

气调处理对茭白贮藏品质的影响

Effects of controlled atmosphere on storage quality of water bamboo

任紫烟 魏雯雯 贾连文 杨相政 王 达

REN Zi-yan WEI Wen-wen JIA Lian-wen YANG Xiang-zheng WANG Da

(中华全国供销合作总社济南果品研究所, 山东 济南 250220)

(Jinan Fruit Research Institute, All China Federation of Supply and Marketing
Cooperatives, Jinan, Shandong 250220, China)

摘要:目的:明确气调贮藏对茭白的保鲜效果。方法:以常压冷藏为对照,在 0℃和相对湿度为 85%~90%的贮藏条件下,比较 4 种不同比例气体组分(CA1:2% O₂+7% CO₂+91% N₂, CA2:5% O₂+10% CO₂+85% N₂, CA3:5% O₂+7% CO₂+88% N₂, CA4:2% O₂+10% CO₂+88% N₂)对茭白感官品质、质构(硬度、咀嚼性、剪切力)、色泽(L^{*}、W_H值)、蛋白质、木质素和纤维素、苯丙氨酸解氨酶(PAL)和多酚氧化酶(PPO)活性的影响。结果:气调处理可以显著延缓茭白感官品质、L^{*}值、W_H值的下降及可溶性蛋白质的消耗(P<0.05),气调处理中 CA2 的保鲜效果最好。贮藏 90 d, CA2 处理茭白 PAL、PPO 活性显著低于对照组、CA1 和 CA3(P<0.05),与 CA4 差异不显著;此外,CA2 处理有效抑制了木质素、纤维素的积累,但对木质素和纤维素的抑制效果低于 CA3;CA1 处理硬度、咀嚼性显著高于其他处理(P<0.05),但剪切力低于 CA2。结论:5% O₂+10% CO₂+85% N₂ 的气体贮藏环境能有效抑制茭白品质劣变,茭白在该条件下贮藏 90 d 时仍具有良好的商品品质。

关键词:茭白;气调;贮藏品质

Abstract: Objective: To clarify the effect of controlled atmosphere on preservation of water bamboo. **Methods:** Cold storage under air was used as control, the sensory quality, texture (firmness, chewiness and shear force), color (L^{*} value and W_H value), the contents of soluble protein, lignin and cellulose, as well as the activities of phenylalanine ammonia lyase (PAL) and polyphenoloxidase (PPO) were determined under four different gas components (CA1: 2% O₂+7% CO₂+91%

N₂, CA2: 5% O₂+10% CO₂+85% N₂, CA3: 5% O₂+7% CO₂+88% N₂, CA4: 2% O₂+10% CO₂+88% N₂), then stored at 0℃ with the relative humidity (RH) of 85%~90%. **Results:** Controlled atmosphere (CA) treatment could significantly slow down the decline of sensory quality, L^{*} value and W_H value of water bamboo and the consumption of soluble protein (P<0.05). Among these CA treatments, the effects of CA2 treatment on preservation was the best. After 90 d storage, the PAL and PPO activities of CA2 treatment were significantly lower than those of control group, CA1 and CA3 (P<0.05), but there was no significant difference with CA4. Moreover, the accumulation of lignin and cellulose were inhibited, but the inhibition effect of CA2 treatment on lignin and cellulose were lower than that of CA3. The firmness and chewiness of CA1 treatment were significantly higher than other treatments (P<0.05), but the shear force was lower than that of CA2. **Conclusion:** The gas components of 5% O₂+10% CO₂+85% N₂ effectively inhibited the quality deterioration of water bamboo, showing the best effect on commodity quality after 90 days of storage, providing theoretical basis and technical support for storage of water bamboo.

Keywords: water bamboo; controlled atmosphere; storage quality

茭白(*Zizania caduciflora* L.),又名菰笋、茭笋、茭瓜,属禾本科宿根性水生草本植物,是中国特有的水生蔬菜^[1]。茭白采收期集中,贮藏过程中表皮褐变、霉变,茭肉发黄、发绿,木质化是采后茭白品质劣变的突出表现,影响食用口感和营养,降低商品质量和市场价值^[2]。

目前,常用的茭白保鲜技术包括化学保鲜、物理保鲜和复合保鲜等。如利用 1% CaCl₂ 处理采后茭白能抑制硬度下降,保持较高的白度值,延缓蛋白质、可溶性固形物及可溶性糖含量的降低,并且通过抑制苯丙氨酸解氨酶(PAL)和过氧化物酶(POD)活性,减缓了木质素合成与积累,有效延缓了茭白黄化、软化及木质化^[3]。而且使用 1-MCP 处理茭白同样能够抑制纤维素和木质素的生成,减轻茭肉木质化,0.5 μL/L 的 1-MCP 处理保鲜效果

基金项目:山东省科技发展技术项目(现代高效农业)(编号:2021CXGC010809)

作者简介:任紫烟,女,中华全国供销合作总社济南果品研究所实习研究员,硕士。

通信作者:魏雯雯(1985—),女,中华全国供销合作总社济南果品研究所副研究员,硕士。E-mail: flying@163.com

收稿日期:2022-11-20 **改回日期:**2023-04-13

显著高于对照和其他处理组(0.1, 5.0 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP), 低温(2 ± 1) $^{\circ}\text{C}$ 贮藏 35 d 后, 0.5 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP 处理茭白组织形态饱满、肉质细嫩, 咀嚼无渣质感, 保持了较好的感官品质^[4]。杨倩^[5]发现采用 70~80 kPa 压力贮藏茭白保鲜效果显著, 经过 2 个月的贮藏期, 仍能保持较好的外观品质和质地, 提高总糖、维生素 C 等营养物质的保留率, 抑制茭肉木栓化。气调包装技术(MAP)同样可以达到延缓茭白老化的效果, O_2 0.5%~0.6%, CO_2 10%~11% 的包装环境下可有效抑制 PPO、POD 活性和木质素含量的增加^[6]。此外, 张翰卿^[7]发现, MAP 结合不同质量浓度臭氧(0, 3, 6, 9, 12 mg/L)处理可以减缓茭白色泽变化, 硬度、可溶性蛋白的下降和木质素、纤维素的上升, 9 mg/L 贮藏鲜果最好, 贮藏 60 d 后, 9 mg/L 茭白白度值、可溶性蛋白含量分别比对照组高 5.85%, 30.97%, 硬度则是对照组的 1.34 倍, 木质素和纤维素含量最低, 显著抑制了品质劣变和木质化。目前关于机械气调库贮藏茭白的研究报道相对较少。研究拟在文献^[8]的基础上, 缩小气体浓度梯度, 探究茭白在不同气体环境下质构、色泽、蛋白质、木质素和纤维素、PAL 和 PPO 活性的变化情况, 确定最佳贮藏条件, 以期茭白的贮藏保鲜提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

茭白: 余茭 4 号, 采自浙江慈溪, 采后迅速运输至济南果品研究所贮藏保鲜实验室;

牛血清蛋白质、考马斯亮蓝 G-250、聚乙烯吡咯烷酮(PVPP)、 β -巯基乙醇等: 分析纯, 北京奥博星生物技术有限公司;

磷酸、乙二胺四乙酸(EDTA)、硼酸等: 分析纯, 天津市科密欧化学试剂有限公司;

BaCl_2 、L-苯丙氨酸、曲拉通 X-100(Triton X-100)、聚乙二醇(PEG)、邻苯二酚等: 分析纯, 上海沃凯生物技术有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

气调箱: PCM-1000 型, 意大利 FCE 公司;

物性测试仪: TA.XT.plusC 型, 英国 Stable Micro System 公司;

手持色差仪: CR-400 型, 日本 Konica Minolta 公司;

冷冻离心机: Thermo Heraeus Biofuge startos 型, 赛默飞世尔科技有限公司;

紫外可见分光光度计: WFZ UV-2802 型, 尤尼柯(上海)仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 试验处理 挑选新鲜、无损伤、无病虫害、成熟度适中的茭白进行气调处理。以非气调冷藏(0°C)为对照组, 设置参数见表 1。每隔 30 d 检测一次品质指标。

表 1 气调贮藏中不同气体浓度配比组合

Table 1 Combination of different proportions of gas components in controlled atmosphere %

处理	相对湿度 (RH)	O_2 体积 分数	CO_2 体积 分数	N_2 体积 分数
对照组	85~90	21	0.03	78
CA1	85~90	2	7	91
CA2	85~90	5	10	85
CA3	85~90	5	7	88
CA4	85~90	2	10	88

1.2.2 指标测定

(1) 感官评价: 由 6 位专业人员根据产品外观品质、气味及水煮风味、微生物污染等情况进行感官评价, 感官评价标准参照 Song 等^[9]的方法并加以修改(见表 2)。

(2) 质构: 利用物性测试仪采用 TPA 分析模式测定茭白组织质地。置于直径 5 mm 探头下测试, 测试参数: 测试深度 10 mm, 测前速度 2 mm/s, 测试速度 1 mm/s, 测后速度 2 mm/s, 触发力 0.01 N。剪切力测试: 选用 1/2 单刀剪切探头, 剪切前速度 1 mm/s, 剪切速度 1 mm/s, 剪切后速度 1 mm/s, 下行距离 15 mm; 触发值 0.01 N。

(3) 色泽: 用色差仪测定表皮 L^* 、 a^* 、 b^* 值, 根据式(1)计算亨特白度值(W_H)^[10]。

$$W_H = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2} \quad (1)$$

(4) 可溶性蛋白: 参照文献^[11]。

(5) 木质素: 参照谢静等^[12]的方法并加以改进。准确称取 5.000 0 g 茭肉样品于 500 mL 锥形瓶中, 加入

表 2 感官评价内容和标准

Table 2 Sensory evaluation content and standards

项目	评价	评分
外观品质	组织致密, 形态饱满, 无失水, 肉质洁白	40
	组织致密, 形态饱满, 顶端轻微失水, 表皮暗淡微绿, 切口微黄	30
	组织致密, 形态欠饱满, 两端失水, 表皮绿, 切口发黄	20
	组织失水严重, 中段以下表面干缩黄化	10
气 味、水 煮 风 味	具有本品特有的清香味, 无异味, 肉质鲜嫩, 咀嚼无渣质感	30
	清香味较淡或无清香味, 咀嚼微有渣质感	20
	有明显酒精味或其他异味, 口感较差, 咀嚼有渣质感	10
	咀嚼有渣质感	
微生物污染	切口无或轻微任何微生物侵染现象	30
	切口有少量霉菌侵染, 但无腐败现象	20
	切口和底部有大量霉菌侵染, 腐败严重	10

50 mL 蒸馏水,缓慢加入 25 mL 浓硫酸搅拌水解 4 h,加入 250 mL 蒸馏水煮沸 1 h。冷却后用预先烘干至恒重的 G4 砂芯漏斗抽滤至滤液用 10% BaCl₂ 滴定无白色沉淀,烘干至恒重。根据抽滤前后漏斗质量计算木质素含量,结果以质量百分数表示。

(6) 纤维素:采用酸洗涤法^[13]。

(7) PAL 活性:参照文献^{[14]¹⁴²⁻¹⁴⁴}。以每分钟内酶促反应体系吸光度值变化 0.01 为 1 个酶活力单位,以“U/g”表示。

(8) PPO 活性:参照文献^{[14]¹⁰⁴⁻¹⁰⁵}。以每分钟内酶促反应体系吸光度值变化 1 为 1 个酶活力单位,以“U/g”表示。

1.3 数据分析

所有处理均重复 3 次,采用 Excel 2013 进行数据统计,采用 GraphPad Prism 8 软件制图,并用 SPSS 20.0 进行差异显著性分析, $P<0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 对茭白感官评价的影响

由表 3 可知,随着贮藏时间的增加,茭白外观、气味及水煮风味、微生物污染等指标评分不断下降。贮藏

60 d 时,对照组茭白整体感官评分为 65.83,显著低于其他处理($P<0.05$),感官品质开始急速下降;贮藏至 90 d 时,对照组茭白中段至根部腐烂严重,腐烂面积大,基本覆盖所有样品,已完全失去食用价值。气调处理保持了茭白较高的感官品质。贮藏至结束,CA1 处理茭白根部霉变、腐烂程度仅轻于对照组,整体感官品质为气调组最差(53.83);CA2 处理茭白整体色泽洁白、形态饱满,外观品质维持好,整体感官评分最高(68.83);CA3 处理气味及水煮风味最好(22.67);CA4 处理仅基部出现轻微黄化,与 CA2 无明显外观差异。CA2、CA4 处理的高 CO₂ 有助于增强其细胞抵御不良环境的能力,有效抑制了微生物的生长,使得贮藏至结束几乎无腐烂现象,并改善了失水、色泽劣变等问题,维持了整体品质。

2.2 对茭白质构的影响

由图 1(a)和图 1(b)可知,在整个贮藏期间,对照组茭白硬度、咀嚼性不断下降,而气调处理硬度、咀嚼性在贮藏后期(60~90 d)出现不同幅度的上升。贮藏 90 d,CA1 处理茭白硬度为 10.30 N,显著高于其他处理($P<0.05$)。茭白咀嚼性变化趋势与硬度变化趋势基本一致,经相关性分析,两者呈正相关($R=0.841$)。茭白作为水生植物,

表 3 气调处理对茭白感官品质的影响[†]
Table 3 Effects of CA treatments on sensory quality of water bamboo

处理	指标	贮藏时间		
		30 d	60 d	90 d
对照组	外观品质	33.83±1.17 ^b	27.33±1.21 ^b	10.67±1.03 ^c
	气味及水煮风味	26.17±0.75 ^b	20.17±0.75 ^a	10.83±0.75 ^c
	微生物污染	25.83±0.75 ^b	18.33±1.86 ^c	10.00±0.00 ^d
	整体	85.83±0.98 ^d	65.83±2.64 ^c	31.50±0.55 ^d
CA1	外观品质	34.83±2.04 ^b	26.83±1.60 ^b	21.33±1.21 ^b
	气味及水煮风味	26.00±1.41 ^b	20.67±0.82 ^{bc}	17.33±1.75 ^b
	微生物污染	25.67±0.82 ^b	21.17±1.17 ^b	15.17±0.75 ^c
	整体	86.50±2.95 ^d	68.67±2.34 ^d	53.83±2.14 ^c
CA2	外观品质	38.33±1.37 ^a	32.67±1.51 ^a	25.67±2.34 ^a
	气味及水煮风味	29.50±0.84 ^a	25.33±0.82 ^a	22.50±1.52 ^a
	微生物污染	30.00±0.00 ^a	27.50±1.38 ^a	20.67±1.63 ^a
	整体	97.83±1.47 ^a	85.50±0.55 ^a	68.84±5.00 ^a
CA3	外观品质	35.00±1.41 ^b	28.33±1.51 ^b	21.67±1.03 ^b
	气味及水煮风味	29.17±0.98 ^a	25.50±0.55 ^a	22.67±1.03 ^a
	微生物污染	25.50±0.55 ^b	21.83±1.47 ^b	17.67±1.37 ^b
	整体	89.67±1.51 ^c	75.66±2.80 ^c	62.01±1.26 ^b
CA4	外观品质	37.00±1.67 ^a	31.17±0.98 ^a	26.00±1.90 ^a
	气味及水煮风味	26.17±1.17 ^b	21.67±1.21 ^b	17.83±1.94 ^b
	微生物污染	30.00±0.00 ^a	27.67±1.03 ^a	19.67±2.07 ^a
	整体	93.17±2.32 ^b	80.51±1.52 ^b	63.50±2.88 ^b

† 同一时间不同处理间进行比较,小写字母不同表示不同处理差异显著($P<0.05$)。

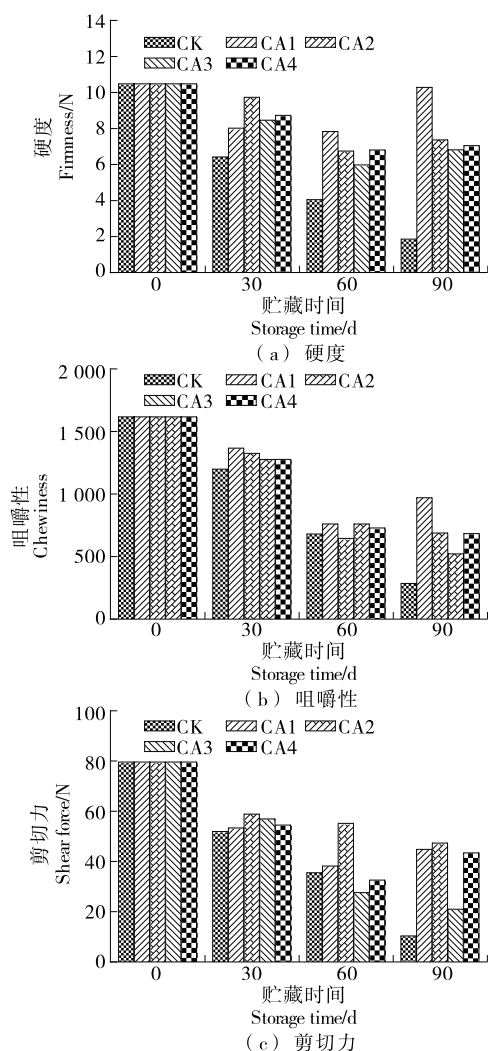


图 1 气调处理对茭白质构的影响

Figure 1 Effects of CA treatments on texture of water bamboo

采收呼吸代谢旺盛,即使在冷藏条件下仍保持较高的生命活性,导致茭白质地下降;贮藏后期,茭白因衰老发生木质化,导致硬度、咀嚼性升高,食用品质下降。而对照组茭白由于腐烂变质严重,组织结构被破坏,导致质地持续下降。结合感官评价,高硬度、高咀嚼性可能是导致 CA1(2% O₂+7% CO₂+91% N₂)处理水煮风味较差的原因。

由图 1(c)可知,贮藏前期(0~30 d),各处理剪切力差异不大;贮藏后期(60~90 d),CA1 和 CA4 处理剪切力有所上升,可能是组织衰老韧性增加所致。CA2 处理剪切力高于其他处理,并且与 CK、CA3 和 CA4 呈显著性差异($P<0.05$),说明 CA2 处理在维持组织结构,保持剪切力方面优于其他处理。

2.3 对茭白色泽的影响

由图 2 可知,在 90 d 的贮藏过程中,各处理组茭白 L^* 值、 W_H 值均持续下降。贮藏至 90 d,经气调处理的茭

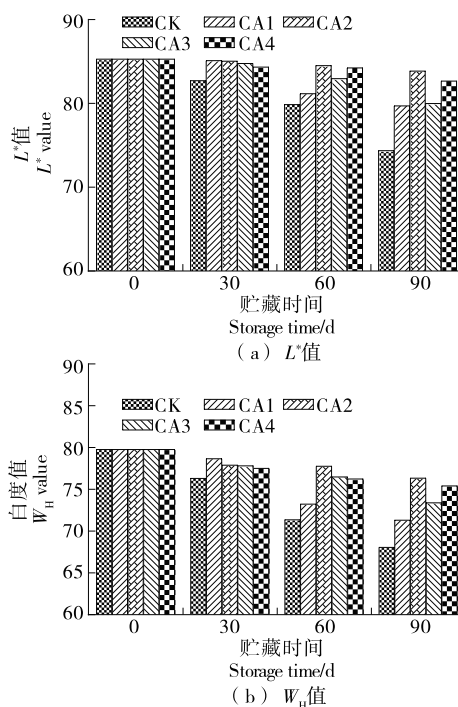


图 2 气调处理对茭白色泽的影响

Figure 2 Effects of CA treatments on color of water bamboo

白 L^* 值、 W_H 值均高于对照组且差异显著($P<0.05$),表明气调处理可以延缓茭白色泽劣变。这与气调处理马铃薯^[15]的结果类似。此外,第 90 天,CA1、CA3 和 CA4 处理 L^* 值分别为 79.73、80.01、82.67, W_H 值分别为 71.34、73.42、75.43,而 CA2 处理 L^* 值、 W_H 值分别为 83.88、76.35,显著高于 CA1 和 CA3($P<0.05$),与 CA4 无显著差异。CA2 处理茭白能更好地维持茭白色泽,可能是由于 CA2 处理的气体组分(5% O₂+10% CO₂+85% N₂)抑制了与 PPO、POD 等褐变相关的酶的活性^[16]。

2.4 对茭白可溶性蛋白含量的影响

由图 3 可知,在整个贮藏期间,各处理组茭白可溶性蛋白含量呈逐渐下降的趋势,与董桂君等^[3]的研究结果一致。说明其作为营养物质不断被消耗。贮藏 30~60 d 时,CA2 处理可溶性蛋白含量均高于其他处理,且第 60 天时显著高于对照组、CA1 和 CA3($P<0.05$),与 CA4 无显著差异;贮藏 90 d 时 CA2 处理显著高于其他处理($P<0.05$)。贮藏至结束,CA2 处理可溶性蛋白含量为 3.60 mg/g,分别比对照组、CA1、CA3 和 CA4 高 100.73%、43.19%、16.48%、5.76%。由此可知,CA2 处理对可溶性蛋白的保留效果最好。王晓芬^[17]报道了类似的结果,发现气调包装茭白的可溶性蛋白含量显著高于对照组,延缓了蛋白质的消耗。

2.5 对茭白木质素、纤维素含量的影响

由图 4 可知,在整个贮藏期间,所有处理的茭白木质

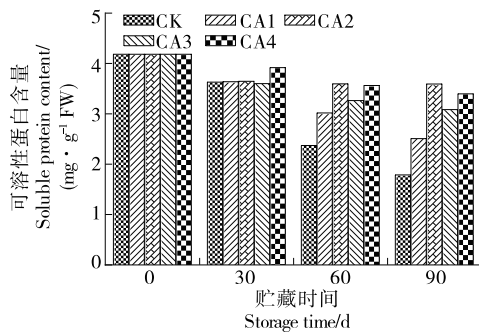


图3 气调处理对茭白可溶性蛋白含量的影响

Figure 3 Effects of CA treatments on soluble protein content of water bamboo

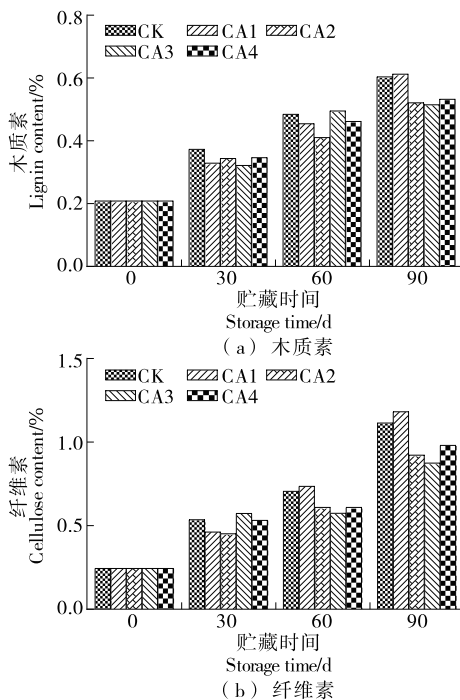


图4 气调处理对茭白木质素、纤维素含量的影响

Figure 4 Effects of CA treatments on lignin and cellulose content of water bamboo

素、纤维素含量均呈上升趋势。贮藏前期(0~30 d),各处理木质素、纤维素含量无显著差异;贮藏后期(60~90 d),对照组和CA1处理木质素、纤维素含量快速上升,其他气调处理木质素和纤维素增加速率明显低于对照组和CA1,并且在贮藏90 d时,木质素和纤维素含量显著低于对照组和CA1($P<0.05$)。适宜的气体组分能抑制木质素和纤维素的上升,延缓木质化进程。类似的结果在枇杷^[18]、四季豆^[19]的研究中也被发现。贮藏90 d时,CA3处理木质素、纤维素含量最低,分别为0.52%,0.88%,但与CA2和CA4差异均不显著($P>0.05$)。较高的纤维素含量导致更高的硬度、黏性和咀嚼性^[20]。CA3低水平的木质素和纤维素,与低硬度、低咀嚼性相对应,保持了较

好的水煮口感。相较对照组,CA1处理则促进了木质素和纤维素的增加,导致其硬度、咀嚼性偏高,关于该气体组分(2% O_2 + 7% CO_2 + 91% N_2)加速木质化的原因,有待进一步研究。

2.6 对茭白 PAL 活性的影响

由图5可知,贮藏过程中,茭白PAL活性呈先上升后下降的趋势。CA2、CA3和CA4处理在贮藏30 d时出现峰值,分别为7.58,7.49,7.62 U/g,之后快速下降;对照组和CA1处理在贮藏60 d时出现峰值(7.48,7.72 U/g)。CA2、CA3和CA4处理茭白PAL活性在贮藏60 d和90 d均显著低于对照组和CA1($P<0.05$),且贮藏至90 d时,CA2处理的茭白PAL活性分别比CA3、CA4处理组低6.44%,3.39%,与CA3和CA4差异显著($P<0.05$)。由此可知,适宜的气体组分可以抑制PAL活性,延缓衰老。但Shen等^[21]和向世杰^[18]在对竹笋、枇杷的气调试验中发现,竹笋、枇杷中PAL活性和木质素含量变化趋势几乎是同步的,与研究结果不一致。这可能是由于气体胁迫激发了茭白体内PAL活性,导致前期活性上升;随着贮藏时间的延长,茭白生理代谢减弱,组织开始衰老,PAL活性下降。

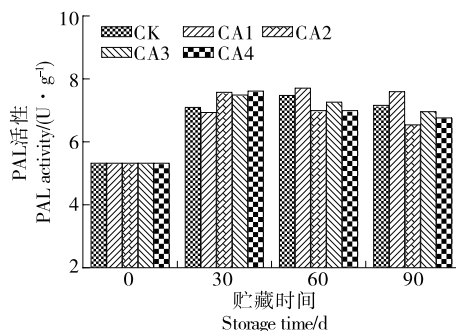


图5 气调贮藏对茭白苯丙氨酸解氨酶活性的影响

Figure 5 Effects of CA treatments on PAL activity of water bamboo

2.7 对茭白 PPO 活性的影响

由图6可知,PPO活性在整个贮藏期内呈逐渐上升的趋势。至贮藏结束时,CA1、CA2、CA3和CA4处理的茭白PPO活性分别为6.83,4.79,5.81,4.96 U/g,均高于对照组,其中,CA2、CA3和CA4与对照组差异显著($P<0.05$),且CA2、CA3和CA4处理之间也呈显著性差异($P<0.05$)。CA2处理抑制PPO活性,延缓茭白老化的效果最好。PPO在不同果蔬中发挥的作用不同,在辣椒试验中发现,PPO同时参与了多酚氧化成醌类和植物细胞木质化^[22]。试验中,PPO活性与木质素含量呈显著正相关($r=0.889$),与Liu等^[23]的研究结果一致。试验表明,PPO直接影响了茭白木质素的合成,但其是否为茭白色泽转化的控制因子,还有待进一步研究。

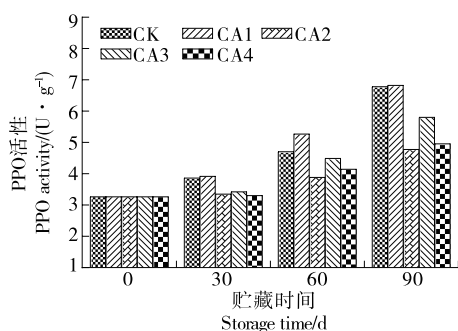


图 6 气调贮藏对茭白多酚氧化酶活性的影响

Figure 6 Effects of CA treatments on PPO activity of water bamboo

3 结论

在 0 °C 贮藏条件下,采用不同气体参数处理茭白。结果表明,与对照相比,气调处理不同程度地维持了茭白的感官品质,延缓了 L^* 、亨特白度值的下降和可溶性蛋白的消耗。除 CA1 处理外,其他气调处理均有效抑制了苯丙氨酸解氨酶和过氧化物酶活性,减缓了木质素、纤维素的积累,保持了茭白较好的质构,说明适宜的气体组分能抑制其木质化,延缓组织衰老。贮藏 90 d, CA2 处理茭白外观品质和理化品质保持最好, 5% O_2 + 10% CO_2 + 85% N_2 的气体组分能保持较好的商品价值。后续可将气调贮藏技术与其他技术进行组合应用,有望进一步提升贮藏品质,延长贮藏期。

参考文献

- [1] JOSE R C, GOYARI S, LOUIS B, et al. Investigation on the biotrophic interaction of *Ustilago esculenta* on *Zizania latifolia* found in the Indo-Burma biodiversity hotspot [J]. *Microbial Pathogenesis*, 2016, 98(9): 6-15.
- [2] 季正捷. 外源褪黑素对采后冷藏茭白木质素沉积的调控机理研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2022: 1-3.
JI Z J. Research of the regulation mechanism of exogenous melatonin on lignin deposition in postharvest water bamboo (*Zizania Latifolid*) during cold storage[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2022: 1-3.
- [3] 董桂君, 乔勇进, 刘晨霞, 等. 氯化钙处理对茭白采后品质的影响[J]. *食品与发酵科技*, 2021, 57(4): 23-31.
DONG G J, QIAO Y J, LIU C X, et al. Effect of calcium chloride treatment on postharvest quality of *Zizania latifolia* [J]. *Food and Fermentation Sciences & Technology*, 2021, 57(4): 23-31.
- [4] 宋丽丽, 邵海燕, 房祥军, 等. 1-MCP 处理对脱壳茭白木纤维化与细胞结构的影响[J]. *农业机械学报*, 2010, 41(1): 111-116.
SONG L L, HU H Y, FANG X J, et al. Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on lignification and cell ultrastructure of peeled water bamboo shoot [J]. *Journal of Agricultural Machinery*, 2010, 41(1): 111-116.

- [5] 杨倩. MAP 和减压贮藏对茭白采后衰老和品质的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2011: 30-32.
YANG Q. Effect of MAP and hypobaric storage on senescence and quality in water bamboo shoot (*Zizania caduciflora* Turcz.) after harvested[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2011: 30-32.
- [6] 邵海燕, 杨剑婷, 陈杭君, 等. 气调小包装对去壳茭白品质的影响[J]. *中国农业科学*, 2004, 37(12): 1 990-1 994.
HU H Y, YANG J T, CHEN H J, et al. Studies on the effect of peeled fewflower wildrice storage with atmosphere-controlled small package[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(12): 1 990-1 994.
- [7] 张翰卿. 不同厚度 PE 包装和臭氧处理对茭白采后贮藏品质和木质化的影响[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2019: 23-30.
ZHANG H Q. Effects of PE packaging with different thicknesses and ozone treatment on postharvest storage quality and lignification of WBS[D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2019: 23-30.
- [8] 杨相政, 吴立忠, 王达, 等. 气调处理对茭白保鲜效果的影响[J]. *保鲜与加工*, 2018, 18(4): 39-42.
YANG X Z, WU L Z, WANG D, et al. Effect of controlled atmosphere treatment on storage quality of water bamboo [J]. *Storage & Process*, 2018, 18(4): 39-42.
- [9] SONG L, GAO H, CHEN W, et al. The role of 1-methylcyclopropene in lignification and expansin gene expression in peeled water bamboo shoot (*Zizania caduciflora* L.) [J]. *Science of Food & Agriculture*, 2011, 91(14): 2 679-2 683.
- [10] GANJLOO A, RAHMAN R, OSMAN A, et al. Kinetics of crude peroxidase inactivation and color changes of thermally treated seedless guava (*Psidium guajava* L.) [J]. *Food & Bioprocess Technology*, 2009, 4(8): 1 442-1 449.
- [11] BRADFORD M M. A rapid method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding[J]. *Analytical Biochemistry*, 1976, 72(1/2): 248-254.
- [12] 谢静, 罗自生, 徐庭巧, 等. MA 贮藏对采后茭白糠心和品质的影响[J]. *中国食品学报*, 2009, 9(2): 149-153.
XIE J, LUO Z S, XU T Q, et al. Effect of modified atmosphere storage on hollowness and quality of postharvest water bamboo shoot [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science & Technology*, 2009, 9(2): 149-153.
- [13] WANG J, JIANG J, WANG J, et al. The influence of gamma irradiation on the storage quality of bamboo shoots[J]. *Radiation Physics & Chemistry*, 2019, 159: 124-130.
- [14] 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.
CAO J K, JIANG W B, ZHAO Y M. Guidance of postharvest physiological and biochemical experiments of fruits and vegetables [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007.
- [15] 田甲春, 田世龙, 李守强, 等. 低氧高二氧化碳贮藏环境对马铃薯品质的影响[J]. *食品科学*, 2020, 41(15): 275-281.
TIAN J C, TIAN S L, LI S Q, et al. Effects of low oxygen and high carbon dioxide storage environment on potato quality [J]. *Food Science*, 2020, 41(15): 275-281.

(下转第 164 页)

- [16] 韦献雅, 殷丽琴, 钟成, 等. DPPH 法评价抗氧化活性研究进展[J]. 食品科学, 2014, 35(9): 317-322.
WEI X Y, YIN L Q, ZHONG C, et al. Advances in the DPPH radical scavenging assay for antioxidant activity evaluation[J]. Food Science, 2014, 35(9): 317-322.
- [17] 周子更, 王梓博, 金花林, 等. 软枣猕猴桃果实发育过程中糖酸合成相关酶活性变化[J]. 北方园艺, 2021(19): 22-28.
ZHOU Z G, WANG Z B, JIN H L, et al. Changes of enzyme activities related to glycolic acid synthesis during fruit development of *Actinidia arguta* [J]. Northern Horticulture, 2021 (19): 22-28.
- [18] 王博, 朴一龙, 王琳, 等. 野生软枣猕猴桃果实生长发育过程中生理生化变化[J]. 延边大学农学报, 2011, 33(1): 6-9.
WANG B, PIAO Y L, WANG L, et al. Changes of physio-biochemistry during the growth and development in undomesticated *Actinidia arguta* fruits[J]. Journal of Agricultural Science Yanbian University, 2011, 33(1): 6-9.
- [19] 刘春宏, 邱国良, 刘志斌, 等. 采收前软枣猕猴桃“魁绿”果实理化性质变化研究[J]. 资源开发与市场, 2019, 35(6): 849-854.
LIU C H, QIU G L, LIU Z B, et al. Changes of physicochemical properties of *A. arguta* Kuilv before harvesting [J]. Resource Development & Market, 2019, 35(6): 849-854.
- [20] 黄春辉, 葛翠莲, 高洁, 等. 不同类型猕猴桃果实发育过程中内果皮色泽的动态变化[J]. 江西农业大学学报, 2014, 36(3): 501-506.
HUANG C H, GE C L, GAO J, et al. Dynamic changes in flesh color in different kiwifruit types during fruit development[J]. Acta Agriculhurae Universitatis Jiangxiensis, 2014, 36(3): 501-506.
- [21] KRUPA T, LATOCHA P, LIWINSKA A. Changes of physicochemical quality, phenolics and vitamin C content in hardy kiwifruit (*Actinidia arguta* and its hybrid) during storage [J]. Scientia Horticulturae, 2011, 130(2): 410-417.
- [22] 王沙, 张心慧, 赵玉洁, 等. 石榴花青苷合成相关基因 *PgMYB111* 的克隆与功能分析[J]. 园艺学报, 2022, 49(9): 1 883-1 894.
WANG S, ZHANG X H, ZHAO Y J, et al. Cloning and functional analysis of *PgMYB111* related to anthocyanin synthesis in pomegranate[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2022, 49(9): 1 883-1 894.
- [23] LIU Y F, QI Y W, CHEN X, et al. Phenolic compounds and antioxidant activity in red- and in green-fleshed kiwifruits[J]. Food Research International, 2019, 116: 291-301.
- [24] 翁文昕, 宣继萍, 王刚, 等. 果肉着色过程中“华秀”李果实部分指标的比较及相关性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2018, 27(2): 39-45.
WENG W X, XUAN J P, WANG G, et al. Comparison and correlation analysis on some indexes of *Prunus salicina* 'Huaxiu' fruit during flesh coloring progress[J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2018, 27(2): 39-45.
- [25] LATOCHA P, ŁATA B, STASIAK A. Phenolics, ascorbate and the antioxidant potential of kiwiberry vs. common kiwifruit: The effect of cultivar and tissue type[J]. Journal of Functional Foods, 2015, 19: 155-163.
- [26] 陈月, 朱勇, 秦礼康. 苦荞不同部位酚类化合物组成与抗氧化活性[J]. 食品与机械, 2022, 38(11): 15-19.
CHEN Y, ZHU Y, QIN L L. Phenolic compounds profile and antioxidant activities of different fractions of tartary buckwheat[J]. Food & Machinery, 2022, 38(11): 15-19.
- (上接第 142 页)
- [16] 朱伟成, 邵海燕, 韩延超, 等. 不同预冷方式对茭白采后降温速度和贮藏品质的影响[J]. 浙江农业学报, 2020, 32(10): 1 873-1 879.
ZHU W C, HU H Y, HAN Y C, et al. Effects of different pre-cooling methods on cooling speed and storage quality of postharvest water bamboo shoot [J]. Journal of Zhejiang Agriculture, 2020, 32(10): 1 873-1 879.
- [17] 王晓芬. MAP 结合 UV-C 处理对微加工茭白保鲜效应及机理的研究[D]. 西安: 西北农林科技大学, 2017: 30-31.
WANG X F. Effect of MAP in combination with UV-C treatment on the preservation and mechanism of minimally processed water bamboo shoots[D]. Xi'an: Northwest A & F University, 2017: 30-31.
- [18] 向世杰. 气调贮藏及 1-MCP 保鲜处理在“大五星”枇杷果实上的应用研究[D]. 成都: 四川农业大学, 2012.
XIANG S J. Study on controlled atmosphere storage and 1-MCP preservation processing of "Dawuxing" loquat fruits[D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2012.
- [19] 王利斌, 姜丽, 石韵, 等. 气调贮藏对四季豆生理生化特性的影响[J]. 食品科学, 2013(8): 289-293.
WANG L B, JIANG L, SHI Y, et al. Physiobiochemical characteristics of *phaseolus vulgaris* L. during controlled atmosphere storage[J]. Food Science, 2013(8): 289-293.
- [20] 陈丽. 甘薯块根质构特性的评价研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2013: 23-25.
CHEN L. Study on texture properties evaluation of sweet potato [D]. Hangzhou: Zhejiang A & F University, 2013: 23-25.
- [21] SHEN Q, KONG F C, WANG Q. Effect of modified atmosphere packaging on the browning and lignification of bamboo shoots[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 77(2): 348-354.
- [22] ZHENG H, CUI C, ZHANG Y, et al. Active changes of lignification-related enzymes in pepper response to *Glomus intraradices* and/or *Phytophthora capsici* [J]. Journal of Zhejiang University, 2005(8): 778-786.
- [23] LIU M Y, QIAN B J, ZHANG H, et al. Sanitizer treatments alleviate lignification of sliced few-flower wild rice (*Zizania latifolia* Turcz.) [J]. Food Research International, 2010, 43: 2 363-2 368.