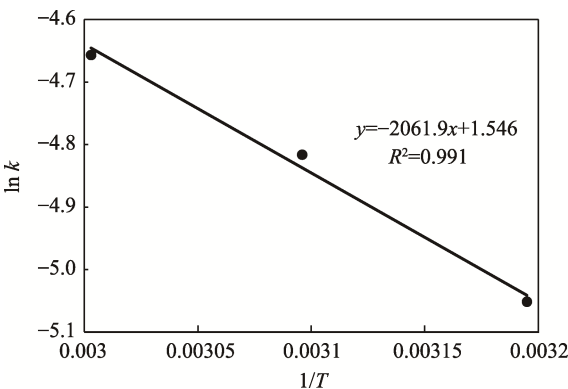


图 8 咖喱鸡块 TVB-N 阿伦尼乌斯曲线
Fig.8 TVB-N Arrhenius curve of curry chicken

得到 PET/Al/PA/PP 包装下咖喱鸡块的线性方程为: $y = -2061.9x + 1.5465$ ($R^2=0.99138$), 对应的 $-E_a/R = -2061.9$, $\ln k_0=1.5465$, 得到 $E_a=17.143$ kJ/mol, $k_0=4.695$ 。

2.6.4 咖喱鸡块菜肴包 TVB-N 动力学模型建立

根据上述分析可以确立 PET/Al/PA/PP 包装下咖喱鸡块菜肴包的阿伦尼乌斯方程,并通过代入一级动力学模型,求得货架期预测模型如下:

阿伦尼乌斯方程: $k=4.695 \times \exp\left(\frac{-2061.9}{T}\right)$

货架期预测模型: $Q_s = \frac{\ln x - \ln y}{4.695 \times \exp\left(\frac{-2061.9}{T}\right)}$

式中: x 表示 TVB-N 值; y 表示 TVB-N 初始值。

根据所得到的预测模型,一方面当确定了贮藏温度,初始及终点 TVB-N 含量,就可以预测此条件下咖喱鸡块菜肴包的货架期;另一方面,通过确定咖喱鸡块菜肴包的贮藏温度、贮藏时间和初始 TVB-N 值,就可以计算出此条件下贮藏一段时间后的 TVB-N 值,因而可以实时监控产品的品质。

2.6.5 咖喱鸡块菜肴包 TVB-N 动力学模型验证

PET/Al/PA/PA/PA/PA 包装下咖喱鸡块在 60, 50, 40 °C 条件下货架期预测值与实际值的比较见表 4。从表 4 中可以看出,实际与预测货架寿命的相对误差都小于 10%,准确率较高,可以运用此模型较好地预测某一贮藏温度下产品的理论货架期。

表 4 咖喱鸡块 TVB-N 动力学模型 (Arrhenius 方程) 的验证

Tab.4 Verification of TVB-N Kinetic model (Arrhenius equation) for curry chicken

贮藏温度/°C	实际货架期/d	预测货架期/d	相对误差/%
60	80	84.32	5.40
50	100	108.97	8.97
40	140	149.99	7.13

3 结语

以咖喱鸡块菜肴包为实验材料,研究了其在不同贮藏温度下感官评定、pH 值、 L^* 、 a^* 、 b^* 、TBARS 值、TVB-N 含量的变化规律,并在此基础上选取合适的指标建立了货架期预测模型。文中的主要试验结果如下所述。

1) 随着贮藏时间的延长,咖喱鸡块感官评定分数逐渐变低;pH 值呈现先下降后上升的趋势,且随着时间的延长波动会比较剧烈; L^* 呈下降趋势,而 a^* 、 b^* 与之相反,总体呈上升趋势;TBARS 值和 TVB-N 含量均明显地变大,表明鸡肉随着时间的延长而逐渐发生败坏。

2) 温度对咖喱鸡块的多项指标存在显著影响。在同一天测定时,温度越高,咖喱鸡块的感官评分、 L^* 越低(40 °C时效果强于 50 °C,50 °C时效果强于 60 °C),而 TBARS 值、TVB-N 含量越高(60 °C时效果强于 50 °C,50 °C时效果强于 40 °C);3 个温度下样品的 pH 值都呈现出较为激烈的波动态势,但在 40 °C下变化程度相对较缓; a^* 在 50 °C下有更为剧烈的变化趋势,其次是 60 和 40 °C;温度对样品 b^* 的变化并未起到较大作用。

3) 通过一级动力学方程和阿伦尼乌斯方程选取 TVB-N 含量作为指标,构建了咖喱鸡块菜肴包的货架期预测模型,利用此模型得到的货架期理论预测值

与实际值的相对误差均在 10%以内,准确率较高。

参考文献:

- [1] 石桂春,陶红.自热式食品的现状与发展趋势[J].食品工业科技,2003(S1):217—219.
SHI Gui-chun,TAO Hong. Current Situation and Development Trend of Self-heating Food[J]. Science and Technology of Food Industry, 2003(S1): 217—219.
- [2] 张文华.自热食品传热过程及热吸收率影响因素研究[D].北京:北京工商大学,2015:32—33.
ZHANG Wen-hua. Study on Heat Transfer Process and Influencing Factors of Heat Absorption Rate of Self-heating Food[D]. Beijing: Beijing Technology and Business University, 2015: 32—33.
- [3] 陈轶,叶志能.吸收美军经验,加快发展我军自热食品[J].中国集体经济,2010(36):200—201.
CHEN Yi, YE Zhi-neng. Absorb the Experience of the US Military and Accelerate the Development of Self-heating Food for Our Military[J]. China's Collective Economy, 2010(36): 200—201.
- [4] 李葆华,叶青.方便自热食品释放巨大消费需求[N].中国食品报,2018-03-02(3).
LI Bao-hua, YE Qing. Convenient Self-heating Food to Release Huge Consumer Demand[N]. China Food News, 2018-03-02(3).
- [5] SILBERBAUER A, SCHMID M. Packaging Concepts for Ready-to-eat Food: Recent Progress[J]. Journal of Packaging Technology and Research, 2017(3): 113—126.
- [6] BINDU J, RAVISHANKAR C N, GOPAL T K S. Shelf Life Evaluation of a Ready-to-eat Black Clam (Villorita Cyprinoides) Product in Indigenous Retort Pouches[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 78(3): 995—1000.
- [7] IDOWU A O, OMOBUWAJO T O, FALADE K O. Production Proximate Analysis and Shelf Life Studies of Ready-to-eat Rice and Kilishi[J]. African Journal of Food Science, 2010(5): 264—268.
- [8] BOU R, CLARET A, STAMATAKIS A, et al. Quality Changes and Shelf-life Extension of Ready-to-eat Fish Patties by Adding Encapsulated Citric Acid[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2017, 97(15): 5352.
- [9] KURNIADI M, BINTANG R, KUSUMANINGRUM A, et al. Shelf Life Prediction of Canned Fried-rice Using Accelerated Shelf Life Testing (ASLT) Arrhenius Method[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, 101: 012029.
- [10] 董洋,王虎虎,徐幸莲.真空包装盐水鹅在不同温度条件下的贮藏特性及其货架期预测[J].食品科学,2012,33(2):280—285.
DONG Yang, WANG Hu-hu, XU Xing-lian. Storage Characteristics and Shelf Life Prediction of Va-

- cuum-packed Salted Goose at Different Temperatures[J]. Food Science, 2012, 33(2): 280—285.
- [11] 邱春强, 张坤生, 任云霞. 酱卤鸡肉货架期预测的研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(22): 351—354.
- QIU Chun-qiang, ZHANG Kun-sheng, REN Yun-xia. Study on the Shelf Life Prediction of Braised Chicken Meat[J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(22): 351—354.
- [12] 李娜, 胡晓江, 常学东. 参鸡汤产品货架期预测研究[J]. 保鲜与加工, 2013, 13(2): 30—33.
- LI Na, HU Xiao-jiang, CHANG Xue-dong. Study on Shelf Life Prediction of Ginseng Chicken Soup[J]. Preservation and Processing, 2013, 13(2): 30—33.
- [13] 杨铭铎, 王旭龙. 动力学模型预测即食风味米饭货架期的研究[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2015, 31(6): 710—714.
- YANG Ming-ze, WANG Xu-long. Study on Prediction of Shelf Life of Ready-to-eat Flavor Rice by Kinetic Model[J]. Journal of the Harbin University of Commerce(Science Edition), 2015, 31(6): 710—714.
- [14] 李秋庭, 吴建文. 盐焗鸡贮藏品质变化及货架期预测模型[J]. 食品科技, 2015(2): 157—162.
- LI Qiu-ting, WU Jian-wen. Storage Quality Change and Shelf Life Prediction Model of Salt-baked Chicken[J]. Food Technology, 2015(2): 157—162.
- [15] 张婉, 魏益民, 魏帅. 鲜熟面条贮藏品质变化及货架期研究[J]. 中国粮油学报, 2017(4): 77—78.
- ZHANG Wan, WEI Yi-ming, WEI Shuai. Study on Storage Quality and Shelf Life of Fresh-cooked Noodles[J]. Chinese Journal of Grain and Oil, 2017(4): 77—78.
- [16] 黄金城, 郭虹雯, 朱丰. 佛跳墙的货架期研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(10): 10—15.
- HUANG Jin-cheng, GUO Hong-wen, ZHU Feng. Study on Shelf Life of Fotiaoqiang[J]. Food Research and Development, 2017, 38(10): 10—15.
- [17] 丁捷, 胡欣洁, 卢雪松. 糊辣牛肉在不同温度条件下的贮藏特性及其货架期预测[J]. 现代食品科技, 2017(3): 128—138.
- DING Jie, HU Xin-jie, LU Xue-song. Storage Characteristics and Shelf Life Prediction of Spicy Beef at Different Temperatures[J]. Modern Food Technology, 2017(3): 128—138.
- [18] 徐贞, 卢立新. 真空软包装香辣蟹贮藏品质变化及货架期预测[J]. 包装工程, 2017, 38(11): 16—20.
- XU Zhen, LU Li-xin. Storage Quality Change and Shelf Life Prediction of Vacuum Soft-packed Spicy Crab[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(11): 16—20.
- [19] 陆有军. “方便自热食品”存在大量消费需求 发展前景一路高歌[EB/OL]. (2017-11-01)[2019-04-08]. <http://www.chinairn.com/news/20171101/161626856.shtml>.
- LU You-jun. "Convenient self-heating food" has a Large Amount of Consumer Demand[EB/OL]. (2017-11-01)[2019-04-08]. <http://www.chinairn.com/news/20171101/161626856.shtml>.
- [20] STINCO C M, ROCÍO F V, HEREDIA F J, et al. Bio-accessibility, Antioxidant Activity and Colour of Carotenoids in Ultrafrozen Orange Juices: Influence of Thawing Conditions[J]. LWT-food Science and Technology, 2013, 53(2): 458—463.
- [21] LABUZA T P, SHAPER M, KAMMAN J. Prediction of Nutrient Losses[J]. Journal of Food Processing & Preservation, 1978, 2(2): 91—99.
- [22] 余力, 贺稚非, 李洪军. 不同贮藏方式对高压鸡汤品质的影响及货架期预测模型的建立[J]. 食品科学, 2016, 37(20): 14—15.
- YU Li, HE Zhi-fei, LI Hong-jun. Effect of Different Storage Methods on Quality of High Pressure Chicken Soup and Establishment of Prediction Model of Shelf Life[J]. Food Science, 2016, 37(20): 14—15.
- [23] 张婉, 郭波莉, 魏益民. 食品货架期预测模型研究进展[C]// 中国食品科学技术学会第十一届年会, 2014, 11(5): 12—13.
- ZHANG Wan, GUO Bo-li, WEI Yi-ming. Research Progress on Food Shelf Prediction Model[C]// The 11th Annual Meeting of China Food Science and Technology Society, 2014, 11(5): 12—13.
- [24] 陈睿, 徐幸莲, 周光宏. 真空包装鸡肉早餐肠货架期预测模型的建立[J]. 食品科学, 2014, 35(6): 209—213.
- CHEN Rui, XU Xin-lian, ZHOU Guang-hong. Establishment of Predictive Model for Shelf Life of Vacuum Packed Chicken Breakfast[J]. Food Science, 2014, 35(6): 209—213.
- [25] 高欣, 高伟. 不同贮藏温度对气调包装鸡肉货架期的影响[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(23): 88—90.
- GAO Xin, GAO Wei. Effect of Different Storage Temperatures on the Shelf Life of Modified-guided Chicken[J]. Hubei Agricultural Science, 2015, 54(23): 88—90.
- [26] 许立兴, 关文强, 赵菲. 冰温贮藏对鸡胸肉品质变化的影响[J]. 食品科技, 2015(11): 96—102.
- XU Li-xing, GUAN Wen-qiang, ZHAO Fei. Effect of Ice Temperature Storage on Quality Changes of Chicken Breast[J]. Food Technology, 2015(11): 96—102.