

1-MCP 对不同地域寒富苹果质地的响应

薛友林¹, 张敏¹, 张鹏², 李江阔², 李博强³, 徐勇³

(1. 辽宁大学 轻型产业学院, 沈阳, 110036; 2. 国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津),
天津市农产品采后生理与贮藏保鲜重点实验室, 天津 300384;
3. 中国科学院植物研究所资源植物重点实验室, 北京 100093)

摘要: **目的** 研究 1-甲基环丙烯(1-Methylcyclopropene, 1-MCP)处理及山地种植对寒富苹果质地的影响。**方法** 以平地寒富和山地寒富果实为实验材料,应用质地多面分析(TPA)和穿刺法(TA)对苹果果肉质地进行研究,应用 SIMCA 软件对原始数据进行多变量分析,包括主成分分析(PCA)和正交-偏最小二乘判别分析(OPLS-DA),寻找经不同处理后苹果果实的质地差异,并探讨 1-MCP 对 2 种寒富果实成熟软化及相关细胞壁酶(纤维素酶)、胞内酶(淀粉酶)活性的影响。**结果** 多变量统计分析结果显示,平地和山地寒富果实的质地脆度、硬度、果皮脆性、胶性、咀嚼性等 5 项参数上差异显著。与对照组(CK)相比,山地寒富苹果在脆度、硬度、胶性等参数上显著高于平地寒富苹果($P < 0.05$),经 1-MCP 处理后,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。1-MCP 处理可以显著抑制果实的软化,以及纤维素酶(Cx)和淀粉酶的活性,将贮后货架时间延长至 28 d,其中山地寒富果实的纤维素酶(Cx)和淀粉酶活性低于平地寒富果实。**结论** 经 1-MCP 处理后,山地寒富果实质地好于平地寒富果实,更能延缓果实的软化。

关键词: 寒富; 山地种植; 质地; OPLS-DA; 货架期

中图分类号: S661.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)11-0033-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.11.005

Response of 1-MCP to the Texture of Hanfu Apple in Different Regions

XUE You-lin¹, ZHANG Min¹, ZHANG Peng², LI Jiang-kuo², LI Bo-qiang³, XU Yong³

(1. College of Light Industry, Liaoning University, Shenyang 110036, China; 2. Tianjin Key Laboratory of Postharvest Physiology and Storage of Agricultural Products, National Engineering and Technology Research Center for Preservation of Agricultural Products (Tianjin), Tianjin 300384, China; 3. Key Laboratory of Plant Resources, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China)

ABSTRACT: The work aims to study the effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) and mountain planting on the texture of Hanfu apples. Hanfu apples planted in the orchard and mountain were used as test materials, respectively. Textural parameters of apple flesh were studied according to the method of texture profile analysis (TPA) and texture analysis (TA). SIMCA software was applied to carry out multivariate analysis on the raw data, including principal component analysis (PCA) and orthogonal partial least squares-discriminant analysis (OPLS-DA), to distinguish the textural differences

收稿日期: 2019-03-20

基金项目: “十三五”国家重点研发计划(2016YFD0400903)

作者简介: 薛友林(1980—),男,博士,辽宁大学副教授,主要研究方向为农产品贮藏与加工。

通信作者: 李江阔(1974—),男,博士,国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津)副研究员,主要研究方向为农产品安全与果蔬贮运保鲜新技术。

between the two Hanfu fruits treated in different methods and discuss the effects of 1-MCP on the activity of the cell wall enzymes (cellulase, Cx) and intracellular enzymes (amylase) related to softening process. Multivariate statistical analysis results showed that brittleness, hardness, peel brittleness, colloidal and chewiness had significant differences in textural parameters between Hanfu apples planted in the orchard and mountain. Furthermore, the control group (CK) of mountain apples was significantly higher than that of apples planted in the orchard in terms of brittleness, hardness and colloidal ($P < 0.05$). After treatment with 1-MCP, the hardness, colloidal, brittleness, chewiness and peel brittleness of Hanfu apple planted in mountain were higher than those apples planted in the orchard. 1-MCP treatment could significantly delay fruit softening, inhibit the activities of Cx and amylase, and extend shelf life to 28 days. What's more, the Cx and amylase activity of apples planted in the orchard were higher than that in mountain. With the treatment of 1-MCP, the mountain Hanfu fruits can better maintain the textural parameters than those planted in the orchard. 1-MCP can better delay the softening of fruits.

KEY WORDS: Hanfu apples; mountain planting; texture; OPLS-DA; shelf life

寒富苹果是辽宁省盛产的优良品种,具有良好的抗寒性,果实甘甜适口,色泽诱人,口感酥脆,芳香扑鼻,深受消费者喜爱。辽宁省鞍山市早在 1995 年引进栽培并取得成功^[1],摩云山位于辽宁鞍山千山区境内,该山区海拔 420 m,春季干旱少雨,山地土质多岩石,光照充足且温差大,适合栽培寒富苹果。

1-MCP 作为一种高效的乙烯抑制剂被广泛应用在果蔬保鲜上,可以推迟或延缓果实的软化,原理主要是阻断乙烯与其受体结合,抑制乙烯诱导的一系列生理生化反应,从而达到保鲜的目的。近年来,国内外学者研究了 1-MCP 处理对苹果^[2-4]、梨^[5-8]、桃子^[9]、杨梅^[10]等水果的保鲜作用,均发现其可抑制果实的软化、后熟及衰老,目前针对 1-MCP 对同一产地不同种植区寒富苹果的影响方面的研究鲜有报道。

质地(Texture)、风味、外观、营养是评价果品品质的重要指标。TPA 测试方法是一种目前国内外广泛应用于水果果实质地特性测试中的方法,如芒果、苹果、葡萄等^[11-13]水果。此外,采用 SIMCA 软件对数据进行多元统计分析,建立 PCA(Principal Components Analysis)和 OPLS-DA(Orthogonal Partial Least Squares-discriminant Analysis)化学计量模型,寻找不同处理间的差异参数^[14-15]。文中通过对辽宁鞍山市境内平地 and 山地等 2 种栽培区苹果的质地品质进行分析,利用 SIMCA 软件以期找出 1-MCP 在 2 种栽培区寒富苹果应用上存在的差异,并探索采后 1-MCP 处理对苹果保鲜效果的影响,为寒富苹果的栽培及贮藏提供理论依据。

1 实验

1.1 材料与仪器

材料:2 种寒富苹果分别采自辽宁省鞍山市平地果园及摩云山上,2 种寒富果实成熟度一致,人工选择大

小适中、无机械损伤的果实,并套入网袋放入微孔袋,装入瓦楞纸箱,采后放入冷库预冷。试剂:1-MCP 粉剂、3,5-二硝基水杨酸显色液。主要仪器:TA.XT.PLus 质构仪(英国 SMS 公司)。

1.2 方法

1.2.1 处理方法

参照孙希生^[16]等人的方法,分别对 2 种寒富苹果进行 1-MCP 处理(记作:平地寒富 1-MCP、山地寒富 1-MCP),未做处理的果实为对照(记作:平地寒富 CK、山地寒富 CK)。将果实放于瓦楞纸箱中,在精准温控库($-(0.5 \pm 0.3)^\circ\text{C}$)中放置 10 个月取出,在室温($18 \sim 22^\circ\text{C}$)下进行果实质地测定,每组处理设 3 次平行实验,每 7 d 测定 1 次。

1.2.2 质地分析方法

采用 TA.XT.PLus 质构仪测定,其中 TA 法的测定参数:整果穿刺法测试深度为 10 mm,测试速度为 2 mm/s。每个处理组取 6 个苹果,在胴部带皮测定,每个果实重复 2 次,并取平均值。

TPA 法的测试参数:测试前、测试中、测试后的速率分别为 1, 0.5, 0.5 mm/s,取 6 个果实进行重复平行实验。对果实的硬度、凝聚性等 8 个指标进行分析。

1.2.3 纤维素酶(Cx)活性的测定

测定方法参照 Chin^[17]的方法,并加以改进。

1.2.4 淀粉酶活性的测定

测定方法参照李雯^[18]的方法,并加以改进。

1.3 数据处理

采用 Excel 2010 软件对数据进行统计分析与制图,采用 DPS 软件进行显著性分析,并采用 SIMCA 15 软件进行多元数据分析。

2 结果与分析

2.1 1-MCP 对不同地域寒富苹果质地的影响

2.1.1 SIMCA 软件对不同处理组寒富苹果的质地参数分析

果实的质地能够准确地反映果肉、果皮的品质性能, 整果穿刺法 (TA) 可得到果皮和果肉相关的 6 个质地参数。采用 TPA 质构剖面分析方法测定果实质构, 由特征图谱曲线得到寒富苹果货架期果肉状况变化的质地参数, 包括硬度、脆度、咀嚼性等 8 个质构参数指标。对照组果实的质地品质在货架期第 28 d 时已变坏, 无法测量其参数。实验通过 SIMCA 软件对不同处理寒富苹果的 14 个质地参数进行了分析。

2.1.1.1 PCA 分析

通过对 4 个处理组果实质地的 14 个指标进行 PCA 分析, 选取了 2 个主成分, 结果见图 1a—b。贮藏后货架期间 4 个处理组的得分散点见图 1a, 其中该模型的 PC1 和 PC2 的贡献率分别为 37.3% 和 35.1%, 总贡献率为 72.4%, 能够代表样品的基本信息。由图 1a 可知, 平地寒富对照组数据分布在 PC2 的负半轴上, 1-MCP 处理组数据分布在 PC1 的正半轴上, 两者分布均较集中, 而山地寒富果实的对照组和处理组数据较分散, 负载散点图 (见图 1b) 揭示了 PC1/PC2 贡献分数中质地相关指标的分布。也就是说, 质地指标的分布与散点图 (图 1a) 的分布相接近。结合图 1 可知, 在货架初期, 经 1-MCP 处理后的平地寒富与山地寒富果实在咀嚼性、胶性、硬度和脆度等指标上保持相对较好, 且山地寒富果实更接近质构指标的分布, 优于平地寒富果实。

2.1.1.2 OPLS-DA 分析

为了得到不同处理之间的差异指标, 采用 SIMCA 软件对 4 个处理组 (平地寒富 CK、平地寒富 1-MCP、山地寒富 CK 和山地寒富 1-MCP) 进行 OPLS-

DA 分析, 由平地寒富 CK 与山地寒富 CK (图 2a), 平地寒富 1-MCP 与山地寒富 1-MCP (图 2b) 的得分散点图及对应的 SUS-Plot 图 (见图 2c—d) 可知, 胶性、脆度、硬度是平地寒富 CK 和山地寒富 CK 的差异显著参数, 而硬度、胶性、脆度、咀嚼性和果皮脆度是平地寒富 1-MCP 与山地寒富 1-MCP 的差异显著参数, 确定脆度、硬度、果皮脆性、胶性、咀嚼性等 5 项参数用于比较平地寒富和山地寒富果实质地差别, 因此下面将对以下参数的变化进行讨论。

2.1.2 不同处理对寒富苹果质地参数的影响

果实脆度反映了果实的紧密度和坚硬程度, 是果蔬新鲜程度的重要指标之一。果实清脆更会受到消费者喜爱。从表 1 可以看出, 与对照组进行比较, 经 1-MCP 处理的果实其脆度始终显著高于对照组 ($P < 0.05$), 且能够延长果实的贮藏后货架寿命, 说明 1-MCP 处理可抑制果实的软化。在整个贮藏后货架期中, 平地 and 山地寒富 CK 组果实的脆度呈先下降后略微上升的趋势, 在货架时间为 14 d 时分别回升至 3825.37, 4399.69 g, 山地寒富 CK 组果实的脆度高于平地寒富 CK 组果实, 回升的原因可能是由于随着贮藏后货架时间的延长果实内部水分减少, 破裂难度加大, 导致所需压力增加。从整体上看, 1-MCP 处理组果实的脆度下降缓慢, 且在 2 种寒富果实保鲜效果上存在显著差异 ($P < 0.05$), 尤其是货架前期 (0~14 d), 山地寒富 1-MCP 组的果实脆度明显好于平地寒富 1-MCP 组。

平地 and 山地寒富果实的硬度均随着货架期的延长而不断减小, 主要与淀粉和果胶的水解相关。经 1-MCP 处理后可以明显地抑制果实硬度的下降, 并将果实货架期延长至 1 个月左右, 对照组果实的货架寿命只有 21 d 左右。货架初期, 经 1-MCP 处理后平地 and 山地寒富果实的硬度分别为 7428.65, 7544.71 g, 在第 28 d 时分别降至 5801.49, 6082.25 g。由此可见, 山地寒富 1-MCP 组果实的硬度下降缓慢, 在货架末期, 山地寒富 1-MCP 组果实的硬度高于平地寒富果实。

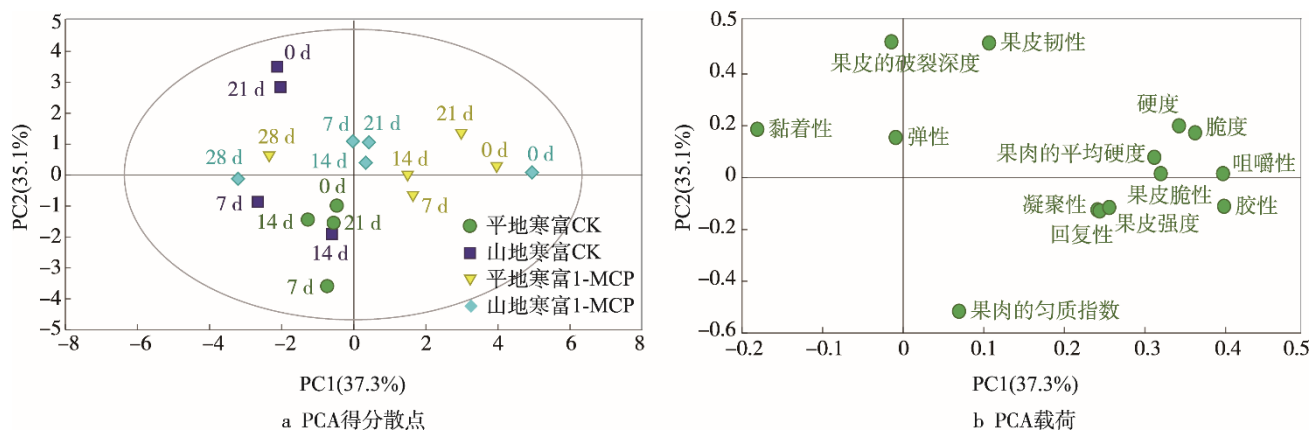


图1 平地与山地寒富苹果质构参数的 PCA 分析

Fig.1 PCA analysis of textural parameters of Hanfu apple planted in the orchard and mountain

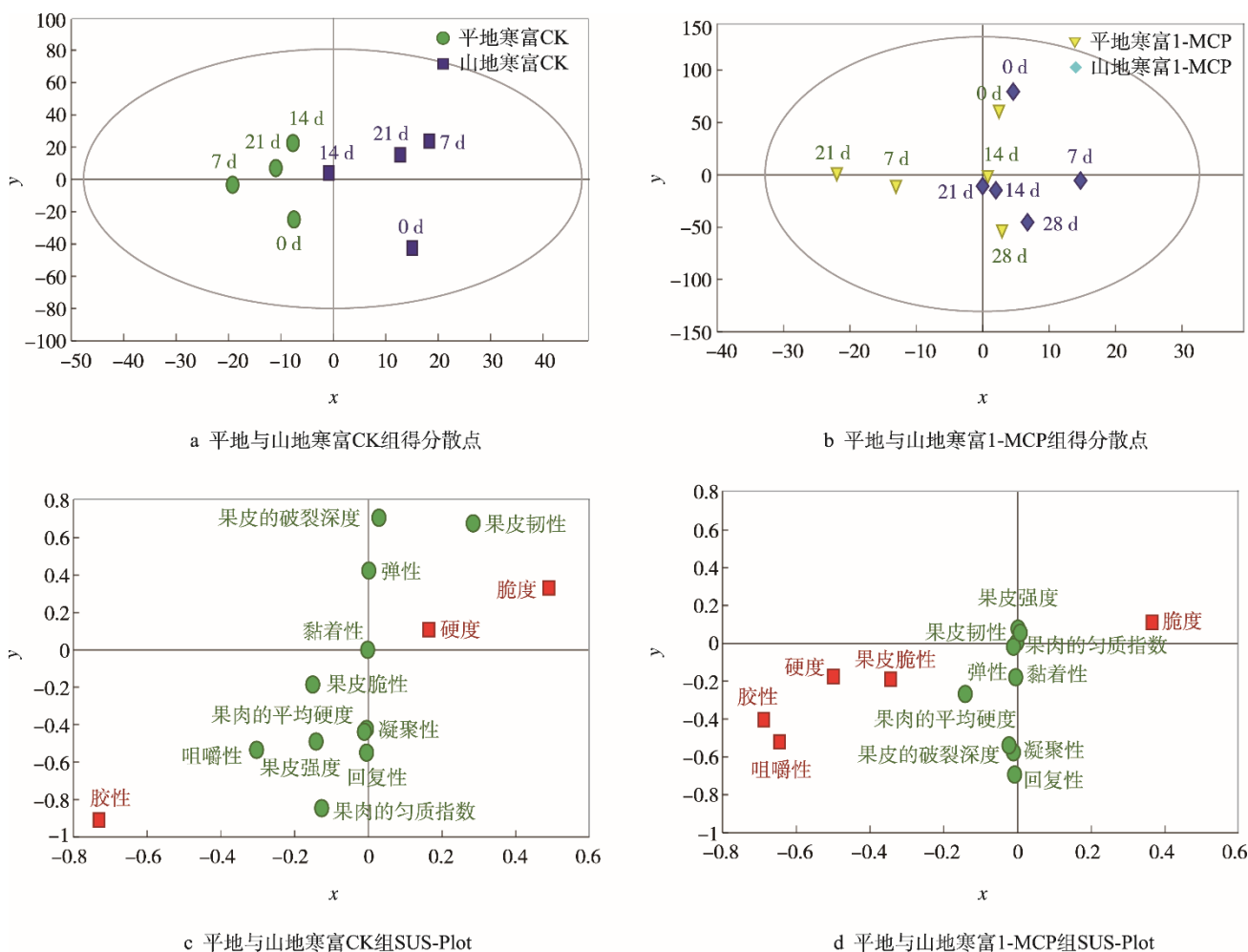


图2 平地与山地寒富苹果质构参数的 OPLS-DA 分析

Fig.2 OPLS-DA analysis of textural parameters of Hanfu apple planted in the orchard and mountain

研究表明,苹果的果皮比果肉的抗氧化性更强,甚至比其他果蔬都高,因此消费者对果皮脆性有较高的要求。由表2可知,果皮脆度会随着货架时间的延长而降低,货架时间为21 d时,经1-MCP处理的平地与山地寒富果皮的脆性分别为1295.3, 1353.3 g/s;在第28 d时分别降至851.23, 868.21 g/s;在货架末期,山地寒富1-MCP组果实的果皮脆性高于平地寒富1-MCP组果实的果皮,但两者差异不显著($P>0.05$)。

胶性是硬度与凝聚性的乘积。由表1可知,经1-MCP处理后的2种寒富果实,在货架期间整体呈现下降趋势,且高于同期对照组,在货架初期,平地与山地寒富果实的胶性分别为1198.8, 1295.51 g,在第28 d时,2种寒富果实的胶性分别降至632.66, 663.15 g,山地寒富1-MCP组果实的胶性高于平地寒富1-MCP组果实,且在货架末期2种寒富果实的胶性下降速率较快,而对照组果实的胶性保持在较低水平。

咀嚼性是胶性与弹性的乘积,因此变化趋势与胶性基本一致。由表1可知,经1-MCP处理后,2种寒

富果实的咀嚼性整体均呈下降趋势,在货架初期山地和平地寒富1-MCP果实的咀嚼性分别为800.4, 740.22 g,平地寒富1-MCP组果实从货架初期至第21 d时缓慢下降,山地寒富1-MCP组果实的咀嚼性下降得较快,而对照组果实的咀嚼性稳定在较低水平,货架期间变化差异不显著($P>0.05$)。除第7 d外,对照组果实的咀嚼性均弱于1-MCP处理组果实。

2.2 不同地域和1-MCP处理对寒富苹果软化酶活性的影响

2.2.1 纤维素酶活性

纤维素酶(Cx)能够降解纤维素和半纤维素,使细胞壁溶解,导致果实软化^[19]。由图3可以看出,在贮后货架期中,对照组果实在货架时间为14 d时,其酶活性达到最高,之后逐渐下降,在第7 d时2个对照组差异显著($P<0.05$);经1-MCP处理后的2种寒富果实的C_x活性都低于CK组果实,对山地寒富苹果抑制程度要高于平地寒富苹果,并可延长贮后货架时间,除第28 d外,平地寒富1-MCP组果实的C_x活性均高于山地寒富1-MCP组果实。

表 1 不同处理对寒富苹果质地（TPA）参数的影响
Tab.1 Effects of different treatments on textural parameters (TPA) of Hanfu apple

货架 时间	处理组	TPA							
		脆度/g	硬度/g	凝聚性	黏着性/ (g·s ⁻¹)	回复性	弹性	胶性/g	咀嚼性/g
0 d	平地寒富	4897.69 ±	5264.1 ±	0.14 ±	-35.49 ±	0.055 ±	0.60 ±	897.63 ±	540.53 ±
	CK	180.88 ^{cde}	243.43 ^{def}	0.088 ^{bcd}	16 ^{ef}	0.034 ^{abc}	0.51 ^d	48.61d ^{ef}	38.94 ^{de}
	平地寒富	6789.52 ±	7428.65 ±	0.16 ±	-45.92 ±	0.061 ±	0.62 ±	1198.8 ±	740.22 ±
	1-MCP	351 ^a	235.85 ^a	0.095 ^{abc}	21 ^{gh}	0.048 ^{abc}	0.36 ^{bcd}	158.33 ^{ab}	37.8 ^a
	山地寒富	5203 ±	5786.64 ±	0.13 ±	-33.69 ±	0.052 ±	0.61 ±	719.01 ±	439.8 ±
	CK	293.12 ^{bcd}	437.23 ^{cde}	0.15 ^{cde}	17 ^{ef}	0.033 ^{bcd}	0.79 ^{bcd}	31.15 ^g	22.99 ^f
7 d	山地寒富	7175.26 ±	7544.71 ±	0.17 ±	-42.98 ±	0.065 ±	0.62 ±	1295.51 ±	800.4 ±
	1-MCP	492.95 ^a	166.85 ^a	0.12 ^a	19 ^g	0.048 ^{ab}	0.39 ^{bcd}	149.31 ^a	43.18 ^a
	平地寒富	4409.56 ±	4928.18 ±	0.15 ±	-42.69 ±	0.056 ±	0.62 ±	977.57 ±	544.49 ±
	CK	366.41 ^{cde}	112.51 ^{fg}	0.098 ^{bcd}	17 ^g	0.067 ^{abc}	0.50 ^{bcd}	45.06 ^{cdef}	33.66 ^{de}
	平地寒富	5097.38 ±	6418.57 ±	0.16 ±	-30.06 ±	0.063 ±	0.66 ±	1025.96 ±	680.17 ±
	1-MCP	452.82 ^{bcd}	537.3 ^{bc}	0.11ab ^{cd}	12 ^{bcd}	0.072 ^{abc}	0.82 ^{abcd}	162.71 ^{bcd}	30.69 ^b
14 d	山地寒富	4526.98 ±	4539.38 ±	0.13 ±	-48.06 ±	0.048 ±	0.65 ±	722.3 ±	469.43 ±
	CK	311.42 ^{def}	344.72 ^g	0.12 ^{de}	23 ^h	0.036 ^{cd}	0.59 ^{abcd}	58.57 ^g	35.68 ^f
	山地寒富	5320.33 ±	6222.29 ±	0.13 ±	-33.57 ±	0.052 ±	0.65 ±	802.8 ±	517.98 ±
	1-MCP	465.11 ^{bc}	178.53 ^c	0.16 ^{cde}	18 ^{ef}	0.078 ^{bcd}	0.73 ^{abc}	38.46 ^{fg}	26.9 ^e
	平地寒富	3825.37 ±	5197.85 ±	0.17 ±	-32.61 ±	0.064 ±	0.63 ±	937.94 ±	591.11 ±
	CK	556.06 ^f	281.62 ^{efg}	0.13 ^{ab}	12 ^{def}	0.051 ^{abc}	0.69 ^{abcd}	29.96 ^{def}	20.26 ^c
21 d	平地寒富	5585.66 ±	6269.36 ±	0.15 ±	-37.80 ±	0.060 ±	0.65 ±	967.52 ±	679.52 ±
	1-MCP	288.56 ^b	265.84 ^{bc}	0.17 ^{abcd}	16 ^f	0.049 ^{abc}	0.73 ^{abcd}	37.13 ^{def}	46.06 ^b
	山地寒富	4399.69 ±	5245.11 ±	0.18 ±	-31.42 ±	0.067 ±	0.61 ±	890 ±	603.24 ±
	CK	195.4 ^{ef}	354.7 ^{efg}	0.14 ^a	13 ^{cdef}	0.044 ^a	0.41 ^{cd}	25.08 ^{def}	22.19 ^c
	山地寒富	5214.72 ±	6049.97 ±	0.17 ±	-24.76 ±	0.065 ±	0.66 ±	1002.91 ±	698.82 ±
	1-MCP	181.25 ^{bcd}	172.91 ^c	0.12 ^{abc}	10 ^{abc}	0.073 ^{ab}	0.53 ^{ab}	143.92 ^{cde}	33.25 ^b
28 d	平地寒富	4744.87 ±	4543.63 ±	0.16 ±	-33.36 ±	0.059 ±	0.63 ±	1059.06 ±	542.67 ±
	CK	166.28 ^{cde}	245.38 ^g	0.19 ^{abcd}	18 ^{ef}	0.045 ^{abc}	0.52 ^{bcd}	104.68 ^{bcd}	24.48 ^{cde}
	平地寒富	5296.22 ±	6852.99 ±	0.17 ±	-33.82 ±	0.066 ±	0.66 ±	1153.26 ±	766.21 ±
	1-MCP	259.29 ^{bcd}	205.58 ^{ab}	0.21 ^{ab}	16 ^{ef}	0.073 ^{ab}	0.48 ^{ab}	117.67 ^{abc}	48.57 ^a
	山地寒富	4537.27 ±	4866.28 ±	0.16 ±	-26.87 ±	0.062 ±	0.65 ±	830.47 ±	572.08 ±
	CK	363.33 ^{cde}	900.48 ^{fg}	0.13 ^{abcd}	12 ^{abcd}	0.059 ^{abc}	0.58 ^{abcd}	25.5 ^{efg}	28.58 ^{cd}
28 d	山地寒富	5196.42 ±	6276.99 ±	0.15 ±	-29.70 ±	0.057 ±	0.71 ± 0.64 ^a	956.96 ±	675.55 ±
	1-MCP	188.14 ^{bcd}	443.33 ^c	0.18 ^{abcd}	14 ^{bcd}	0.066 ^{abc}		35.37 ^{cdef}	31.67 ^b
	平地寒富	4590.25 ±	5801.49 ±	0.14 ±	-24.92 ±	0.051 ±		632.66 ±	528.33 ±
28 d	1-MCP	231.51 ^{ef}	399.28 ^{cd}	0.17 ^{cde}	13 ^{ab}	0.065 ^{cd}		52.91 ^g	30.52 ^{de}
	山地寒富	4526.98 ±	6082.25 ±	0.12 ±	-22.82 ±	0.043 ±	0.67 ±	663.15 ±	444.53 ±
	1-MCP	311.42 ^{def}	209.36 ^c	0.16 ^e	11 ^a	0.037 ^d	0.29 ^{ab}	45.86 ^g	21.65 ^f

注：同一列中不同部分字母表示差异显著，显著水平为 0.05

表 2 不同处理对寒富苹果质地 (TA) 参数的影响
Tab.2 Effects of different treatments on textural parameters (TA) of Hanfu apple

货架时间	处理组	TA					
		果皮强度/g	果皮的破裂深度/mm	果皮脆性/ ($\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$)	果皮韧性/ ($\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$)	果肉的平均硬度/g	果肉匀质指数
0 d	平地寒富CK	710.89 ± 69.2 ^{bc}	0.94 ± 0.19 ^f	1233.16 ± 143.66 ^{cd}	194.87 ± 23.62 ^{abcd}	264.76 ± 23.25 ^{de}	59.5 ± 10.02 ^{ab}
	平地寒富1-MCP	711.97 ± 113.33 ^c	1.07 ± 0.19 ^c	1388.01 ± 245.3 ^{bcd}	206.6 ± 34.57 ^{abcd}	305.65 ± 38.1 ^a	58.4 ± 8.72 ^{abc}
	山地寒富CK	558.8 ± 79.9 ^h	1.55 ± 0.4 ^a	1149.76 ± 176.43 ^{def}	238.09 ± 46.02 ^a	271.02 ± 20.64 ^{cd}	52.3 ± 6.14 ^g
	山地寒富1-MCP	739.68 ± 131.02 ^b	0.96 ± 0.33 ^e	1483.31 ± 186.17 ^{abc}	207.7 ± 30.52 ^{abcd}	305.27 ± 18.84 ^a	58.3 ± 12.02 ^{bcd}
7 d	平地寒富CK	634.9 ± 113.12 ^{fg}	0.7 ± 0.16 ^h	1301.89 ± 111.62 ^{bcd}	147.67 ± 18.51 ^e	255.39 ± 27.34 ^f	64.44 ± 7.93 ^a
	平地寒富1-MCP	712.92 ± 96.87 ^c	0.85 ± 0.16 ^g	1628.51 ± 73.31 ^a	173.68 ± 22.61 ^{de}	278.52 ± 21.93 ^{bc}	57.8 ± 9.74 ^{bcd}
	山地寒富CK	672.15 ± 36.27 ^{de}	0.9 ± 0.23 ^f	1153.03 ± 117.63 ^{def}	174.28 ± 15.55 ^{de}	230.99 ± 35.87 ^g	56.4 ± 8.62 ^{bcd}
	山地寒富1-MCP	778.23 ± 115.74 ^a	0.98 ± 0.17 ^e	1505.31 ± 46.06 ^{ab}	226.17 ± 26.37 ^{ab}	261.19 ± 24.32 ^e	56.5 ± 6.77 ^{bcd}
14 d	平地寒富CK	614.94 ± 97.02 ^g	0.89 ± 0.09 ^f	1022.54 ± 99.12 ^{efg}	158.92 ± 19.76 ^{de}	266.3 ± 43.9 ^{de}	57.3 ± 9.71 ^{defg}
	平地寒富1-MCP	681.21 ± 105.88 ^{cd}	0.98 ± 0.21 ^e	1382.8 ± 159.6 ^{bcd}	188.77 ± 28.13 ^{bcd}	293.21 ± 22.62 ^a	57.5 ± 10.24 ^{bcd}
	山地寒富CK	640.67 ± 60.04 ^e	0.9 ± 0.18 ^f	1056.46 ± 98.01 ^{efg}	170.81 ± 16.3 ^{cde}	246.61 ± 32.56 ^f	59.5 ± 10 ^{ab}
	山地寒富1-MCP	636.71 ± 26.38 ^{ef}	1.03 ± 0.23 ^d	1238.47 ± 121.13 ^{cde}	187.02 ± 25.08 ^{bcd}	253.96 ± 19.89 ^f	56.1 ± 7.58 ^{def}
21 d	平地寒富CK	720.98 ± 54.29 ^{bc}	0.86 ± 0.21 ^g	976.93 ± 53.12 ^{fg}	179.88 ± 13.93 ^{de}	269.56 ± 34.53 ^{cde}	58.83 ± 6.95 ^a
	平地寒富1-MCP	715.92 ± 109.86 ^{bc}	1.35 ± 0.26 ^b	1295.3 ± 103.67 ^{bcd}	223.05 ± 19.66 ^{abc}	294.23 ± 26.41 ^a	56.83 ± 8.66 ^{cde}
	山地寒富CK	573.2 ± 55.09 ^h	1.56 ± 0.21 ^a	1030.5 ± 132.31 ^{fg}	235.71 ± 15.99 ^a	240.47 ± 36.96 ^g	52.92 ± 6.85 ^{fg}
	山地寒富1-MCP	688.42 ± 41.9 ^{cd}	0.98 ± 0.12 ^{de}	1353.3 ± 100.91 ^{bcd}	195.29 ± 26.2 ^{abcd}	253.37 ± 27.96 ^f	54.17 ± 12.17 ^{efg}
28 d	平地寒富1-MCP	641.47 ± 87.48 ^{ef}	1 ± 0.24 ^{de}	851.23 ± 29.47 ^g	177.06 ± 10.86 ^{cde}	285.9 ± 47.43 ^b	55.1 ± 4.41 ^{defg}
	山地寒富1-MCP	670.29 ± 28.5 ^{de}	0.88 ± 0.12 ^{fg}	868.21 ± 33.86 ^g	170.1 ± 12.29 ^{de}	266.95 ± 22.89 ^{de}	59.9 ± 7.22 ^a

注：同一列中不同部分字母表示差异显著，显著水平为 0.05

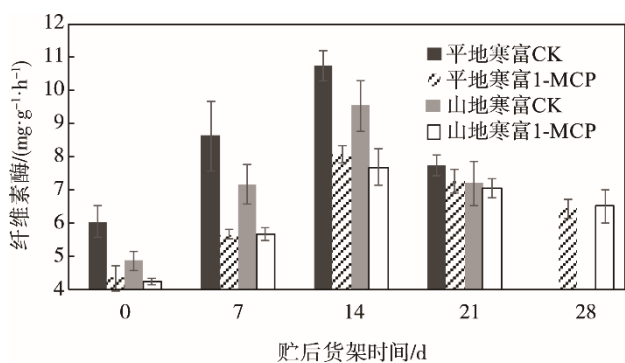


图 3 不同地域和 1-MCP 处理对寒富苹果 Cx 酶活性的影响
Fig.3 Effects of different regions and 1-MCP on Cx activity of Hanfu apple

2.2.2 淀粉酶活性

淀粉酶是分解淀粉的关键酶，与果实的硬度存在必然的关系^[19]。由图 4 可知，在整个贮后货架期间，平地 and 山地寒富对照组果实的淀粉酶从货架时间 14 d 开始缓慢上升，低温贮藏后抑制了货架前期淀粉酶活性；之后又开始降低，在第 21 d 时低至较低水平，原因可能是货架末期果实的衰老造成淀粉酶活性的降低，除第 7 d 外，平地寒富 CK 组果实的淀粉酶活性均高于山地寒富 CK 组果实。整个货架期间，与对照组相比，1-MCP 处理后果实的淀粉酶活性较低，这也说明 1-MCP 可以有效抑制果实淀粉酶活性，从而延缓果实硬度的下降。在货架时间为 14 d 时，山地寒富的对照组与处理组果实差异显著 ($P < 0.05$)。

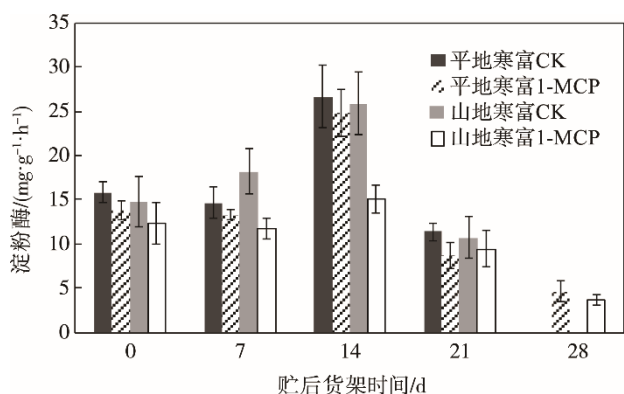


图 4 不同地域和 1-MCP 处理对寒富苹果淀粉酶活性的影响

Fig.4 Effects of different regions and 1-MCP on amylase activity of Hanfu apple

3 讨论

就地域性而言,于辉^[20]等研究了辽宁省不同地区寒富苹果的果实品质,结果表明不同产地的寒富果实的外观、品质及风味上有很大的不同。李丽梅^[21]等也得出海拔高会造成果实硬度高,且软化相关酶活力保持较低水平的结论。文中实验研究结果表明,山地寒富果实的硬度好于平地寒富果实,这与前人研究结果一致。与果实软化有关的酶有纤维素酶(Cx)、淀粉酶等,它们是影响果实质地的关键因素。实验表明,随着货架时间的延长,Cx活性升高,纤维素快速降解,平地寒富果实的Cx活性高于山地寒富果实;经1-MCP处理后酶活性降低,但平地与山地寒富苹果的酶活性没有明显的变化规律。此外,淀粉作为内容物在细胞中起支撑的作用,随着果实成熟后淀粉酶活性的升高会使淀粉被水解,造成果肉的软化^[19]。王小会^[22]对美国8号苹果的研究表明,1-MCP能够抑制果实淀粉含量的下降和淀粉酶活性的增加。文中实验表明,在货架期间,淀粉酶活性先上升后下降,果实硬度逐渐降低,且经1-MCP处理后平地寒富果实的酶活性高于山地寒富果实。

就1-MCP处理而言,李江阔^[23]等针对1-MCP处理及冷藏90d后南果梨常温货架果实品质进行了分析比较,实验选取了辽宁鞍山3个产地的南果梨,结果表明,1-MCP处理能显著地延长不同产地南果梨冷藏后的货架寿命,3个产地果实贮藏后货架品质依次为:摩云山产地>大孤山产地>千山园产地,且摩云山产地的南果梨硬度高于平地果园的果实。文中实验表明,1-MCP处理能够显著抑制硬度、脆度、果皮脆性的下降,经1-MCP处理后山地寒富果实的质地优于平地寒富果实。已有实验证明,1-MCP处理能够延缓许多水果的硬度、脆度、咀嚼性和凝聚性等参数的下降^[24-27]。文中实验结果也显示,1-MCP处理能够延缓果实的软化衰老,并抑制了果实C_x和淀粉酶的活

性,延长了贮藏货架期,还能够抑制果实硬度、脆度、果皮脆性、咀嚼性的下降,与前人结论一致。由于1-MCP的作用效果在平地寒富和山地寒富果实的质构方面存在极大的差异,因此山地寒富果实的纤维素酶(C_x)和淀粉酶活性在抑制程度上要高于平地果实。平地寒富果实从硬度、脆度上都逊于山地果实,与平地寒富果实相比,山地寒富果实的软化衰老相对较慢,这可能与摩云山的土壤条件和气候条件有关。

4 结语

光照和温度是影响果树生长、产量及果实品质的主要因素,充足的光照能够促进果实的发育。平地与山地寒富果实的质构在脆度、硬度、果皮脆性、胶性、咀嚼性等5项参数上差异显著,其中山地寒富果实在脆度、硬度、胶性上显著高于平地寒富果实,且山地寒富果实的软化相关酶活性(淀粉酶、C_x)均保持较低水平。1-MCP处理后果实的硬度、脆度、咀嚼性等均高于对照组,并能抑制果实软化及软化相关酶活性,从而延长了贮藏货架时间,说明1-MCP处理可以更好地保证果实的质地口感。1-MCP处理的山地寒富果实在质地上好于平地寒富果实,更能延缓果实的软化。

参考文献:

- [1] 魏宏贺. 寒富苹果在鞍山地区的表现及生产关键技术[J]. 农家科技, 2016(5): 434.
WEI Hong-he. Performance and Key Technologies of Hanfu Apple Production in Anshan Area[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2016(5): 434.
- [2] 李江阔, 刘畅, 张鹏, 等. 低温条件下不同时期 1-MCP 处理对金冠苹果生理和品质的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(18): 220—224.
LI Jiang-kuo, LIU Chang, ZHANG Peng, et al. Effects of 1-MCP Treatment on Physiology and Quality of Jinguan Apple at Different Stages under Low Temperature[J]. Food Science, 2015, 36 (18): 220—224.
- [3] 王晓飞, 杨艳青, 任小林, 等. 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, 2015, 35(18): 219—223.
WANG Xiao-fei, YANG Yan-qing, REN Xiao-lin, et al. 1-MCP Effects on Postharvest Physiology and Quality of 'Lady Pink' Apples[J]. Food Science, 2015, 35 (18): 219—223.
- [4] KOLNIAK-OSTEK J, WOJDYO A, MARKOWSKI J, et al. 1-Methylcyclopropene Postharvest Treatment and Their Effect on Apple Quality during Long-term Storage Time[J]. European Food Research and Technology, 2014, 239(4): 603—612.
- [5] 王阳, 王志华, 王文辉, 等. 1-MCP 处理对几种脆肉

- 梨果实贮藏品质及采后生理的影响[J]. 果树学报, 2016(S1): 147—156.
- WANG Yang, WANG Zhi-hua, WANG Wen-hui, et al. Effects of 1-MCP Treatment on Storage Quality and Postharvest Physiology of Several Crispy Pear Fruits[J]. Journal of Fruit Science, 2016(S1): 147—156.
- [6] 王志华, 姜云斌, 王文辉, 等. 1-MCP对常温贮藏‘红香酥’梨保鲜效果的影响[J]. 中国果树, 2016(1): 15—18.
- WANG Zhi-hua, JIANG Yun-bin, WANG Wen-hui, et al. Effect of 1-MCP on Fresh-keeping Effect of 'Red Crisp' Pear at Normal Temperature[J]. China Fruit Tree, 2016(1): 15—18.
- [7] HENDGES M V, STEFENS C A, NEUWALD D A, et al. 'Packham's Triumph' earresponseto 1-Methylcyclopropene and Nitricoxide Treatments[J]. Revista Caatinga, 2016, 29(2): 283—289.
- [8] ACUNA M G V, BIASI W V, MITCHAM E J, et al. Fruit Temperature and Ethylene Modulate 1-MCP Response in 'Bartlett' Pears[J]. Postharvest Biology & Technology, 2011, 60(1): 17—23.
- [9] 刘淑英, 李桂霞, 张冬梅, 等. 低温贮藏下不同 1-MCP 浓度对桃生理特性的影响[J]. 食品科技, 2016(2): 38—41.
- LIU Shu-ying, LI Gui-xia, ZHANG Dong-mei, et al. Effects of Different 1-MCP Concentrations on Physiological Characteristics of Peaches under Low Temperature Storage[J]. Food Science and Technology, 2016 (2): 38—41.
- [10] LIN Yi-fen, LIN Yi-xiong, LIN He-tong, et al. Effects of Paper Containing 1-MCP Postharvest Treatment on the Disassembly of Cell Wall Polysaccharides and Softening in Younai Plum Fruit during Storage[J]. Food Chemistry, 2018: 1—8.
- [11] 颜廷才, 王云舒, 史学群, 等. 1-MCP 及物流方式对芒果货架品质及软化酶活性的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(6): 231—236.
- YAN Ting-cai, WANG Yun-shu, SHI Xue-qun, et al. Influence of 1-MCP and Transportation on the Quality and Softening Enzyme Activity of Mangoes[J]. Food Science, 2016, 37(6): 231—236.
- [12] NIU Xin-yu, ZHANG Liang-ying, LIU Lin. Effect of Different Preservation Treatments on the Room Temperature Storage Effect of 'Gala' Apple[J]. Asian Agricultural Research, 2017(12): 33—36.
- [13] 赵浩暖, 王海宁, 丛明燕, 等. 一氧化氮与低温协同处理对巨峰葡萄果实贮藏品质的影响[J]. 华北农学报, 2016, 31(S1): 188—194.
- ZHAO Hao-nuan, WANG Hai-ning, CONG Ming-yan, et al. Effect of Nitric Oxide and Low Temperature Treatment on Storage Quality of Jufeng Grape Fruits[J]. Acta Agriculturae Boreali-sinica, 2016, 31(S1): 188—194.
- [14] SAAVEDRA J, FUENTEALBA C, et al. Chemometric Approaches for the Zoning of Pinot Noir Wines from the Casablanca Valley, Chile[J]. Food Chemistry, 2011, 127(4): 1842—1847.
- [15] 薛水玉. 基于色谱技术的款冬植物代谢组学研究[D]. 太原: 山西大学, 2012.
- XUE Shui-yu. Metabonomics of Tulipa Fargesii Based on Chromatographic Techniques[D]. Taiyuan: Shanxi University, 2012.
- [16] 孙希生, 王文辉, 王志华, 等. 1-MCP 对苹果采后生理的影响[J]. 保鲜与加工, 2002, 2(4): 3—7.
- SUN Xi-sheng, WANG Wen-hui, WANG Zhi-hua, et al. Effects of 1-MCP on Postharvest Physiology of Apples[J]. Preservation and Processing, 2002, 2(4): 3—7.
- [17] CHIN L, LI Z M, LAZAN H, et al. Cell Wall Modifications, Degrading Enzymes and Softening of Carambola Fruit during Ripening[J]. Journal of Experimental Botany, 1999, 50(335): 767—775.
- [18] 李雯, 邵远志, 陈维信. 淀粉酶活性测定方法的改进[J]. 植物生理学报, 2005, 41(5): 655—656.
- LI Wen, SHAO Yuan-zhi, CHEN Wei-xin. Improvement of Amylase Activity Determination Method[J]. Journal of Plant Physiology, 2005, 41(5): 655—656.
- [19] 朱明月, 沈文涛, 周鹏. 果实成熟软化机理研究进展[J]. 分子植物育种, 2005(3): 421—426.
- ZHU Ming-yue, SHEN Wen-tao, ZHOU Peng. Advances on Fruit Ripening and Softening Mechanism[J]. Molecular Plant Breeding, 2005 (3): 421—426.
- [20] 于辉, 张秀美, 王宏, 等. 不同产地寒富苹果品质的分析[J]. 江西农业学报, 2012, 24(4): 55—56.
- YU Hui, ZHANG Xiu-mei, WANG Hong, et al. Quality Analysis of Hanfu Apples from Different Producing Areas[J]. Jiangxi Agricultural Journal, 2012, 24 (4): 55—56.
- [21] 李丽梅, 关军锋, 及华, 等. 不同产地“红富士”苹果的采后品质及软化[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(4): 690—693.
- LI Li-mei, GUAN Jun-feng, JI Hua, et al. Postharvest Quality and Softening of "Red Fuji" Apples from Different Origins [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2009, 17 (4): 690—693.
- [22] 王小会. 1-MCP对美国8号苹果保鲜效应的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2007.
- WANG Xiao-hui. Study on the Preservation Effect of 1-MCP on American No.8 Apple [D]. Yanglin: Northwest University of Agriculture and Forestry, 2007.
- [23] 李江阔, 张鹏, 郭威, 等. 不同产地南果梨冷藏后常温货架期保鲜效果的研究[J]. 保鲜与加工, 2008, 8(6): 25—27.
- LI Jiang-kuo, ZHANG Peng, GUO Wei, et al. Study on the Shelf Life Preservation Effect of Nanguo Pear from Different Habitats after Refrigeration[J]. Storage and Process, 2008, 8(6): 25—27.
- [24] 贾艳萍, 刘畅, 李江阔, 等. 常温不同时期 1-MCP 处理对富士苹果质地的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 35(23): 319—322.

- JIA Yan-ping, LIU Chang, LI Jiang-kuo, et al. Effects of 1-MCP Treatment on the Texture of Fuji Apples in Different Periods at Room Temperature[J]. Food Industry Science and Technology, 2014, 35 (23): 319—322.
- [25] 郭峰, 王毓宁, 李鹏霞, 等. 1-MCP 处理对采后红椒质构性能的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(16): 272—277.
- GUO Feng, WANG Yu-ning, LI Peng-xia, et al. 1-MCP Treatment on Texture Properties of Postharvest Red Pepper[J]. Food Science, 2015, 36 (16): 272—277.
- [26] 谢国芳, 吴颖, 王新华, 等. 1-MCP 结合 CT-2 对水晶葡萄低温贮藏品质的影响[J]. 中国南方果树, 2017(4): 112—116.
- XIE Guo-fang, WU Ying, WANG Xin-hua, et al. Effects of 1-MCP Combined with CT-2 on Cryogenic Storage Quality of Crystal Grapes[J]. Fruit Trees of Southern China, 2017(4): 112—116.
- [27] 王玉玲, 高继鑫, 张新富, 等. 1-MCP 处理对蓝莓冷藏保鲜效果的影响[J]. 食品研究与开发, 2015(10): 132—136.
- WANG Yu-ling, GAO Ji-xin, ZHANG Xin-fu, et al. Effects of 1-MCP Treatment on Blueberry Refrigeration Effect[J]. Food Research and Development, 2015(10): 132—136.