

不同货架温度结合 1-MCP 处理对华红、 华月苹果质地性状的影响

贾朝爽, 王志华, 王文辉

(中国农业科学院 果树研究所, 辽宁省果品贮藏与加工重点实验室, 辽宁 兴城 125100)

摘要: 为了探讨华红、华月苹果经不同货架温度结合 1-MCP 处理在货架期间质地性状的差异和变化规律, 以期确定苹果适宜的货架温度和时间, 以华红和华月为试验材料, 采用物性分析仪质地多面分析法 (TPA) 和穿刺试验, 测定果肉弹性、胶黏性、咀嚼性、果肉硬度、破裂功、破裂力、破裂位移、屈服功、屈服力和屈服位移等 10 个质地性状, 并对这些指标采用因子分析法, 将原始指标降维, 从而使用 1 个综合指标评价经 1-MCP (1.0 $\mu\text{L/L}$) 处理后, 放置于 5, 10, 15, 20 $^{\circ}\text{C}$ 的货架温度下对华红和华月苹果质地性状的保持效果。结果表明, 经 1-MCP 处理可延长华红、华月果实质地性状的货架期, 尤其对华红果实效果更佳; 相同处理温度下, 经 1-MCP 处理的 2 个品种果实下降幅度显著小于未经处理组的降幅, 可大约减少 10%。相关性分析表明, 苹果果实的质地指标之间均存在极显著正相关性, 但紧密程度存在一定差异。经因子分析并基于特征值大于 1 的原则, 提取了 2 个主因子, 累计方差贡献率为 91.194%, 根据各主因子代表性指标, 依次命名为穿刺因子 F_1 、TPA 因子 F_2 , 方差贡献率分别为 79.870%, 11.324%, 根据主因子得分可知, 未经处理的华红果实最适宜货架温度为 5 $^{\circ}\text{C}$, 经处理的果实温度为 15 $^{\circ}\text{C}$; 而华月果实未经处理最适宜的货架温度为 10 $^{\circ}\text{C}$, 经 1-MCP 处理果实的适宜货架温度为 5, 10 $^{\circ}\text{C}$ 。华红果实 CK 组在最适宜货架温度 5 $^{\circ}\text{C}$ 下可存放 8 d, 处理组在货架温度 15 $^{\circ}\text{C}$ 下可延长至 16 d; 华月果实 CK 组和处理组都可选择 10 $^{\circ}\text{C}$ 的货架温度, 均可存放 16 d。

关键词: 苹果; 质地性状; 穿刺参数; 1-MCP 处理; 货架温度

中图分类号: S661.01 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2022)04-0128-13

doi: 10.7668/hbxb.20192888



Effects of Different Shelf Temperature Combined with 1-MCP Treatment on Texture Traits of Huahong and Huayue Apples

JIA Chaoshuang, WANG Zhihua, WANG Wenhui

(Research Institute of Pomology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Fruit Storage and
Processing Key Laboratory of Liaoning Province, Xingcheng 125100, China)

Abstract: Discuss the difference and change rule of texture characteristics of Huahong and Huayue apples after different shelf temperature combined with 1-MCP treatment during the shelf life, in order to determine the appropriate shelf temperature and time for apples. Using Huahong and Huayue as the test materials, the physical property analyzer texture multi-faceted analysis (TPA) and puncture test were used to determine the pulp elasticity, gummy stickiness, chewability, pulp hardness, rupture work, rupture force, rupture displacement, yield work, yield force and yield displacement. Factor analysis was applied to these indicators, and the original indicators were reduced in dimensionality, so that a comprehensive index was used to evaluate 1-MCP (1.0 $\mu\text{L/L}$) treatment, it was placed at shelf temperatures of 5, 10, 15, 20 $^{\circ}\text{C}$ to maintain the texture properties of Huahong and Huayue apples. The shelf life of Huahong and Huayue fruit texture characters could be prolonged by 1-MCP treatment, especially for Huahong fruit. Under the same treatment temperature, the fruit decline of the two varieties treated with 1-MCP was significantly less than that of the untreated group, which could be reduced by about 10%. Correlation analysis showed that there was a very significant positive correlation between the texture indexes of apple fruit, but there were some

收稿日期: 2022-02-10

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (161082020020)

作者简介: 贾朝爽 (1990—), 女, 山东菏泽人, 研究实习员, 硕士, 主要从事果品采后生理与贮藏保鲜技术研究。

通讯作者: 王志华 (1975—), 女, 山西孟县人, 研究员, 主要从事果品采后生物学特性与贮藏保鲜技术研究。

differences in the degree of tightness. After factor analysis and based on the principle that the eigenvalue was greater than 1, two main factors were extracted, and the cumulative variance contribution rate was 91.194%. According to the representative indexes of each main factor, they were named puncture factor F_1 and TPA factor F_2 , and the variance contribution rates were 79.870% and 11.324%, respectively. According to the score of the main factor, the most suitable shelf temperature of untreated Huahong fruit was 5 °C. The temperature of the treated fruit was 15 °C. The optimum shelf temperature of Huayue fruit without treatment was 10 °C, and the suitable shelf temperature of 1-MCP treated fruit was 5, 10 °C. The CK group of Huahong fruit could be stored for 8 d at 5 °C, and the shelf temperature of the treatment group could be extended to 16 d at 15 °C; the CK group and the treatment group of Huayue fruit could be stored at 10 °C, could be stored for 16 d.

Key words: Apple; Texture traits; Puncture parameters; 1-MCP treatment; Shelf temperature

华红 (*Malus pumila* Mill. Huahong) 和华月 (*Malus pumila* Mill.) 苹果由中国农业科学院果树研究所育成, 亲本分别为金冠×惠和金冠×华富, 二者均属于呼吸跃变型果实, 在贮藏过程中常有硬度下降、果肉变绵、失水、腐烂等现象的发生, 极大影响果实的商品价值, 需寻求最佳的保鲜技术对其进行贮藏, 延长其贮藏期和货架期^[1-2]。

1-甲基环丙烯 (1-methylcyclopropene, 1-MCP) 保鲜剂和低温贮藏是常用的保鲜技术, 均在果蔬保鲜方面起着极大的作用^[3-4]。有研究表明, 1-MCP 结合低温贮藏方式, 可有效延长果实贮藏期及货架期, 并对维持果实良好的外观及内在的品质有显著作用^[5-9]。面对消费者, 货架期间果实品质的变化也决定了该果品质量的好坏, 但由于果实出库后, 储存的温度升高, 将引起果实品质发生显著变化, 因此, 确定果实货架期间贮存的最佳温度和时间, 可以很大程度上降低果实品质劣变的发生, 更好地维持果实风味, 对延长果实货架期具有重要意义^[10]。

果肉质度作为一个综合性状, 可表示果实的组织状态和食用者的口感, 是果实品质的重要组成部分。不同品种的果实质地存在差异性, 仅通过感官评定很难对果实质地进行量化比较, 使用物性分析仪可量化质地参数^[11-13], 通过模拟人的牙齿咀嚼食物, 可得到硬度、弹性、咀嚼性等质地参数, 避免人为因素的干扰, 使评价结果更加客观和准确^[14-15]。目前, 物性分析仪已在梨^[11, 16-18]、苹果^[19-21]、桃^[22-24]、甜瓜^[25]、枣^[26-27]、西瓜^[28]、枇杷^[29]、葡萄^[30]、杨梅^[31]等水果中进行应用, 对果实的质地性状进行研究, 但研究的内容主要集中在采后和贮藏过程中质地的变化和差异性, 关于不同货架温度结合 1-MCP 处理后的果实在货架期间的物性如何变化以及各项指标之间的关系尚未见报道。

本试验以成熟期、耐贮性不同的苹果品种华红和华月为试验材料, 探讨不同货架温度结合 1-MCP

处理对不同苹果品种货架期间质地变化的影响, 旨在更具体和客观地了解不同品种苹果果实货架期间质地构成和变化规律, 为确定其最佳货架期和改进贮藏保鲜技术提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 材料及其处理

华红、华月果实于 2020 年采自辽宁省兴城市管理水平中等的果园, 根据品种成熟期适时采收, 采后立即运回中国农业科学院果树研究所, 挑选大小均一、无病虫害、机械损伤的果实备用。经苹果贮藏保鲜课题组前期预试验已确定 1-MCP 处理华红、华月果实最佳浓度为 1.0 μL/L, 本试验将华红和华月果实分别随机分成 2 组, 每组 1 200 个果实: 一组在 20 °C 条件下用 1.0 μL/L 1-MCP 密闭熏蒸 16 h; 另一组为对照组 (CK), 不用 1-MCP 熏蒸, 均装入厚度为 30 μm 的聚氯乙烯包装袋内, 挽口放置于温度为 (0±0.3) °C、空气相对湿度为 85%~90% 的冷库中贮藏 60 d。然后模拟苹果实际货架销售温度, 分别放置 5, 10, 15, 20 °C 等 4 个温度下, 每 4 d 取样一次, 每个货架温度处理 3 个重复。

1.2 果肉质度分析

采用美国 FTC 公司 TMS-PRO 食品物性分析仪对果实质地性状进行测定。

TPA 试验: 将果实置于质构仪平板上, 使用圆柱形直径为 75 mm 探头对苹果果肉进行 TPA 测试。测试参数为测前速度 60 mm/min, 测试速度 60 mm/min, 触发力 0.2 N, 果肉形变 3%, 测定参数为果肉硬度、弹性、胶黏性、咀嚼性等。

穿刺试验: 使用直径 6 mm 的圆柱探头对果实进行去皮穿刺试验 (触发力 0.2 N, 穿刺深度 10 mm, 测试速度 60 mm/s), 穿刺部分选择果实赤道线附近相反的 2 个部位, 测定参数为破裂功、破裂力、破裂位移、屈服功、屈服力和屈服位移。以上这些参数是

由物性分析仪自带软件自行算出。

1.3 数据统计与分析

试验采用随机设计,每次测定重复10次,使用Origin 2018、Excel进行作图,采用SPSS 22.0软件进行差异显著性分析(Duncan新复极差法)、相关性分析、因子分析。

2 结果与分析

2.1 不同货架温度结合1-MCP处理对华红、华月果肉硬度的影响

由图1可知,CK组(图1-A1, A2)和处理组(图1-B1, B2)华红、华月果实的果肉硬度均随着货架时间的增加呈下降趋势,且华月的果肉硬度明显高于华红。整个货架期间,CK组的华红果实在5, 10℃

的货架温度下,果肉硬度最高,货架16d时降幅分别为38.6%,41.9%,而20℃的货架温度下降幅高达50.1%;华月在15℃的货架温度下,其果肉硬度始终显著高于其他货架温度($P<0.05$),货架16d时降幅仅为26.2%,这可能是因为华月果实本身具有爽脆的特性,前期较高温度并不会使其硬度下降,其次是10℃,降幅为32.6%,进而说明10℃的货架温度均适合未经处理的华红和华月果实。华红、华月的处理组果实的果肉硬度显著大于CK组($P<0.05$),且可以看出经处理后的华红适宜货架温度为10℃,降幅为19.7%;华月的适宜货架温度为5, 10℃,货架16d时降幅分别为22.1%,21.4%,可知1-MCP处理可较有效地减少华红和华月果肉硬度的下降,可将二者果实存放的货架时间延长至16d。

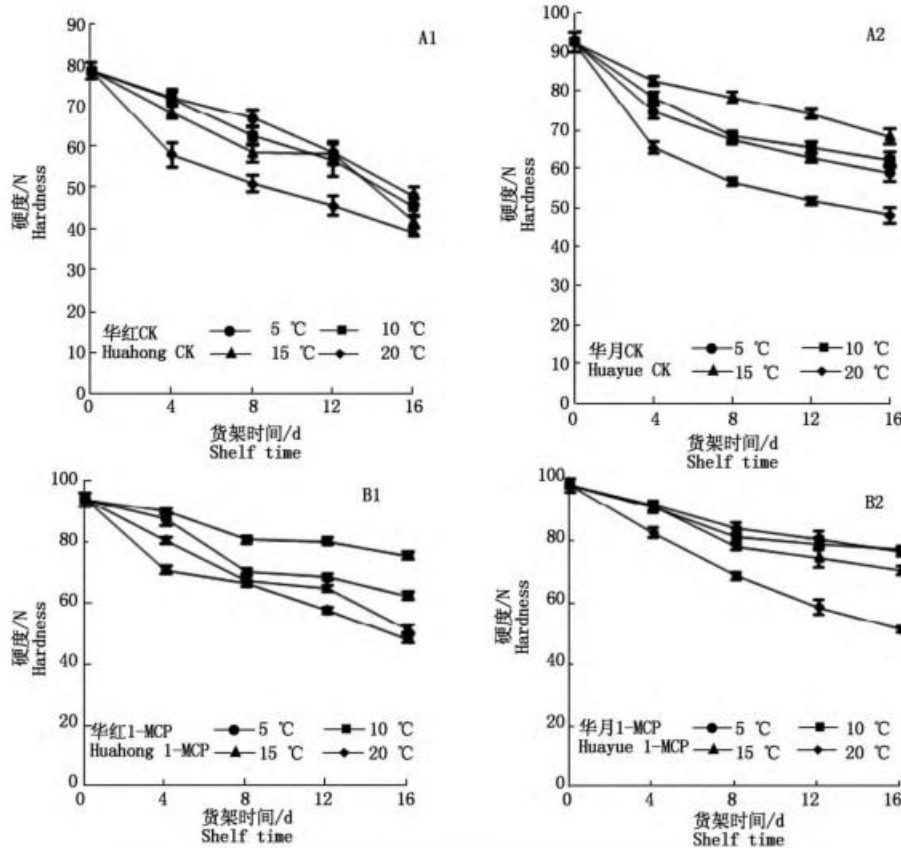


图1 不同货架温度结合1-MCP处理对华红、华月果肉硬度的影响

Fig.1 Effect of different shelf temperature combined with 1-MCP treatment on the flesh hardness of Huahong and Huayue

2.2 不同货架温度结合1-MCP处理对华红、华月弹性的影响

由图2可知,经1-MCP处理(图2-A1, A2)的华红、华月果实弹性均高于未处理组(图2-B1, B2),且不同处理组果实的弹性均随着货架时间和货架温度的增加呈下降趋势。在整个货架期间,华月果实弹性值变化幅度较华红小,4种货架温度对不同处理的华月果实弹性的影响无显著性差异($P>0.05$);华红CK组果实弹性在货架4d内变化不大,4d后随着货架

温度的增加,弹性较显著下降($P<0.05$),其中5℃的货架温度弹性始终较高,而处理组果实整个货架期间的弹性变化较小,除20℃的货架温度使华红弹性下降较快外,其他3种货架温度对果实弹性的影响无显著性差异。

2.3 不同货架温度结合1-MCP处理对华红、华月胶黏性的影响

由图3可知,苹果果肉胶黏性随着货架时间的增加而逐渐降低,整个货架期间,CK组(图3-A1, A2)

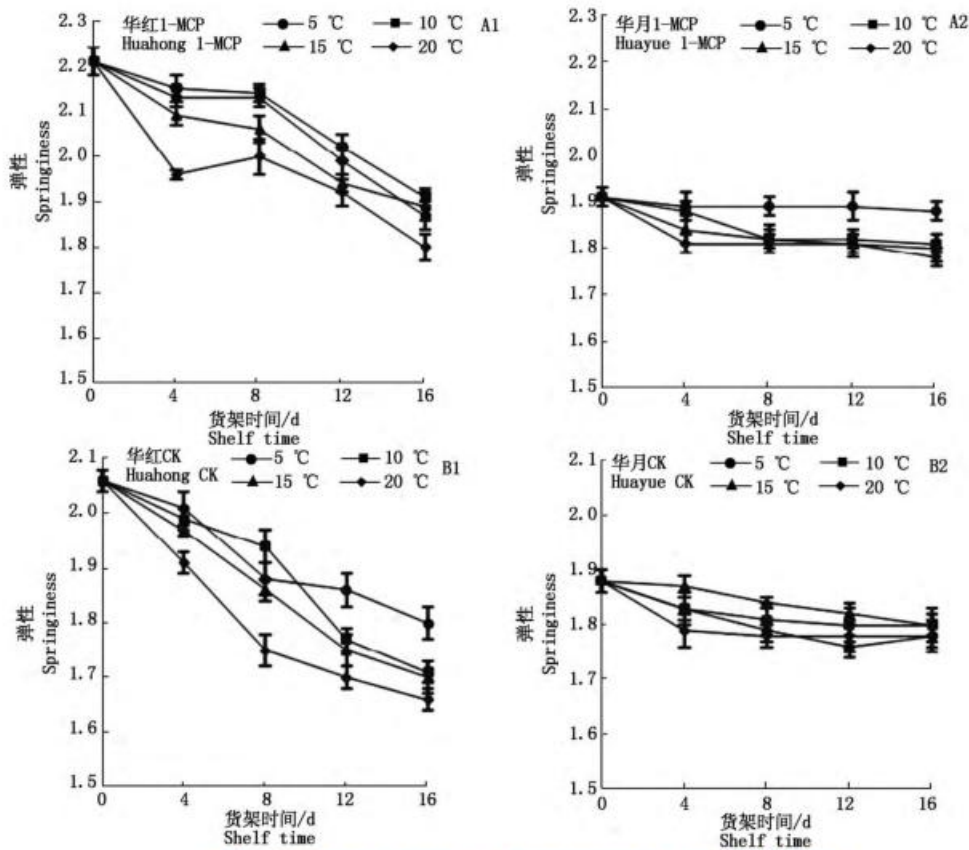


图 2 不同货架温度结合 1-MCP 处理对华红、华月弹性的影响

Fig.2 Effect of different shelf temperature combined with 1-MCP treatment on the springiness of Huahong and Huayue

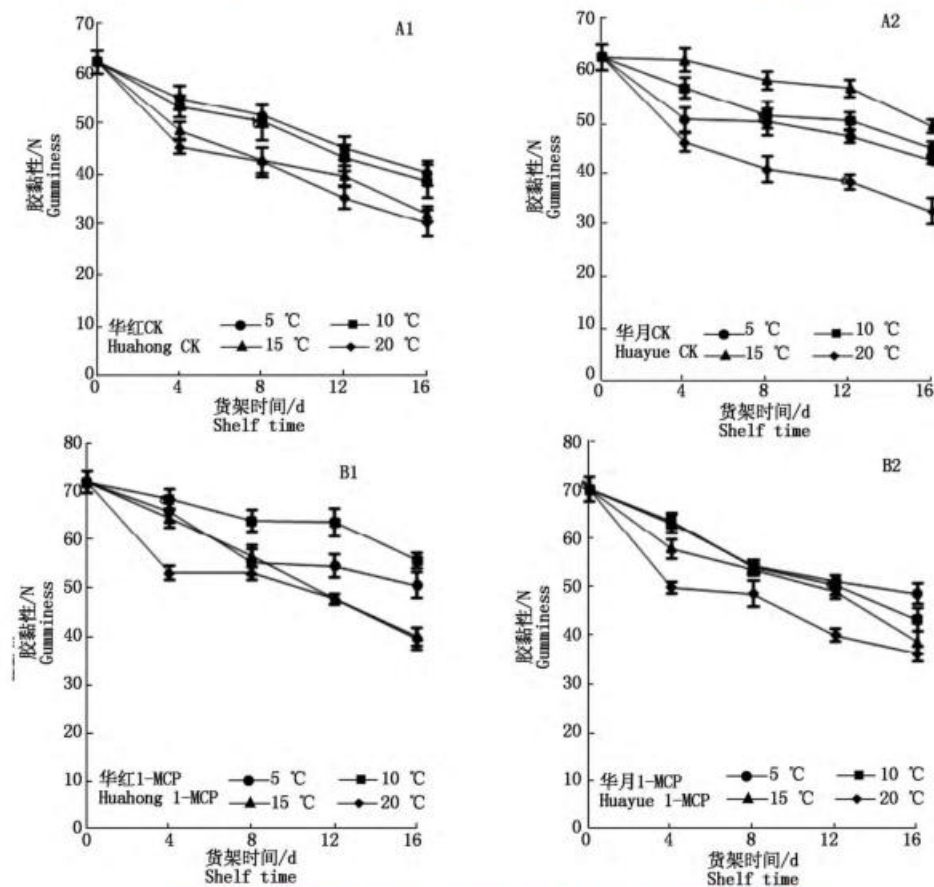


图 3 不同货架温度结合 1-MCP 处理对华红、华月胶黏性的影响

Fig.3 Effect of different shelf temperature combined with 1-MCP treatment on the gumminess of Huahong and Huayue

的华红果实胶黏性在货架温度 5, 10 °C 降幅分别为 35.3%, 38.0%, 二者无显著性差异, 但均显著高于另外 2 个温度 ($P < 0.05$)。货架 16 d 时胶黏性在 15, 20 °C 货架温度下降幅分别高达 48.4%, 51.4%。而华月果实胶黏性在 15 °C 的货架温度下保持最高, 货架 16 d 时降幅为 21.4%, 5, 10 °C 的胶黏性次之, 20 °C 胶黏性最低, 降幅达到 47.6%。处理组 (图 3-B1, B2) 的华红果实在 10 °C 的货架温度下的胶黏性最高, 货架 16 d 时降幅为 22.6%, 尤其在货架 4 d 后显著大于其他货架温度果实的胶黏性 ($P < 0.05$); 货架前 4 d, 华月在果实 10 °C 的货架温度下的胶黏性较高, 而在货架期 8~12 d, 5 °C 较高, 但均不显著, 货架 16 d, 5 °C 的货架温度胶黏性显著高于其他温度 ($P < 0.05$)。可以看出, 经 1-MCP 处理后的华月果实在货架期小于 12 d, 宜存放在 5~15 °C 的货架温度下; 若长期存放, 则货架温度应选择 5 °C, 这样有利于维持华月果实的胶黏性。不同货架温度下 CK 组的华红果实胶黏性低于华月果实, 而处理组华红果实胶黏性却高于华月果实, 这说明 1-MCP 处理对提高华红果实胶黏性的效果更佳。

2.4 不同货架温度结合 1-MCP 处理对华红、华月咀嚼性的影响

咀嚼性是指咀嚼果肉到可以吞咽时所需要的能量^[32]。由图 4 可知, 苹果果肉咀嚼性也随着货架时间的增加而逐渐降低, 处理组 (图 4-A1, A2) 果实咀嚼性均大于 CK 组 (图 4-B1, B2) 果实。CK 组华红果实在货架 4 d, 5, 10, 15 °C 等 3 个温度的咀嚼性差异不大, 但随着货架时间的增加, 咀嚼性显著下降 ($P < 0.05$), 其中货架温度 5 °C 可以较好地保持果实的咀嚼性, 降幅为 33.8%; 整个货架期, 华月果实咀嚼性在 15 °C 最佳, 货架 16 d 时降幅为 20.6%, 其次是 10 °C, 尤其在 12 d 前时, 15 °C 的咀嚼性显著大于其他温度 ($P < 0.05$), 在 16 d 与 10 °C 无显著性差异。处理组华红在货架 4 d, 10 °C 的咀嚼性最高, 20 °C 最低, 但在货架 4 d 后, 5, 10 °C 下的咀嚼性较高, 货架 16 d 时降幅分别为 29.1%, 29.3%, 15, 20 °C 的咀嚼性较低, 降幅分别高达 41.8%, 43.4%, 且二者均无显著性差异; 华月果实在 8 d 前 5 °C 的咀嚼性显著大于其他温度, 12 d 后与 10, 15 °C 差异不显著, 但显著大于 20 °C ($P < 0.05$)。

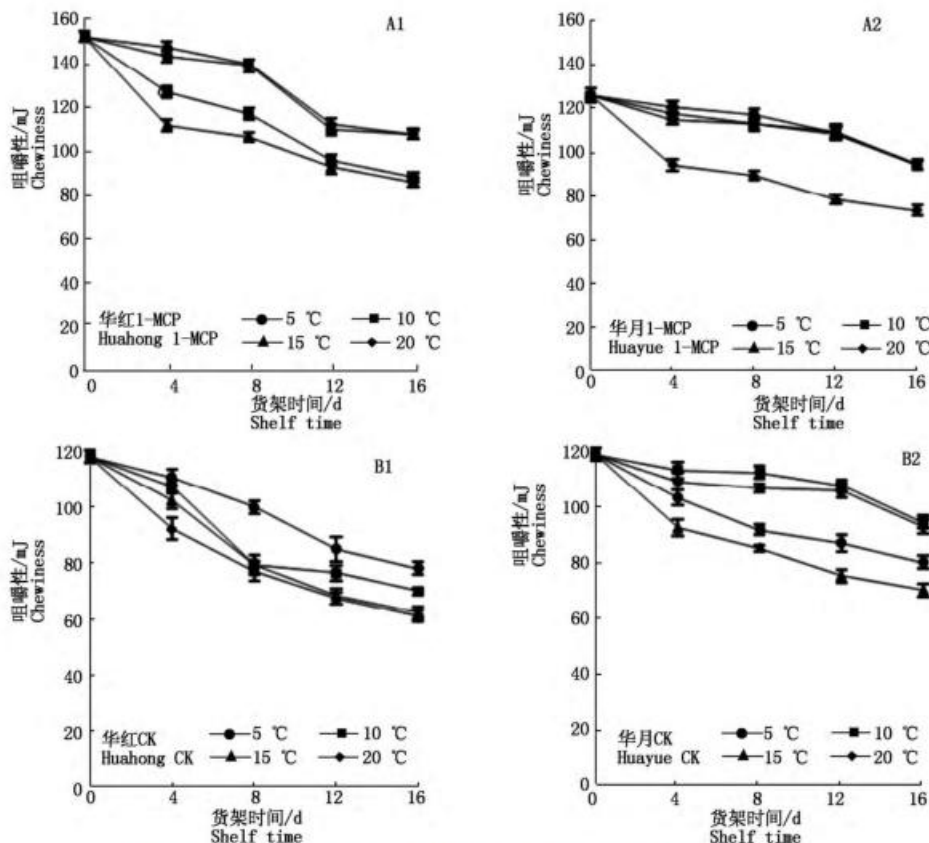


图 4 不同货架温度结合 1-MCP 处理对华红、华月咀嚼性的影响

Fig.4 Effect of different shelf temperature combined with 1-MCP treatment on the chewiness of Huahong and Huayue

2.5 不同货架温度结合 1-MCP 处理对华红、华月破裂功、破裂力和破裂位移的影响

由图 5 可知, 随着货架时间的增加, 苹果果实的破

裂功、破裂力和破裂位移均呈现下降趋势, 且处理组 (图 5-A1, A2, B1, B2, C1, C2) 果实破裂力、破裂功和破裂位移均大于 CK 组 (图 5-A3, A4, B3, B4, C3, C4) 果

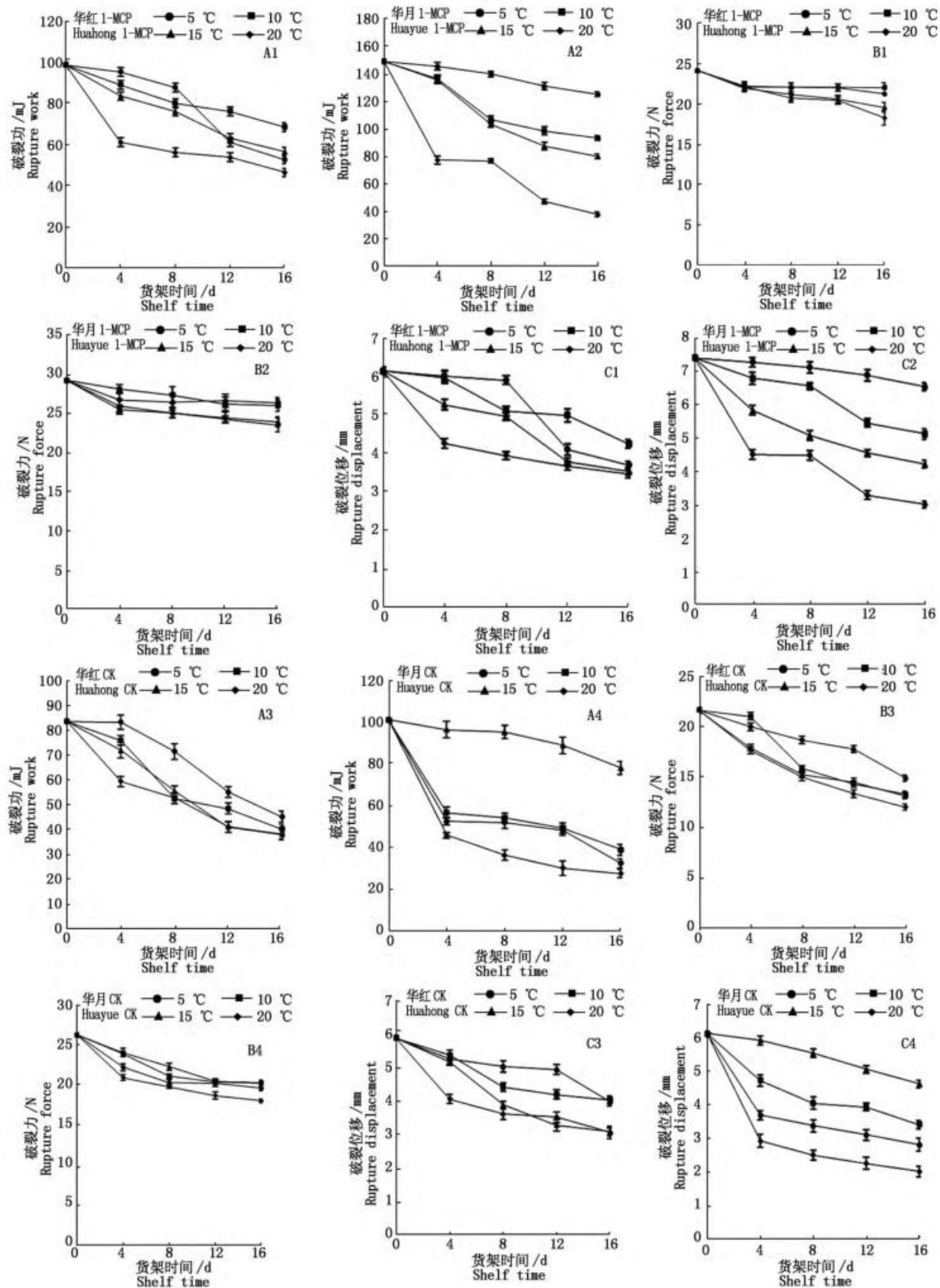


图 5 不同货架温度结合 1-MCP 处理对华红、华月破裂功、破裂力和破裂位移的影响

Fig. 5 Effect of different shelf temperature combined with 1-MCP treatment on rupture work, rupture force and rupture displacement of Huahong and Huayue

实。CK 组华红果实在 5 °C 货架温度下, 货架 4 d 后的破裂功、破裂力和破裂位移均显著高于其他温度 ($P < 0.05$), 货架 16 d 时降幅分别为 45.9%, 31.0%,

32.3%; 华月果实在整个货架期间, 15 °C 货架温度下的破裂功、破裂力和破裂位移最大, 货架 16 d 时降幅分别为 22.8%, 22.6%, 24.5%, 其次是 10 °C, 尤其

是 15 °C 货架温度下的破裂功显著高于其他温度 ($P < 0.05$), 说明未经处理的华红果实可短时间 (货架 8 d 内) 放置于 5 °C 货架温度下, 但不适宜长期存放, 而华月果实长期货架存放应置于 15 °C 或 10 °C 货架温度下。经 1-MCP 处理后华红果实破裂力在货架前 12 d, 5, 10 °C 货架温度下无显著差异性, 在 16 d 10 °C 显著高于 5 °C 货架温度; 破裂功和破裂位移在货架 8 d 前, 5 °C 货架温度显著高于其他温度 ($P < 0.05$), 但 8 d 后, 10 °C 货架温度最高。整个货架期间 10 °C 破裂功、破裂力和破裂位移降幅分别为 30.4%, 8.9%, 30.9%, 其次是 5 °C 破裂功、破裂力和破裂位移降幅分别为 46.5%, 12.1%, 39.9%。经 1-MCP 处理后的华月果实破裂功、破裂力和破裂位移在整个货架期间, 均在 5 °C 货架温度下最高, 降幅分别为 24.0%, 9.7%, 11.6%, 10 °C 货架温度次之, 其中破裂功在货架 8 d 前, 10, 15 °C 货架温度无显著差异, 20 °C 货架温度最低; 而破裂力在整个货架期间, 货架温度 5, 10 °C 下无显著性差异, 同时 15, 20 °C 下也无显著差异。

2.6 不同货架温度结合 1-MCP 处理对华红、华月屈服功、屈服力和屈服位移的影响

由图 6 可知, 随着货架时间的增加, CK 组和 1-MCP 处理组的果实屈服功、屈服力和屈服位移均呈现逐渐下降的趋势, CK 组华红果实在货架 4 d, 10 °C 货架温度下的屈服力高于其他温度 ($P < 0.05$), 屈服功则与 5 °C 货架温度下无显著性差异, 但货架超过 4 d 后, 5 °C 货架温度下的屈服力和屈服功最大; 屈服位移在货架前 8 d, 5, 10, 15 °C 的货架温度下无显著性差异, 但在货架 8 d 后, 5 °C 货架温度下的屈服位移显著高于其他温度 ($P < 0.05$), 整个货架期间 5 °C 屈服功、屈服力和屈服位移下降幅度最小, 降幅分别为 38.4%, 27.5%, 21.3%。CK 组华月果实整个货架期, 20 °C 货架温度下的屈服功、屈服力和屈服位移最小, 屈服功和屈服力最大的货架温度分别为 15, 10 °C, 15 °C 货架温度下的屈服位移最大, 在货架前 4 d, 与 10 °C 无显著性差异, 整个货架期间 15 °C 屈服功、屈服力和屈服位移下降幅度小, 降幅分别为 19.9%, 22.7%, 18.3%。经 1-MCP 处理后的华红果实屈服功、屈服力和屈服位移货架前 8 d, 5 °C 的货架温度较为适宜, 但随着货架时间延长, 10 °C 的货架温度可以较好地保持果实的屈服力和屈服功, 整个货架期间 5 °C 屈服功、屈服力和屈服位移降幅分别为 14.7%, 20.8%, 17.1%, 10 °C 屈服功、屈服力和屈服位移降幅分别为 15.2%, 17.3%, 18.3%。而经处理后的华月果实的屈服功在货架前

期 (8 d 前), 5 °C 的货架温度最大, 但与 10 °C 无显著性差异, 后期显著高于其他货架温度 ($P < 0.05$); 而屈服力在货架前期 (8 d 前) 则是在 10 °C 的货架温度最大, 随着货架时间的增加, 与 5 °C 的货架温度无显著差异; 在整个货架期间, 经 1-MCP 处理后的华月果实屈服位移在 5, 10 °C 的货架温度下显著高于其他 2 种货架温度, 而二者无显著差异, 整个货架期间 5 °C 屈服功、屈服力和屈服位移降幅分别为 19.7%, 15.9%, 13.5%, 10 °C 屈服功、屈服力和屈服位移降幅分别为 32.2%, 15.9%, 12.3%。

2.7 质地性状指标相关性分析

从表 1 可以看出, 各质地性状指标间存在极显著相关性 ($P < 0.01$), 其中弹性与硬度、破裂位移、屈服功、屈服力、屈服位移, 胶黏性、咀嚼性与破裂力, 咀嚼性与破裂功的关系紧密 ($r = 0.4 \sim 0.7$), 弹性与破裂功、破裂力的关系一般 ($r = 0.2 \sim 0.4$), 其余指标关系程度十分紧密 ($r > 0.7$), 说明各质地性状间均存在相关性, 适合进行因子分析, 但根据相关系数的大小可知紧密程度存在差异。

2.8 果实质地特性因子分析及综合评价

对测定苹果果实的 10 个质地性状指标进行因子分析, 得到各因子的方差贡献率 (表 2)。一般因子方差贡献率大于 85%, 即认为因子可以包含全部测量指标所具有的主要信息^[33]。由表 2 可知, 提取的因子 1、因子 2 方差贡献率分别为 79.870%, 11.324%, 累计方差贡献率达到 91.194%, 因此认为, 这 2 个因子可以较好地代替原始 10 个指标来评价不同处理苹果果实的质地品质。

从表 3 和图 7 可以看出, 果肉硬度、破裂功、破裂力、屈服功、屈服力、屈服位移和破裂位移在因子 1 正方向有较高载荷, 而弹性、咀嚼性和胶黏性在因子 2 正方向有较高载荷, 这与上述提及各指标均具有正相关性相吻合。可以推断, 因子 1 综合反映了果实穿刺参数指标, 而因子 2 则与 TPA 指标 (弹性、咀嚼性和胶黏性) 呈正相关, 主要反映 TPA 指标等对果实品质的影响, 其累计方差贡献率只有 11.324%, 对综合品质的影响重要性远远不及因子 1, 可将因子 1 定义为穿刺因子, 因子 2 定义为 TPA 因子。

通过对 2 个主因子进行得分模型构建, 见式①~②。

$$F_1 = 0.34ZX_1 + 0.22ZX_2 + 0.32ZX_3 + 0.32ZX_4 + 0.32ZX_5 + 0.31ZX_6 + 0.32ZX_7 + 0.33ZX_8 + 0.32ZX_9 + 0.34ZX_{10} \quad ①$$

$$F_2 = -0.01ZX_1 + 0.69ZX_2 + 0.29ZX_3 + 0.36ZX_4 - 0.25ZX_5 - 0.37ZX_6 - 0.04ZX_7 - 0.20ZX_8 - 0.28ZX_9 + 0.01ZX_{10} \quad ②$$

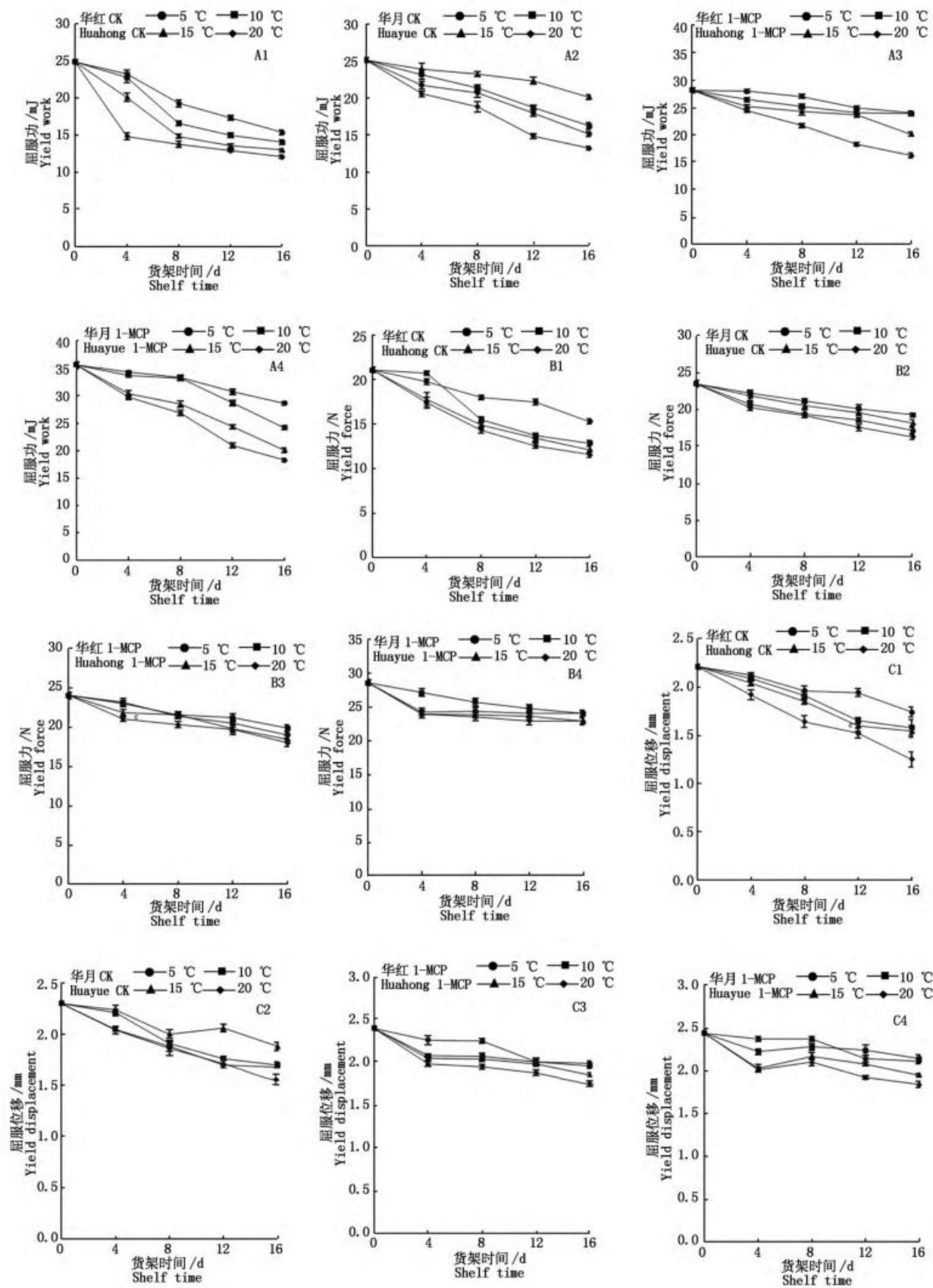


图6 不同货架温度结合1-MCP处理对华红、华月屈服功、屈服力和屈服位移的影响

Fig.6 Effect of different shelf temperature combined with 1-MCP treatment on yield work, yield force and yield displacement of Huahong and Huayue

表 1 不同处理不同货架温度下苹果质地性状指标之间相关性分析

Tab.1 Correlation analysis of apple texture indexes under different treatments and different shelf temperatures

质地指标 Texture index	硬度 Hardness	弹性 Springiness	胶黏性 Gumminess	咀嚼性 Chewiness	破裂功 Rupture work	破裂力 Rupture force	破裂位移 Rupture displacement	屈服功 Yield work	屈服力 Yield force	屈服位移 Yield displacement
硬度 Hardness	1.000									
弹性 Springiness	0.564**	1.000								
胶黏性 Gumminess	0.915**	0.754**	1.000							
咀嚼性 Chewiness	0.863**	0.829**	0.931**	1.000						
破裂功 Rupture work	0.861**	0.366**	0.736**	0.679**	1.000					
破裂力 Rupture force	0.845**	0.300**	0.662**	0.653**	0.808**	1.000				
破裂位移 Rupture displacement	0.864**	0.516**	0.816**	0.754**	0.938**	0.709**	1.000			
屈服功 Yield work	0.883**	0.464**	0.784**	0.763**	0.909**	0.900**	0.852**	1.000		
屈服力 Yield force	0.856**	0.401**	0.715**	0.717**	0.814**	0.978**	0.733**	0.920**	1.000	
屈服位移 Yield displacement	0.911**	0.619**	0.860**	0.846**	0.824**	0.841**	0.857**	0.884**	0.867**	1.000

注: ** .在 0.01 水平(双侧)上极显著相关($P < 0.01$)。

Note: ** .Extremely significant correlation at the 0.01 level ($P < 0.01$).

表 2 因子分析得到的方差贡献率

Tab.2 The total variance contribution calculated by factor analysis

因子 Component	初始特征值 Initial eigenvalues			提取平方和载入 Extraction sums of squared loadings			旋转平方和载入 Rotation sums of squared		
	合计 Total	方差/ % Variance	累计/ % Cumulative	合计 Total	方差/ % Variance	累计/ % Cumulative	合计 Total	方差/ % Variance	累计/ % Cumulative
1	7.987	79.870	79.870	7.987	79.870	79.870	5.789	57.889	57.889
2	1.132	11.324	91.194	1.132	11.324	91.194	3.331	33.305	91.194
3	0.420	4.202	95.396						
4	0.174	1.740	97.137						
5	0.106	1.060	98.197						
6	0.058	0.581	98.778						
7	0.052	0.515	99.293						
8	0.035	0.351	99.645						
9	0.023	0.230	99.874						
10	0.013	0.126	100.000						

表 3 旋转成分矩阵^a

Tab.3 Rotating component matrix

项目 Item	成分 Component	
	1	2
硬度 Hardness	0.802	0.537
弹性 Springiness	0.109	0.961
胶黏性 Gumminess	0.579	0.771
咀嚼性 Chewiness	0.521	0.822
破裂功 Rupture work	0.892	0.290
破裂力 Rupture force	0.941	0.173
破裂位移 Rupture displacement	0.772	0.476
屈服功 Yield work	0.899	0.359
屈服力 Yield force	0.912	0.270
屈服位移 Yield displacement	0.781	0.553

注:提取方法为主成分分析法。旋转方法为具有 Kaiser 标准化的最大变异法。a.在 3 迭代中收敛循环。

Note: Extraction method is principal component analysis. Rotation method is maximum variation method with Kaiser standardization. a. Converges the loop in iteration 3.

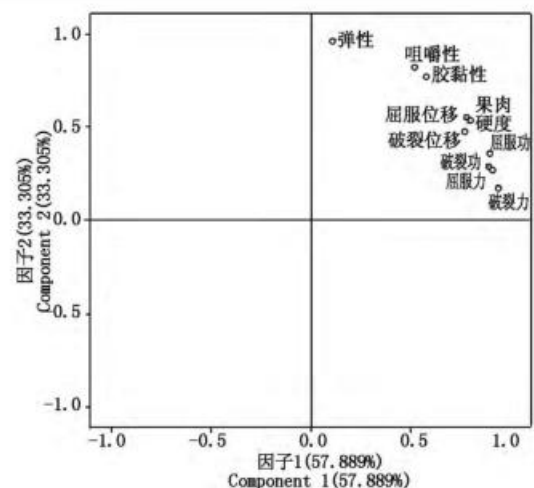


图 7 因子旋转示意

Fig.7 Biplot of principal component analysis

如上所述,2 个公因子分别从穿刺和 TPA 方面反映了对不同处理苹果的品质情况,再以各公因子对应的方差贡献率为权数得到如下综合得分计算公式。

$$F = \frac{7.987}{9.119} F_1 + \frac{1.132}{9.119} F_2 \quad (3)$$

利用公式③计算各处理华红(表4)、华月(表5)苹果的综合评价,综合得分越高,说明质地品质越佳。根据表4、5可知,CK组和1-MCP处理组果实在

表4 不同处理华红苹果因子得分和综合排序

Tab.4 Scores and rankings of Huahong apple with different treatments during storage shelf

处理方式 Handling	货架温度 Shelf temperature	货架时间 Shelf time	F ₁	F ₂	F	排序 Sorting
CK	5	0	1.54	1.20	1.50	1
		4	0.40	0.94	0.46	2
		8	-1.03	0.46	-0.85	5
		12	-2.09	0.25	-1.80	6
		16	-3.75	0.28	-3.25	10
	10	0	1.54	1.20	1.50	1
		4	0.31	0.65	0.35	3
		8	-2.33	1.10	-1.90	8
		12	-3.78	0.31	-3.27	11
		16	-4.77	0.02	-4.18	14
	15	0	1.54	1.20	1.50	1
		4	-0.79	0.94	-0.58	4
		8	-3.14	0.62	-2.67	9
		12	-4.44	0.11	-3.87	13
		16	-5.60	-0.18	-4.93	16
	20	0	1.54	1.20	1.50	1
		4	-2.24	0.73	-1.87	7
		8	-4.03	0.12	-3.52	12
		12	-5.19	-0.10	-4.56	15
		16	-6.37	-0.31	-5.61	17
1-MCP	5	0	2.47	-0.48	2.10	1
		4	-0.71	-0.19	-0.64	6
		8	-1.72	-0.30	-1.54	10
		12	-2.59	-0.41	-2.32	13
		16	-3.44	-0.17	-3.04	15
	10	0	2.47	-0.48	2.10	1
		4	0.47	-0.30	0.37	4
		8	-0.95	-0.17	-0.86	7
		12	-1.64	0.00	-1.43	9
		16	-2.57	-0.10	-2.26	12
	15	0	2.47	-0.48	2.10	1
		4	1.59	-0.23	1.36	2
		8	0.62	-0.22	0.51	3
		12	0.01	-0.11	-0.01	5
		16	-1.25	-0.36	-1.14	8
	20	0	2.47	-0.48	2.10	1
		4	-1.72	-0.44	-1.56	11
		8	-2.89	-0.42	-2.58	14
		12	-3.95	-0.25	-3.49	16
		16	-4.83	-0.26	-4.26	17

不同货架温度下的综合评分均随着货架时间的延长而减小,由表4可知,华红果实在相同货架时间内,CK组在5℃货架温度下,果实综合评分高于其他温度,其次是10℃;经1-MCP处理的果实则是在货架温度15℃时,其综合评分最高,其次是10℃。由表5可知,华月果实在相同货架时间,CK组在10℃货架温度下,果实综合评分较高,其次是5,15℃;而处理组的果实则是在货架温度5℃下,其综合评分最高,其次是10℃。

表5 不同处理华月苹果因子得分和综合排序

Tab.5 Scores and rankings of Huayue apple with different treatments during storage shelf

处理方式 Handling	货架温度 Shelf temperature	货架时间 Shelf time	F ₁	F ₂	F	排序 Sorting
CK	5	0	3.99	2.15	3.76	1
		4	2.93	1.68	2.77	2
		8	1.84	1.58	1.80	4
		12	-0.07	0.73	0.03	8
		16	-1.00	0.24	-0.84	13
	10	0	3.99	2.15	3.76	1
		4	2.73	2.04	2.64	3
		8	1.78	1.99	1.80	4
		12	0.92	0.99	0.93	6
		16	-0.12	0.31	-0.06	10
	15	0	3.99	2.15	3.76	1
		4	1.57	1.49	1.56	5
		8	0.57	1.15	0.64	7
		12	-0.97	0.27	-0.81	12
		16	-2.36	0.04	-2.06	15
	20	0	3.99	2.15	3.76	1
		4	-0.05	0.52	0.02	9
		8	-0.64	0.96	-0.44	11
		12	-1.77	0.38	-1.50	14
		16	-3.22	-0.13	-2.84	16
1-MCP	5	0	5.15	-1.39	4.34	1
		4	3.92	-1.17	3.29	2
		8	3.28	-1.35	2.70	4
		12	2.39	-1.40	1.92	7
		16	1.69	-1.61	1.28	8
	10	0	5.15	-1.39	4.34	1
		4	3.77	-1.48	3.12	3
		8	2.62	-1.70	2.09	5
		12	1.62	-1.44	1.24	9
		16	0.55	-1.67	0.27	11
	15	0	5.15	-1.39	4.34	1
		4	2.41	-1.34	1.95	6
		8	1.44	-1.15	1.12	10
		12	0.46	-1.05	0.27	11
		16	-0.82	-1.32	-0.89	14
	20	0	5.15	-1.39	4.34	1
		4	0.64	-1.48	0.38	12
		8	0.11	-1.41	-0.08	13
		12	-1.77	-1.26	-1.70	15
		16	-2.64	-1.36	-2.48	16

3 结论与讨论

不同成熟期、耐贮性的苹果,其质地参数在货架期间变化差异较大且 1-MCP 处理后的效果也存在显著差异。本研究探究了 1-MCP 处理结合不同货架温度对华红、华月货架期的有效性,以更好地维持果实货架期间的质地性状,结果显示,经 1-MCP 处理可延长华红、华月果实质地性状的货架期,尤其对华红果实效果更佳。曹森等^[34]对东红猕猴桃使用不同浓度 1-MCP 处理后,发现 0.75 $\mu\text{L/L}$ 的 1-MCP 能够更好地保持东红猕猴桃的货架期品质。张靖国等^[35]对翠冠梨采用 3 种不同浓度的 1-MCP 处理,结果表明,1-MCP 处理可明显提高好果率,延长翠冠梨常温货架期至 20 d。弹性是指让果实承受一定的压力,在去掉压力时恢复到原来状态的能力;胶黏性是指果肉在持续咀嚼过程中的黏稠度;咀嚼性是指咀嚼果肉到可以吞咽时所需要的能量^[36]。除弹性外,未经处理的华月果实的质地性状指标均优于华红果实,其中胶黏性和咀嚼性经 1-MCP 处理后,反而低于华红果实,说明 1-MCP 处理对华红果实胶黏性和咀嚼性维持效果尤为明显。苹果质地性状维持的最佳温度和时间有一定共性,未经处理的华红果实最佳货架温度为 5 $^{\circ}\text{C}$,而处理后为 15 $^{\circ}\text{C}$;华月果实质地性状均可在 10 $^{\circ}\text{C}$ 下表现较好,由此也可知,1-MCP 处理可较好保持苹果果实性状,尤其对华红果实效果更明显。这与薛友林等^[37]研究 1-MCP 处理对不同地域寒富苹果质地的影响,发现经 1-MCP 处理后,可将寒富苹果的货架时间延长至 28 d,且山地寒富苹果在硬度、胶性、脆度、咀嚼性及果皮脆度上均高于平地寒富苹果具有一致性。结合对果实的感官评价,华红果实 CK 组最适宜货架温度 5 $^{\circ}\text{C}$ 下可存放 8 d,而经 1-MCP 处理后,可延长至 16 d,货架温度 15 $^{\circ}\text{C}$ 即可。

货架期内各指标参数变化趋势的相关性分析结果有助于综合评价苹果果实的最佳货架期。本试验中,华红和华月果实质地参数间存在极显著相关,表明可以很好地反映 2 个不同品种苹果果肉在不同货架温度和时间下的质地变化和差异。马媛媛等^[38]通过 TPA 测定徐香、金丽、华特、甜华特果 4 个品种猕猴桃果实主要质地参数,发现 4 个品种猕猴桃果实的硬度、内聚性、弹性、咀嚼性、回复性之间呈显著或极显著正相关。吴萌萌等^[19]在研究华硕、华冠、美八和华瑞 4 个苹果品种果实贮藏期间质地软化特性中发现,4 个苹果品种之间弹性、黏着性、胶着度和咀嚼度与硬度和脆度的变化趋势基本一致,果肉硬度、脆度、胶着度、咀嚼度之间呈显著正相关。

因子分析作为多指标综合评价中一种常用的多元

统计方法,其主要是利用降维的过程,将原始信息进行缩减,多个指标变成少量的几个相互独立的新指标,使得各主成分间互不相关又能反映各因子的信息,再根据各样品的因子得分进行综合评价,使得评价结果更加客观、合理,可以达到简化指标因子,合理有效评价果实品质的目的^[39-42]。本研究利用因子分析方法,对果实质地指标进行降维,发现 F_1 (穿刺因子)和 F_2 (TPA 因子)2 个因子可以较好地代替原始 10 个指标来评价不同处理苹果的质地品质。根据主因子得分可知,未经处理的华红果实最适宜货架温度为 5 $^{\circ}\text{C}$,经处理的果实温度为 15 $^{\circ}\text{C}$;而华月果实未经处理最适宜的货架温度为 10 $^{\circ}\text{C}$,经 1-MCP 处理果实的适宜货架温度为 5, 10 $^{\circ}\text{C}$,可见处理后的华红果实货架温度远高于 CK 组,而华月果实则未出现较为明显的变化,说明 1-MCP 对华红果实质地品质影响较大,可较好地维持果实质地品质,而对华月果实质地的维持有一定的效果,但是效果并不显著。

1-MCP 处理可延长华红、华月果实质地性状的货架期,尤其对华红果实效果更佳。华红果实 CK 组最适宜货架温度 5 $^{\circ}\text{C}$ 下可存放 8 d,而经 1-MCP 处理后,可延长至 16 d,货架温度 15 $^{\circ}\text{C}$ 即可,可见 1-MCP 处理可极大延长华红果实的货架期,对货架温度要求也明显降低;华月果实 CK 组和处理组都可选择 10 $^{\circ}\text{C}$ 的货架温度。

参考文献:

- [1] 王昆.苹果良种引种指导[M].北京:金盾出版社,2013. Wang K.Guidance for introduction of fine apple varieties [M].Beijing:Jindun Press,2013.
- [2] 贾朝爽,王志华,王文辉,姜云斌.辽宁兴城 3 个中熟苹果品种鲜销采收期的确定[J].中国南方果树,2020,49(5):114-119.doi:10.13938/j.issn.1007-1431.20200338. Jia C S, Wang Z H, Wang W H, Jiang Y B.Determination of the best harvest time of three medium-ripe apple varieties [J].South China Fruits,2020,49(5):114-119.
- [3] Watkins C B.The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables [J].Biotechnology Advances,2006,24(4):389-409.doi:10.1016/j.biotechadv.2006.01.005.
- [4] Sisler E C, Serek M.Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: Recent developments [J].Physiologia Plantarum,1997,100(3):577-582.doi:10.1111/j.1399-3054.1997.tb03063.x.
- [5] 张群,葛可达,张维,李绍华,王婷.1-MCP 结合低温贮藏对猕猴桃采后品质的影响[J].湖南农业科学,2020(3):61-66.doi:10.16498/j.cnki.hnnykx.2020.003.017. Zhang Q, Ge K D, Zhang W, Li S H, Wang T.Effect of 1-MCP combined with low temperature storage on postharvest quality of kiwifruit [J].Hunan Agricultural Sciences,2020(3):61-66.
- [6] 王志华,包熬民,王文辉,王宝侠,王阳,佟伟,姜云斌.成熟度结合 1-MCP 处理与不同低温贮藏对塞外红苹果的保鲜效果[J].食品科技,2019,44(9):44-49.doi:10.13684/j.cnki.spkj.2019.09.009. Wang Z H, Bao A M, Wang W H, Wang B X, Wang Y, Tong W, Jiang Y B.Effects of maturity combined with 1-MCP treatment and different low temperature storage on

- preservation of Saiwaihong apple fruit [J]. *Food Science and Technology*, 2019, 44 (9) :44-49.
- [7] 彭勇,王天博,班清凤,石晶盈,王庆国.1-MCP和货架温度对乔纳金苹果贮后品质的影响[J].保鲜与加工,2019,19(3):15-23.doi:10.3969/j.issn.1009-6221.2019.03.003.
Peng Y, Wang T B, Ban Q F, Shi J Y, Wang Q G. Effect of 1-MCP and shelf temperature on the shelf quality of Jonagold apple [J]. *Storage and Process*, 2019, 19 (3) :15-23.
- [8] 冯云霄,何近刚,程玉豆,李丽梅,李学营,冯建忠,关军锋.1-MCP处理对早熟苹果常温贮藏生理及品质的影响[J].现代食品科技,2019,35(12):130-136,101.doi:10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.12.017.
Feng Y X, He J G, Cheng Y D, Li L M, Li X Y, Feng J Z, Guan J F. Effects of 1-MCP treatment on the physiology and quality of early-maturing apples stored at ambient temperature [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2019, 35 (12) :130-136, 101.
- [9] 王晓飞,杨艳青,任小林,孙海亭,向春燕,孙炜高.1-MCP对粉红女士苹果果实采后生理及其品质的影响[J].食品科学,2014,35(18):219-223.doi:10.7506/spkx1002-6630-201418042.
Wang X F, Yang Y Q, Ren X L, Sun H T, Xiang C Y, Sun W S. Effects of 1-MCP on postharvest physiology and quality of Pink lady apple fruits [J]. *Food Science*, 2014, 35 (18) :219-223.
- [10] Little C R, Holmes R J. Storage technology for apples and pears [M]. Australia: Highway Press Pty. Ltd., 2000.
- [11] 高海生,贾艳茹,魏建梅,冉辛拓,乐文全.用物性分析仪检测鸭梨和京白梨果实采后质地的变化[J].园艺学报,2012,39(7):1359-1364.doi:10.16420/j.issn.0513-353x.2012.07.020.
Gao H S, Jia Y R, Wei J M, Ran X T, Yue W Q. Studies on the post-harvested fruit texture changes of Yali and Jingbaili pears by using texture analyzer [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2012, 39 (7) :1359-1364.
- [12] 王斐,姜淑苓,陈秋菊,欧春青,张文江,郝宁宁,马力,李连文.脆肉梨果实成熟过程中质地性状的变化[J].果树学报,2016,33(8):950-958.doi:10.13925/j.cnki.gsx.20160008.
Wang F, Jiang S L, Chen Q J, Ou C Q, Zhang W J, Hao N N, Ma L, Li L W. Changes in fruit texture of crisp-flesh pear during fruit ripening [J]. *Journal of Fruit Science*, 2016, 33 (8) :950-958.
- [13] 陈双建,赵雪辉,成继东,安栋,李智,郜敏,司三梅.署脆红桃果实质地性状分析[J].中国农学通报,2019,35(23):40-44.
Chen S J, Zhao X H, Cheng J D, An D, Li Z, Gao M, Si S M. The texture characters of Shucuihong peach fruit [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2019, 35 (23) :40-44.
- [14] 李里特.食品物性学[M].北京:中国农业出版社,2001:112-115.
Li L T. Food physical properties [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2001: 112-115.
- [15] 李赛,贺晓光.不同贮藏条件下小玲西瓜果实品质力学特性的比较研究[J].新疆农业大学学报,2011,34(1):36-39.doi:10.3969/j.issn.1007-8614.2011.01.009.
Li S, He X G. Comparative research of fruit quality and mechanical properties for Xiaoling watermelon under different storage conditions [J]. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2011, 34 (1) :36-39.
- [16] Sirisomboon P, Tanaka M, Akinaga T, Kojima T. Evaluation of the textural properties of Japanese pear [J]. *Journal of Texture Studies*, 2000, 31 (6) :665-677.doi:10.1111/j.1745-4603.2000.tb01027.x.
- [17] 娄来峰,吴杰,张慧,吕吉光,杨雪梅.香梨质地的多面分析及综合评价[J].石河子大学学报(自然科学版),2017,35(3):373-377.doi:10.13880/j.cnki.65-1174/n.2017.03.0018.
- Lou L F, Wu J, Zhang H, Lü J G, Yang X M. Principal component analysis and comprehensive evaluation of Korla pear texture [J]. *Journal of Shihezi University (Natural Science)*, 2017, 35 (3) :373-377.
- [18] 王燕霞,王晓蔓,关军锋.梨果肉质地性状分析[J].中国农业科学,2014,47(20):4056-4066.doi:10.3864/j.issn.0578-1752.2014.20.014.
Wang Y X, Wang X M, Guan J F. Flesh texture characteristic analysis of pear [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47 (20) :4056-4066.
- [19] 吴萌萌,张瑞萍,史亚娟,董海清,丁体玉,张恒涛,高启明,周喆,阎振立.4个苹果品种贮藏期间果实质地和营养成分的变化[J].果树学报,2020,37(9):1404-1412.doi:10.13925/j.cnki.gsx.20200106.
Wu M M, Zhang R P, Shi Y J, Dong H Q, Ding T Y, Zhang H T, Gao Q M, Zhou Z, Yan Z L. Changes of flesh texture and nutritional components of four apple cultivars during storage [J]. *Journal of Fruit Science*, 2020, 37 (9) :1404-1412.
- [20] 贾朝爽,包熬民,王志华,王文辉,王宝侠,佟伟.1-MCP对塞外红苹果贮藏品质的影响[J].包装工程,2019,40(19):57-65.doi:10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.19.008.
Jia C S, Bao A M, Wang Z H, Wang W H, Wang B X, Tong W. Effect of 1-MCP treatment on storage quality of Saiwaihong apples [J]. *Packaging Engineering*, 2019, 40 (19) :57-65.
- [21] 张鹏,秦骅,李江阔,田世平,颜廷才,李博强.1-MCP、乙烯吸收剂双控对富士苹果贮后货架品质的影响[J].中国食品学报,2019,19(9):179-188.doi:10.16429/j.1009-7848.2019.09.021.
Zhang P, Qin H, Li J K, Tian S P, Yan T C, Li B Q. Effect of 1-MCP combined with ethylene absorbent on the shelf quality of fuji apple after cold storage [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2019, 19 (9) :179-188.
- [22] 彭勇,陈义伦,王庆国,石晶盈,彭福田,冀成法,张小燕.桃品种间质地、水分及细胞壁组分的比较[J].西北农业学报,2019,28(11):1836-1844.doi:10.7606/j.cnki.1004-1389.2019.11.012.
Peng Y, Chen Y L, Wang Q G, Shi J Y, Peng F T, Ji C F, Zhang X Y. Comparative study on texture, water status and cell wall components of peach cultivars [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2019, 28 (11) :1836-1844.
- [23] 刘莹,曹森,马超,姜润,王宇,曹梅芳,王瑞.自发气调包装对采后“十月红”桃质构性能的影响[J].江苏农业科学,2019,47(13):230-234.doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.13.056.
Liu Y, Cao S, Ma C, Jiang R, Wang Y, Cao M F, Wang R. Effect of modified atmosphere packaging on post-harvest texture properties of Shiyuehong peaches [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2019, 47 (13) :230-234.
- [24] 李永红,张立莎,常瑞丰,王召元,陈湖,刘国俭.质地多方面分析三个桃品种果实采后质地的变化[J].北方园艺,2016(4):133-137.doi:10.11937/bfy.201604034.
Li Y H, Zhang L S, Chang R F, Wang Z Y, Chen H, Liu G J. Change of texture properties of three peach varieties during postharvest storage by texture profile analysis [J]. *Northern Horticulture*, 2016 (4) :133-137.
- [25] 潘好斌,刘东,邵青旭,高歌,齐红岩.不同品种薄皮甜瓜成熟期果实质地品质分析及综合评价[J].食品科学,2019,40(21):35-42.doi:10.7506/spkx1002-6630-20181025-299.
Pan H B, Liu D, Shao Q X, Gao G, Qi H Y. Analysis and comprehensive evaluation of textural quality of ripe fruits from different varieties of oriental melon (*Cucumis melo* var. *maku-uwa makino*) [J]. *Food Science*, 2019, 40 (21) :35-42.

- [26] 杨植,王振磊.基于TPA法评价枣果实质地及聚类分析[J].新疆农业科学,2019,56(10):1860-1868. doi: 10.6048/j.issn.1001-4330.2019.10.011.
Yang Z, Wang Z L. Evaluation and cluster analysis of jujube fruit texture based on TPA method [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2019, 56(10): 1860-1868.
- [27] 许玲,魏秀清,章希娟,许家辉.质构仪整果穿刺法评价3个毛叶枣品种果实质地参数[J].福建农业学报,2018,33(6):621-625. doi: 10.19303/j.issn.1008-0384.2018.06.014.
Xu L, Wei X Q, Zhang X J, Xu J H. Instrumental measurements and texture evaluation on fruits from three varieties of *Zizyphus mauritiana* [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2018, 33(6): 621-625.
- [28] 郭禹.西瓜果肉质地差异性分析[D].哈尔滨:东北农业大学,2020. doi: 10.27010/d.cnki.gdbnu.2020.000115.
Guo Y. Analysis on texture difference of watermelon flesh [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2020.
- [29] 宋肖琴,张波,徐昌杰,张九凯,李鲜,陈昆松.采后枇杷果实的质构变化研究[J].果树学报,2010,27(3):379-384. doi: 10.13925/j.cnki.gsx.2010.03.009.
Song X Q, Zhang B, Xu C J, Zhang J K, Li X, Chen K S. Texture profile analysis of postharvest loquat fruit [J]. *Journal of Fruit Science*, 2010, 27(3): 379-384.
- [30] 谢林君,成果,周咏梅,谢太理,张劲.阳光玫瑰冬葡萄贮藏期果实质构特性变化研究[J].南方园艺,2021,32(1):14-20. doi: 10.3969/j.issn.1674-5868.2021.01.003.
Xie L J, Cheng G, Zhou Y M, Xie T L, Zhang J. Study on changes of fruit texture characteristics of sunshine rose winter grape during storage [J]. *Southern Horticulture*, 2021, 32(1): 14-20.
- [31] 陈青,励建荣.杨梅果实储存过程中质地变化规律的研究[J].中国食品学报,2009,9(1):66-71. doi: 10.16429/j.1009-7848.2009.01.031.
Chen Q, Li J R. Research on texture change regularity of the Chinese bayberry during storage [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2009, 9(1): 66-71.
- [32] Szczesniak A S. Texture is a sensory property [J]. *Food Quality and Preference*, 2002, 13(4): 215-225. doi: 10.1016/S0950-3293(01)00039-8.
- [33] 张文彤,董伟.统计分析高级教程[M].北京:高等教育出版社,2014:214.
Zhang W T, Dong W. Advanced course of statistical analysis [M]. Beijing: Higher Education Press, 2014: 214.
- [34] 曹森,江彤,马超,江盼,雷霖卿,王瑞.1-MCP处理对东红猕猴桃货架期品质的影响[J].北方园艺,2021(4):101-106. doi: 10.11937/bfyy.20201487.
Cao S, Jiang T, Ma C, Jiang P, Lei J Q, Wang R. Effects of 1-MCP treatment on shelf-life quality of Donghong kiwifruit [J]. *Northern Horticulture*, 2021(4): 101-106.
- [35] 张靖国,陈启亮,杨晓平,范净,胡红菊.1-MCP处理对翠冠梨货架期品质的影响[J].湖北农业科学,2020,59(21):121-123. doi: 10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2020.21.025.
Zhang J G, Chen Q L, Yang X P, Fan J, Hu H J. Effects of 1-MCP treatment on shelf life quality of Cuiguang pear [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2020, 59(21): 121-123.
- [36] Szczesniak A S. Texture is a sensory property [J]. *Food Quality and Preference*, 2002, 13(4): 215-225. doi: 10.1016/S0950-3293(01)00039-8.
- [37] 薛友林,张敏,张鹏,李江阔,李博强,徐勇.1-MCP对不同地域寒富苹果质地的响应[J].包装工程,2019,40(11):33-41. doi: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.11.005.
Xue Y L, Zhang M, Zhang P, Li J K, Li B Q, Xu Y. Response of 1-MCP to the texture of Hanfu apple in different regions [J]. *Packaging Engineering*, 2019, 40(11): 33-41.
- [38] 马媛媛,陆玲鸿,古咸彬,宋根华,张慧琴.基于TPA的猕猴桃质地差异分析及贮藏性评价[J].果树学报,2021,38(9):1579-1589. doi: 10.13925/j.cnki.gsx.20210019.
Ma Y Y, Lu L H, Gu X B, Song G H, Zhang H Q. Texture difference and storage characteristics evaluation based on texture profile analysis in kiwifruits [J]. *Journal of Fruit Science*, 2021, 38(9): 1579-1589.
- [39] 董星光,田路明,曹玉芬,张莹,齐丹.我国南方砂梨主产区主栽品种果实品质因子分析及综合评价[J].果树学报,2014,31(5):815-822. doi: 10.13925/j.cnki.gsx.201400023.
Dong X G, Tian L M, Cao Y F, Zhang Y, Qi D. Factor analysis and comprehensive evaluation of fruit quality in cultivars of *Pyrus pyrifolia* (Burm.f.) Nakai from South China [J]. *Journal of Fruit Science*, 2014, 31(5): 815-822.
- [40] Chaib J, Devaux M F, Grotte M G, Robini K, Causse M, Lahaye M, Marty I. Physiological relationships among physical, sensory, and morphological attributes of texture in tomato fruits [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2007, 58(8): 1915-1925. doi: 10.1093/jxb/erm046.
- [41] Bojarian M, Asadi-Ghameh H A, Golabadi M. Factor analysis, stepwise regression and path coefficient analyses of yield, yield-associated traits, and fruit quality in tomato [J]. *International Journal of Vegetable Science*, 2019, 25(6): 542-553. doi: 10.1080/19315260.2018.1551260.
- [42] 木合塔尔·扎热,阿卜杜许库尔·牙合甫,故丽米热·卡克什,马合木提·阿不来提,哈地尔·依沙克.新疆地方品种梨果实品质性状综合评价[J].农业工程学报,2021,37(7):278-285. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2021.07.034.
Muhtar Zari, Abdulkur Yakup, Mahmut Ablat, Gulmira Kakix, Kadir Esah. Comprehensive evaluation of fruit quality traits of local pear cultivars in Xinjiang Region of China [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2021, 37(7): 278-285.