

乙烯利对1-MCP处理南果梨冷藏后香气及香气合成过程中关键酶活的影响

张丽萍, 纪淑娟*

(沈阳农业大学食品学院, 辽宁 沈阳 110161)

摘 要:以南果梨为试材, 研究冷藏(0 ± 0.5) $^{\circ}\text{C}$ 5个月后常温货架期间脂肪酸代谢途径关键酶脂氧合酶(LOX)、氢过氧化物裂解酶(HPL)、醇脱氢酶(ADH)、醇酰基转移酶(AAT)活性的变化, 探讨外源乙烯对南果梨香气代谢的作用机理, 为1-MCP和外源乙烯应用于南果梨贮藏保鲜提供理论依据。南果梨采收当天用0.75 $\mu\text{L/L}$ 的1-MCP保鲜剂处理24h, 在常温条件下放置7d后冷藏5个月, 出库后分别用2、4、6、8mmol/L乙烯利处理2min。结果表明: 除2mmol/L外源乙烯处理的乙酸庚酯和庚酸乙酯的相对含量低于对照组外, 2mmol/L外源乙烯处理的乙酸乙酯、丁酸乙酯、己酸乙酯、乙酸己酯和苯乙酸乙酯的相对含量均明显高于对照和其他几种处理。2mmol/L外源乙烯处理的LOX、HPL和AAT活性始终高于对照和其他几种外源乙烯的处理; 不同浓度的外源乙烯对ADH酶活性的影响作用不明显, 对照和不同浓度乙烯利处理的ADH酶活性值相差不多。由此可知, 2mmol/L外源乙烯处理效果最好, 可以提高LOX、HPL和AAT的酶活性, 从而更有利于提高南果梨果实冷藏后货架期间的香气品质。

关键词: 南果梨; 外源乙烯; 脂氧合酶; 氢过氧化物裂解酶; 醇脱氢酶; 醇酰基转移酶

Effect of Different Concentrations of Ethephon on Aroma and Key Enzymes Related to Aroma Formation in 1-MCP-Treated Nanguo Pear after Refrigerated Storage

ZHANG Li-ping, JI Shu-juan*

(College of Food Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China)

Abstract: After post-harvest 1-MCP treatment and subsequent storage at (0 ± 0.5) $^{\circ}\text{C}$ for 5 months, Nanguo pear fruits were immersed in ethephon solutions of different concentrations and then exposed to normal temperature conditions in order to investigate changes in the activities of key enzymes of fatty acid metabolism pathways, lipoxygenase (LOX), hydrogen peroxide repressible enzyme (HPL), alcohol dehydrogenase (ADH) and alcohol acyltransferase and (AAT), and explore the mechanism of action of exogenous ethylene on the metabolism of aroma compounds in Nanguo pear to provide a theoretical guideline to apply 1-MCP and exogenous ethylene for Nanguo pear storage and preservation. Post-harvest treatment of Nanguo pears with 0.75 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP for 24 h started on the same day after harvesting, followed by 7 d of storage at normal temperature. After subsequent cold storage for 5 months, the Nanguo pears were treated with ethephon solutions of different concentrations (2, 4, 6 mmol/L and 8 mmol/L) for 2 min. The results showed that 2 mmol/L exogenous ethylene treatment exhibited lower relative contents of acetic acid heptyl ester and heptanoic acid ethyl ester but remarkably higher relative contents of ethyl acetate, butanoic acid ethyl ester, hexanoic acid ethyl ester, acetic acid hexyl ester and benzeneacetic acid ethyl ester than control group. During a shelf life of 28 d after 1-MCP treatment, the activities of LOX, HPL and AAT in 2 mmol/L 1-MCP group were always higher than in three other concentration groups and control group. Almost no differences in ADH activity were observed among control group and 1-MCP treatments at different concentrations. From these findings we conclude that treatment with 2 mmol/L exogenous ethylene can increase the activities of LOX, HPL and AAT and accordingly improve the aroma quality of Nanguo pear during shelf life after cold storage.

Key words: Nanguo pear; exogenous ethylene; LOX; HPL; ADH; AAT

中图分类号: TS255.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)10-0294-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201310065

收稿日期: 2012-09-10

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD38B07); 国家农业科技成果转化资金项目(2012GB2B000085)

作者简介: 张丽萍(1985—), 女, 博士研究生, 研究方向为食品质量控制。E-mail: zhangliping_abc@163.com

*通信作者: 纪淑娟(1960—), 女, 教授, 博士, 研究方向为食品质量控制。E-mail: jsjsyau@sina.com

南果梨为秋子梨系(*Pyrus ussuriensis* Maxim.)的一种,是辽宁省的特色水果。南果梨采收时果实色绿、肉脆质硬、汁少味甜、无香气。适度后熟后,果色金黄艳丽、带红晕,香气诱人,肉质细腻,汁液丰富,酸甜适口,品质极佳,深受消费者青睐^[1]。1-甲基环丙烯(1-MCP)是目前最有效的乙烯受体抑制剂,可特异性地阻断乙烯与其受体的正常结合,从而有效阻止内源乙烯的合成和外源乙烯的诱导作用,降低呼吸跃变型果实的呼吸强度和乙烯释放速率,进而延长果实的贮藏寿命^[2-3]。1-MCP作为一种后熟抑制剂,应用在南果梨上,可有效延长南果梨的常温货架期,提高冷藏南果梨的保鲜效果^[4],但是董萍等的研究表明,1-MCP处理减少了南果梨香气成分种类,对酯类物质影响也较大^[5]。乙烯是植物体内重要的内源植物生长调节剂,它参与调节植物生长发育,特别是在跃变型果实成熟衰老过程中发挥着重要的作用,被认为是果实成熟衰老的启动因子^[6-7]。Palou等^[8]和Zhou等^[9]分别研究了外源乙烯对低温贮藏油桃和桃果实的部分生理作用,Zhang Lihua等^[10]研究表明,乙烯利处理可以显著增加果实的呼吸强度、可溶性固形物和总酚含量,但关于外源乙烯对1-MCP处理的南果梨冷藏后果实风味物质合成的具体调控作用及调控途径过程中关键酶活性的影响未见报道。本实验旨在通过研究冷藏对果实香气及香气合成关键酶活性的影响,揭示外源乙烯与南果梨果实挥发性芳香风味物质之间的调控机制。建立提高冷藏南果梨果实挥发性芳香风味物质的外源乙烯唤醒技术最佳参数,解决南果梨果实贮藏香气品质降低的问题。

1 材料与方法

1.1 材料及其处理

试验所用南果梨果实于2011年9月23日采自辽宁省鞍山市大孤山镇,当天运回沈阳农业大学实验室进行分级处理,挑选大小、成熟度相对一致,果质量大小均匀一致,无病虫害、机械损伤果实作试材。于采收当天用0.75 μ L/L的1-MCP保鲜剂处理24h,处理方法参见参考文献[11],1-MCP处理的果实装入内衬0.02mm PE膜的塑料箱内,在常温(20 $\pm$ 2) $^{\circ}$ C条件下放置7d后转入冷库,于(0 $\pm$ 0.5) $^{\circ}$ C贮藏。1-MCP南果梨在冷藏5个月时转出冷库,转出当天分别用2、4、6、8mmol/L的乙烯利溶液进行浸泡处理2min,对照果实用蒸馏水浸泡处理2min,处理后在室温条件下放置待测,每7d测一次数据。

1.2 试剂与仪器

1-甲基环丙烯(1-MCP) 美国罗门哈斯公司;曲拉通、乙二胺四乙酸(EDTA)、三羟甲基氨基甲烷(Tris) 国药集团化学试剂有限公司;2-(*N*-吗啡啉)乙磺酸(MES)、亚油酸钠、二硫苏糖醇(DTT)、聚烯吡咯烷酮

(PVP)、交联聚乙烯吡咯烷酮(PVPP)、辅酶焦磷酸硫胺素(TPP)、还原型辅酶(NADH)、丙酮酸、苯甲基磺酰氟(PMSF)、二硝基苯甲酸(DTNB)、羟乙基哌嗪乙磺酸 上海源叶生物有限公司;乙酰辅酶A、乙醇脱氢酶 美国Sigma公司。

气相色谱-质谱联用仪 美国Finnigan公司;TU 1810紫外-可见分光光度计 北京普析通用仪器有限公司。

1.3 南果梨香气的测定

气相色谱条件:HP-Innowax色谱柱(30m $\times$ 250 μ m,0.25 μ m);程序升温:40 $^{\circ}$ C保留2min,然后以4 $^{\circ}$ C/min升至60 $^{\circ}$ C保留1min,再以2 $^{\circ}$ C/min升至150 $^{\circ}$ C,再以10 $^{\circ}$ C/min升至210 $^{\circ}$ C保留5min。传输线温度为250 $^{\circ}$ C。载气为He,流速1mL/min,不分流。

质谱条件:连接杆温度280 $^{\circ}$ C,电离方式为电子电离(electron ionization, EI),离子源温度200 $^{\circ}$ C,扫描范围45~600u。

数据处理:通过检索NIST/Wiley标准谱库,进行定性分析,并用峰面积归一法测算各化学成分的含量。

1.4 酶活性的测定

1.4.1 脂氧合酶(lipoxygenase, LOX)活性测定

参照陈昆松等^[12]的方法,取2g果肉置于研钵内,冰浴研磨,加入10mL经4 $^{\circ}$ C预冷50mmol/L(pH7.0)的磷酸缓冲液,混匀充分浸提后,12000r/min(4 $^{\circ}$ C)离心30min,取上清液。在3mL反应体系中含亚油酸钠母液25 μ L、0.1mol/L(pH6.0)的柠檬酸-磷酸缓冲液2.775mL、粗酶液0.2mL,反应温度30 $^{\circ}$ C,于234nm波长处测定LOX活性,加酶液后15s开始计时,记录1min内OD值的变化,结果以比活性表示(U/mg)。

1.4.2 醇脱氢酶活性(alcoholdehydrogenase, ADH)测定

参照田长平等^[13]的方法,取3g果肉置于研钵内,液氮充分研磨呈粉末状,加入经4 $^{\circ}$ C预冷的提取液,混匀充分浸提后,15000r/min(4 $^{\circ}$ C)离心30min,取上清液。在3mL反应体系中加入2.4mL MES-Tris缓冲液、1.6mmol/L的NADH 0.15mL、80mmol/L乙醛0.15mL、0.3mL粗酶液,反应温度30 $^{\circ}$ C,于340nm波长处测定ADH活性,加酶液后15s开始计时,记录1min内OD值的变化。

1.4.3 氢过氧化物裂解酶(hydrogen peroxide repressible enzyme, HPL)活性测定

参照Salas等^[14]的方法,取3g果肉冷冻组织置于研钵内,液氮充分研磨呈粉状,加入6mL经4 $^{\circ}$ C预冷的提取液,混匀充分浸提后,14000r/min(4 $^{\circ}$ C)离心30min,取上清液。在3.5mL反应体系中含2mL缓冲液、0.75mL反应底物液、0.15mL 1.6mmol/L的NADH、0.1mL ADH酶液、0.5mL粗酶液,反应温度30 $^{\circ}$ C,于340nm波长处测定OD值,加酶液后15s开始计时,记录1min内OD值的变化。

1.4.4 醇酰基转移酶(alcohol acyltransferase, AAT)活性测定

参照Echeverría等^[15]的方法,取3g果肉置于研钵

内,液氮充分研磨,加入2.25mL蛋白提取液,冰浴提取20min,12000r/min(4℃)离心20min,取其上清液。将反应液:2.5mL 5mmol/L $MgCl_2$ 溶液、150 μ L乙酰辅酶A溶液、50 μ L丁醇溶液、150 μ L酶提取液混合后放置35℃水浴15min,然后添加100 μ L 0.01mol/L的DTNB,室温下放置10min,412nm波长处比色,用不含酶提取液的反应液做空白。

1.5 数据分析

数据采用Excel 2003 软件和SPSS 19.0软件进行统计处理。

2 结果与分析

2.1 对主要酯类物质含量的影响

表1 不同浓度乙烯利处理对1-MCP处理的南果梨冷藏后货架期间酯类物质含量的影响

Fig.1 Effect of different concentrations of ethephon on ester content of 1-MCP treated Nanguo pear during shelf life after refrigerated storage

乙烯利浓度/ (mmol/L)	贮藏时 间/d	乙酸乙酯	丁酸乙酯	己酸乙酯	乙酸己酯	乙酸庚酯	庚酸乙酯	苯乙酸 乙酯
0	0	—	10.64	12.37	3.52	—	—	—
	7	3.72	9.73	25.89	3.41	0.21	0.34	0.09
	14	5.89	6.61	29.04	4.47	0.24	0.55	0.07
	21	8.02	11.54	41.32	8.43	0.69	0.95	0.36
	28	0.27	3.18	18.56	4.24	—	—	—
2	0	0.15	15.42	20.54	7.75	4.38	—	—
	7	5.97	11.45	37.35	7.10	2.19	4.32	0.68
	14	10.79	14.46	47.82	11.89	3.21	1.64	0.73
	21	10.74	12.83	42.65	10.82	1.33	1.32	0.51
	28	2.68	4.61	19.73	5.61	—	—	—
4	0	—	11.21	12.24	4.41	—	—	—
	7	2.54	6.39	21.83	6.31	0.34	0.31	—
	14	6.37	12.01	37.31	9.72	0.52	0.89	0.21
	21	6.43	6.66	18.13	3.43	0.17	0.46	0.07
	28	3.37	4.47	14.04	6.82	—	—	—
6	0	—	13.98	14.84	6.32	—	—	—
	7	4.12	14.98	26.82	6.38	1.34	0.36	1.01
	14	4.28	6.35	25.79	7.24	0.46	0.37	—
	21	7.35	6.66	36.68	8.19	0.47	0.57	—
	28	3.29	4.89	14.75	6.53	—	—	—
8	0	—	8.32	10.95	2.19	—	—	—
	7	2.19	5.36	18.96	5.18	0.23	0.25	—
	14	1.81	5.51	27.34	5.54	0.32	0.37	—
	21	3.97	8.36	29.45	6.15	0.37	0.46	—
	28	0.13	4.73	11.81	3.27	—	—	—

注:数据为相对含量/%;“—”表示未检出。

果实的香气是由多种挥发性物质形成的,其中,酯类物质是果实呈香的主要物质。由表1可以看出,南果梨中的酯类香气成分主要有乙酸乙酯、丁酸乙酯、己酸乙酯、乙酸己酯、乙酸庚酯、庚酸乙酯和苯乙酸乙酯。与对照果实相比,2mmol/L外源乙烯利处理的乙酸庚酯和庚酸

乙酯的相对含量都低于对照组,而2mmol/L外源乙烯利处理的乙酸乙酯、丁酸乙酯、己酸乙酯、乙酸己酯和苯乙酸乙酯的相对含量均明显高于对照和其他几种处理。与对照果实相比,2mmol/L外源乙烯利处理的南果梨酯类香气有极好的显著影响($P<0.01$)。

2.2 对脂氧合酶活性的影响

脂氧合酶(LOX)途径是次生物质代谢的一个重要途径,许多研究都表明LOX途径及其产物参与了乙烯的生物合成,并与果实的成熟衰老密切相关^[16-18]。由图1可以看出,在1-MCP处理的南果梨冷藏后转入常温货架期间,对照和不同浓度乙烯利处理的南果梨的LOX活性均呈先上升后下降的趋势。在货架期的前14d,LOX活性随后熟时间的延长而上升,至14d时LOX活性达到高峰,之后LOX活性随货架时间的延长而下降。在14d时2mmol/L乙烯利处理的果实LOX活性高达45mU/mg,而对照、4、6、8mmol/L乙烯利处理LOX活性分别为30、32、37、21mU/mg。2mmol/L和6mmol/L乙烯利处理的LOX活性始终高于对照,其中以2mmol/L乙烯利处理的果实LOX活性极显著高于对照($P<0.01$),而6mmol/L乙烯利处理的果实LOX活性也显著高于对照($P<0.05$)。

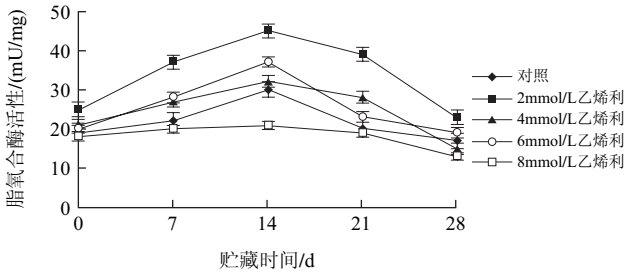


图1 不同浓度乙烯利对1-MCP处理的南果梨冷藏后常温货架期间脂氧合酶活性的影响

Fig.1 Effect of different concentrations of ethephon on LOX activity of 1-MCP treated Nanguo pear during shelf-life after refrigerated storage

2.3 对醇脱氢酶活性的影响

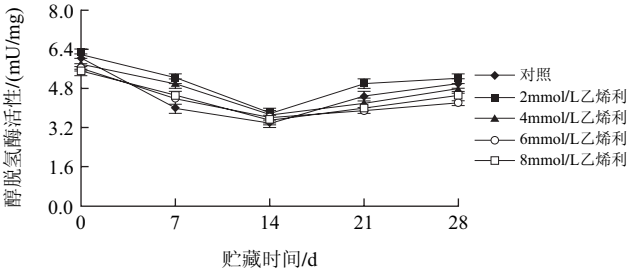


图2 不同浓度乙烯利对1-MCP处理的南果梨冷藏后常温货架期间醇脱氢酶活性的影响

Fig.2 Effect of different concentrations of ethephon on ADH activity of 1-MCP treated Nanguo pear during shelf-life after cold storage

醇脱氢酶(ADH)催化醛类物质转化为相应的醇,从而为酯类物质的合成提供代谢前体。Manríquez等^[19]从甜瓜果实中克隆出的*Cm-ADH1*与*Cm-ADH2*两个ADH基因,研究表明,ADH对果实香气形成具有重要的作用。由图2可以看出,对照和不同浓度乙烯利处理的ADH活性随着果实的不断成熟呈先下降后上升的趋势,2、4、6、8mmol/L乙烯利处理与对照LOX活性无显著差异($P>0.05$)。由此可见,不同浓度的乙烯利对ADH活性的影响作用不明显。

2.4 对氢过氧化物裂解酶活性的影响

氢过氧化物裂解酶(HPL)是合成香气途径的另一个重要酶,经过HPL作用过氧羟基脂肪酸裂解为醛类和含氧酸。由于底物的不同HPL的作用位点也分为3种:9位裂解酶、13位裂解酶和无特异位置裂解酶,而且HPL的底物特异性直接决定了植物挥发性物质的组成^[20]。由图3可知,冷藏南果梨果实转入常温后熟过程中HPL的酶活性先逐渐增加,然后又有所下降。2mmol/L乙烯利处理的HPL活性显著高于对照和其他浓度乙烯利处理($P<0.05$)。

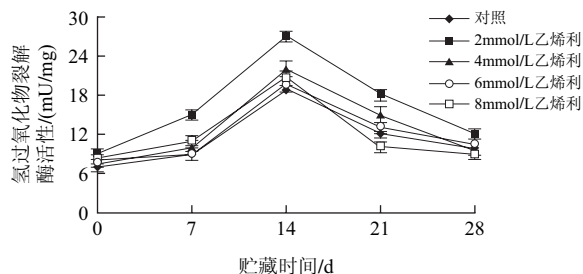


图3 不同浓度乙烯利对1-MCP处理的南果梨冷藏后常温货架期间氢过氧化物裂解酶活性的影响

Fig.3 Effect of different concentrations of ethephon on HPL activity of 1-MCP treated Nanguo pear during shelf-life after cold storage

2.5 对醇酰基转移酶活性的影响

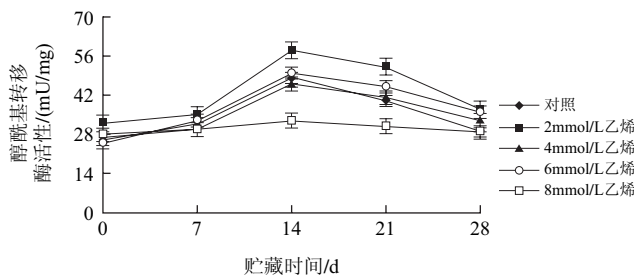


图4 不同浓度乙烯利对1-MCP处理的南果梨冷藏后常温货架期间醇酰基转移酶活性的影响

Fig.4 Effect of different concentrations of ethephon on AAT activity of 1-MCP treated Nanguo pear during shelf-life after cold storage

醇酰基转移酶(AAT)在酯类化合物的生物合成过程中起关键作用^[21],在AAT作用下,醇类底物可以与酰基CoA中的酰基酯化为酯。AAT是酯类合成途径中最末端

的关键酶,在酯类合成中扮演了重要的角色,也是催化酯类化合物生物合成的关键酶之一。由图4可以看出,在南果梨果实的采后成熟和后熟过程中,AAT活性呈先升高后降低的变化趋势,这与大多数酯类化合物相对含量的变化趋势吻合。对照和不同浓度乙烯利处理的南果梨AAT活性都在货架14d时出现高峰,其中2mmol/L乙烯利处理的AAT活性极显著高于其他4个处理的酶活性($P<0.01$)。

3 结论

LOX、HPL、ADH和AAT是脂肪酸代谢途径的关键酶,同时也是酯类物质生物合成的关键酶,探讨1-MCP处理的南果梨冷藏后关键酶活性的变化对研究不同浓度乙烯利处理后果实香气物质的机理具有重要价值。有研究表明,乙烯利处理可以显著增加果实的呼吸强度、可溶性固形物和总酚含量^[15],但并没有对果实酯类物质以及脂肪酸代谢途径的关键酶的相关研究。本研究结果表明:1-MCP处理的南果梨冷藏后经过不同浓度乙烯利处理,对照、4、6、8mmol/L这4种处理的脂肪酸代谢途径关键酶LOX、HPL和AAT活性均显著低于2mmol/L乙烯利处理的酶活性,而不同浓度乙烯利处理与对照处理ADH酶活性无显著差异,这说明低浓度的乙烯利处理能够提高南果梨脂肪酸途径中LOX、HPL和AAT的酶活性。2mmol/L和6mmol/L乙烯利处理的南果梨酯类物质的相对含量显著高于对照、4mmol/L和8mmol/L这几种处理,这说明2mmol/L和6mmol/L乙烯利处理能够提高南果梨酯类物质的相对含量,数据分析结果表明2mmol/L乙烯利处理有较高的显著性。由此可知,经1-MCP处理的南果梨冷藏后用2mmol/L乙烯利进行复醒处理可有效提高LOX、HPL和AAT活性,从而提高果实的酯类物质含量,使果实表现出浓郁的香气。这些关键酶活性的下降是酯类物质合成减慢的主要原因,而酶活性下降可能与1-MCP熏蒸处理抑制了果实内源乙烯的产生有关,也可能与乙烯信号传导过程有关,有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 李江阔, 张鹏, 纪淑娟, 等. 1-MCP对不同成熟度南果梨贮后货架保鲜效果的研究[J]. 北方园艺, 2009(1): 212-214.
- [2] 张佰清, 刘佳, 李江阔等. 1-MCP和CO₂双重处理因素对南果梨常温货架生理品质的影响[J]. 食品科技, 2009, 34(4): 67-70.
- [3] KOU X H, LIU X P, LI J K, et al. Effects of ripening, 1-methylcyclopropene and ultra-high-pressure pasteurisation on the change of volatiles in Chinese pear cultivars[J]. J Sci Food Agric, 2012, 92(1): 177-183.
- [4] 苏小军, 蒋跃明. 新型乙烯受体抑制剂1-甲基环丙烯在采后园艺作物中的应用[J]. 植物生理学通讯, 2001, 37(4): 361-364.
- [5] 董萍, 辛广, 张博, 等. 1-MCP处理对南果梨20℃贮藏期间香气成分的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(22): 477-479.
- [6] TONUTTI P, BONGHI C, RAMINA A. Fruit firmness and ethylene biosynthesis in three cultivars of peach[J]. Hort Sci, 1996, 71(1):

- 141-147.
- [7] BRECHT J K, KADER A A, HEINTZ C M, et al. Controlled atmosphere and ethylene effects on quality of California canning apricots and clingstone peaches[J]. Food Science, 1982, 47(2): 432-433.
- [8] PALOU L, CRISOSTO C H, GARNER D, et al. Effect of continuous exposure to exogenous ethylene during cold storage on postharvest decay development and quality attributes of fruits and table grapes[J]. Postharvest Biol Technol, 2003, 27(3): 243-254.
- [9] ZHOU H W, LURIE S, BEN-ARIE R, et al. Intermittent warming of peaches reduces chilling injury by enhancing ethylene and enzymes mediated by ethylene[J]. Hort Sci Biotech, 2001, 76(5): 620-628.
- [10] ZHANG Lihua, LI Shunfeng, LIU Xinghua, et al. Effects of ethephon on physicochemical and quality properties of kiwifruit during ripening[J]. Postharvest Biology and Technology, 2012, 65: 69-75.
- [11] 杨卫东, 李江阔, 张平, 等. 1-MCP处理对贮前预熟南果梨货架期间果实衰老的影响[J]. 华北农学报, 2010, 25(2): 164-167.
- [12] 陈昆松, 徐昌杰, 许文平, 等. 猕猴桃和桃果实脂氧合酶活性测定方法的建立[J]. 果树学报, 2003, 20(6): 436-438.
- [13] 田长平, 王延玲, 刘遵春, 等. 1-MCP和NO处理对黄金梨主要贮藏品质指标及脂肪酸代谢酶活性的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(14): 2962-2972.
- [14] SALAS J, SANCHEZ J. Hydroperoxide lyase from olive (*Olea europaea*) fruits[J]. Plant Science, 1999, 143(1): 19-26.
- [15] ECHEVERRÍA G, GRAELL J, LÓPEZ M L, et al. Volatile production, quality and aroma-related enzyme activities during maturation of 'Fuji' apples[J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 31(3): 217-227.
- [16] GRAY D A, PRESTAGE S, LINFORTH RST, et al. Fresh tomato specific fluctuations in the composition of lipoxygenase-generated C₆ aldehydes[J]. Food Chem, 1999, 64(2): 149-155.
- [17] RILEY J C M, WILLEMOT C, THOMPSON J E. Lipoxygenase and hydroperoxide lyase activity in ripening tomato fruit[J]. Postharvest Biol Technol, 1996, 7(1/2): 97-107.
- [18] KAUSCH K D, HANDA A K. Molecular cloning of a ripening-specific lipoxygenase and its expression during wild-type and mutant tomato fruit development[J]. Plant Physiol, 1997, 113(4): 1041-1050.
- [19] MANRÍQUEZ D, EL-SHARKAWY I, FLORES F B, et al. Two highly divergent alcohol dehydrogenases of melon exhibit fruit ripening-specific expression and distinct biochemical characteristics[J]. Plant Mol Biol, 2006, 61(4/5): 675-685.
- [20] TRESSL R, DRAWERT F. Biogenesis of banana volatiles[J]. J Agric Food Chem, 1973, 21(4): 560-565.
- [21] HADFIELD K A, DANG T, PECH J C, et al. Characterization of ripening-regulated cDNAs and their expression in ethylene-suppressed charentais melon fruit[J]. Plant Physiology, 2000, 122(3): 977-983.