

魔芋葡甘聚糖复合涂膜对鲜切莲藕保鲜效果的影响

黄杨敏, 孙 晔, 耿思翌, 赵 杭, 周 艳, 居巧苓, 屠 康*
(南京农业大学食品科技学院, 江苏 南京 210095)

摘 要: 采用正交试验研究魔芋葡甘聚糖、黄原胶、植酸复合涂膜处理对鲜切莲藕保鲜效果的影响, 筛选出保鲜效果较优的组合质量浓度, 并进行验证实验。结果表明, 较优的组合为15 g/L魔芋葡甘聚糖、1.5 g/L黄原胶、0.5 g/L植酸, 在此条件下魔芋葡甘聚糖复合涂膜能有效抑制鲜切莲藕表面的褐变, 降低呼吸强度, 减少营养物质VC和可溶性固形物损失, 并且可抑制其酚类物质含量的下降以及提高抗氧化能力, 具有良好的保鲜效果。

关键词: 鲜切莲藕; 魔芋葡甘聚糖; 涂膜; 保鲜

Effect of Konjac Glucomannan Composite Coating on the Preservation of Fresh-Cut Lotus Root

HUANG Yangmin, SUN Ye, GENG Siyi, ZHAO Hang, ZHOU Yan, JU Qiaoling, TU Kang*
(College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: The effect of composite coatings composed of konjac glucomannan (KGM), xanthan gum (XG) and phytic acid (PA) on the preservation of fresh-cut lotus root was studied by the orthogonal experimental design method. The optimum combination was screened and validated through experiments. The results showed that the combination of 15 g/L KGM, 1.5 g/L XG and 0.5 g/L PA was found to be optimal. The optimized KGM composite coating inhibited the browning, reduced the respiration rate and the losses of VC and total soluble solids (TSS), and suppressed the decrease of total phenol and improved the antioxidant capacity of fresh-cut lotus root. Thus, the KGM composite coating provides excellent preservation of fresh-cut lotus root.

Key words: fresh-cut lotus root; konjac glucomannan; coating; preservation

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201608048

中图分类号: TS255.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2016) 08-0266-06

引文格式:

黄杨敏, 孙晔, 耿思翌, 等. 魔芋葡甘聚糖复合涂膜对鲜切莲藕保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(8): 266-271.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201608048. <http://www.spkx.net.cn>

HUANG Yangmin, SUN Ye, GENG Siyi, et al. Effect of konjac glucomannan composite coating on the preservation of fresh-cut lotus root[J]. Food Science, 2016, 37(8): 266-271. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201608048. <http://www.spkx.net.cn>

莲藕 (*Nelumbo nucifera* Gaertn. ssp. *nucifera*) 是我国广泛种植的水生植物, 也是中国特色的水生蔬菜和出口创汇蔬菜。莲藕营养丰富, 含有丰富的糖类、蛋白质、脂肪, 还含少量的生物碱、黄酮类、VC、核黄素、胡萝卜素等物质及锰、铜、钛等矿物质^[1]。近年来, 果蔬消费量快速增加, 应运而生的鲜切果蔬产业也在不断扩大, 而莲藕因其营养丰富、组织脆嫩等原因适合鲜切生产, 逐渐商品化。但是鲜切莲藕在加工贮藏过程中极易发生

酶促褐变, 直接影响莲藕的感官品质和内在质量, 从而缩短货架期, 阻碍产品销售和出口, 故抑制酶促褐变是延长其货架期的一个重要途径^[2]。

多糖作为可食用涂膜保鲜材料, 具有高效、天然、无毒、价格低廉、资源充足、用量少和使用方便等特点, 近年来逐渐成为保鲜研究与开发的热点^[3]。魔芋葡甘聚糖 (konjac glucomannan, KGM) 是存在于魔芋块茎中的一种可再生的天然高分子化合物, 溶于水后能形成

收稿日期: 2015-07-24

基金项目: 江苏省农业自主创新项目 (CX (13) 3079); “十二五”国家科技支撑计划项目 (2012BAD27B03)

作者简介: 黄杨敏 (1990—), 女, 硕士研究生, 研究方向为农产品加工与贮藏。E-mail: 2013108066@niau.edu.cn

*通信作者: 屠康 (1968—), 男, 教授, 博士, 研究方向为农产品加工与贮藏。E-mail: kangtu@njau.edu.cn

高黏度的假塑性溶液,在可食用膜的研究和应用方面具有广阔的前景^[4]。已有研究表明,KGM涂膜可以延长鲜切蜜柚^[5]、鲜切苹果^[6]、草莓^[7]、甜椒^[8]等果蔬货架期,但是在鲜切莲藕的研究方面未见报道。黄原胶(xanthan gum, XG)是经好氧发酵生物工程技术产生的一种高黏度水溶性微生物胞外阴离子多糖,与KGM之间存在强烈的协同增效作用,两者结合在一定程度上能够提高膜的强度及致密性,而且两者混合物在pH值较低条件下溶胀性较高^[9]。植酸(phytic acid, PA)是一种天然来源的抗氧化剂、护色剂,与金属离子可发生极强的螯合作用^[10],通过抑制氧化、酶促反应等作用达到保鲜果蔬的目的。

本研究在单因素试验的基础上采用正交试验优化鲜切莲藕的保鲜条件,考虑以KGM为基础膜剂,添加XG及PA,制备复合涂膜剂处理鲜切莲藕,低温(4±1)℃条件下贮藏8 d,以 L^* 值、呼吸强度、VC和可溶性固形物(total soluble solid, TSS)含量作为保鲜效果评价指标,综合评定不同配比的涂膜保鲜液的保鲜效果,筛选出最优复合涂膜质量浓度,以期为涂膜法在鲜切莲藕的贮藏保鲜方面的应用提供技术支持和理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

莲藕:以“3735”莲藕品种(本地市场主要销售品种)为实验材料,购于南京市卫岗农贸市场。选取品种一致、肉质白、藕节粗壮、完整无损伤的莲藕。

KGM(纯度≥98.0%) 合肥博美生物科技有限公司;XG(纯度≥98.0%)、PA(纯度≥99.0%) 运升生物科技有限公司;抗坏血酸、磷酸、三氯乙酸、1,10-红菲咯啉、氯化铁、乙醇、福林-酚、没食子酸、碳酸钠、乙酸、乙酸钠、愈创木酚、邻苯二酚、H₂O₂(均为分析纯) 国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

JY5002电子天平 上海良平仪器仪表有限公司;3K15高速冷冻离心机 德国Sigma公司;CR-100便携式色差计 日本Minota公司;PAL-1电子糖度计 日本Atago公司;305H果蔬呼吸测定仪、GY-4数显果实硬度计 浙江托普公司;UV1800紫外分光光度计 日本岛津公司;HH-6数显恒温水浴锅 国华电器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 莲藕处理

购回的莲藕立即放入冰柜中(4±1)℃预冷24 h,次日取出浸泡于清水中,用软布轻轻擦洗,洗净莲藕表面污泥。然后按节切断莲藕,去蒂去皮后横切成5 mm左右厚度的莲藕片。将切分好的藕片分别浸泡于各保鲜液

中,保鲜处理10 min。随后将其分装入聚乙烯包装盒中,置于(4±1)℃条件下贮藏8 d,每2 d测定一次指标。每盒样品300 g,重复3次。以蒸馏水处理为空白对照。

1.3.2 单因素试验

选取KGM、XG、PA 3种单一保鲜剂分别对鲜切莲藕进行单因素保鲜试验。KGM质量浓度设计为15、20、25 g/L,XG质量浓度设计为0.5、1.0、1.5 g/L,PA质量浓度设计为0.5、1.0、1.5 g/L。贮藏期间每2 d测定一次 L^* 值。

1.3.3 正交试验设计

选取KGM、XG、PA 3种保鲜剂做三因素三水平的正交试验。按照正交试验设计表设置9组试验,另设一个空白对照,见表1。贮藏8 d后测定其 L^* 值、呼吸强度、VC、TSS含量等指标。

表1 正交试验因素与水平
Table 1 Factors and their coded levels used in orthogonal array design

水平	因素		
	A KGM质量浓度/(g/L)	B XG质量浓度/(g/L)	C PA质量浓度/(g/L)
1	15	0.5	0.5
2	20	1.0	1.0
3	25	1.5	1.5

1.3.4 验证实验

对正交试验确定的较优质量浓度组合进行保鲜莲藕的验证实验。采用优选出的KGM复配液浸泡鲜切莲藕,贮藏期间每2 d测定一次 L^* 值、呼吸强度、VC含量、TSS含量、总酚含量、过氧化物酶(peroxidase, POD)活性以及多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO)活性等品质指标和生理指标。

1.3.5 指标测定

1.3.5.1 L^* 值的测定

采用CR-100型色差计^[11]对莲藕片的颜色变化进行测定的,记录 L^* 值。每处理取10片莲藕,记录数据,取其平均值。

1.3.5.2 呼吸强度和硬度的测定

呼吸强度采用305H果蔬呼吸测定仪进行测定,结果以CO₂ mg/(h·kg)为单位,以鲜质量计。每次样品取100 g左右,用聚乙烯保鲜膜覆盖保鲜盒,静置10 min后测定呼吸强度,重复3次,记录数据,取其平均值。

硬度采用硬度计测定,以g/cm²为单位。

1.3.5.3 VC、TSS和总酚含量的测定

VC含量采用分光光度法^[12]进行测定,结果以mg/100 g为单位,以鲜质量计。重复3次,记录数据,取其平均值;TSS含量采用PAL-1电子糖度计进行测定^[13],结果以%为单位;总酚含量采用Folin-Ciocalteu法^[14]进行测定,结果以mg GAE/g为单位。

1.3.5.4 POD和PPO活性的测定

POD活性采用愈创木酚法^[15]进行测定,以每克果蔬样品(鲜质量)每分钟吸光度变化值增加0.01为1个活性单位U,结果以U/g为单位;PPO活性采用邻苯二酚法^[16]进行测定,以每克果蔬样品(鲜质量)每分钟吸光度变化值增加0.01为1个活性单位U,结果以U/g为单位。

1.4 数据处理与分析

取重复测定的数据均值,结果以 $\bar{x} \pm s$ 表示,借助Excel 2007、SAS等软件对数据进行统计处理,并采用ANOVA邓肯氏多重差异法进行显著性分析。对于正交试验中多指标的处理,采用模糊综合评定法^[17-18]综合分析贮藏期间鲜切莲藕的各指标变化。鲜切莲藕的质量评定因素有4个,即 L^* 值、呼吸强度、VC含量、TSS含量,根据各因素对贮藏效果的影响,加权系数分别为0.4、0.2、0.2、0.2。结果以综合评定指数衡量各处理的保鲜效果,通过极差分析筛选出保鲜效果的处理组。

综合评定指数(R_i)= $0.4 \times L^*$ 值指数 $+0.2 \times$ 呼吸强度指数 $+0.2 \times$ VC含量指数 $+0.2 \times$ TSS含量指数 (1)

L^* 值、VC、TSS含量评定指数的计算见公式(2):

$$X_{ij} = \frac{X_{\max} - \bar{X}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (2)$$

呼吸强度评定指数的计算见公式(3):

$$X_{ij} = \frac{\bar{X} - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (3)$$

式中: X_{ij} 为第*i*组第*j*个指标的评定指数; $\bar{X}$ 为第*i*组第*j*个指标的平均值; $X_{\max}$ 为第*j*个指标实测值中的最大值; $X_{\min}$ 为第*j*个指标实测值中的最小值。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果与分析

单因素试验中,贮藏期间各组之间硬度变化无显著性差异($P > 0.05$),其他4项指标均呈现显著性差异($P < 0.05$),故将硬度指标数据舍去,不计入分析。

2.1.1 KGM质量浓度对鲜切莲藕 L^* 值的影响

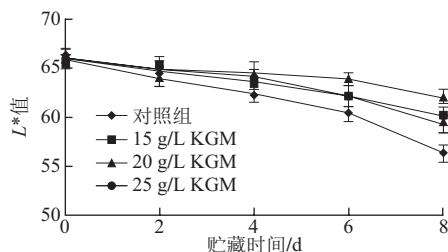


图1 KGM处理对鲜切莲藕 L^* 值的影响

Fig.1 Effect of KGM treatment on L^* value of fresh-cut lotus root slices

由图1可知,随着贮藏时间的延长,鲜切莲藕的 L^* 值呈现不断下降的趋势,其中对照组的 L^* 值下降速度最快,而KGM处理组较为缓慢,说明KGM可以有效防止其褐变。3种质量浓度的KGM处理组中,20 g/L KGM处理组在整个贮藏过程中一直保持较高的 L^* 值,且第6天才开始大幅下降。

2.1.2 XG质量浓度对鲜切莲藕 L^* 值的影响

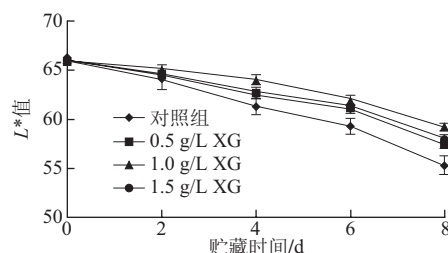


图2 XG处理对鲜切莲藕 L^* 值的影响

Fig.2 Effect of XG treatment on L^* value of freshly-cut lotus root slices

由图2可知,XG处理组相比于对照组能够有效保持鲜切莲藕表面的亮度,其中1.0 g/L的XG处理组效果最好, L^* 值显著高于其他处理组($P < 0.05$),在贮藏第8天,其 L^* 值仅下降7.7%,而对照组为15.2%。

2.1.3 PA质量浓度对鲜切莲藕 L^* 值的影响

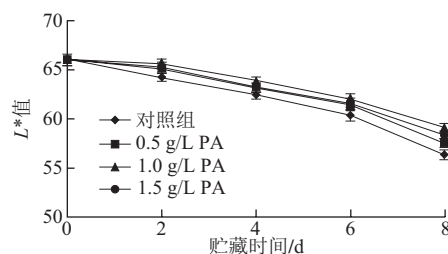


图3 PA处理对鲜切莲藕 L^* 值的影响

Fig.3 Effect of PA treatment on L^* value of fresh-cut lotus root slices

由图3可知,整个贮藏过程中PA处理组的 L^* 值始终高于对照组,其中1.0 g/L PA处理组与对照组存在显著性差异($P < 0.05$),说明1.0 g/L PA处理组能较好地抑制鲜切莲藕褐变,其抑制褐变的原因可能是PA螯合了褐变过程中所需的金属离子^[19-20],从而使得褐变反应得到抑制。

2.2 正交试验结果

莲藕在切分过程中,组织受到破坏直接暴露于空气中,使其内部酚类物质和氧化酶迅速发生了酶促反应,酚类物质氧化成醌,醌再进一步生成有色物质,导致鲜切莲藕表面发生褐变^[21],即 L^* 值下降。鲜切莲藕在贮藏过程中伴随 L^* 值的降低其呼吸强度也不断增强。

由表2可知,经KGM复合涂膜处理后的藕片在贮藏8 d后,其 L^* 值、VC含量、TSS含量均显著高于对照组,呼吸强度也显著低于对照组($P < 0.05$)。

表2 贮藏8 d后鲜切莲藕品质评定结果

Table 2 Quality analysis of fresh-cut lotus root slice after 8 days of storage

试验号	A KGM 质量浓度	B XG 质量浓度	C PA 质量浓度	品质评定项目			
				L^* 值	VC含量/ (mg/100 g)	TSS含量/%	呼吸强度/ ($\text{CO}_2 \text{ mg}/(\text{h} \cdot \text{kg})$)
对照				54.90 ± 0.96^d	14.74 ± 1.46^c	5.67 ± 0.15^d	60.68 ± 2.88^a
1	1	1	1	58.23 ± 0.86^{bc}	17.28 ± 0.96^d	6.53 ± 0.31^a	37.59 ± 3.50^{cd}
2	1	2	3	59.60 ± 1.28^b	19.53 ± 0.28^{bc}	6.53 ± 0.23^a	42.35 ± 3.82^b
3	1	3	2	61.27 ± 0.71^a	18.96 ± 0.09^c	6.23 ± 0.20^{ab}	34.84 ± 2.07^d
4	2	1	3	56.00 ± 0.55^d	15.90 ± 0.97^e	6.27 ± 0.12^{ab}	36.20 ± 1.24^{cd}
5	2	2	2	57.33 ± 1.37^{cd}	20.06 ± 1.13^{bc}	5.80 ± 0.10^{cd}	39.20 ± 0.74^c
6	2	3	1	57.63 ± 0.61^c	21.60 ± 0.55^b	6.10 ± 0.06^c	50.60 ± 1.45^a
7	3	1	2	56.73 ± 1.10^d	19.24 ± 0.45^c	5.77 ± 0.07^d	41.23 ± 3.70^{bc}
8	3	2	1	59.23 ± 0.99^b	20.65 ± 0.39^b	5.80 ± 0.18^{cd}	49.02 ± 4.23^a
9	3	3	3	57.30 ± 0.85^{cd}	20.01 ± 0.19^{bc}	5.97 ± 0.18^{cd}	38.45 ± 2.96^{cd}

注：同列肩标字母不同表示差异显著， $P < 0.05$ 。

根据模糊综合评定法，按公式（2）、（3）分别计算出 L^* 值、VC含量、TSS含量、呼吸强度的评定指数，再根据公式（1）计算出各组综合评定指数。以综合评定指数为评判指标，对贮藏8 d后鲜切莲藕的品质进行极差分析，结果如图4、表3所示。综合评定指数越高，表明贮藏保鲜效果越好。

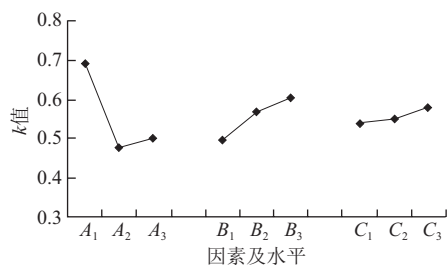


图4 因素水平与综合评定指数的关系

Fig.4 Relationship among various variables at three different levels and comprehensive assessment index

由表3可知，处理组的综合评定指数均比对照组高，说明处理组对鲜切莲藕的品质保持方面均有效果。其中，处理组3的综合评定指数为0.778，即15 g/L KGM、1.5 g/L XG、1.5 g/L PA的复合处理可以有效地对鲜切莲藕的进行保鲜。由图4和表3可知，通过极差分析，鲜切莲藕贮藏8 d后，KGM、XG、PA这3个因素对鲜切莲藕的品质影响的主次顺序为KGM质量浓度>XG质量浓度>PA质量浓度，原因可能是KGM可以有效抑制鲜切莲藕的呼吸作用有关，这也在闫子娇等^[6]利用KGM复合抗坏血酸涂膜鲜切苹果的研究上得到了证实。由于KGM可以在藕片表面形成一层半透膜，控制 CO_2 和 O_2 的进出，一定程度上抑制其呼吸作用，从而减缓酶促褐变的发生，最终能够保持鲜切莲藕的 L^* 值以延长其货架期。

表3 鲜切莲藕综合品质数据分析结果

Table 3 Comprehensive quality analysis of fresh-cut lotus root

试验号	因素			综合评定指数
	A KGM 质量浓度	B XG 质量浓度	C PA 质量浓度	
对照				0.192
1	1	1	1	0.604
2	1	2	2	0.679
3	1	3	3	0.778
4	2	1	2	0.437
5	2	2	3	0.508
6	2	3	1	0.491
7	3	1	3	0.434
8	3	2	1	0.518
9	3	3	2	0.537
K_1	2.061	1.487	1.613	
K_2	1.437	1.706	1.653	
K_3	1.502	1.806	1.732	
k_1	0.687	0.496	0.538	
k_2	0.479	0.569	0.551	
k_3	0.501	0.602	0.577	
R	0.186	0.106	0.039	
较优水平	A_1	B_3	C_3	
因素主次	$A > B > C$			

2.3 验证实验结果

由2.2节正交试验结果可知 $A_1B_3C_3$ 为较优水平组。由表3和图4可知，因素C各水平综合评定指数相差不大，其极差仅为0.039，故在保证保鲜效果的前提下，选择质量浓度较低的水平作为该因素的较优水平，则采用 C_1 水平代替 C_3 水平为较优质量浓度， $A_1B_3C_1$ 为较优水平组，即15 g/L KGM、1.5 g/L XG、0.5 g/L PA为较优质量浓度组合组。

由表4可知，较优水平处理组可以有效保持鲜切莲藕的内外品质，达到保鲜的目的。由表4可知，贮藏期间处理组能够减缓鲜切莲藕表面的 L^* 值的下降，延缓褐变反应的发生，处理组第6天 L^* 值开始快速下降，而对照组第2天即出现褐变加剧的现象；呼吸强度呈现逐渐上升的趋势，对照组的呼吸强度始终显著高于处理组的值，且贮藏结束后（8 d）处理组的呼吸强度（ $33.26 \text{ CO}_2 \text{ mg}/(\text{h} \cdot \text{kg})$ ）仅为对照组的59.09%，处理组显著低于对照组（ $P < 0.05$ ）；VC和TSS含量分别呈现逐渐下降和先上升后下降的趋势，但是处理组的VC和TSS含量变化较为缓慢，说明处理组能够一定程度上保持鲜切莲藕的最初状态，从而达到保鲜莲藕片的效果。由以上结果可知，KGM复合涂膜可有效控制鲜切莲藕的呼吸强度，减少其营养成分的流失，最终延缓鲜切莲藕的褐变，这与祝美云等^[22]采用壳聚糖保鲜莲藕片以及周研等^[23]采用壳聚糖复合涂膜保鲜哈密瓜的原因相似。

表4 验证实验与对照组各指标的比较
Table 4 Comparison of physiological and biochemical parameters between the experimental group and the control group

指标	组别	贮藏时间/d				
		0	2	4	6	8
L^* 值	对照组	67.04±0.52 ^a	66.55±1.13 ^b	64.04±1.11 ^b	59.73±0.75 ^b	54.56±0.90 ^b
	处理组	67.74±0.47 ^a	67.71±0.85 ^a	67.19±0.87 ^a	65.15±0.40 ^a	62.30±0.71 ^a
呼吸强度/ (CO ₂ mg/ (h·kg))	对照组	9.84±0.23 ^a	16.84±2.08 ^a	33.42±1.06 ^a	50.49±3.00 ^a	60.28±2.88 ^a
	处理组	7.53±0.45 ^b	8.90±1.45 ^b	12.85±0.49 ^b	30.66±0.72 ^b	33.26±1.92 ^b
VC含量/ (mg/100 g)	对照组	27.59±0.63 ^a	24.10±0.48 ^b	21.57±0.87 ^b	16.13±1.02 ^b	13.74±1.06 ^b
	处理组	26.98±1.27 ^a	25.08±0.79 ^a	24.15±1.31 ^a	22.69±0.57 ^a	18.91±0.51 ^a
TSS含量/%	对照组	5.71±0.13 ^a	6.44±0.09 ^a	6.18±0.12 ^a	5.85±0.08 ^b	5.51±0.15 ^b
	处理组	5.74±0.15 ^a	6.19±0.12 ^a	6.24±0.05 ^a	6.17±0.10 ^a	5.96±0.11 ^a
总酚含量/ (mg GAE/g)	对照组	15.76±0.09 ^a	13.87±0.19 ^b	10.61±0.34 ^b	8.56±0.50 ^b	7.79±0.22 ^b
	处理组	15.68±0.17 ^a	14.85±0.06 ^a	14.53±0.13 ^a	13.46±0.29 ^a	11.29±0.76 ^a
POD活性/ (U/g)	对照组	146.90±10.11 ^a	120.00±4.52 ^a	115.30±4.55 ^b	146.84±8.08 ^b	184.50±9.19 ^b
	处理组	143.22±3.61 ^a	127.59±9.17 ^a	147.5±6.96 ^a	194.71±2.74 ^a	223.00±7.54 ^a
PPO活性/ (U/g)	对照组	48.46±1.02 ^a	78.10±1.48 ^a	96.75±4.92 ^a	65.75±2.34 ^a	47.78±2.06 ^b
	处理组	41.37±1.49 ^b	53.58±0.91 ^b	56.45±0.85 ^b	51.55±4.47 ^b	42.85±2.41 ^a

注：同指标肩标不同字母表示差异显著， $P<0.05$ 。

另外，引起鲜切莲藕褐变的原因有酶促褐变和非酶促褐变反应，主要由酶促褐变反应引起。蒋娟^[24]对不同品种的鲜切莲藕褐变机理的研究表明酚类物质含量与 L^* 值呈显著正相关性，且Zhang Shaoying等^[25]研究表明鲜切莲藕在贮藏期间PPO、POD是与褐变密切相关的酶类。由表4可知，随着贮藏时间的延长，总酚含量呈现逐渐下降的趋势，这是由于酚类物质不断被氧化从而导致其含量下降，其中对照组从第2天开始急剧下降，而处理组则从第6天才出现大幅下降的趋势，总酚含量的急剧下降说明酶促褐变反应加快。由表4可知，PPO活性呈先上升后下降的趋势，在贮藏前6 d，对照组的PPO活性始终显著高于处理组，并且对照组于第2天开始出现急剧上升的趋势，这与总酚含量的变化趋势一致，这是因为PPO催化了多种酚类物质氧化成醌类化合物，进而聚合成深色物质，所以对照组在贮藏的第2天即出现总酚含量以及PPO活性急剧变化的原因，从而对照组于第2天褐变现象开始加剧。与对照组相比，处理组的PPO活性一直处于较低状态，可能原因是多糖涂膜减少了莲藕表面与空气的接触机会，抑制了酶促褐变反应，提高了鲜切莲藕的抗氧化能力。由表4可知，POD活性呈先下降后上升的趋势，可能是由于切分造成的伤害还没有使植物立即产生应激反应，所以贮藏前期POD的活性不高，随着植物对自身的保护作用越来越强，POD活性也越来越高。处理组的POD活性始终高于对照组，并于第2天开始出现上升趋势，原因可能是多糖涂膜会诱导植物产生自我保护作用，使得POD活性增强以清除植物体内的过氧化物含

量，这与Sun Ying等^[26]使用H₂S熏蒸鲜切莲藕的实验结果相反，分析原因可能是H₂S是内源性信号气体物质，能够抑制与褐变相关的酶促反应，增强其抗氧化能力，而多糖涂膜保鲜主要是通过植物表面形成的半透膜，控制其呼吸强度以达到保鲜作用，具体原因还待进一步的研究。

3 结 论

本研究利用KGM复合XG、PA涂膜鲜切莲藕进行保鲜实验，并进行了验证，筛选出保鲜效果较优的质量浓度组合。结果表明，15 g/L KGM、1.5 g/L XG、0.5 g/L PA为较优质量浓度组合，该KGM复合涂膜处理组能够显著减缓 L^* 值的下降速度，抑制呼吸强度的上升，延缓VC、TSS等营养物质的消化，并且可抑制其酚类物质含量的下降以及提高抗氧化能力，较好地保持了鲜切莲藕的品质，从而达到鲜切莲藕保鲜的目的。

参考文献：

[1] GUO H B. Cultivation of lotus (*Nelumbo nucifera* Gaertn. ssp. *nucifera*) and its utilization in China[J]. Genetic Resources and Crop Evolution, 2008, 56(3): 323-330. DOI:10.1007/s10722-008-9366-2.

[2] 高晗, 孙俊良, 高愿军, 等. 气调包装对鲜切莲藕保鲜效果研究[J]. 食品科学, 2008, 29(10): 612-614. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2008.10.147.

[3] 王伏超, 李军国, 董颖超, 等. 多糖及改性多糖作为涂膜保鲜材料的研究进展[J]. 食品科学, 2012, 33(5): 299-304.

[4] 戴文婧, 尹明安, 沈建鹏, 等. 魔芋葡甘聚糖涂膜对牛角椒保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(20): 329-333. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201320068.

[5] 赖明耀, 兰润, 李雪晖, 等. 葡甘聚糖/蜂蜡复合液膜对鲜切瑯蜜柚保鲜研究[J]. 粮食与油脂, 2014, 27(2): 51-54.

[6] 闫子娇, 张有林, 于月英. 魔芋葡甘聚糖涂膜对鲜切苹果保鲜的研究[J]. 农产品加工, 2009(10): 60-66.

[7] 龚军, 付辉, 张茂美, 等. 改性魔芋葡甘聚糖涂膜对草莓的保鲜研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(1): 315-317.

[8] 张忠, 李静, 花旭斌, 等. 葡甘聚糖涂膜对甜椒保鲜效果影响的研究[J]. 食品科技, 2007, 32(3): 246-248. DOI:10.3969/j.issn.1005-9989.2007.03.070.

[9] 范江洋. 魔芋葡甘聚糖-黄原胶共混多糖作为释药载体的研究[D]. 天津: 天津大学, 2007.

[10] 于有伟, 李惠, 邱金花, 等. 壳聚糖植酸天然复合涂膜对鲜切莲藕保鲜效果的研究[J]. 中国食品学报, 2012, 12(3): 131-135.

[11] 何萌, 王丹, 马越, 等. 不同清洗处理对鲜切莲藕贮藏期褐变的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(18): 214-218. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201418041.

[12] 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: 105-110.

[13] 朱云龙, 陈婷. 超高压处理对莲藕品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(21): 84-87. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201421017.

- [14] SINGLETON V L, ROSSI J A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents[J]. American Journal of Enology and Viticulture, 1965, 16: 144-158.
- [15] WANG Yifei, TANG Fei, XIA Jindan, et al. A combination of marine yeast and food additive enhances preventive effects on postharvest decay of jujubes (*Zizyphus jujuba*)[J]. Food Chemistry, 2011, 125(3): 835-840. DOI:10.1016/j.foodchem.2010.09.032.
- [16] XING Yage, LI Xihong, XU Qianlian, et al. Effects of chitosan-based coating and modified atmosphere packaging (MAP) on browning and shelf life of fresh-cut lotus root (*Nelumbo nucifera* Gaerth)[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2010, 11(4): 684-689. DOI:10.1016/j.ifset.2010.07.006.
- [17] 李蒙, 陆兆新, 周翔, 等. 复合生物源保鲜剂对樱桃番茄“绿宝石”保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(18): 301-306. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201318062.
- [18] 彭湘莲, 李忠海, 钟海燕, 等. 壳聚糖在金丹金柑保鲜中的应用研究[J]. 食品与机械, 2007, 23(3): 103-105.
- [19] 吴澎, 田纪春, 王凤成. 谷物中植酸及其应用的研究进展[J]. 中国粮油学报, 2010, 24(3): 137-143.
- [20] 杨志敏, 蒋立科. 生物化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010: 8.
- [21] CRISTHIANE C F, CLAIRE I G L S, SANDRA M C G, et al. Effect of osmotic dehydration and pectin edible coatings on quality and shelf life of fresh-cut melon[J]. Food Bioprocess Technology, 2013, 6(1): 80-91. DOI:10.1007/s11947-011-0704-6.
- [22] 祝美云, 党建磊, 魏征, 等. 壳聚糖复合涂膜保鲜鲜切莲藕的研究[J]. 食品与机械, 2010, 26(1): 145-147.
- [23] 周研, 谢晶, 周然, 等. Haprin处理结合羧甲基壳聚糖/海藻酸钠复合涂膜对哈密瓜保鲜效果的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(4): 248-255. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.4.040.
- [24] 蒋娟. 鲜切莲藕褐变的生理生化机制及蛋白表达差异研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2011: 53-56.
- [25] ZHANG Shaoying, YU Youwei, XIAO Chunling, et al. Effect of carbon monoxide on browning of fresh-cut lotus root slice in relation to phenolic metabolism[J]. Food Science and Technology, 2013, 53(3): 555-559. DOI:10.1016/j.lwt.2013.04.001.
- [26] SUN Ying, ZHANG Wei, ZENG Tao, et al. Hydrogen sulfide inhibits enzymatic browning of fresh-cut lotus root slice by regulating phenolic metabolism[J]. Food Chemistry, 2015, 177: 376-381. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.01.065.