

猪油曲奇饼干货架期预测模型的建立

Establishment of a prediction model for shelf life of lard cookies

邹晴晴 刘雪君 王慧玲 丁芳 陆宁

ZOU Qing-qing LIU Xue-jun WANG Hui-ling DING Fang LU Ning

(安徽农业大学茶与食品科技学院, 安徽 合肥 230036)

(College of Tea and Food Science and Technology, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230036, China)

摘要:采用货架期加速试验方法和 Arrhenius 方程建立猪油曲奇饼干的货架期预测模型。以过氧化值为指标,在试验储藏条件下(25,35,45,55 ℃),猪油曲奇饼干的过氧化值随储藏时间的变化符合一级品质劣变动力学模型。研究了加速储藏条件下的样品检测重复次数、检测点数和检测时间间隔对货架期预测模型预测精度的影响。结果表明:测定点数对预测精度的影响最大,其次是测定重复次数,影响最小的是测定时间间隔。不同温度下的速率常数以及结合 Arrhenius 方程建立了猪油曲奇饼干的货架期预测模型,该模型对 25 ℃下猪油曲奇饼干货架寿命具有较好的预测效果,预测误差为-2.74%,具有一定的应用价值。

关键词:猪油曲奇饼干;动力学模型;过氧化值;货架期;预测精度

Abstract: Accelerated shelf-life testing and Arrhenius equation were adopted to establish the shelf-life prediction model for lard cookies. With peroxide value as the deterioration index, peroxide value curves of lard cookies during different storage under shelf-life storage condition(25,35,45,55 ℃) was in line with first-order reaction kinetic model. The influence of the number of repetitions, the number of detection points and the time interval on the prediction of the shelf-life prediction model under accelerated storage conditions was studied. The results showed that the number of detection points has the greatest influence on the prediction accuracy, followed by the number of detection repetitions, and the least is the detection interval. The rate constants at different temperatures and the Arrhenius equation were used to establish the self-life prediction model for lard cookies. The shelf-life-prediction model of lard cookies has a good forecasting effect at 25 ℃, with forecasting error -2.74% and has certain application value.

Keywords: lard cookies; kinetic model; peroxide value; shelf life;

prediction precision

作为传统的起酥油,猪油的起酥性较好,是制作酥皮类点心的重要油脂。猪油含有对人体有益的成分,比如含有较多的人体必须脂肪酸以及较为丰富的脂溶性维生素;猪油中反式脂肪酸含量低于一些植物油脂^[1]。猪油加热时,油脂不停地挥发、弥散出独特的香味,吃起来有着让人垂涎的风味^[2]。猪油 sn-2 位的脂肪酸分布主要是棕榈酸(90%~100%),这种特殊的与人乳脂相似的甘三酯结构使得它较容易被人体所消化吸收^[3-4]。

食品的货架期是指食品从生产到食用品质终点的时间段^[5]。进行食品货架期预测时,最为常用的方法是动力学模型结合 Arrhenius 方程,杨虎清等^[6]研究了不同温度下山核桃的过氧化值随储藏时间的变化规律,并建立了动力学模型;张利平等^[7]用 Arrhenius 方程结合蔬菜的特征指标建立了货架预测模型;Kanavouras 等^[8]研究了木薯粉焙烤食品的品质劣变指标,并建立了货架期预测动力学模型;张蕾等^[9]利用加速试验研究了去皮椒盐油炸花生的货架期,并建立了预测模型;李新旺等^[10]利用油脂氧化动力学和 Arrhenius 方程研究了茶苏打饼干食用品质的储藏货架期;岳云媛等^[11]研究了不同风味的烧烤盐,并对其进行了货架期的分析。可见货架期预测动力学模型的研究与建立,具有较好的理论基础及广泛的应用价值。

目前市场上的曲奇饼干多以动、植物黄油为油脂制作的,对配方的改良也只是添加了其它原料等,王颖周等^[12]研究了玉米曲奇饼干的工艺和口感;对油脂的使用方面较为局限,除了徐易等^[13]研究了微胶囊鱼油在曲奇饼干中的应用,其它未见报道。本试验拟以食用猪油为油脂制作曲奇饼干,并研究在不同温度储藏下的过氧化值生成规律,建立猪油曲奇饼干的油脂氧化动力学模型和猪油曲奇饼干储藏货架期预测模型;同时从样品检测重复数、检测点数和检测时间间隔三方面来探究猪油曲奇饼干货架期预测模型的预测精度。为今后其它猪油产品的货架期预测模型提供理论依据,以及

作者简介:邹晴晴,男,安徽农业大学在读硕士研究生。

通信作者:陆宁(1964-),女,安徽农业大学教授,博士。

E-mail: luning@ahau.edu.cn

收稿日期:2016-11-28

提供减少货架期模型预测误差的研究方向。

1 材料与方法

1.1 材料和试剂

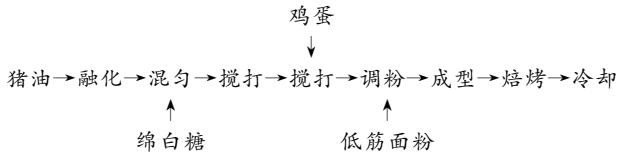
食用猪油:江苏南顺食品有限公司;
低筋面粉、绵白糖、鸡蛋:市售;
氢氧化钠、石油醚(沸程:30~60 ℃)、乙醇、三氯甲烷、冰乙酸、硫代硫酸钠、氢氧化钾、碘化钾:分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

电子天平:ISO9001 型,北京赛多利斯天平有限公司;
远红外食品烤箱:YXD-20K 型,广州鑫南方电热设备有限公司;
电热恒温水浴锅:DK-S26 型,上海精宏实验设备有限公司;
电子台秤:ACS-S2 型,烟台精益衡器有限公司;
电热恒温恒湿箱:DHP-9162 型,上海一恒科技有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 猪油曲奇饼干的制作工艺流程



操作要点:将猪油软化后倒入盆内,用打蛋器搅打 2 min,至猪油顺滑为止,再加入绵白糖,继续搅打 2~3 min,至体积稍有膨大为止,再逐渐加入打散的鸡蛋,继续搅打 3 min 至油呈现体积蓬松,颜色发白的奶油霜状即可。将低筋面粉与搅打后的油混合均匀,使其成为面糊状,放入裱花袋,在涂好油的烤盘中挤压成型。烘烤温度:底火 150 ℃、面火 170 ℃,烘烤 18 min 至成熟。

1.3.2 储藏试验 猪油曲奇饼干采用聚乙烯塑料袋包装,于 25 ℃ 的恒温恒湿(60%±5%RH)箱中储藏,每隔 7 d 测定其过氧化值的含量;于 35 ℃ 的恒温恒湿(60%±5%RH)箱中储藏,每隔 5 d 测定其过氧化值;于 45 ℃ 的恒温恒湿(60%±5%RH)箱中储藏,每隔 3 d 测定其过氧化值;于 55 ℃ 的恒温恒湿(60%±5%RH)箱中储藏,每隔 2 d 测定其过氧化值。

1.3.3 猪油曲奇饼干中油脂的提取 用索氏抽提装置抽提 15 g 猪油曲奇饼干粉末,抽提 8 h 后将抽提瓶中的液体旋转蒸发 15 min 除去石油醚得到油脂,将得到的油脂置于 60 ℃ 鼓风干燥箱中,挥发石油醚 1.5 h 得油脂样品。

1.3.4 猪油曲奇饼干过氧化值的测定 采用 GB/T 5009.37—2003《食用植物油卫生标准的分析方法》中的方法测定猪油曲奇饼干的过氧化值。

1.4 油脂氧化的动力学分析以及货架期预测模型的建立

1.4.1 猪油曲奇饼干油脂氧化动力学模型的确立 过氧化值的生成是用来衡量油脂品质变质的程度^[14],猪油曲奇饼干油脂品质损失可以用其过氧化值的生成来表示:

$$\frac{d(A)}{dt} = k[A]^n, \tag{1}$$

式中:
A——油脂过氧化值指标;
t——储藏时间,d;
k——反应速率;
n——反应级数。
将式(1)转换成不同反应级数的油脂品质函数,见表 1。

表 1 不同反应级数下品质函数的表达式
Table 1 Functions of food quality under different reaction series

反应级数	0	1	2
品质函数 F(A)	$A-A_0$	$\ln(A/A_0)$	$1/(n-1)(A_0^{1-n}-A^{1-n})$

食品油脂的氧化遵循零级或一级反应动力学^[15-16],用零级和一级动力学模型对不同储藏温度下的猪油曲奇饼干的过氧化值变化趋势进行拟合,选择最能反应猪油曲奇饼干油脂氧化趋势的动力学模型。

零级反应动力学模型:
 $A=kt+A_0,$ (2)

一级反应动力学模型:
 $\ln A=\ln A_0+kt,$ (3)

式中:
t——食品储藏时间,d;
A₀——食品的初始过氧化值指标;
A——食品储藏 t d 时的过氧化值指标;
k——食品品质变化速率常数。

1.4.2 货架期预测模型的建立 温度和油脂的氧化速率之间的关系可用 Arrhenius 方程来描述^[17-18],即:

$$k=k_0\exp(-\frac{E_a}{RT}), \tag{4}$$

对式(4)取对数得:
 $\ln k=\ln k_0-\frac{E_a}{RT},$ (5)

式中:
k₀——频率因子;
E_a——活化能,kJ/mol;
R——气体常数,8.314 44 J/(mol·K);
T——热力学温度,K。

根据式(5),可求得不同储藏温度下的反应速率常数 k;以反应速率常数 k 的对数(lnk)为纵坐标,热力学温度的倒数(1/T)为横坐标作图得到一条直线^[19],其斜率为 $-\frac{E_a}{R}$ 。将 25 ℃ 下的猪油曲奇饼干品质变化速率 k 和货架期终点时的过氧化值 A(饼干类国标允许最大值 0.25 g/100 g)、初始过氧化值 A₀(0.044 g/100 g)代入 $\ln(A/A_0)=kt$ (品质函数的一级反应动力学方程)即可得出 25 ℃ 下的猪油曲奇饼干货架寿命。

1.4.3 样品测定重复数对货架期模型预测精度的影响 在

35 ℃ 储藏下每隔 5 d、45 ℃ 储藏下每隔 3 d、55 ℃ 储藏下每隔 2 d 测定过氧化值以及每个储藏温度下检测 12 个点,35, 45,55 ℃ 每个检测点取 1~3(重复数)个样品进行过氧化值测定,用一级品质劣变动力学模型对测定的数据进行拟合,根据拟合得到的速率常数建立的 Arrhenius 方程,对 25 ℃ 的猪油曲奇饼干进行货架寿命预测,并进行预测误差分析。

1.4.4 试验检测点数对货架期模型预测精度的影响 在 35 ℃ 储藏下每隔 5 d、45 ℃ 储藏下每隔 3 d、55 ℃ 储藏下每隔 2 d 以及每个检测点取 3 个样品进行过氧化值测定,35, 45,55 ℃ 每个检测点分别取 6,9,12 个检测点进行过氧化值测定,用一级品质劣变动力学模型对测定的数据进行拟合,根据拟合得到的速率常数建立的 Arrhenius 方程,对 25 ℃ 的猪油曲奇饼干进行货架寿命预测,并进行预测误差分析。

1.4.5 检测时间间隔对货架期模型预测精度的影响 每个储藏温度测定 12 个检测点以及每个检测点取 3 个样品进行过氧化值测定,35 ℃ 下每隔 4,5,6 d 测定过氧化值,45 ℃ 下每隔 2,3,4 d 测定过氧化值,55 ℃ 下每隔 1,2,3 d 测定过氧化值,用一级品质劣变动力学模型对测定的数据进行拟合,根据拟合得到的速率常数建立的 Arrhenius 方程,对 25 ℃ 的猪油曲奇饼干进行货架寿命预测,并进行预测误差分析。

1.4.6 预测误差分析 根据文献[20],预测误差是反应预测值与实际值的偏离程度,是检验预测模型可靠性的依据,本试验对猪油曲奇饼干 25 ℃ 货架期进行预测,并计算预测误差。

$$c = (m_1 - m_0) / m_0 \times 100\%, \tag{6}$$

式中:

c ——预测误差,%;

m_1 ——货架期预测值,d;

m_0 ——货架期实际值,d。

2 结果与分析

2.1 猪油曲奇饼干储藏过程中过氧化值的变化规律

油脂氧化程度的指标可以用过氧化值来衡量,因此猪油曲奇饼干品质劣变的程度可以用过氧化值的含量表示,根据 GB 7100—2015 标准,饼干类的过氧化值最高含量不应超过 0.25 g/100 g。油脂的氧化速率随着温度的升高而加快(见图 1),在 25 ℃ 条件下,储藏 63 d 过氧化值含量为 0.182 g/100 g,低于 GB 7100—2015 标准限值;在 35 ℃ 条件

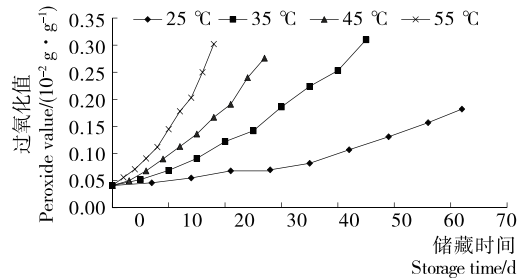


图 1 不同储藏温度下猪油曲奇饼干过氧化值的变化

Figure 1 Change of Peroxide value of lard cookies stored at different temperatures

下,储藏 40 d 过氧化值含量达到 0.253 g/100 g,超过了 GB 7100—2015 标准限值;在 45,55 ℃ 条件下,分别储藏 27,16 d 过氧化值已经达到 0.276 g/100 g,超出了 GB 7100—2015 标准限值。可见高温加速了油脂的氧化。

2.2 猪油曲奇饼干氧化动力学模型分析

分别将猪油曲奇饼干置于 35,45,55 ℃ 的加速储藏温度下进行加速试验。分别用零级和一级品质劣变动力学模型拟合不同温度下猪油曲奇饼干的过氧化值随时间的变化规律,拟合结果见图 2~4。由图 2 可知,35 ℃ 储藏温度下猪油

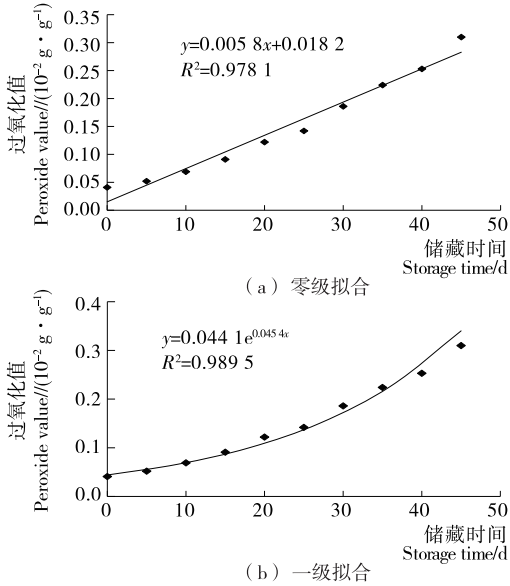


图 2 35 ℃ 储藏温度下猪油曲奇饼干过氧化值随时间变化的曲线

Figure 2 Curve of lard cookies peroxide value with time under 35 ℃ storage temperature

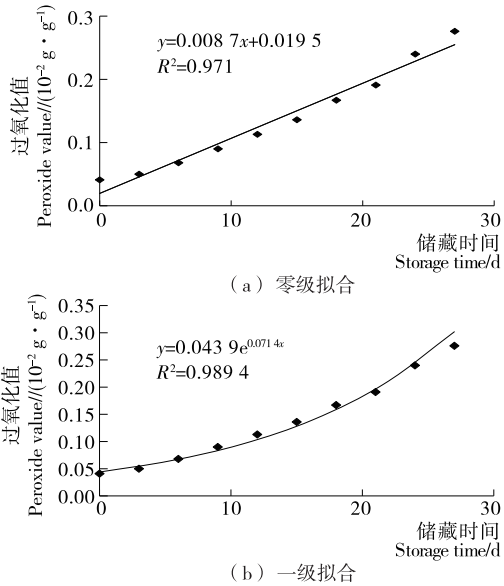


图 3 45 ℃ 储藏温度下猪油曲奇饼干过氧化值随时间变化的曲线

Figure 3 Curve of lard cookies peroxide value with time under 45 ℃ storage temperature

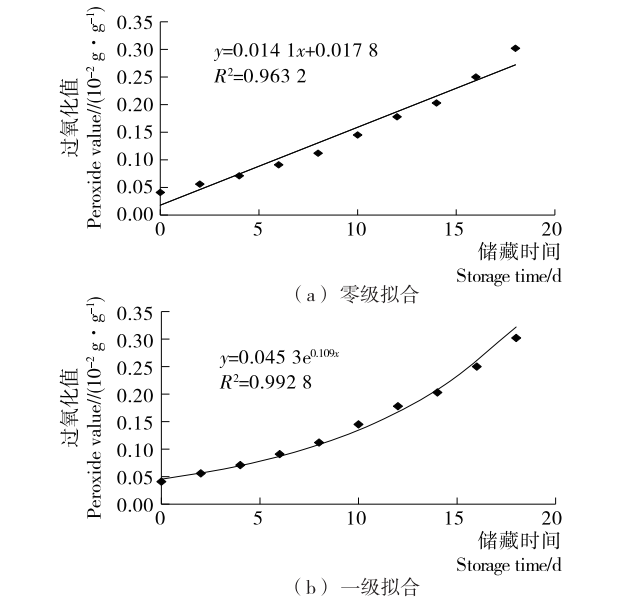


图 4 55 °C 储藏温度下猪油曲奇饼干过氧化值
随时间变化的曲线

Figure 4 Curve of lard cookies peroxide value with time under 55 °C storage temperature

曲奇饼干的零级拟合曲线的 R^2 和一级拟合曲线的 R^2 分别为 0.978 1, 0.989 5, 即一级模型拟合优于零级拟合模型; 由图 3 可知, 45 °C 储藏温度下猪油曲奇饼干的零级拟合曲线的 R^2 为 0.971 0, 一级拟合曲线的 R^2 为 0.989 4, 即一级模型拟合优于零级拟合模型; 由图 4 可知, 55 °C 储藏温度下猪油曲奇饼干的零级拟合曲线的 R^2 为 0.963 2, 一级拟合曲线的 R^2 为 0.992 8, 即一级模型拟合优于零级拟合模型; 综上所述, 在高温加速储藏试验中猪油曲奇饼干的氧化动力学应选用一级动力学模型。

2.3 猪油曲奇饼干货架期预测模型的建立

求得 25, 35, 45, 55 °C 储藏试验的反应速率 k 值, 以 $\ln k$ 和热力学温度的倒数 $1/T$ 作图, 得到一条以 $-\frac{E_a}{R}$ 为斜率的直线方程, 见表 2 和图 5。

表 3 检测重复数、检测点数、检测时间间隔对 Arrhenius 方程预测精度的影响

Table 3 Effect of repetition degree, number of detection points and detection interval on predicting accuracy of Arrhenius Equation

重复数	检测点数	检测时间间隔/d			Arrhenius 方程 拟合 R^2	25 °C 下的货架期/d		预测 误差/%
		35 °C	45 °C	55 °C		预测值	实际值	
1	12	5	3	2	0.989 7	66		−9.59
2	12	5	3	2	0.991 2	68		−6.85
3	12	5	3	2	0.991 6	71		−2.74
3	6	5	3	2	0.988 2	64		−12.33
3	9	5	3	2	0.991 7	69	73	−5.48
3	12	5	3	2	0.990 9	70		−4.11
3	12	4	2	1	0.992 7	69		−5.48
3	12	5	3	2	0.992 1	71		−2.74
3	12	6	4	3	0.987 6	79		8.22

表 2 温度与氧化速率的对应关系

Table 2 Corresponding relations between temperature and reaction rate

温度/°C	1/T	回归方程	k	lnk
25	0.003 540	$Y=0.038 9e^{0.024 3 x}$	0.024 3	−3.717 28
35	0.003 245	$Y=0.044 1e^{0.045 4 x}$	0.045 4	−3.092 24
45	0.003 143	$Y=0.043 9e^{0.071 4 x}$	0.071 4	−2.639 46
55	0.003 047	$Y=0.045 3e^{0.109 x}$	0.109 0	−2.216 41

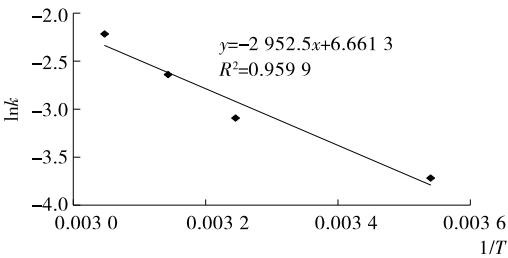


图 5 温度与反应速率关系式的回归分析

Figure 5 Regression analysis of temperature and reaction rate formula

式(5)及图 5 得到 Arrhenius 直线回归方程为:

$$\ln k = -2\,952.5 \frac{1}{T} + 6.661\,3, \tag{7}$$

该方程 $R^2=0.959\,9$, 说明建立的 Arrhenius 方程相关性很好。由式(5)、(7)可计算出频率因子 $k_0=781.57$ 。将 25 °C 下的反应速率 k (0.024 3) 和货架期终点时的过氧化值 A (0.25 g/100 g)、初始过氧化值 A_0 (0.044 g/100 g) 代入 Arrhenius 方程和一级动力学方程 $\ln(A/A_0)=kt$, 得到货架期预测值为 71 d。

2.4 样品检测重复数模型预测精度的影响

样品检测重复次数越多, 其检测值越接近真实值, 其一级动力学方程拟合越精确, 得到的过氧化值变化速率(曲线的斜率)越真实可靠。表 3 数据显示: 当试验检测点数和检测时间间隔一定时, 随着样品重复检测个数由 1 增加到 3,

Arrhenius 方程拟合相关系数从 0.989 7 增大到 0.991 6,货架期预测误差从-9.59%减小到-2.74%。同时也得到当样品重复检测数为 2 和 3 时,货架期预测误差分别为-6.85%和-2.74%。检测重复数对预测模型的精度有重要影响,与现有的货架期模型建立相比本试验建立的模型更具真实性和科学性。当检测重复数为 3 时,货架期预测误差较小,预测值非常接近实际值,因此选择检测重复数 3 为宜。

2.5 试验检测点数对模型预测精度的影响

表 3 数据显示:当样品检测重复数和检测时间间隔一定时,随着试验检测点数由 6 增加到 9 时,Arrhenius 方程拟合相关系数从 0.988 2 增加到 0.991 7,货架期预测误差从-12.33% 减小到-5.48%;随着试验检测点数由 9 增加到 12 时,Arrhenius 方程拟合相关系数从 0.991 7 减小到 0.990 9,拟合系数变化很小,可见检测点数对货架期模型的预测精度有影响,试验检测点数过多过少都不利于建立精确的货架期模型;同时还可以看出,当试验检测点数由 9 增加到 12 时,货架期预测误差从-5.48%减小到-4.11%,误差减小了 1.37%,变化较小;说明当检测点数为 9 时,已经具备较高的预测精度,考虑到试验的效率,选择检测点数为 9 较为合适。

2.6 试验检测时间间隔对模型预测精度的影响

表 3 数据显示:当样品检测重复数和检测点数一定时,随着样品检测时间间隔由短变长,Arrhenius 方程拟合相关系数从 0.992 7 减小到 0.987 6,货架期预测误差从-5.48%减小到-2.74%再增加到 8.22%,检测时间间隔越短,猪油曲奇饼干劣变速率(曲线的斜率)偏小导致货架期预测值比实际值偏小,反之偏大。另外,当 35 ℃ 的检测时间间隔为 5 d,45 ℃ 的检测时间间隔为 3 d,55 ℃ 的检测时间间隔为 2 d 时货架期预测误差为-2.74%,预测精度较高。可见,检测时间间隔对货架期预测模型精度有重要影响,时间间隔过长或过短动力学模型不能很好地反应油脂氧化的趋势,不利于模型的建立,因此,试验选择 35 ℃ 的检测时间间隔为 5 d、45 ℃ 的检测时间间隔为 3 d、55 ℃ 的检测时间间隔为 2 d 较为合适。

3 结论

猪油曲奇饼干在加速温度储藏条件下,其过氧化值随时间的变化规律符合一级动力学模型。结果表明样品检测重复次数为 3 时,预测误差为-2.74%,检测点数为 9 时,预测误差为-5.48%,35 ℃ 下储藏的检测时间间隔为 5 d、45 ℃ 下储藏的检测时间间隔为 3 d、55 ℃ 下储藏的检测时间间隔为 2 d 时,预测误差为-2.74%。相比于其它的只有固定检测点数和时间间隔的货架期预测模型,本试验减少了货架期预测模型的误差,提高了预测精度。建立了猪油曲奇饼干的货架期预测模型: $\ln k = -2\ 952.5 \frac{1}{T} + 6.661\ 3$,该模型的相关系数 $R^2 = 0.959\ 9$,25 ℃ 下猪油曲奇饼干货架期预测值为 71 d,预测误差为-2.74%,预测效果较好。另外,本试验未进行 25 ℃ 下检测重复数,检测点数和检测时间间隔对货架期预测模型精度的验证,希望后续试验者对货架期预测模型进行全面的完善。

参考文献

[1] 陈洪建,李进伟,刘元法. 猪油与棕榈硬酯酶法酯交换制备零反式脂肪酸起酥油的性质研究[J]. 中国油脂, 2013, 38(10): 27-30.

[2] 代小容,张宝勇. 脂肪和猪油的食用价值[J]. 肉类研究, 2008 (7): 65-68.

[3] HEIKKI K, KAISA Y, JUHA-PEKKA K, et al. Regioisomerism of triacylglycerols in lard, tallow, yolk, chicken skin, palm oil, palm stearin, and a transesterified blend of palm stearin and coconut oil analyzed by tandem mass spectrometry[J]. Food Chemistry, 2001(9): 363-369.

[4] 朱启思,唐家毅,周璐,等. 猪油酸解制备人乳脂替代品的研究[J]. 中国油脂, 2009, 34(2): 39-42.

[5] 佟懿,谢晶. 鲜带鱼不同贮藏温度的货架期预测模型[J]. 农业工程学报, 2009, 25(6): 301-305.

[6] 杨虎清,吴峰华. 山核桃基于温度变化的贮藏寿命预测[J]. 食品科学, 2010, 31(12): 274-278.

[7] 张利平,谢晶. Arrhenius 方程结合特征指标在蔬菜货架期预测中的应用[J]. 食品与机械, 2012, 28(5): 163-167.

[8] KANAVOURAS A, COUTELIERIS F A. Shelf-life predictions for packaged olive oil based on simulation[J]. Food Chemistry, 2006, 96(5): 48-55.

[9] 张蕾,许雪琦. 去皮椒盐油炸花生货架寿命的研究[J]. 包装工程, 1998, 19(4): 17-19.

[10] 李新旺,张晶,李雪影,等. 茶苏打饼干货架寿命预测模型的建立[J]. 食品科学技术学报, 2015, 33(2): 74-78.

[11] 岳云媛,田艳. 不同风味烧烤盐货架期分析[J]. 食品与机械, 2016, 32(5): 127-130.

[12] 王颖周,仰振中,潘阳,等. 玉米曲奇饼干配方优化及其质构研究[J]. 包装与食品机械, 2013, 31(3): 22-24.

[13] 徐易,邓尚贵,霍健聪,等. 响应面法在微胶囊鱼油曲奇饼干研制中的应用[J]. 食品工业, 2015, 30(9): 160-164.

[14] LABUZA T P, SHAPERO M, KAMMAN J. Prediction of nutrient losses[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 1978, 2(2): 91-99.

[15] FARHOOSH R, HOSEINI-YAZDI S-Z. Evolution of oxidative values during kinetic studies on olive oil oxidation in the rancimat test [J]. Journal of the American Oil Chemists Society, 2014, 91(2): 281-293.

[16] COLAKOGLU A S. Oxidation kinetics of soybean oil in the presence of monoolein, stearic acid and iron[J]. Food Chemistry, 2007, 101(2): 724-728.

[17] KOCA N, BURDURLU H S. Kinetics of colour changes in dehydrated carrots[J]. Journal of Food Engineering, 2007(78): 445-449.

[18] TAN C, MAN Y C, SELAMAT J, et al. Application of Arrhenius kinetics to evaluate oxidative stability in vegetable oils by isothermal differential scanning calorimetry[J]. Journal of the American oil Chemists Society, 2001, 78(11): 1 133-1 138.

[19] 支红波,韩永生. 含油脂食品货架期寿命研究方法[J]. 中国包装工业, 2005(11): 72-73.

[20] 程晓凤,肖龙恩. 压缩饼干货架期预测模型的建立以及影响预测精度的因素[J]. 食品科技, 2015, 40(3): 107-114.