

不同包装方式的娃娃菜保鲜效果比较

张鹏¹, 苏娟², 贾晓昱¹, 李春媛¹, 吴迪^{3,4}, 李江阔^{1*}

(1. 天津市农业科学院农产品保鲜与加工技术研究所, 国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津), 农业农村部农产品贮藏保鲜重点实验室, 天津市农产品采后生理与贮藏保鲜重点实验室, 天津 300384)
(2. 沈阳农业大学食品学院, 辽宁沈阳 110866)(3. 浙江大学农业与生物技术学院, 浙江杭州 310058)
(4. 浙江大学中原研究院, 河南郑州 450000)

摘要: 为了明确不同包装方式对娃娃菜保鲜效果的影响, 以娃娃菜为试材, 采后放入 4℃冷库, 预冷 24 h 后装入泡沫箱(CK)、内装蓄冷剂的泡沫箱(T1)、温控箱(T2)、内装蓄冷剂的温控箱(T3)中贮藏, 定期测定娃娃菜的生理指标、营养品质以及活性氧代谢相关指标等。结果表明, 贮藏 42 d 时, T3 组叶绿素、Vc 和可溶性蛋白含量分别是 0.016 mg/g、34.38 mg/100 g、1.34 mg/g, 显著高于其他处理组($P<0.05$)。另外, T3 处理抑制了贮藏期间娃娃菜的呼吸强度和乙烯生成速率, 推迟乙烯高峰的出现时间, 延缓失重率的增加, 抑制 MDA 和 H_2O_2 含量, 使 POD、SOD、CAT 活性保持在较高水平, PPO 活性保持在较低水平, 有效保持了娃娃菜的贮藏品质, 并延长了贮藏期; 对娃娃菜贮藏期间的指标进行聚类分析表明, 内含蓄冷剂的温控箱包装更有利于娃娃菜的保鲜。综上, 娃娃菜采后使用内含蓄冷剂的温控箱包装并置于 4℃下存放, 保鲜效果最佳, 可为娃娃菜运输和贮藏提供新的思路。

关键词: 娃娃菜; 泡沫箱; 温控箱; 蓄冷剂; 保鲜效果

文章编号: 1673-9078(2025)09-158-164

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.9.0778

Comparison of Preservation Effects of Different Packaging Methods on Baby Chinese Cabbage

ZHANG Peng¹, SU Juan², JIA Xiaoyu¹, LI Chunyuan¹, WU Di^{3,4}, LI Jiangkuo^{1*}

(1. Institute of Agricultural Products Preservation and Processing Technology, Tianjin Academy of Agricultural Sciences, Tianjin Key Laboratory of Postharvest Physiology and Storage of Agricultural Products, Key Laboratory of Storage of Agricultural Products, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Engineering and Technology Research Center for Preservation of Agricultural Products (Tianjin), Tianjin 300384, China)(2. School of Food Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)(3. College of Agriculture & Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)(4. Zhejiang University Zhongyuan Institute, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: The effects of different packaging methods on the preservation performances of baby Chinese cabbage were investigated. After harvest, baby Chinese cabbage was stored at 4℃, pre-cooled for 24 h, and stored under varied conditions: a foam box (CK), a foam box containing the refrigerant (T1), a temperature-controlled box (T2), and a temperature-controlled box containing the refrigerant (T3). The results showed that at 42 d of storage, the T3 group had significantly higher levels of chlorophyll, Vc, and soluble protein (0.016 mg/g, 34.38 mg/100 g, 1.34 mg/g, respectively) compared to other treatments ($P<0.05$). Additionally, T3 treatment inhibited the respiration rate and ethylene production rate of baby Chinese cabbage during storage, delayed the appearance of the ethylene peak, reduced the weight loss rate, and inhibited the levels of MDA and H_2O_2 , maintaining higher levels of POD, SOD, and CAT activity and lower levels of PPO activity, effectively preserving the storage quality of baby Chinese cabbage and extending its storage period. Cluster analysis of the indicators during storage showed that packaging with a temperature-controlled box containing refrigerant was more conducive to the preservation of baby Chinese cabbage. In conclusion, after harvest, baby Chinese cabbage packaged in a temperature-controlled box containing refrigerant and stored at 4℃, achieved the best preservation effect, providing a new idea for the transportation and storage of baby Chinese cabbage.

张鹏, 苏娟, 贾晓昱, 等. 不同包装方式的娃娃菜保鲜效果比较[J]. 现代食品科技, 2025, 41(9): 158-164.

ZHANG Peng, SU Juan, JIA Xiaoyu, et al. Comparison of preservation effects of different packaging methods on baby Chinese cabbage [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(9): 158-164.

收稿日期: 2024-06-03; 修回日期: 2024-07-19; 接受日期: 2024-07-26

基金项目: 甘肃省科技计划重大项目(21ZD4NA016); 天津市农业科学院种业专项(2023ZYCX012)

作者简介: 张鹏(1981-), 女, 博士, 研究员, 研究方向: 果蔬贮藏保鲜, E-mail: zhangpeng811202@163.com

通讯作者: 李江阔(1974-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 果蔬贮藏与加工, E-mail: lijkuo@sina.com

box containing the refrigerant (T3). The physiological indices, nutritional quality, and active oxygen metabolism-related indices were measured at regular time intervals. The results showed that on day 42 of storage, the chlorophyll, Vc, and soluble protein contents of the T3 group were 0.016 mg/g, 34.38 mg/100 g, and 1.34 mg/g, respectively, being significantly higher than those in other storage groups ($P<0.05$). Furthermore, T3 storage effectively reduced the respiration intensity and ethylene formation rate of baby Chinese cabbage, delayed the appearance of the ethylene peak, and slowed down the increase in weight loss rate. In addition, T3 storage reduced MDA and H_2O_2 contents; maintained relatively high POD, SOD, and CAT activities; and inhibited PPO activity, effectively maintaining the quality and extending shelf life. Cluster analysis of the quality indices of baby Chinese cabbage during storage indicated that storage in temperature-controlled boxes with ice packs is the most effective preservation method. Collectively, the optimal preservation performance of harvested baby Chinese cabbage is achieved by storing at 4 °C in temperature-controlled boxes with ice packs. The findings of this research provide insight into the optimum transportation and storage of baby Chinese cabbage.

Key words: baby Chinese cabbage; foam box; temperature-controlled box; refrigerant; preservation effect

娃娃菜 (*Brassica pekinensis*), 属十字花科芸薹属白菜亚种, 是一种袖珍型小株白菜富含维生素、类胡萝卜素、可溶性纤维和酚类化合物^[1], 对降低心血管疾病和癌症等慢性病有显著的预防作用^[2], 因而深受消费者的喜爱。近年来, 娃娃菜产业已成为甘肃当地实现乡村振兴的一大支柱产业, 采摘后的娃娃菜由于自身组织脆嫩、叶片面积大, 在贮藏过程中极易遭受机械损伤, 出现黄化、脱帮及腐烂现象, 失去营养价值, 致使其货架寿命缩短^[3]。

为维持娃娃菜品质, 对其使用了一些保鲜技术手段进行保鲜。李翠红等^[4]发现, 0.10%溶菌酶处理能够维持娃娃菜贮藏期内营养品质。王军萍等^[5]研究发现, 2,4-表油菜素内酯处理延缓了小白菜黄化现象。陈少霞等^[6]研究发现, 纳米包装材料具有更好的保鲜作用。安容慧等^[7]研究发现, 1-甲基环丙烯处理缓解娃娃菜营养品质下降, 延长货架期。

蓄冷剂可以在一定空间内持续释放冷量, 以使果蔬处于适宜的低温环境^[8]。蓄冷剂在食用菌类^[9]、杏鲍菇^[10]、莴笋^[11]等蔬菜保鲜都已有研究, 且都对蔬菜的品质有所提高。在水果的贮藏保鲜过程主要是蓄冷剂结合不同箱体, 来延长其保鲜时间, 如纸箱^[12]、泡沫箱^[13]、气调箱^[14]等。温控箱^[15]具有保温、隔热的作用, 可以减少因环境温度差异而造成果蔬品质的下降。目前, 已有研究表明“温控箱+蓄冷剂”包装方式对果蔬品质具有一定的影响, 在黄花菜、西兰花、枸杞等果蔬上有所探究, 具有较好保留作用, 可延长果实贮藏期。

目前, 这两种结合技术在娃娃菜贮藏保鲜中的应用未见报道。本文采用温控箱结合蓄冷剂的包装

方式, 研究其对娃娃菜在贮藏期间生理指标、失重率、营养品质、活性氧代谢相关指标的变化, 为解决娃娃菜运输和贮藏方式提供技术的支持。

1 材料与方法

1.1 实验材料

娃娃菜采自于北京市平谷区, 采收后装车运至国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津), 挑选无机械损伤、成熟度一致、大小均匀的娃娃菜作为实验材料。

1.2 仪器与试剂

泡沫箱(规格为600×451×230 mm, 材质为聚苯乙烯, 壁厚30 mm), 四川包工坊电子商务有限公司; 温控箱(规格为595×400×250 mm, 材质为发泡聚丙烯, 壁厚30 mm), 上海佳寰实业有限公司; 蓄冷剂(盒规格168 mm×80 mm×20 mm、500 mL, 配方5.0%甘露醇、1.0% NaCl、2.0%硼砂、2.5%高吸水性树脂, 冷量11.44 kJ), 国家农产品保鲜工程技术研究中心提供; 三氯乙酸, 天津市江天化工有限公司; 95%乙醇、聚乙烯吡咯烷酮, 天津市大茂化学试剂厂生产; Trion X-100、愈创木酚为上海麦克林生化科技股份有限公司生产; SOD、 H_2O_2 试剂盒, 南京建成生物工程研究所。

2010型岛津气相色谱仪, 日本Finnigan公司; KF-568型电子称, 中国凯丰集团; Check Piont II型便携式残氧仪, 丹麦Dansensor公司; TU-1810型紫外可见分光光度计, 北京普析通用仪器有限责任公司; Synergy H1型全功能微孔板检测仪酶标仪, 美国伯腾仪器有限公司。

1.3 试材处理方法

将挑选好的娃娃菜放入到置于温度 4℃、相对湿度 80%~90% 条件预冷 24 h 后进行贮藏,随机分成 4 组,每组 42 颗,每袋 3 颗,每个处理重复三次。(1) CK: 将娃娃菜置于泡沫箱中;(2) T1: 在泡沫箱的底部铺满蓄冷剂,将娃娃菜置于铺有泡沫垫的蓄冷剂上;(3) T2: 将娃娃菜置于温控箱中;(4) T3: 在温控箱的底部铺满蓄冷剂,将娃娃菜置于铺有泡沫垫的蓄冷剂上。每个处理每隔 7 d 取出 2 袋进行相关指标测定。贮藏期间 CK、T1、T2 和 T3 温度区间分别为 4.67~4.79℃、3.42~3.54℃、3.43~3.53℃、3.22~3.26℃。

1.4 项目指标与方法

呼吸强度采用朱志强等^[16]的方法测定;乙烯生成速率采用静置法^[17]测定;失重率采用称重法^[18]测定;Vc 含量采用钼蓝比色法^[19]测定;可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝染色法^[20]测定;叶绿素含量采用乙醇提取法^[21]测定;可溶性固形物含量使用手持折射仪测定;MDA 含量采用硫代巴比妥酸法^[22]测定;PPO、POD、CAT 采用曹建康的方法^[20]测定;SOD、H₂O₂ 采用试剂盒进行测定。

1.5 统计分析

使用 Excel 2020、SPSS 19.0 和 Origin 2021 软件,对试验数据进行整理、差异显著性分析和图表绘制。

2 结果与分析

2.1 不同包装方式对娃娃菜冷藏期间生理指标的影响

如图 1a 可知,在贮藏 7 d 时,CK 组呼吸强度达到了峰值,其峰值为 54.95 mg/(kg·h),而 T1、T2、T3 处理组比 CK 组降低 7.97%、22.93%、25.35%,处理组显著地抑制娃娃菜的呼吸强度 ($P<0.05$)。贮藏 7~21 d 时,娃娃菜呼吸强度逐步下降,CK 和 T1 处理组下降幅度较快,处理组之间差异不显著 ($P>0.05$)。在贮藏 28 d 时,娃娃菜的呼吸强度上升,推测原因为:推测可能是贮藏后期娃娃菜腐烂变质的微生物所引起。在贮藏 28~42 d,娃娃菜的呼吸强度开始下降,贮藏 42 d 时,各个处理组的娃娃菜呼吸强度由高到低为:CK>T1>T2>T3, T3 组显著低于其他处理组 ($P<0.05$)。结果表明:内含蓄冷剂的温控箱包装可以抑制娃娃菜在贮藏期间的呼

吸强度。

如图 1b 所示,CK 组乙烯生成速率呈现先上升后降低的趋势,在贮藏 7 d 时,出现乙烯高峰,峰值为 2.94 $\mu\text{L}/(\text{kg}\cdot\text{h})$,此后 CK 组乙烯生成速率逐步降低。而 T1、T2、T3 处理组呈现相似的变化规律,在贮藏前 7 d 时,乙烯生成速率较低,随着贮藏时间的延长,乙烯生成速率急剧上升,在贮藏 14 d 时,出现峰值,分别为 2.37、2.38、2.36 $\mu\text{L}/(\text{kg}\cdot\text{h})$ 。在贮藏 42 d 时, T1、T2、T3 处理组比 CK 组降低 41.10%、44.60%、53.75%, T3 组乙烯生成速率显著低于其他处理组 ($P<0.05$)。结果表明,不同包装方式处理不仅能推迟乙烯生成速率高峰出现的时间,还能降低乙烯生成速率,尤其是 T3 处理组。

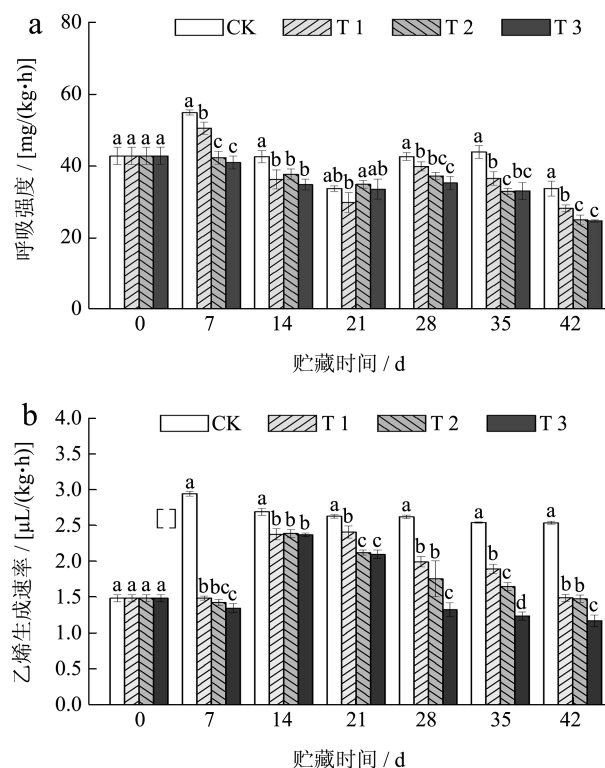


图 1 不同处理方式对娃娃菜呼吸强度 (a) 和乙烯生成速率 (b) 的影响

Fig.1 Effects of different treatments on respiration intensity (a) and ethylene production rate (b) of baby cabbage

注: 图中不同小写字母表示同一周贮藏时间下不同处理间的差异显著性, $P<0.05$ 。图 2、3 同。

2.2 不同包装方式对娃娃菜冷藏期间失重率和营养指标的影响

采摘后的娃娃菜由于其呼吸作用较旺盛,其失重率随着贮藏时间的延长呈现上升的趋势。如图 2a 所示,在贮藏 42 d 时,CK 组的失重率达到 0.62%,

分别比 T1、T2 和 T3 处理组高 38.70%、40.32%、46.77%。张鹏等^[23]探讨枸杞保鲜方法中也发现,温控箱+蓄冷剂包装方式有效抑制果实失重率的增加。因此,内含蓄冷剂的温控箱包装能在一定程度上延缓了果实的腐烂和失水,较好地减少娃娃菜的失重率增加。

如图 2b 所示,贮藏 7~28 d 时,各小组的 Vc 含量下降速度较快,处理组之间差异显著 ($P<0.05$)。在贮藏 42 d 时,与 CK 组相比, T1 组 Vc 含量提高了 6.45%、T2 组 Vc 含量提高了 2.29%、T3 组 Vc 含量提高了 15.83%,说明 T3 组能够有效减少 Vc 含量的损失。薛友林等^[24]将蓝莓装入泡沫箱、泡沫箱+蓄冷剂和温控箱+蓄冷剂中,研究也发现,温控箱+蓄冷剂包装方式可以维持蓝莓中 Vc 含量。表明,内含蓄冷剂的温控箱包装贮藏娃娃菜有效延缓 Vc 含量的流失。

如图 2c 可知,在贮藏 0~7 d 时, T3 处理组的可溶性蛋白含量上升幅度较快,显著地高于其他处理组 ($P<0.05$),升高的原因是低温诱导蛋白质含量产,更快的适应环境,表现较强的抗逆性^[25]。随着贮藏时间的增加,娃娃菜可溶性蛋白含量逐渐降低,在贮藏 42 d 时,CK、T1、T2、T3 组的可溶性蛋白含量为 1.10、1.28、1.24、1.34 mg/g,其中 T3 组显著高于其他处理组 ($P<0.05$)。

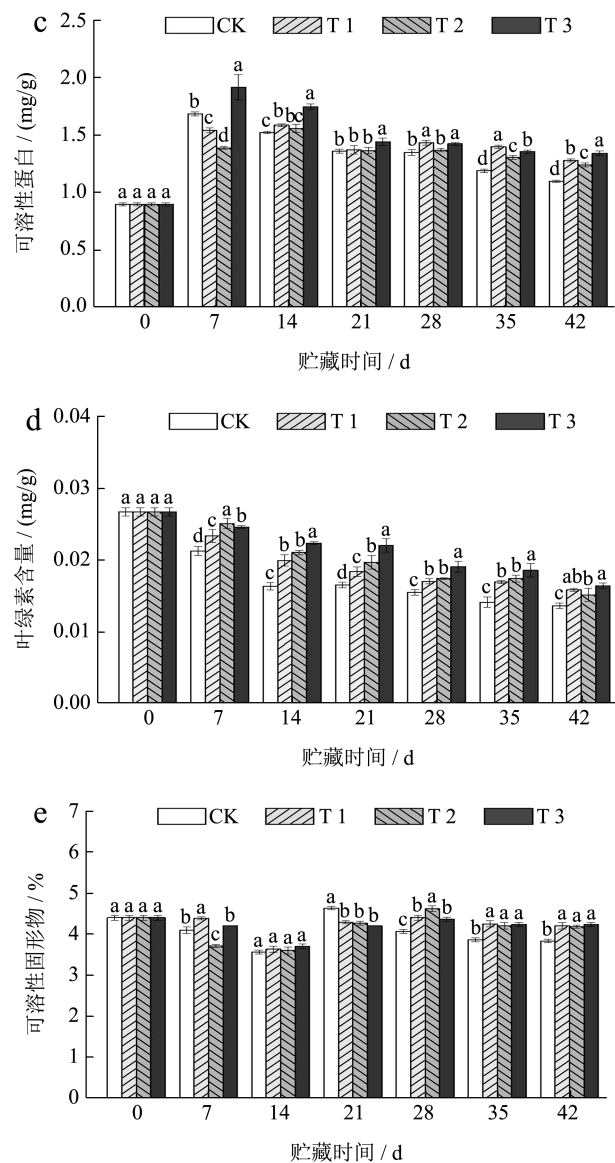
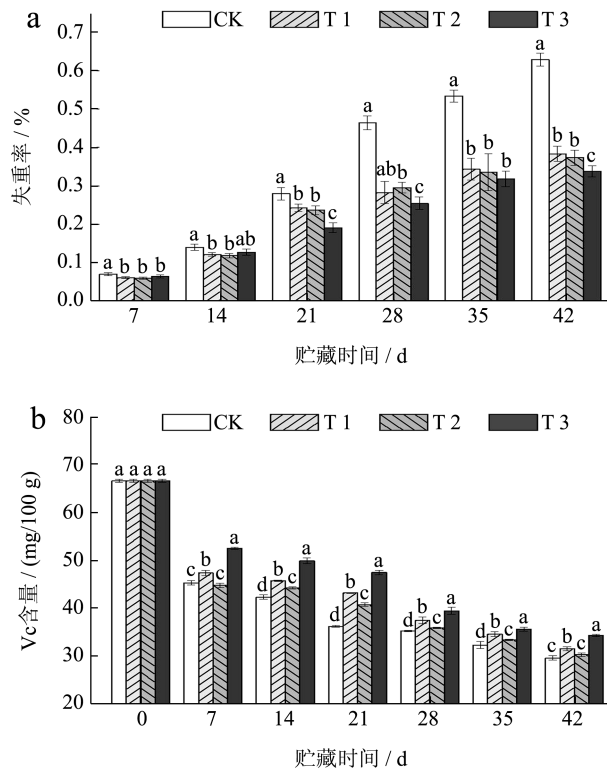


图 2 不同处理方式对娃娃菜失重率 (a)、Vc (b)、可溶性蛋白 (c)、叶绿素 (d) 和可溶性固形物含量 (e) 的影响
Fig.2 Effect of different treatments on weight loss rate(a), Vc (b), soluble protein (c) chlorophyll content (d), soluble solid content (e) of baby cabbage

如图 2d 可知,随着贮藏时间的增加,不同处理娃娃菜叶绿素含量呈现出整体下降的趋势,其中 CK 组下降速率更快。整体贮藏期间,CK 组娃娃菜叶绿素含量均显著低于不同处理组,表明不同处理可以有效延缓娃娃菜叶绿素的下降。在贮藏过程中, T3 组娃娃菜叶绿素含量高于 T1、T2 组,且在贮藏第 7 天、21 天差异显著,说明“温控箱+蓄冷剂”处理方式具有较好的护色作用。在贮藏 42 d 时,CK 组叶绿素含量下降幅度最高,为 50%, T3 组叶绿素含量为 0.016 mg/g,下降幅度最低,为 38.46%,

显著差异 ($P<0.05$)。综上所述,“温控箱+蓄冷剂”处理方式能够更好地维持叶绿素含量的降解。

如图 2e 所示,贮藏 0~14 d,各处理组的 TSS 含量下降幅度为 19.09%、21.21%、18.18%、15.90%,各处理组差异不显著 ($P>0.05$)。在贮藏 21 d 时,TSS 含量呈现上升的原因,可能是娃娃菜在贮藏前期适应低温环境,其呼吸代谢受到抑制,消耗的糖类物质,导致可溶性固形物含量略有上升。

2.3 不同包装方式对娃娃菜贮藏期间活性氧代谢影响

如图 3a 所示,随着贮藏时间的增加,不同处理娃娃菜 MDA 含量呈现出逐渐增加的趋势,其中 CK 组 MDA 含量上升速度更快,表明处理组能够延缓 MDA 含量的增加。在贮藏 42 d 时,CK、T1、T2、T3 处理组 MDA 含量为 0.44、0.38、0.41、0.38 nmol/g。结果表明,内含蓄冷剂的温控箱包装处理组的效果最优,温控箱包装处理次之。

如图 3b 所示,在贮藏前 7 d 前,处理组 H_2O_2 含量上升幅度较小,为 1.93%~3.56% 范围内,处理组显著高于 CK 组 ($P<0.05$)。在贮藏 7 d 后, H_2O_2 含量上升幅度较大,在贮藏 42 d 时,T1、T2、T3 组 186.29、190.10、176.10 mmol/g prot, T3 组显著高于处理组 ($P<0.05$)。结果表明内含蓄冷剂的温控箱包装可最有效保持细胞膜的完整性,降低组织的氧化损伤,进而减缓娃娃菜的褐变^[24]。

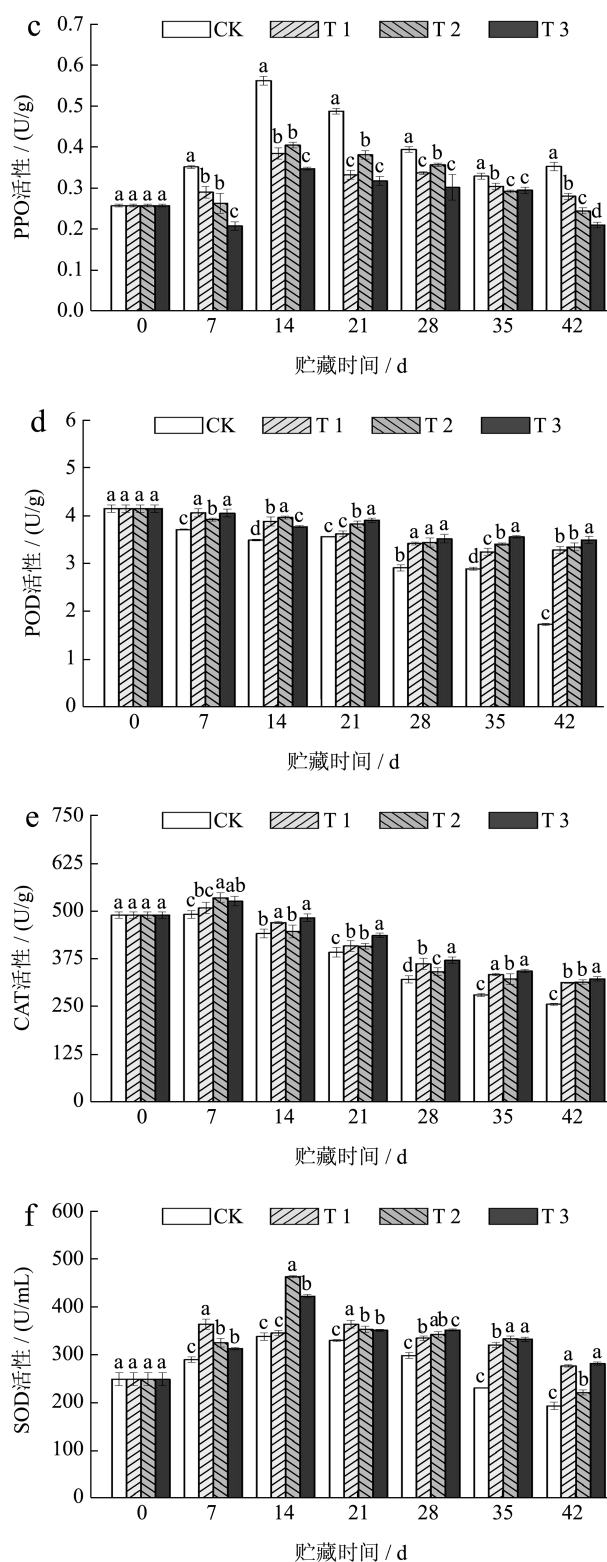
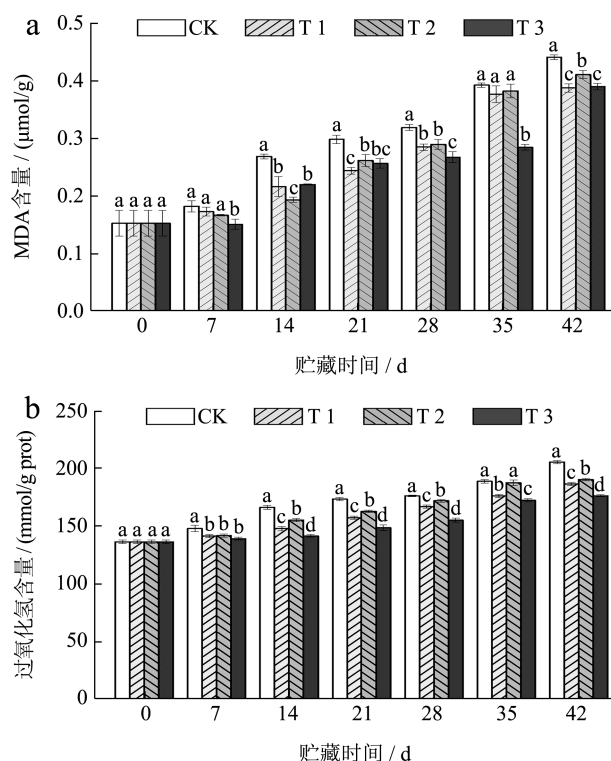


图 3 不同处理方式对娃娃菜贮藏期间活性氧代谢的影响
Fig.3 Effect of different treatments on antioxidant enzyme activity of baby cabbage during storage

如图 3c 所示,贮藏 15 d 时娃娃菜 PPO 活性出现峰值,其峰值分别为 0.56、0.38、0.40 和 0.34 U/g,其中 T3 组 PPO 活性显著低于其他处理 ($P<0.05$)。说明内含蓄冷剂的温控箱包装方式具有延缓 PPO 活

性上升的作用。

由图 3d 可知, 在贮藏 7~14 d 时, T2 组 POD 活性呈现小幅度的上升趋势 (1.09%), T2 组显著优于其他处理组 ($P<0.05$)。在贮藏 14~21 d 时, T2 组活性下降, T3 组 POD 活性呈现上升的幅度 (3.58%), 在贮藏 21 d 时, 显著优于其他处理组 ($P<0.05$)。在贮藏 42 d 时, T3 处理组 POD 活性显著优于 T1 和 T2 组, 且 T1 和 T2 之间差异不显著 ($P>0.05$)。由此可见, “温控箱+蓄冷剂包装”方式组能相对更快激发娃娃菜 POD 活性, 增强果实的抗病性, 对细胞膜具有保护性作用, 从而减少腐烂率, 有利于娃娃菜贮藏期的延长。

由图 3e 可知, 在贮藏 7 d 时, CK 组娃娃菜 CAT 活性达到了峰值, 为 491 U/g, 而 T1、T2、T3 处理组 CAT 活性上升幅度比 CK 组高 3.34%、8.85%、7.01%, 均显著高于 CK 组 ($P<0.05$), 其中, T2 处理组显著地高于 T1 组 ($P<0.05$)。在贮藏 42 d 时, T1、T2、T3 处理组 CAT 活性均显著高于 CK 组 ($P<0.05$), 其中 T3 处理组 CAT 含量最高。结果表明: 内含蓄冷剂的温控箱包装果实中 CAT 活性的提高。

由图 3f 可知, 娃娃菜的 SOD 活性呈现先上升后下降的趋势, 可能是: 贮藏初期, 由于低温及旺盛呼吸作用, 产生大量活性氧, 而植物细胞依赖不同的抗氧化体系相互协助工作, 降低活性氧对细胞的危害。在贮藏中后期, SOD 活性开始下降, 可能是由于果实内积累了大量活性氧, 自我修复能力大大下降。在贮藏 42 d 时, T1、T2、T3 组 SOD 活性时 CK 组的 1.43、1.14、1.45 倍, 说明内含蓄冷剂的温控箱处理维持了较高的 SOD 活性。

酶促清除系统对活性氧的清除主要依靠植物自身的保护酶系统实现^[27], 如 SOD、CAT、POD。苏娟等^[28]研究发现“温控箱+蓄冷剂”包装方式有效维持油麦菜 POD、SOD、CAT 活性, 可有效地维持油麦菜的营养品质和商品特性。曾诗娴等^[29]研究发现曲酸对娃娃菜的褐变具有明显的抑制作用, 能较好地维持娃娃菜的商品性及营养价值。本研究表明, 与 CK 组相比, T3 组显著抑制 H_2O_2 含量的积累 ($P<0.05$), 维持了较高的抗氧化能力。

2.4 娃娃菜聚类分析

如图 4 所示, 对娃娃菜贮藏期间的营养指标、生理指标和抗氧化酶活性相关关系等问题进行了分析。不同处理组的品质指标分为三类: A、B 和 C 组。A 组包含失重率、MDA、过氧化氢、乙烯生成速率、

PPO, B 组包含 TSS、Vc、可溶性蛋白、SOD、叶绿素、CAT、呼吸强度, C 组包含 POD。表明, 随着果实的成熟与衰老, 果实失重率与乙烯生成速率增加, MDA 含量升高, 使得过氧化氢积累、PPO 活性上升, 而与初值相比, TSS、Vc、可溶性蛋白、叶绿素含量呈现下降趋势, SOD、CAT、呼吸强度在贮藏中后期也处理下降趋势, 但除 CK 组外 POD 活性在贮藏期间变化相对平稳。不同处理组被分为 I 簇、II 簇、III 簇和 IV 簇, I 簇包括 0、CK-7 d、T1-7 d、T2-7 d、T3-7 d, II 簇包括 CK-14 d、T1-28 d、T2-28 d、T3-28 d、T1-14 d、T1-21 d、T2-14 d、T2-21 d、T3-21 d、T3-14 d, III 簇包括 T1-35 d、T1-42 d、T2-35 d、T3-35 d、T2-42 d、T3-42 d, IV 簇包括 CK-35 d、CK-42 d。II 簇中包含 T3 组的 14、21 和 28 d, III 簇中不同指标对比可以看出, T3-42 d 果实的呼吸强度、乙烯生成速率、过氧化氢、MDA 较低, 含有较高的 TSS、Vc、可溶性蛋白, 说明 T3 组的处理效果要显著优于其他处理组。结果图 1~3 可知, 内含蓄冷剂的温控箱包装对娃娃菜能够更好地抑制呼吸强度和乙烯生成速率, 维持较高的营养成分, 延长娃娃菜的贮藏期。

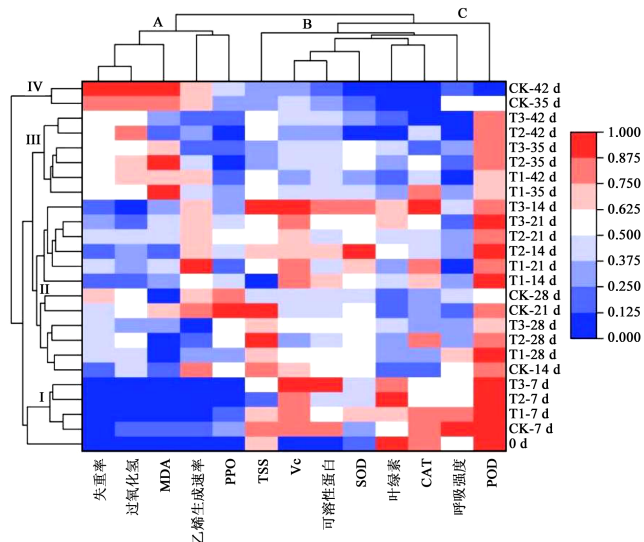


图 4 娃娃菜品质指标聚类分析

Fig.4 Cluster analysis of quality indexes of baby cabbage

2.5 不同处理方式对娃娃菜贮藏期间外观品质的影响

由图 5 可知, 在贮藏前 28 d 时, 娃娃菜的外观品质变化较小。在贮藏 35 d 时, CK 组娃娃菜叶端出现轻微腐烂, 商业价值降低; 在贮藏 42 d 时, 叶片腐烂面积持续增加, 色泽较暗、组织结构松散程度严重, 品质急剧下降, 而处理组能够有效延长娃

娃娃菜 7 d 以上的贮藏期, 其中 T3 处理组最佳。



图 5 不同处理方式对娃娃菜贮藏期间外观品质的影响

Fig.5 Effect of different treatments on the appearance quality of baby cabbage during storage

3 结论

娃娃菜在贮藏过程中, 内含蓄冷剂的温控箱的温度较低且波动范围较小。贮藏 42 d 时, T3 组 Vc、叶绿素、可溶性蛋白含量是 CK 组的 1.15、1.23、1.21 倍, 显著高于其他处理组 ($P < 0.05$), 并抑制娃娃菜的呼吸强度和乙烯生成速率; 同时有效降低娃娃菜贮藏期间失重率。与 CK 组相比, T3 组 POD、CAT、SOD 活性是 CK 组的 1.91、1.26、1.45 倍, 有效抑制 MDA 和 H_2O_2 含量增加, 增强娃娃菜的抗氧化能力。聚类分析表明, II 簇中仅有 28 d 的 T3 组, 表明 T3 组保鲜效果优于其他处理组, III 簇中不同指标对比可以看出, T3-42 d 果实的呼吸强度、乙烯生成速率相对较低, 表明 T3 处理可以有效抑制生理代谢, 这与生理指标的结果相一致。因此, “温控箱 + 蓄冷剂” 包装方式保鲜效果最佳, 能使娃娃菜的保鲜期延长 7 d 以上。

参考文献

- [1] ANNA P. Natural antioxidants and antioxidant capacity of *Brassica* vegetables: a review [J]. LWT, 2007, 40(1): 1-11.
- [2] FAVELA-GONZÁLEZ K M, HERNÁNDEZ-ALMANZA A Y, FUENTE-SALCIDO N M D L. The value of bioactive compounds of cruciferous vegetables (*Brassica*) as antimicrobials and antioxidants: A review [J]. Journal Food Biochemistry, 2020, 44: e13414.
- [3] 张克宏, 杜俊娟. 叶菜类蔬菜气调保鲜包装研究 [J]. 包装工程, 2007, 28(1): 49-52.
- [4] 李翠红, 魏丽娟, 李长亮, 等. 不同保鲜剂对鲜切娃娃菜贮藏品质及抗氧化活性的影响 [J]. 保鲜与加工, 2021, 21(3): 22-28.
- [5] 王军萍, 宋留丽, 郁志芳. 2,4-表油菜素内酯处理对不同温度贮藏中小白菜品质和生理生化的影响 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(9): 349-358.
- [6] 陈少霞, 周丹丹, 潘磊庆, 等. 不同包装材料对娃娃菜贮藏过程中品质指标的影响 [J]. 食品工业科技, 2020,

41(3): 270-276, 284.

- [7] 安容慧, 陈皖豫, 胡花丽, 等. 1-甲基环丙烯对娃娃菜贮藏品质及抗氧化活性的影响 [J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(20): 194-203.
- [8] 詹莉, 林杨, 刘黎明, 等. 多元纳米相变蓄冷剂的制备及食用菌保鲜应用 [J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(18): 215-223.
- [9] 方艺达. 食用菌专用相变蓄冷剂的研制与应用 [D]. 杭州: 浙江大学, 2020.
- [10] 方艺达, 李莉, 李栋, 等. 基于杏鲍菇冰点的相变蓄冷剂研制与应用 [J]. 现代食品科技, 2019, 35(12): 157-165.
- [11] 程曦. 控温包装在莴笋尖常温物流过程中的保鲜机理及优化研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2017.
- [12] 卢芳芳, 邹洋, 康星雅, 等. 肉桂精油抗菌纸箱对圣女果保鲜效果的研究 [J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(9): 249-256.
- [13] 周俞含, 吴姗姗, 骆佳, 等. 泡沫箱结合薄膜包装对小白菜保鲜效果的影响 [J]. 包装工程, 2023, 44(15): 52-59.
- [14] 李金金, 李春媛, 谷佰宇, 等. 微环境气调保鲜箱对葡萄采后贮藏品质的影响 [J]. 食品科技, 2023, 48(4): 47-54.
- [15] 袁兴铃. 蓄冷剂和精准温控箱在蓝莓、枸杞、葡萄配送物流中的应用 [D]. 沈阳: 辽宁大学, 2021.
- [16] 朱志强, 张平, 任朝晖, 等. 不同包装箱对绿芦笋贮藏效果的影响 [J]. 食品科技, 2009, 34(9): 48-52.
- [17] 张鹏, 陈曦冉, 贾晓昱, 等. 1-MCP 结合乙烯吸收剂对软枣猕猴桃贮藏品质的影响 [J]. 包装工程, 2022, 43(21): 17-24.
- [18] 古荣鑫, 胡花丽, 曹宏, 等. 不同薄膜包装对冷藏空心菜采后品质的影响 [J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(3): 237-243.
- [19] 李军. 钼蓝比色法测定还原型维生素 C [J]. 食品科学, 2000, 8: 42-45.
- [20] 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.
- [21] 张怡, 关文强, 张娜, 等. 温度对西兰花抗氧化活性及其品质指标影响 [J]. 食品研究与开发, 2011, 32(8): 156-161.
- [22] MERÁS I D, LLORENTE C P, RAMAJO J P, et al. Optimization of the thiobarbituric acid-malonaldehyde reaction in non-aqueous medium. Direct analysis of malonaldehyde in oil samples by HPLC with fluorimetric detection [J]. Microchemical Journal, 2020, 159: 105318.
- [23] 张鹏, 袁兴铃, 薛友林, 等. 精准温度控制对枸杞鲜果贮藏品质和香气成分的影响 [J]. 农业工程学报, 2021, 37(18): 322-330.
- [24] 薛友林, 袁兴铃, 张鹏, 等. 精准温度控制对蓝莓的低温保鲜效果 [J]. 现代食品科技, 2021, 37(11): 185-194, 150.
- [25] 杨玉珍, 雷志华, 彭方仁. 低温诱导蛋白及其与植物的耐寒性研究进展 [J]. 西北植物学报, 2007, 2: 421-428.
- [26] IMAHORI Y, KODERA K, ENDO H, et al. The seasonal variation of redox status in komatsuna (*Brassica rapa* var. *perviridis*) leaves [J]. Scientia Horticulturae, 2016, 210: 49-56.
- [27] AGHDAM M S, Bodbodak S. Physiological and biochemical mechanisms regulating chilling tolerance in fruits and vegetables under postharvest salicylates and jasmonates treatments [J]. Scientia Horticulturae, 2013, 156: 73-85.
- [28] 苏娟, 张鹏, 贾晓昱, 等. “温控箱 + 蓄冷剂” 包装对油菜贮藏品质的影响 [J]. 包装工程, 2024, 45(3): 117-125.
- [29] 曾诗娴, 赵孝玲, 左进华, 等. 曲酸处理对娃娃菜采后褐变的影响 [J]. 食品科学, 2021, 42(17): 241-247.