

ϵ -聚赖氨酸对金瓜贮藏期间质构品质及保鲜效果的研究

刘晨霞^{1,2}, 孔凡俊³, 柳洪入^{1,2}, 王春芳^{1,2}, 乔勇进^{1,2,*}, 刘俊峰⁴

(1.上海市农业科学院农产品保鲜加工研究中心, 上海 201403; 2.上海农产品保鲜加工工程技术研究中心, 上海 201403; 3.上海海洋大学食品学院, 上海 201306; 4.上海雨瀛农业科技有限公司, 上海 201615)

摘要:为探究 ϵ -聚赖氨酸(ϵ -PL)对金瓜贮藏期间质构特性及保鲜效果的影响,采用不同质量浓度的 ϵ -PL(0、50、100、200、400、800 mg/L)浸泡处理崇金2号金瓜,然后置于(13±2)℃、相对湿度50%±5%的冷库中贮藏,并通过腐烂率、瓜皮、瓜肉和瓜丝的质构特性及主要营养品质的变化分析保鲜效果。结果表明: ϵ -PL处理可有效降低金瓜采后腐烂率,保持质构特性和营养品质。贮藏180 d期间,50 mg/L和100 mg/L ϵ -PL组的腐烂率显著低于CK组($P<0.05$),200 mg/L、400 mg/L和800 mg/L ϵ -PL组无腐烂金瓜。其中,100 mg/L组瓜皮色泽相对保持较好,且延缓了瓜皮、瓜肉和瓜丝硬度的下降,保持了瓜皮和瓜肉的脆性及瓜丝咀嚼性和蓬松度,降低了细胞壁组分纤维素的降解速率,食用品质良好且营养价值较高。因此,100 mg/L的 ϵ -PL处理对金瓜的保鲜效果最好。

关键词:崇金2号金瓜; ϵ -聚赖氨酸; 质构品质; 营养品质; 保鲜效果

Research of ϵ -Polylysine on the Texture Quality and Preservation Effect of Marrow Squash (*Cucurbita pepo* L. var. *medullosa* Alef.) during Storage

LIU Chen-xia^{1,2}, KONG Fan-jun³, LIU Hong-ru^{1,2}, WANG Chun-fang^{1,2}, QIAO Yong-jin^{1,2,*}, LIU Jun-feng⁴

(1. Agri-food Storage and Processing Research Center, Shanghai Academy of Agriculture Sciences, Shanghai 201403, China; 2. Shanghai Agri-food Storage and Processing Engineering Technology Research Center, Shanghai 201403, China; 3. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 4. Shanghai Yuying Agricultural Technology Co., Ltd., Shanghai 201615, China)

Abstract: In order to investigate the influence of ϵ -polylysine (ϵ -PL) treatment on texture quality and preservation effect of marrow squash (*Cucurbita pepo* L. var. *medullosa* Alef.), 'Chongjin No.2' marrow squash was soaked with different concentrations of ϵ -PL (0, 50, 100, 200, 400, 800 mg/L), then stored in cold room with a temperature of (13±2) °C and a relative humidity of 50%±5%. Rotting rate, texture characteristics of skin, flesh, silk marrow squash and changes of main nutrient quality were used as indexes to evaluate the preservation effect. The results showed that, ϵ -PL treatment could effectively reduce the rotting rate, and maintain texture characteristics and nutritional quality of marrow squash. During storage of 180 days, the rotting rates of 50 mg/L and 100 mg/L ϵ -PL groups were significantly lower than that of control group ($P<0.05$), but there was no decay in 200 mg/L, 400 mg/L and 800 mg/L groups. Among

基金项目:上海市科技兴农项目(2022-02-08-00-12-F01119);上海农产品保鲜加工工程技术研究中心项目(19DZ2251600);上海市农产品保鲜加工专业技术服务平台项目(21DZ2292200)

作者简介:刘晨霞(1992—),女,汉族,硕士,助理研究员,主要从事农产品采后防腐保鲜方面的研究工作。

***通信作者:**乔勇进,博士,研究员,主要从事农产品防腐保鲜方面的研究工作。

them, the treatment which marrow squashes were immersed in 100 mg/L ϵ -PL, preserved skin color, delayed decline of skin, flesh and silk firmness, maintained fracturability of skin and flesh, and the chewiness and fluffiness of silk of marrow squash, and reduced the degradation rate of the cell wall component cellulose. Moreover, marrow squash treated with 100 mg/L ϵ -PL had good edible quality and high nutritional value during storage. Accordingly, 100 mg/L ϵ -PL group had the best preservation effect on marrow squash.

Key words: ‘Chongjin No. 2’ marrow squash; ϵ -polylysine; texture quality; nutritional quality; preservation effect

中图分类号:S642.9

文献标识码:A

DOI:10.3969/j.issn.1009-6221.2023.08.002

金瓜(*Cucurbita pepo* L. var. *medullosa* Alef.)是葫芦科南瓜属美洲南瓜的一个变种,又名搅瓜、面条瓜,其色泽金黄,瓜肉自然成丝,营养丰富,是上海市崇明区传统特色蔬菜品种,深受消费者喜爱^[1]。金瓜耐贮性差,采后传统的常温室内堆藏或架藏易造成机械损伤,出现瓜皮木栓化、瓜丝失脆、褐变发芽、病菌侵染和腐烂变质等问题,造成经济损失^[2]。因此保持金瓜品质是其采后的重难点。目前,金瓜采后保鲜方面的研究较少,低温、冷激^[3]、涂膜^[4]、气调^[5]和多菌灵等保鲜技术虽有研究但并不深入,且这些技术存在耗能大、效果差、不安全等问题。

ϵ -聚赖氨酸(ϵ -Poly-L-lysine, ϵ -PL)是由25~35个L-赖氨酸残基通过 α -羧基和 ϵ -氨基之间的肽键连接而成的一种重要的聚阳离子肽,是天然防腐剂和生物保鲜剂,具有良好的水溶性、广谱抗菌活性和高安全性^[6-7]。 ϵ -PL作为国际公认安全的防腐剂和食品添加剂,已在米饭、面条、鱼类寿司、沙拉等烹饪菜品和食品中应用^[8]。 ϵ -PL在有效抑制食源性微生物^[9]、果蔬采后病害微生物^[10]及农产品采后保鲜技术^[11]上的研究较多,但对相关质地特性和品质变化规律的研究还尚未见报道。本试验以上海崇明特种蔬菜研发中心在2019年用CM05号(母本) $\times$ SD02(父本)杂交选育而成的中熟品种崇金2号金瓜为试材,采用不同浓度 ϵ -PL对其进行保鲜浸泡处理,通过整果穿刺和瓜丝剪切来考察金瓜瓜皮、瓜肉和瓜丝的质地结构,结合感官和营养检测技术,探究 ϵ -PL处理对崇金2号金瓜质地和组织结构的影响及其贮藏保鲜效果,以期为金瓜的贮藏保鲜提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

1.1.1 材料与试剂

崇金2号金瓜采于上海雨瀛农业科技有限公司,

金瓜成熟时拔棵,在大棚晾晒2~3 d,待瓜皮颜色转黄后采摘,当天运回上海市农业科学院农产品保鲜加工中心,筛选无机械损伤、无病虫害、大小和色泽相近的崇金2号金瓜,置于 $(13\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度(Relative humidity, RH)50% $\pm$ 5%的冷库中贮藏。

考马斯亮蓝G-250、牛血清蛋白质等试剂均为分析纯(AR),购于国药集团化学试剂有限公司;总糖含量试剂盒和氨基酸含量试剂盒,均购于苏州科铭生物技术有限公司。

1.1.2 仪器与设备

BP301S型电子天平,德国赛多利斯集团; μ Quant酶标仪,美国伯腾仪器有限公司;TA.XT Express-v3.1质构分析仪,英国Stable Micro Systems公司;JX-FSTPR-1型全自动样品冷冻研磨仪,上海净信实业发展有限公司;CM-5分光测色计,柯尼卡美能达(中国)投资有限公司;MZB92型数字折光仪,上海米清科工业有限公司;D37520型Osterode高速冷冻离心机,德国索福Biofuge公司;GP02S型恒温水浴锅,赛默飞世尔科技(中国)有限公司。

1.2 方法

1.2.1 处理方法

将筛选的金瓜随机分成6组,每组30个果实,以蒸馏水处理30 min为对照组(CK),其他5组分别在质量浓度为50、100、200、400、800 mg/L的 ϵ -PL溶液中浸泡30 min,取出后在自然状态下晾干瓜皮表面水分(尤其是瓜柄)。将金瓜瓜柄向上依次排放在打孔的0.04 mm聚乙烯薄膜保鲜袋中,贮藏于 $(13\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 、RH 50% $\pm$ 5%的冷库中,贮藏期间每30 d取样测定各项指标,重复3次,结果取平均值。

1.2.2 测定指标与方法

1.2.2.1 腐烂率

$$\text{腐烂率}(\%) = \frac{\text{腐烂金瓜数}}{\text{调查金瓜总数}} \times 100$$

1.2.2.2 色泽

使用CM-5分光测色计在每个金瓜赤道部位3个

等距点测定表面颜色。分析 L^* (亮/暗)、 a^* (红/绿)、 b^* (黄/蓝)值和 ΔE 。

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2}$$

式中: $L_0^*=76.89$, $a_0^*=9.98$, $b_0^*=70.25$ 。

1.2.2.3 质构指标

整果质构:使用质构分析仪在金瓜赤道圈等距的5个位置进行穿刺测试,测定金瓜瓜皮硬度(Skin hardness)、瓜皮脆性(Skin fracturability)、瓜肉硬度(Flesh hardness)、瓜肉脆性(Flesh fracturability)和瓜肉紧实度(Flesh firmness),每次每组3个金瓜。测试模式为Compression, P/5柱形探头。测试参数如下:测试前、中、后的速度分别为1.0、3.0、10.0 mm/s,测定样品时探头位移20.0 mm,触发力10.0 g。

金瓜丝质构:在玻璃杯中平铺厚度5 cm的金瓜丝,使用质构分析仪进行金瓜丝三环剪切测试,测定瓜丝硬度(Hardness)、咀嚼性(Chewiness)和蓬松度(Fluffiness),每次每组重复3次。测试模式为Compression, A/TRAS批量测试探头。测试参数如下:测试速度1.5 mm/s,测定样品时探头位移35.0 mm,测试后速度10.0 mm/s。

1.2.2.4 纤维素和可溶性果胶含量

纤维素含量:采用硫酸蒽酮比色法^[12]测定;可溶性果胶含量:采用咔唑比色法^[13]测定。

1.2.2.5 主要营养物质含量

可溶性固形物(Total soluble solids, TSS)含量:使用数字折光仪测定;可溶性蛋白质含量:采用考马斯亮蓝法^[13]测定;总糖和氨基酸含量:参照相关试剂盒中的说明书进行测定。

1.2.3 数据处理

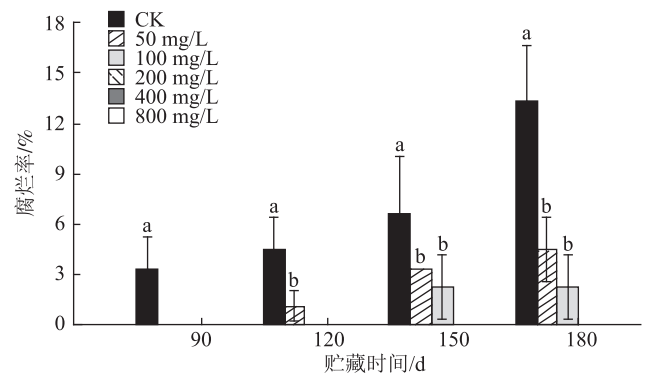
采用Origin Pro 9.0软件制图,通过SPSS 17.0进行统计学分析,试验结果以 $\bar{x} \pm s$ 表示。

2 结果与分析

2.1 不同浓度ε-PL处理对金瓜腐烂率的影响

果实腐烂率能直观地反映贮藏效果,是最具经济意义的指标之一。由图1可见,金瓜在 $(13 \pm 2)^\circ\text{C}$ 、RH 50%±5%的冷库中贮藏至90 d时,除CK组外,各ε-PL组均未出现腐烂果;之后随贮藏时间的延长,50 mg/L和100 mg/L ε-PL组出现腐烂,但其腐烂率显著低于CK组($P < 0.05$);180 d时,CK、50 mg/L和100 mg/L ε-PL组腐烂率分别为13.33%、4.44%和2.22%,其他ε-PL组仍未出现腐烂,说明较高浓度的ε-PL处理可显著降低金瓜腐烂率,延长保鲜期。推测可能是ε-PL的广谱杀菌作用,可通过静电吸附作

用于细胞膜,改变其通透性、破坏细胞结构和抑制细胞代谢,达到抑菌效果^[14]。



注:不同小写字母表示相同时间不同组别差异显著($P < 0.05$),以下各图同。

图1 ε-PL处理对贮藏期间金瓜腐烂率的影响

Fig.1 Effect of ε-PL treatment on the rotting rate of marrow squash during storage

2.2 不同浓度ε-PL处理对金瓜色泽的影响

色泽是影响金瓜商品性最重要的因素之一。金瓜色泽金黄,表1表征了金瓜贮藏期间主要外观指标即色泽明亮度 L^* 、黄色程度 b^* 和总色差 ΔE 的变化。贮藏期间观察到金瓜逐渐老熟,其 L^* 值整体降低,180 d时50 mg/L和100 mg/L ε-PL组金瓜 L^* 值显著高于其他组($P < 0.05$)。瓜皮 b^* 值呈波动变化,但整体呈升高趋势,黄色程度逐渐加深,说明ε-PL处理不影响金瓜的正常后熟;CK组瓜皮 b^* 值在60 d时明显升高;50、100、400 mg/L ε-PL组在120 d时明显增加;180 d时,50 mg/L和200 mg/L ε-PL处理组金瓜 b^* 值显著高于其他组($P < 0.05$)。

贮藏180 d期间,各组金瓜总色差 ΔE 值也呈波动变化,CK组在贮藏60 d时 ΔE 值达到峰值,50、100、400 mg/L组在120 d时显著增加,且峰值均显著低于CK组($P < 0.05$),说明适宜浓度的ε-PL处理能够延缓金瓜总色差 ΔE 值高峰。与贮藏0 d相比,180 d时各组 ΔE 值均显著增加,其中100 mg/L组显著低于CK组($P < 0.05$),但与800 mg/L组之间差异不显著。从参数 L^* 、 b^* 和 ΔE 值变化的综合分析发现,100 mg/L ε-PL处理能相对较好地保持金瓜的外观色泽。

2.3 不同浓度ε-PL处理对金瓜瓜皮硬度和脆性的影响

瓜皮是金瓜的保护组织,其硬度和脆性是评价金瓜品质的重要指标之一,也是贮运特性和抗病能力的重要影响因素。随贮藏时间的延长,瓜皮硬度整体呈下降趋势(图2A)。贮藏0~90 d,100 mg/L ε-PL组瓜皮硬度显著高于其他组($P < 0.05$),说明较低浓度的ε-PL处理可有效保持贮藏前期金瓜果皮硬

表1 不同浓度 ϵ -PL处理后金瓜在贮藏期的色泽变化
Table 1 Color changes of marrow squash treated with different concentrations of ϵ -PL during storage

指标	贮藏时间/d	处理组					
		CK	50 mg/L	100 mg/L	200 mg/L	400 mg/L	800 mg/L
L^* 值	0	76.89±0.21					
	30	76.27±0.27 Cc	74.93±0.30 Aa	75.17±0.36 Bab	75.47±0.24 ABb	76.25±0.13 Cc	76.51±0.17 Cc
	60	75.63±0.19 Ba	76.61±0.23 Cb	75.69±0.18 Ca	76.47±0.26 Db	76.29±0.28 Cb	76.71±0.18 Cb
	90	74.02±0.17 Aa	74.96±0.23 Ac	74.59±0.20 Abc	75.83±0.39 BCd	74.54±0.29 Abc	74.15±0.24 Aab
	120	75.34±0.07 Bab	75.63±0.24 Bb	75.54±0.21 BCb	76.05±0.18 CDc	75.13±0.17 Ba	76.66±0.19 Cd
	150	75.35±0.21 Ba	75.77±0.20 Bb	75.56±0.21 BCab	75.48±0.30 ABab	75.43±0.12 Bab	75.48±0.21 Bab
	180	75.32±0.17 Ba	76.00±0.17 Bb	75.76±0.16 Cb	75.47±0.09 Aa	75.29±0.18 Ba	75.28±0.29 Ba
b^* 值	0	70.25±0.29					
	30	69.08±0.36 Aab	71.74±0.25 Bd	69.48±0.35 Aab	69.12±0.14 Aa	69.62±0.22 Bb	71.17±0.17 Cc
	60	74.63±0.64 Cd	71.10±0.56 ABb	72.14±0.25 Cc	70.83±0.53 Bb	69.28±0.18 Ba	72.05±0.67 Dc
	90	69.98±0.81 Abc	70.28±0.31 Abc	71.21±0.81 BCc	70.55±0.74 Bbc	67.76±0.95 Aa	69.47±0.17 Bb
	120	71.16±0.36 Bb	74.30±0.64 Dc	73.80±0.54 Dc	70.76±0.77 Bb	75.39±0.41 Dd	68.47±0.32 Aa
	150	69.48±0.17 Aa	70.78±0.68 ABb	70.86±0.65 Bb	72.03±0.48 Cc	69.57±0.39 Ba	71.18±0.59 Cbc
	180	69.10±0.51 Aa	72.96±0.59 Cc	71.21±0.42 BCb	73.45±0.38 Dc	71.50±0.47 Cb	68.86±0.45 ABa
ΔE	0	0					
	30	2.16±0.36 Aa	2.62±0.19 BCa	2.10±0.50 Ba	3.64±0.31 Cb	3.77±0.74 Bb	2.15±0.23 Aa
	60	4.61±0.52 Cb	2.21±0.37 Ba	2.50±0.10 Ba	2.52±0.51 Ba	1.78±0.46 Aa	2.33±0.27 Aa
	90	3.37±0.43 Bb	3.10±0.42 Cab	3.16±0.22 Cb	2.28±0.47 Ba	3.63±0.65 Bb	3.05±0.44 Bab
	120	1.99±0.19 Aab	4.05±0.27 Dc	3.66±0.33 Dc	1.47±0.14 Aa	5.46±0.34 Cd	2.45±0.43 Ab
	150	1.76±0.26 Ab	1.38±0.15 Aa	1.61±0.10 Aab	2.34±0.20 Bc	1.73±0.18 Aab	1.88±0.24 Ab
	180	2.19±0.33 Ab	3.14±0.36 Cc	1.60±0.09 Aa	3.99±0.24 Cd	2.11±0.18 Ab	1.97±0.31 Aab

注:不同大写字母表示在不同时间同一处理间存在显著性差异($P<0.05$);不同小写字母表示在同一时间不同处理间存在显著性差异($P<0.05$)。

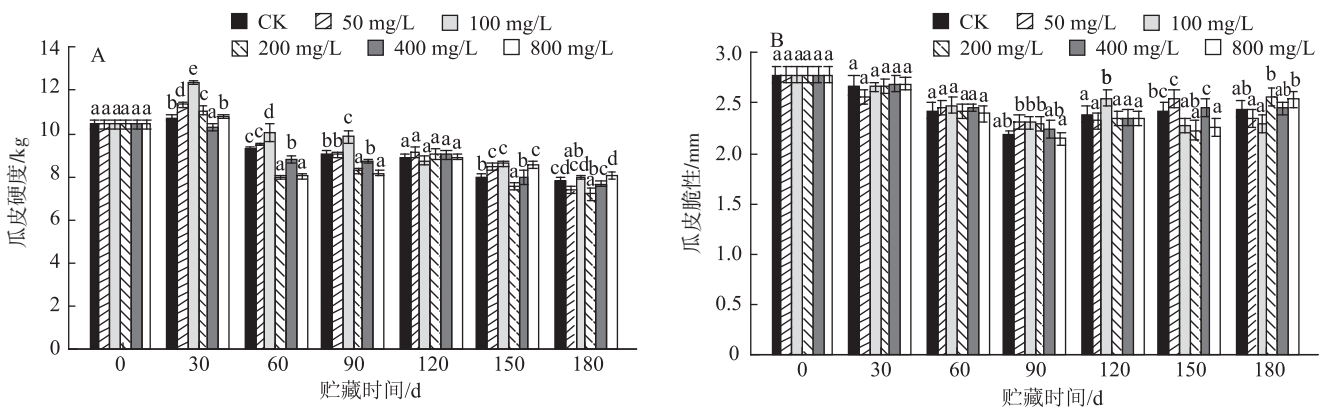


图2 ϵ -PL处理对贮藏期间金瓜瓜皮硬度(A)和脆性(B)的影响
Fig.2 Effect of ϵ -PL treatment on the skin hardness (A) and skin fracturability (B) of marrow squash during storage

度;在120 d时各组之间无显著差异,贮藏180 d时,800 mg/L ϵ -PL组显著高于50、200、400 mg/L组($P<0.05$),但与CK和100 mg/L组间差异不显著。

由图2B可见,瓜皮脆性呈先下降后上升的变化趋势,0 d时瓜皮脆性为(2.78±0.08)mm,贮藏至90 d时瓜皮脆性下降,90~180 d期间有所上升,该变化可能是由于较长时间贮藏时金瓜外表皮组织木栓化阻

止水分散失,脆性逐渐转为韧性,180 d时,50 mg/L和100 mg/L ϵ -PL组脆性较低,说明较低浓度 ϵ -PL处理的金瓜表皮组织致密且失水较少,可有效保持瓜皮脆性向韧性转变。

2.4 不同浓度 ϵ -PL处理对金瓜瓜肉硬度、脆性和紧密度的影响

金瓜瓜肉是由圆形或多面形的瓜丝镶嵌排列环

绕而成,硬度和脆性和紧密度是表征瓜肉质度和品质的重要指标。由图3可见,随着贮藏时间的延长,瓜肉硬度下降速率增加;脆性0~150 d缓慢下降,最后30 d下降加快(除800 mg/L ε-PL组外);瓜肉紧实度在120 d前呈波动变化,120~150 d快速下降。贮藏至180 d时,CK组与50、100、200、400、800 mg/L ε-PL组瓜肉硬度较初值分别下降了21.78%、16.02%、12.83%、25.96%、20.97%和13.60%,其中50、100、800 mg/L ε-PL组瓜肉硬度保持较好,且显著高于其他组($P<0.05$);各ε-PL处理组的金瓜正常后熟瓜肉细胞壁降解较为缓慢,其脆性显著高于CK组($P<$

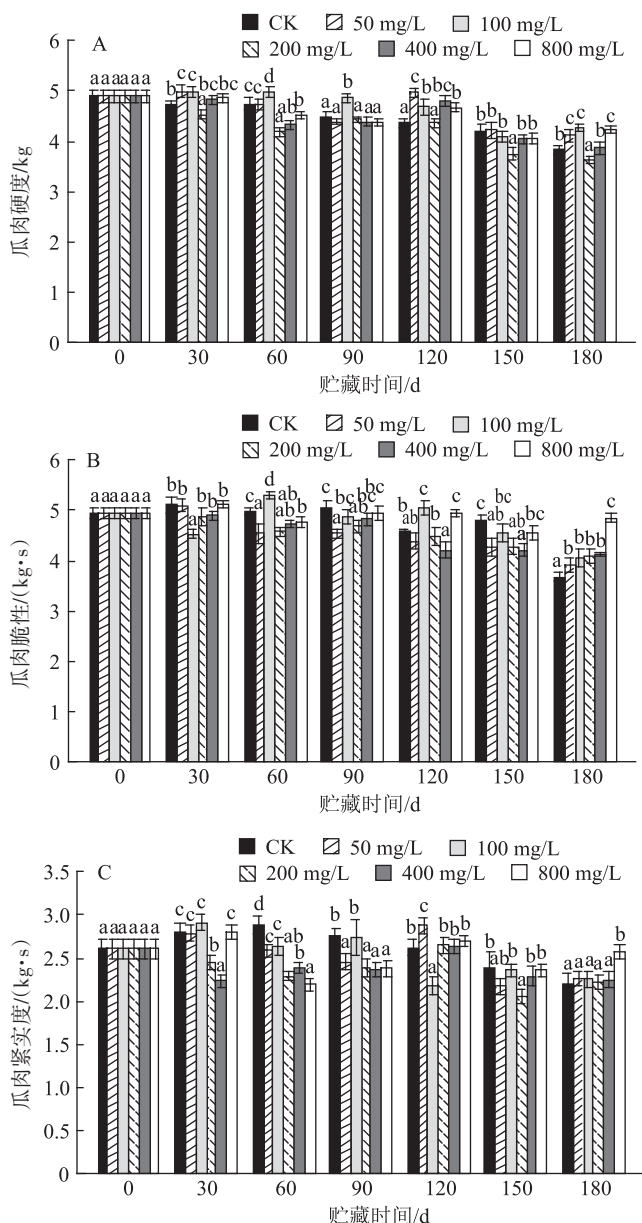


图3 ε-PL处理对贮藏期间金瓜瓜肉硬度(A)、瓜肉脆性(B)和瓜肉紧实度(C)的影响

Fig.3 Effect of ε-PL treatment on the flesh hardness (A), fracturability (B) and firmness (C) of marrow squash during storage

0.05);800 mg/L ε-PL组瓜肉脆性和紧实度与初值之间无显著性差异,但显著高于其他组($P<0.05$),可能是由于金瓜细胞壁原果胶水解,瓜肉不能正常分离成瓜丝,导致瓜肉的脆性和紧实度显著增强。综合分析表明,50 mg/L和100 mg/L ε-PL处理能降低瓜肉细胞壁时水解能力,保持瓜肉组织质地,延缓贮藏期间瓜肉质构品质的下降。

2.5 不同浓度ε-PL处理对金瓜瓜丝质构的影响

瓜丝是金瓜可食用部分,每缕瓜丝是由中央维管束及周围3~5层薄壁细胞组成,薄壁细胞高度液泡化,瓜丝间有较狭小的细胞将瓜丝分隔,其硬度、蓬松度和咀嚼性是衡量瓜丝质构品质的重要指标^[15]。由图4可以看出,瓜丝硬度降低时咀嚼性也随之降低,0 d时分别为37.80 kg和315.86 kg·s;随贮藏时间的延长,0~90 d,采后因瓜丝营养物质消耗及纤维素降解导致瓜丝硬度下降;90~180 d期间,瓜丝硬度和咀嚼性出现异常增加,可能与金瓜失水有关;贮藏180 d时,100 mg/L ε-PL组瓜丝硬度和咀嚼性显著高于其他组($P<0.05$),与初值差异不显著,此时金瓜瓜丝质地最佳。

蓬松度越大,说明瓜丝品质越好。整个贮藏期间,瓜丝蓬松度整体呈波动式下降(图4C)。0 d时,瓜丝蓬松度为(6.01±0.20)mm;180 d时200 mg/L ε-PL组较高((5.39±0.08)mm),100 mg/L和400 mg/L ε-PL组次之((5.08±0.18)mm和(5.13±0.10)mm),CK最低((4.50±0.09)mm),此时100、200、400 mg/L ε-PL组金瓜瓜丝能够正常分离,蓬松度较高,品质较好。

2.6 不同浓度ε-PL处理对金瓜纤维素和可溶性果胶含量的影响

纤维素和果胶等是构成细胞壁的主要多糖物质,含量过高或过低会直接影响金瓜的硬度和脆性等质地,也是评价金瓜品质和贮藏性的指标之一。由图5可见,贮藏期间金瓜纤维素含量与可溶性果胶含量的变化趋势相反,随贮藏时间的延长,纤维素含量逐渐降低,可溶性果胶含量逐渐上升。这可能是在多聚半乳糖醛酸酶和果胶甲酯酶的相互作用下,通过水解作用将金瓜中的纤维素和原果胶等大分子多糖不断降解为可溶性果胶等小分子物质,从而破坏细胞壁,使果实软化^[16]。贮藏0~30 d,CK组和各ε-PL组的纤维素和可溶性果胶含量无显著差异。之后,100 mg/L ε-PL组金瓜纤维素含量较高,可溶性果胶含量较低,180 d时,与CK相比,纤维素含量提高了19.91%,可溶性果胶含量降低了15.66%,说明该处理能够有效延缓组织细胞壁的降解,保持金

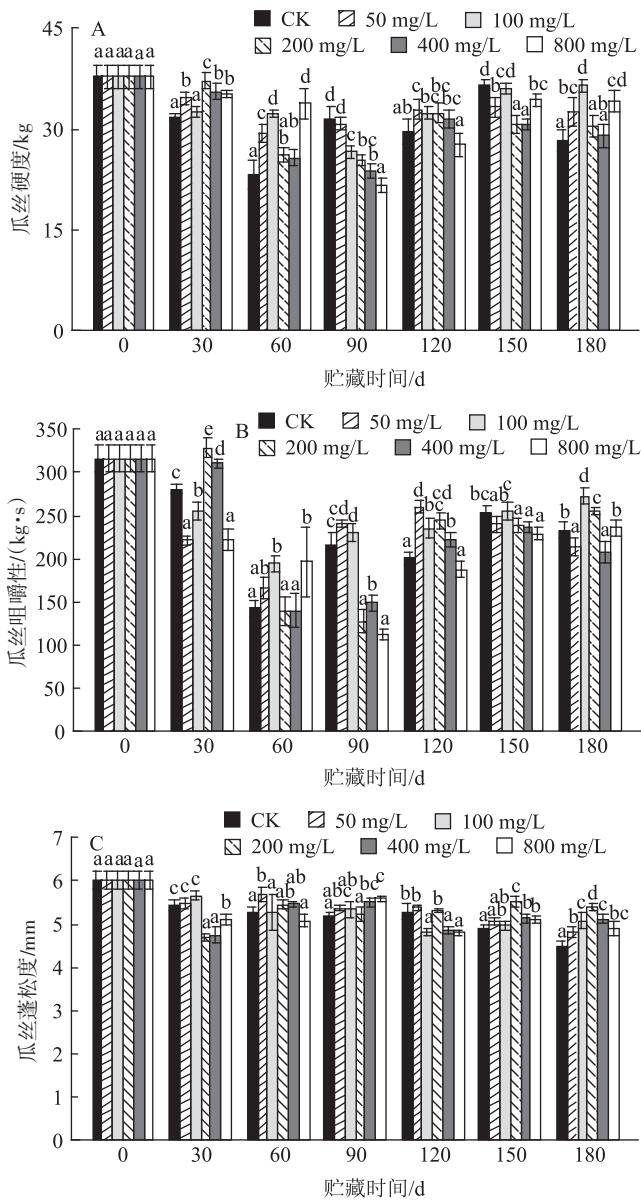
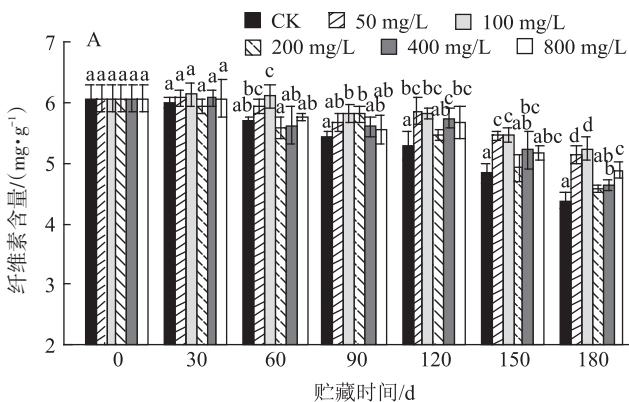


图4 ϵ -PL处理对贮藏期间金瓜瓜丝硬度(A)、咀嚼性(B)和蓬松度(C)的影响

Fig.4 Effect of ϵ -PL treatment on the silk hardness (A), chewiness (B) and fluffiness (C) of marrow squash during storage



瓜质地品质。

2.7 不同浓度 ϵ -PL 处理对金瓜主要营养物质的影响

金瓜兼具营养和保健功效,可溶性固形物、可溶性蛋白、总糖和氨基酸等营养成分含量的高低是衡量金瓜品质、口感和贮藏效果的重要指标。由图6A可见,金瓜初始TSS含量为5.01%,随贮藏时间延长,TSS作为呼吸底物而逐渐被消耗,180 d时,CK和50、100、200、400、800 mg/L ϵ -PL组TSS含量较初值分别降低了1.50、1.19、0.94、1.19、1.56、1.02个百分点,其中100 mg/L组TSS含量显著高于其他组($P<0.05$),可见该浓度的 ϵ -PL处理可有效降低金瓜呼吸速率,延缓衰老,减少可溶性物质的消耗。

糖类物质是新陈代谢的主要原料和储存物质,金瓜采后生命活动所需能量和中间物质主要来源于组织中糖类物质的氧化分解,总糖含量的下降是组织衰老的重要指标。由图6B可见,金瓜初始总糖含量为(30.99±0.96)mg/g,贮藏期间CK组总糖含量下降较快,且显著低于其他组($P<0.05$),180 d时,较初值降低了36.62%;各 ϵ -PL组在30~90 d期间总糖含量增加,并维持在较高水平,可能是由于淀粉、酸在酶的作用下转化为糖,金瓜的呼吸作用得到有效抑制,有机物氧化分解能力被减弱^[17],之后随着衰老进程的加快,消耗了总糖氧化分解提供的能量,180 d时,100、200、800 mg/L ϵ -PL组总糖含量保持在36.8~39.6 mg/g,显著高于其他组($P<0.05$)。

由图6C和6D可知,贮藏期间金瓜可溶蛋白含量整体先降低后升高,氨基酸含量整体呈先升高后降低再升高的变化趋势。贮藏0~90 d,可溶性蛋白质含量逐渐降低,而氨基酸含量逐渐上升,这可能是由于瓜丝中蛋白酶的分解作用和外源蛋白的参与使得不溶蛋白水解产生氨基酸和多肽^[18]。贮藏180 d时,各组可溶性蛋白含量由高到低排序为200 mg/L>800 mg/L>

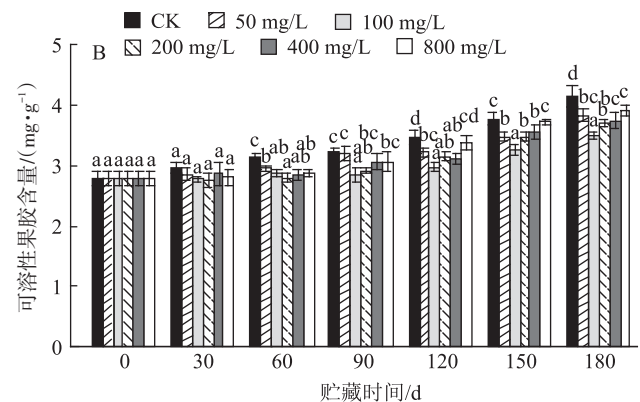


图5 ϵ -PL处理对贮藏期间金瓜纤维素(A)和可溶性果胶(B)含量的影响

Fig.5 Effect of ϵ -PL treatment on the cellulose (A) and soluble pectin (B) contents of marrow squash during storage

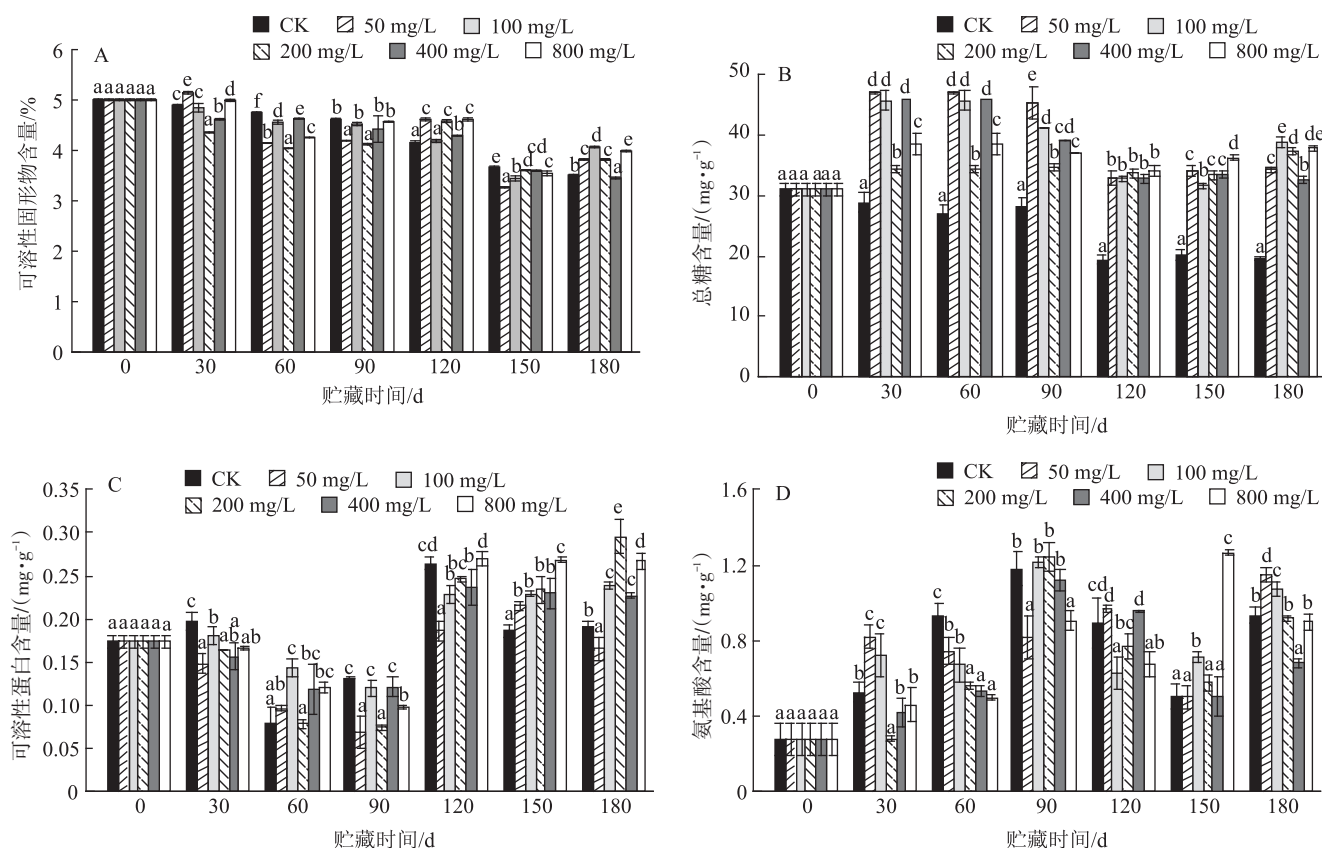


图6 ε-PL处理对贮藏期间金瓜可溶性固形物(A)、总糖(B)、可溶性蛋白(C)和氨基酸(D)含量的影响

Fig.6 Effects of ε-PL treatment on the TSS (A), total sugar (B), soluble protein (C) and amino acid (D) contents of marrow squash during storage

100 mg/L>400 mg/L>CK>50 mg/L。与初值相比,第180天时CK组和50、100、200、400、800 mg/L ε-PL组氨基酸分别增加了3.32倍、4.11倍、3.82倍、3.28倍、2.43倍和3.21倍,其中50 mg/L和100 mg/L组显著高于其他组($P<0.05$)。综上,100 mg/L的ε-PL保鲜处理能够降低金瓜贮藏呼吸代谢和能量物质消耗,延缓金瓜衰老,保持较高的营养价值。

3 讨论与结论

腐烂率和色泽是反映果蔬采后贮藏品质的直接感官指标。本试验研究了低温贮藏期间不同浓度ε-PL处理对金瓜腐烂率和外观色泽的影响,结果发现,ε-PL处理抑制了金瓜采后腐烂的发生,浓度越高抑制效果越明显,这与陈秋映等^[19]发现ε-PL浸泡赣南脐橙后腐烂率显著降低和于继男等^[20]研究发现经ε-PL处理的蓝莓腐烂率降低的结果一致,由此表明,ε-PL具有抑制采后金瓜腐烂的作用。贮藏至180 d,金瓜表皮 L^* 值逐渐下降、 b^* 值逐渐升高、 ΔE 值增加,ε-PL处理能够保持较好的瓜皮色泽,延缓衰老,相似的结论在魏奇等^[21]和李江阔等^[22]的研究中也有报道,说明ε-PL能有效延缓褐变,保持金瓜亮度。

硬度是评价金瓜组织结构变化和贮藏性的指标之一。在 $(13\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 、RH 50%±5%冷库贮藏180 d期间,ε-PL处理的金瓜细胞壁组分纤维素的降解速率较低,瓜皮、瓜肉和瓜丝的硬度下降速率有效减缓,脆性保持较好。巴良杰等^[23]研究发现,500 mg/L的ε-PL处理明显抑制了李子硬度下降,延缓了软化程度;范飞等^[24]也发现2% ε-PL改性聚乙烯复合薄膜对砀山梨硬度保持较好,证明了ε-PL可以有效延缓贮藏期间果实硬度的降低。金瓜瓜皮脆性、瓜肉脆性和紧实度、瓜丝咀嚼性和蓬松度等质构品质与硬度的高低密切相关,研究结果显示,ε-PL处理能保持金瓜瓜皮、瓜肉和瓜丝的质地品质。此外,质地品质与细胞组分及细胞壁降解机制有关,目前ε-PL处理对保持果蔬硬度和对果蔬常见致病菌抑制机制的研究结果表明,它能够破坏孢子细胞壁和细胞膜^[25],抑制菌丝生长,但有关ε-PL延缓果蔬细胞壁组分的降解机制有待进一步研究。

ε-PL作为安全的防腐保鲜剂,诸多研究和报道证明了其在果蔬贮藏保鲜领域的应用潜能,不仅能够抑制引起果蔬腐烂的微生物的生长繁殖,还可降低果蔬呼吸强度、延缓褐变、保持果蔬良好的品质。

本研究发现,与CK相比, ϵ -PL处理的金瓜衰老速率较低,TSS的消耗降低,总糖、可溶性蛋白和氨基酸营养品质保持在较高水平,这与李亚娜等^[26]和吴超等^[27]的研究一致,说明 ϵ -PL对延长金瓜保鲜期具有积极的作用。

综合分析,经 ϵ -PL浸泡30 min的崇金2号金瓜在 $(13\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 、RH 50% $\pm$ 5%的冷库贮藏后,腐烂率显著降低,质构特性和主要营养品质较好,保鲜期可达180 d,其中100 mg/L ϵ -PL组保鲜效果最佳,是安全、高效的金瓜贮藏保鲜技术。本试验仅研究了 ϵ -PL处理对金瓜质构及保鲜的效果,关于引起品质变化的内在影响因素、生理代谢和生化品质有待进一步探究。此外,复合保鲜技术具有很好的应用前景,后续也可开展 ϵ -PL联合其他保鲜剂、抗菌剂或物理保鲜技术通过协同作用增强其抗菌保鲜活性,以延长农产品保鲜期。

参考文献:

- [1] 刘星,祁建民,朱忠南,等.应用SRAP标记分析金丝瓜(*Cucurbita pepo* L.)种质资源遗传多样性与亲缘关系[J].植物遗传资源学报,2015,16(6):1172-1178. DOI: 10.13430/j.cnki.jpgr.2015.06.006.
- [2] 刘晨霞,乔勇进,王晓,等.崇明金瓜贮藏保鲜技术研究进展[J].农产品加工,2020(5):69-72,78. DOI: 10.16693/j.cnki.1671-9646(X).2020.03.021.
- [3] 王小英,谢苒萸,杨晓波.金瓜贮藏保鲜研究初探[J].保鲜与加工,2003,3(6):26-27. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6221.2003.06.011.
- [4] 王小英,杨晓波,谢苒萸.金瓜复合涂膜保鲜研究[J].食品科技,2003(9):82-83. DOI: 10.3969/j.issn.1005-9989.2003.09.031.
- [5] 李云飞,刘颖.金瓜气调贮藏实验研究[J].食品工业科技,2002,23(8):75-76. DOI: 10.3969/j.issn.1002-0306.2002.08.028.
- [6] WANG L, DENG Y, WU M P, et al. Efficient ϵ -poly-L-lysine production by *Streptomyces albulus* based on a dynamic pH-regulation strategy[J]. Process Biochemistry, 2022, 118: 394-403. DOI: 10.1016/j.procbio.2022.05.003.
- [7] ALIREZALU K, HESARI J, YAGHOUBI M, et al. Combined effects of ϵ -polylysine and ϵ -polylysine nanoparticles with plant extracts on the shelf life and quality characteristics of nitrite-free frankfurter-type sausages[J/OL]. Meat Science, 2021, 172[2023-01-05]. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108318>. DOI: 10.1016/j.meatsci.2020.108318.
- [8] MENG Y C, XUE Q, CHEN J, et al. Structure, stability, rheology, and texture properties of ϵ -polylysine-whey protein complexes[J]. Journal of Dairy Science, 2022, 105(5): 3746-3757. DOI: 10.3168/jds.2021-21219.
- [9] MIYA S, TAKAHASHI H, HASHIMOTO M, et al. Development of a controlling method for *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* spp. in fresh market beef by using polylysine and modified atmosphere packaging[J]. Food Control, 2014, 37: 62-67. DOI: 10.1016/j.foodcont.2013.09.028.
- [10] GE Y H, WEI M L, LI C Y, et al. Reactive oxygen species metabolism and phenylpropanoid pathway involved in disease resistance against *Penicillium expansum* in apple fruit induced by ϵ -poly-L-lysine[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2018, 98(13): 5082-5088. DOI: 10.1002/jsfa.9046.
- [11] 郁杰,谢晶. ϵ -聚赖氨酸和L-抗坏血酸处理对鲜切菠菜品质的影响[J].食品科学,2019,40(17):277-283. DOI: 10.7506/spkx1002-6630-20181225-299.
- [12] 王学奎.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2006:222-223.
- [13] 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,2007:25-30.
- [14] LIN L, GU Y L, LI C Z, et al. Antibacterial mechanism of ϵ -Polylysine against *Listeria monocytogenes* and its application on cheese[J]. Food Control, 2018, 91: 76-84. DOI: 10.1016/j.foodcont.2018.03.025.
- [15] 邱源,朱忠南.金瓜种质资源加工性状主成分与聚类分析[J].中国瓜菜,2009,22(5):20-22. DOI: 10.3969/j.issn.1673-2871.2009.05.005.
- [16] 任玉峰,姜牧炎,马文平,等.灵武红枣采后低温贮藏期间细胞壁组分的变化[J].北方园艺,2018(18):114-117. DOI: 10.11937/bfy.20174543.
- [17] 范春丽,刘晓娟,李玉华,等.短波紫外线处理对石榴保鲜效果的影响[J].郑州师范教育,2021,10(6):15-17.
- [18] 姚韶华,程雅清,武若楠,等.羧甲基茯苓多糖对香菇贮藏保鲜效果的影响[J].武汉工程大学学报,2022,44(4):428-433. DOI: 10.19843/j.cnki.CN42-1779/TQ.202112021.
- [19] 陈秋映,杨美艳,高向阳,等. ϵ -聚赖氨酸对赣南脐橙保鲜效果的研究[J].食品工业,2021,42(12):143-147.
- [20] 于继男,薛璐,鲁晓翔,等.冰温结合 ϵ -聚赖氨酸对贮藏期间蓝莓生理品质的变化影响[J].食品与工业科技,2015,36(1):334-337,343. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.01.062.
- [21] 魏奇,李婕,刘蓓蓓,等. ϵ -聚赖氨酸盐酸盐对贮藏期间双孢蘑菇表面微生物生长和保鲜的影响[J].中国食品学报,2022,22(3):256-264. DOI: 10.16429/j.1009-7848.2022.03.028.
- [22] 李江阔,李雪,张新锋,等.不同保鲜剂对黄花菜冷藏品质和酶活性的影响[J].食品科技,2022,47(4):26-32. DOI: 10.13684/j.cnki.spkj.2022.04.038.

(下转第20页)

- [9] BOKULICH N A, KAEHER B D, RIDEOUT J R, et al. Optimizing taxonomic classification of marker-gene amplicon sequences with QIIME 2's q2-feature-classifier plugin[J/OL]. Microbiome, 2018, 6(1)[2023-03-15]. <https://doi.org/10.1186/s40168-018-0470-z>. DOI:10.1186/s40168-018-0470-z.
- [10] BOLDYEN E, RIDEOUT J R, DILLON M R, et al. Reproducible, interactive, scalable and extensible microbiome data science using QIIME 2[J]. Nature Biotechnology, 2019, 37: 852-857. DOI:10.1038/s41587-019-0209-9.
- [11] 为何冰箱冷冻室非得是零下18摄氏度?[J]. 少先队小干部:综合版, 2017(1):1.
- [12] 翟盼盼, 吴宇骞, 陆坚. 不动杆菌属分类的研究进展[J]. 新发传染病电子杂志, 2020, 5(1):51-55, 59. DOI:10.3877/j.issn.2096-2738.2020.01.013.
- [13] 胡晖. 39例肺部真菌感染临床分析[J]. 中华医院感染学杂志, 2008(8):1197. DOI: 10.3321/j.issn:1005-4529.2008.08.078.
- [14] 王启明, 王建设, 李殿儒. 肉品冷冻加工卫生和冻肉的检验[J]. 河北农业科技, 1999(4):29-30.
- [15] 程芳芳. 居民食品安全认知调查与冰箱冷藏猪肉微生物二次污染的研究[D]. 北京:中国农业科学院, 2016.
- [16] JAMESH J, MICHAEL A P. 临床微生物学手册:第1卷[M]. 11版. 王辉, 马筱玲, 钱渊, 等译. 北京:中华医学电子音像出版社, 2018.
- [17] 羊宋贞, 冯广达, 姚青, 等. 家庭冰箱中的微生物种类调查[J]. 生物技术通报, 2013(2):195-200. DOI:10.13560/j.cnki.biotech.bull.1985.2013.02.020.
- [18] SAVARIRAJ W R, RAVINDRAN N B, KANNAN P, et al. Prevalence, antimicrobial susceptibility and virulence genes of *Staphylococcus aureus* isolated from pork meat in retail outlets in India[J/OL]. Journal of Food Safety, 2019[2023-02-10]. <https://doi.org/10.1111/jfs.12589>. DOI: 10.1111/jfs.12589.
- [19] 覃羽华, 岑光旅, 王春芳, 等. 条件致病性真菌感染的基因分型与耐药性分析[J]. 中华医院感染学杂志, 2016, 26(20): 4598-4601. DOI: 10.11816/cn.ni.2016-152456.

收稿日期:2023-06-06

(上接第14页)

- [23] 巴良杰, 罗冬兰, 吉宁, 等. 生物保鲜纸对李子贮藏期品质的影响[J]. 食品与机械, 2020, 36(7): 140-143, 226. DOI:10.13652/j.issn.1003-5788.2020.07.029.
- [24] 范飞, 陈玉鹏, 周洁, 等. ϵ -聚赖氨酸盐酸盐改性PVA/LDPE复合薄膜对砀山梨保鲜效果[J]. 北方园艺, 2022(5):97-103. DOI: 10.11937/bfy.20214098.
- [25] 袁帅, 王秀红, 白春美, 等. ϵ -聚赖氨酸在果蔬采后贮藏保鲜中的应用研究进展[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(17): 196-203. DOI: 10.12161/j.issn.1005-6521.2021.17.031.
- [26] 李亚娜, 吴凡, 贺庆辉, 等. 壳聚糖/ ϵ -聚赖氨酸对龙眼的保鲜性影响[J]. 武汉轻工大学学报, 2019, 38(5):35-39. DOI: 10.3969/j.issn.2095-7386.2019.05.007.
- [27] 吴超, 王江琴. 壳聚糖、 ϵ -聚赖氨酸及山梨酸钾对杨梅的保鲜效果研究[J]. 现代食品, 2021, 21: 91-97. DOI: 10.16736/j.cnki.cn41-1434/ts.2021.21.023.

收稿日期:2023-02-24