

张福生,何成芳,朱鸿杰. 基于腐烂指数的草莓采后货架期预测模型[J]. 江苏农业科学,2016,44(2):320-323.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.02.094

# 基于腐烂指数的草莓采后货架期预测模型

张福生,何成芳,朱鸿杰

(安徽省农业科学院农产品加工研究所,安徽合肥 230031)

**摘要:**为了解采后草莓(*Fragaria ananassa* Duch.)贮藏过程中的腐烂指数的变化、货架期与贮藏温度的关系,将红颜草莓贮藏于不同温度(273、278、283、288、293、298 K)下,测定其腐烂指数的变化。结果表明,零级反应对草莓腐烂指数的变化具有较高的拟合精度。应用 Arrhenius 方程,建立了草莓腐烂指数与贮藏温度、时间之间的动力学预测模型,活化能( $E_a$ )及速率常数( $k_f$ )分别为: $E_a = 5.82 \times 10^4 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ 、 $k_f = 1.71 \times 10^{11} \exp(-7.0 \times 10^3/T)$ 。在 275、280、285、290、295、300 K 贮藏温度下,对该模型进行验证,结果表明,预测的相对误差(RE)为 5.89%,预测精度较高,模型可以接受。对基于果实腐烂指数的货架期预测模型,经验证相对误差均在  $\pm 10\%$  以内,可以较好地预测 273 ~ 300 K 贮藏温度下草莓果实贮藏过程中的货架期。

**关键词:**草莓;贮藏;腐烂指数;货架期;预测模型

**中图分类号:** TS255.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)02-0320-03

草莓(*Fragaria ananassa* Duch.)属蔷薇科浆果类,果实色泽鲜艳,风味浓郁,营养价值高,深受人们喜爱。但由于草莓含水量高,无外皮保护,组织娇嫩,不耐压,极不耐贮藏,在采摘贮藏过程中易受机械损伤和微生物侵染,导致草莓腐烂变质、风味丧失,失去商品价值<sup>[1]</sup>。采摘、预冷处理、人工分级、包装、运输和销售等因素易导致果实机械损伤,对草莓机械损伤和腐烂至今仍缺乏有效的应对方法。研究表明,草莓采后货架期主要取决于 3 个因素:保持环境湿度、减缓成熟和衰老的生理过程、避免微生物侵染和发展。湿度过低、温度过高时,果实软化、皱缩、褐变。采后腐烂是影响采后草莓鲜销品质的主要问题。因此,延长草莓采后货架期的关键在于控制腐烂的发生。温度越高,草莓果实腐烂越快,货架期越短。室温条件下,草莓果实采摘后 2 h 左右果面即出现水渍斑,放置 1 ~ 2 d 即失去光泽,色泽变暗,果面收缩,品质下降<sup>[2]</sup>。贮藏及时预冷、控制相对湿度(RH, 90% ~ 95%)、低温冷链贮藏是目前减轻草莓采后腐烂、延长其货架期最有效方法<sup>[3]</sup>。

安徽省合肥市草莓产业经过近 10 年发展,基本解决了育苗、病害、重茬等技术难题,种植面积已经达到 1.5 万  $\text{hm}^2$ ,其中长丰草莓种植面积 1.4 万  $\text{hm}^2$ 。长丰县已发展为全国连片设施栽培草莓面积最大的县,长丰草莓获得“国家地理标志保护产品”称号。草莓经济价值高,采后腐烂是限制果实货架期最重要的因素之一,也是导致草莓采后损失的最重要原因。减少草莓在贮藏过程中的腐烂损失,是草莓采后保鲜迫切需要解决的重要问题之一。另外,鲜食草莓在贮藏流通中,采摘、分级、包装、运输、销售等环节控制不严,将导致严重的质量安全问题。因此,监测草莓流通过程中果实的品质变化

(新鲜度)和质量风险显得十分重要。

通常认为,生鲜果蔬在贮藏过程中品质败坏是由化学反应引起的,以该品质变化表示的货架寿命数据大多遵循零级或一级模式<sup>[4]</sup>。在此基础上,结合 Arrhenius 关系式,建立鲜活农产品品质变化的动力学预测模型,进而对流通中的农产品品质、货架期进行预测,降低流通成本,减少损失,这也是目前国内外农产品物流保鲜研究的热点<sup>[5-11]</sup>。Hertog 等建立了以果面霉斑为腐烂标准的草莓果实腐烂预测模型,对气调包装的草莓鲜果腐烂状况进行了预测<sup>[12]</sup>,但该模型受草莓品种及贮藏条件等因素影响,导致模型应用范围较窄。本研究探讨不同贮藏温度(273、278、283、288、293 K)下草莓采后果实腐烂指数的变化情况,获得腐烂指数随时间、温度变化的规律,建立相应的预测模型,旨在为监测草莓贮藏、流通过程中品质变化提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试草莓品种为红颜,购自长丰县艳九天农业科技有限公司种植基地,当天采后 3 h 内用车载冰箱运回实验室。挑选无机械伤、无腐烂、八成成熟的果实,随机分为 3 组,每组约 2 kg。摊开风凉后,分装于保鲜盒中,每盒 30 个果实。模型建立组分别贮藏于 273、278、283、288、293 K 5 个不同温度(RH 90% ~ 95%)。273、278 K 每隔 2 d 测定其腐烂状况,283、288 K 每隔 1 d 测定其腐烂状况,293 K 每隔 12 h 测定其腐烂状况。每个温度下每个时间点取 10 个果实,重复 3 次,整个试验重复 2 次。检验组模型:分别贮藏于 275、280、285、290、295、300 K 下(RH 90% ~ 95%)。275、280 K 每隔 2 d 测定其腐烂指数,285、290 K 每隔 1 d 测定其腐烂指数,295、300 K 每隔 12 h 测定其腐烂指数。每个温度下每个时间点取 10 个果实,重复 3 次,整个试验重复 2 次<sup>[13]</sup>。

### 1.2 腐烂指数测定

参照陈学红等的方法<sup>[14]</sup>测定腐烂指数。每处理随机取 3

收稿日期:2015-01-08

基金项目:安徽省农业科学院学科建设项目(编号:13A1221)。

作者简介:张福生(1980—),男,山东惠民人,硕士,助理研究员,主要从事农产品贮藏与加工研究。Tel: (0551) 65160822; E-mail: zhangfusheng@gmail.com。

盒。按下式计算腐烂指数:

腐烂指数 =  $\sum[(\text{腐烂级别} \times \text{该级果实数}) / (\text{最高腐烂级别} \times \text{总果实数})] \times 100\%$ 。

### 1.3 数据处理

以上各指标均重复测定 3 次,用 OriginPro 8 软件处理数据,用 SAS 软件 8.2 进行方差分析 (ANOVA),采用邓肯氏法进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 模型的建立

**2.1.1 贮藏温度对草莓腐烂的影响** 低温可显著抑制草莓腐烂指数上升。苏新国等研究发现,菜用大豆贮藏温度越高,腐烂指数也越高<sup>[15]</sup>。在西兰花、青花菜贮藏中也得到同样的研究结论<sup>[16-17]</sup>。采后草莓腐烂是影响果实货架期、商品品质的主要指标,贮藏温度越高,草莓果实腐烂越快,货架期越短。由图 1 可知,293 K 下,采后草莓从 36 h 起腐烂指数迅速上升,第 3 天腐烂指数急剧上升至 31%,丧失商品价值。288、283、278、273 K 下草莓分别于贮藏后第 3 天、第 3 天、第 4 天、第 8 天前腐烂指数上升缓慢,之后腐烂指数上升迅速,分别于第 8 天、第 10 天、第 16 天、第 20 天贮藏期结束。273 K 下草莓贮藏期较 20℃ 下延长 17 d,说明低温可以显著抑制草莓果实腐烂的发生,延长货架期。低温贮藏 (275~278 K) 可减少草莓病原菌感染,降低草莓呼吸强度,延缓衰老,延长草莓贮藏期。

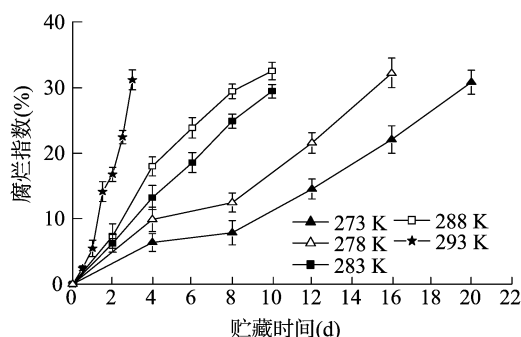


图1 贮藏时间、贮藏温度对草莓果实腐烂指数的影响

**2.1.2 草莓果实采后腐烂指数动力学预测模型的建立** 贮藏加工中,大多数果蔬品质损失的动力学变化与时间关系表现为零级或一级的化学反应方程式。

零级反应化学方程式为:

$$A_t = A_0 + kt; \quad (1)$$

一级反应化学方程式为:

$$\ln(A_t) = \ln(A_0) + kt. \quad (2)$$

式中: $A_t$  表示果蔬在任意时刻的品质; $A_0$  表示果蔬的初始品质 ( $t=0$ ); $k$  表示与温度有关品质降解常数; $t$  表示时间。

假设草莓果实腐烂指数的变化是零级或一级反应,根据模型作草莓果实腐烂指数随时间变化规律图 (图 1),采用 OriginPro 8 软件处理数据,分别应用公式 (1)、公式 (2) 对数据进行线性回归,所得直线的斜率即为该温度下零级反应的反应速率、一级反应的反应速率。按照零级反应,图 1 中 273 K 下草莓果实腐烂指数线性回归方程为:  $y = 1.4004x$ , 决定系数为  $r^2 = 0.9608$ ; 按照一级反应,其回归方程为  $y =$

$0.2664 \ln x + 0.9809$ , 决定系数为  $r^2 = 0.9423$ 。表 1 为将各温度下草莓腐烂指数变化分别以零级或一级反应时获得的决定系数。

表 1 零级或一级方程的线性回归决定系数

反应级数	决定系数					
	273 K	278 K	283 K	288 K	293 K	平均
零级	0.960 8	0.970 6	0.981 8	0.939 2	0.955 2	0.963 0
一级	0.942 3	0.930 1	0.961 5	0.910 4	0.950 3	0.939 0

表 1 中以零级或一级反应的决定系数平均值分别为 0.963 0、0.939 0。由此可知,以零级方程来描述采后草莓腐烂指数优势较为显著,各温度下所拟合回归方程  $r^2$  均大于 0.90。因此,本研究采用零级反应描述采后草莓腐烂指数变化。

$$F_t = F_0 + k_f t. \quad (3)$$

式中: $F_t$  表示贮藏期间某一温度、某一时间的腐烂指数,%;  $F_0$  表示草莓的初始腐烂指数 ( $t=0$ ),即  $F_0=0$ ;  $k_f$  表示变化速率常数,与贮藏温度、产品的种类及品种相关; $t$  表示时间,d。

公式 (3) 中变化速率常数  $k_f$  值可由 Arrhenius 方程 ( $k = A \times \exp(-E_a/RT)$ ) 求得。式中: $A$  表示 Arrhenius 因子或指前因子; $R$  表示通用气体常数:  $8.314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ ;  $T$  表示绝对温度,K; $E_a$  表示活化能 (activation energy),  $\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ 。作  $\ln k_f - 1/T$  图,依据直线的斜率和截距分别可获得  $E_a$ 、 $A$  值 (图 2)。 $E_a = 5.82 \times 10^4 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ ,  $A = 1.71 \times 10^{11}$ ,  $k_f = A \times \exp(-E_a/RT) = 1.71 \times 10^{11} \exp(-7.0 \times 10^3/T)$ 。

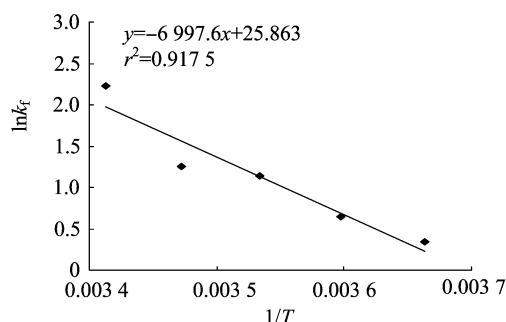


图2 贮藏温度对草莓腐烂指数变化速率常数  $k_f$  的影响

**2.1.3 草莓果实腐烂指数预测模型的建立** 根据模型建立组测得的腐烂指数随时间变化的数据 (图 1),果实腐烂指数与温度、时间的零级反应预测模型为:

$$F_t = [1.71 \times 10^{11} \exp(-7.0 \times 10^3/T)] \times t. \quad (4)$$

式中: $F_t$  表示腐烂指数,%;  $T$  表示绝对温度,K; $t$  表示时间,d。

### 2.2 模型的验证

**2.2.1 模型检验方法** 参考周艳宝等的方法<sup>[18]</sup>,采用决定系数  $R^2$  和相对预测误差 (relative prediction error, RE) 对预测值、实测值进行符合度分析。用公式 (5) 计算 RE。

$$RE = (\text{回归估计标准误} / \text{实测样本平均值}) \times 100\%. \quad (5)$$

用公式 (6) 计算回归估计标准误 (RMSE)<sup>[19]</sup>。

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_{e_i} - V_{p_i})^2}{n}}. \quad (6)$$

式中: $V_{e_i}$ 、 $V_{p_i}$  分别表示试验的实测值、模型预测值; $n$  表示样本数; $i$  表示样本序号。

2.2.2 模型的检验 用模型检验组的数据,由公式(4)求得不同贮藏温度下各个时间点果实的腐烂指数预测值,将其与实测值相比较。从图 3 可知,腐烂指数预测值和实测值基于 1:1 线的决定系数  $R^2 = 0.986\ 6$ ,  $RE = 5.98\%$ 。 $RE$  小于 10%,表明此预测模型能较为精确地预测 273~300 K 范围内草莓腐烂指数的变化情况。

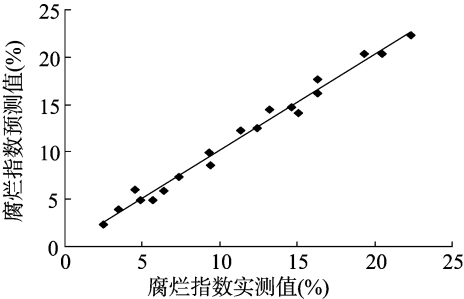


图3 腐烂指数预测模型预测值与实测值的相关性

2.3 草莓果实货架期预测模型的建立及验证

2.3.1 货架期模型的建立 由腐烂指数动力学预测模型恒等变形获得草莓采后不同贮藏温度下的货架期预测模型 (shelf life,SL):

$$SL = F_i / [1.71 \times 10^{11} \exp(-7.0 \times 10^3 / T)]$$
 (7)

式中:SL 表示货架期,d; $F_i$  表示采后草莓货架期结束时的腐烂指数; $T$  表示贮藏温度,K。

Fernando 等研究认为,当草莓采后腐烂指数达到 30% 时,失去其商品价值,货架期结束。

2.3.2 货架期预测模型的验证 用模型检验组的数据,由公式(7)求得不同贮藏温度下采后草莓的货架期预测值,将其与实测值相比较。由表 2 可知,不同贮藏温度下货架期预测值与实测值的相对误差在  $\pm 10\%$  以内。因此,由此模型可较为准确可靠地预测 273~300 K 贮藏温度下采后草莓的货架期。

表 2 草莓在不同贮藏温度下货架期的预测值\实测值

贮藏温度 (K)	货架期(d)		相对误差 (%)
	预测值	实测值	
275	19.9	18.50	7.04
280	12.63	13.00	2.91
285	8.15	8.00	1.81
290	5.33	5.25	1.58
295	3.54	3.25	1.22
300	2.39	2.25	4.78

3 结论与讨论

农产品在贮运、加工中品质会发生变化,品质变化和贮藏温度密切相关。因而通过寻求温度和品质指标及货架期间的关系,可以建立农产品货架期的预测模型。由机械损伤和微生物侵染导致的组织腐烂是限制草莓等浆果采后流通的主要原因。本研究结果表明,贮藏温度越高,草莓果实腐烂越严重,果实腐烂指数和贮藏温度、时间之间存在显著的线性关系。采后草莓果实腐烂指数变化与贮藏温度和时间之间符合零级动力学反应,应用 Arrhenius 方程得出其对温度敏感的速率常数  $k_t$ ,这与前人研究结果一致<sup>[20~21]</sup>。气调贮藏下嫩茎花

椰菜的叶绿素、维生素 C 的降解变化为一级动力学反应<sup>[22]</sup>。热处理芦笋软化和表面绿色的变化也为一级动力学反应<sup>[23]</sup>。邓云等建立了采后葡萄的硬度和货架期预测模型,并模拟冷藏和货架期对其进行了验证<sup>[24]</sup>。刘敏等获得了不同贮藏温度下莧菜感官评分/贮藏时间的线性回归方程,应用 TTT 原理对经历不同温度和时间历程后莧菜的品质损失量货架期余量进行了预测<sup>[25]</sup>。本研究建立的基于草莓果实腐烂指数的预测模型可以较好地预测 273~300 K 温度范围内草莓果实的腐烂状况,预测的  $RE$  为 5.98%,说明应用该模型来预测草莓流通过程中果实的腐烂状况切实可行。

草莓果实腐烂指数和贮藏温度、时间之间存在显著的线性关系。本研究基于 Arrhenius 方程式建立了果实腐烂指数预测模型,并对其恒等变形成得到其货架期预测模型,在 273~300 K 下对 2 个模型进行了验证,预测结果均可接受。以建立的果实腐烂指数预测模型为基础,结合产品的初始品质和物流微环境中温度等数据,建立草莓果实货架期预测系统,为实现监测物流过程中草莓腐烂状况和剩余货架期、降低采后损耗、保证产品品质提供了依据。

参考文献:

[1] Schouten R E, Kessler D, Orcaray L, et al. Predictability of keeping quality of strawberry batches [J]. Postharvest Biology and Technology, 2002, 26(1): 35-47.

[2] 张红印, 王雷, 姜松, 等. 热水处理对草莓采后病害的抑制作用及对贮藏品质的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(8): 270-273.

[3] 钱玉梅, 高丽萍, 张玉琼, 等. 低温处理对草莓贮藏品质的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2006, 33(2): 268-271.

[4] 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.

[5] 李苗云, 孙灵霞, 周光宏, 等. 冷却猪肉不同贮藏温度的货架期预测模型[J]. 农业工程学报, 2008, 24(4): 235-239.

[6] 王璋, 许时婴, 江波, 等. 食品化学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2003: 853-855.

[7] Hough G, Garitta L, Gómez G. Sensory shelf-life predictions by survival analysis accelerated storage models [J]. Food Quality and Preference, 2006, 17(6): 468-473.

[8] Fu B, Labuza T P. Shelf-life prediction: theory and application [J]. Food Control, 1993, 4(3): 125-133.

[9] Nourian F, Ramaswamy H S, Kushalappa A C. Kinetics of quality change associated with potatoes stored at different temperatures [J]. Food Science and Technology, 2003, 36(1): 49-65.

[10] Corradini M G, Peleg M. Prediction of vitamins loss during non-isothermal heat processes and storage with non-linear kinetic models [J]. Trends in Food Science & Technology, 2006, 17(1): 24-34.

[11] Yan Z Y, Sousa - Gallagher M J, Oliveira F A R. Mathematical modelling of the kinetic of quality deterioration of intermediate moisture content banana during storage [J]. Journal of Food Engineering, 2008, 84(6): 359-367.

[12] Hertog M M, Boerrigter H A, van den Boogaard G M, et al. Predicting keeping quality of strawberries (cv. 'Elsanta') packed under atmospheres: an integrated model approach [J]. Postharvest Biology and Technology, 1999, 15(1): 1-12.

王峰, 张征, 赵春晓, 等. 小麦粉中多环芳烃的污染特征及评价[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(2): 323–326.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.02.095

# 小麦粉中多环芳烃的污染特征及评价

王峰<sup>1</sup>, 张征<sup>1</sup>, 赵春晓<sup>2</sup>, 刘佳宁<sup>1</sup>, 孟列群<sup>1</sup>, 蔡晶<sup>2</sup>

(1. 江苏省食品药品监督检验研究院, 江苏南京 210008; 2. 江苏省产品质量监督检验研究院, 江苏南京 210007)

**摘要:**优化了小麦粉中多环芳烃(PAHs)的提取方法,利用高效液相色谱法对30份小麦粉样本进行18种PAHs含量测定,以苯并[a]芘毒性为当量因子,分析小麦粉中PAHs污染特征。结果表明,采用正己烷直接提取小麦粉中PAHs,方法简单,提取效果较好。小麦粉中4种PAHs总量范围为0.93~8.64 μg/kg;18种PAHs的总量范围为6.29~80 μg/kg;苯并[a]芘的含量范围为0~1.08 μg/kg。本研究中30份样本均能达到我国国家标准对小麦粉中苯并[a]芘限量要求,均能达到德国安全技术认证(GS认证)对18种PAHs限量要求,但有1份小麦粉超出欧盟[Regulation(EC) No. 835/2011]对苯并[a]芘限量要求,10份小麦粉超出4种PAHs限量要求,对人体存在一定健康风险。污染特征分析表明,虽然小麦粉中PAHs主要由2~3环PAHs构成,但小麦粉的毒性主要是由5~6环PAHs贡献。

**关键词:**小麦粉;多环芳烃(PAHs);污染特征;评价

**中图分类号:** TS207.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)02-0323-04

多环芳烃(polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)是一类由2个及以上苯环组成的持久性有机污染物(POPs),具有致癌、致畸和致突变性<sup>[1-3]</sup>,美国、欧盟、德国和我国对多环芳烃都有严格要求,但对PAHs种类和含量要求不相同。欧盟Regulation(EC) NO. 835/2011对谷物及制品限定4种PAHs( $\Sigma 4\text{PAHs}$ ) $\leq 1.0 \mu\text{g/kg}$ 和苯并[a]芘 $\leq 1.0 \mu\text{g/kg}$ <sup>[4]</sup>;美国将16种PAHs列为优先控制名单<sup>[5]</sup>;德国GS认证规定与食物接触的材料、直接放入口中的材料中18种PAHs( $\Sigma 18\text{PAHs}$ ) $\leq 0.2 \text{ mg/kg}$ <sup>[6]</sup>;我国限定谷物及制品苯并[a]芘 $\leq 5.0 \mu\text{g/kg}$ <sup>[7]</sup>。苯并[a]芘是第一个被发现具有致癌作用的PAHs,但采用PAHs总量和苯并[a]芘2项指标,可保证

未检出苯并[a]芘的食品,PAHs总量仍在受控范围内,减少由PAHs带来的健康风险,因而越来越多的地区采用双指标评价模式<sup>[4]</sup>。谷物自然环境生长,沥青路面晾晒,不可避免受到汽车排放的尾气、路面磨损产生的沥青颗粒以及道路扬尘中PAHs的影响<sup>[8-9]</sup>,作为主要食品的小麦粉受PAHs的影响程度,目前国内鲜有相关报道。因此,本研究以小麦粉为研究对象,在前期研究<sup>[10]</sup>的基础上,优化小麦粉中PAHs的提取方法,分析小麦粉中PAHs的污染状况和配分模式,以 $\Sigma 4\text{PAHs}$ 、 $\Sigma 18\text{PAHs}$ 和苯并[a]芘含量为评价指标,对小麦粉进行PAHs的风险分析。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

30个小麦粉样品,均购自超市,产地均为江苏。

18种PAHs混合标准物质:萘、苊烯、苊、芴、菲、蒽、荧蒽、芘、苯并[a]蒽、屈、苯并[j]荧蒽、苯并[e]芘、苯并[b]荧蒽、苯并[k]荧蒽、苯并[a]芘、二苯并[a,h]蒽、苯并[g,h,i]芘和

收稿日期:2015-11-15

基金项目:江苏省质监局项目(编号:KJ133810);江苏省常熟市科技局社会发展项目(编号:CS201306)。

作者简介:王峰(1976—),女,山东淄博人,博士,高级工程师,主要从事食品安全与分析检测工作。E-mail: wdyinch05@hotmail.com。

[13]邢宏杰,狄华涛,蔡琰,等. 基于乙醇质量分数的草莓果实腐烂指数预测模型[J]. 农业工程学报,2010,26(5):352-356.

[14]陈学红,郑永华,杨震峰,等. 高氧处理对草莓采后腐烂和品质的影响[J]. 农业工程学报,2004,20(5):200-202.

[15]苏新国,郑永华,汪峰,等. 贮藏温度对菜用大豆采后生理和品质变化的影响[J]. 南京农业大学学报,2003,26(1):114-116.

[16]郭香凤,向进乐,李秀珍,等. 贮藏温度对西兰花净菜品质的影响[J]. 农业机械学报,2008,39(2):201-204.

[17]李正国,高雪. 贮藏温度对青花菜品质的影响[J]. 中国蔬菜,2000,16(4):9-12.

[18]周艳宝,戴剑锋,林球,等. 水分对日光温室独本菊生长动态影响的模拟[J]. 农业工程学报,2008,24(11):176-182.

[19]杨再强,罗卫红,陈发棣,等. 温室标准切花菊叶面积预测模型研究[J]. 中国农业科学,2007,40(11):2569-2574.

[20]陈杰,刘晓丹,邓伯祥,等. 不同温度下香菇品质动力学及货架期的研究[J]. 安徽农业科学,2009,37(5):2243-2245.

[21]Kahyaoglu T, Kaya S. Modeling of moisture, color and texture changes in sesame seeds during the conventional roasting[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 75:167-177.

[22]杨宏顺,冯国平,李云飞. 嫩茎花椰菜在不同气调贮藏下叶绿素和维生素C的降解及活化能研究[J]. 农业工程学报,2004,20(4):172-175.

[23]Tang L J, Swanson B G. Kinetics of textural and color changes in green asparagus during thermal treatments[J]. Journal of Food Engineering, 2000, 45:231-236.

[24]邓云,吴颖,李云飞. 温度和相对湿度对采后葡萄浆果硬度的影响[J]. 食品科学,2007,28(3):46-49.

[25]刘敏,谢晶. 苋菜品质分析及货架寿命的预测[J]. 食品工业科技,2008,29(4):251-253,257.