

龙眼干贮藏过程的褐变研究

贺心妍, 滕建文, 韦保耀, 黄丽, 夏宁

(广西大学轻工与食品学院, 广西南宁 530004)

摘要: 本文研究了龙眼干在不同的包装形式(抽真空, 避光)和不同贮藏温度(4℃、25℃和37℃)下贮藏30 d内龙眼果肉内的褐变情况, 通过测定贮藏期间的色泽变化, 研究了龙眼干的褐变动力学, 探讨了不同影响因素对龙眼干贮藏效果的影响, 利用通径分析的方法分析了龙眼干贮藏过程中褐变的主要原因。结果表明, 对龙眼干色泽变化影响最大的因素为贮藏温度, 其次是空气和光照: 贮藏温度越高, 龙眼干的褐变越快, 空气和光照的存在均会不同程度地加速龙眼干褐变; 本文推导了龙眼干储藏过程中的颜色变化符合零级动力学方程, 定量地描述龙眼干在储藏中的褐变情况; 通过分析龙眼干贮藏过程中 Vc、总酚、5-羟甲基糠醛(5-HMF)含量的变化表明龙眼干在贮藏过程中色泽变化的主要原因是抗坏血酸降解和美拉德反应。

关键词: 龙眼干; 贮藏; 褐变

文章编号: 1673-9078(2017)6-166-172

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.6.024

Study on the Browning of Dried Longan Flesh during Storage

HE Xin-yan, TENG Jian-wen, WEI Bao-yao, HUANG Li, XIA Ning

(College of Light Industry and Food Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: The browning processes of dried longan flesh stored for 30 d under different packaging conditions (vacuum and light-shielding) and at different temperatures (4℃, 25℃, and 37℃) were investigated in this study. Through analysis of the color changes during the storage period, the influence of these different factors on the storage performance of dried longan flesh was explored. The path analysis method was adopted to identify the main cause of browning during storage process, and the results showed that the factor with the most significant influence on color change was the storage temperature, followed by air and light. A higher storage temperature led to faster browning of dried longan flesh, and the presence of air and light could accelerate the color change to various degrees. The browning process of dried longan flesh during storage followed zero-order kinetics, which described the color change quantitatively. Analysis of the changes in content of vitamin C (Vc), total phenol, and 5-hydroxymethylfurfural (5-HMF) indicated that the main factors leading to the color change of dried longan flesh were the degradation of ascorbic acid and Maillard reaction.

Key words: dried longan flesh; storage; browning

龙眼, 又名桂圆、益智和比目等, 属无患子科龙眼 (*Dimocarpus longan* Lour) 属植物。作为一种典型的亚热带水果, 龙眼主要的消费形式是鲜果, 但是新鲜龙眼富含糖分、水分, 且成熟在高温高湿季节, 使得龙眼果实的腐烂及褐变现象非常严重^[1], 因此传统的龙眼加工方式是龙眼果干。

龙眼干在加工和贮藏过程中产生品质劣变的主要原因是褐变^[2]。目前龙眼的贮藏保鲜以硫熏防腐、防褐变效果较好, 但硫熏处理可使果肉内残留有部分 SO₂ 会对人体的健康有害。刘畅等^[3]研究了龙眼汁在加工和储藏过程中褐变度、色度及非酶褐变内源因子

含量的变化, 并采用逐步回归分析和通径分析研究内源因子对龙眼汁加工和储藏过程非酶褐变的影响。黄榕辉等^[4]研究了龙眼干中糖含量对干制过程果肉褐变度的影响。洪鹏翔等^[5]通过添加 EDTA、Vc 以及调节 pH 值等方式减缓出口龙眼肉果冻的褐变。许多保鲜方法虽然能在一定程度上减缓龙眼干的褐变, 但是往往不能有效解决龙眼干褐变与发黑的现象。同时, 目前大多数研究主要集中在防止龙眼干加工过程中的褐变, 对储藏过程中龙眼干褐变原因的研究甚少。

本文将龙眼干置于不同条件下贮藏, 对色度、褐变度、Vc 含量、总酚含量和 5-HMF 含量进行跟踪测定, 探讨不同影响因素对龙眼干贮藏品质影响, 为开发更有效地抑制龙眼干褐变技术方法奠定了理论基础。

1 材料和方法

收稿日期: 2016-09-29

基金项目: 广西自然科学基金项目 (2016GXNSFAA380288)

作者简介: 贺心妍 (1992-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品科学与工程
通讯作者: 夏宁 (1977-) 女, 博士, 副教授, 研究方向: 粮食、油脂及植物蛋白

1.1 样品制备

试验材料选用成熟度为8成的储良龙眼品种。经手工取果肉整齐平铺于底部带孔托盘,55℃下烘至水分含量为18% ($A_w=0.55$)。采用3种包装形式对龙眼干进行包装:

(1) 采用单面厚度为0.05 mm的PE包装袋进行包装,包装袋尺寸为15.0 cm×10.0 cm,每袋龙眼肉干重量为35.0±2.0 g,并进行热封口。(2) 采用同样的包装材料对龙眼干进行抽真空包装,并进行热封口、

(3) 采用铝箔袋对龙眼干进行包装,包装袋尺寸为15 cm×10 cm,每袋龙眼肉干重量为35.0±2.0 g,并进行热封口。

1.2 试验方法

1.2.1 新鲜龙眼、龙眼干多酚氧化酶的测定

参考刘畅等^[6]的方法,以每分钟引起吸光值改变0.001所需酶量为一个酶活力单位。

1.2.2 龙眼干的贮藏试验

包装后的龙眼肉干按照每种包装7大袋(大袋中有三小袋作平行试验),3种包装21大袋为一组,共3组分别贮藏于4℃、25℃和37℃恒温箱中,光线为自然光,定时取出,测定其色值^[7]、褐变指数(BI)^[8]以及5-HMF^[9]、Vc^[10]和多酚^[11]的含量。

1.3 数据处理和分析

采用Excel 2013和SPSS 17.0软件对实验数据进行处理,显著性水平选定 $p<0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 新鲜龙眼、烘后龙眼干果肉中酶活的测定

由于本实验用新鲜龙眼制备样品前没有进行热烫处理,故龙眼干储藏过程可能存在酶促褐变,为确定酶促褐变对龙眼干储藏过程中褐变的影响,对新鲜龙眼果肉、干龙眼果肉中的多酚氧化酶酶活进行了测定。测定得新鲜龙眼中多酚氧化酶活性为5120 U,烘干后的龙眼干多酚氧化酶活性为620 U。表明烘干过程中龙眼果肉中的多酚氧化酶活性大大降低,但还是有多酚氧化酶的存在。因此在贮藏过程中,也会存在微弱的酶促褐变。

2.2 贮藏温度对龙眼干褐变影响

龙眼干在不同贮温下贮藏30 d后其 ΔE 的变化及(BI)的变化由图1所示。不同贮藏温度下龙眼干的 ΔE

随着储藏时间的延长而增大(图1a),而不同贮藏温度对龙眼干BI的影响并不相同(图1b)。在4℃下贮藏,龙眼干的 ΔE 和BI几乎不变。在25℃下贮藏, ΔE 在前12 d内上升迅速,12 d~24 d内 ΔE 几乎不变,储藏期最后6 d ΔE 再次上升迅速。BI在12 d内上升缓慢,之后BI几乎不变。在37℃贮藏条件下, ΔE 和BI均随时间迅速升高。从以上的趋势分析可知,25℃和37℃下,龙眼干的 ΔE 都是随时间而显著增大($p<0.05$),但是BI在4℃下几乎不变,表明低温能显著抑制褐变。

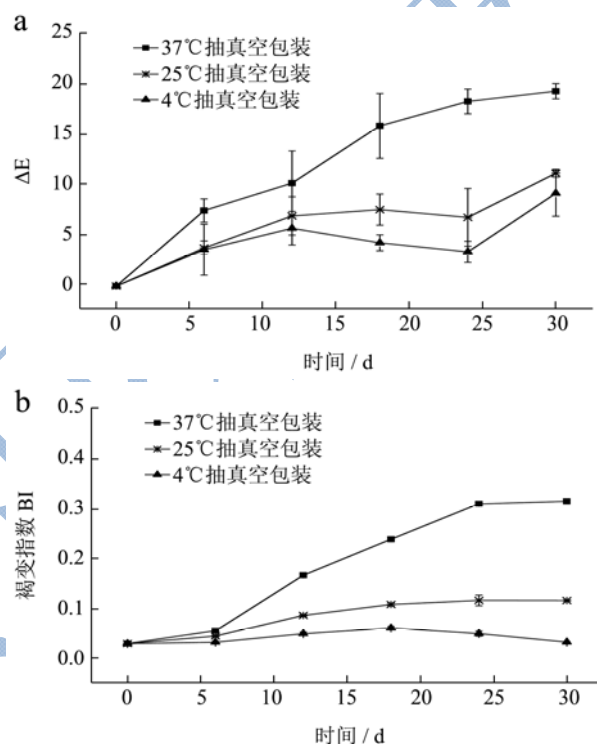


图1 不同贮温(4℃、25℃、37℃)对真空包装龙眼干色差值(a)和褐变指数(b)的影响

Fig.1 Influence of storage temperature (4 °C, 25 °C, and 37 °C) on the ΔE (a) and BI (b) of vacuum-packed dried longan flesh

2.3 空气对龙眼干褐变的影响

龙眼干在抽真空和普通包装条件下贮藏30 d后其 ΔE 的变化及BI的变化由图2所示。普通包装与抽真空包装的龙眼干褐变程度都随着贮藏时间的延长而显著增大($p<0.05$),贮藏时间为30 d左右时普通包装下龙眼干的色差值和BI比抽真空包装下龙眼干的色差值和BI明显更高。但是两种包装下的BI在前25 d内没有显著差异,在30 d时两种包装条件下BI出现明显差别,出现这种现象的原因有待进一步研究。结果表明氧气的存在会增大果肉的色差值,但是对非酶褐变没有显著影响,原因可能在于氧气的存在影响了酶促褐变。

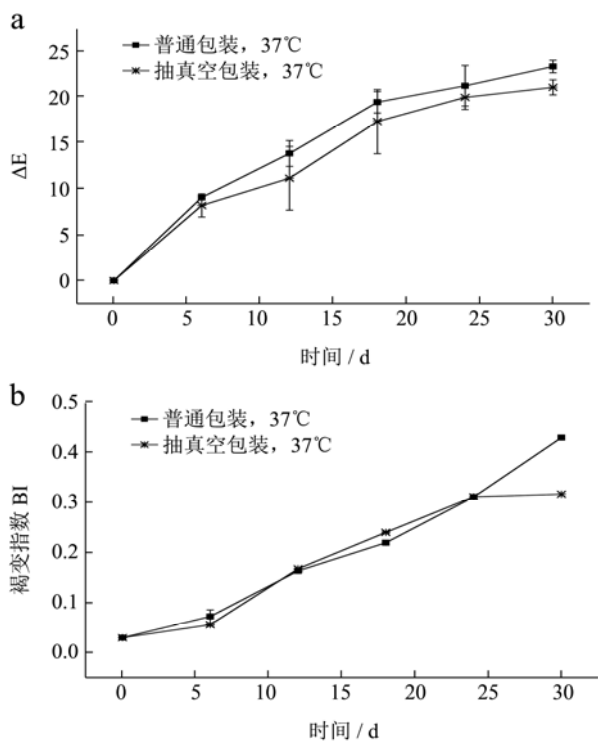


图2 空气对龙眼干 ΔE (a) 和 BI (b) 的影响

Fig.2 Influence of air on the ΔE (a) and BI (b) of dried longan flesh

2.4 光线对龙眼干褐变的影响

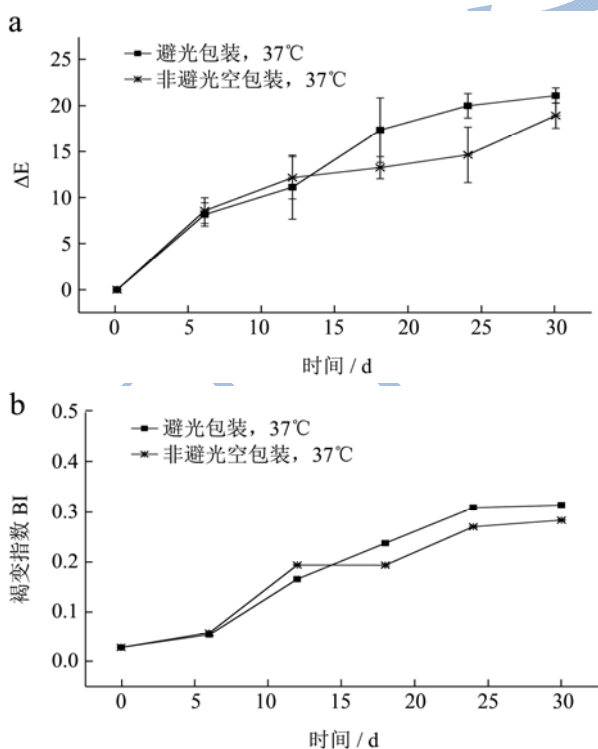


图3 光线对龙眼干 ΔE (a) 和 BI (b) 的影响

Fig.3 Influence of light on the ΔE and BI of dried longan flesh

龙眼干在避光包装和非避光包装条件下贮藏 30 d 后其 ΔE 的变化及 BI 的变化由图 3 所示。由图 3 可以

看出,光照和避光包装条件下龙眼干的褐变度均随着贮藏时间的延长而显著增大($p < 0.05$)。光照对果肉 ΔE 和 BI 的影响趋势是一致的,光线的存在明显会增大龙眼果肉的褐变程度,且在相同贮藏时间下,影响作用大于氧气。具体原因可能在于光照的存在会加速 Vc 和总酚的降解。贮藏期为 6 d 内, BI 上升得较慢,但是色差值上升较快,结合后续对龙眼干中 Vc、5-HMF 含量的分析,这两种物质的含量在贮藏前期也是微量波动。这表明光照的存在对龙眼干贮藏前期并无影响。

2.5 贮藏条件对龙眼干中 Vc 含量的影响

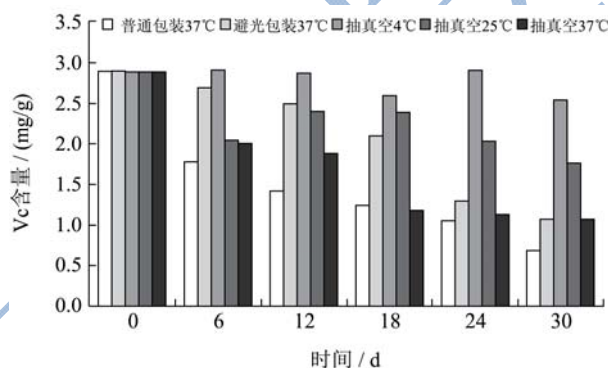


图4 贮藏时间内不同包装条件下 Vc 含量的变化

Fig.4 Change in the content of Vc in different forms of packaging during storage

从图 4 可以看出,在真空包装条件下,37 °C 下贮藏 Vc 显著下降 ($p < 0.05$), Vc 的含量从 2.88 mg/g 下降到 1.07 mg/g; 25 °C 下贮藏, Vc 的含量从 2.88 mg/g 下降到 1.77 mg/g; 而 4 °C 下贮藏, Vc 的含量从 2.88 mg/g 下降到 2.53 mg/g, Vc 含量仅微小下降。

在贮藏时间为 18 d 之前,光线对 Vc 的含量有显著影响 ($p < 0.05$),避光包装明显有利于贮藏期间 Vc 的保持;氧气对 Vc 的含量有显著影响 ($p < 0.05$),有氧包装的龙眼干中的 Vc 含量基本均高于抽真空包装。Wibowo 等^[12]分析其原因在于贮藏初期有大量氧气存在的条件下, Vc 的降解主要遵循有氧分解,贮藏中后期包装中的氧气消耗殆尽或降至某一浓度,其 Vc 的降解开始转向无氧分解。

2.6 贮藏条件对龙眼干中 5-HMF 含量的影响

5-HMF 的含量可以直接说明美拉德反应的程度。从图 5 中可以看出,不同储藏温度下 5-HMF 含量的变化并不相同。在贮藏温度为 4 °C 时,5-HMF 在 12 d 左右有微小上升,然后开始下降,下降到一定数值后,含量几乎保持不变。分析其原因认为是,贮藏前期由于美拉德反应后阶段的缩合反应速率较慢,生成的 5-HMF 主要用于积累,故表现为增加趋势。到了贮藏

后期, 果糖与葡萄糖参与美拉德反应速率变慢, 使 5-HMF 生成量减少, 而缩合反应随着 5-HMF 生成量的增加逐渐加大, 5-HMF 的消耗速率大于积累速率, 含量因此不断减少 ΔE 值则不断增加。Cai 等^[13]也发现抽真空包装条件下在 3 °C 下贮藏 11 周后半干型荔枝干中的 5-HMF 含量显著下降。在贮藏温度为 25 °C 下, 5-HMF 的含量随贮藏时间而增加, 从 3.21 $\mu\text{g/g}$ 上升到 19.26 $\mu\text{g/g}$; 贮藏温度为 37 °C 下, 5-HMF 的含量随贮藏时间而显著增加 ($p < 0.05$)。表明温度的升高能明显加速美拉德反应的程度。

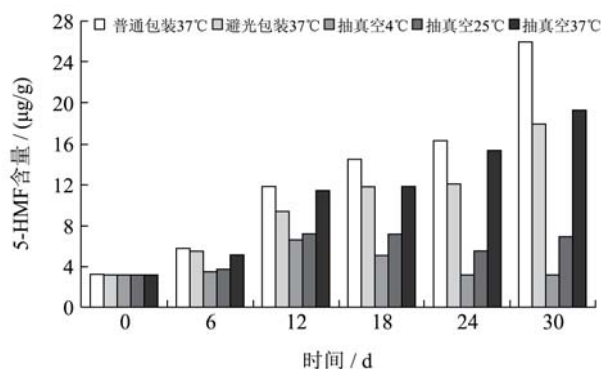


图5 贮藏时间内不同包装条件下 5-HMF 含量的变化

Fig.5 Change in the content of 5-HMF in different forms of packaging during storage

光线和氧气的存在对 5-HMF 含量的积累有显著影响 ($p < 0.05$), 可能的原因在于氧气的存在虽然对美拉德反应影响不大, 但氧气的存在会加剧 Vc 的分解, 而在 Vc 的有氧分解会产生羟基糠醛, 故导致实验中 5-HMF 含量的增加。

2.7 贮藏条件对龙眼干中总酚含量的影响

由图 6 可以看出, 龙眼干的总酚含量在贮藏过程中在不同的贮藏条件下均表现出先下降后上升的趋

势, 且当贮藏温度为 37 °C 下, 总酚含量上升得更快。例如在抽真空 37 °C 的贮藏条件下, 总酚含量在贮藏期的前 18 d 内下降很快, 但在 18 d 后却呈上升趋势。这与 Klimczak 等^[14]用 Folin-Ciocaltea 试剂测定橙汁在储藏后期总酚出现明显上升的趋势一致, 总酚的比色 (Folin-Ciocaltea) 以试剂显示在储藏过程中其量提高, 这是由于非酶褐变形成的中介物如烯二醇, 还原酮都考虑在总酚中。

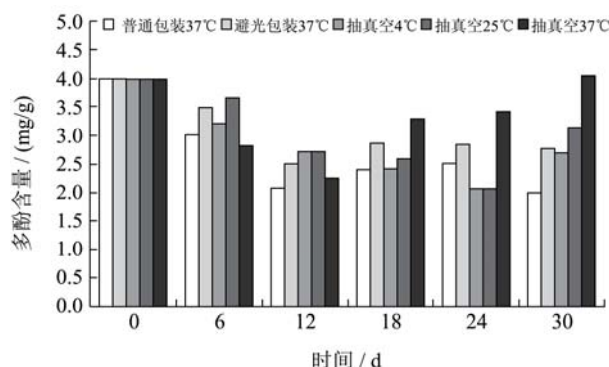


图6 贮藏时间内不同包装条件下总酚含量的变化

Fig.6 Change in the content of total phenols in different forms of packaging during storage

2.8 不同包装条件下的龙眼干颜色变化动力学研究

将龙眼干的 ΔE 值及 BI 与储藏时间的关系进行动力学模型拟合可知, 不同贮藏条件下龙眼干的零级动力学方程拟合的相关系数比一级动力学方程拟合的相关系数高, 因此认为龙眼干的褐变符合零级反应动力学。表 1 为龙眼干褐变动力学参数, 其中 K_0 是零级动力学速率常数, R^2 为相关系数。

表1 龙眼干褐变动力学参数

Table I Kinetic parameters of the browning of dried longan flesh

包装条件	ΔE		BI	
	K_0	R^2	K_0	R^2
普通包装 (37 °C)	0.7560	0.9286	0.0132	0.9794
避光包装 (37 °C)	0.5409	0.8860	0.0090	0.9248
抽真空 4 °C 包装	0.0853	0.6015	0.0003	0.7920
抽真空 25 °C 包装	0.3406	0.8563	0.0031	0.8260
抽真空 37 °C 包装	0.6987	0.9397	0.0107	0.9423

由表 1 可以看出, 当贮藏温度为 4 °C 时, 龙眼干的色差变化速率以及非酶褐变的速率都是最低的, 随着温度的升高, 色差变化速率以及非酶褐变的速率明显加快, 这表明低温能显著降低褐变速率; 龙眼干在光照、有氧条件下, 龙眼干的色差变化速率以及非酶

褐变的速率明显加快, 结合以上对 Vc 含量的分析, 原因在于光照及氧气的存在会加速 Vc 的降解, 从而导致褐变速率加快。

2.9 龙眼干贮藏期间褐变的因子解析

在本实验中,以龙眼干中的 Vc、总酚、5-HMF 作为自变量 X_1 、 X_2 和 X_3 ,以 ΔE 值和 BI 值作为两个观察指标,对数据进行通径分析。

2.9.1 对影响 ΔE (Y_1) 的因素进行通径分析

由直接通径系数和间接通径系数得到通径系数分析表 2。表中对角线上(即*的数据)为直接通径系数 (P_i),其余为间接通径系数 (P_{ij})。每一横行中各项数据之和为该项因子对结果的相关系数 r_{ij} 。

表 2 不同贮藏条件下的通径分析表

Table 2 Path analysis of dried longan flesh under different storage conditions

包装条件	因子	X_1	X_2	X_3	r_1
普通包装, 37 °C	X_1	-1.06662*	0.20134	-0.11271	-0.978
	X_2	-0.99729	0.21533*	-0.10104	-0.883
	X_3	0.95783	-0.17334	0.12551*	0.910
包装条件	因子	X_1	X_2	X_3	r_1
避光包装, 37 °C	X_1	-0.32582*	-0.25293	-0.26925	-0.848
	X_2	-0.17887	-0.46071*	-0.22742	-0.867
	X_3	0.29356	0.35060	0.29884*	0.943
包装条件	因子	X_1	X_2	X_3	r_1
4 °C 抽真空包装	X_1	-0.57697*	-0.09873	-0.00030	-0.676
	X_2	0.16963	-0.33581*	-0.02356	-0.529
	X_3	0.00173	0.07858	0.10069*	0.181
包装条件	因子	X_1	X_2	X_3	r_1
25 °C 抽真空包装	X_1	-0.51773*	0.04364	-0.28591	-0.760
	X_2	-0.19259	0.11731*	-0.54971	-0.625
	X_3	0.19415	-0.08458	0.76243*	0.872
包装条件	因子	X_1	X_2	X_3	r_1
37 °C 抽真空包装	X_1	-0.75869*	-0.00029	-0.23201	-0.991
	X_2	0.01593	0.01403*	0.04604	0.076
	X_3	0.67296	0.00247	0.26157*	0.937

表 2 表明,在被研究的 3 个因子中,在普通包装条件下贮藏对龙眼干的色差值起首要作用的是 Vc (X_1),其 $P_1=-1.0666$;其次是总酚(X_2),其 $P_2=0.2153$;而 5-HMF (X_3) 所起的作用最小,其 $P_3=0.1255$ 。从表 2 还可以看出,Vc 与总酚、5-HMF 的交互作用也十分明显,而 5-HMF 与其他成分的交互作用很弱。其他包装条件下各因子以及各因子之间对色差值起到

的作用依此类推。

由相关系数和通径系数可以计算决定系数,决定系数表示原因对结果的相对决定程度用表示。由公式

(1) 和 (2) 计算各决定系数:

$$\text{单因子对 } Y \text{ 的决定系数 } d_i=P_i^2 \tag{1}$$

$$\text{两因子对 } Y \text{ 的决定系数 } d_{ij}=2r_{ij}P_iP_j \tag{2}$$

由式 (1) 和 (2) 计算得到表 3:

表 3 不同贮藏条件下的决定系数

Table 3 Determination coefficient of dried longan flesh under different storage conditions

包装条件	d_1	d_2	d_3	d_{12}	d_{13}	d_{23}
普通包装 (37 °C) ($\sum d=0.96721$)	1.13769	0.04637	0.01575	-0.4295	0.2404	-0.0435
避光包装 (37 °C) ($\sum d=0.95116$)	0.10616	0.21225	0.29884	0.16482	0.17546	0.20955
抽真空 4 °C 包装 ($\sum d=0.61620$)	0.33289	0.11277	0.01014	0.1442	0.0004	0.0158
抽真空 25 °C 包装 ($\sum d=0.98500$)	0.26804	0.01376	0.58130	-0.0452	0.2961	-0.129
抽真空 37 °C 包装 ($\sum d=0.99813$)	0.57561	0.00020	0.06842	0.0005	0.3521	0.0013

将各因子对色差值的决定系数按照绝对值由大到小的顺序排列,可以看出,在普通包装条件下,Vc 的降解是影响龙眼干色差值的第一决定因素,

$d_1=1.13769$,抗血坏酸和总酚的交互作用是影响龙眼干色差值的第二决定因素 $d_{12}=-0.4295$,其余依此类推。其他包装条件下各因子以及各因子之间对色差值起到

的作用依此类推。 $\sum d$ 表示了由 X_i 各决定的 Y_i 的变异平方和占 Y_i 的总变异平方和的比率。若 $\sum d$ 不显著或太小 ($p < 0.5$)，通径分析的结果就没有什么意义。但是，由于抽样的误差和影响因素的漏失， $\sum d$ 也不可能

为 1 (只能接近于 1)。文中的 $\sum d$ 都较为显著，说明已经考虑了影响龙眼干褐变的主要因素。

2.9.2 对影响 BI (Y1) 的因素进行通径分析

表 4 不同贮藏条件下的通径分析表

Table 4 Path analysis of dried longan flesh under different storage conditions

包装条件	因子	X_1	X_2	X_3	r_1
普通包装, 37 °C	X_1	-0.41185*	0.32646	-0.80661	-0.892
	X_2	-0.38508	0.34915*	-0.72307	-0.759
	X_3	0.36984	-0.28107	0.89823*	0.987
包装条件	因子	X_1	X_2	X_3	r_1
避光包装, 37 °C	X_1	-0.81209*	-0.33451	0.23460	-0.912
	X_2	-0.44584	-0.60931*	0.19814	-0.857
	X_3	0.73169	0.46368	-0.26037*	0.935
包装条件	因子	X_1	X_2	X_3	r_1
4 °C 抽真空包装	X_1	-0.00666*	-0.18092	-0.00142	-0.189
	X_2	-0.00196	-0.61536*	-0.11068	-0.728
	X_3	0.00002	0.14399	0.47299*	0.617
包装条件	因子	X_1	X_2	X_3	r_1
25 °C 抽真空包装	X_1	-0.27750*	0.16482	-0.16368	-0.606
	X_2	-0.10323	-0.44306*	-0.31471	-0.861
	X_3	0.10406	0.31945	0.43649*	0.860
包装条件	因子	X_1	X_2	X_3	r_1
37 °C 抽真空包装	X_1	-0.36789*	-0.00172	-0.55639	-0.926
	X_2	0.00773	0.08187*	0.11040	0.200
	X_3	0.32632	0.01441	0.62727*	0.968

表 5 不同贮藏条件下的决定系数

Table 5 Determination coefficient of dried longan flesh under different storage conditions

包装条件	d_1	d_2	d_3	d_{12}	d_{13}	d_{23}
普通包装 (37 °C) ($\sum d=0.99074$)	0.16962	0.12191	0.80862	-0.26890	0.66441	-0.50492
避光包装 (37 °C) ($\sum d=0.97495$)	0.65949	0.37126	0.06779	0.54331	-0.38102	-0.28588
抽真空 4 °C 包装 ($\sum d=0.74259$)	0.00004	0.37867	0.22372	0.00392	0.00002	0.13622
抽真空 25 °C 包装 ($\sum d=0.92456$)	0.07701	0.19630	0.19052	0.09102	0.09084	0.27887
抽真空 37 °C 包装 ($\sum d=0.96426$)	0.13534	0.00670	0.39347	0.00127	0.40940	0.01808

表 4 表明，在被研究的 3 个因子中，在普通包装条件下贮藏对龙眼干的非酶褐变起首要作用的是 5-HMF (X_3)，其 $P_3=0.89823$ ；其次是 Vc (X_1)，其 $P_1=0.41185$ ；而总酚 (X_2) 所起的作用最小，其 $P_2=0.34915$ 。从表 4 还可以看出，5-HMF 与总酚、Vc 的交互作用也十分明显。其他包装条件下各因子以及各因子之间对色差值起到的作用依此类推。

将各因子对非酶褐变的决定系数按照绝对值由大到小的顺序排列，可以看出，在普通包装条件下，5-HMF 是影响龙眼干非酶褐变的第一决定因素，

$d_3=0.80862$ ，抗血坏酸和 5-HMF 的交互作用是影响龙眼干非酶褐变的第二决定因素 $d_{13}=0.66441$ ，其余依此类推。其他包装条件下各因子以及各因子之间对色差值起到的作用依此类推。

3 结论

3.1 ΔE 值、BI 均随储藏温度升高和储藏时间延长而升高，均遵循零级反应动力学。本文研究表明贮藏温度对褐变的影响最大，其次为光照，最后为氧气。本文中建立了龙眼干在贮藏过程中的颜色变化动力学，

为预测不同包装条件下的龙眼干颜色变化和非酶褐变提供了理论依据。

3.2 在龙眼干贮藏期间, 5-HMF 的积累、Vc 的降解、总酚的降解均加重了龙眼干的非酶褐变, 促进了色泽劣变, 其中美拉德反应和 Vc 的降解是不同贮藏温度下品质差异的主要原因。

3.3 通过研究龙眼干在储藏过程中的三种褐变反应(总酚的降解、Vc 的分解、美拉德反应的变化)与龙眼干的色差值和 BI 值进行了通径系数分析, 可以得知不同包装及贮藏条件下影响龙眼干色差值及 BI 的首要因素和起到直接作用的因素, 具体分析见文中所述。

参考文献

- [1] Wittaya Apai. Effects of fruit dipping in hydrochloric acid then rinsing in water on fruit decay and browning of longan fruit [J]. *Crop Protection*, 2010, 29(10): 1184-1189
- [2] Fabiano A N Fernandes, Sueli Rodrigues, Chung Lim Law, et al. Drying of exotic tropical fruits [J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2011, 4(2): 163-185
- [3] 刘畅. 内源因子对龙眼汁非酶褐变影响研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2008
LIU Chang. Endogenous factors affect longan juice non enzymatic browning research [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2008
- [4] 黄榕辉, 吴光亮, 黄春梅, 等. 龙眼干制过程中糖含量变化对果肉褐变度的影响[J]. *亚热带农业研究*, 2014, 10(3): 145-150
HUANG Rong-hui, WU Guang-liang, HUANG Chun-mei, et al. The influence of the content of sugar to browning of longan flesh [J]. *Subtropical Agriculture Research*, 2014, 10(3): 145-150
- [5] 洪鹏翔, 许志忠, 洪亚阔. 减缓出口龙眼果肉冻褐变的初步研究[J]. *福建农业学报*, 2011, 26(4): 583-586
HONG Peng-xiang, XU Zhi-zhong, HONG Ya-kuo. The primary study of slowing the color change of export longan flesh jelly [J]. *Fujian Journal of Agricultural Science*, 2011, 26(4): 583-586
- [6] 刘畅, 徐玉娟, 李升锋, 等. 龙眼果肉中多酚氧化酶和过氧化物酶性质研究[C]//中国食品科学技术学会东西方食品业高层论坛, 2007: 102-104
LIU Chang, XU Yu-juan, LI Sheng-feng, et al. The research of properties of polyphenol oxidase and peroxidase in dried longan flesh [C]// Top BBS of Food Science and Technology of China to Theeast and the Food Industry, 2007: 102-104
- [7] Nuria C Acevedo, Vilbett Briones, Pilar Buera, et al. Microstructure affects the rate of chemical, physical and color changes during storage of dried apple discs [J]. *Journal of Food Engineering*, 2008, 85(2): 222-231
- [8] Yi-fen Lin, He-tong Lin, Shen Zhang, et al. The role of active oxygen metabolism in hydrogen peroxide-induced pericarp browning of harvested longan fruit [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2014, 96(96): 42-48
- [9] 徐程, 余小林, 胡卓炎, 等. 3 个品种荔枝果汁贮藏过程中的非酶褐变机理研究[J]. *食品与发酵工业*, 2010, 36(9): 175-180
XU Cheng, YU Xiao-lin, HU Zhuo-yan, et al. Study on browning of non-enzymatic of three varieties of litchi juice during storage [J]. *The Food and Fermentation Industry*, 2010, 36(9): 175-180
- [10] 朱娜. 高效液相色谱法测定维生素 C 含量[J]. *实验室研究与探索*, 2013, 32(10): 315-318
ZHU Na. High performance liquid chromatography (HPLC) method for the determination of vitamin C content [J]. *Laboratory Research and Exploration*, 2013, 32(10): 315-318
- [11] Hoda Salim Khamis Al-Jadidi, Mohammad Amzad Hossain. Determination of the total phenols, flavonoids and antimicrobial activity of the crude extracts from locally grown neem stems [J]. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, 2016, 6(5): 376-379
- [12] Scheling Wibowo, Tara Grauwet, Jihan Santanina Santiago, et al. Quality changes of pasteurised orange juice during storage: A kinetic study of specific parameters and their relation to colour instability [J]. *Food Chemistry*, 2015, 187(15): 140-151
- [13] Cai Chang-he, Guo Ji, Zeng Qing-xiao. Effect of storage on non-enzymatic browning of hemi-dried litchi fruit [J]. *Food Science*, 2007, 28(10): 526-532
- [14] Inga Klimczak, Maria Małeczka, Mirosława Szlachta, et al. Effect of storage on the content of polyphenols, vitamin C and the antioxidant activity of orange juices [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2007, 20(3-4): 313-322