

# 高透光率青梅浓缩汁贮藏过程颜色的动力学研究

郑宝东<sup>1</sup>, 李怡彬<sup>2</sup>, 张 怡<sup>1</sup>, 孟 鹏<sup>1</sup>

(1. 福建农林大学食品科学技术研究所, 福州 350002; 2. 福建省农业科学院农业工程技术研究所, 福州 350003)

**摘 要:** 该文研究了高透光率青梅浓缩汁在贮藏过程中吸光度与贮藏温度、贮藏时间的关系, 建立了颜色变化动力学模型, 为高透光率青梅浓缩汁贮藏条件的优化控制及保质期预测提供了科学依据。结果表明: 高透光率青梅浓缩汁的吸光度变化(A<sub>0</sub>- A)符合 Arrhenius 模型, 且为零级反应, 其反应常数 K<sub>0</sub> 为 1.13×10<sup>7</sup>, 活化能 E<sub>a</sub> 为 59.89 kJ/mol。经验证, 该模型预测值与试验实测值的相关系数达 0.999, 表明该模型是合适有效的。

**关键词:** 高透光率; 青梅浓缩汁; 吸光度; 颜色变化动力学模型

**中图分类号:** TS255.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1002-6819(2006)12-0242-03

郑宝东, 李怡彬, 张 怡, 等. 高透光率青梅浓缩汁贮藏过程颜色的动力学研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(12): 242- 244.

Zheng Baodong, Li Yibin, Zhang Yi, et al. Color kinetics of high transparency green plum juice concentrate during storage[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(12): 242- 244. (in Chinese with English abstract)

## 0 引 言

近年来,越来越多的消费者喜欢饮用纯青梅汁或以青梅汁兑其他饮品(如酒、果汁等)的饮料,由此形成青梅原汁及青梅浓缩汁的市场需求。然而青梅汁在贮藏过程很容易发生褐变反应,使其营养价值下降、风味变差、色泽加深,对于高透光率青梅浓缩汁,其色泽变化尤为明显,严重影响产品的商品价值。而褐变反应的复杂性和包含的多种化合物使得用简单的化学分析方法描述反应过程显得十分困难<sup>[1]</sup>,从而使准确预测青梅浓缩汁的贮藏期或合理确定其贮藏温度显得更加困难。

有关食品在贮藏加工过程中的动力学研究在国内外报道较多<sup>[2-5]</sup>,大多数都从动力学变化的角度研究食品品质的损失。透光率是青梅浓缩汁的主要质量指标之一<sup>[6]</sup>,颜色变深导致透光率下降是浓缩青梅汁贮藏期间最常见的质量问题<sup>[7]</sup>。对浓缩青梅汁在贮藏过程中的透光率变化进行测定,并进行颜色变化动力学研究,不仅可以实现对产品颜色的快速、无破坏、无损伤检测,还可以为贮藏过程的优化控制、实验数据的模拟放大等提供很有价值的数学依据。因此,本文在研究不同青梅品种加工品质<sup>[6]</sup>和高透光率青梅汁浓缩过程中流变特性<sup>[8]</sup>的基础上,分析和研究高透光率青梅浓缩汁在贮藏过程中的颜色变化动力学模型,为贮藏条件的优化控制及保质期预测提供科学依据。

## 1 颜色动力学理论

食品品质的好坏可以用品质因子来描述,而品质因子 Q(如色泽、硬度及固形物等)的变化速率(损失率)可以表示为

$$\pm \frac{dQ}{dt} = K \cdot Q^n \quad (1)$$

式中 ±——品质因子的浓度随时间的增加而变化的方向,增大取“+”,减小则取“-”。青梅汁随着贮藏时间的延长,其色泽变深,所以取“+”; K——变化速率常数; t——贮藏时间; n——反应级数。

大多数食品的质量与时间关系表现出零级或一级的反应,

即 n = 0 或 1<sup>[7]</sup>, 动力学方程分别如下:

$$\text{零级反应: } K \cdot t = Q_0 - Q \quad (2)$$

$$\text{一级反应: } K \cdot t = \ln Q_0 - \ln Q \quad (3)$$

而变化速率常数 K 值与温度的关系一般符合 Arrhenius 方程形式<sup>[8,9]</sup>

$$K = K_0 \cdot \exp(-E_a/RT) \quad (4)$$

式中 K<sub>0</sub>——方程常数; E<sub>a</sub>——活化能; R——气体常数; T——绝对温度。

由式(1)和式(4),可得

$$\frac{dQ}{dt} = K \cdot Q^n = K_0 \cdot \exp(-E_a/RT) \cdot Q^n \quad (5)$$

对式(5)求积分后,可得食品贮藏过程中的品质变化通用动力学模型

$$F(Q) = Kt = K_0 \cdot \exp(-E_a/RT) \cdot t \quad (6)$$

上述反应式中的 Q 表示品质因子,可用吸光度代替。

## 2 材料与方 法

### 2.1 试验材料与仪器

青梅浓缩汁:由福州大世界天然食品有限公司提供,样品规格见表 1。

UV-2000 型紫外可见分光光度计(上海仪器有限公司)。

表 1 高透光率青梅浓缩汁的主要特性

Table 1 Main properties of high transparency green plum juice concentrate

	可溶性固形物 含量/°Brix	吸光度	透光率 /%	总酸(以柠檬酸计) /%
高透光率 青梅浓缩汁	66	0.132	97.5	35

注:吸光度为样品稀释至 6°Brix, 波长为 410 nm 时测得;透光率为样品稀释至 6°Brix, 波长为 625 nm 时测得。

### 2.2 处理方法

青梅浓缩汁分别贮藏于 45℃、55℃、65℃恒温条件下,温度波动为±0.5℃。

### 2.3 吸光度测定

高透光率青梅浓缩汁分别装于具塞试管中,放入不同温度恒温箱内保温贮藏,每隔一段时间取出两支试管,分别加蒸馏水稀释至 6°Brix,用紫外可见分光光度计在 410 nm 波长下测定吸光度 A<sub>410</sub>。

收稿日期:2005-10-31 修订日期:2006-06-06

基金项目:福建省技术创新项目(2003- 294 号);福建省重大科技攻关项目(2003S006)

作者简介:郑宝东(1967- ),男,福建福州人,博士,教授,从事食品工艺学方面的研究。福州 福建农林大学食品科技研究所,350002。Email: zhdst@163.com

### 3 结果与分析

#### 3.1 反应级数 (n) 的确定

图 1 是高透光率青梅浓缩汁在贮藏过程中吸光度  $A_{410}$  与贮藏时间  $t$  的关系。从图 1 可以看出  $A_{410}$  与时间  $t$  近似成直线关系, 相关系数  $r^2$  达到 0.99 以上。根据式 (2) 可得高透光率青梅浓缩汁在贮藏中发生的褐变反应为零级反应, 即  $n = 0$ 。

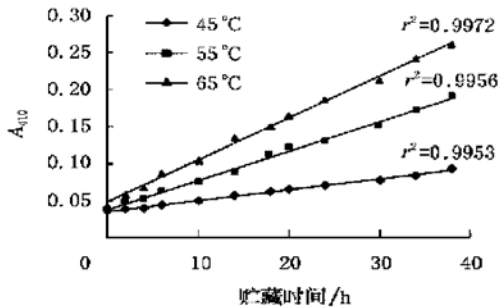


图 1 吸光度与贮藏时间的关系

Fig. 1 Relationship between absorbency and storage time

#### 3.2 反应速度常数 K 的确定

由  $A_{410}$  与时间  $t$  成线性关系可知, 图 (1) 中各条直线的斜率就是不同温度下的反应速度常数。对  $A_{410}$  与  $t$  进行线性回归分析和相关分析, 可得 3 种不同温度下的反应速率常数及其相关系数, 见表 2。

表 2 不同温度下的反应速度常数和相关系数

Table 2 Reaction rate constant and its coefficient at different temperatures

温度/°C	反应速度常数 K	相关系数( $r^2$ )
45	$1.5 \times 10^{-3}$	0.995
55	$3.9 \times 10^{-3}$	0.996
65	$5.7 \times 10^{-3}$	0.997

#### 3.3 反应活化能 (Ea) 的确定

将式 (4) 左右两边取对数, 得

$$\ln K = \frac{Ea}{R} \cdot \frac{1}{T} + \ln K_0 \quad (7)$$

由上式知  $\ln K$  与  $1/T$  成线性关系。取表 2 中数据, 对  $\ln K$  与  $1/T$  进行线性回归分析, 得回归方程为

$$\ln K = -7203.75 \cdot \frac{1}{T} + 16.237 \quad (8)$$

计算得活化能  $Ea = 59.89 \text{ kJ/mol}$ ,  $K_0 = 1.13 \times 10^7$ 。

#### 3.4 高透光率青梅浓缩汁贮藏期的预测模型

根据青梅浓缩汁在贮藏过程中吸光度的变化, 结合公式 (6) 可得到高透光率青梅浓缩汁贮藏过程中颜色变化动力学模型

$$F(Q) = Kt = K_0 \cdot \exp(-Ea/RT) \cdot t = A_0 - A \quad (9)$$

$$\text{即 } t = \frac{A_0 - A}{K_0 \cdot \exp(-Ea/RT)} \quad (10)$$

式中  $A_0$ ——高透光率青梅浓缩汁初始吸光度;  $A$ ——高透光率青梅浓缩汁贮藏  $t$  时间后的吸光度。

将活化能  $Ea = 59.89 \text{ kJ/mol}$ , 反应常数  $K_0 = 1.13 \times 10^7$  代入式 (10) 可得

$$t = \frac{A_0 - A}{1.13 \times 10^7 \cdot \exp(-59.89/RT)} \quad (11)$$

式 (11) 可用来预测高透光率青梅浓缩汁的贮藏期。

#### 3.5 模型的验证

为了检验模型方程 (11) 的有效性, 进行了验证试验, 其结果

见表 3。

表 3 模型的验证结果

Table 3 Verified results of the model equation

试验组别	因变量			应变量 t	
	$A_0$	A	T	实测值	预测值
1	0.124	0.167	25	112	123
2	0.124	0.371	4	4323	4296
3	0.124	0.186	-18	10080	10151
4	0.128	0.342	25	587	596
5	0.128	0.248	4	2160	2097
6	0.128	0.221	-18	15394	15348
7	0.132	0.501	25	995	1027
8	0.132	0.211	4	1403	1384
9	0.132	0.243	-18	18126	18213

利用 SPSS 11.0 对表 3 中实测值和预测值进行数据的相关性分析, 实测值和预测值的相关系数为 0.999, 表明该模型是合适有效的。

国际市场对青梅浓缩汁质量要求很高, 稀释至 6°Brix 时的青梅浓缩汁透光率 T 须在 85% 以上才能达到出口要求。如果以透光率 T 为 90% 的等级出口, 其对应的吸光度为 0.253, 而青梅浓缩汁初始吸光度  $A_{410}(6^\circ\text{Brix}) = 0.124$ , 当浓缩汁置于  $-18^\circ\text{C}$  的冷库中贮藏时, 则可根据  $A_{410}$  的变化量 ( $A_0 - A = 0.124 - 0.253 = -0.129$ ) 计算出该温度下的理论贮藏期, 约为  $2.127 \times 10^4 \text{h}$  (约 30 个月)。经验证, 在该温度下青梅浓缩汁实际贮藏期为  $1.821 \times 10^4 \text{h}$  (约 25 个月)。可见, 实际贮藏期与理论贮藏期较为接近。因此, 可根据产品的实际质量要求, 利用该颜色变化动力学模型, 选择最经济合理的贮藏温度和贮藏期。

### 4 结论

1) 通过研究高透光率青梅浓缩汁在贮藏过程中吸光度  $A_{410}$  与贮藏时间  $t$  的关系, 可以得出青梅浓缩汁在贮藏中发生的褐变反应为零级反应。

2) 本试验利用化学动力学原理建立了青梅浓缩汁贮藏过程中颜色动力学模型:  $t = \frac{A_0 - A}{K_0 \cdot \exp(-Ea/RT)}$ , 其中活化能  $Ea = 59.89 \text{ kJ/mol}$ , 反应常数  $K_0 = 1.13 \times 10^7$ 。

通过青梅浓缩汁贮藏过程中颜色动力学模型, 可确定不同等级的青梅浓缩汁的贮藏期及贮藏温度, 为生产提供指导。

#### [参考文献]

- [1] 陆美华, 宋海燕. 化学动力学在高澄清度浓缩苹果汁贮藏研究中的应用[J]. 软饮料工业, 1993, (2): 5-9.
- [2] Ahmed J, Shivhare U S, Raghavan G S V. Rheological characteristics and kinetics of colour degradation of green chilli puree[J]. J Food Engineer, 2000, 44: 239-244.
- [3] Avila I, Silva C L M. Modeling kinetics of thermal degradation of colour in peach puree[J]. J Food Engineer, 1999, 39: 161.
- [4] De Belie N, Schotte S, Coucke P, et al. Development of an automated monitoring device to quantify changes in firmness of apples during storage[J]. Post-Harvest Biol Technol, 2000, 18(1): 1-8.
- [5] Thai C N, Shewfelt R L. Peach quality changes at different constant storage temperatures: empirical models[J]. Trans of the ASAE, 1990, 33(1): 227-233.
- [6] 郑宝东, 孟鹏, 郑金贵. 不同青梅品种果汁加工品质比较研究[J]. 福建农业学报, 2005, 20(1): 61-64.
- [7] 马霞, 关凤梅, 郭利美, 等. 果汁非酶褐变及其影响因子[J]. 山东食品发酵, 2002, 1: 14-18.

- [8] 郑宝东, 孟 鹏. 高透光率青梅汁浓缩过程中流变特性的研究[J]. 中国食品学报, 2005, 5(2): 43- 47.
- [9] 汪 琳, 应铁进. 番茄果实采后贮藏过程中的颜色动力学模型及其应用[J]. 农业工程学报, 2001, 17(3): 118- 121.
- [10] 许兴才. 浓缩苹果清汁在贮藏过程中的颜色变化动力学[J]. 食品科学, 1997, 18(6): 17- 22.

## Color kinetics of high transparency green plum juice concentrate during storage

Zheng Baodong<sup>1</sup>, Li Yibin<sup>2</sup>, Zhang Yi<sup>1</sup>, Meng Peng<sup>1</sup>

(1. Institute of Food Science and Technology, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China;

2. Institute of Agricultural Engineering and Technology, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350003, China)

**Abstract:** In order to lay a theoretical basis for optimizing the storage temperature and predicting the storage time of high transparency green plum juice concentrate, the relationships among storage temperature, storage time and absorbency of high transparency green plum juice concentrate were studied. And the kinetics model of color changes was established. Results show that the change of absorbency of high transparency green plum juice concentrate is assumed to have an Arrhenius-type, and follows a zero-order reaction in storage. The rate constant ( $K_0$ ) is  $1.13 \times 10^7$  and activation energy ( $E_a$ ) is 59.89 kJ/mol. The coefficient between theoretical value and experimental value is 0.999, which indicates that this kinetics model of color is logical and effective.

**Key words:** high transparency; green plum juice concentrate; absorbency; kinetics model of color