

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2019.06.026

1-MCP 熏蒸对甘薯茎尖的保鲜效果

Effect of 1-MCP on the quality of sweet potato leaves

王亚蒙^{1,2} 赵霞^{1,2} 唐彬^{1,2,3}

WANG Ya-meng^{1,2} ZHAO Xia^{1,2} TANG Bin^{1,2,3}

魏亚青^{1,2} 何晓梅^{1,2} 张敏^{1,2}

WEI Ya-qing^{1,2} HE Xiao-mei^{1,2} ZHANG Min^{1,2}

(1. 西南大学食品科学学院, 重庆 400715; 2. 农业部农产品贮藏保鲜质量安全风险评估实验室
〔重庆〕, 重庆 400715; 3. 贵州省遵义市习水县市场监督管理局, 贵州 遵义 564600)

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China; 2. Laboratory of Quality and Safety Risk Assessment for Agro-products on Storage and Preservation [Chongqing], Chongqing 400715, China; 3. Xishui County Market Supervision Administration of Zunyi City, Zunyi, Guizhou 564600, China)

摘要: 分别采用 0.5, 1.0, 1.5 $\mu\text{L/L}$ 的 1-MCP 对甘薯茎尖进行熏蒸处理, 再装入聚乙烯袋中, 于 11 $^{\circ}\text{C}$ 下贮藏。每 3 d 对甘薯茎尖呼吸强度、叶绿素含量、 V_C 含量、相对电导率、超氧化物歧化酶 (Superoxide Dismutase, SOD)、过氧化氢酶 (Catalase, CAT)、过氧化物酶 (Peroxidase, POD) 活性、腐烂率及感官评分进行测定, 研究甘薯茎尖品质的变化。结果表明, 各浓度 1-MCP 处理均对甘薯茎尖保鲜起到了一定的作用, 其中 1.0 $\mu\text{L/L}$ 组能有效抑制呼吸并延缓相对电导率的上升, 在保持 SOD、CAT 和 POD 的活性, 维持叶绿素和 V_C 含量, 延缓腐烂及感官评分下降方面效果显著, 在贮藏第 9 天时感官评分仍能达到 4.7 分 (5 分制), 腐烂率仅为 5.98%, 显著优于对照及其他处理组。

关键词: 1-甲基环丙烯; 甘薯茎尖; 保鲜

Abstract: The sweet potato leaves were fumigated with 0.5, 1.0, and 1.5 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP, and then placed in polyethylene (PE) bags and stored at 11 $^{\circ}\text{C}$. The respiration intensity, chlorophyll content, ascorbic acid content, relative conductivity, activities of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), and peroxidase (POD), decay rate and sensory score were measured every 3 day to explore the changes in the quality of sweet potato leaves. The results showed each concentration of 1-MCP played a certain role in the preservation of sweet potato leaves. The 1.0 $\mu\text{L/L}$ group

could effectively inhibit the respiration and delay the increase of relative conductivity, and the effect of maintaining the activity of SOD, CAT, and POD, maintaining chlorophyll and V_C , delaying the decay and the decrease of the sensory score was significant. On the 9th day of storage, the sensory score was still 4.7 (5-point), and the decay rate was only 5.98%, which was significantly better than the control and other treatment groups.

Keywords: 1-methylcyclopropene; sweet potato leaves; preservation

甘薯茎尖是指秧蔓上部 10~15 cm 节段内能食用的茎部、嫩叶及叶柄部分, 它含有丰富的类胡萝卜素和类黄酮等多种功能性化合物, 具有抗氧化、预防癌症及心血管病等疾病的功效^[1]。但甘薯茎尖采后呼吸作用依然很旺盛, 极易腐烂萎蔫, 保鲜困难, 难以进行长距离运输销售, 且甘薯的种植呈现地域性^[2], 很多远离种植地的地区无法食用这种营养价值及保健价值俱佳的食物。目前对于甘薯茎尖的研究多集中在营养成分上^[3-6], 保鲜方面的研究还十分匮乏, 仅有不同贮藏温度^[7]及微孔膜包装^[8]等对其品质影响的探究。

甘薯茎尖呼吸旺盛, 生理代谢快, 采后极易出现黄化、萎蔫、腐烂等现象, 而 1-甲基环丙烯 (1-methylcyclopropene, 1-MCP) 作为一种安全无毒的乙烯抑制剂, 通过竞争乙烯受体, 阻止乙烯与受体结合, 来降低果蔬呼吸速率, 减少营养物质的消耗, 维持果蔬品质^[9]; 还能抑制叶绿素酶的活性, 保存较高的叶绿素含量, 维持色泽^[10]。但目前尚未见 1-MCP 用于甘薯茎尖的报道。对不同的果蔬来说, 适宜的 1-MCP 浓度也不相同^[11], 为找到适合甘

基金项目: 重庆市科委社会事业与民生保障科技创新专项 (编号: cstc2015shms-ztx80010)

作者简介: 王亚蒙, 男, 西南大学在读硕士研究生。

通信作者: 张敏 (1975—), 男, 西南大学副教授, 硕士。

E-mail: zmqx123@163.com

收稿日期: 2019-02-05

薯茎尖的 1-MCP 处理方法,本试验拟采用不同浓度的 1-MCP 处理甘薯茎尖,研究 1-MCP 处理对甘薯茎尖的保鲜作用及机理,为甘薯茎尖的保鲜提供参考。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

甘薯茎尖:市售,要求同一批次采摘,新鲜完整、气味清新;

愈创木酚、聚乙烯吡咯烷酮:分析纯,成都市科龙化工试剂厂;

1-MCP:分析纯,咸阳西秦生物科技有限公司;

曲拉通 X-100:分析纯,重庆北碚化学试剂厂。

1.1.2 仪器

分光光度计:2450PC 型,日本岛津公司;

电导率仪:DDS-307A 型,上海仪电科学仪器股份有限公司;

O₂/CO₂分析仪:650EC 型,美国 MOCON 公司。

1.2 方 法

1.2.1 样品处理 试验组分为 3 组,分别以浓度 0.5,1.0,1.5 μL/L 的 1-MCP 熏蒸 12 h 后通风,以未经任何处理的组作为对照,再装入 30 cm×50 cm,厚度 40 μm 的聚乙烯袋中。其中,每组 3 个平行,每个平行称取甘薯茎尖(100±5) g,装入保鲜袋,用热封机封口。将样品贮于温度为(11±1)℃、相对湿度为(90±5)%的环境中(模拟常温运输条件下,采用泡沫箱加冰袋包装时的温湿度),每 3 d 检测 1 次各项指标。

1.2.2 呼吸强度测定 测量干燥皿中初始 CO₂ 体积分数 φ₁,随机挑选(100±5) g 甘薯茎尖,放入干燥皿中,静置 60 min 后,测量干燥皿中最终 CO₂ 体积分数 φ₂,重复测量 3 次,干燥皿中剩余空间体积 V 采用排水法测出。呼吸强度按式(1)计算。

$$RI = \frac{(\phi_1 - \phi_2) \times V \times 44 \times 273.15}{m \times t \times 22.4 \times (273.15 + 25)}, \quad (1)$$

式中:

RI——呼吸强度,mg/(kg·h);

φ₁——干燥皿中初始 CO₂ 体积分数,%;

φ₂——干燥皿中最终 CO₂ 体积分数,%;

V——干燥皿中密闭空间体积,mL;

t——测定时间,h;

m——甘薯茎尖的质量,kg。

1.2.3 叶绿素含量测定 参照文献[12]。

1.2.4 V_c含量测定 参照文献[13]³⁴⁻³⁷。

1.2.5 相对电导率测定 根据文献[13]¹⁵²⁻¹⁵⁴,修改如下:取甘薯茎尖叶片部分,用直径为 1 cm 的打孔器在叶片上取样,每份称取样品 1.0 g,装入 100 mL 烧杯,分别

加入 40 mL 纯水,测电导率 γ₀;煮沸 30 min 后再测电导率 γ₁,按式(2)计算相对电导率。

$$\gamma = \frac{\gamma_0}{\gamma_1} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

γ——相对电导率,%;

γ₀——活组织提取液电导率,S/m;

γ₁——被杀死后提取液电导率,S/m。

1.2.6 超氧化物歧化酶活性测定 参照文献[13]¹²²⁻¹²⁵。

1.2.7 过氧化氢酶活性测定 参照文献[13]¹²⁰⁻¹²²。

1.2.8 过氧化物酶活性测定 参照文献[13]¹⁰¹⁻¹⁰³。

1.2.9 腐烂率测算 腐烂率以水渍状斑点的面积与叶片总面积的比值测算。

1.2.10 感官评定 根据文献[14],修改如下:由 5 名经过培训的成员组成评定小组,加权系数分别为色泽 0.3、气味 0.3、质地 0.4。

表 1 感官评定

Table 1 Sensory evaluation of sweet potato leaves

级别	色泽	气味	质地	得分
1	严重黄化	有很重的异味	很疲软,完全卷曲	1
2	中等黄化	有较大的异味	疲软,较多卷曲	2
3	轻微黄化	有较小的异味	略疲软,较少卷曲	3
4	较鲜绿	较清新,无异味	较硬挺,无卷曲	4
5	很鲜绿	清新,无异味	硬挺,无卷曲	5

1.2.11 数据统计分析 使用 Origin 2018 绘图,使用 SPSS 进行显著性差异分析。

2 结果与分析

2.1 对甘薯茎尖呼吸强度的影响

由图 1 可以看出,甘薯茎尖的呼吸强度整体上呈先上升后下降的趋势,各 1-MCP 处理组呼吸强度均得到了抑制,对照组在第 6 天出现呼吸高峰,且与各 1-MCP 处理组形成极显著性差异(P<0.01);贮藏 9 d,各 1-MCP 处理组均出现呼吸高峰,其中 1.5 μL/L 组与 0.5 μL/L 组、1.0 μL/L 组均形成显著性差异(P<0.05)。在贮藏后期,各 1-MCP 处理组均与对照组形成显著性差异(P<0.05),在贮藏 15 d 时,各组呼吸强度从大到小依次为对照组、0.5 μL/L 组、1.0 μL/L 组和 1.5 μL/L 组。由此可见 1-MCP 处理对延缓甘薯茎尖呼吸高峰出现及降低呼吸峰值有一定的效果,Reddy 等^[15]用 1-MCP 处理芒果的研究中也有类似的结果。这可能是 1-MCP 处理造成调控合成呼吸酶的基因不能被正常表达所导致的^[16]。整体来看,3 个 1-MCP 组均能有效降低甘薯茎尖的呼吸强度,延缓呼吸高峰的出现并减小呼吸峰值。

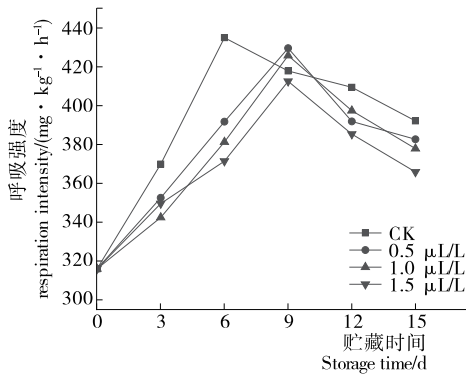


图1 1-MCP处理对甘薯茎尖呼吸强度的影响

Figure 1 The effects of 1-MCP on respiration intensity of sweet potato leaves

2.2 对甘薯茎尖叶绿素含量的影响

由图2可以看出,在整个贮藏周期,甘薯茎尖的叶绿素含量随贮藏时间的延长呈下降趋势,与对照组相比,各1-MCP处理组均能较好地保持叶绿素含量,叶绿素降解较为缓慢。在贮藏6 d时,各组叶绿素含量从多到少依次为1.0 $\mu\text{L/L}$ 组、0.5 $\mu\text{L/L}$ 组、1.5 $\mu\text{L/L}$ 组和对照组,且各处理组均与对照组形成极显著性差异($P < 0.01$);在贮藏15 d时,1.0 $\mu\text{L/L}$ 组、0.5 $\mu\text{L/L}$ 组、1.5 $\mu\text{L/L}$ 组的叶绿素含量分别比对照组高20.7%,18.7%,16.7%,各处理组均与对照组形成极显著性差异($P < 0.01$)。结果表明,1-MCP处理能显著延缓甘薯茎尖在贮藏过程中叶绿素含量的下降。宋小青等^[17]研究发现1-MCP处理能抑制叶绿素酶和脱镁螯合酶的活性,延缓叶绿素降解,抑制脱植基叶绿素a、脱镁叶绿素a、脱镁叶绿素a的生成,从而延缓果蔬颜色的改变。Gomez等^[18]在西兰花贮藏中的研究也发现,1-MCP能影响叶绿素酶的基因表达。因此,1-MCP处理能抑制叶绿素降解,维持甘薯茎尖较高的叶绿素含量。

2.3 对甘薯茎尖V_c含量的影响

如图3所示,甘薯茎尖的V_c含量在整个贮藏期呈下

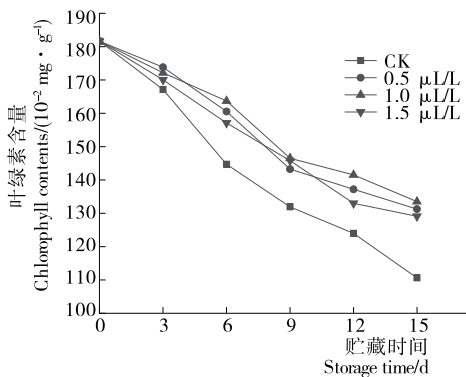


图2 1-MCP处理对甘薯茎尖叶绿素含量的影响

Figure 2 The effects of 1-MCP on chlorophyll contents of sweet potato leaves

降趋势。在贮藏6 d时,各1-MCP处理组V_c含量显著高于对照组($P < 0.05$),可能是对照组呼吸强度大且在第6天出现了呼吸高峰,加速了V_c含量的降低,而1-MCP处理能推迟甘薯茎尖呼吸高峰的出现,延缓营养物质的消耗。在贮藏15 d时,0.5 $\mu\text{L/L}$ 组和1.0 $\mu\text{L/L}$ 组V_c含量分别比对照组高21.2%和16.3%,均与对照组形成显著性差异($P < 0.05$)。作为非酶保护系统的一员,V_c有着清除活性氧的作用。在果蔬细胞中,活性氧产生的位点主要包括叶绿体、线粒体等有较高氧化代谢活力的或维持电子传递的器官^[19]。而1-MCP处理能减弱甘薯茎尖的呼吸作用,使自由基的产生减少,最终使V_c的消耗减少。Ma等^[20]在西兰花的研究中发现1-MCP可以上调细胞中抑制V_c降解的BO-DHAR和BO-GLDH基因的表达,并下调参与V_c降解的BO-APX1和BO-APX2基因的表达,进而抑制V_c含量的下降,说明1-MCP可能是通过影响相关基因的表达来起到维持V_c含量的作用。在整个贮藏过程中,一定浓度的1-MCP处理能延缓甘薯茎尖V_c含量的降低,0.5 $\mu\text{L/L}$ 和1.0 $\mu\text{L/L}$ 组在维持甘薯茎尖V_c含量方面的效果更好。

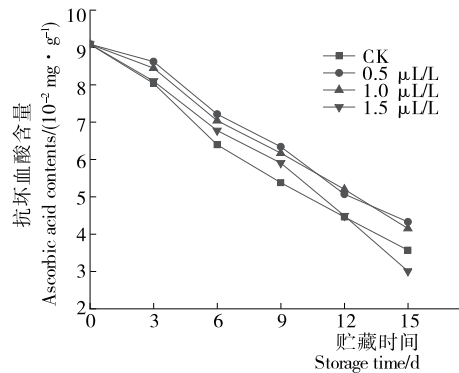


图3 1-MCP处理对甘薯茎尖V_c含量的影响

Figure 3 The effects of 1-MCP on ascorbic acid contents of sweet potato leaves

2.4 对甘薯茎尖相对电导率的影响

电导率为溶液中电解质的渗出率,能间接反映细胞膜的完整性,随着甘薯茎尖的成熟衰老,细胞膜通透性增大,细胞内电解质向外渗透的速率增大,电导率值也会逐渐升高。1-MCP处理对甘薯茎尖相对电导率的影响见图4。贮藏前期,各1-MCP处理组有效延缓了相对电导率的上升,在贮藏6 d时,各组相对电导率从大到小依次为对照组、1.5 $\mu\text{L/L}$ 组、1.0 $\mu\text{L/L}$ 组和0.5 $\mu\text{L/L}$ 组,各1-MCP处理组相对电导率显著低于对照组($P < 0.05$)。在贮藏9 d时,各1-MCP处理组相对电导率极显著低于对照组($P < 0.01$)。1-MCP处理能提高抗氧化酶的活性,减小自由基对细胞的氧化伤害,延缓膜脂过氧化作用,减缓相对电导率的增加^[21]。但在贮藏后期,各1-MCP处理

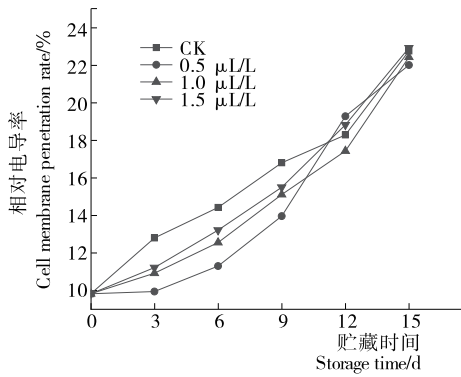


图 4 1-MCP 处理对甘薯茎尖相对电导率的影响

Figure 4 The effects of 1-MCP on relative conductivity of sweet potato leaves

组相对电导率上升较快,至贮藏 15 d,与对照组的差异不大($P>0.05$)。因此 1-MCP 处理在贮藏前期能抑制甘薯茎尖相对电导率的上升,其中 0.5 μL/L 组效果最好,但在贮藏末期效果不明显($P>0.05$)。

2.5 对甘薯茎尖 SOD 活性的影响

如图 5 所示,随贮藏时间的延长,甘薯茎尖 SOD 活性呈先上升后下降的趋势,在贮藏前期,SOD 的活性会快速上升,起到抗氧化的作用^[22]。在贮藏 6 d 时,达到最大值然后开始下降,可能是一种抗氧化防卫的反应机制^[23]。在贮藏 15 d 时,SOD 活性从大到小依次为 1.0 μL/L 组、0.5 μL/L 组、1.5 μL/L 组和对照组,且各 1-MCP 处理组均与对照组形成显著性差异($P<0.05$)。在整个贮藏期,1-MCP 处理能显著提高甘薯茎尖 SOD 活性,其中 1.0 μL/L 组在贮藏后期效果最佳,能有效抑制超氧化物自由基的增加,降低细胞内活性氧的水平。Chen 等^[24]发现 1-MCP 处理可以延缓梨 SOD 活性的降低,与对照相比,1-MCP 处理组氧化胁迫程度较轻,与本试验结果一致。

2.6 对甘薯茎尖 CAT 活性的影响

1-MCP 对甘薯茎尖 CAT 活性的影响见图 6。在贮

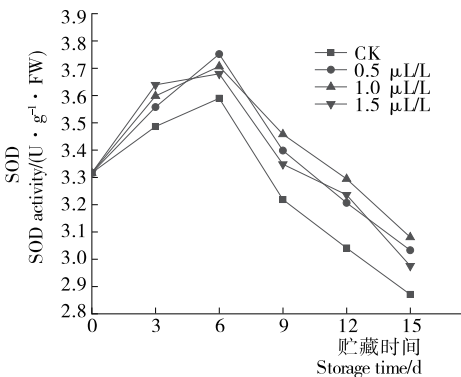


图 5 1-MCP 处理对甘薯茎尖 SOD 活性的影响

Figure 5 The effects of 1-MCP on SOD activity of sweet potato leaves

藏前期,甘薯茎尖的 CAT 活性上升,并在贮藏 6 d 时达到最大值,SOD 与超氧阴离子反应生成的 H_2O_2 可以被 CAT 及时清除,减少自由基的积累,起到保护细胞的作用。在贮藏中后期,CAT 活性下降,可能是由于甘薯茎尖的生理代谢引发的衰老所致^[25],在贮藏 6 d 时,甘薯茎尖的 CAT 活性从大到小依次为 1.5 μL/L 组、1.0 μL/L 组、0.5 μL/L 组和对照组,其中,1.0 μL/L 组和 1.5 μL/L 组均与对照组形成显著性差异($P<0.05$),至贮藏 15 d,各組间均形成显著性差异($P<0.05$)。果实成熟衰老的实质是活性氧积累及代谢失调的过程^[26],因此当果实体内活性氧积累过多时,必须通过抗氧化酶系统来维持活性氧水平的动态平衡^[27]。对甘薯茎尖进行 1-MCP 处理能维持稳定的抗氧化酶系统,有利于及时清除细胞内过多的 H_2O_2 ,维持细胞膜完整性,延缓衰老^[28]。

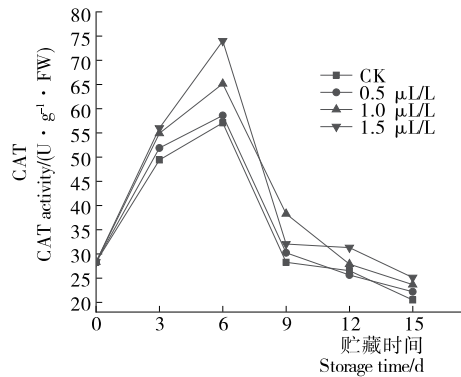


图 6 1-MCP 处理对甘薯茎尖 CAT 活性的影响

Figure 6 The effects of 1-MCP on CAT activity of sweet potato leaves

2.7 对甘薯茎尖 POD 活性的影响

如图 7 所示,随着贮藏时间的延长,甘薯茎尖的 POD 活性整体呈上升趋势,在贮藏中后期由于 CAT 活性降低导致 POD 的反应底物 H_2O_2 积累,进而诱导 POD 酶活性增大^[29]。贮藏 6 d 时,各 1-MCP 处理组均与对照组形成极显著性差异($P<0.01$),贮藏 9~12 d,甘薯茎尖的 POD 活性从大到小依次为 1.5 μL/L 组、1.0 μL/L 组、0.5 μL/L 组和对照组,且 0.5 μL/L 组 POD 活性显著低于另外 2 个 1-MCP 处理组($P<0.05$)。贮藏 15 d 时,甘薯茎尖的 POD 活性从大到小依次为 1.0 μL/L 组、1.5 μL/L 组、0.5 μL/L 组和对照组。POD 具有抗氧化的作用,因此当果蔬受到胁迫时,POD 的活性会增加以清除产生的自由基,使自身细胞免受伤害,而 1-MCP 处理则有利于维持甘薯茎尖较高的 POD 活性,其中,1.5 μL/L 组、1.0 μL/L 组效果较好。Zhang 等^[30]在鳄梨的研究中也发现 1-MCP 处理能显著提高 POD 活性,维持稳定的抗氧化酶系统,延缓衰老。

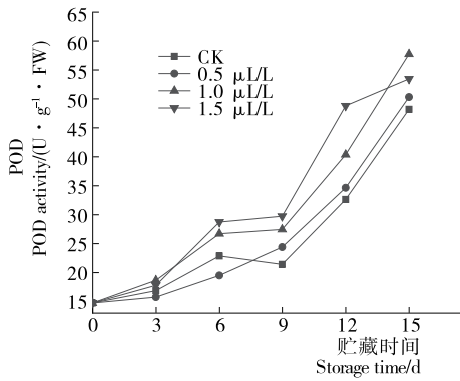


图7 1-MCP处理对甘薯茎尖POD活性的影响

Figure 7 The effects of 1-MCP on POD activity of sweet potato leaves

2.8 对甘薯茎尖腐烂率及感官评分的影响

如图8所示,各组腐烂率均随贮藏时间的延长呈上升趋势,在贮藏9 d时,各1-MCP处理组均与对照组形成极显著性差异($P < 0.01$)。在贮藏15 d时,腐烂率从大到小依次为对照组、1.5 $\mu\text{L/L}$ 组、0.5 $\mu\text{L/L}$ 组和1.0 $\mu\text{L/L}$ 组,且各组间均形成极显著性差异($P < 0.01$)。对照组中部分甘薯茎尖腐烂严重,已经失去食用价值,而1.0 $\mu\text{L/L}$ 组甘薯茎尖腐烂率则较低,直至贮藏末期仍具备一定的商品价值,效果最好。1-MCP处理对延缓甘薯茎尖的腐烂有一定的作用,能起到延缓果实衰老、增加抗病性的效果^[31]。但1.5 $\mu\text{L/L}$ 组在贮藏末期表现出较高的腐烂率,其保鲜效果相对0.5 $\mu\text{L/L}$ 组和1.0 $\mu\text{L/L}$ 组较差($P < 0.01$),说明浓度过高反而会对果蔬贮藏产生不利影响, Jiang等^[32]在草莓的研究中也发现较高浓度的1-MCP会降低PAL酶活性和酚类物质的含量,导致腐烂率上升。

随着贮藏时间的延长,甘薯茎尖在外观上出现黄化、萎焉及腐烂等现象,在贮藏后期也产生了异味,因此,本试验主要从色泽、气味和质地3个方面来衡量甘薯茎尖感官品质的变化。由图9可知,甘薯茎尖的感官评分在

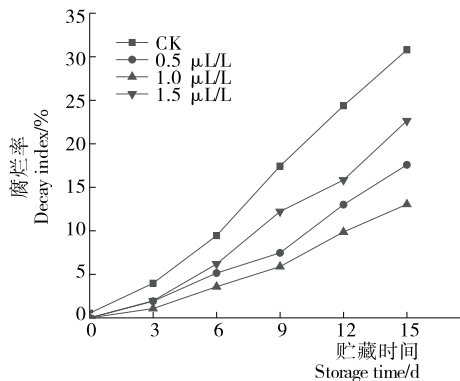


图8 1-MCP处理对甘薯茎尖腐烂率的影响

Figure 8 The effects of 1-MCP on decay of sweet potato leaves

整个贮藏过程中呈下降趋势,各1-MCP处理组较对照组感官评分下降较缓。在贮藏9 d时,对照组有轻微的萎焉和泛黄现象,蔬菜的清香略微减弱,各1-MCP处理组则较好地保持了甘薯茎尖的品质,且均与对照组形成极显著性差异($P < 0.01$)。贮藏第15天,对照组中约10%的叶片老化萎焉现象严重,色泽较差且伴有明显的异味,已经低于消费者最低可接受度,感官评分极显著低于1.0 $\mu\text{L/L}$ 组($P < 0.01$),1.0 $\mu\text{L/L}$ 组仅有轻微的泛黄、萎焉现象,仍具备一定的商品价值。在整个贮藏过程中,1-MCP处理对维持感官评分具有较好的效果,其中1.0 $\mu\text{L/L}$ 组效果最好。

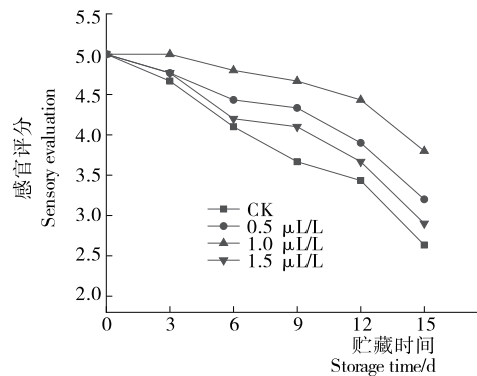


图9 1-MCP处理对甘薯茎尖感官评分的影响

Figure 9 The effects of 1-MCP on sensory evaluation of sweet potato leaves

3 结论

通过研究不同浓度1-MCP处理对甘薯茎尖生理化和保鲜效果的影响,综合各指标的变化情况可以得出:1-MCP熏蒸处理对甘薯茎尖起到了一定的保鲜作用,能够有效抑制呼吸并推迟呼吸高峰的到来,延缓了甘薯茎尖的黄化及腐烂;维持SOD、POD和CAT活性,调节了抗氧化酶系统;保持叶绿素及 V_c 含量,维持了营养品质。其中,1.0 $\mu\text{L/L}$ 组在维持抗氧化酶系统,保持叶绿素含量,延缓感官评分下降及腐烂率上升等方面效果最佳,在贮藏9 d时保持了80.7%的叶绿素,感官评分仍能达到4.7分(5分制),腐烂率也仅有5.98%,显著优于对照及其他处理组,且在贮藏末期效果依然明显。总体来看,1.0 $\mu\text{L/L}$ 组保鲜效果最好。但在物流中,效率非常重要,因此能否通过提高1-MCP浓度来缩短熏蒸时间,在保持效果的同时提高效率,还有待进一步研究。

参考文献

- [1] LI M, JANG G, LEE S, et al. Comparison of functional components in various sweet potato leaves and stalks [J]. Food Science & Biotechnology, 2017, 26(1): 97-103.
- [2] 戴起伟, 钮福祥, 孙健, 等. 我国甘薯加工产业发展概况与趋

势分析[J]. 农业工程技术, 2015(35): 27-31.

[3] SUN Hong-nan, MU Tai-hua, XI Li-sha, et al. Sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) leaves as nutritional and functional foods[J]. Food Chemistry, 2014, 156(8): 380-389.

[4] MIU N, MARIKO T, YOSHIMI K, et al. Sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) leaves suppressed oxidation of low density lipoprotein (LDL) in vitro and in human subjects[J]. Journal of Clinical Biochemistry & Nutrition, 2011, 48(3): 203-208.

[5] MELISSA J, PACE R D. Sweet potato leaves: properties and synergistic interactions that promote health and prevent disease[J]. Nutrition Reviews, 2010, 68(10): 604-615.

[6] KURATA R, KOBAYASHI T, ISHII T, et al. Influence of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) leaf consumption on rat lipid metabolism [J]. Food Science and Technology Research, 2017, 23(1): 57-62.

[7] 司金金. 红薯叶保鲜及干燥方式对红薯叶粉品质特性的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017: 18-29.

[8] 司金金, 辛丹丹, 王晓芬, 等. 温度和保鲜膜对红薯叶贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(17): 268-274.

[9] HAN Cong, ZUO Jin-nan, WANG Qing, et al. Effects of 1-MCP on postharvest physiology and quality of bitter melon (*Momordica charantia* L.) [J]. Scientia Horticulturae, 2015, 182: 86-91.

[10] GONG Yi-ping, MATTHEIS J P. Effect of ethylene and 1-methylcyclopropene on chlorophyll catabolism of broccoli florets[J]. Plant Growth Regulation, 2003, 40(1): 33-38.

[11] 李辉, 林河通, 袁芳, 等. 不同浓度 1-MCP 处理对采后油(木奈)果实的保鲜效应[J]. 农业机械学报, 2012, 43(5): 114-121.

[12] 林本芳, 鲁晓翔, 李江阔, 等. 1-MCP 处理结合冷藏对西兰花品质的影响[J]. 食品科技, 2012(12): 34-39.

[13] 曹建康, 姜微波. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.

[14] LI Wen-xiang, ZHANG Ming, YU Han-qing. Study on hypobaric storage of green asparagus[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 73(3): 225-230.

[15] REDDY S V R, SHARMA R R, BARTHAKUR S. Influence of 1-MCP on texture, related enzymes, quality and their relative gene expression in 'Amrapali' mango (*Mangifera indica* L.) fruits[J]. Journal of Food Science & Technology, 2017, 54(12): 1-9.

[16] 齐国光. MAP 和 1-MCP 对山野菜贮藏生理及品质的影响研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2012: 14.

[17] 宋小青, 任亚梅, 张艳宜, 等. 采后猕猴桃叶绿素降解机制及 1-MCP 处理对其代谢的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(17): 267-272.

[18] GOMEZ L, HASPERUE J, CIVELLO P, et al. Effect of 1-MCP on the expression of chlorophyll degrading genes during senescence of broccoli (*Brassica oleracea* L.) [J]. Scientia Horticulturae, 2012, 144(3): 208-211.

[19] ELSTNER E F. Oxygen activation and oxygen toxicity[J]. Annual Review of Plant Physiology, 1982, 33(1): 73-96.

[20] MA Gang, ZHANG Lan-cui, KATO M, et al. Effect of 1-methylcyclopropene on the expression of genes for ascorbate metabolism in postharvest broccoli[J]. Postharvest Biology & Technology, 2010, 58(2): 121-128.

[21] MURAKAMI S, SUZUKI M, HATTORI N, et al. Influence of harvesting time and precooling treatment on 1-methylcyclopropene efficacy in 'rainbow red' kiwifruit (*Actinidia chinensis*) [J]. Horticultural Research, 2016, 15(1): 73-79.

[22] ZHU Shu-hua, SUN Li-na, ZHOU Jie. Effects of different nitric oxide application on quality of kiwifruit during 20 °C storage[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2010, 45(2): 245-251.

[23] BARTOLI C G, SIMONTACCHI M, GUIAMET J J, et al. Antioxidant enzymes and lipid peroxidation during aging of *Chrysanthemum morifolium* RAM petals[J]. Plant Science, 1995, 104(2): 161-168.

[24] CHEN Yi-hui, LIN He-tong, SHI J, et al. Effects of a feasible 1-methylcyclopropene postharvest treatment on senescence and quality maintenance of harvested Huanghua pears during storage at ambient temperature[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 64(1): 6-13.

[25] 李江阔, 曹森, 张鹏, 等. 1-MCP 采前处理对葡萄采后相关酶活性与品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(22): 270-275.

[26] MITTLER R, VANDERAUWERA S, GOLLERY M, et al. Reactive oxygen gene network of plants[J]. Trends in Plant Science, 2004, 9(10): 490-498.

[27] 吴雪莹, 王宝刚, 曾凯芳. 1-MCP 处理对李果实采后生理和贮藏品质的影响[J]. 包装工程, 2015(1): 97-102.

[28] LIN Yi-fen, LIN He-tong, ZHANG Shen, et al. The role of active oxygen metabolism in hydrogen peroxide-induced pericarp browning of harvested longan fruit[J]. Postharvest Biology & Technology, 2014, 96(96): 42-48.

[29] CANTOS E, TUDELA J A, GIL L, et al. Phenolic compounds and related enzymes are not rate-limiting in browning development of fresh-cut potatoes[J]. J Agric Food Chem, 2002, 50(10): 3 015-3 023.

[30] ZHANG Zheng-ke, HUBER D, RAO Jing-ping. Antioxidant systems of ripening avocado (*Persea americana* Mill.) fruit following treatment at the preclimacteric stage with aqueous 1-methylcyclopropene[J]. Postharvest Biology & Technology, 2013, 76(1): 58-64.

[31] 刘尊英, 董士远, 曾名勇, 等. 1-MCP 对甜樱桃采后腐烂与食用品质的影响[J]. 食品科技, 2006, 31(1): 117-119.

[32] JIANG Yue-ming, JOYCE D C, TERRY L A. 1-Methylcyclopropene treatment affects strawberry fruit decay [J]. Postharvest Biology & Technology, 2001, 23(3): 227-232.