

采后热处理对黄瓜颜色变化的影响

尹海蛟, 杨 昭*, 陈爱强, 张 娜
(天津大学热能研究所, 天津 300072)

摘 要:为了探索采后热处理对黄瓜颜色的影响,以“津优10”黄瓜为试材,对黄瓜进行了不同温-时组合的热处理实验,测定了黄瓜在Hunter表色系统下亮度L、红绿度a、黄蓝度b、色泽角H°、饱和度C及色差 ΔE_{ab} 变化,并对各颜色指标变化进行了统计学及动力学分析。结果表明,热处理黄瓜的最佳颜色评价指标是L或 ΔE_{ab} ,热处理时间比热处理温度对两个颜色指标的影响更显著,黄瓜的失水率与L呈显著的负相关关系,但与 ΔE_{ab} 呈显著正相关关系,热处理黄瓜的L及 ΔE_{ab} 在贮藏期间的变化分别符合一级与零级化学反应动力学模型。相关结论可为黄瓜采后热处理的工艺优化及品质预测提供参考。

关键词:热处理, 黄瓜, 颜色, 动力学模型, 相关分析

Effect of postharvest heat treatment on color of cucumber

YIN Hai-jiao, YANG Zhao*, CHEN Ai-qiang, ZHANG Na

(Thermal Energy Research Institute, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: In order to explore the effect of heat treatment on color of postharvest cucumber, taking “Jinyou10” as the test material, heat treatment experiments with different combinations of temperature-time were conducted. In Hunter color coordinate, lightness (L), red-green hue (a), yellow-blue hue (b), metric hue angle (H°), chroma (C) and color difference (ΔE_{ab}) of cucumbers were measured and statistical and chemical kinetic analyzed. The results showed that optimal parameters for cucumber color evaluation were L or ΔE_{ab} . Heat treatment time affects cucumber color more significantly than heat treatment temperature. Water loss rate was negatively correlated with L, but was positively correlated with ΔE_{ab} . During storage period, L and ΔE_{ab} of the treated cucumber followed a first order and zero order reaction kinetics respectively. The conclusions obtained can provide reference for heat treatment optimization and quality prediction of postharvest cucumber.

Key words: heat treatment; cucumber; color; kinetic model; correlative analysis

中图分类号: TS205.9

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2012)07-0364-04

目前,世界各国都在积极探索无毒、无污染、无残留的果蔬采后处理技术,其中热处理技术受到广泛关注。热处理是指对采后果蔬进行不致发生热损伤的短时高温逆境处理,具有控制果蔬病虫害,减轻果蔬冷害,调节果蔬生理代谢等作用^[1-2]。然而热处理对果蔬颜色影响的研究较少见,颜色作为果蔬的重要感官特征指标,不仅影响着人们的消费心理,同时也是衡量其品质衰变的重要依据。果蔬颜色的研究方法通常包括色素分析法和颜色物理检测法两种,其中色素分析法过程复杂,且很难进行快速的信息交流;相比之下,物理测试法能够很好地反映果实内部的色素变化,且测量过程简便迅速,因此国内外很

多学者将果蔬表面颜色测试作为研究颜色变化的方法^[3]。本文以“津优10”黄瓜为试材,测定了不同温-时组合处理黄瓜的颜色变化,并对主要的颜色指标进行了化学反应动力学及统计学分析,旨在探索热处理对黄瓜颜色的影响规律,为黄瓜采后热处理的工艺优化提供指导。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

以“津优10”(Jinyou10)黄瓜为试材。黄瓜产于天津蓟县,采后立即运往实验室。选择大小均一、色泽饱满、无病虫害、无机械损伤、成熟度一致的黄瓜备用。

WSC-S型色差计 上海精密仪器有限公司。

1.2 处理方法

采用双因素实验法,考察热处理温度和时间对黄瓜颜色变化的影响。热处理方法采用热水浸泡法,处理前将黄瓜随机分为6组,每组约15kg。第0组为不做热处理的对照组(CK),第1组在30℃热水中处理40min

收稿日期: 2011-06-02 * 通讯联系人

作者简介: 尹海蛟(1983-),男,博士生,研究方向:食品保鲜及制冷节能技术研究。

基金项目: 国家自然科学基金项目(51076112);教育部博士点基金项目(200800560041)。

(H1), 第2组在40℃热水中处理40min (H2), 第3组在50℃热水中处理40min (H3), 第4组在40℃热水中处理20min (H4), 第5组在40℃热水中处理60min (H5)。热处理结束后, 各实验组均放置于温度为8℃, 相对湿度为90%的冷库内贮藏。

1.3 颜色测量

1.3.1 颜色 使用WSC-S型色差计测量黄瓜表面颜色, 并采用Hunter表色系统, 色差计使用前用标准白瓷板进行校准。颜色测试在各处理组中固定的3根黄瓜中段位置标记处进行, 各试样均重复3次测量。

1.3.2 失水率 以全重称量法测量, 并按下式计算失水率:

$$\Delta M = \frac{M_0 - M}{M_0} \times 100\%$$

式中: ΔM 为黄瓜的失水率, %; M_0 为黄瓜的初始质量, kg; M 为测试时黄瓜的质量, kg。

1.4 数据分析

采用SPSS16.0进行实验数据的方差分析及回归分析, 并进行Duncan's多样本差异显著性检验。

2 颜色的物理学及动力学理论

2.1 颜色物理学基础

在有关颜色的研究中, 常用的表色系统包括: XYZ表色系统、 $L^*u^*v^*$ 表色系统、 $L^*a^*b^*$ 表色系统及Hunter (Lab) 表色系统。其中, Hunter表色系统于1948年由Hunter提出, 是目前国际通用的标准表色系统之一。Hunter表色系统如图1所示, 系统由L、a、b三个参数组成, 分别代表被测物体的亮度、红绿度及黄蓝度^[4]。另外, 根据L、a、b还可以衍生出一些其他的颜色指标, 如色泽角 H° 、饱和度C、色差 ΔE_{ab} 等, 各参数的计算式分别如式(1)~式(3)所示^[5]。

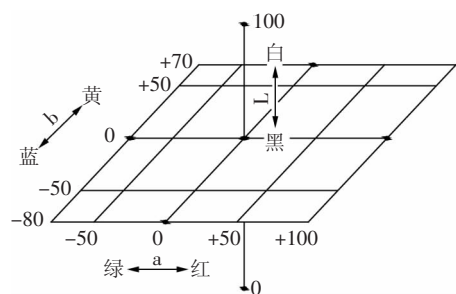


图1 Hunter表色系统坐标图

Fig.1 Coordinate graph of Hunter color system

色泽角: $H^\circ = \arctan(b/a)$

式(1)

表2 热处理对黄瓜各颜色指标的影响

Table 2 Effect of heat treatment on color parameters of cucumber

组别	热处理前					热处理后					ΔE_{ab}
	L	a	b	H°	C	L	a	b	H°	C	
CK	3.67	-4.52	5.46	309.68	7.09	3.61 ^a	-3.76 ^a	5.89 ^a	301.88 ^a	6.89 ^a	0.88 ^a
H1	3.76	-4.55	5.49	309.62	7.13	2.16 ^b	-3.89 ^a	5.81 ^a	301.87 ^a	6.88 ^a	1.76 ^b
H2	3.81	-4.48	5.45	309.65	7.05	2.31 ^b	-3.66 ^a	5.97 ^a	301.05 ^a	6.97 ^a	1.78 ^b
H3	3.78	-4.53	5.48	309.42	7.11	1.94 ^c	-3.61 ^a	5.86 ^a	301.97 ^a	6.87 ^a	2.09 ^c
H4	3.76	-4.48	5.46	309.57	7.06	2.15 ^b	-3.76 ^a	5.90 ^a	302.18 ^a	6.92 ^a	1.82 ^b
H5	3.62	-4.49	5.45	309.48	7.06	1.06 ^c	-3.64 ^a	5.83 ^a	300.06 ^a	6.93 ^a	2.72 ^c

注: 上标字母不同的数值之间具有显著性差异 ($p < 0.05$)。

$$\text{饱和度: } C = \sqrt{a^2 + b^2} \quad \text{式(2)}$$

$$\text{色差: } \Delta E_{ab} = \sqrt{(L-L_0)^2 + (a-a_0)^2 + (b-b_0)^2} \quad \text{式(3)}$$

ΔE_{ab} 与观察感觉的关系如表1所示^[6]。

表1 ΔE_{ab} 与观察感觉

Table 1 ΔE_{ab} and people's feeling

ΔE_{ab}	0~0.5	0.5~1.5	1.5~3.0	3.0~6.0	6.0~12.0	12.0以上
感觉	极小	稍有	感觉到	较显著	很明显	不同
程度	差异	差异	有差异	差异	的差异	颜色

2.2 颜色动力学理论

果蔬贮藏期的长短与其内部各种生化反应速率的大小有关, 表示反应速率的方程称为动力学方程。果蔬品质损失速率的通用动力学表达式为^[7]:

$$-\frac{dQ}{dt} = f(x_i, x_j) \quad \text{式(4)}$$

式中: Q 为果蔬的品质因子(如颜色, 硬度, 营养成分等); t 为贮藏时间; x_i 为环境因素(如温度、湿度等); x_j 为果蔬本身的影响因素。

一般情况下, 品质因子的衰减速率满足下式^[8], 即:

$$-\frac{dQ}{dt} = k \cdot Q^n \quad \text{式(5)}$$

式中: k 为品质因子的变化速率常数; n 为反应级数。

大多数食品的品质因子与时间的关系均符合零级或一级反应^[9], 即 $n=0$ 或 $n=1$, 其动力学方程分别为:

$$\text{零级反应: } Q = Q_0 - kt \quad \text{式(6)}$$

$$\text{一级反应: } Q = Q_0 \exp(-kt) \quad \text{式(7)}$$

3 结果与分析

3.1 热处理前后黄瓜的颜色变化

表2为热处理前后黄瓜各颜色指标的变化。热处理后各组黄瓜的亮度L、色泽角 H° 及饱和度C均有不同程度的降低, 而红绿度a、黄蓝度b及色差 ΔE_{ab} 却表现出不同程度的增加。热处理后黄瓜的红绿度a、黄蓝度b、色泽角 H° 及饱和度C与未经热处理的对照组CK无显著差异 ($p > 0.05$), 但各热处理黄瓜的亮度L及色差 ΔE_{ab} 与对照组CK具有显著差异 ($p < 0.05$)。热处理对黄瓜颜色的影响与热处理参数有关, 热处理时间越长(H5)、处理温度越高(H3), 热处理对黄瓜颜色的影响越显著, 主要表现为黄瓜表面亮度降低及色差增大。与其他颜色参数相比, 亮度L及色差 ΔE_{ab} 能够明显地反映热处理黄瓜间的颜色差异, 因此, 亮度或色差可作为黄瓜热处理工艺优选过程中的品质评价指标。

3.2 黄瓜颜色变化的双因素方差分析

处理温度与处理时间是影响黄瓜颜色变化的两

个关键性参数,为了研究两个参数对黄瓜颜色影响的差异性,对实验结果进行双因素方差分析,结果如表3所示。处理温度比处理时间对黄瓜的红绿度a、黄蓝度b、色泽角H°及饱和度C的影响大,但二者对各颜色指标的影响均不显著。对于黄瓜的亮度L及色差 ΔE_{ab} ,起主要影响作用的是处理时间,热处理时间对黄瓜亮度及色差的影响显著($p<0.05$)大于热处理温度。因此,在黄瓜采后热处理过程中,在达到理想热处理传热效果的前提下,应严格控制黄瓜的热处理时间,以避免处理时间过长对黄瓜颜色造成的不利影响。

表3 热处理对黄瓜颜色影响的方差分析

Table 3 Variance analysis of heat treatment on color parameters of cucumber

颜色指标	差异源	平方和	自由度	均方	F值	p值
L	处理温度	0.180	2	0.090	2.693	0.116
	处理时间	0.398	2	0.199	5.951	0.020*
	误差	0.335	10	0.033		
	总计	44.648	15			
a	处理温度	0.103	2	0.052	0.860	0.452
	处理时间	0.031	2	0.015	0.258	0.778
	误差	0.600	10	0.060		
	总计	10.237	15			
b	处理温度	0.226	2	0.113	2.352	0.146
	处理时间	0.088	2	0.044	0.912	0.433
	误差	0.482	10	0.048		
	总计	5.639	15			
H°	处理温度	22.323	2	11.161	2.189	0.163
	处理时间	10.625	2	5.313	1.042	0.388
	误差	50.990	10			
	总计	1047.409	15			
C	处理温度	0.056	2	0.028	0.594	0.571
	处理时间	0.008	2	0.004	0.081	0.923
	误差	0.472	10	0.047		
	总计	0.979	15			
ΔE_{ab}	处理温度	0.244	2	0.122	2.777	0.110
	处理时间	0.376	2	0.188	4.274	0.046*
	误差	0.439	10	0.044		
	总计	60.510	15			

注: *表示显著水平($\alpha=0.05$)。

3.3 贮藏期间黄瓜颜色变化的动力学分析

对热处理黄瓜贮藏期间的亮度L及色差 ΔE_{ab} 变化进行动力学分析,确定两个颜色指标的反应级数,并确定相应的动力学模型。在化学反应动力学问题的研究中,反应级数的确定方法有作图法、积分法、微分法及半衰期法等^[10]。本实验采用作图法,以线性回归分析法拟合实验数据,并对模型进行F统计检验。由图2可见,在半对数坐标下(纵坐标为 $\ln(L/L_0)$,横坐标为贮藏时间t),亮度的对数与时间满足线性关系,而黄瓜的色差与贮藏时间呈线性关系,且线性相关系数 R^2 均大于0.95,因此,热处理黄瓜贮藏期间的亮度及色差变化分别符合一级动力学反应($n=1$)及零级动力学反应($n=0$)。热处理黄瓜亮度及色差的动力学模型及反应速率常数如表4,贮藏期间黄瓜亮度L变化速率常数的大小排序为 $H3>H2>H5>H1>H4$,H3

组黄瓜亮度变化(下降)最快,而H4的亮度变化(下降)最慢。黄瓜色差 ΔE_{ab} 的变化速率常数大小排序为 $H3>H5>H2>H4>H1$ 。热处理对黄瓜贮藏期内的亮度L及色差 ΔE_{ab} 的影响存在一定的差异,这是因为色差除了与亮度L有关以外,还与黄瓜红绿度a及黄蓝度b的变化有关。由动力学模型分析可知,长时高温的热处理黄瓜组(H3及H5)贮藏期间的颜色变化剧烈,而短时低温的处理组(H1及H4)颜色变化较缓慢。

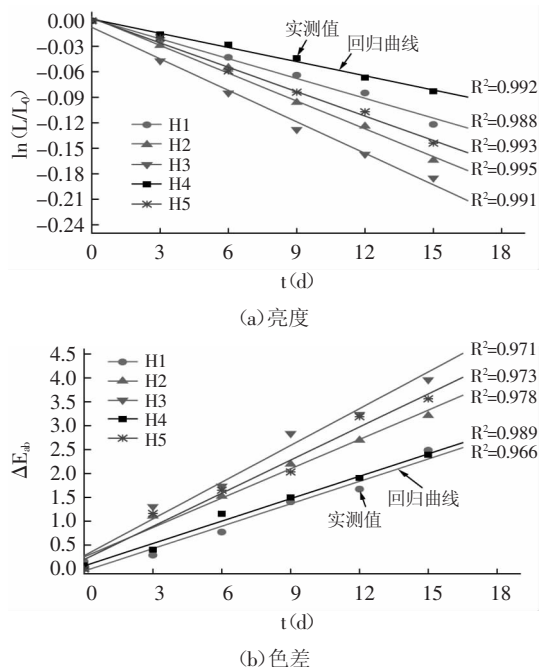


图2 贮藏期间热处理黄瓜的颜色变化

Fig.2 Color changes of heat treated cucumber during storage

表4 热处理黄瓜亮度及色差的动力学模型

Table 4 Kinetic models of L and ΔE_{ab} of heat treated cucumber

组别	颜色指标	反应级数n	反应速率常数k	动力学模型	R ²
H1	L	1	0.00778	$L=1.324\exp(-0.00778t)$	0.988
	ΔE_{ab}	0	0.0563	$\Delta E_{ab}=0.0563t-0.042$	0.966
H2	L	1	0.01091	$L=1.359\exp(-0.01091t)$	0.995
	ΔE_{ab}	0	0.20473	$\Delta E_{ab}=0.20473t+0.255$	0.978
H3	L	1	0.01236	$L=1.222\exp(-0.01236t)$	0.991
	ΔE_{ab}	0	0.25643	$\Delta E_{ab}=0.25643t+0.279$	0.971
H4	L	1	0.00556	$L=1.333\exp(-0.00556t)$	0.992
	ΔE_{ab}	0	0.15626	$\Delta E_{ab}=0.15626t+0.066$	0.989
H5	L	1	0.00958	$L=1.286\exp(-0.00958t)$	0.993
	ΔE_{ab}	0	0.23107	$\Delta E_{ab}=0.23107t+0.199$	0.973

3.4 失水率与黄瓜颜色变化的相关分析

黄瓜组织细嫩,含水率高达85%~95%,贮藏期间极易失水。由图3可见,贮藏期内各处理组黄瓜的失水率以H3最高,H2与H5相当,且略低于H3,H1与H4的失水率较小。贮藏第15d时,H3的黄瓜表面明显萎蔫变暗,失水率达20.1%,分别是H1、H2、H4及H5组贮藏第15d时失水率的1.33、1.09、1.33及1.03倍。

为了探讨热处理黄瓜的失水对其颜色变化的影响,对黄瓜的失水率与黄瓜的各颜色指标进行统计学相关分析,采用Pearson法计算相关系数,并进行单

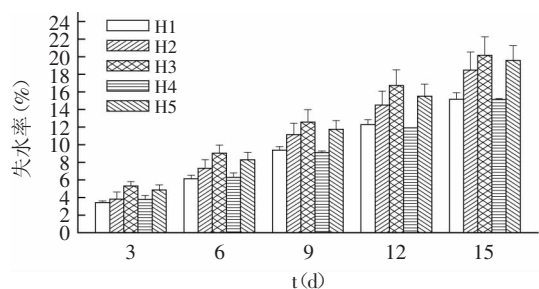


图3 贮藏时热处理黄瓜的失水率变化

Fig.3 Water loss rate changes of the heat treated cucumber during storage

侧显著性检验。分析结果如表5所示,热处理黄瓜的亮度L与失水率呈显著的负相关关系,即黄瓜的失水率越大,黄瓜的亮度越低。黄瓜的失水率与红绿度a、黄蓝度b及色差 ΔE_{ab} 均呈显著正相关关系,说明随着黄瓜失水率的增加,上述三个颜色指标均有增大的趋势。

表5 黄瓜失水率与各颜色指标的相关系数

Table 5 Correlation coefficients of water loss rate and color parameters of cucumber

		L	a	b	ΔE_{ab}
ΔM	H1	-0.979**	0.987**	0.990**	0.992**
	H2	-0.975**	0.948**	0.969**	0.964**
	H3	-0.966**	0.904**	0.979**	0.966**
	H4	-0.926**	0.990**	0.977**	0.989**
	H5	-0.995**	0.982**	0.965**	0.977**

注:**表示在0.01水平单侧上显著相关。

4 讨论

新鲜黄瓜外观应饱满、鲜绿且有光泽,实验发现热处理黄瓜贮藏时的颜色由原来明亮的绿色变为橄榄绿,并且伴随着色差的增大和表面亮度的降低。叶绿素是一切绿色植物绿色的来源,叶绿素的分解代谢是植物衰老的最明显特征之一。叶绿素在结构上与动物血红蛋白相似,为卟啉型色素结构,中心为Mg原子,叶绿素是不稳定的化合物,在外界因素的影响下,分子中的Mg被H⁺置换成脱镁叶绿素^[11]。Martins等^[12]指出绿色果蔬热处理时颜色变化的原因是果蔬体内叶绿素转变为脱镁叶绿素的结果。乔勇进等^[13]发现热处理能够加速黄瓜叶绿素的降解,并且随着处理时间的延长,叶绿素的降解速度不断增大。宋洪波等^[14]则认为果蔬体的颜色变化除了与叶绿素、胡萝卜素等色素的代谢有关外,还与果蔬体内己糖的美拉德反应,氨基酸的代谢以及各种酶的褐变等因素有关。本文发现热处理对黄瓜颜色的影响除了与黄瓜的色素代谢有关(表现为红绿度a与黄蓝度b的变化)外,还与黄瓜的表面亮度有关,热处理影响黄瓜表面亮度原因可能是因为热处理改变了黄瓜表面的微观组织结构。另外,本文还发现热处理对黄瓜的颜色变化具有加速作用,且随着处理温度的升高及处理时间的增长,这种影响越显著。

5 结论

5.1 热处理对黄瓜的颜色保持具有不利影响,且随

着热处理时间的增长及热处理温度的升高,这种不利影响越显著。主要表现为黄瓜亮度的降低及总色差的增大,并且热处理时间对黄瓜亮度及色差的影响,比热处理温度的影响更显著。

5.2 在众多的颜色指标中,黄瓜的表面亮度及总色差变化更能显著地反映不同处理组间的颜色差异,因此,亮度及色差可作为黄瓜热处理工艺优化过程中的品质评价指标。热处理黄瓜贮藏期内的亮度变化符合一级反应动力学模型,色差变化符合零级反应动力学模型。

5.3 热处理黄瓜的颜色变化除了与黄瓜内部色素的代谢分解有关外,还与热处理对黄瓜表面亮度的影响有直接关系。黄瓜的失水率与其表面亮度呈显著负相关关系,但与色差呈现显著正相关关系。降低贮藏期内黄瓜的失水率,将在一定程度上减轻热处理黄瓜的颜色变化。

参考文献

- [1] 田密霞,胡文忠,姜爱丽,等. 不同温度热水处理对鲜切皇冠梨生理生化的影响[J]. 食品工业科技,2008,29(8):261-267.
- [2] 李丽萍,韩涛. 热处理条件对番茄采后冷害的影响[J]. 农业工程学报,1996,12(4):189-193.
- [3] Chen P, Sun Z. A review of non-destructive methods for quality evaluation and sorting of agricultural products[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1991,49:85-98.
- [4] Mcguire R G. Reporting of objective color measurements[J]. Hort Science, 1992,27(12):1254-1255.
- [5] Niasha P, Singhal R S, Pandit A B. A study on the degradation kinetics of visual green colour in spinach (*Spinacea oleracea* L.) and the effect of salt therein[J]. Journal of Food Engineering, 2004,64(1):135-142.
- [6] 李里特. 食品物性学[M]. 北京:中国农业出版社,1998.
- [7] Athertoo, Rudich. The tomato crop[M]. Chapman and Hall Ltd, 1986.
- [8] Azzouz S, Guizani A, Jomaa W, et al. Moisture diffusivity and drying kinetic equation of convective drying of grapes[J]. Journal of Food Engineering, 2002,55(2):323-330.
- [9] Avila, Silva. Modeling kinetics of thermal degradation of colour in peach puree[J]. Journal of Food Engineering, 1999,39(2):161-166.
- [10] 王春雄. 物理化学[M]. 上海:华东师范大学出版社,2006:112-130.
- [11] Schirra M, Mulas M. Improving storability of 'Tarocco' oranges by postharvest hot dip fungicide treatments[J]. Postharvest Biology and Technology, 1995,6(1):129-138.
- [12] Martins R C, Lopes I C, Silva C L. Accelerated life testing of frozen green beans (*Phaseolus vulgaris* L.) quality loss kinetics: colour and starch[J]. Journal of Food Engineering, 2005,67(3):339-346.
- [13] 乔勇进,冯双庆,赵玉梅. 黄瓜对热处理的热受性及生理反应[J]. 内蒙古农业大学学报,2003,24(2):70-75.
- [14] 宋洪波,毛志怀. 干燥方法对植物产品物理特性影响的研究进展[J]. 农业机械学报,2005,36(6):117-121.