

6-苄氨基嘌呤处理对上海青贮藏品质的影响

高建晓^{1,2}, 刘 丹^{1,3}, 古荣鑫¹, 胡花丽¹, 李鹏霞^{1,*}

(1.江苏省农业科学院农产品加工研究所, 江苏 南京 210014; 2.南京农业大学食品科技学院, 江苏 南京 210095;

3.南京农业大学生命科学学院, 江苏 南京 210095)

摘 要: 以上海青为材料, 在 $(2 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、湿度85%~90%贮藏条件下, 研究0、15、30 mg/L 6-苄氨基嘌呤(6-benzyl aminopurine, 6-BA)处理对上海青感官品质、色差、呼吸强度、质量损失率、叶绿素含量、总酚含量、丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量和DPPH自由基清除能力的影响。结果表明: 6-BA处理可提高上海青的贮藏保鲜效果, 但与30 mg/L 6-BA处理相比, 15 mg/L 6-BA处理可以更有效地减缓采后上海青的黄化和感官品质的下降, 减轻其质量损失现象, 显著抑制上海青的呼吸强度、叶绿素分解和MDA的生成, 维持其较高的总酚含量及DPPH自由基清除能力。可见, 15 mg/L 6-BA处理延缓了上海青贮藏品质的下降。

关键词: 上海青; 6-苄氨基嘌呤; 贮藏; 品质

6-Benzyl Aminopurine Treatment Delays the Quality Deterioration of Pakchoi (*Brassica chinensis* L.) during Storage

GAO Jianxiao^{1,2}, LIU Dan^{1,3}, GU Rongxin¹, HU Huali¹, LI Pengxia^{1,*}

(1. Institute of Agro-product Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China;

2. College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

3. College of Life Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: In this experiment, pakchoi was treated by 0, 15 and 30 mg/L 6-benzyl aminopurine (6-BA) solutions and stored at $(2 \pm 1)^\circ\text{C}$ with relative humidity of 85%~90%, and its quality, color difference, respiration rate and weight loss, chlorophyll content, total phenol content, MDA content and DPPH clearance were investigated. The results showed that 6-BA treatment could improve the storage quality of pakchoi, and 15 mg/L 6-BA treatment had better effect than 30 mg/L 6-BA treatment. It could significantly delay the yellowing and organoleptic quality loss of pakchoi, reduce weight loss, inhibit the respiration intensity and the degradation of chlorophyll as well as the increase of MDA, and maintain high total phenol content and DPPH radical scavenging capacity of pakchoi. Consequently, 15 mg/L 6-BA treatment could delay the quality losses of pakchoi during storage.

Key words: pakchoi; 6-benzyl aminopurine; storage; quality

中图分类号: S634.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2015)04-0247-07

doi:10.7506/spkx1002-6630-201504049

上海青(*Brassica chinensis* L.), 小白菜的一种, 属于十字花科芸薹属芸薹种白菜亚种的一个变种, 常见于中国南方地区^[1]。上海青的地上部分叶片为其食用组织, 该蔬菜品质鲜嫩、营养丰富, 含有多种有机物和人体必需的多种矿物质及维生素, 特别是人们熟知的钙、VC含量较高。例如, 上海青中钙含量是大白菜的2~6倍, 其VC的含量是番茄的4~9倍。除此之外, 上海青还富含多种具有抗癌功效的硫代葡萄糖苷^[2-3], 保健价值高。因此深受人们的喜爱。

然而上海青具有叶片脆嫩、叶表面积大的特性。

因此其采后容易失水或受机械损伤而加速衰老。通常, 常温贮藏3~4 d就会出现黄化萎焉症状^[4], 这严重影响了其商品性。因此, 对上海青采后贮藏保鲜的研究已引起人们的关注。据报道^[5], 上海青性喜冷凉而怕炎热, 故贮藏上海青要求适宜的低温, 以0~2℃为宜。例如, 在冷藏条件下可使上海青的贮藏期延长至7 d。另有研究^[6]表明, 以2% O₂和2% CO₂的气调包装结合2℃的条件下贮藏上海青, 可以使其贮藏9 d后仍有较好的品质。此外, 高升^[7]研究表明, 常温条件下(25℃)1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP)处理仅

收稿日期: 2014-07-01

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金项目(CX(12)3081)

作者简介: 高建晓(1991—), 女, 硕士研究生, 研究方向为果蔬保鲜。E-mail: gaojianxiaoo@163.com

*通信作者: 李鹏霞(1976—), 女, 副研究员, 博士, 研究方向为果蔬保鲜与加工。E-mail: pengxiali@126.com

在贮藏前3 d可延缓上海青质量损失率的上升,此后质量损失率急剧增加,此外,在4℃低温条件下,1-MCP处理可以抑制贮藏过程中上海青叶绿素的降解和丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量的上升,有利于保持上海青的超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、过氧化物酶(peroxidase, POD)、过氧化氢酶(catalase, CAT)等抗氧化酶的活性,但是不同剂量1-MCP间差异不显著。可见,在上述采后处理技术条件下,上海青采后的贮藏期仍有限,而这已成为影响上海青产业发展的关键问题之一。因此,上海青采后保鲜技术的研究有待进一步提高。

6-苄氨基嘌呤(6-benzyl aminopurine, 6-BA)属植物生长调节剂中的细胞分裂素类化合物,具有促进 δ -氨基乙酰丙酸的生物合成、抑制与叶绿素分解有关蛋白质的降解、保持叶片鲜绿、延迟叶片衰老的作用^[8]。6-BA是人工合成细胞分裂素类物质中应用最广泛的,其特点是用量少、效率高、毒性低^[9]。GB 2760—2011《食品添加剂使用卫生标准》已将6-BA作为允许使用的食品添加剂,并规定豆芽中6-BA的最高允许使用量(0.01 g/kg)和最高允许残留量(0.2 mg/kg)^[10],其已经被作为生物防腐保鲜剂在有机食品领域得到应用^[11]。有研究^[12]表明,10 μ L/L 6-BA处理可有效地抑制芝麻菜的呼吸速率和叶片黄化,延长其贮藏期至14 d。龚吉军等^[13]的研究也表明,10 mg/L 6-BA处理能够提高黄花菜中的SOD的活性,同时能抑制超氧自由基、MDA的生成、抑制POD和CAT活性的提高,从而延缓采后黄花菜的衰老。目前,对低温与6-BA处理相结合贮藏来延长上海青保鲜期方面的研究较少。因此,本实验以上海青为材料,研究了不同质量浓度6-BA处理对上海青贮藏品质的影响,旨在为上海青的采后贮藏研究提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料及预处理

上海青于2013年9月采自江苏省农业科学院六合现代农业基地,采后2 h内运回江苏省农业科学院果蔬保鲜与加工实验室。挑选大小一致、成熟度相近、色泽鲜艳、无黄叶、无机械损伤、无病害的上海青作为实验材料。

1.2 仪器与设备

TU-1810紫外-可见分光光度计 北京普析通用仪器有限公司; Technologies 7820A气相色谱仪 美国Agilent公司; CR-400全自动测色色差计 日本柯尼卡美能达公司。

1.3 方法

1.3.1 6-BA处理

采用15 mg/L和30 mg/L两个质量浓度的6-BA溶

液对上海青分别进行浸泡处理,以清水浸泡为对照(CK),浸泡10 min后,沥干,按每捆(500 \pm 10) g进行整理,用聚乙烯保鲜袋(15.55 μ m; CO₂渗透系数:92 684.12 mL/(m₂·d); O₂渗透系数:34 438.62 mL/(m₂·d))进行封口包装处理,保鲜袋提前进行打孔处理,每个保鲜袋孔数4个,直径1 cm。每种处理重复3次,贮藏温度为(2 \pm 1)℃、相对湿度为85%~90%。贮藏期间每隔10 d取样一次,在(4 \pm 1)℃的低温条件下取上海青叶片进行冻样,用于相关指标的测定。

1.3.2 感官品质测定

参照梁凤玲等^[14]的方法,对上海青的枯黄、褐斑、萎焉、腐烂情况进行评价,综合评价蔬菜品质状况,记为感官评分,分值越大表示蔬菜整体状况越好。感官品质评分表如表1所示。

表1 感官品质评分表
Table 1 Rating scales for organoleptic quality of pakchoi

感官指标	无	轻微	严重
枯黄	4	2	0
褐斑	2	1	0
萎焉	2	1	0
腐烂	2	1	0

1.3.3 呼吸强度测定

参考胡花丽等^[15]的方法,取各处理上海青称量后置于6.14 L真空干燥器中,每个处理3组重复,于(5 \pm 1)℃条件下密闭1 h后用注射器取样气,抽取1 mL样气用气相色谱测定,色谱条件:火焰离子检测器,柱温80℃,N₂压力0.5 MPa, H₂压力0.3 MPa,空气压力0.5 MPa,重复3次。外标法定量。

1.3.4 质量损失率测定

用电子天平称量样品质量,重复测定3次,按下式计算质量损失率^[16]。

$$\text{质量损失率}/\% = \frac{\text{贮藏前质量} - \text{测定时的质量}}{\text{贮藏前质量}} \times 100$$

1.3.5 色差测定

参考王利群等^[17]的方法,利用色差计测定叶片色度,色度中的参数分别为亮度指标L值,红绿色指标a值和黄蓝色指标b值,每个处理重复测定20次。计算亮度指标变化 ΔL 、色度指标变化 Δa 、 Δb 和色差变化 ΔE_{ab} 。(元素 ΔL 、 Δa 和 Δb 的符号含义: + ΔL 方向表示较亮的, - ΔL 方向表示较暗的; + Δa 方向表示较红的, - Δa 方向表示较绿的; + Δb 方向表示较黄的, - Δb 方向表示较蓝的; 色差 $\Delta E_{ab} = ((\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2)^{1/2}$ 。

1.3.6 叶绿素含量测定

参考李合生等^[18]方法,采用丙酮浸提法测定叶绿素。称取样品2 g,加入10 mL丙酮充分研磨后,浸提至

组织变成白色。经定容、过滤后,在波长663、646、470 nm波长处测定吸光度,重复3次测定,计算叶绿素含量($\mu\text{g/g}$)。

1.3.7 MDA含量测定

参照李合生等^[18]的方法,略有改动。称取1 g样品,加入5%三氯乙酸10 mL,研磨后所得匀浆在3 000 r/min离心10 min,取上清液2 mL,加入2 mL 0.67%硫代巴比妥酸,混合后水浴煮沸30 min,冷却后离心,分别取上清液测定在450、532、600 nm波长处的吸光度,计算MDA含量($\mu\text{mol/g}$)。

1.3.8 总酚含量测定

参考Ghasemnezhad等^[19]的方法,略有改动。称取1 g样品,加5 mL 80%乙醇充分研磨,4℃、12 000 r/min离心20 min,上清液用于总酚的测定。取0.5 mL上清液,加3.5 mL蒸馏水,0.4 mL Folin试剂,25℃反应3 min,再加入1 mL饱和 Na_2CO_3 溶液,25℃反应1 h,于760 nm波长处测吸光度,以没食子酸作为标准物质做标准曲线,计算总酚含量($\mu\text{g/g}$)。

1.3.9 DPPH自由基清除能力的测定

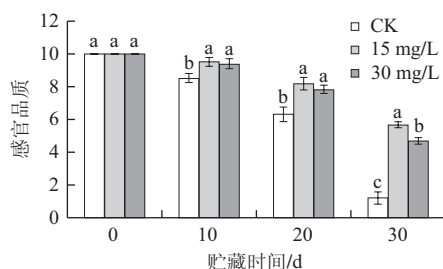
参考Du Guorong等^[20]的方法,略有改动。称取1 g样品,加入5 mL冰丙酮除色后,加入5 mL 95%乙醇研磨,浸提5 h,10 000 r/min离心20 min后取上清液备用。反应液为0.5 mL 2×10^{-3} mol/L DPPH液,0.5 mL样品提取液,另作对照管用0.5 mL样品提取溶剂(95%乙醇)代替样品提取液,空白对照管加入0.5 mL 2×10^{-3} mol/L DPPH溶液溶剂和0.5 mL样品浸提液,各个管均用蒸馏水定容到5 mL。每个处理重复3次,于517 nm波长测定吸光度,计算清除能力(mg/g)。

1.4 数据统计

所有数据均平行测定3次,数据采用 $\bar{x} \pm s$ 表示,显著性采用SPSS 18.0软件进行分析($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 6-BA处理对上海青感官品质的影响



柱形图上不同字母表示同一取样时间点不同处理之间的差异显著($P < 0.05$),下同。

图1 不同质量浓度6-BA处理对上海青感官品质的影响

Fig.1 Effect of different concentrations of 6-BA on sensory quality of pakchoi

由图1可见,贮藏过程中15 mg/L 6-BA处理上海青的感官品质显著优于CK($P < 0.05$)。CK组上海青最佳可食期较短,品质下降较快,其在贮藏至第10天时就开始出现萎焉和枯黄,30 d时几乎无商品价值,而6-BA处理组在20 d的贮藏期内,一直保持较好的品质。贮藏至第30天时,15 mg/L和30 mg/L 6-BA处理组的品质评分分别为CK的4.67和3.83倍。可见,15 mg/L 6-BA处理在贮藏过程中可有效减缓上海青感官品质的下降。

2.2 6-BA处理对上海青呼吸强度的影响

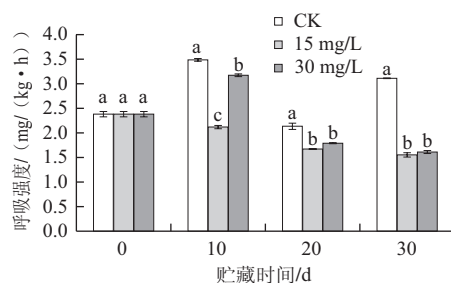


图2 不同质量浓度6-BA处理对上海青呼吸强度的影响

Fig.2 Effect of different concentrations of 6-BA on respiration intensity of pakchoi

由图2可看出,在整个贮藏过程中,15 mg/L 6-BA处理上海青的呼吸强度呈下降趋势,而CK和30 mg/L 6-BA处理组在贮藏0~10 d内,呼吸强度迅速上升,贮藏20~30 d期间,30 mg/L 6-BA处理组呼吸强度呈下降趋势,CK组上海青的呼吸强度则先下降后上升。贮藏期间,15 mg/L和30 mg/L 6-BA处理组的呼吸强度均显著低于CK($P < 0.05$),且15 mg/L 6-BA处理组的呼吸强度在贮藏第10天时显著低于30 mg/L 6-BA处理组($P < 0.05$),贮藏后期两者无显著差异。可见,15 mg/L质量浓度的6-BA处理可有效抑制上海青的呼吸强度。

2.3 6-BA处理对上海青质量损失率的影响

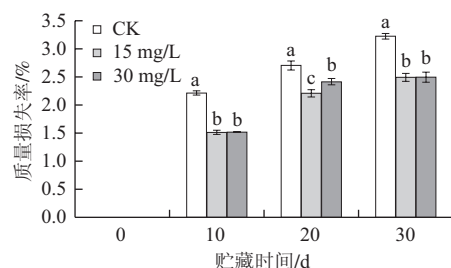


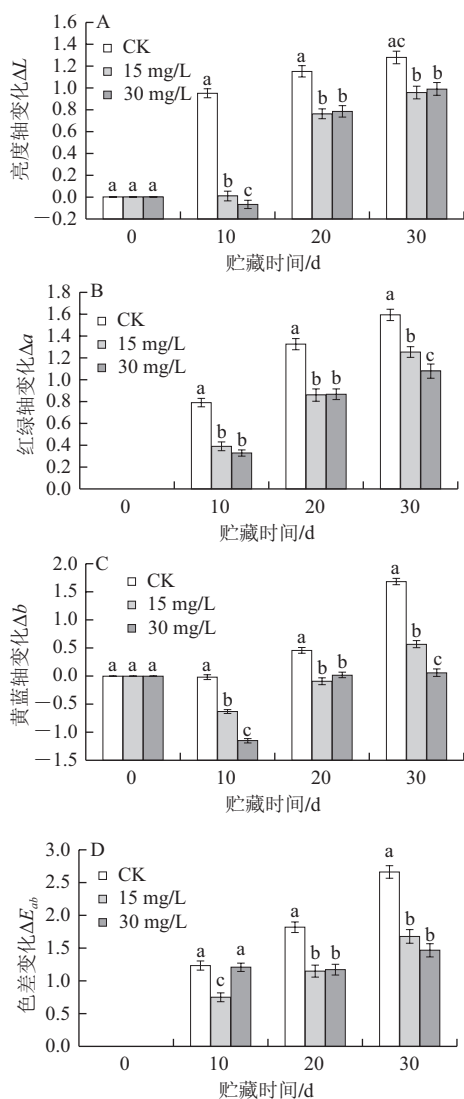
图3 不同质量浓度6-BA处理对上海青质量损失率的影响

Fig.3 Effect of different concentrations of 6-BA on weight loss of pakchoi

质量损失率的变化也反映了果蔬采后品质的变化,质量损失率越高,说明果蔬品质下降越多,呼吸和失水越严重。上海青在贮藏过程中,其质量损失率的变化情况如图3所示,各处理上海青的质量损失率均随着贮藏时间的延长而逐渐增加。贮藏至第10天时,CK组的质量

损失率已达2.2%，而其他两个质量浓度6-BA处理组质量损失率仅为1.5%，整个贮藏过程中，两个质量浓度6-BA处理组的质量损失率均显著低于CK ($P<0.05$)，且在第20天15 mg/L 6-BA处理组的质量损失显著低于30 mg/L 6-BA处理组 ($P<0.05$)。可见，15 mg/L质量浓度的6-BA处理可有效减轻上海青质量损失现象，这可能与其较低的呼吸作用有关。

2.4 6-BA处理对上海青叶片色度色差的影响



A.亮度变化; B.红绿色变化; C.黄蓝色变化; D.总色差变化。

图4 不同质量浓度6-BA处理对上海青色差参数的影响

Fig.4 Effect of different concentrations of 6-BA on chromatic aberration of pakchoi

由图4可知，在贮藏过程中，各处理上海青叶片均表现为亮度增加（图4A），绿色降低（图4B），黄色增加（图4C），色差变化明显（图4D），其中CK的亮度、色度、色差变化最为显著，显著高于15 mg/L和30 mg/L 6-BA两个处理组 ($P<0.05$)。

由图4A可知，CK和15 mg/L 6-BA处理上海青的叶片亮度均呈上升趋势，30 mg/L 6-BA处理组则呈现先下降（0~10 d）后上升（10~30 d）趋势。贮藏期间，6-BA处理组的亮度变化均显著低于CK ($P<0.05$)，且15 mg/L和30 mg/L 6-BA处理上海青的叶片亮度在贮藏20~30 d期间无显著差异；由图4B、C可知，CK组上海青叶片由绿变黄，变化速率显著高于6-BA处理组 ($P<0.05$)，且15 mg/L和30 mg/L 6-BA处理组的色度变化在20 d无显著差异；由图4D可知，整个贮藏过程中，CK色差变化最为显著，贮藏至第10天时，30 mg/L 6-BA处理组的色差变化显著大于15 mg/L 6-BA处理组 ($P<0.05$)，贮藏10~30 d期间，6-BA处理上海青的色差变化无显著差异。综上所述，不同质量浓度的6-BA处理均可以有效地延缓上海青色差（亮度、色度）变化，其中15 mg/L质量浓度的6-BA处理对上海青具有较好的护色效果。

2.5 6-BA处理对上海青叶绿素含量的影响

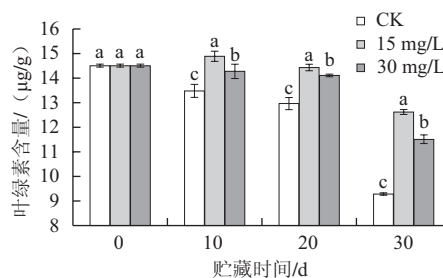


图5 不同质量浓度6-BA处理对上海青叶绿素含量的影响

Fig.5 Effect of different concentrations of 6-BA on chlorophyll content of pakchoi

由图5可看出，在贮藏过程中，CK和30 mg/L 6-BA处理上海青的叶绿素含量均呈下降趋势，15 mg/L 6-BA处理组的叶绿素含量呈先上升后下降趋势。结果表明，整个贮藏过程中，15 mg/L 6-BA处理组的叶绿素显著高于CK和30 mg/L 6-BA处理组 ($P<0.05$)。在贮藏0~10 d内，15 mg/L 6-BA处理组的叶绿素含量增加了2.68%，在第10天达到峰值，CK和30 mg/L 6-BA处理组的叶绿素含量则分别下降了6.90%和1.54%；贮藏10~20 d内各处理均变化不大，贮藏20~30 d显著下降，15 mg/L 6-BA处理组的叶绿素含量下降了4.83%，30 mg/L 6-BA处理组的叶绿素含量下降了13.24%，CK则下降了30.00%。由此可知，15 mg/L质量浓度的6-BA处理可以有效地减少贮藏过程中上海青叶绿素的损失。

2.6 6-BA处理对上海青MDA含量的影响

由图6可看出，随着贮藏时间的延长，6-BA处理上海青的MDA含量呈先上升后下降又上升的趋势，CK呈上升趋势。贮藏0~10 d期间，各处理组的MDA含量均增加，且无显著差异，贮藏至第20天时，CK组的MDA含量由第10天的1.21 μmol/g增加至1.25 μmol/g，而15 mg/L

和30 mg/L 6-BA处理组的MDA含量分别由第10天时的1.25 $\mu\text{mol/g}$ 和1.24 $\mu\text{mol/g}$ 减少为1.10 $\mu\text{mol/g}$ 和1.15 $\mu\text{mol/g}$,且方差分析表明,15 mg/L 6-BA处理组的MDA含量显著低于30 mg/L 6-BA处理组 ($P<0.05$);贮藏至第30天时,15 mg/L和30 mg/L 6-BA处理组的MDA含量无显著差异,且均显著低于CK ($P<0.05$)。可见,不同质量浓度的6-BA处理均能够有效地抑制MDA的生成,延缓上海青的衰老。

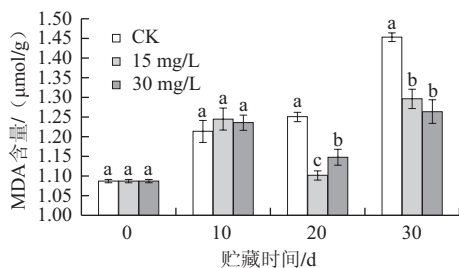


图6 不同质量浓度6-BA处理对上海青MDA含量的影响

Fig.6 Effect of different concentrations of 6-BA on MDA content of pakchoi

2.7 6-BA处理对上海青总酚含量的影响

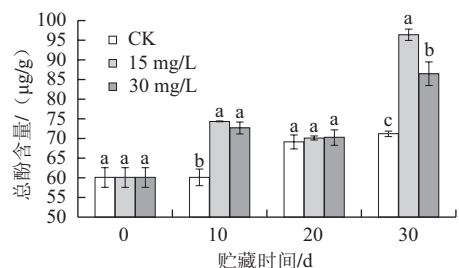


图7 不同质量浓度6-BA处理对上海青总酚含量的影响

Fig.7 Effect of different concentrations of 6-BA on total phenol content of pakchoi

由图7可看出,在贮藏过程中,各处理上海青的总酚含量随贮藏时间的延长呈整体上升趋势。贮藏至第10天时,15 mg/L和30 mg/L 6-BA处理组的总酚含量显著高于CK ($P<0.05$),且15 mg/L 6-BA和30 mg/L 6-BA处理组的总酚含量分别为CK的1.23和1.21倍;贮藏至第20天时,各处理上海青的总酚含量无显著差异;贮藏至第30天时,15 mg/L 6-BA处理组的总酚含量显著高于CK和30 mg/L 6-BA处理组 ($P<0.05$),且15 mg/L 6-BA和30 mg/L 6-BA处理组的总酚含量分别是CK的1.35和1.21倍。可见,15 mg/L质量浓度的6-BA处理可有效促进上海青总酚的积累。

2.8 6-BA处理对上海青DPPH自由基清除能力的影响

由图8可看出,贮藏过程中,CK组的DPPH自由基清除能力呈先上升后下降趋势,15 mg/L和30 mg/L 6-BA处理组的DPPH自由基清除能力呈先上升后下降又上升趋势。贮藏0~10 d期间,各处理上海青的DPPH自由基清

除能力无显著差异,均在第10天时达到峰值,之后快速下降;贮藏10~20 d期间,15 mg/L 6-BA处理组的DPPH自由基清除能力与CK无显著差异,而30 mg/L 6-BA处理上海青的DPPH自由基清除能力在20 d显著低于CK ($P<0.05$);贮藏至第30天时,15 mg/L和30 mg/L 6-BA处理组的DPPH自由基清除能力分别为CK的1.12倍和1.07倍。可见,15 mg/L质量浓度的6-BA处理可显著减缓上海青的DPPH自由基清除能力的下降 ($P<0.05$)。

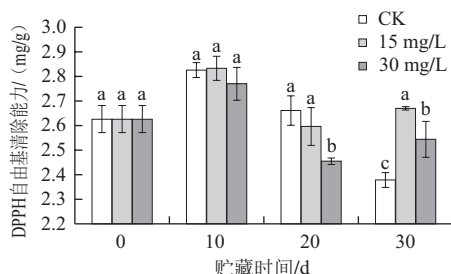


图8 不同质量浓度6-BA处理对上海青DPPH自由基清除能力的影响

Fig.8 Effect of different concentrations of 6-BA on DPPH radical scavenging capacity of pakchoi

3 讨论与结论

3.1 不同质量浓度6-BA处理对上海青贮藏品质的影响

上海青含水量高,叶片柔嫩,采后生理代谢旺盛,极易褪绿黄化、失水萎焉和霉变腐烂^[21]。感官品质是其最重要的商品品质^[22]。上海青在贮藏过程中,外观逐渐发生着变化。本研究发现,对照组上海青刚采后新鲜色绿,无腐烂,贮藏10 d后叶片就开始出现萎焉、枯黄和严重的失水现象,30 d后几乎无商品性。然而采用15 mg/L和30 mg/L的6-BA对上海青进行采后处理后,贮藏10~20 d内一直保持较好的品质。而且,本研究表明,与30 mg/L的6-BA处理相比,15 mg/L的6-BA处理上海青的保鲜效果更为显著,这可能与6-BA的作用有关,6-BA对上海青延缓衰老的作用使得它对保持其良好的感官品质起了很大的作用。龚吉军等^[23]对黄花菜的保鲜研究也证明了这一点。

呼吸作用是果蔬采后重要的生命活动之一,影响耐贮性。呼吸作用的实质是在一系列专门酶的参与下,把细胞组织中复杂的有机物分解成简单物质,最后变成二氧化碳和水,释放能量的过程。过于旺盛的呼吸强度会使得果蔬营养物质消耗,导致质量减少、失水、品质下降和衰老。因此,采后贮藏过程中应尽量减小呼吸消耗^[24]。6-BA处理有效地抑制了上海青的呼吸强度,其对呼吸抑制的良好表现,可能在于对脱落酸的拮抗作用^[25]。龚吉军等^[26]的研究也表明在2℃低温条件下,10 mmol/L 6-BA处理可显著抑制黄花菜乙烯的产生和呼吸作用,有效地延缓了黄

花菜的成熟与衰老,保持了其良好的外观品质。

质量损失是果蔬贮藏期间存在的一种生理现象。样品质量损失是衡量蔬菜品质的外观指标之一,同时质量损失也造成商品率的下降。果蔬的质量损失主要是由于果蔬蒸腾失水和呼吸作用造成的^[27]。本实验中,对照和各处理上海青的贮藏条件相同,但其中15 mg/L 6-BA处理可以有效地抑制上海青的质量损失现象,这可能与15 mg/L 6-BA处理组有较低的呼吸强度有关。梁凤玲等^[28]的研究结果也表明,15 mg/L 6-BA处理可以有效地抑制矮箕青菜的呼吸强度,维持青菜较低的质量损失率,延缓其衰老进程,这与本研究的结果一致。

3.2 不同质量浓度6-BA处理对上海青生理指标的影响

叶绿素是植物生理活动的最重要指标之一^[29]。叶绿素不但影响到植物光合作用,而且对绿叶菜保鲜效果及其生产销售具有重大意义^[30-31]。在上海青贮藏过程中,叶绿素分解从而引起叶绿素含量下降和总色素含量下降,导致上海青菜叶由深绿色变为亮黄色。研究表明贮藏期间,伴随上海青菜叶的亮度(ΔL)增加,色度成分中绿色和蓝色成分减少,红色和黄色成分增加, Δa 和 Δb 上升,从而导致总色差变化(ΔE_{ab})增加,其中15 mg/L 6-BA处理组变化较小,表明贮藏期间15 mg/L 6-BA处理对上海青保色效果较为显著。上海青色差色度及叶绿素的研究表明,上海青在贮藏过程中伴随着叶绿素的分解商品性降低,营养价值降低,此研究结果与赵玉华等^[32]的研究相符。通常,叶绿素的降解与乙烯释放量、叶绿素酶分解、叶绿素脱镁等均有直接关系。而且6-BA能促进氨基丙酸的生物合成,从而促进叶绿素的合成与积累^[33],因此,下一步有必要阐明6-BA抑制上海青叶绿素降解的原因。

上海青的贮藏过程就是一个衰老过程,MDA是膜脂过氧化产物,是细胞衰老的一种标志^[34]。MDA的积累已被证实来自于生物体内不饱和脂肪酸的降解^[35]。它的存在是细胞膜系统受损,干扰了蛋白质的合成和脱氧核糖核酸的作用,引发细胞膜的降解和细胞正常功能的丧失^[36]。由贮藏期间上海青MDA的变化情况可看出,15 mg/L 6-BA处理可以有效地抑制丙二醛的生成,减缓上海青组织的衰老进程。这与安建申等^[37]认为6-BA处理可减少芦笋的MDA累积的结论一致。这可能与6-BA具有减缓植物组织蛋白质降解、稳定细胞膜及相关的rRNA结构有关^[38]。

自由基是植物正常代谢的产物,若果蔬清除自由基的能力下降或产生的自由基过多,会对果蔬组织和细胞膜产生伤害,加速果蔬的衰老^[39]。因此,果蔬的抗氧化能力(自由基清除能力)直接影响果蔬的采后品质^[40]。酚类物质是植物体内重要的抗氧化物质,同时也是采后衰老的标志性指标,其具有较强的清除自由基的能力^[41-42]。

本实验表明,15 mg/L 6-BA处理的上海青总酚含量明显高于其他处理。进一步研究发现,15 mg/L 6-BA处理可有效减缓上海青清除DPPH自由基能力的下降,这可能与较高的总酚有关。15 mg/L 6-BA处理保持了较高的总酚含量和抗氧化能力,有利于减少自由基对上海青组织造成的伤害,这也与MDA含量的变化一致。

综上所述,15 mg/L和30 mg/L两个质量浓度的6-BA处理均可提高上海青的贮藏保鲜效果,在 $(2 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、湿度85%~90%的贮藏条件下,保鲜期可达20 d。但较30 mg/L 6-BA处理相比,15 mg/L 6-BA处理可以更有效地减缓采后上海青的黄化和感官品质的下降,保持其最佳的感官品质,减轻上海青的质量损失现象,显著抑制上海青的呼吸强度、叶绿素分解和MDA的生成,维持其较高的总酚含量及DPPH自由基清除能力,因此减缓了上海青贮藏品质的下降。

参考文献:

- [1] WANG Donghong, SHI Qinghua, WANG Xiufeng, et al. Influence of cow manure vermicompost on the growth, metabolite contents, and antioxidant activities of Chinese cabbage (*Brassica campestris* ssp. *chinensis*)[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2010, 46(7): 689-696.
- [2] 宋晓燕, 刘宝林. 真空冷却中的上海青表面温度变化规律[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(1): 266-269.
- [3] 杨静. 营养状态和采后处理对小白菜硫代葡萄糖苷的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2009.
- [4] 谢晶, 张利平, 苏辉, 等. 上海青蔬菜的品质变化动力学模型及货架期预测[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(15): 271-278.
- [5] 郭玉花, 滕立军, 沈跃飞, 等. 保鲜膜研制及其在小白菜保鲜中的应用[J]. *中国食物与营养*, 2007(3): 29-31.
- [6] 沈莲清, 王向阳, 黄光荣. 气调包装和烫漂处理对青菜货架期的影响[J]. *浙江农业学报*, 1999, 11(5): 249-252.
- [7] 高升. 1-MCP处理对小白菜采后生理特性及品质的影响研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2013.
- [8] 汪峰, 郑永华. 6-BA 和热处理对食荚豌豆贮藏品质的影响[J]. *食品科学*, 2005, 25(11): 314-317.
- [9] 林琳. 豆芽中6-苄基腺嘌呤的测定方法研究[J]. *食品工业*, 2008, 19(3): 65-67.
- [10] GB 2760—2011 食品添加剂使用卫生标准[S].
- [11] PRANGE R K, RAMIN A A, DANIELS-LAKE B J, et al. Perspectives on postharvest biopesticides and storage technologies for organic produce[J]. *Horticultural Science*, 2006, 41(2): 301-303.
- [12] KOUKOUNARAS A, SIOMOS A S, SFAKIOTAKIS E. Effects of 6-BA treatments on yellowing and quality of stored rocket (*Eruca sativa* Mill.) leaves[J]. *Journal of Food Quality*, 2010, 33(6): 768-779.
- [13] 龚吉军, 谭兴和, 夏延斌, 等. 小袋包装气调和6-BA对黄花菜采后生理变化的影响[J]. *食品科学*, 2004, 25(6): 175-178.
- [14] 梁凤玲, 王武, 杨妍, 等. 青菜贮藏保鲜工艺研究[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(13): 342-345.
- [15] 胡花丽, 李鹏霞, 王毓宁, 等. 薄膜包装限气贮藏在李果实上的保鲜效果[J]. *西北农业学报*, 2011, 20(3): 138-143.
- [16] 周春梅, 王欣, 刘宝林. 不同薄膜包装对白玉菇自发气调保鲜的效果[J]. *食品与发酵工业*, 2010, 36(6): 205-210.
- [17] 王利群, 戴雄泽. 色差计在辣椒果实色泽变化检测中的应用[J]. *辣椒杂志*, 2009(3): 23-26.

- [18] 李合生. 植物生理生化实验原理与技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 260-261.
- [19] GHASEMNEZHAD M, SHERAFATI M, PAYVAST G A. Variation in phenolic compounds, ascorbic acid and antioxidant activity of five coloured bell pepper (*Capsicum annum*) fruits at two different harvest times[J]. Journal of Functional Foods, 2011, 3(1): 44-49.
- [20] DU Guorong, LI Mingjun, MA Fengwang, et al. Antioxidant capacity and the relationship with polyphenol and vitamin C in *Actinidia* fruits[J]. Food Chemistry, 2009, 113(2): 557-562.
- [21] 郭鑫, 崔政伟. 青菜气调贮藏保鲜的工艺优化研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(6): 344-348.
- [22] 王明钦, 尹明安. 聚乙烯薄膜小包装对黄瓜保鲜效果及其机制[J]. 西北农业学报, 2011, 20(3): 144-149.
- [23] 龚吉军. 黄花菜贮藏保鲜研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2003.
- [24] 绪方邦安. 水果蔬菜贮藏概论[M]. 北京: 农业出版社, 1982: 74-103.
- [25] LOONEY N E. Some effects of GA plus 6-BA on fruit weight, shape quality, Ca content, and storage behavior of Spartan apples[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1979, 104(3): 389-389.
- [26] 龚吉军, 李映武. 鲜黄花菜小袋包装气调保藏技术[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2003, 29(1): 57-60.
- [27] 马锋旺, 李嘉瑞. 若干果实因素对猕猴桃贮藏期间失重的影响[J]. 落叶果树, 1994, 26(3): 13-14.
- [28] 梁凤玲. 矮箕青菜贮期品质变化规律及保鲜技术研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2012.
- [29] 隋媛媛, 于海业, 张蕾, 等. 温室黄瓜病虫害的叶绿素荧光光谱分析[J]. 光谱学与光谱分析, 2012, 32(5): 1292-1295.
- [30] 冯伟, 王晓宇, 宋晓, 等. 白粉病胁迫下小麦冠层叶绿素密度的高光谱估测[J]. 农业工程学报, 2013, 29(13): 114-123.
- [31] 胡云峰, 陈君然, 肖娟, 等. 臭氧处理对切分青椒贮藏品质的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(16): 259-263.
- [32] 赵玉华, 侍朋宝, 于晓蕊, 等. 6-BA处理对绿芦笋低温贮藏效果的研究[J]. 保鲜与加工, 2011, 11(6): 14-17.
- [33] 吴有梅, 华雪增, 方建雄, 等. 贮藏温度和气体组成对苹果乙烯生物合成的影响[J]. 植物生理学报, 1991, 17(2): 169-176.
- [34] 胡花丽, 李鹏霞, 王毓宁. 不同薄膜包装对杏鲍菇采后衰老生理的影响[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(7): 196-200.
- [35] 张海森, 高东升, 李冬梅, 等. 设施桃果实品质发育生理研究[J]. 中国农学通报, 2005, 21(7): 286-297.
- [36] 张玉敏, 胡长鹰, 吴宇梅, 等. 气调包装对番石榴贮藏品质的影响[J]. 食品与机械, 2012, 28(2): 180-183.
- [37] 安建申. 延长绿芦笋和水蜜桃保鲜贮藏期的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2006.
- [38] 张石城, 刘祖祺. 植物化学调控原理与技术[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
- [39] SAILAJA R P, SIREESHA K, APARNA Y, et al. Free radicals and tissue damage: role of antioxidants[J]. Free Radicals and Antioxidants, 2011, 1(4): 2-7.
- [40] 李鹏霞, 胡花丽, 王毓宁. 外源NO对采后绿芦笋木质化和抗氧化能力的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(9): 264-269.
- [41] 郑杨, 曹敏, 申琳, 等. 短波紫外线照射对韭菜采后贮藏品质及活性氧代谢相关酶的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(20): 307-311.
- [42] 刘文旭, 黄午阳, 曾晓雄, 等. 草莓, 黑莓, 蓝莓中多酚类物质及其抗氧化活性研究[J]. 食品科学, 2012, 32(23): 130-133.