

间歇升温诱导南果梨冷藏转常温酯类香气的变化和相关基因表达

周 鑫, 董 玲, 纪淑娟*
(沈阳农业大学食品学院, 辽宁 沈阳 110866)

摘 要:以南果梨为试材, 研究间歇升温 (intermittent warming, IW) 对南果梨冷藏后常温货架期间酯类香气的影响, 以及对酯类香气代谢途径关键酶脂氧合酶 (lipoxygenase, LOX)、醇脱氢酶 (alcohol dehydrogenase, ADH)、醇酰基转移酶 (alcohol acyltransferase, AAT) 活性及其相应基因表达的影响, 探讨IW对南果梨香气代谢的作用机理。结果表明, IW处理显著提高了南果梨果实冷藏后出库当天和最佳食用期时的酯类香气含量, 提高了常温货架前期果实LOX活性、常温货架第6天时果实ADH活性和冷藏期间及常温货架期间果实AAT活性, 显著诱导了冷藏期间及常温货架期间*PuLOX1*、*PuADH3*和*PuAAT1*的表达。IW处理可能通过对酯类香气代谢途径关键酶活性及其相应基因表达的调控, 促进果实酯类香气的生成, 从而一定程度提高南果梨冷藏后的香气品质。

关键词: 南果梨; 间歇升温; 冷藏; 酯类香气; 基因表达

Intermittent Warming Induces Changes in Volatile Ester Production and Related Genes Expression during Shelf Life at Room Temperature of Refrigerated Nanguo Pears

ZHOU Xin, DONG Ling, JI Shujuan*
(College of Food Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract: Refrigeration delays ripening and reduces decay of pear fruit, but this benefit is offset by a loss of aroma when the fruit is then ripened at room temperature. Intermittent warming (IW) has been used to alleviate chilling injury (CI) of fruit; however, its effect on aroma remains unknown. In this study, Nanguo pears were subjected to IW and changes in aroma-related esters, the activities and gene expression of lipoxygenase (LOX), alcohol dehydrogenase (ADH) and alcohol acyltransferase (AAT) were investigated. Significantly higher ester contents were found in IW-treated fruit on day 0 of the shelf life at room temperature and in the optimal taste period. The activity of LOX was promoted by IW treatment during the early period of the shelf life at room temperature and the activity of ADH was promoted on day 6 of the shelf life, while the activity of AAT was accelerated during cold storage and the shelf life at room temperature. The transcription levels of *PuLOX1*, *PuADH3* and *PuAAT1* genes were significantly promoted by IW treatment. IW treatment may regulate the activities and gene expression of LOX, ADH and AAT to stimulate the generation of aroma-related esters. Treatment with IW effectively prevented the loss of aroma-related esters from refrigerated Nanguo pears.

Key words: Nanguo pears; intermittent warming; refrigeration; volatile esters; gene expression

中图分类号: TS255.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2015) 14-0206-06

doi:10.7506/spkx.1002-6630-201514040

间歇升温 (intermittent warming, IW) 处理, 即果蔬在低温贮藏期间采取多次短期升温处理, 是以高于冷害临界温度的温度中断低温以减轻冷害的一种方法。Cohen^[1]研究表明IW处理能够增强柠檬对低温的耐受能力, 维持柠檬良好的硬度并减少腐烂。Anderson^[2]对油桃的贮藏研究表明, IW处理可显著抑制果实内腐

病的发生, 并保持较高的食用品质。此外, IW处理还可有效消除或减轻李子、芒果、石榴、桃、番茄等多种果蔬的冷害症状^[3-8]。酯类香气代谢途径中, 脂氧合酶 (lipoxygenase, LOX) 作用于脂肪酸生成的醛类在醇脱氢酶 (alcohol dehydrogenase, ADH) 参与下还原为醇^[9-13]。醇酰基转移酶 (alcohol acyltransferase, AAT) 可催化醇

收稿日期: 2014-11-18

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (31370685)

作者简介: 周鑫 (1987—), 女, 博士研究生, 研究方向为食品质量控制。E-mail: zhou_xin870828@yeah.net

*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

类与酰基CoA的酯化反应,是酯类合成途径中最末端的关键酶^[14-15]。研究表明,LOX、ADH和AAT活性及基因表达的变化会影响酯类香气的生成^[16]。

南果梨(*Pyrus ussuriensis* Maxim.)为辽宁省鞍山地区的特产,其浓郁的香气是重要的果实品质之一。南果梨采后常温条件下放置不耐贮,采用冷藏的方式可有效地延缓果实后熟衰老,但是冷藏后常温货架期间南果梨的香气品质会下降^[17-18]。Xi Wanpeng等^[19]研究发现IW处理可通过调控AAT减轻桃果实低温贮藏期间酯类香气的丧失,然而该调控方式对梨果实香气品质的影响及作用机理尚不清楚。本研究对冷藏南果梨进行IW处理,通过分析酯类香气的变化和LOX、ADH和AAT活性及基因表达变化,探讨IW处理对冷藏南果梨酯类香气的调控作用,为提高冷藏南果梨的商品品质提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

供试南果梨果实于2013年9月17日采自辽宁省鞍山市摩云山镇。

氯化钠(分析纯) 国药集团化学试剂有限公司; 2-(N-吗啡啉)乙磺酸、亚油酸钠、还原型辅酶、二硝基苯甲酸 上海源叶生物有限公司; 乙酰辅酶A 美国Sigma公司; 总RNA提取试剂盒、cDNA第一链合成试剂盒、实时荧光定量PCR试剂盒 北京天根生化科技有限公司。

1.2 仪器与设备

7890-5975气相色谱-质谱联用仪 美国Agilent公司; 100 μ m PDMS萃取头和固相微萃取手柄 美国Supleco公司; iQ5实时荧光定量PCR仪 美国Bio-Rad公司; TA.XT.Plus物性测定仪 英国Stable Micro System公司。

1.3 方法

1.3.1 间歇升温处理

挑选大小均匀、无病虫害、无机械损伤的果实500个,平均分成2组,每组果实分别装于5个0.04 mm聚乙烯袋内(每袋50个)。在常温20℃条件下预熟5 d后,两组果实均移入冷库(0 \pm 0.5)℃冷藏,其中一组果实在冷藏期间每20 d转至常温20℃条件下放置1 d,作为间歇处理组。2组果实冷藏90 d后出库,于常温20℃条件下放置。分别取入库当天(冷藏0 d)、常温货架期0、6、9、12、15 d的果实进行实验,并于入库当天、出库当天(常温货架期0 d)和最佳食用期(常温货架期9 d)时测定酯类香气。每个实验时间点时果实组织均经液氮冷冻采样,于-80℃保存并用于RNA提取。

1.3.2 硬度的测定

每次随机选取6个果实,在每个果实去皮的胴部

测4个点,取平均值。测定参数为:探头型号P/2,直径2 mm,测试速率3 mm/s,测定深度5 mm,最小感知力5 g。

1.3.3 酯类香气的测定

选取6个(约900 g)大小一致、无机械伤的果实,组织粉碎后,经200目纱布过滤,收集滤液。准确量取8 mL滤液于15 mL顶空瓶中,加入2.5 g NaCl,加入10 μ L 3-辛酮(1.644 mg/mL),置于50℃加热台上平衡5 min,插入100 μ m PDMS萃取头,50℃萃取40 min,转子转速为1 000 r/min。萃取结束后将萃取头插入进样口,于250℃解吸3 min,进行检测,并重复3次。

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

质谱条件:连接杆温度280℃;电子电离源;电离电压70 eV;离子源温度200℃;四极杆温度150℃;倍增电压1 200 eV;扫描范围 m/z 45~600。

定性定量方法:通过检索NIST/Wiley标准谱库,并结合文献的谱图^[20-21]进行定性分析。利用3-辛酮作为内标定量。计算公式参照陈美霞等^[22]的方法,并略作改动。

酯类香气各组分的含量/(μ g/kg)=[各组分的峰面积/内标的峰面积 \times 内标质量浓度/(mg/mL) \times 体积/mL \times 1 000]/样品量/kg

1.3.4 酶活性的测定

LOX、ADH和AAT活性的测定,分别参照陈昆松^[23]、田长平^[24]、Echeverria^[25]等方法,测定项目均为3次重复。

1.3.5 基因表达量的测定

南果梨果实总RNA提取参照RNAprep pure多糖多酚植物总RNA提取试剂盒说明书进行。用OD值测定法结合琼脂糖凝胶电泳法进行RNA质量的检测。反转录反应参照TIANScript cDNA第一链合成试剂盒说明书进行。

采用实时荧光定量PCR的方法,按照相关基因已知序列利用Primer Premier 5.0设计实时荧光定量PCR特异性引物(表1)。荧光定量PCR反应体系(20 μ L)和反应程序参照RealMasterMix (SYBR Green)试剂盒说明书进行。以梨Actin作为内参,采用相对定量的 $2^{-\Delta\Delta Ct}$ 方法,基因表达水平以某实验时间点同果实入库当天的比值表示,果实入库当天的表达水平设为1。

表1 实时荧光定量PCR特异性引物
Table 1 Primers for real-time q-PCR analysis

基因	GenBank登录号	上游引物(5'-3')	下游引物(5'-3')	产物大小/bp
PuAT1	KJ775788	TGGTGCCAAGGAGATGAGATC	TGTGGTGCTTTCCCGCTG	180
PuLOX1	KJ775789	TGAGCAATTGTGATAGCGG	TGTGAGAACTTGTGTCGCG	121
PuADH3	AF031900	TGTGACCTCTCAGGATAAA	GCCAAGGGATTGATCTTAG	164
Actin	JN684184	TTGGGATGGGTGAGAAGG	CTGTGAGCAGAACTGGGTG	186

1.4 数据分析

运用SPSS16.0“one-way ANOVA”进行实验数据的差异显著性分析,应用Excel软件计算平均值、标准差,图形生成采用Origin 8.1软件。

2 结果与分析

2.1 IW对南果梨冷藏后常温货架期间果实硬度变化的影响

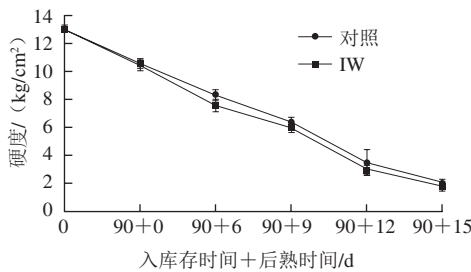


图1 IW对理南果梨冷藏后常温货架期间果实硬度的影响
Fig.1 Effects of IW treatment on flesh firmness of Nanguo pears during ripening period after refrigeration

由图1可知,冷藏90 d后出库当天,2组果实硬度均显著低于入库当天 ($P<0.05$),但2组间果实硬度无显著差异。南果梨是软肉梨品种,只有当果实适度变软时特有的香气才能散发出来。随着常温货架期的延长,2组果实的硬度均呈下降趋势,常温货架期9 d时,2组果实的硬度均降至6~7 kg/cm²,且无显著差异,在此硬度时南果梨的食用品质最佳。因此,后续酯类香气分析时,2组果实均以常温货架期9 d时为最佳食用期进行香气测定。

2.2 IW对南果梨冷藏后常温货架期间果实酯类香气的

影响
酯类是成熟果实的主要香气成分^[26-27]。如表2所示,入库当天南果梨果实中只检测到6种酯类香气成分。冷藏90 d的南果梨在出库当天,IW处理果实中酯类香气成分种类增至19种,比对照果实中多2种。在常温货架期第9天,即果实硬度达到最佳食用状态时,IW处理果实中检测到20种酯类香气成分,比此时对照果实中多1种。

果实香气取决于香气成分的组成、含量及香气阈值。具有高含量和低香气阈值的香气成分对香气的贡献较大。从表2可以看出,己酸乙酯是南果梨果实中相对含量最大的酯类香气成分,又具有较低的香气阈值,因此对香气的贡献比较大,是南果梨果实主要的酯类香气成分。同样的,乙酸乙酯、丁酸乙酯和乙酸己酯也被认为是南果梨果实的主要酯类香气成分。在出库当天和最佳食用期时,IW处理果实中己酸乙酯的含量均显著高于同期对照果实,而乙酸己酯的含量却均显著低于同期对照果实 ($P<0.05$)。出库当天,IW处理果实中乙酸乙酯和丁酸乙酯的含量均显著高于对照果实 ($P<0.05$),但最佳食用期时,IW处理果实中乙酸乙酯含量与对照果实无显著差异,

丁酸乙酯的含量却显著低于对照果实 ($P<0.05$)。出库当天,2组果实总酯类香气含量均显著高于入库当天,且IW处理果实显著高于对照果实 ($P<0.05$)。

表2 南果梨冷藏后常温货架期间酯类香气的变化
Table 2 Changes in esters during ripening at room temperature of refrigerated Nanguo pears

酯类香气成分	阈值	组别	入库当天 (冷藏0 d)	冷藏90 d后	
				出库当天 (常温货架期0 d)	最佳食用期 (常温货架期9 d)
				μg/kg	
乙酸乙酯	5	对照	1.30	9.24	23.32
		IW		14.01	20.72
丁酸乙酯	1	对照	—	—	61.06
		IW		24.94	46.51
己酸乙酯	1	对照	8.70	167.25	837.71
		IW		836.23	1 342.35
乙酸己酯	2	对照	17.74	114.53	284.60
		IW		109.76	115.05
己酸甲酯	70	对照	—	1.93	157.31
		IW		21.61	13.56
庚酸乙酯	2.2	对照	0.25	0.47	6.76
		IW		3.58	6.57
2-己烯酸乙酯		对照	3.16	3.58	7.15
		IW		8.10	13.93
3-甲磺基丙酸甲酯	7	对照	—	0.89	6.46
		IW		3.15	3.14
3-羟基己酸乙酯		对照	—	—	—
		IW		2.36	3.86
辛酸乙酯	15	对照	—	0.83	11.44
		IW		5.33	16.09
2-辛烯酸乙酯		对照	—	0.81	9.00
		IW		0.95	11.77
丁酸己酯	250	对照	—	1.82	2.64
		IW		—	0.24
己酸己酯		对照	—	0.23	3.21
		IW		2.15	2.30
乙酸庚酯		对照	—	0.96	3.12
		IW		0.48	0.85
辛酸甲酯		对照	—	0.02	2.70
		IW		0.33	0.71
乙酸辛酯	12	对照	—	0.47	4.00
		IW		0.53	1.89
(E,Z)-2,4-癸二烯酸乙酯		对照	0.43	1.12	55.43
		IW		44.74	129.05
(Z,E)-2,4-癸二烯酸甲酯		对照	—	0.27	27.21
		IW		7.58	16.41
4-癸烯酸甲酯		对照	—	0.43	0.60
		IW		6.01	12.40
苯甲酸乙酯		对照	—	—	0.95
		IW		0.25	1.72
总酯		对照	31.57	304.85	1 504.66
		IW		1 092.09	1 759.11

注:—未检出。

2.3 IW对南果梨冷藏后常温货架期间酯类香气代谢途径中关键酶活性及其基因表达的影响

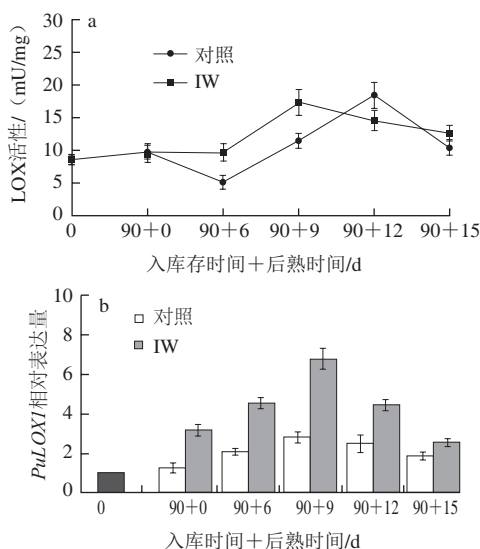


图2 IW对南果梨冷藏后货架期间LOX活性 (a) 及其*PuLOX1*相对表达量 (b) 的影响

Fig.2 Effects of IW treatment on LOX activity (a) and relative expression of *PuLOX1* (b) of Nanguo pears during ripening period after refrigeration

由图2a可以看出, 冷藏90 d的南果梨在出库当天, 2组果实LOX活性均与入库当天无显著差异, 且2组间果实LOX活性也无显著差异。在常温货架期间, IW处理果实LOX活性呈先升后降趋势, 且在第9天达到峰值, 而对照果实LOX活性呈先降后升再降趋势, 于第12天达到峰值, 2组果实LOX活性峰值无显著差异。在常温货架期间第6~9天时, IW处理果实LOX活性显著高于同期对照果实 ($P<0.05$), 说明IW处理促进了常温货架前期果实LOX活性。

由图2b可知, 冷藏90 d的南果梨在出库当天, 对照果实*PuLOX1*相对表达量与入库当天无显著差异, 而IW处理果实*PuLOX1*相对表达量显著高于入库当天 ($P<0.05$), 说明IW处理促进了冷藏期间果实*PuLOX1*的表达。在常温货架期间, 2组果实*PuLOX1*相对表达量均呈先升后降趋势, 且均在第9天达到峰值。从常温货架期的0~15 d, IW处理果实*PuLOX1*相对表达量均显著高于同期对照果实 ($P<0.05$), 说明IW处理也促进了常温货架期间果实*PuLOX1*的表达。

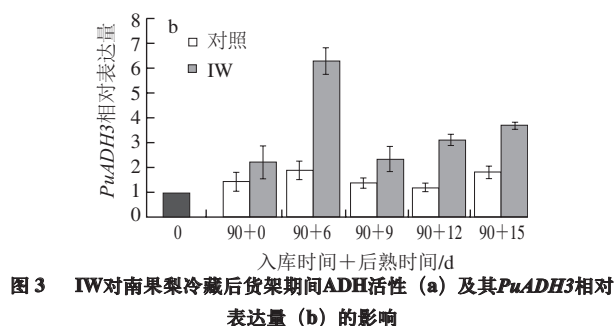
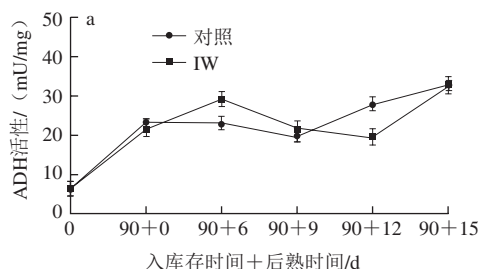


图3 IW对南果梨冷藏后货架期间ADH活性 (a) 及其*PuADH3*相对表达量 (b) 的影响

Fig.3 Effects of IW treatment on ADH activity (a) and relative expression of *PuADH3* (b) of Nanguo pears during ripening period after refrigeration

如图3a所示, 冷藏90 d的南果梨在出库当天, 2组果实ADH活性均显著高于入库当天 ($P<0.05$), 且2组间果实ADH活性无显著差异。在常温货架期间, IW处理果实ADH活性呈先升后降再升趋势, 分别于第6天和第15天达到峰值。对照果实ADH活性呈先降后升趋势, 于第15天达到峰值。IW处理果实ADH活性仅在第6天时显著高于对照果实, 且在第12天时显著低于对照果实 ($P<0.05$), 在常温货架期的其他测试时间时均与同期对照果实ADH活性无显著差异。

由图3b可以看出, 冷藏90 d的南果梨在出库当天, 对照果实*PuADH3*相对表达量与入库当天无显著差异, 而IW处理果实*PuADH3*相对表达量显著高于入库当天 ($P<0.05$), 说明IW处理促进了冷藏期间果实*PuADH3*的表达。在常温货架期间第6天, 2组果实*PuADH3*相对表达量均达到最大值。从常温货架期的0~15 d, IW处理果实*PuADH3*相对表达量显著高于同期对照果实, 说明IW处理也促进了常温货架期间果实*PuADH3*的表达。

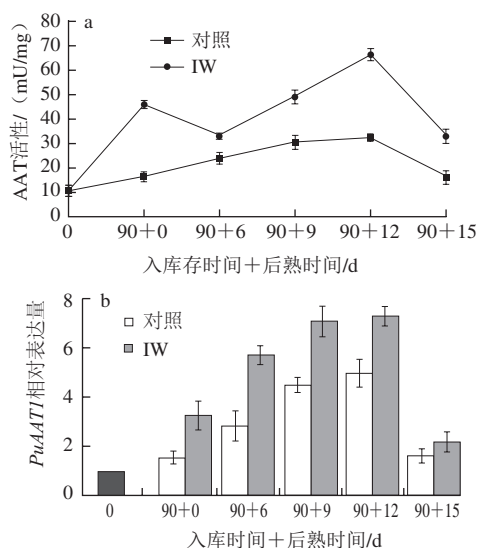


图4 IW对南果梨冷藏后货架期间AAT活性 (a) 及其*PuAAT1*相对表达量 (b) 的影响

Fig.4 Effects of IW treatment on AAT activity (a) and relative expression of *PuAAT1* (b) of Nanguo pears during ripening period after refrigeration

由图4a可知, 冷藏90 d后出库当天, 2组果实AAT活性均显著高于入库当天, 且IW处理果实AAT活性显著高于对照果实 ($P<0.05$), 说明IW处理促进了冷藏期间果实AAT活性。在常温货架期间, IW处理果实AAT活性呈先降后升再降趋势, 对照果实AAT活性呈先升后降趋势, 2组均于第12天时达到最大峰值。从常温货架期的0~15 d, IW处理果实AAT活性均显著高于对照果实 ($P<0.05$), 说明IW处理也促进了常温货架期间的果实AAT活性。

由图4b可以看出, 冷藏90 d后出库当天, 对照果实*PuAAT1*相对表达量与入库当天无显著差异, 而IW处理果实*PuAAT1*相对表达量显著高于入库当天 ($P<0.05$), 说明IW处理促进了冷藏期间果实*PuAAT1*的表达。在常温货架期间, 2组果实*PuAAT1*相对表达量均呈先升后降趋势, 且与AAT活性相似, 2组果实*PuAAT1*相对表达量也均于第12天时达到峰值。从常温货架期的0~15 d, IW处理果实*PuAAT1*相对表达量显著高于同期对照果实 ($P<0.05$), 说明IW处理也促进了常温货架期间果实*PuAAT1*的表达。

3 讨论

香气是南果梨重要的品质指标之一, 酯类是成熟果实的主要香气成分^[26-27]。本研究结果表明, IW处理显著提高了冷藏期间及常温货架期间南果梨酯类香气的生成。本研究以果实硬度判断果实的成熟度, 出库当天及常温货架最佳食用期时IW处理果实与同期对照果实硬度无显著差异, 说明2组果实在香气测定时果实成熟度无显著差异, 因此IW处理可能并非通过改变果实成熟度而提高果实的香气品质, 需进一步对果实香气代谢途径进行分析。

本研究结果发现, IW处理诱导了冷藏期间及常温货架期间*PuLOX1*、*PuADH3*和*PuAAT1*的表达, Li Guopeng等^[28]研究证明*LOX1*、*ADH3*和*AAT*基因在梨果实酯类香气生成中起到重要的作用, 因此3种基因的上调表达可能是IW处理促进果实酯类香气合成的关键因素。此外, 关键酶活性的提高也会对果实酯类香气的大量生成起着重要的作用。IW处理显著提高了常温货架前期果实LOX活性, Zhang Bo等^[12]研究发现LOX活性及表达的提高会促进果实形成大量己醛, 这可能是IW处理果实中含有C6特征单元的主要香气成分己酸乙酯含量显著提高的原因。IW处理提高了常温货架期第6天时果实ADH活性, 说明最佳食用期前IW处理果实生成醇类的能力较强, 可为酯类合成提供大量醇类前体物质。*PuAAT1*表达量和AAT活性的提高使IW处理果实产生了大量的酯类香气, 这与Xi Wanpeng等^[19]研究发现IW处理可通过促进AAT活性及表达使桃果实酯类香气恢复的结果一致。通过分析发

现, 3种酶活性变化趋势与其对应基因的表达模式并非一致, 这表明3种酶蛋白可能存在翻译后修饰作用, 但具体机制仍需进一步研究。

参考文献:

- [1] COHEN E. Commercial use of long-term storage of lemon with intermittent warming[J]. HortScience, 1998, 23: 400.
- [2] ANGERSON R E. Long-term storage of peach and nectarines IW during controlled atmosphere storage[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1982, 107: 214-216.
- [3] 王艳颖, 胡文忠, 刘程惠, 等. 间歇升温对采后香蕉李贮藏中酶促褐变的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(2): 245-249.
- [4] 张昭其, 洪汉君, 李雪萍, 等. 间歇升温对芒果冷害及生理生化反应的影响[J]. 园艺学报, 1997, 24(4): 329-332.
- [5] MIRDEHGHAN S H, RAHEMI M, MARTÍNEZ-ROMERO D, et al. Reduction of pomegranate chilling injury during storage after heat treatment: role of polyamines[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 44: 19-25.
- [6] FERNÁNDEZ-TRUJILLO J P, ARTÉS F. Keeping quality of cold stored peaches using intermittent warming[J]. Food Research International, 1997, 30: 441-450.
- [7] ZHU Liqin, ZHOU Jie, ZHU Shuhua. Effect of a combination of nitric oxide treatment and intermittent warming on prevention of chilling injury of 'feicheng' peach fruit during storage[J]. Food Chemistry, 2010, 121: 165-170.
- [8] ARTÉS F, ESCRICHE A J. Intermittent warming reduces chilling injury and decay of tomato fruit[J]. Journal of Food Science, 1994, 59: 1053-1056.
- [9] 李国鹏. 中国梨果实挥发性物质鉴定及酯类物质生物合成相关基因表达的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
- [10] ZHANG Changfeng, TIAN Shiping. Peach fruit acquired tolerance to low temperature stress by accumulation of linolenic acid and *N*-acylphosphatidylethanolamine in plasma membrane[J]. Food Chemistry, 2010, 120: 864-872.
- [11] ZHANG Bo, SHEN Jiuyan, WEI Wenwen, et al. Expression of genes associated with aroma formation derived from the fatty acid pathway during peach fruit ripening[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58: 6157-6165.
- [12] ZHANG Bo, YIN Xueren, LI Xian, et al. Lipoygenase gene expression in ripening kiwifruit in relation to ethylene and aroma production[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57: 2875-2881.
- [13] BOTONDI R, RUSSO V, MENCARELLI F. Anaerobic metabolism during short and long term storage of kiwifruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2012, 64: 83-90.
- [14] IBRAHIM R, VARIN L, de LUCA V, et al. Evolution of metabolic pathways[M]. Oxford: Elsevier, 2000: 285-315.
- [15] TOMAS-BARBERAN F A, ROBINS R Z. Phytochemistry of fruit and vegetables[M]. Oxford: Clarendon Press, 1997: 125-155.
- [16] ZHANG Liping, SHEN Yixiao, BU Qingzhuang, et al. Effects of 1-methylcyclopropene on the metabolic pathways of aroma-related compounds in 'Nanguo' Pear[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2013, 38: 1749-1758.
- [17] 卜庆状, 纪淑娟, 李江阔, 等. 冷藏南果梨常温后熟期香气成分变化[J]. 食品科学, 2013, 34(2): 273-276.
- [18] 张丽萍. 冷藏及1-MCP处理对南果梨香气代谢的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2013.

- [19] XI Wanpeng, ZHANG Bo, SHEN Jiuyan, et al. Intermittent warming alleviated the loss of peach fruit aroma-related esters by regulation of AAT during cold storage[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2012, 74: 42-48.
- [20] LURIE S, PREAYMARD C, RAVID U, et al. Effect of 1-methylcyclopropene on volatile emission and aroma in cv. Anna apples[J]. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 2002, 50(15): 4251-4256.
- [21] LI Dong, LURIE S, ZHOU Hongwei. Effect of 1-methylcyclopropene on ripening of 'Canino' apricots and 'Royal Zee' plums[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2002, 24(2): 135-145.
- [22] 陈美霞, 陈学森, 周杰, 等. 杏果实不同发育阶段的香味组分及其变化[J]. *中国农业科学*, 2005, 38(6): 1244-1249.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] ZHANG Bo, XI Wangpeng, WEI Wenwen, et al. Changes in aroma-related volatiles and gene expression during low temperature storage and subsequent shelf-life of peach fruit[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2011, 60: 7-16.
- [27] IMAHORI Y, YAMAMOTO K, TANAKA H, et al. Residual effects of low oxygen storage of mature green fruit on ripening processes and ester biosynthesis during ripening in bananas[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2013, 77: 19-27.
- [28] LI Guopeng, JIA Huijuan, LI Jihua, et al. Emission of volatile esters and transcription of ethylene- and aroma-related genes during ripening of 'Pingxiangli' pear fruit (*Pyrus ussuriensis* Maxim.)[J]. *Scientia Horticulturae*, 2014, 170: 17-23.