

低温胁迫提升苹果鲜榨汁品质研究*

姚刚¹ 李凤城² 张绍英¹ 杜志龙² 王叶群¹ 刘婷¹

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 中国农业机械化科学研究院, 北京 100083)

摘要: 为了调控苹果鲜榨汁的品质,对低温胁迫前、后国光和富士苹果及其鲜榨汁中的总抗坏血酸、可溶性糖、苹果酸、糖酸比、香气成分等品质指标进行了测定。结果表明:国光和富士苹果在(−7±0.5)℃分别处理20 h和8 h的总抗坏血酸、AA及DHA含量最高,分别提高了26.65%、28.93%、18.26%和15.78%、17.33%、11.30%;可溶性糖和苹果酸分别下降了13.04%、7.27%和14.14%、7.14%。对比两种苹果的鲜榨汁发现:低温胁迫后国光和富士鲜榨汁中总抗坏血酸、AA、DHA分别比胁迫前提高31.26%、35.40%、20.54%和18.05%、20.46%、13.33%;可溶性糖、苹果酸和糖酸比分别下降了12.03%、7.54%、5.92%和14.53%、10.00%、5.04%;香气物质分别增加了6种和5种,且香气检出量分别提高了2.03%和8.02%。鲜榨可保留低温胁迫对原料中总抗坏血酸的提升效果,低温胁迫可作为提升两种苹果鲜榨汁中总抗坏血酸含量的有效措施。

关键词: 苹果 低温胁迫 鲜榨 营养成分

中图分类号: S377 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)02-0228-006

Freshly Squeezed Effect on Low Temperature Stress for Apple

Yao Gang¹ Li Fengcheng² Zhang Shaoying¹ Du Zhilong² Wang Yequan¹ Liu Ting¹

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China)

Abstract: To improve the content of ascorbic acid of fresh apple juice, apples of ‘Ralls’ and ‘Fuji’ juice were prepared after cold stress, and then some important quality indexes were measured. Contents of total ascorbic acid, AA and DHA of ‘Ralls’ and ‘Fuji’ reached maximum values after 20 h and 8 h of cold treatment at (−7±0.5)℃, respectively. Compared with the apples without cold treatment, contents of total ascorbic acid, AA and DHA of ‘Ralls’ and ‘Fuji’ were increased about 26.65%, 28.93%, 18.26% and 15.78%, 17.33%, 11.30%, respectively, and the contents of soluble solid, soluble sugar and malic acid were declined about 8.21%, 13.04%, 7.27% and 11.46%, 14.14%, 7.14%, respectively. Fresh juice was prepared at room temperature within 30 min after cold treatment at (−7±0.5)℃. Compared with the juice of apples without cold treatment, contents of total ascorbic acid, AA and DHA of ‘Ralls’ and ‘Fuji’ were increased about 31.26%, 35.40%, 20.54% and 18.05%, 20.46%, 13.33%, respectively, and contents of soluble sugar, malic acid and sugar-acid ratio were declined about 12.03%, 7.54%, 5.92% and 14.53%, 10.00%, 5.04%, respectively; aroma substance was increased by 6 and 5 kinds, and its contents increased about 2.03% and 8.02%, respectively. The results indicated that cold stress could be considered as an effective measure to improve the contents of ascorbic acid for fresh apple juice.

Key words: Apple Cold stress Freshly squeezed Nutritional ingredient

收稿日期: 2014-11-10 修回日期: 2014-12-15

* “十二五”国家科技支撑计划资助项目(2012BAD31B09)

作者简介: 姚刚, 博士生, 主要从事果汁加工工艺及装备研究, E-mail: 174895281@163.com

通讯作者: 张绍英, 教授, 博士生导师, 主要从事农业工程装备研究, E-mail: cauzsy@cau.edu.cn

引言

鲜榨为物理加工过程,其工艺目的是分离细胞液^[1]。鲜榨产品品质主要取决于原料品质。之前的试验发现:−7℃胁迫可使辽伏和嘎啦苹果总抗坏血酸有所提高^[2]。苹果低温胁迫后鲜榨时,因工艺要求需进行物态调整,并经历细胞破碎、固液分离等工序过程,以保证细胞液的游离率及果汁收率^[3]。期间,物态调整中苹果温度的变化及破碎和压榨过程对苹果生命体结构的破坏,有可能改变胁迫过程的生化进程,进而导致鲜榨汁品质的变化。上述变化将直接影响低温胁迫苹果鲜榨汁的品质,并将决定低温胁迫能否提高苹果鲜榨辅助工艺水平^[4]。

本文以先前对早熟苹果低温胁迫结果为基础,试验研究可提升国光、富士两种苹果总抗坏血酸含量的低温胁迫条件及效果,监测低温胁迫过程中生化机理,并据此确定鲜榨原料的预处理条件;确定胁迫、破碎分离过程转接的原料物态调整条件以及鲜榨条件;重点检测、比对胁迫前、后两种苹果及其鲜榨汁中总抗坏血酸的变化,并跟踪可溶性糖、苹果酸、糖酸比以及香气成分的改变,以评价低温胁迫作为苹果鲜榨辅助工艺的可能性及工艺效果。

1 材料与方法

1.1 材料与处理方法

选取贮藏30 d内,无物理损伤、腐烂、虫蛀、大小一致的国光和富士苹果为试验材料,原料苹果温度18~25℃,测定冷藏室温度分别为(−3±0.5)℃、(−5±0.5)℃、(−7±0.5)℃、(−9±0.5)℃后投入原料,分别处理0、4、8、12、16、20、24、28和32 h,取样检测。

鲜榨汁原料的物态调整条件:根据两种苹果胁迫后的物态试验结果,物态调整条件确定为:在18~25℃环境中30 min内调温至−2~−1℃。

鲜榨方法:将物态调整后的原料分切后直接采用螺旋压榨机进行压滤分离。

1.2 仪器设备

Cary Eclipse 荧光分光光度计(美国 VARIAN 公司),T-1000 型电子天平秤(常熟双节仪器厂),冷藏柜(浙江华美电器制造有限公司),TDL-A-5 型台式离心机(上海安亭科学仪器厂),S10 型高速匀浆机(宁波新芝生物科技股份有限公司),722S 型分光光度计(上海菁华科技仪器有限公司),PHS-25 型数显 pH 计(上海精科雷磁公司),MS300 型加热型磁力搅拌器(上海般特仪器制造有限公司),手动 SPME 进样器(美国 Supelco 公司),450-GC 型气相

色谱-质谱联用仪(美国 VARIAN 公司),220-MS 型气相色谱仪(美国 VARIAN 公司),DK-98-IIA 型电热恒温水浴锅(天津市泰斯特仪器有限公司),JYZ-E16 型九阳原汁机(九阳股份有限公司),过氧化氢(H₂O₂)、谷胱甘肽(GSH)测定试剂盒(苏州科铭生物技术有限公司),试剂均为分析纯。

1.3 检测方法

总抗坏血酸的检测采用荧光光度法^[5]。检测样本在2%草酸保护液(固液比1:1)中由组织捣碎机(8 000 r/min)破碎成浆状(颗粒粒径0.2 mm以内),移入离心管后以3 555 g离心20 min,取上清液为待测样品。还原型抗坏血酸(Ascorbic acid, AA)的检测采用2,6-二氯酚酚滴定法^[6]。氧化型抗坏血酸(Dehydroascorbic acid, DHA)由总抗坏血酸与AA的差值得出。随机抽取3个苹果为1个检测样本。每3个检测样本为1组,每组样本测量3次,取平均值。

可溶性糖采用蒽酮比色法测定^[6]。单果重复3次,计算平均值。

苹果酸以样品可滴定酸中的苹果酸质量分数计算,换算系数6.7。苹果可滴定酸用NaOH电位滴定法测定^[6]。单果重复3次,计算平均值。

糖酸比依据可溶性糖与苹果酸计算得出。

H₂O₂和GSH含量采用各自试剂盒并按照检测规范提取、测定,并计算苹果中的H₂O₂和GSH含量。

香气成分参照固相微萃取和气质联用方法测定^[7-9]。具体参数为:萃取温度50℃,萃取时间20 min,NaCl用量为0.3 g/mL。气相色谱(GC)条件:毛细管柱采用VF-WAX(30 m×0.25 mm×0.25 μm);程序升温条件为起始温度40℃,保持2.5 min,以10℃/min的速度升温至200℃,保持6 min,检测器(FID)温度为250℃,进样口温度230℃;载气为氮气。质谱(MS)条件:质谱接口温度为260℃,离子源温度200℃,电离方式EI,离子能量70 eV,扫描质荷比范围40~450。各香气成分的质谱图经计算机质谱库检索并分析定性。

1.4 统计分析

所有试验均进行3次生物学重复。计算显著性差异 $P<0.05$,数据统计分析采用DPS数据处理系统。

2 结果与分析

2.1 低温胁迫条件确定与分析

2.1.1 抗坏血酸

图1为不同温度胁迫过程,国光与富士苹果中总抗坏血酸、AA及DHA的变化。其中,国光苹果

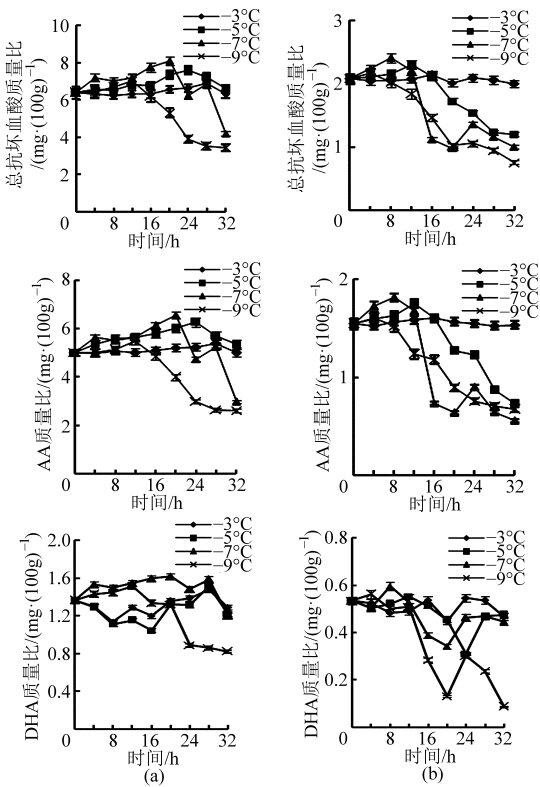
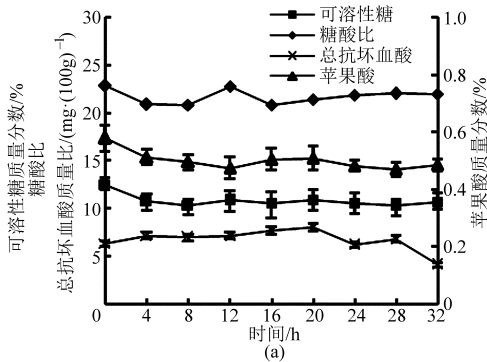


图1 不同胁迫温度下国光苹果与富士苹果中总抗坏血酸、AA 及 DHA 的变化

Fig.1 Changes of total ascorbic acid, AA and DHA contents in ‘Ralls’ and ‘Fuji’ apple under different cold stresses

(a) 国光苹果 (b) 富士苹果

在 $(-7 \pm 0.5)^{\circ}\text{C}$ 处理 20 h 时,总抗坏血酸、AA 和 DHA 增加到最大值,分别提高了 26.65%、28.93% 和 18.26% (图 1a);富士苹果在 $(-7 \pm 0.5)^{\circ}\text{C}$ 处理 8h 时总抗坏血酸、AA 和 DHA 增加到最大值,分别提高了 15.78%、17.33% 和 11.30% (图 1b),与此前低温胁迫辽伏和嘎啦苹果时总抗坏血酸变化相近^[2],据此,低温胁迫温度确定为 $(-7 \pm 0.5)^{\circ}\text{C}$ 。胁迫导致其总抗坏血酸提高可能的机理包括:通过提高 AA 的合成和减少 DHA 的水解,以及提高抗坏



血酸-谷胱甘肽 (AA - GSH) 循环效能、促进 AA 和 GSH 的再生,进而维持较强的氧化还原能力和高水平的抗氧化物质,使过量产生的 H_2O_2 得以及时清除 (图 2),导致胁迫中苹果的总抗坏血酸含量提升^[10-11]。由于国光苹果的可溶性糖含量比富士苹果高,其细胞液浓度较高、冰点相对较低、细胞保水能力较大^[12],表现为抗寒性相对较高,因此,受到低温胁迫时国光苹果总抗坏血酸、AA、DHA 的最大增量对应的时间较富士苹果长。

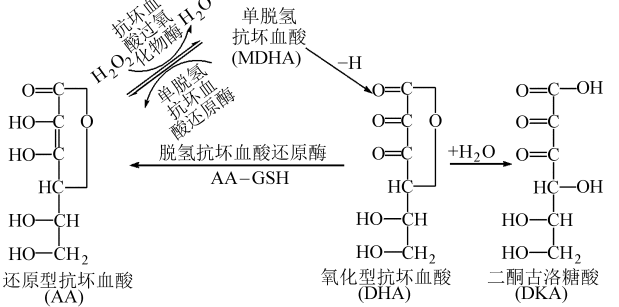


图2 抗坏血酸的转化及 AA - GSH 循环

Fig.2 Transformation of ascorbic acid and AA - GSH cycle

2.1.2 可溶性糖、苹果酸及糖酸比

胁迫条件主要依据总抗坏血酸的增加量并兼顾其他营养指标变化进行确定。图 3 中可溶性糖和苹果酸含量的变化特征为:初始阶段下降(此时胁迫时间 4 h 以内)显著,而后可溶性糖和苹果酸的含量变化不显著,因此,以 $(-7 \pm 0.5)^{\circ}\text{C}$ 胁迫过程总抗坏血酸出现峰值的时间作为胁迫终止时间。

2.1.3 低温胁迫条件的确定及效果评判

根据以上试验、分析后确定的国光和富士苹果的低温胁迫条件分别为 $(-7 \pm 0.5)^{\circ}\text{C}$ 、20 h 和 $(7 \pm 0.5)^{\circ}\text{C}$ 、8 h。在此条件下,国光和富士苹果的可溶性糖分别下降了 13.04% 和 14.14%,苹果酸分别下降 7.27% 和 7.14%,由于可溶性糖的消耗量大于苹果酸的消耗量,两种苹果的糖酸比分别下降了

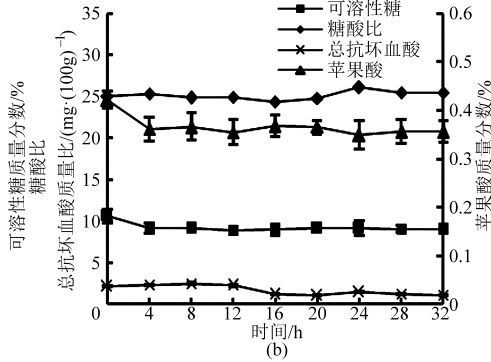


图3 $(-7 \pm 0.5)^{\circ}\text{C}$ 国光和富士苹果中可溶性糖、苹果酸、糖酸比及总抗坏血酸的变化

Fig.3 Changes of soluble sugar, malic acid, sugar-acid and total ascorbic acid ratio contents in ‘Ralls’ and ‘Fuji’ apple at $(-7 \pm 0.5)^{\circ}\text{C}$

(a) 国光苹果 (b) 富士苹果

6.21% 和 7.49% ,整体口味向偏酸转变。由于这种转变伴随总抗坏血酸的大幅度提升,可以认为低温胁迫有利于提高两种苹果的营养品质。

2.1.4 低温胁迫过程中与抗坏血酸相关的营养物质变化分析

理想的低温胁迫效果是在提升总抗坏血酸的同时尽量多地保留其他营养成分。试验检测发现,脱离母体的两种苹果在适当低温胁迫条件下,总抗坏血酸、AA 及 DHA 的提高同时伴随有可溶性糖的下降。可溶性糖在胁迫初始阶段显著降低,而后基本维持不变。由于 AA 主要合成途径为 L-半乳糖途径(L-galactose pathway),其合成前体为 D-葡萄糖^[13-16],使得 AA 的合成和再生成为可溶性糖含量变化的影响因素之一。通过对胁迫过程中与 AA 相关的 H₂O₂ 和 GSH 检测(图 4)发现:在可溶性糖含量下降显著的胁迫初期,GSH 呈下降趋势,表明此时胁迫未能强化 AA-GSH 循环的作用,AA 的提高主要以合成为主;伴随 H₂O₂ 积累量升高,GSH 含量上升,进而强化了 AA-GSH 循环并使 AA 再生量提高,导致用于合成 AA 的可溶性糖消耗量降低。因此,如果能控制 AA-GSH 循环的激活条件,则有可能兼顾总抗坏血酸的提高和可溶性糖的保留。

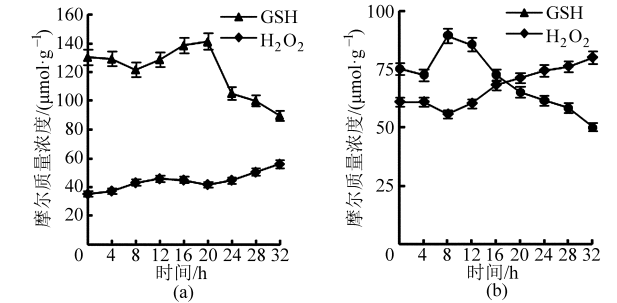


图 4 不同低温胁迫时间下国光和富士苹果中 GSH 及 H₂O₂ 的变化
Fig.4 Changes of GSH and H₂O₂ contents in ‘Ralls’ and ‘Fuji’ apple at (-7 ± 0.5) °C
(a) 国光苹果 (b) 富士苹果

2.2 物态调整对胁迫效果的保留及分析

富士苹果胁迫时间较短,破碎过程有限的热交换即可消除少量的冰晶,富士苹果胁迫后可直接进行压榨分离。

物态调整后国光苹果中总抗坏血酸、AA 及 DHA 的含量较物态调整前分别下降了 7.91%、8.37% 和 5.92% ,相对未胁迫国光苹果仍分别高出 16.59%、19.92% 和 4.38% 。其原因是低温胁迫时国光苹果仍保持生命特征,随温度回升生命体会向正常代谢水平恢复^[17],因恢复过程缓慢,可溶性糖和苹果酸变化不显著。

2.3 鲜榨对胁迫效果的保留与分析

2.3.1 主要营养成分的变化

表 1、2 为胁迫前、后两种苹果及其鲜榨汁主要营养成分的变化。胁迫后国光鲜榨汁中总抗坏血酸、AA 和 DHA 比未胁迫分别提高 31.26%、35.4% 和 20.54% ,可溶性糖、苹果酸和糖酸比分别下降了 12.03%、7.54% 和 5.92% ;胁迫后富士鲜榨汁中总抗坏血酸、AA 和 DHA 比未胁迫分别提高 18.05%、20.46% 和 13.33% ,可溶性糖、苹果酸和糖酸比分别下降了 14.53%、10.00% 和 5.04% 。

表 1 国光苹果胁迫前、后鲜榨汁中主要营养成分
Tab.1 Primary ingredient of freshly squeezed ‘Ralls’ apple before and after cold stress

参数	胁迫前	胁迫后	胁迫前鲜榨汁	胁迫后鲜榨汁
总抗坏血酸质量比/(mg·(100 g) ⁻¹)	6.39	8.09	4.03	5.29
AA 质量比/(mg·(100 g) ⁻¹)	5.02	6.57	2.91	3.94
DHA 质量比/(mg·(100 g) ⁻¹)	1.37	1.52	1.12	1.35
可溶性糖质量分数/%	12.58	10.94	12.13	10.67
苹果酸质量分数/%	0.55	0.51	0.53	0.49
糖酸比	22.87	21.45	22.89	21.77

表 2 富士苹果胁迫前、后鲜榨汁中主要营养成分
Tab.2 Primary ingredient of freshly squeezed ‘Fuji’ apple before and after cold stress

参数	胁迫前	胁迫后	胁迫前鲜榨汁	胁迫后鲜榨汁
总抗坏血酸质量比/(mg·(100 g) ⁻¹)	2.08	2.41	1.33	1.57
AA 质量比/(mg·(100 g) ⁻¹)	1.55	1.81	0.88	1.06
DHA 质量比/(mg·(100 g) ⁻¹)	0.53	0.60	0.45	0.51
可溶性糖质量分数/%	10.54	9.05	10.39	8.88
苹果酸质量分数/%	0.42	0.39	0.40	0.36
糖酸比	25.09	23.21	25.98	24.67

2.3.2 香气成分的变化

由表 3 可见:国光苹果的香气成分中各种酯类芳香组分居多且含量较高。对比胁迫前、后的鲜榨汁发现:胁迫后国光苹果鲜榨汁中的香气成分增加了丁酸乙酯、2-甲氧基环己醇、异戊酸异丁酯、己酸乙酯、6-甲基-5-庚烯-2-醇、2-乙基己醇。检测出胁迫前苹果酯类香气 9 种,醛类香气 4 种,酮类香气 1 种,成分比例分别为 46.38%、19.69%、0.18% ,检测出的香气物质占总检测物含量的 66.25% 。检测出胁迫后苹果酯类香气 12 种,醛类香气 4 种、醇类

香气 2 种, 酮类香气 1 种, 成分比例分别为 41.43%、26.27%、0.30%、0.28%。检测出的香气物质占总检测物含量的 68.28%。由表 4 可见:富士苹果香气成分的种类丰富而且以各种酯类芳香组分居多且含量高,胁迫后鲜榨汁中的香气成分乙酸丙酯消失,增加了 2-甲基丁酸丁酯、3-羟基己酸乙酯、3-羟基-4-甲基戊酸乙酯、2-乙基丁酸烯丙酯、丁酸辛酯,检测出胁迫前苹果酯类香气 14 种、醛类香气 3 种、醇类香气 1 种,烯类香气 1 种,成分比例分别为 56.57%、18.55%、2.41%、1.49%,检测出的香气物质占总检测物含量的 79.02%,检测出胁迫前苹果酯类香气 18 种、醛类香气 3 种、醇类香气 2 种,烯类香气 1 种,成分比例分别为 58.8%、24.32%、2.43%、1.49%,检测出的香气物质占总检测物含量的 87.04%。

2.3.3 鲜榨对低温胁迫效果的保留

低温胁迫与鲜榨工序连接有利于形成低温加工过程。尽管加工时对苹果整体性的破坏会使其丧失自身的防御机制^[18],导致氧化劣变,但低料温对酶的抑制作用可减缓生化进程,为营养成分的保留提

表 3 国光苹果胁迫前、后的鲜榨汁中香气成分变化
Tab.3 Changes of aroma component in freshly squeezed ‘Ralls’ apple before and after cold stress

保留时间/min		香气成分	性状	相对含量/%	
胁迫前	胁迫后			胁迫前	胁迫后
—	4.988	丁酸乙酯	菠萝香气	—	3.525
—	5.190	2-甲氧基环己醇	不详	—	5.78
5.797	5.755	己醛	有刺激性气味	2.916	1.795
5.948	5.936	反-2-己烯醛	清香草香	15.24	19.98
6.278	6.353	丁酸异戊酯	洋梨芳香气味	0.797	2.530
—	6.640	异戊酸异丁酯	不详	—	4.50
7.590	7.630	辛醛	果子香味	1.38	6.07
7.667	7.659	丁酸丙酯	水果、香蕉和菠萝样香气	3.59	1.41
7.837	7.871	丙酸丁酯	苹果香味	35.366	7.930
—	8.099	己酸乙酯	菠萝香味	—	2.972
9.359	9.361	乙酸丙酯	清香甜香香、浆果、生梨和蔬菜样香气	0.14	0.11
9.630	9.639	甲基庚烯酮	芳香气味	0.18	0.28
9.784	9.795	桃醛	杏香	4.042	8.164
10.53	10.53	甲酸环己酯	不详	1.545	3.359
10.71	10.71	丁酸己酯	甜果香味	0.324	0.163
10.88	10.88	戊酸乙酯	苹果香味	0.450	0.706
—	11.20	6-甲基-5-庚稀-2-醇	不详	—	0.21
—	11.65	2-乙基己醇	无特殊香	—	0.091
13.24	13.23	己酸己酯	生水果香味	0.264	0.171
13.68	13.68	苯乙醛	水果甜香气	0.141	0.214

表 4 富士苹果胁迫前、后的鲜榨汁中香气成分变化
Tab.4 Changes of aroma component in freshly squeezed ‘Ralls’ apple before and after cold stress

保留时间/min		香气成分	性状	相对含量/%	
胁迫前	胁迫后			胁迫前	胁迫后
2.850	2.853	乙酸乙酯	水果香	0.338	0.063
3.97	—	丙酸乙酯	柔和果香味	0.444	—
4.917	4.917	2-甲基丙酸乙酯	果香清香	4.217	1.968
5.153	5.152	乙酸丁酯	果香	2.330	0.681
5.508	5.509	己醛	有刺激性气味	4.567	5.923
5.651	5.653	1-己醇	水果芬芳香气	6.363	8.219
6.311	6.310	反-2-己烯醛	清香草香	11.61	15.24
6.630	6.633	丙酸丁酯	苹果香味	1.899	2.093
7.153	7.151	戊酸乙酯	苹果香味	1.614	1.939
7.627	7.629	辛醛	果子香味	0.581	0.852
7.867	7.873	丁酸丁酯	苹果香味	10.990	18.405
8.110	8.101	己酸乙酯	曲香	8.847	4.571
8.725	8.721	丁酸乙酯	甜果香 萝、香蕉、苹果气味	16.640	16.741
9.380	9.377	己酸丙酯	罗甘莓香味	1.557	1.217
9.811	9.809	庚醇	芳香气味	2.406	2.428
10.73	10.73	己酸甲酯	菠萝香味	1.513	2.498
10.90	10.89	戊酸乙酯	苹果香味	0.887	1.489
13.25	13.24	己酸己酯	生水果香味	0.286	0.322
—	14.27	2-甲基丁酸丁酯	清水果香浆果香	—	0.10
—	16.36	3-羟基己酸乙酯	水果香味	—	0.06
—	16.67	二异丁基甲醇	不详	—	0.085
16.96	16.95	异戊酸酯	苹果香	0.430	0.134
—	18.05	2-乙基丁酸烯丙酯	不详	—	0.07
—	18.27	丁酸辛酯	草药气味	—	0.073
18.51	18.49	α-法尼烯	茶香	1.485	1.494

供有利条件。

鲜榨过程国光与富士苹果中总抗坏血酸分别下降了 28.99% 和 34.86%。原因主要是 AA 发生氧化反应生成 DHA,DHA 进一步水解成 DKA^[19],从而导致了总抗坏血酸的下降。

胁迫后国光和富士苹果鲜榨汁中香气物质含量的检测比例比胁迫前分别增大了 2.02% 和 8.02%,且香气物质的种类分别增加了 6 种和 5 种,其原因分析为胁迫过程中可溶性糖的下降可能导致键合态芳香物质游离化^[20]。香气成分变化对苹果汁风味品质影响有待进一步评价。

3 结论

(1)适当的低温胁迫可显著提高采后 30 d 内国光和富士苹果中总抗坏血酸、AA 以及 DHA 的含量;低温胁迫后两种苹果的糖酸比分别下降了

6. 21% 和 7. 49% , 口味整体向偏酸转化。分别下降了 12. 03% 、7. 54% 和 14. 53% 、10. 00% 。

(2) 低温胁迫后国光和富士苹果鲜榨汁中 AA、(3) 低温胁迫可作为提升国光和富士两种苹果
DHA 分别比胁迫前提高 31. 26% 、35. 40% 、20. 54% 鲜榨汁中总抗坏血酸含量的有效措施。
和 18. 05% 、20. 46% 、13. 33% ; 可溶性糖和苹果酸

参 考 文 献

1 张绍英,曹文龙,魏文军. 钝击破碎对苹果压榨效果的影响[J]. 农业工程学报,2008,24(2):246 – 249.
Zhang Shaoying,Cao Wenlong, Wei Wenjun. Effect of pounding on apple press process and juice yield[J]. Transactions of the CSAE, 2008,24(2):246 – 249. (in Chinese)

2 姚刚,张绍英,李艳丽,等. 低温胁迫对加工前早熟苹果中抗坏血酸的影响[J]. 食品科技,2014,39(9):60 – 65.
Yao Gang, Zhang Shaoying, Li Yanli, et al. Effecton of short cold stress on the ascorbic acid of apple before processing[J]. Food Science and Technology, 2014, 39(9): 60 – 65. (in Chinese)

3 仇农学. 现代果汁加工工艺[M]. 北京:化学工业出版社,2005:73 – 91.

4 Caminiti I M, Noci F, Whyte P, et al. Impact of selected combinations of non-thermal processing technologies on the quality of an apple and cranberry juice blend[J]. Food Chemistry,2011, 124(4):1387 – 1392.

5 中华人民共和国国家出入境检验检疫局. SN/T 0869—2000 中国标准书号[S]. 北京:中国标准出版社,2000.

6 聂继云. 果品质量安全分析技术[M]. 北京:化学工业出版社,2009:20,33,53 – 54.

7 郭静,岳田利,袁亚宏,等. 基于 HS – SPME 和模糊评判的苹果汁香气萃取条件优化[J]. 农业机械学报,2013,44(5):175 – 181.
Guo Jing, Yue Tianli, Yuan Yahong, et al. Optimization of volatile compounds in apple juice based on HS – SPME and fuzzy comprehensive evaluation [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(5):175 – 181. (in Chinese)

8 李华,李敏,岳田利. 苹果汁酶解工艺参数对感官品质与香气构成的影响[J]. 农业机械学报,2010,41(10):143 – 147.
Li Hua, Li Min, Yue Tianli. Effect of pectinase processing parameters on sensory quality and aroma components of apple juice [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(10):143 – 147. (in Chinese)

9 马永昆,白洁,魏本喜,等. 基于 SPME – GC – MS 的超高压处理黑莓汁香气分析[J]. 农业机械学报,2011,42(7):170 – 175.
Ma Yongkun,Bai Jie,Wei Benxi,et al. Aromatic compounds in blackberry juice after ultrahigh pressure treatment by SPME – GC – MS[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2011,42(7):170 – 175. (in Chinese)

10 Mittler R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance[J]. Trends in Plant Science,2002, 7(9):405 – 410.

11 Davey M, Gilot C, Persiau G, et al. Ascorbate biosynthesis in *Arabidopsis* cell suspension culture [J]. Plant Physiology, 1999, 121(2):535 – 543.

12 何若韞. 植物低温逆境生理[M]. 北京:中国农业出版社,1994:14.

13 Laing W A, Bulley S, Wright M, et al. A highly specific L-galactose-1-phosphate phosphatase on the path to ascorbate biosynthesis [J]. PNAS, 2004, 101(48): 16976 – 16981.

14 Conklin P L, Norris S R, Wheeler G L, et al. Genetic evidence for the role of GDP-mannose in plant ascorbic acid (vitamin C) biosynthesis [J]. PNAS, 1999, 96(7):4198 – 4203.

15 Gatzek S, Wheeler G L, Smirnoff N. Antisense suppression of L-galactose dehydrogenase in *Arabidopsis thaliana* provides evidence for its role in ascorbate synthesis and reveals light modulated L-galactose synthesis [J]. The Plant Journal, 2002, 30(5):541 – 533.

16 Tabata K, Oba K, Suzuki K, et al. Generation and properties of ascorbic acid-deficient transgenic tobacco cells expressing antisense RNA for L-galactono-1,4-lactone dehydrogenase[J]. The Plant Journal,2001, 27(2):139 – 148.

17 Noctor G, Foyer C H. Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control[M] //Russell L J. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology. Annual Reviews Inc. , 1998, 49: 249 – 279.

18 高愿军. 水果加工中还原型 VC 与氧化型 VC 变化及控制研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2004.
Gao Yuanjun. Studies on the change of fruit’s AA and DHA and controlling the change during fruits processing[D]. Yangling: Northwest A&F University,2004. (in Chinese)

19 Juan D, Joseph J, Garry R. Ascorbic acid: chemistry, biology and the treatment of cancer[J]. Biochimica et Biophysica Acta, 2012,1826:443 – 457.

20 Plotto A, Mc Daniel M R, Mattbeis J P. Characterization of ‘Gala’ apple aroma and flavor: differences between controlled atmosphere and air storage[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science,1999,124(4):416 – 423.