

基于感官与理化指标的椪柑果酒货架期预测模型

Prediction model for the shelf-life of ponkan fruit wine based on sensory and physic-chemical indexes

李 冲¹ 麻成金¹ 余 佶² 邹海英² 彭珍珍²

LI Chong¹ MA Cheng-jin¹ YU Ji² ZOU Hai-ying² PENG Zhen-zhen²

(1. 吉首大学林产化工工程湖南省重点实验室, 湖南 张家界 427000; 2. 吉首大学食品科学研究所, 湖南 吉首 416000)

(1. Key Laboratory of Hunan Forest Products and Chemical Industry Engineering, Jishou University, Zhangjiajie, Hunan 427000, China; 2. Institute of Food Science, Jishou University, Jishou, Hunan 416000, China)

摘要:通过对不同贮藏温度下椪柑果酒的感官、理化(挥发酸)和微生物(细菌总数)指标的变化分析,将感官威布尔危害分析(Weibull Hazard Analysis, WHA)模型和动力学模型分别结合 Arrhenius 方程,建立 2 种指标下椪柑果酒的货架期预测模型,并验证结果。研究结果表明,基于感官评价指标,在 25,30,35,40 ℃ 温度下的货架期预测终点分别是 620, 436, 310, 222 d, 相对误差为 -5.48%~5.52%; 基于挥发酸评价指标,在 25,30,35,40 ℃ 温度下的货架期预测终点分别是 633, 450, 319, 227 d, 相对误差为 -2.74%~8.96%。椪柑果酒的贮藏温度与细菌总数相关性不显著,不作为具体参考指标。基于感官评价指标的货架期预测模型性能较优,可用于椪柑果酒的货架期终点预测。

关键词:椪柑果酒; 品质; 货架期; 预测模型

Abstract: According to the analysis of sensory, physic-chemical characteristics (VFA) and microbiological characteristics (total bacterial) for Ponkan fruit wine, using Weibull Hazard Analysis (WHA), chemical reaction kinetic model and Arrhenius equation, the shelf-life prediction models were established under two different kinds of indexes, respectively. The results showed that the shelf-life end point under different storage temperature of 25,30,35 and 40 ℃ by the prediction model of sensory evaluation were 620, 436, 310 and 222 d, respectively, and the relative error was in the range of -5.48% to 5.52%. The predicted end points of the shelf-life under the evaluation index of volatile acid were 633, 450, 319, and 227 d, respectively, and the relative error was in the range of -2.74% to 8.96%. The

correlation between the changes of the total number of bacteria and the storage temperature were not obvious, and this was not suitable for the establishment of shelf-life prediction model. The verification results showed that the prediction model based on the sensory evaluation index was better. Thus, this could provide the further basis data for the early warning of the quality and storage of Ponkan fruit wine.

Keywords: Ponkan fruit wine; quality; shelf-life; prediction model

椪柑果实产品研制及加工新技术研究一直倍受关注,但关于椪柑果酒贮运过程中的品质变化规律和货架期研究依然是空白。生活质量的改善促使人们重视食品的品质与货架期,准确合理地预测食品货架期,可减少不必要的损失和食品安全隐患,也是当前研究的热点之一^[1-2]。

当前,关于食品货架期研究较多,根据原理不同,可分为人工智能^[3]、统计学^[4]、化学动力学^[5]、基于温度动力学预测^[6]、微生物生长动力学^[7] 5 类。实际运用中,不同方法都有其局限性,需要根据食品特性,制定相应的货架期预测方法^[8]。其中基于统计学的 WHA 模型、零级及一级化学反应动力学模型,已被应用于葡萄酒^[9]、冬枣^[10]、猪油曲奇饼干^[11]、南美白对虾^[12]、盐渍榨菜^[13]、烧烤盐^[14]、鱿鱼^[15]、板鸭^[16]、灭菌乳^[17] 等的货架期预测,但未见椪柑果酒货架期的相关报道。本试验拟以瓶装椪柑果酒为研究对象,通过分析影响椪柑果酒产品质量关键指标的变化规律,并运用 WHA 及动力学方法建立椪柑果酒货架期预测模型,旨在提高椪柑果酒货架期预测精度,为相关产品的货架期预测提供参考。

1 材料与方法

1.1 原料与试剂

椪柑果酒(瓶装):酒精度 12%,残糖含量 5 g/L,属半干型发酵酒,湖南边城生物科技有限公司;

氢氧化钠、酚酞、乙醇(95%)、盐酸、碘、碘化钾、氯化钠、

基金项目:湖南省科技成果转化与产业化重点项目(编号: 2013CK1010); 吉首大学校级科研项目(编号: JGY201657)

作者简介:李冲,男,吉首大学在读硕士研究生。

通信作者:麻成金(1963—),男,吉首大学教授,硕士。

E-mail: machengjin368@126.com

收稿日期:2017-06-03

磷酸二氢钾、硼酸钠、葡萄糖:AR 级,国药集团化学试剂有限公司;

淀粉、胰蛋白胨、酵母浸膏、琼脂:BR 级,北京奥博星生物技术有限公司。

1.2 仪器与设备

生化培养箱:SPX-250B-Z 型,上海博讯实业有限公司医疗设备厂;

紫外可见分光光度计:UV-2550 型,日本岛津公司;
电子天平:BS225S 型,上海欧迈科学仪器有限公司;
恒温水浴锅:KXS 型,西安禾普生物科技有限公司;
数字式 pH 计:PHS-25 型,上海雷磁仪厂;
蒸汽杀菌器:YA-ZD-5 型,东莞市兴万电子厂;
菌落计数器:XK97-A 型,杭州齐威仪器有限公司;
微型漩涡混合仪:XW-80A 型,上海沪西分析仪器厂有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 评价指标的测定

- (1) 细菌总数:按 GB 4789.2—2010 执行。
- (2) 挥发酸含量:按 GB/T 15038—2006 执行。
- (3) 感官评价:遵循 Weibull Hazard 原则^[18-19],评价小组由 8 位经过培训的专业人员组成(男女各半),年龄在 25~35 岁。感官评价时,将椪柑果酒样品从恒温箱中取出,自然冷却至室温后,评价员依据表 1 进行感官评分,当超半数人员拒绝(即总分<60 分)时,判定失效^[20]。

表 1 椪柑果酒感官评分

Table 1 Rating scale for assessing sensory quality of Ponkan fruit wine			
等级	外观	气味	滋味
A	色泽金黄、澄清透亮(20~30 分)	椪柑果香、酒香幽雅,协调悦人(25~35 分)	酒体醇厚、协调,味微涩(25~35 分)
B	色泽偏暗、酒体较为澄清,无明显悬浮物(10~20 分)	椪柑果香较少,酒香良好(15~25 分)	酒体较协调,味较苦涩(15~25 分)
C	色泽变暗、无光,与金黄色不符,酒体浑浊(0~10 分)	无椪柑果香,酒香较少,有异味(0~15 分)	酒体寡淡、不协调,味苦涩(0~15 分)

各指标做 3 组平行试验,取其平均值作为最终结果。
1.3.2 货架期预测模型的建立 将待试验的椪柑果酒分成 A、B、C、D 4 组,每组 75 瓶,每瓶净含量 450 mL,于 25, 30, 35, 40 ℃ 条件下恒温、避光贮藏,按照规定时间间隔取样,进行感官、理化、微生物检验。当感官评价至过半人员拒绝,试验即为结束。

通过 WHA 方法对感官评价结果进行分析,预测椪柑果酒的货架期并计算对应威布尔函数的有关参数,结合 Arrhenius 方程建立不同温度下椪柑果酒的感官货架期预测模型;运用一级化学反应动力学模型描述椪柑果酒贮藏过程中挥

134

发酸的变化情况,并计算反应速率常数,同时结合 Arrhenius 方程建立基于挥发酸评价指标的椪柑果酒货架期预测模型。
1.3.3 货架期预测模型验证和评价 取 4 组椪柑果酒,处理方式与 1.3.2 相同,以感官评价中半数人员不可接受的时间作为椪柑果酒的实测货架期,计算实测货架期与不同模型预测货架期的相对误差,评价其准确性。

2 结果与讨论

2.1 微生物指标下的椪柑果酒品质变化

由表 2 可知,细菌总数的变化未呈现出一定规律,不能够说明椪柑果酒的品质下降,故货架期的终点根据感官、理化指标的试验结果评价。

表 2 不同贮藏温度下的椪柑果酒细菌总数

Table 2 The data of CFU for Ponkan fruit wine at different storage temperature				
贮藏温度/ ℃	细菌总数/(CFU · mL ⁻¹)			
	180 d	360 d	540 d	720 d
25	未检出	未检出	未检出	11
30	未检出	未检出	未检出	10
35	未检出	未检出	6	23
40	未检出	未检出	23	30

2.2 感官威布尔(WHA)危害分析及预测模型建立

由表 3~6 可知,随着瓶贮时间的延长及贮藏温度的上升,感官不接受椪柑果酒数量逐渐增加;椪柑果酒挥发酸含量的上升与感官不接受产品数相关性明显。

根据 Weibull 分布模型,得概率密度函数为:

表 3 25 ℃下椪柑果酒贮藏的试验结果[†]

Table 3 The results of Ponkan fruit wine storage at 25 ℃										
贮藏时 间/d	感官评价								挥发酸/ (g · L ⁻¹)	
	个体描述				整体描述					
355	+	+	+	+	+	+	+	—	接受	0.42
455	+	+	+	+	+	+	—	—	接受	0.45
550	+	+	+	+	+	+	—	—	接受	0.58
653	+	+	+	+	—	—	—	—	接受	0.72
750	+	+	—	—	—	—	—	—	不接受	0.79

† 椪柑果酒产品可接受时,以“+”表示;不可接受时用“—”表示。

表 4 30 ℃下椪柑果酒贮藏的试验结果[†]

Table 4 The results of Ponkan fruit wine storage at 30 ℃										
贮藏时 间/d	感官评价								挥发酸/ (g · L ⁻¹)	
	个体描述				整体描述					
160	+	+	+	+	+	+	+	-	接受	0.38
243	+	+	+	+	+	+	-	-	接受	0.46
323	+	+	+	+	+	+	-	-	接受	0.58
403	+	+	+	+	+	-	-	-	接受	0.72
483	+	+	+	-	-	-	-	-	不接受	0.90

† 椪柑果酒产品可接受时,以“+”表示;不可接受时用“—”表示。

表 5 35 ℃下椪柑果酒贮藏的试验结果[†]

Table 5 The results of Ponkan fruit wine storage at 35 ℃

贮藏时 间/d	感官评价								挥发酸/ (g·L ⁻¹)	
	个体描述						整体描述			
120	+	+	+	+	+	+	+	-	接受	0.35
180	+	+	+	+	+	+	-	-	接受	0.50
243	+	+	+	+	+	+	-	-	接受	0.74
300	+	+	+	+	+	-	-	-	接受	0.92
360	+	+	+	+	+	-	-	-	接受	1.10
400	+	+	+	-	-	-	-	-	不接受	1.15

[†] 椪柑果酒产品可接受时,以“+”表示;不可接受时用“-”表示。

表 6 40 ℃下椪柑果酒贮藏的试验结果[†]

Table 6 The results of Ponkan fruit wine storage at 40 ℃

贮藏时	感官评价									挥发酸/
间/d	个体描述								整体描述	(g·L ⁻¹)
90	+	+	+	+	+	+	+	-	接受	0.38
120	+	+	+	+	+	+	+	-	接受	0.58
170	+	+	+	+	+	+	-	-	接受	0.76
210	+	+	+	+	-	-	-	-	接受	0.94
250	+	+	-	-	-	-	-	-	不接受	1.18

[†] 椪柑果酒产品可接受时,以“+”表示;不可接受时用“-”表示。

$f(t)=\frac{\beta}{\alpha\beta}t^{\beta-1}-e^{(\frac{t}{\alpha})^{\beta}}(t\geqslant0)$ 。(1)

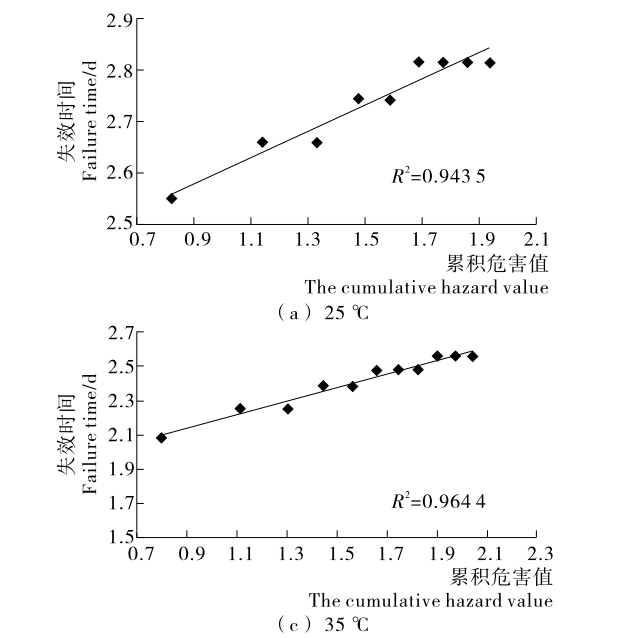
式中:

$f(t)$ ——概率密度;

α ——尺度参数;

β ——形状参数;

t ——发现新失效样品的时间,d。



Weibull1 模型累计分布函数为:

$$F(t)=1-e^{-(t/\alpha)^{\beta}}。(2)$$

假设 $t_i(i=1,2,\cdots,n)$ 表示观察到的按时间倒序排列的一系列失效样本,则危险函数为:

$$F(t)=\frac{f(t)}{1-F(t)}=100/n。(3)$$

累积危险函数可以表示为:

$$H(t)=\sum_{i=1}^kh(t_i)。(4)$$

$H(t)$ 与 $F(t)$ 关系:

$$H(t)=-\ln[1-F(t)]=(\frac{t}{\alpha})^{\beta}。(5)$$

两边取对数可变形为:

$$\lg t=(1/\beta)\lg H+\lg \alpha, (6)$$

式中:

H ——危害积累率;

α ——尺度参数;

β ——形状参数。

椪柑果酒货架期终点以 $H=69.3\%$ 为依据^[18-20]。通过恒温贮藏试验获得的数据拟合式可得到参数 α 、 β ,从而获得相应温度下的食品货架期。

根据 Weibull 方法,对 25,30,35,40 ℃下椪柑果酒的感官累积危害数据进行计算分析,并作对数图,见图 1。

由图 1 可知,25,30,35,40 ℃下的危害分析线性回归方程的相关系数均 >0.9 ,说明拟合精度较高。由斜率、截距求得尺度参数、形状参数,见表 7。

当 $2<\beta<4$ 时,回归方程更适用于椪柑果酒实际品质变化,可提高货架期预测准确性^[16]。分析(表 7)可得,25,30,35,40 ℃下椪柑果酒感官 Weibull 分布图的形状参数 β 均分布在 2~4,对应货架期为 655,393,323,224 d。

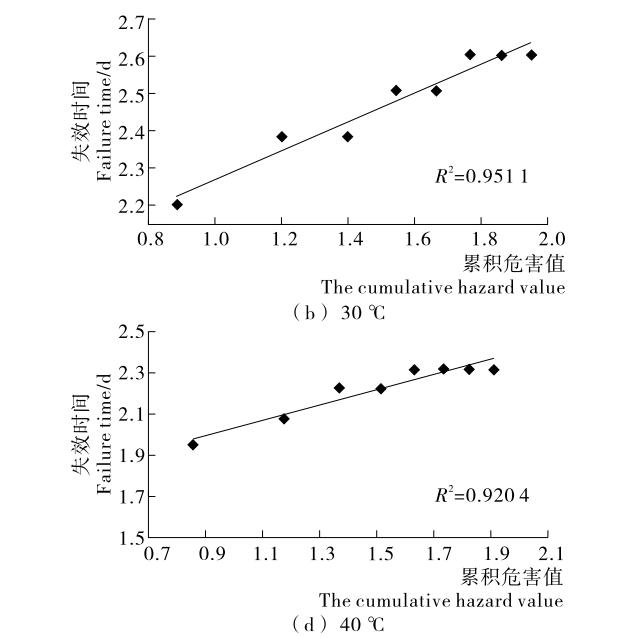


图 1 不同贮藏温度下椪柑果酒的感官累积危害数据(对数坐标)

Figure 1 Sensory hazard analysis of Ponkan fruit wine at different storage temperature(logarithmic coordinate)

表 7 不同贮藏温度下桄柑果酒感官危害分析结果

Table 7 Results of Ponkan fruit wine for sensory hazard analysis at different storage temperature

贮藏温度/ ℃	货架期预测 ($H=69.3\%$)	尺度参数 (α)	形状参数 (β)
25	655	224.54	3.95
30	393	76.00	2.58
35	323	61.43	2.55
40	224	46.20	2.68

温度对品质变化速率的 Arrhenius 关系式^[21]：

$$K=K_0e^{-\frac{E_a}{RT}}, \tag{7}$$

式中：

K ——品质变化速率常数；

K_0 ——前因子；

E_a ——活化能,J/mol；

R ——气体常数,8.314 J/mol；

T ——开氏温度,K。

两边取自然对数,得

$$\ln K=-\frac{E_a}{RT}+\ln K_0. \tag{8}$$

由品质衰变函数 $F(A)=kt$,得

$$k=\frac{1}{t_s}. \tag{9}$$

由式(7)~(9)推导可得,货架期对数值($\lg t_s$)与桄柑果酒瓶贮藏温度的倒数($1/T$)呈线性关系^[17]：

$$\lg t_s=\frac{E_a}{2.303RT}+C. \tag{10}$$

作 $\lg t_s$ 对 $1/T$ 的 Arrhenius 曲线,见图 2。

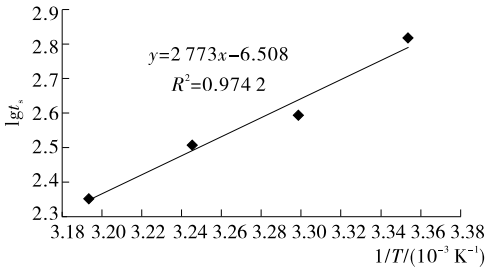


图 2 感官指标下桄柑果酒的 Arrhenius 曲线

Figure 2 Arrhenius straight line of Sensory index changes of Ponkan fruit wine

由图 2 可知, $\lg t_s$ 对 $1/T$ 的 Arrhenius 曲线拟合方程的 R^2 为 0.974 2,说明该曲线的线性关系较准确。由图 2 的斜率与截距可得, $E_a=53\ 095.02\ \text{J/mol}$, $C=-6.508$ 。得到桄柑果酒在不同瓶贮温度下的货架期预测模型：

$$\lg t_s=\frac{53\ 095.02}{2.303RT}-6.508, \tag{11}$$

式中：

R ——气体常数,8.314 J/mol；

T ——开氏温度,K；

t_s ——货架期,d。

另取 4 组桄柑果酒(每组 75 瓶),于 25、30、35、40 ℃恒温、避光条件下贮藏,定期间隔取样进行感官评价,获得桄柑果酒的实测货架期,预测货架期由式(11)预测模型得出。不同贮藏温度下桄柑果酒货架期的预测值、实测值见表 8。

表 8 不同贮藏温度下桄柑果酒货架期的预测值、实测值

Table 8 Predicted and observed values of shelf life of Ponkan fruit wine at different storage temperature

贮藏温度/℃	预测值/d	实测值/d	相对误差/%
25	620.42	655	-5.28
30	435.80	413	5.52
35	310.00	328	-5.48
40	222.42	217	2.49

由表 8 可知,通过感官威布尔货架期预测模型获得的预测值相对误差率为-5.48%~5.52%,误差较小,且较稳定,可用于快速、可靠地预测 25、30、35、40 ℃贮藏条件下的桄柑果酒货架期。

2.3 化学动力学预测模型建立

依据一级化学反应动力学模型与 Arrhenius 方程^[22],建立挥发酸指标下的桄柑果酒货架期预测模型。

由表 3~6 的挥发酸含量变化数据作图,见图 3。由图 3 可知,挥发酸含量随瓶贮时间的延长而上升。

对图 3 中不同贮藏温度下的各挥发酸含量变化曲线作回归分析(指数方程),得回归方程及相关系数见表 9。

表 9 不同贮藏温度下桄柑果酒挥发酸含量变化对瓶贮时间的回归方程

Table 9 Kinetic models for volatile acid of Ponkan fruit wine as a function of storage time at different storage temperatures

贮藏温度/℃	回归方程	R^2
25	$y=0.217\ 8e^{0.001\ 8x}$	0.968 2
30	$y=0.243\ 3e^{0.002\ 7x}$	0.998 8
35	$y=0.230\ 2e^{0.004\ 3x}$	0.958 5
40	$y=0.234\ 2e^{0.006\ 6x}$	0.962 2

由表 9 可知,各回归方程的 $R^2>0.95$,表明方程拟合度较好,可用于预测桄柑果酒的挥发酸含量变化。因此,不同贮藏温度下桄柑果酒挥发酸变化动力学模型为：

$$T_1=T_0e^{Kt}, \tag{12}$$

式中：

T_1 ——挥发酸含量,g/L；

T_0 ——初始挥发酸含量,g/L；

K ——挥发酸变化速率常数；

t ——瓶贮时间,d。

挥发酸含量变化的动力学模型参数见表 10。

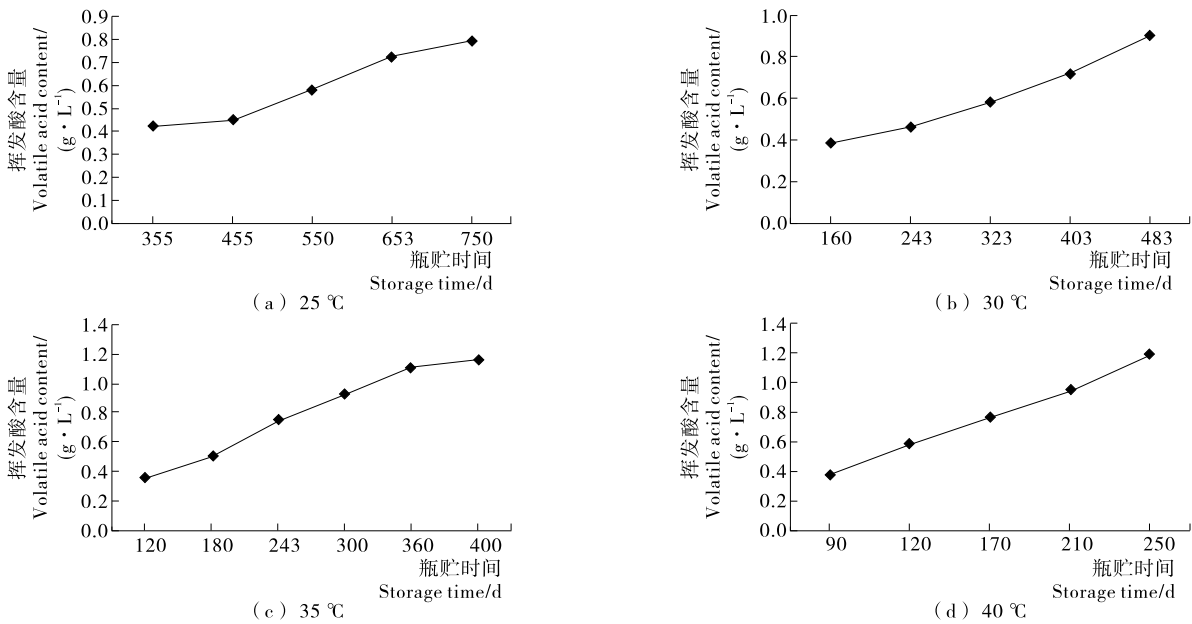


图 3 不同贮藏温度下桄柑果酒挥发酸含量与瓶贮时间的关系

Figure 3 Relationships between volatile acid of Ponkan fruit wine and storage time at different storage temperatures

表 10 不同贮藏温度下桄柑果酒挥发酸变化动力学模型参数

Table 10 Parameters of kinetic models for volatile acid of Ponkan fruit wine at different storage temperatures

贮藏温度/℃	最初酸度/(g · L ⁻¹)	变化速率 K
25	0.23	0.001 8
30	0.23	0.002 7
35	0.23	0.004 3
40	0.23	0.006 6

将式(12)及表 10 中各参数结合 Arrhenius 方程,得到速率常数(K)关于贮藏温度的函数:

$$K=Ae^{-\frac{E_a}{RT}}, \tag{13}$$

式中:

- A——回归系数;
- E_a ——活化能,J/mol;
- R——气体常数,8.314 J/mol;
- T——开氏温度,K。

两边取对数,得

$$\ln K=-\frac{E_a}{RT}+\ln A. \tag{14}$$

依据表 10 中数据,绘制 lnK 与 1/T 的 Arrhenius 曲线,见图 4。

由图 4 可知,lnK 对 1/T 所作拟合方程的 R^2 为 0.998 8,表明方程拟合度高,线性方程为:

$$\ln K=-8\,144.7\frac{1}{T}+20.98. \tag{15}$$

结合表 10 和式(14),求得活化能 $E_a=67\,715.04$ J/mol,回归系数 $A=1.29\times10^9$ 。因此,得到桄柑果酒挥发酸含量变化的 Arrhenius 方程为:

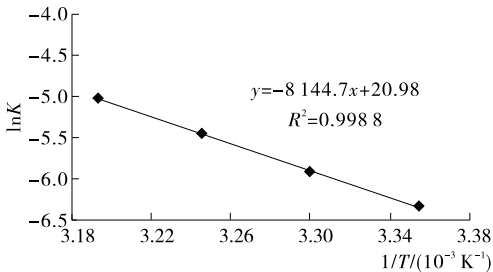


图 4 桄柑果酒挥发酸指标下的 Arrhenius 曲线

Figure 4 Arrhenius curve for volatile acid of Ponkan fruit wine

$$K=1.29\times10^9e^{-\frac{67\,715.04}{RT}}. \tag{16}$$

将式(16)代入到式(12)中,得到不同贮藏温度下桄柑果酒挥发酸变化随瓶贮时间的动力学模型:

$$T_1=T_0e^{Kt}, \tag{17}$$

式中:

- T_1 ——挥发酸含量,g/L;
- T_0 ——初始挥发酸含量,0.23 g/L;
- K——挥发酸变化速率常数;
- t——瓶贮时间,d;
- R——气体常数,8.314 J/mol;
- T——开氏温度,K。

由表 3~6 可得,当桄柑果酒货架期到达终点时,在 25,30,35,40 °C 条件下挥发酸含量分别为:0.72,0.72,1.10,0.94 g/L。代入式(17),得挥发酸指标下的货架期,见表 11。

根据表 11 中的数据,建立不同贮藏温度下桄柑果酒的货架期预测模型见图 5。

将 25,30,35,40 °C 代入到图 5 中的货架期预测模型,得出桄柑果酒的货架期预测值。对比桄柑果酒的货架期预测值与实测值(见表 8),计算两者相对误差,见表 12。

表 11 不同贮藏温度下桄柑果酒以挥发酸为评价指标的货架期

Table 11 Predicted shelf life of Ponkan fruit wine using developed kinetic models for volatile acid at different storage temperatures

瓶贮温度/℃	25	30	35	40
货架期/d	646	412	359	216

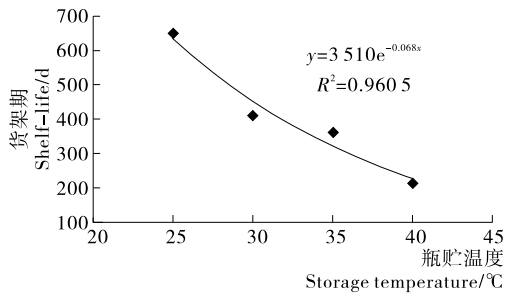


图 5 不同贮藏温度下桄柑果酒的货架期预测模型曲线

Figure 5 Curve of shelf-life prediction model of Ponkan fruit wine at different storage temperatures

表 12 不同贮藏温度下桄柑果酒货架期的预测值、实测值

Table 12 Predicted and observed values of shelf-life of Ponkan fruit wine at different storage temperatures

贮藏温度/℃	预测值/d	实测值/d	相对误差/%
25	633	655	−3.36
30	450	413	8.96
35	319	328	−2.74
40	227	217	4.61

由表 12 可知,由挥发酸货架期预测模型计算所得的误差率为−2.74%~8.96%,误差波动较大。与感官威布尔货架期预测模型及预测数据[式(11)及表 8]相比,挥发酸货架期预测模型较不稳定,预测结果波动也较大。

3 结论

(1) 桄柑果酒瓶贮过程中,分别对其感官评价、挥发酸、细菌总数变化规律进行分析,结果表明,细菌总数的变化并不能够描述桄柑果酒品质下降的规律,因此桄柑果酒货架期终点预测的依据选择感官评价和挥发酸 2 项指标。

(2) 桄柑果酒的感官货架期预测模型效果较好,可为桄柑果酒贮藏、流通环节中的品质预警提供依据;该类模型具有一定的主观性,因而限制了其应用,如何对感官评价结果进行处理以提高其客观、准确性,还需要进一步的探讨。

参考文献

[1] ELLOUZE M, AUGUSTIN J C. Applicability of biological time temperature integrators as quality and safety indicators for meat products[J]. International Journal of Food Microbiology, 2010, 138(1/2): 119-129.

[2] THEOFANIA Tsironi, ANASTASIOS Stamatou, MARIAN-

NA Giannoglou, et al. Predictive modelling and selection of time temperature integrators for monitoring the shelf life of modified atmosphere packed gilthead seabream fillets[J]. LWT-Food Science and Technology, 2011, 44(4): 1 156-1 163.

[3] 潘治利, 黄忠民, 王娜. BP 神经网络结合有效积温预测速冻水饺变温冷藏货架期[J]. 农业工程学报, 2012, 28(22): 276-281.

[4] CARDELLI C, LABUZA T E. Application of weibull hazard analysis to the determination of the shelf life of roasted and ground coffee[J]. Lebensm Wissu Technol, 2001, 34(3): 273-278.

[5] 雷志方, 谢晶. 金枪鱼基于理化指标的货架期预测模型的建立[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(11): 185-191.

[6] 宋晨, 刘宝林, 王欣, 等. 花椰菜在不同贮藏温度下的品质变化及货架期预测[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(11): 168-171.

[7] 陈晓宇, 朱志强, 张小栓, 等. 食品货架期预测研究进展与趋势[J]. 农业机械学报, 2015, 46(8): 192-199.

[8] NELSON K, LABUZA T P. Water activity and food polymer science: implications of state on Arrhenius and WLF models in predicting shelf life[J]. Journal of Food Engineering, 1994, 22 (1): 271-190.

[9] 段文佳, 史铭偏, 孟佳敏, 等. 试论货架期内葡萄酒感官品质的稳定[J]. 酿酒科技, 2014(7): 75-77.

[10] 武杰, 张引成, 李梅玲, 等. 3 种处理方式对冬枣货架期品质的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(6): 278-282.

[11] 邹晴晴, 刘雪君, 王慧玲, 等. 猪油曲奇饼干货架期预测模型的建立[J].食品与机械, 2017, 33(2): 121-125.

[12] 黄幸幸, 陈明, 葛艳, 等. 南美白对虾货架期预测指标选择及模型研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(4): 109-116.

[13] 熊发祥, 但晓容, 邓冕, 等. 盐渍榨菜货架期预测动力学模型研究[J]. 食品科学, 2010, 31(5): 116-120.

[14] 岳元媛, 田艳. 不同风味烧烤盐货架期分析[J]. 食品与机械, 2016, 32(5): 127-136.

[15] 金雅芳, 邓云. 高静压处理对鲑鱼品质及货架期稳定性变化的影响[J]. 食品与机械, 2015, 31(3): 135-139.

[16] 张丽平, 余晓琴, 童华荣. Weibull 模型在板鸭货架期预测中的应用[J]. 食品科技, 2010, 35(2): 111-113.

[17] 曹平, 于燕波, 李培荣. 应用 Weibull Hazard Analysis 方法预测食品货架期[J]. 食品科学, 2007, 28(8): 487-491.

[18] BOOR K J. Fluid dairy product quality and safety[J]. Journal of Dairy Science, 2001, 84(1): 1-11.

[19] CHAPMAN K W, LAWLESS H T, BOOR K J. Quantitative descriptive analysis and principal component analysis for sensory characterization of ultrapasteurized milk[J]. Journal of Dairy Science, 2001, 84(1): 12-20.

[20] HOUGH G, LANGOHR K, GOMEZ G, et al. Survival analysis applied to sensory shelf life of foods[J]. Journal of Food Science, 2003, 68(1): 359-362.

[21] LABUZA T P. Temperature/enthalpy/entropy/compensation in food reactions[J]. Food Technol, 1980, 34(2): 67-69.

[22] JACKSENS L, DEVLIEGHERE F, DEBEVERE J. Temperature dependence of shelf-life as affected by microbial proliferation and sensory quality of equilibrium modified atmosphere packaged fresh produce[J]. Postharvest Biology and Technology, 2002, 26(1): 59-73.