程丽林, 范金建, 高建菲, 等. 不同厚度包装自发气调对水蜜桃品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2026, 47(6): 337−345. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025030389

CHENG Lilin, FAN Jinjian, GAO Jianfei, et al. Effect of Spontaneous Atmosphere Modification of Packaging with Different Thicknesses on the Quality of Honey Peaches[J]. Science and Technology of Food Industry, 2026, 47(6): 337−345. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025030389

· 贮运保鲜 ·

不同厚度包装自发气调对水蜜桃品质的影响

程丽林[1], 范金建[1], 高建菲[1], 万欣宇[1], 黄　庭[1], 高　哲[2], 聂小宝[1,*]

（1.淮阴工学院生命科学与食品工程学院, 江苏淮安 223003;
2.河北农业大学食品科技学院, 河北保定 071000）

摘　要: 为探究不同厚度包装自发气调对水蜜桃采后品质的影响，本研究以‘白雪’水蜜桃为试材，采用厚度为 0.040、0.055、0.080 mm 的聚乙烯保鲜袋包装，以不使用聚乙烯保鲜袋包装为对照组（CK），于（4±1 ℃）条件下贮藏，研究不同厚度的聚乙烯保鲜袋包装对水蜜桃的品质指标、保鲜袋内气体含量及相关酶活性的影响。结果表明：与 CK 组相比，不同厚度的聚乙烯保鲜袋包装均能有效延缓水蜜桃的品质劣变；其中采用 0.080 mm 厚度保鲜袋包装的水蜜桃贮藏至 42 d 时，好果率达 100%，显著优于 CK 组和 0.040 mm 实验组（P<0.05），但与 0.055 mm 实验组差异不显著（P>0.05）；失重率仅为 0.44%，可溶性固形物含量为 10.27%，两者显著低于 CK 组（P<0.05），但与 0.040、0.055 mm 实验组差异不显著（P>0.05）；果实硬度较初始硬度下降 30.42%，显著优于 CK 组、0.040、0.055 mm 实验组（P<0.05）；保鲜袋内 O_2 和 CO_2 含量分别为 1.10% 和 10%，与 0.040、0.055 mm 实验组差异显著（P<0.05）；果实色差为 L^*=69.21、a^*=9.95、b^*=15.4，可滴定酸含量为 1.4%，两者与 CK 组、0.040、0.055 mm 实验组差异显著（P<0.05）；多酚氧化酶活性较 CK 组低 24.12%，与 CK 组、0.055 mm 实验组差异显著（P<0.05），但与 0.040 mm 实验组差异不显著（P>0.05）。综上，0.080 mm 聚乙烯保鲜袋包装贮藏显著延长了水蜜桃的贮藏期，为水蜜桃保鲜技术提供了理论依据。

关键词: 水蜜桃, 保鲜, 厚度, 自发气调, 品质

中图分类号: TS255.3　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1002−0306(2026)06−0337−09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2025030389

本文网刊:

Effect of Spontaneous Atmosphere Modification of Packaging with Different Thicknesses on the Quality of Honey Peaches

CHENG Lilin[1], FAN Jinjian[1], GAO Jianfei[1], WAN Xinyu[1], HUANG Ting[1], GAO Zhe[2], NIE Xiaobao[1,*]

（1.School of Life Science and Food Engineering, Huaiyin Institute of Technology, Huai'an 223003, China;
2.College of Food Science and Technology, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China）

Abstract: To investigate the effects of different thickness packaging on the postharvest quality of honey peaches, this study was conducted using 'Baixue' honey peaches as the experimental material. The honey peaches were packaged in polyethylene fresh-keeping bags of three different thicknesses: 0.040, 0.055, and 0.080 mm, without polyethylene fresh-keeping bags packaging as the control group (CK) and all samples were stored at (4±1 ℃), this study investigated the effect of polyethylene fresh-keeping bags of varying thicknesses on the quality indices, gas content within the fresh-keeping bags, and related enzyme activities of honey peaches. The results indicated that, compared to the control group, the packaging of polyethylene fresh-keeping bags of varying thicknesses effectively prolonged the quality of honey peaches. When the honey peaches were packaged in a 0.080 mm thickness fresh-keeping bag and stored for 42 days, the fruit retention rate reached 100%. This result was significantly better than that of the CK group and the 0.040 mm treatment group (P<0.05), but not significantly different from the 0.055 mm treatment group (P>0.05). The weight loss rate was only 0.44%, and the soluble

收稿日期: 2025−04−01

基金项目: 河北省重点研发计划项目（22327209D）。

作者简介: 程丽林（1987−）, 女, 博士, 工程师, 研究方向: 农产品采后贮藏与保鲜, 生物学, E-mail: chengll0816@163.com。

*** 通信作者:** 聂小宝（1985−）, 男, 博士, 副教授, 研究方向: 水产品贮藏及加工、农产品采后贮藏与保鲜, E-mail: niexiaobao1029@126.com。

solids content was 10.27%, both of which were significantly lower than those of the CK group (P<0.05). However, these values were not significantly different from those of the 0.040 and 0.055 mm treatment groups (P>0.05). The firmness of the fruit decreased by 30.42% compared to the initial firmness, which was significantly better than that of the CK group, 0.040 and 0.055 mm treatment groups (P<0.05). The O_2 and CO_2 concentrations in the fresh-keeping bags were 1.10% and 10%, respectively, and were significantly different from those in the 0.040 and 0.055 mm treatment groups (P<0.05). The honey peaches exhibited color parameters of L^*=69.21, a^*=9.95, b^*=15.4 and the titratable acidity was measured at 1.4%. These values were significantly different from those of the CK group and the 0.040 and 0.055 mm treatment groups (P<0.05). The polyphenol oxidase activity was 24.12% lower than that of the control group, which was significantly better than the CK group and the 0.055 mm treatment group (P<0.05). However, it was not significantly different from the 0.040 mm treatment group (P>0.05). In conclusion, the 0.080 mm polyethylene fresh-keeping bags significantly extended the storage period of honey peaches, thereby providing a theoretical foundation for honey peach preservation technologies.

Key words: honey peach; preservation; thickness; spontaneous tempering; quality

水蜜桃(*Prunus persica* L.)肉甜汁多、香气浓郁,果肉中的蛋白质、铁、维生素、膳食纤维等营养物质含量丰富[1−2],具有美肤、清胃、润肺、祛痰等功效[3],深受消费者青睐。但水蜜桃的成熟期和采收期正值 6~7 月的高温高湿季节[4],且其属于典型的呼吸跃变型水果,采摘后会迅速进入呼吸高峰,常温放置 2~3 d 便会快速软化腐烂[5],因此研究桃的贮藏保鲜对于桃产业的发展有着重要意义。

目前果蔬保鲜以低温储藏为主[6],低温贮藏可降低桃果实采后的呼吸速率和部分酶的活性[7−8],从而抑制了桃果实的腐烂变质。桃属于冷敏性水果,长期低温贮藏会发生冷害,造成诸多品质劣变问题[9]。研究表明,气调包装(modified atmosphere packaging, MAP)可减缓桃果实低温冷害的发生[10],更好地维持桃果实的品质,延长其货架期。MAP 是一种通过调节包装袋内 O_2 和 CO_2 的浓度至适宜比例,抑制微生物繁殖和控制部分生理病害的产生,延缓酶活性,维持果蔬新鲜度的贮藏技术[11]。气调贮藏不仅能缓解果实的冷害,还能抑制果实呼吸速率[12]、减少乙烯释放[13],从而延长果实的贮藏期。气调包装具有无污染、保鲜效果显著、贮藏损失小等优点[14],能有效维持果蔬的口感及品质,因此得到了迅猛发展。

目前,低温结合气调包装已在梨[15]、苹果[16]、葡萄[17]、蘑菇[18]、竹笋[19] 等果蔬中有了广泛的研究,但对于水蜜桃的研究相对较少。不同厚度聚乙烯保鲜袋用于水蜜桃采后保鲜的研究鲜有报道,研究不同厚度聚乙烯保鲜袋包装对水蜜桃保鲜效果的影响有助于开发低成本、操作简便的保鲜技术。采用不同厚度聚乙烯保鲜袋包装的研究精准揭示了最优的物理保鲜技术,从而为水蜜桃采后保鲜提供更科学的理论依据和技术支撑。本实验在低温环境下探究不同厚度聚乙烯保鲜袋包装的自发气调对采后水蜜桃生理及品质的影响,分析水蜜桃的品质、保鲜袋内气体含量及相关酶活性等指标,得到水蜜桃贮藏保鲜的最适包装厚度,为果蔬的冷链技术商业化推广提供理论支持,也为桃产业的发展提供技术保障。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

水蜜桃　品种为‘白雪’,于 2024 年 6 月 20 日摘自山东蒙阴,并于当日送达实验室进行实验。选取大小均一、无机械损伤、无虫害的八成熟果实为实验材料,之后进行分组编号开展试验;氢氧化钠、愈创木酚　现代东方科技发展有限公司;邻苯二酚、过氧化氢　上海麦克林生化科技股份有限公司。

EL204-IC 电子天平　梅特勒-托利多仪器有限公司;CR-400 色彩色差计　柯尼卡美能达(中国)投资有限公司;UV-1800PC-DS2 可见紫外分光光度计　广州瑞丰实验设备有限公司;HG-15D 高速剪切乳化分散机　上海沐轩实业有限公司;MDF-U54V 超低温冰箱　三洋电机(中国)有限公司;PAL-1 数显糖度计　日本爱宕公司;FTC-质构仪 TMS-PRO　北京盈盛恒泰科技有限责任公司;UNIVERSAL 320R 台式冷冻离心机　德国 Hettich 科技仪器公司;CheckPoint IIDANSENSOR 残氧仪　北京丹贝尔仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品处理　水蜜桃果实在 0 ℃ 下预冷 48 h,全部放置在(4±1 ℃)的冷库中进行后续试验。不使用聚乙烯保鲜袋包装贮藏为对照组(CK),其它三组用厚度分别为 0.040 mm(T1)、0.055 mm(T2)和 0.080 mm(T3)的聚乙烯保鲜袋包装贮藏(每袋 10 个果实,每组 15 袋),每隔 7 d 进行取样测定。

1.2.2 指标测定

1.2.2.1 果实失重率　采用重量法[20] 进行测定,每组测定 30 个果实(3 次平行实验,每次 10 个果实),每 7 d 测定 1 次,统计 42 d 的测定结果,按照下列公式计算失重率。

$$失重率(\%)=\frac{储藏前果实质量-不同储藏期果实质量}{储藏前果实质量}\times 100$$

1.2.2.2 果实好果率　每组测定 60 个果实(3 次平行实验,每次 20 个果实),以果实表面完好无褐斑、烂点和机械损伤者为好果,每 7 d 测定 1 次,统计 42 d

的测定结果，按照下列公式计算好果率[21]。

$$好果率(\%)=\frac{总果数-坏果数}{总果数}\times 100$$

1.2.2.3　果实色差　参照 Zhang 等[22] 的方法，并稍作改动。每组随机选取 6 个果实，在每个果实赤道线位置取 3 个点，用不锈钢刀片去皮（1 mm 厚），采用 CR-400 色彩色差计进行果实色差（CIE L^*、a^*、b^*）的测定，计算平均值。每次测定前以标准白度（L^*=94.80，a^*=−0.39，b^*=4.20）对色差计进行校准，每 7 d 测定 1 次。

1.2.2.4　果实硬度　参考白岚莎等[23] 的方法，每组随机选取 6 个果实，用水果刀去除果实缝合线赤道部位果皮，采用直径为 10 mm 的专用打孔器等间距选取 3 个位置，制成 Φ10×15 mm 的标准试样，采用 FTC-质构仪 TMS-PRO 测定硬度，取平均值。结果以 g 表示，每 7 d 测定 1 次。

1.2.2.5　保鲜袋内气体含量　参照吉宁等[24] 的方法，采用 CheckPoint IIDANSENSOR 残氧仪测定每个处理组包装袋内 O_2 和 CO_2 的体积分数，结果以百分数表示。

1.2.2.6　可溶性固形物（SSC）含量　每组随机选取 6 个果实，采用 PAL-1 数显糖度计进行果实可溶性固形物含量的测定[25]，取平均值，每 7 d 测定 1 次。

1.2.2.7　可滴定酸（TA）含量　参考范振梅等[26] 的方法采用酸碱滴定法测定，以苹果酸计。取 10 g 果实样品搅碎混匀定容至 100 mL，4 ℃ 下 4000 r/min 离心 20 min，取 20 mL 上清液，用 0.01 mol/L 的氢氧化钠滴定至出现微红色，30 s 内不褪色为滴定终点，以蒸馏水作为空白对照，每组重复 3 次，取平均值，每 7 d 测定 1 次。

1.2.2.8　多酚氧化酶（PPO）活性　PPO 活性采用邻苯二酚反应法[27] 测定，酶反应体系为 0.1 mL，将上清液加入 2.9 mL 50 mmol/L 邻苯二酚溶液中，迅速混匀后以启动反应。测定反应液 2 min 内在 400 nm 下的吸光度值，以每分钟反应液在吸光度 400 nm 下变化 1 所需的酶量为 1 个酶活单位 U，PPO 活力单位为 $U\cdot mg^{-1}$。

1.2.2.9　过氧化物酶（POD）活性　POD 活性采用愈创木酚法测定[28]，酶反应体系为 0.2 mL，上清液加入 1 mL 50 mmol/L 醋酸缓冲液、0.5 mL 0.25% 愈创木酚溶液及 0.025 mL 3%H_2O_2 溶液，迅速混匀启动反应。测定反应液 1 min 内在 470 nm 下的吸光度值，以每分钟反应液在吸光度 470 nm 下变化 1 所需的酶量为 1 个酶活单位 U，POD 活力单位为 $U\cdot mg^{-1}$。

1.3　数据处理

色差和硬度实验进行 18 次独立重复，可溶性固形物实验进行 6 次独立重复，失重率、好果率、气体含量、可滴定酸含量、多酚氧化酶活性和过氧化物酶活性均进行 3 次独立重复。利用 SPSS 26 软件进行统计分析，采用 Origin 2024 软件作图。差异显著水平采用 Duncan 检验，设置为 $P<0.05$。

2　结果与分析

2.1　不同薄膜包装对水蜜桃品质指标及包装袋内气体含量的影响

2.1.1　不同厚度包装的自发气调对于水蜜桃果实失重率的影响　失重率是判断果实新鲜度和商品价值的重要指标之一[29]，而失重主要是由蒸发和呼吸作用引起的[30]。由图 1 可知，CK 组在贮藏期内的失重率呈直线上升趋势，贮藏至 42 d 时失重率达到 20.05%，说明果实在无薄膜包装条件下贮藏时水分流失十分严重。相比之下，T1、T2、T3 实验组在整个贮藏期间的失重率始终维持在一个较低水平。此外各实验组的失重率始终低于 CK 组，因为气调包装通过抑制水分蒸发、调节 O_2 和 CO_2 浓度以降低呼吸强度，有效缓解了果实的水分损失。综上，不同厚度聚乙烯保鲜袋包装的自发气调能够有效减少果实的水分损失，降低失重率，维持果实的良好品质，这与陈璐等[31] 的研究结果一致。

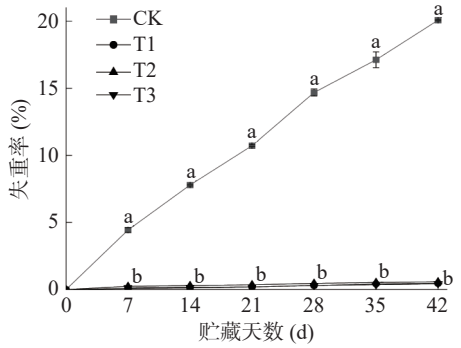


图 1　不同厚度包装的自发气调对于水蜜桃果实失重率的影响

Fig.1　Effects of spontaneous atmospheres in different thickness packages on the dehydration rate of honey peach fruits

注：不同小写字母表示不同实验组与对照组在同一贮藏时间点存在显著差异（$P<0.05$），未标注字母表示同一时间不同处理组无显著差异，图 2~图 11 同。

2.1.2　不同厚度包装的自发气调对于水蜜桃果实好果率的影响　好果率可以判断采后果实的贮藏效果[32]，由图 2 可知，0~7 d 内各组好果率均维持在 100%，从第 7 d 开始出现差异，说明不作任何处理的果实贮藏期是 7 d。T1、T2、T3 实验组 35 d 时无坏果，说明保鲜袋包装可有效降低果实的腐败变质，且果实的保鲜袋包装贮藏期是 35 d。35 d 后好果率呈下降趋势，其中 T1 实验组好果率至 42 d 时降低到 80%，而 T2、T3 实验组直到 42 d 时好果率仍达 100%，说明 T2、T3 实验组能更有效地提高果实的好果率，延长果实的贮藏期。在 7~42 d 贮藏期间，3 个实验组好果率始终高于 CK 组，这与贾朝爽等[33] 研究结果一致，不同厚度聚乙烯保鲜袋包装的自发气调能够维持保鲜袋内较高的 CO_2 浓度，进而抑制病原体的生长来减少果实的腐烂[34]，从而保持水蜜桃良好

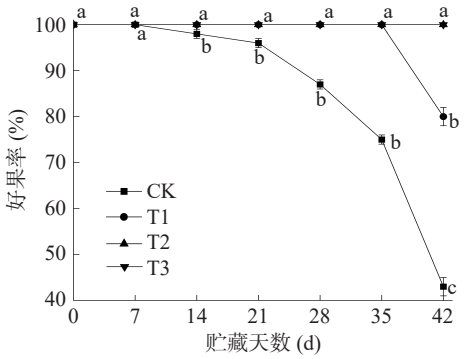


图 2 不同厚度包装的自发气调对于水蜜桃果实好果率的影响

Fig.2 Effects of spontaneous atmospheres in different thickness packages on the fruit quality of honey peach fruits

的好果率。

2.1.3 不同厚度包装的自发气调对于水蜜桃果实色差的影响 果实颜色是评判果实品质的重要指标，L^*值是表示水果的明度，其值越高，则果实越亮[35−36]。果蔬刚采摘时有较好的明度，随着贮藏时间的延长，L^*值呈现先下降后上升的趋势，因为在贮藏初期果蔬会发生酶促褐变、水分流失等现象[37]，导致果蔬表面逐渐变暗，使 L^*值呈下降趋势；在贮藏后期果蔬的细胞壁和表面结构发生变化，增加了光线散射[38] 等，让 L^*值呈上升趋势。由图 3 可知，T1 实验组的果实，在整个贮藏过程中 L^*值变化不明显，有着较好的稳定性。而 T2、T3 实验组的果实，在 0~14 d 内 L^*值呈下降趋势，14 d 后增大，最后维持相对稳定。在 42 d 时 CK 组与 T2、T3 实验组的 L^*值差异显著（P<0.05），各实验组在包装的情况下能在一定程度上缓解果实的水分损失，延缓果实表面的干燥及收缩，从而使 L^*值处于较高水平。因此，不同厚度聚乙烯保鲜袋包装的自发气调能有效防治果实明度的降低，其中 T3 实验组效果最好。

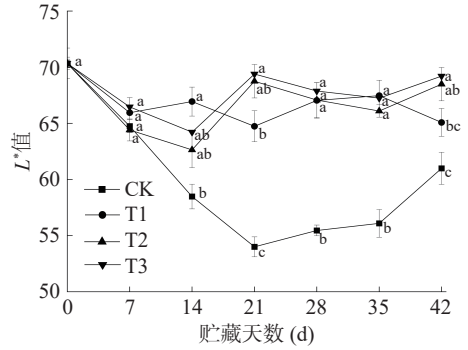


图 3 不同厚度包装的自发气调对于水蜜桃果实 L^*值的影响

Fig.3 Effects of spontaneous atmospheres in different thickness packages on honey peach fruit L^* value

果实 a^*值是红黄差异的指标，a^*值增大表示果肉逐渐变红，果实逐渐后熟、衰老。由图 4 可知，在整个贮藏周期内，CK 组的 a^*值始终大于各实验组，在 21 d 时其 a^*值达到最大值 22.53，21 d 后呈下降趋势，而各实验组的 a^*值与初始值相比一直维持相对

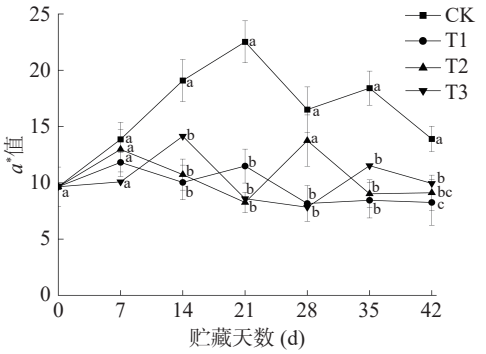


图 4 不同厚度包装的自发气调对于水蜜桃果实 a^*值的影响

Fig.4 Effects of spontaneous atmospheres in different thickness packages on honey peach fruit a^* value

稳定。

b^*值代表样品的黄蓝倾向，b^*值为正时，样品偏黄色；b^*值为负时，样品颜色偏向蓝色[39]。由图 5 可知，各组的 b^*值在贮藏期间均呈现先下降后上升的趋势，由于初期果实中叶绿素降解[40]，贮藏后期类胡萝卜素积累[41]，使得 b^*值先降后升。0~14 d，T2 实验组 b^*值高于 CK 组，14 d 后，T3 实验组 b^*值大于 CK 组。在整个贮藏周期内，T1 实验组 b^*值始终小于 CK 组，且差异不显著（P>0.05），可能是因为在 0.040 mm 聚乙烯保鲜袋包装情况下，保鲜袋内乙烯浓度能在一定程度上延缓叶绿素的降解和类胡萝卜素的积累，从而使 b^*值变化较慢，而 CK 组则不受乙烯浓度的影响，因此 b^*值变化较快。

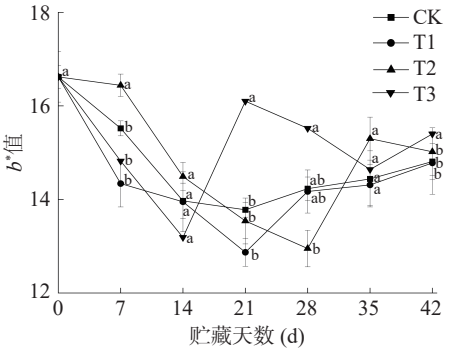


图 5 不同厚度包装的自发气调对于水蜜桃果实 b^*值的影响

Fig.5 Effects of spontaneous atmospheres in different thickness packages on honey peach fruit b^* value

综上所述，不同厚度聚乙烯保鲜袋包装的自发气调能够有效抑制果实的明度下降，色泽的快速变化，减缓果实的后熟和衰老过程，这与王淋靓等[42] 研究的情况相一致。

2.1.4 不同厚度包装的自发气调对于水蜜桃果实硬度的影响 硬度是评估水蜜桃质量的关键属性[43]，八成熟的水蜜桃果实有较好的果实硬度。由图 6 可知，刚采收的水蜜桃果实初始硬度为 67.22 g，随着贮藏时间的延长，各组果实硬度均呈逐渐下降趋势，主要原因是果实中果胶的溶解[44]。在整个贮藏过程中，各实验组的果实硬度均高于 CK 组，CK 组果实硬度

最低，T1 实验组果实硬度高于 CK 组，T2 实验组果实硬度较 T1 实验组有所提升，而 T3 实验组果实硬度优于 T2 实验组，表现出最高的硬度值。经 42 d 贮藏后，T1、T2 和 T3 实验组的果实硬度较刚采收时分别下降了 84.44%、81.49% 和 30.42%，而 CK 组果实硬度较刚采收时下降了 94.84%，这是因为果实暴露于空气中严重失水、果实表面干皱而导致的结果。在贮藏末期时，CK 组与各实验组之间差异显著（P<0.05），T1、T2、T3 实验组均可有效减缓果实的软化，其中 T3 实验组效果最佳。

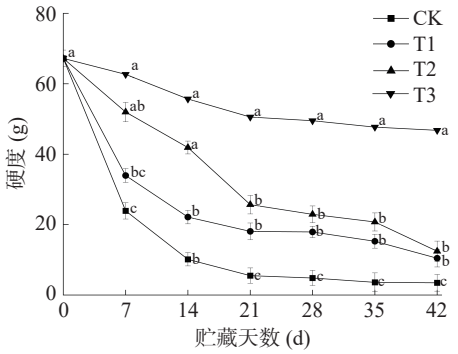


图 6　不同厚度包装的自发气调对于水蜜桃果实硬度的影响

Fig.6　Effects of spontaneous atmospheres in different thickness packages on the hardness of honey peach fruits

2.1.5　不同厚度包装的自发气调内气体变化　不同厚度的包装会形成不同的自发气调环境，形成不同体积分数的 O_2 和 CO_2。O_2 和 CO_2 的体积分数对于果实的品质有着较大的影响。适宜的 O_2 和 CO_2 的体积分数能够防止果蔬的生理失调，预防冷害，延长货架期。由图 7 可知，在 0~5 d 内，保鲜袋内气体成分急剧变化，O_2 体积分数迅速下降，而 CO_2 体积分数急剧上升。5 d 后 O_2 和 CO_2 的体积分数维持在一个相对稳定的状态。在贮藏周期内，T3 实验组 O_2 体积分数始终低于 T2 实验组，T2 实验组 O_2 体积分数始终低于 T1 实验组。CO_2 体积分数则表现出与之相反的变化规律（图 7B），这与 Jiao 等[45] 的研究结果相同。低 O_2 和高 CO_2 环境可减慢果实中色素的降解速度，维持果实的良好色泽。在 21 d 时果实具有较好的色泽，因此 O_2 和 CO_2 的最佳体积分数为 1.35% 和 9.05%。相关研究表明，控制 CO_2 浓度在 10% 左右，有利于水蜜桃的长时间贮藏[46]。在贮藏末期，T3 实验组保鲜袋内的 CO_2 浓度维持在 10% 左右，当保鲜袋厚度超过 0.080 mm 时，导致保鲜袋内 CO_2 浓度过高而 O_2 浓度过低，诱发水蜜桃无氧呼吸，进而引起生理代谢紊乱和品质下降，因此，0.080 mm 厚度的聚乙烯保鲜对水蜜桃保鲜最好。

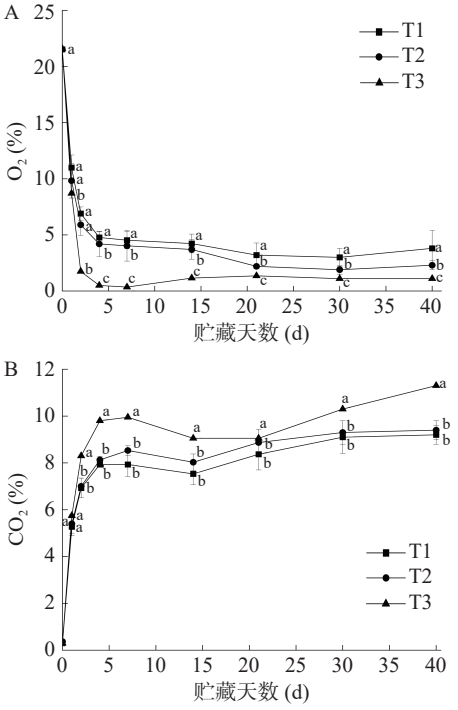


图 7　不同厚度包装的自发气调内气体变化

Fig.7　Gas changes in spontaneous atmospheres in different thickness packages

2.2　不同薄膜包装对水蜜桃生理特性的影响

2.2.1　不同厚度包装的自发气调对于水蜜桃果实可溶性固形物（SSC）的影响　可溶性固形物（SSC）是溶于水化合物的总称，在桃果实中主要是可溶性糖，是反映果蔬品质和贮藏效果的重要指标[47]。由图 8 可知，在整个贮藏期间，T1 和 T3 两个实验组的可溶性固形物含量呈现先上升后下降的趋势，这是由于果实采摘后新陈代谢和后熟作用，使果实的可溶性固形物含量出现短期增加，在第 7 d 达到最大值，分别为 13.00% 和 11.75%。而 CK 和 T2 两组呈现先下降后上升的趋势，分别在第 7 d 和 14 d 达到最低值，为 10.35% 和 8.95%，并且 CK 组的可溶性固形物含量始终大于 T2 实验组。贮藏至 42 d 时，各实验组的可溶性固形物含量均低于初始值，是因为果实在贮藏期间会因呼吸作用而不断消耗糖类物质，使得可溶性固形物含量低于初始值，这与张雪[48] 的研究结果相一致。与其他组相比，T3 实验组的可溶性固形物含量 42 d 时与初始值最接近，对维持果实中可溶性固

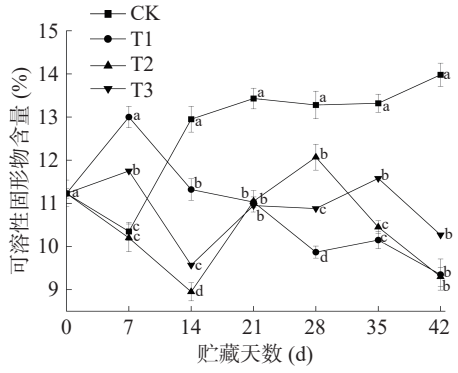


图 8　不同厚度包装的自发气调对于水蜜桃果实可溶性固形物（SSC）的影响

Fig.8　Effects of spontaneous atmospheres in different thickness packages on the soluble solids of honey peach fruits

形物含量效果最好。

2.2.2 不同厚度包装的自发气调对于水蜜桃果实可滴定酸(TA)含量的影响 可滴定酸(TA)含量的变化是桃果实成熟度的指标[49]。由图 9 可知,在贮藏期间,不同厚度的包装对于可滴定酸含量的变化有着显著影响。CK 组在第 7 d 时可滴定酸开始上升,在 14 d 时达到最大值 1.8%,28 d 后可滴定酸含量基本维持在 1.6%,而各实验组在 42 d 时可滴定酸含量分别为 1.2%、1.2%、1.4%。在 42 d 时,T3 实验组可滴定酸含量高于 T1、T2 两实验组且差异显著($P<0.05$),说明 0.080 mm 厚度的聚乙烯保鲜袋包装能更有效地抑制果实中可滴定酸含量的下降,维持果实的风味。

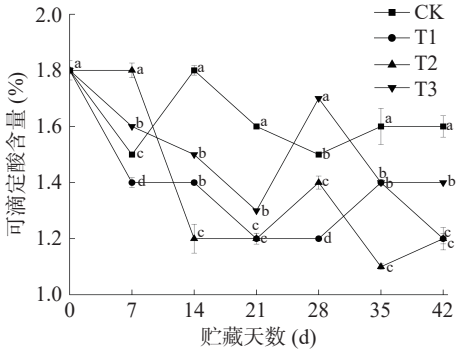


图 9 不同厚度包装的自发气调对于水蜜桃果实可滴定酸(TA)含量的影响

Fig.9 Effects of spontaneous atmospheres in different thickness packages on the titratable acid content of honey peach fruits

2.2.3 不同厚度包装的自发气调对于水蜜桃果实多酚氧化酶(PPO)活性的影响 多酚氧化酶(PPO)在植物体中广泛存在,能催化酚类物质转化为醌类物质,引起组织褐变,因此多酚氧化酶是导致果实褐变的重要因素[50]。由图 10 可知,在贮藏期间,果实逐渐衰老,导致多酚氧化酶活性呈现上升趋势,这与李京春[11] 的实验结果相同。0~7 d,各组多酚氧化酶活性未出现明显变化,7~14 d 迅速增加,且 T3 实验组在 14 d 时多酚氧化酶活性达到最高值 0.572 U·mg^{-1},高于 CK 组,原因是 0.080 mm 保鲜袋内 14 d 时达到特定的高 CO_2 浓度,此条件下会刺激桃果实细胞内的相关机制,导致 PPO 活性的短暂升高[51]。14 d 后处于小幅度波动状态,在 21 d 后,CK 组多酚氧化酶活性高于各实验组。T2 实验组,在 28 d 时多酚氧化酶活性达到最高值,为 0.525 U·mg^{-1},28 d 后迅速下降。综上所述,不同厚度聚乙烯保鲜袋包装的自发气调均能有效地抑制多酚氧化酶活性的上升,延缓果实褐变。

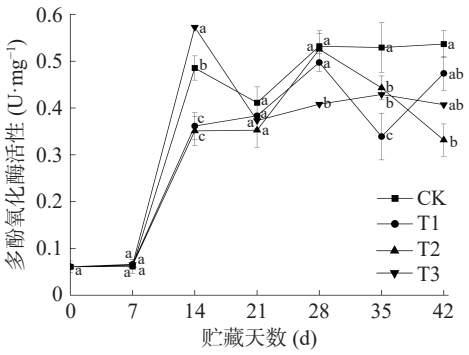


图 10 不同厚度包装的自发气调对于水蜜桃果实多酚氧化酶(PPO)活性的影响

Fig.10 Effects of spontaneous atmospheres in different thickness packages on polyphenol oxidase activity of honey peach fruits

2.2.4 不同厚度包装的自发气调对于水蜜桃果实过氧化物酶(POD)活性的影响 过氧化物酶(POD)能够清除因衰老或者低温而产生的自由基,减少对果实的损伤,对于果实具有保护作用[52]。由图 11 可知,在整个贮藏期间,过氧化物酶活性呈现上升的趋势。在 0~7 d 内,T3 实验组过氧化物酶活性上升,这是由于低温逆境产生过氧化氢,激活了过氧化物酶的抗氧化功能,导致其活性增强,而 7~14 d 期间活性下降。CK 和 T2 两组在 14 d 后过氧化物酶活性迅速增加,分别在 42 d 和 28 d 到达最高值,为 0.090 U·mg^{-1} 和 0.075 U·mg^{-1}。而 T1、T3 两实验组在 28 d 后酶活性迅速增加,均在 42 d 达到最大值,分别为 0.077 和 0.087 U·mg^{-1},原因是果实衰老使得酶活性增强。在贮藏后期,不同厚度聚乙烯保鲜袋包装的自发气调均能有效维持过氧化物酶活性,但在 42 d 时各实验组的酶活性均低于 CK 组。

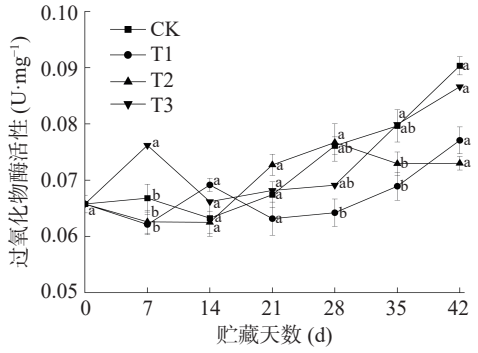


图 11 不同厚度包装的自发气调对于水蜜桃果实过氧化物酶(POD)活性的影响

Fig.11 Effects of spontaneous atmospheres in different thickness packages on peroxide activity of honey peach fruits

3 结论

在(4±1 ℃)贮藏条件下,研究了不同厚度(0.040、0.055、0.080 mm)聚乙烯保鲜袋对水蜜桃采后贮藏保鲜效果的影响,结果表明,不同厚度的聚乙烯保鲜袋包装均能有效延缓水蜜桃的品质劣变;其中采用 0.080 mm 厚度保鲜袋包装的水蜜桃贮藏至 42 d 时,好果率达 100%,失重率仅为 0.44%,果实硬度较初始硬度下降 30.42%,保鲜袋内 O_2 和 CO_2 含量分别为 1.10% 和 10%;并能较好地维持水蜜桃的色泽,同时减缓可溶性固形物和可滴定酸含量的下降;且能

有效抑制多酚氧化酶活性，综合果实外观和内在品质，0.080 mm 厚度的保鲜袋保鲜效果最好。

© The Author(s) 2026. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

参考文献

［1］ 侯佳迪, 朱丽娟, 王军萍, 等. 1-MCP 处理期不同成熟度'霞晖 8 号'桃果实贮藏中品质和生理生化特性的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(17): 326−334. ［HOU Jiadi, ZHU Lijuan, WANG Junping, et al. Effect of 1-MCP on peach fruit quality and physiobiochemical characteristics of ‘Xiahui 8’ with different maturity during storage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(17): 326−334.］

［2］ 吴嗣圣, 陈姗姗, 余铭. 冻结方式和冻藏条件对冻藏水蜜桃果浆品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2021, 21(1): 99−104. ［WU Sisheng, CHEN Shanshan, YU Ming. Effect of freezing method and freezing storage condition on quality of frozen honey peach pulp[J]. Storage and Process, 2021, 21(1): 99−104.］

［3］ ZHANG Shuwu, ZHENG Qi, XU Bingliang, et al. Identification of the fungal pathogens of postharvest disease on peach fruits and the control mechanisms of *Bacillus subtilis* JK-14[J]. Toxins, 2019, 11(6): 322.

［4］ 齐淑宁, 赵垚垚, 唐继兴, 等. 不同保鲜袋包装对水蜜桃贮藏品质的影响[J]. 包装工程, 2021, 42(19): 55−62. ［QI Shuning, ZHAO Yaoyao, TANG Jixing, et al. Effect of different fresh-keeping bags on storage quality of juicy peach[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(19): 55−62.］

［5］ 刘慧, 吕真真, 杨文博, 等. 采后硝普钠处理对桃果实贮藏品质及抗氧化活性的影响[J]. 食品工业科技, 2023, 44(19): 374−381. ［LIU Hui, LÜ Zhenzhen, YANG Wenbo, et al. Effects of postharvest sodium nitroprusside application on qualities and antioxidant activities of peach fruits during cold storage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(19): 374−381.］

［6］ 王尧, 张立, 陈思琦, 等. 含益生菌的可食性涂膜在果蔬保鲜中的应用研究进展[J]. 保鲜与加工, 2024, 24(10): 147−156. ［WANG Yao, ZHANG Li, CHEN Siqi, et al. Research progress on the application of probiotic-loaded edible coatings in fruit and vegetable preservation[J]. Storage and Process, 2024, 24(10): 147−156.］

［7］ ALBORNOZ K, ZHOU J Q, YU J W, et al. Dissecting postharvest chilling injury through biotechnology[J]. Current Opinion in Biotechnology, 2022, 78: 102790.

［8］ 袁楚珊, 黄余年, 董欣瑞, 等. 不同贮藏温度对黄桃采后品质和抗氧化能力的影响[J]. 食品工业科技, 2023, 44(3): 356−364. ［YUAN Chushan, HUANG Yunian, DONG Xinrui, et al. Effect of different storage temperatures on postharvest quality and antioxidant capacity of yellow-fleshed peach[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(3): 356−364.］

［9］ 何辉, 乔勇进, 柳洪入, 等. 桃果实冷害发生机理及御冷措施研究进展[J]. 食品工业科技, 2023, 44(4): 496−505. ［HE Hui, QIAO Yongjin, LIU Hongru, et al. Research progress on the mechanism of chilling injury and alleviating measures in peach fruit[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(4): 496−505.］

［10］ LIU Hongru, HE Hui, LIU Chenxia, et al. Changes of sensory quality, flavor-related metabolites and gene expression in peach fruit treated by controlled atmosphere (CA) under cold storage[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2022, 23(13): 7141.

［11］ 李京春. 1-Pent CP 结合自发气调对油桃采后生理及保鲜效果的影响[D]. 淄博: 山东理工大学, 2023. ［LI Jingchun. Effects of 1-Pent CP combined with spontaneous modified atmosphere on postharvest physiology and preservation effect of nectarine[D]. Zibo: Shandong University of Technology, 2023.］

［12］ ZHAO Qianxi, JIN Mijing, GUO Leyin, et al. Modified atmosphere packaging and 1-methylcyclopropene alleviate chilling injury of ‘Youhou’ sweet persimmon during cold storage[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2020, 24: 100479.

［13］ HASAN M U, SINGH Z, SHAH H M S, et al. Modified atmosphere packaging and melatonin application alleviates chilling injury in ‘Fuyu’ persimmon fruit by reducing ethylene production, mitigating ROS accumulation, and maintaining antioxidant system[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2025, 48: 101458.

［14］ 董欣瑞. 气调处理对黄桃货架期品质和能量代谢的影响[D]. 长沙: 湖南大学, 2023. ［DONG Xinrui. Effects of modified atmosphere treatment on shelf-life quality and energy metabolism of yellow peach[D]. Changsha: Hunan University, 2023.］

［15］ 贾晓辉, 张鑫楠, 刘佰霖, 等. 低 O_2/高 CO_2 气调结合 1-MCP 对‘玉露香’梨贮藏品质的影响[J]. 中国农业科学, 2022, 55(23): 4717−4727. ［JIA Xiaohui, ZHANG Xinnan, LIU Bailin, et al. Effects of low oxygen/high carbon dioxide controlled atmosphere combined with 1-methylcyclopropene on quality of yuluxiang pear during cold storage[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2022, 55(23): 4717−4727.］

［16］ 高名月, 赵政阳, 王燕, 等. 气调贮藏对瑞雪苹果的保鲜效果与果皮褐变机制的初探[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(4): 123−129. ［GAO Mingyue, ZHAO Zhengyang, WANG Yan, et al. Effects of controlled atmosphere on preservation of Ruixue apples and preliminary study on pericarp browning mechanism[J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(4): 123−129.］

［17］ 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. ［LI Jinjin, LI Chunyuan, GU Baiyu, et al. Effects of micro-environmental modified atmosphere preservation box on postharvest storage quality of grape[J]. Food Science and Technology, 2023, 48(4): 47−54.］

［18］ TINEBRA I, SORTINO G, INGLESE P, et al. Effect of different modified atmosphere packaging on the quality of mulberry fruit (*Morus alba* L. cv kokuso 21)[J]. International Journal of Food Science, 2021, 2021: 8844502.

［19］ 徐锦洋, 王瑞, 张妮, 等. 基于主成分分析法研究自发气调包装对方竹鲜笋保鲜效果的影响[J]. 食品工业科技, 2023, 44(5): 322−330. ［XU Jinyang, WANG Rui, ZHANG Ni, et al. Study on the effects of modified atmosphere packaging on the freshness of chimonabambusa quadrangularis shoot based on principal component analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(5): 322−330.］

［20］ 唐洪杰. 高效复合保鲜剂对桃果实贮藏效果的影响[J]. 保鲜与加工, 2023, 23(5): 9−14. ［TANG Hongjie. Effects of high efficiency compound preservatives on peach fruits storage[J]. Storage and Process, 2023, 23(5): 9−14.］

［21］ 胡留申, 熊帅, 李春曦, 等. 1-甲基环丙烯对水蜜桃新凤蜜露采后贮藏品质的影响[J]. 北方农业学报, 2023, 51(3): 78−83. ［HU Liushen, XIONG Shuai, LI Chunxi, et al. Effects of 1-Methylcyclopropene on postharvest storage quality of Xinfengmilu peach fruit[J]. Journal of Northern Agriculture, 2023, 51(3): 78−83.］

［22］ ZHANG Yingtong, LING Jun, ZHOU Hongsheng, et al. 1-

Methylcyclopropene counteracts ethylene inhibition of anthocyanin accumulation in peach skin after harvest[J]. Postharvest Biology and Technology, 2022, 183: 111737.
[23] 白岚莎, 吕健, 谢晋, 等. 基于细胞微观形态定量的桃果实硬度变化差异性研究[J]. 食品科学技术学报, 2024, 42(5): 115−124. [BAI Lansha, LÜ Jian, XIE Jin, et al. Study on differences in firmness changes of peach based on quantitative analysis of cell micromorphological[J]. Journal of Food Science and Technology, 2024, 42(5): 115−124.]
[24] 吉宁, 刘仁婵, 张妮, 等. 1-MCP 结合自发气调袋对百香果采后贮藏品质的影响[J]. 包装工程, 2023, 44(17): 18−24. [JI Ning, LIU Renchan, ZHANG Ni, et al. Effect of 1-MCP combined with spontaneous modified atmosphere bag on postharvest storage quality of passion fruit[J]. Packaging Engineering, 2023, 44(17): 18−24.]
[25] 谢小燕, 郭慧静, 赵志永, 等. 不同包装结合蓄冷剂处理对蟠桃贮藏后货架期品质的影响[J]. 新疆农业科学, 2023, 60(4): 908−915. [XIE Xiaoyan, GUO Huijing, ZHAO Zhiyong, et al. Effects of different packaging treatments combined with cold storage agent on shelf life quality of flat peach after storage[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2023, 60(4): 908−915.]
[26] 范振梅, 宋贤良, 陈晓维, 等. 不同保鲜方式下鲜切菠萝蜜的品质比较[J]. 现代食品科技, 2023, 39(6): 93−100. [FAN Zhenmei, SONG Xianliang, CHEN Xiaowei, et al. Comparison of the quality of fresh-cut jackfruit under different preservation methods [J]. Modern Food Science & Technology, 2023, 39(6): 93−100.]
[27] 薛鹏宇, 殷菲胧, 刘云芬, 等. 茉莉酸甲酯处理对采后龙眼果皮褐变的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(5): 169−178. [XUE Pengyu, YIN Feilong, LIU Yunfen, et al. Effect of methyl jasmonate treatment on postharvest pericarp browning of Longan fruit[J]. Food Science, 2023, 44(5): 169−178.]
[28] 张雨晴, 周靓, 施文卫, 等. 碧螺春老叶多酚对桃果实保鲜效果研究[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(4): 117−122. [ZHANG Yuqing, ZHOU Liang, SHI Wenwei, et al. Study of polyphenol from Biluochun (*Camellia sinensis* (L.) O. Ktze.) old leaves on peach fruit preservation[J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(4): 117−122.]
[29] 彭思佳, 虞任莹, 童秀子, 等. 1-MCP 处理结合激光微孔膜包装对采后水蜜桃的保鲜效果[J]. 食品工业科技, 2022, 43(17): 363−370. [PENG Sijia, YU Renying, TONG Xiuzi, et al. Effect of 1-MCP treatment combined with laser microporous film packing on the preservation effect of honey peach fruit[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(17): 363−370.]
[30] GE Yonghong, LI Xue, LI Canying, et al. Effect of sodium nitroprusside on antioxidative enzymes and the phenylpropanoid pathway in blueberry fruit[J]. Food Chemistry, 2019, 295: 607−612.
[31] 陈璐, 毛积鹏, 高柱, 等. 气调包装对采后‘金艳’猕猴桃货架期及内在品质的影响[J]. 北方园艺, 2024(10): 85−91. [CHEN Lu, MAO Jipeng, GAO Zhu, et al. Effects of modified atmosphere packaging on shelf life and intrinsic quality of post-harvest‘jinyan’ Kiwifruit[J]. Northern Horticulture, 2024(10): 85−91.]
[32] 陈洪彬, 邹文杰, 郑金水, 等. 采后“黄金”和“紫香”西番莲果实的耐贮性比较[J]. 中国南方果树, 2021, 50(6): 69−73. [CHEN Hongbin, ZOU Wenjie, ZHENG Jinshui, et al. Comparison of storage stability of “golden” and “zixiang” *Passiflora fruits* after harvest[J]. South China Fruits, 2021, 50(6): 69−73.]
[33] 贾朝爽, 王志华, 王文辉, 等. 不同厚度自发气调包装袋对塞外红苹果冷藏期和货架期品质的影响[J]. 中国果树, 2023(5): 23−27,42. [JIA Chaoshuang, WANG Zhihua, WANG Wenhui, et al. Effect of different thickness of spontaneous modified atmosphere packaging bags on the quality of cold storage and shelf life of‘Saiwaihong’apple[J]. China Fruits, 2023(5): 23−27,42.]
[34] LIU Hui, YANG Wenbo, ZHANG Qiang, et al. Comprehensive evaluation method to reveal the combined effects of maturity and modified atmosphere packaging on jujube storage qualities[J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2025, 19(5): 3552−3566.
[35] LUO Xuan, ZHAO Yiran, TIAN Shijie, et al. Characterize firmness changes of nectarine and peach fruit associated with harvest maturity and storage duration using parameters of force–displacement curves[J]. Journal of Texture Studies, 2025, 56(1): e70003.
[36] KOU Yidan, REN Jinpeng, MA Yujie, et al. Effects of exogenous substances treatment on fruit quality and pericarp anthocyanin metabolism of peach[J]. Agronomy, 2023, 13(6): 1489.
[37] VIRGEN-ORTIZ J J, MORALES-VENTURA J M, COLÍN-CHÁVEZ C, et al. Postharvest application of pectic-oligosaccharides on quality attributes, activities of defense-related enzymes, and anthocyanin accumulation in strawberry[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2020, 100(5): 1949−1961.
[38] BAI Feng, SHU Peng, DENG Heng, et al. A distal enhancer guides the negative selection of toxic glycoalkaloids during tomato domestication[J]. Nature Communications, 2024, 15: 2894.
[39] 鲜美林, 金鑫, 谢意通, 等. 不同解冻方式对速冻黄桃品质的影响研究[J]. 核农学报, 2024, 38(11): 2125−2133. [XIAN Meilin, JIN Xin, XIE Yitong, et al. Effects of different thawing methods on the quality of quick-frozen yellow peaches[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2024, 38(11): 2125−2133.]
[40] 周慧娟. 水蜜桃发育和采后果皮的色素和芳香物质变化及相关蛋白组学研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2018. [ZHOU Huijuan. Changes of pigment and aromatic substances and related proteomics of peach peel after development and harvest[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2018.]
[41] TANG Tingting, ZHOU Hongsheng, WANG Libin, et al. Post-harvest application of methyl jasmonate or prohydrojasmon affects color development and anthocyanins biosynthesis in peach by regulation of sucrose metabolism[J]. Frontiers in Nutrition, 2022, 9: 871467.
[42] 王淋靓, 刘帅民, 冯春梅, 等. 不同厚度 PE 袋对冷链物流过程中荔枝褐变的影响[J]. 食品工业科技, 2022, 43(15): 314−320. [WANG Linliang, LIU Shuaimin, FENG Chunmei, et al. The effect of different thickness polyethylene bags on *Litchi* browning during cold chain logistics[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(15): 314−320.]
[43] 刘婉晴, 徐冉冉, 周家华, 等. 四氢嘧啶处理对常温油桃生理品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2025, 25(1): 16−24. [LIU Wanqing, XU Ranran, ZHOU Jiahua, et al. Effects of ectoine treatment on the physiological quality of nectarines at room temperature[J]. Storage and Process, 2025, 25(1): 16−24.]
[44] CHEN Xiao, MA Chen, HE Hongju, et al. Effects of changes in pectin constitution on optical properties and firmness of peach flesh during storage[J]. Foods, 2024, 13(19): 3042.
[45] JIAO Jianqing, GUO Leyin, LIU Hui, et al. Effect of different packaging film thicknesses on chilling injury in postharvest ‘Cuixiang' Kiwifruit[J]. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 2021, 49(2−3): 168−181.
[46] 吴剑, 唐会周, 褚伟雄. 一种水蜜桃物理贮藏方法: CN201310605669.9[P]. 2015-04-15. [WU Jian, TANG Huizhou,

CHU Weixiong. A physical storage method for honey peaches: CN201310605669.9[P]. 2015-04-15.]
[47] 朱明涛, 王美军. 1-MCP 和蜂胶对水蜜桃贮藏保鲜效果的影响[J]. 包装工程, 2020, 41(11): 33−39. [ZHU Mingtao, WANG Meijun. Effects of 1-MCP and *Propolis* on the preservation results of honey peaches[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(11): 33−39.]
[48] 张雪. 不同厚度的 PE 保鲜袋对甜樱桃贮藏效果的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2023. [ZHANG Xue. Effect of PE fresh-keeping bags with different thickness on storage effect of sweet cherry[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2023.]
[49] ZHANG Huifen, DU Ying, MENG Yinyin, et al. A comprehensive study on the fruit quality of a late-ripening mutant variety of plum[J]. Food Chemistry: Molecular Sciences, 2025, 10: 100251.
[50] 俞静芬, 卢宇广, 尚海涛, 等. 微孔膜结合 1-MCP 对水蜜桃果实品质的影响研究[J]. 农产品加工, 2021(6): 26−28. [YU Jingfen, LU Yuguang, SHANG Haitao, et al. Effect of preservative film combined with 1-methylcyclopropene on quality of nectarine [J]. Farm Products Processing, 2021(6): 26−28.]
[51] 魏文毅, 王贵禧, 梁丽松, 等. '八月脆'桃果实气调贮藏过程中品质及相关酶活性的变化[J]. 林业科学, 2008, 44(3): 81−86. [WEI Wenyi, WANG Guixi, LIANG Lisong, et al. Changes of quality and some enzyme activities of 'bayuecui' peach during controlled atmosphere storage[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(3): 81−86.]
[52] 千春录, 朱芹, 高姗, 等. 外源褪黑素处理对采后水蜜桃冷藏品质及冷害发生的影响[J]. 江苏农业学报, 2020, 36(3): 702−708. [QIAN Chunlu, ZHU Qin, GAO Shan, et al. Effects of exogenous melatonin treatment on cold storage quality and chilling injury of postharvest peach fruit[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2020, 36(3): 702−708.]