

臭氧水处理后的鲜切杭白菜货架期模型的建立与评价

Establishment and evaluation of shelf life model on fresh cut Hang cabbage processed by ozone water

雷昊^{1,2} 谢晶^{1,2} 乔永祥^{1,2}

LEI Hao^{1,2} XIE Jing^{1,2} QIAO Yong-xiang^{1,2}

(1. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306; 2. 农业部冷库及制冷设备质量监督检验测试中心, 上海 201306)

(1. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Quality Supervision, Inspection and Testing Center for Cold Storage and Refrigeration

Equipment, Ministry of Agriculture, Shanghai 201306, China)

摘要:选取 1.8 mg/L 臭氧水清洗 5 min 的鲜切杭白菜为试验材料,分别贮藏在 0, 5, 10, 15, 20 °C 的恒温箱中,通过测定不同温度下样品的菌落总数、V_C、叶绿素含量等指标变化,结合 Arrhenius 方程建立不同的一级动力学预测模型,得到货架期模型的活化能(E_A)分别为 49.08, 54.87, 38.80 kJ/mol, 指前因子(A_0)分别为 4.93×10^7 , 1.00×10^9 , 1.22×10^6 , 最后用 10 °C 的指标进行验证,得到的预测值和实测值相对误差均小于 10%,表明该试验所得货架期模型能较为准确地预测 0~20 °C 鲜切杭白菜的货架期。

关键词:杭白菜;鲜切;臭氧;货架期;预测模型

Abstract: Fresh cut hang cabbage was cleaned by 1.8 mg/L ozone water for 5 min, and then stored under 0, 5, 10, 15 and 20 °C in thermostats, respectively. The total number of colonies, vitamin C and chlorophyll content index were measured, and combined with the Arrhenius equation to establish first order dynamic prediction model. The values of activation energy (E_A) of shelf life model were 49.08, 54.87 and 38.8 kJ/mol respectively, referring to former factors A_0 were 4.93×10^7 , 1×10^9 , 1.22×10^6 . The indexes of 10 °C were used to validate the model whose relative error of the predicted and the measured values were less than 10%. It showed that the shelf life model could be used to predict accurately the shelf life of fresh cut Hang cabbage in the temperature of 0~20 °C.

Keywords: Hang cabbage; fresh-cut; ozone water; shelf life; predic-

tion model

杭白菜又名小白菜,属于十字花科大白菜的变种,在江浙沪地区种植面积较为广泛^[1],以其丰富的营养价值和清香可口的口感赢得了大众的喜爱。杭白菜作为极好的 V_C 和锰元素的来源,合理生食在一定程度上能起到抗氧化、增强免疫力、预防癌症的功效^[2],因此受到了越来越多的关注。有研究^[3]表明蔬菜采后清洗是去除农药残留、清洁蔬菜最为简洁有效的方式,其中以臭氧水处理杭白菜保鲜效果最为显著。随着人们生活节奏的加快和对食品营养摄入要求的提高,生食蔬菜的方式已越来越受到现代人的认可和追捧,鲜切蔬菜更是以其便捷、安全的优势被广泛接受,逐步实现大规模商品化^[4],但在商品化鲜切蔬菜的物流贮藏和实际销售中,蔬菜品质会受到环境影响,因此,通过货架期模型预测鲜切蔬菜流通中品质变化具有一定的实用价值。

Arrhenius 方程是一种常用的食品货架期预测模型^[5-7]。张利平等^[8]利用 Arrhenius 方程结合动力学通过色差指标预测了鸡毛菜的货架期,且误差小于 0.6 d,为监控鸡毛菜的品质变化提供了有力的依据;谢晶等^[9]也通过测定抗坏血酸、叶绿素、色差以及感官评分等多个指标结合 Arrhenius 方程进行动力学分析,得到以时间、温度和不同品质指标为变量的上海青货架期动力学模型方程,使得感官寿命与预测值误差小于 0.3 d,为上海青的贮藏及流通提供了科学依据。大量研究^[10-15]表明 Arrhenius 方程能有效地预测蔬菜货架期,因此本试验拟通过对臭氧水处理后贮藏在不同温度下的鲜切杭白菜进行菌落总数、叶绿素、抗坏血酸含量、感官评分等指标测定,结合 Arrhenius 方程建立货架期预测模型,并对其进行验证,以期能为鲜切杭白菜在贮藏运输

基金项目:2015 年度国家星火计划项目(编号:2015GA680007);上海市绿叶菜产业体系建设资助项目

作者简介:雷昊,男,上海海洋大学在读硕士研究生。

通信作者:谢晶(1968—),女,上海海洋大学教授,博士。

E-mail: jxie@shou.edu.cn

收稿日期:2017-05-17

过程中品质的变化进行实时监控,从而避免不必要的损耗和浪费。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

杭白菜:购于上海市浦东新区古棕路菜市场,选用色泽鲜亮、新鲜饱满、大小匀称且无明显缺陷的杭白菜;

2,6-二氯酚酞盐、丙酮、抗坏血酸、碳酸氢钠、碳酸钙、草酸:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

PCA 平板计数培养基;青岛海博生物技术有限公司;

低温恒温培养箱:MIR-554-PC 型,日本三洋电机株式会社;

超净工作台:VS-1300L-U 型,苏净集团安泰有限公司;

电热鼓风干燥箱:DHG-9053A 型,上海一恒科学仪器有限公司;

紫外可见分光光度计:WFZ UV-2100 型,上海龙尼柯仪器有限公司;

全自动压力蒸汽灭菌器:YXQ-LS-30SH 型,上海博讯实业有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 试验前处理 挑选光鲜饱满、大小均匀、无虫害无缺损的杭白菜浸泡于1.8 mg/L 的臭氧水中清洗 5 min^[3],清洗后置于通风阴凉的试验台快速沥干,随即用经消毒的菜刀对沥干后的杭白菜进行鲜切处理,将其切成 5~8 cm 适宜正常食用的小段,模仿售卖状态使用敞口塑料盒包装 100 g 样品并用保鲜膜封口,分别贮藏 0,5,10,15,20 °C 的恒温箱中,每组大约准备 8~10 盒,以备后续指标测定。

每次指标测定时,每个温度各使用一盒,均检测样品的菌落总数、叶绿素含量、抗坏血酸含量和感官品质评分等,0,5 °C 样品每 3 d 检测一次,10 °C 样品每 2 d 检测一次,15,20 °C 样品每天都进行测定,每个指标均进行 3 次平行试验,计算平均值及标准差。

1.2.2 测定指标及方法

(1) 菌落总数测定:参照 GB 4789.2—2010,使用 PCA 平板计数法进行测定。

(2) 叶绿素含量测定:参照文献[16],用丙酮提取,通过测定吸光值计算。

(3) 抗坏血酸含量测定:参照 GB 6195—1986,使用 2,6-二氯酚酞酚滴定法测定。

(4) 感官品质评定:参考文献[17~18],挑选 5~6 名具有专业感官评定素质的评定员,每次试验从鲜切杭白菜的色泽、气味、质地等多个方面进行综合评定,最后取平均值。

(5) 货架期预测模型的建立:蔬菜品质变化常用一级动力学模型进行预测模拟^[19],Arrhenius 方程能有效呈现反应速率 k 和绝对温度 T 之间的函数关系:

$$k = A_0 \exp\left(-\frac{E_A}{RT}\right), \quad (1)$$

式中:

k ——化学反应速率;

A_0 ——指前因子,其值为活化能为 0 时的化学反应速率;

R ——气体常数,其数值为 8.314 51 J/(mol·K);

T ——绝对温度,K;

E_A ——活化能,J/mol。

一级动力学模型:

$$\ln X = \ln X_0 + kt, \quad (2)$$

式中:

X ——贮藏到第 t 天时指标数值;

X_0 ——指标初始值;

T ——贮藏时间,d。

结合式(1)、(2)即可得到以货架期 t_{st} ,指标数值 X 和温度 T 为变量的预测模型方程:

$$t_{st} = \frac{\ln(X/X_0)}{A_0 \exp\left(-\frac{E_A}{RT}\right)}, \quad (3)$$

2 结果与分析

2.1 贮藏温度对鲜切杭白菜菌落总数的影响

菌落总数能有效反映蔬菜在贮藏过程中的新鲜程度,直接影响到其能否食用,是评定样品是否腐败的重要因素。有研究^[20]称蔬菜菌落总数达到 6 lg CFU/g 时,该蔬菜即到达可食临界点,当超过该临界值则表明蔬菜处于腐败状态,失去正常食用价值。由图 1 可知,在贮藏过程中,各温度组菌落总数均呈现增长趋势,可能是鲜切操作对组织结构造成了破坏,使得细胞内汁液流出,为细菌生长提供了营养物质和有利条件^[21]。贮藏温度越低安全食用期越长,如 20 °C 样品在第 3 天时便达到 6.1 lg CFU/g,而 0 °C 下菌落总数增速最缓,在贮藏第 12 天才到达 5.88 lg CFU/g,这是因为温度较低影响到微生物新陈代谢,从而延缓了微生物的生长^[22],与王超等^[23]使用不同温度贮藏菠菜得到的结果相同,充分说明低温能有效延缓细菌的滋生。

2.2 贮藏温度对鲜切杭白菜感官品质的影响

感官评价是直接通过外表观察实物的色泽、气味、质地等指标来评判样品的品质变化,是最为直观地反映蔬菜价值的重要指标。由图 2 可知,在 20 °C 贮藏条件下,感官评分下

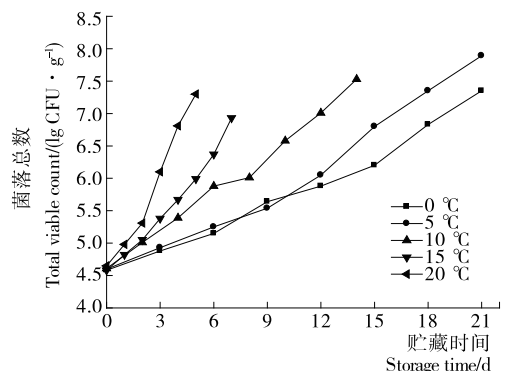


图 1 贮藏温度对鲜切杭白菜菌落总数的影响

Figure 1 Effect of different temperatures storage on total viable count of fresh cut Hang cabbage

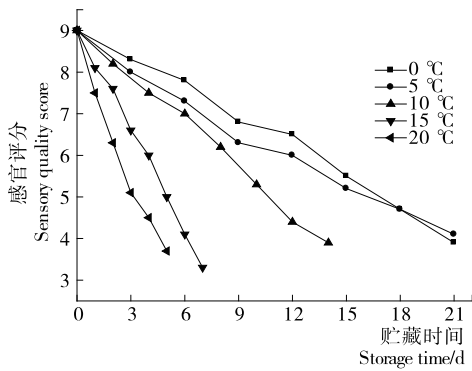


图 2 贮藏温度对鲜切杭白菜感官品质的影响

Figure 2 Effect of different temperatures storage on sensory quality of fresh cut Hang cabbage

降得非常迅速,在第 3 天已经出现腐败变质的现象,并伴随有组织液流出,基本失去了食用价值;15 °C 贮藏条件下的鲜切杭白菜在第 4 天左右也出现了部分褐变、腐败的状况;0,5 °C 条件下贮藏的样品感官评分较好,在第 12 天还处在 6 分以上,只有部分的萎蔫和黄化,依旧处于消费者可接受范围。

2.3 贮藏温度对鲜切杭白菜 V_C 含量的影响

V_C 是评定果蔬营养价值的一项重要指标。由图 3 可知,鲜切杭白菜在不同温度贮藏过程中, V_C 含量总体呈现减少趋势,且温度越高下降速度越快,其中 20 °C 条件下贮藏, V_C 含量损失最为显著,0,5 °C 条件下 V_C 含量下降速率明显缓慢且差异性显著 ($P < 0.05$),贮藏到 18 d 时依旧含有 15 mg/100 g 左右,说明低温能有效延缓 V_C 含量的降低。

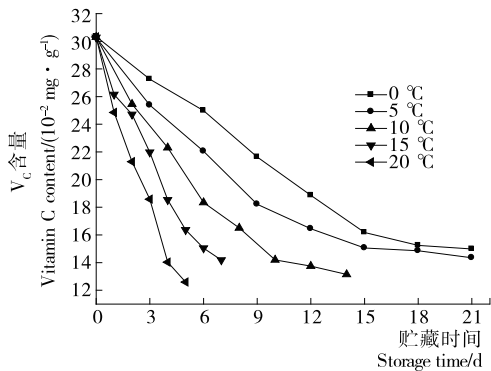
图 3 贮藏温度对鲜切杭白菜 V_C 含量的影响

Figure 3 Effect of different temperatures storage on Vitamin C content of fresh cut Hang cabbage

2.4 贮藏温度对鲜切杭白菜叶绿素含量的影响

叶绿素含量能直观反映在贮藏过程中蔬菜的新鲜程度,直接影响到蔬菜的黄化程度,因此是蔬菜贮藏过程中重要的测定指标。由图 4 可知,在不同温度条件下贮藏的鲜切杭白菜,叶绿素含量总体呈现下降趋势,其中以 20,15 °C 样品下降速度最快,在 20 °C 条件下贮藏第 3 天叶绿素含量便从初始的 0.85 mg/g 下降至 0.53 mg/g,而 0,5 °C 在贮藏至第 9 天仍保持在 0.6 mg/g 以上,低温有效地延缓了叶绿素含量的降低。

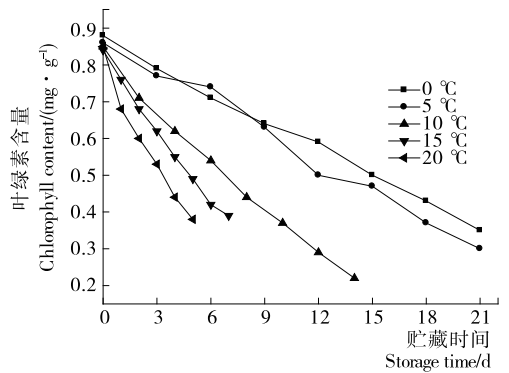


图 4 贮藏温度对鲜切杭白菜叶绿素含量的影响

Figure 4 Effect of different temperatures storage on chlorophyll content of fresh cut Hang cabbage

2.5 货架期模型的建立

根据试验设计,利用一级动力学模型结合 Arrhenius 方程,使用 Origin 软件分别对 0,5,15,20 °C 贮藏条件下鲜切杭白菜的菌落总数、 V_C 含量、叶绿素含量指标进行线性回归拟合,得到不同指标在不同贮藏温度下的回归方程,见表 1。

表 1 中相关系数 R^2 越趋近于 1,表示拟合精度越高,各温度指标相关系数均大于 0.9,表明数据可用于拟合。通过计算得到鲜切杭白菜的菌落总数、 V_C 含量及叶绿素含量的活化能 (E_A) 分别为 49.08,54.87,38.80 kJ/mol,指前因子 A_0 分别为 4.93×10^7 , 1.00×10^9 , 1.22×10^6 ,代入式(3)可得:

菌落总数货架期预测模型:

$$t_{stT} = \frac{\ln(X_T/X_{T_0})}{4.93 \times 10^7 \times \exp\left(-\frac{49.08 \times 10^3}{RT}\right)} \quad (4)$$

V_C 含量货架期预测模型:

$$t_{stV} = \frac{\ln(X_V/X_{V_0})}{1.00 \times 10^9 \times \exp\left(-\frac{54.87 \times 10^3}{RT}\right)} \quad (5)$$

叶绿素含量货架期预测模型:

$$t_{stC} = \frac{\ln(X_C/X_{C_0})}{1.22 \times 10^6 \times \exp\left(-\frac{38.8 \times 10^3}{RT}\right)} \quad (6)$$

式中:

t_{stT} 、 t_{stV} 、 t_{stC} ——鲜切杭白菜菌落总数、 V_C 含量、叶绿素含量的预测货架期;

X_T 、 X_V 、 X_C ——贮藏第 t 天时菌落总数、 V_C 含量、叶绿素含量的测定值;

X_{T_0} 、 X_{V_0} 、 X_{C_0} ——菌落总数、 V_C 含量、叶绿素含量的初始值。

根据以上模型即可计算出 0~20 °C 贮藏条件下,经臭氧水处理后鲜切杭白菜的预测货架期,也可以通过贮藏温度和以贮藏时间推测出经历该流通历程后鲜切杭白菜的品质状况。

2.6 货架期模型的验证与评价

选取样品在 10 °C 条件下的货架期实测值,验证预测模型的准确性。由于国标中没有规定蔬菜 V_C 及叶绿素含量腐败标准,因此本试验采用感官不可接受值所得日期作为 V_C

表1 鲜切杭白菜不同温度下各指标回归方程

Table 1 The regression equation of each indicator at different temperatures of fresh cut Hang cabbage

测定指标	温度条件/℃	回归方程	反应速率常数 k	相关系数 R^2
菌落总数	0	$y=0.022\ 2x+1.515\ 6$	0.022 2	0.993 4
	5	$y=0.026\ 3x+1.507\ 0$	0.026 3	0.990 6
	15	$y=0.057\ 8x+1.511\ 3$	0.057 8	0.994 5
	20	$y=0.095\ 2x+1.516\ 4$	0.095 2	0.985 4
V _C 含量	0	$y=-0.036\ 8x+3.407\ 2$	0.036 8	0.975 9
	5	$y=-0.036\ 3x+3.320\ 3$	0.036 3	0.925 3
	15	$y=-0.112\ 9x+3.401\ 3$	0.112 9	0.987 3
	20	$y=-0.178\ 4x+3.409\ 1$	0.178 4	0.989 6
叶绿素含量	0	$y=-0.042\ 2x-0.090\ 5$	0.042 2	0.980 4
	5	$y=-0.050\ 1x-0.076\ 5$	0.050 1	0.971 1
	15	$y=-0.112\ 4x-0.160\ 8$	0.112 4	0.996 4
	20	$y=-0.155\ 9x+0.190\ 7$	0.155 9	0.993 0

及叶绿素含量的货架期终止日期,菌落总数以 6 lg CFU/g 为可食用标准,样品菌落总数超过允许范围即视为货架期终止,货架期实测值与预测模型求得的预测值见表 2。

型能较准确地对在 0~20 ℃ 条件下贮藏或流通的臭氧水处理后的鲜切杭白菜进行品质与货架期的动态监测。

表2 10 ℃贮藏条件下鲜切杭白菜货架期预测误差

Table 2 The shelf life prediction error of fresh cut Hang cabbage at 10 ℃

测定指标	预测值/d	实测值/d	相对误差/%
菌落总数	5.95	6	0.83
V _C 含量	8.60	8	7.50
叶绿素含量	7.83	8	2.10

由表 2 可知,通过动力学模型计算得出不同指标的货架期和实际货架期相对误差均在 10% 以内,表明该预测模型能较好地反映臭氧水处理的鲜切杭白菜菌落总数、V_C 含量和叶绿素含量等指标在 0~20 ℃ 的变化趋势。其中以菌落总数指标建立的货架期模型,预测值和实测值误差最小,以 V_C 含量指标所建立的动力学货架期模型,预测值与实测值相差较大,可能是 GB/T 29605—2013 中没有明确规定标准导致只能通过感官结果来确定实际货架期,从而造成了误差。

3 结论

本试验以 1.8 mg/L 臭氧水清洗 5 min 的鲜切杭白菜为试验材料,分别在 0,5,10,15,20 ℃ 条件下贮藏,随后通过对样品理化指标的测定和分析,建立动力学预测模型。结果表明:贮藏 0~20 ℃ 不同温度下鲜切杭白菜的菌落总数呈现上升趋势,V_C 和叶绿素含量总体呈现下降趋势,且随着温度的升高,上升或下降的速率越快,此变化趋势符合一级动力学模型。结合 Arrhenius 方程对不同指标的反应速率和温度进行线性拟合得到的货架期预测模型方程相关系数 R^2 均大于 0.9,拟合精度较高,可以相对准确地进行货架期预测。通过 10 ℃ 下各指标的实测值和货架期模型方程得出的预测值对比,相对误差均在 10% 以下,其中以菌落总数为指标的预测模型最为准确。由此可得,该试验所建立的货架期预测模

参考文献

[1] 倪玮怡. 上海市郊土壤—蔬菜系统中重金属来源及贡献研究 [D]. 上海: 华东师范大学, 2016: 16-17.

[2] JOVABOVIC G D, KLAUS A S, NIKSIC M P. Antimicrobial activity of chitosan films with essential oils against listeria monocytogenes on cabbage[J]. Jundishapur Journal of Microbiology, 2016, 9(9): e34 804.

[3] 雷昊, 谢晶, 乔永祥, 等. 清洗杀菌方式对鲜切杭白菜保鲜效果的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(12): 105-107.

[4] 雷昊, 谢晶. 新鲜蔬菜采后清洗、包装处理研究进展[J]. 食品与机械, 2016, 32(6): 215-219.

[5] JAFARI S M, GANJE M, DEHNAD D, et al. Arrhenius equation modeling for the shelf life prediction of tomato paste containing a natural preservative[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2017, DOI: 10.1002/jsfa.8404.

[6] 马妍, 谢晶, 周然, 等. 暗纹东方鲀在不同冻藏温度下品质变化的动力学研究[J]. 中国农业大学学报, 2012, 17(1): 138-142.

[7] NOURIAN F, RAMASWAMY H S, KUSHALAPPA A C. Kinetics of quality change associated with potatoes stored at different temperatures[J]. LWT-Food Science and Technology, 2003, 36(1): 49-65.

[8] 张利平, 谢晶, 何蓉, 等. 鸡毛菜 (Brassica rapa L. Chinensis Group.) 的颜色变化动力学及两种货架期预测方法[J]. 食品工业科技, 2013, 34(16): 75-78.

[9] 谢晶, 张利平, 苏辉, 等. 上海青蔬菜的品质变化动力学模型及货架期预测[J]. 农业工程学报, 2013, 29(15): 271-278.

[10] 曾悦予. 超高压处理泡椒货架期预测模型的建立[D]. 成都: 四川农业大学, 2013: 44-46.

[11] 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): 163-168.

[12] 任珂, 屠康, 潘磊庆, 等. 青花菜贮藏期间颜色变化动力学模型的建立[J]. 农业工程学报, 2005, 21(8): 146-150.

- grass essential oil incorporated into alginate-based edible coating for shelf-life extension and quality retention of fresh-cut pineapple[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2014, 88: 1-7.
- [18] 冯可, 胡文忠, 姜爱丽, 等. 壳聚糖涂膜与牛至精油复配鲜切菠萝的保鲜作用[J]. *食品安全质量检测学报*, 2015(7): 2 475-2 481.
- [19] CHIABRANDO V, GIACALONE G. Effect of essential oils incorporated into an alginate-based edible coating on fresh-cut apple quality during storage[J]. *Quality Assurance & Safety of Crops & Foods*, 2014, 1(1): 81-83.
- [20] 王步江, 刘金福, 樊秀花, 等. 肉桂精油抑菌活性研究[J]. *食品与机械*, 2011, 27(6): 166-167.
- [21] 李群英, 廖红梅, 方正, 等. 牛至精油-白藜芦醇乳液的制备及抑菌活性研究[J]. *食品与机械*, 2017, 33(3): 110-114.
- [22] GUILLÉN-CASLA V, ROSALES-CONRADO N, LEÓN-GONZÁLEZ M E, et al. Principal component analysis (PCA) and multiple linear regression (MLR) statistical tools to evaluate the effect of E-beam irradiation on ready-to-eat food [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2011, 24(3): 456-464.
- [23] 谢丽源, 彭卫红, 唐杰, 等. 基于主成分分析法分析不同包装材料对双孢蘑菇品质的影响[J]. *食品科学*, 2016(16): 286-291.
- [24] 刘毅. 西兰花采后黑斑病的鉴定以及致病机理的研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2009: 15-23.
- [25] MOREIRA M D R, ROURA S I, PONCE A. Effectiveness of chitosan edible coatings to improve microbiological and sensory quality of fresh cut broccoli[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2011, 44(10): 2 335-2 341.
- [26] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 32-101.
- [27] 郑京平. 水果、蔬菜中维生素 C 含量的测定: 紫外分光光度快速测定方法探讨[J]. *光谱实验室*, 2006, 23(4): 731-735.
- [28] 冯晓汀, 刘洪丽, 吴秀, 等. 乙醇对鲜切西兰花品质及其生理、生化代谢的影响[J]. *食品科学技术学报*, 2015(6): 18-23.
- [29] 王慧倩, 郑聪, 王华东, 等. 乙醇熏蒸处理对鲜切西兰花活性成分和抗氧化活性的影响[J]. *食品科学*, 2014(16): 250-254.
- [30] 伍婧, 王远亮, 李珂, 等. 基于主成分分析的不同醒发条件下挂面的特征质构[J]. *食品科学*, 2016(21): 119-123.

(上接第 117 页)

- [16] STERN W. *Handbook of package design research*[M]. New York: John Wiley & Sons, 1981: 1-105.
- [17] 王小芳. 基于“人—包交互”理念的食品及药品包装研究[J]. *食品工业*, 2017, 38(8): 203-207.
- [18] RENEE Wever. Touching tubs and grabbing gable-tops: an editorial to the special issue on human-packaging interaction[J]. *Packaging Technology and Science*, 2016, 29(12): 603-606.
- [19] 李珍, 苟秉宸, 初建杰, 等. 一种基于眼动追踪的产品用户需求获取方法[J]. *计算机工程与应用*, 2015, 51(9): 233-237.
- [20] 石庆馨, 孙向红, 张侃. 可用性评价的焦点小组法[J]. *人类工效学*, 2005, 11(3): 64-67.
- [21] 高锐涛, 郭晓燕, 徐宁. 产品设计中的人性因素和人体工学[J]. *包装工程*, 2011, 32(22): 61-63, 71.
- [22] GOWRI Asaithambi. Research on how to promote the brand loyalty of online brand community members[J]. *International Journal of Intelligent Information and Management Science*, 2016, 5(3): 15.
- [23] 刘丁菊. 有机食品包装的叙事性设计研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2015: 19-27.
- [24] 郑子云. 基于材料感知体验的产品设计创新方法研究[J]. *包装工程*, 2017, 38(2): 197-200.
- [25] 李润. 3D 数字化行为建模技术在饮料包装容器中的应用研究[J]. *工业仪表与自动化装置*, 2016(5): 33-35.
- [26] 程超. 感性工学在包装设计中的可行性研究[J]. *包装工程*, 2016, 37(4): 14-17.
- [27] LIN Jerry, LO Cheng-hung. Affordances feature on package design has preference effect on content[J]. *Lecture Notes in Computer Science*, 2015(9 187): 87-94.
- [28] POUSETTE S, LÖFGREN M, NILSSON B, et al. An extended method to measure overall consumer satisfaction with packaging[J]. *Packaging Technology and Science*, 2014, 27(9): 727-738.

(上接第 121 页)

- [13] 孙婧, 李媚, 侯军, 等. 不同温湿度条件下青花菜失水率预测模型的建立[J]. *食品工业科技*, 2011, 32(12): 69-71.
- [14] GIANNAKOUROU M C, TAOUKIS P S. Kinetic modelling of Vitamin C loss in frozen green vegetables under variable storage conditions[J]. *Food Chemistry*, 2003, 83(1): 33-41.
- [15] JUHASZ M, KITAHARA Y, TAKAHASHI S, et al. Thermal stability of vitamin C: Thermogravimetric analysis and use of total ion monitoring chromatograms[J]. *J Pharm Biomed Anal*, 2012, 59(3): 190-193.
- [16] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化试验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 31.
- [17] 林永艳, 谢晶, 朱军伟, 等. 真空预冷对青菜贮藏品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(21): 314-317.
- [18] AGUERO M V, PONCE A G, MOREIRA M R, et al. Lettuce quality loss under conditions that favor the wilting phenomenon[J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2011, 59(2): 124-131.
- [19] 谢晶, 张利平, 高志立, 等. 鸡毛菜的品质动力学分析及货架期预测模型[J]. *食品科学*, 2014, 35(10): 268-272.
- [20] 张立奎. 鲜切生菜在贮藏期间的微生物生长模型[J]. *食品与发酵工业*, 2004, 30(2): 49-49.
- [21] ALLENDE A, LUO Y, MCEVOY J L, et al. Microbial and quality changes in minimally processed baby spinach leaves stored under super atmospheric oxygen and modified atmosphere conditions[J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2004, 33(1): 51-59.
- [22] 徐晓霞, 陈安均, 桑伟娜, 等. 不同温度贮藏鲜切生菜腐败细菌的分离及鉴定[J]. *食品与发酵工业*, 2016, 42(1): 53-58.
- [23] 王超, 刘斌, 巩玉芬, 等. 鲜切菠菜在不同冷藏温度下品质变化的动力学模型[J]. *制冷学报*, 2015, 36(6): 98-103.