

非浓缩还原 (NFC) 苹果汁加工过程中糖酸风味组分和呼吸速率的变化

李晓磊^{1,2}, 袁超^{1,2}, 孟新涛², 马燕², 徐斌², 张平², 潘伊²

(1. 新疆农业大学食品科学与药学院, 新疆乌鲁木齐 830052)

(2. 新疆农业科学院农产品贮藏加工研究所, 新疆乌鲁木齐 830091)

摘要: 通过测定 NFC 苹果汁、固酸比以及糖酵解途径、三羧酸循环途径、磷酸戊糖途径、细胞色素途径和交替途径等的呼吸速率的变化, 明确 NFC 苹果汁加工过程中影响糖酸风味品质的关键环节和转化的大致途径, 为优化 NFC 苹果汁生产工艺提供依据。结果表明, NFC 苹果汁加工过程中风味品质变化可分为原料到榨汁和灭酶到灌装两个阶段。第一个阶段, 可溶性糖中的葡萄糖和山梨醇含量升高了 49.12% 和 20.59%, 有机酸中的苹果酸含量升高了 8.06%, 草酸含量显著降低了 7.01%, TCAC 呼吸速率升高 0.64 倍, CP 呼吸速率降低 0.85 倍; 第二个阶段, 果糖、葡萄糖、苹果酸、草酸含量和固酸比的变化呈正态分布, 与 EMP 途径、TCAC 途径和 AP 途径的呼吸速率变化相关。因此, 各加工环节对于果汁糖酸风味组分和呼吸速率的影响是不同的, 热处理是 NFC 苹果汁加工过程中风味品质调控关键环节, 应加强调节该环节果汁中心代谢酶促反应以优化糖酸风味品质。

关键词: 非浓缩苹果汁; 糖酸风味; 可溶性糖; 有机酸; 呼吸速率

文章编号: 1673-9078(2020)09-62-70

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.9.0194

Changes of Soluble Sugars, Organic Acids and Respiration Rates of Not-from-concentrate Apple Juice in Different Processing Stages

LI Xiao-lei^{1,2}, YUAN Chao^{1,2}, MENG Xin-tao², MA Yan², XU Bin², ZHANG Ping², PAN Yan²

(1. College of Pharmacy and Food Science, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China) (2. Institute of Agro-production Storage and Processing, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China)

Abstract: The changes of sugar and acid flavor substances and respiratory rate of Embden-Meyerhof-Parnas, Tricarboxylic Acid Cycle Pathway, Pentose Phosphate Pathway, Cytochrome Pathway and Alternative Pathway in samples of Non-From-Concentrate (NFC) apple juice processing including raw materials, juice extraction, enzyme inactivation, homogenization, ultrasound, sterilization, and canning were detected. Then, the key links affecting flavor quality and the approximate ways of flavor substance conversion during fruit juice processing were clarified and the basis for further optimizing the industrial production process of NFC apple juice processing was provided. The results showed that the flavor quality change during NFC apple juice processing could be divided into two stages: from raw material to the juice squeezing section and from the enzyme inactivation to canning. In the first stage, the contents of glucose and sorbitol were increased by 49.12% and 20.59%, respectively, the content of malic acid was increased by 8.06%, the content of oxalic acid was decreased by 7.01%, the respiratory rate of the TCAC pathway was increased by 0.64 times and CP was decreased by 0.85 times; In the second stage, the changes of fructose, glucose, malic acid and oxalic acid content and total soluble solid/titratable acidity were normally distributed, which were related to the changes of EMP, TCAC

引文格式:

李晓磊, 袁超, 孟新涛, 等. 非浓缩还原(NFC)苹果汁加工过程中糖酸风味组分和呼吸速率的变化[J]. 现代食品科技, 2020, 36(9): 62-70

LI Xiao-lei, YUAN Chao, MENG Xin-tao, et al. Changes of soluble sugars, organic acids and respiration rates of not-from-concentrate apple juice in different processing stages [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(9): 62-70

收稿日期: 2020-03-02

基金项目: “十三五”国家重点研发计划项目 (2017YFD0400700、2017YFD0400702、2017YFD0400702-4)

作者简介: 李晓磊 (1994-), 女, 研究生在读, 研究方向: 果蔬贮藏与加工

通讯作者: 潘伊 (1979-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 农产品贮藏保鲜

and AP respiration rate. Therefore, the effects of different processing stages on the sugar acid and acid flavor components and respiratory rate of the fruit juice are different. Heat treatment is the key link of controlling flavor quality during NFC apple juice processing. The central metabolic enzymatic reaction of the juice should be strengthened to optimize the flavor quality.

Key words: non-from-concentrate apple juice; sugar-acid flavor substances; soluble sugar; organic acid; respiration rate

非浓缩还原果汁 (Not-From-Concentrate, NFC), 是以果实为原料, 通过机械方法制成, 仅采用巴氏杀菌 (杀菌温度不超过 100 °C, 时间不超过 60 s) 或非热处理方式加工, 没有经过浓缩还原, 不添加其他物质的果汁^[1]。因 NFC 果汁热加工强度低, 营养成分损失少, 能够更好地保持新鲜果蔬的风味和营养物质的活性, 近年来国内外消费者对 NFC 果汁的需求持续增长^[2-5]。目前在 NFC 苹果汁的加工工艺主要包括清洗与破碎、榨汁、热处理 (灭酶)、均质、热处理 (杀菌) 与热灌装等, 通常热处理的条件为 90~95 °C 持续 25~60 s^[6-8]。榨汁对果实进行破碎制汁, 热处理对果汁进行灭酶、钝酶并解决果汁的卫生安全问题, 均质主要针对果汁的破碎不均匀有沉淀等问题^[9]。

目前已有研究报道, 不同的加工环节都会不同程度地影响果汁的品质^[10,11], 打浆制汁和热处理环节, 可溶性固形物和可滴定酸的含量下降, 热处理会提高果汁浊度但是会损失香气物质^[6,12], 榨汁加快氧化褐变反应^[13], 热处理则降低代谢氧化酶活性^[14]。前期预实验中发现, 在整个 NFC 果汁制备过程中, 经过各个加工环节的果汁可溶性糖和有机酸均发生一定的变化, 该变化由何引起, 值得探究。研究显示, 果实中的可溶性固形物主要主要是糖类物质, 包括果糖、葡萄糖、蔗糖等^[15-18], 可滴定酸主要是苹果酸^[19,20], 葡萄糖等作为糖酵解、三羧酸循环及磷酸戊糖途径的呼吸底物参与代谢^[21-23], 影响其风味变化, 已在苹果^[24,25]、雪梨^[26]等采后果实上证实。NFC 果汁加工过程中糖酸风味变化是否与呼吸代谢有关, 需要进一步验证。因此, 本实验通过在 NFC 苹果汁的加工过程中各单元操作后进行取样, 分别测定了各加工环节果汁的可溶性糖和有机酸的含量、糖酸比以及糖酵解途径、三羧酸循环途径、磷酸戊糖途径、细胞色素途径和交替途径呼吸速率的变化, 探究果汁生产中各加工环节后果汁样品的品质差异, 有助于找出提高果汁感官、最大限度保留营养、减少能耗的潜在方法。

1 材料与方法

1.1 材料

于 2018 年 10 月 25 日采自新疆阿克苏地区温宿县, 采收果面底色均匀、大小均匀 (直径 8~10 cm)

的一级规格富士苹果 (蔷薇科, *Malus pumila* Mil), 运输至新疆农业科学院试验冷库, 预冷至果实中心温度 5~8 °C, 经 K-BA100R 型无损检测仪分选得到的可溶性固形物含量 15%~16% 的作为试验材料, 移入 0~2 °C 冷库存用, 随机取样果用于试验。

1.2 仪器和试剂

HPLC 1260 型高效液相色谱仪, 美国安捷伦公司; K-BA100R 型便携式水果无损检测仪, 株式会社久保寺事业中心制造部; PAL-BX/ACID2 型数显糖酸仪, 日本 Atago 爱宕公司; Oxytherm 型 Clark 液相氧电极仪, 英国汉莎科技仪器公司; JYZ-E21C 型榨汁机, 九阳股份有限公司; T18 型分散机, 德国 IKA 公司; FT74XTS 型高温/超高温瞬时杀菌机, 英国 Armfield 公司; JY92-IIN 型超声波细胞粉碎机宁波新芝科技股份有限公司; SC-650HL 型低温展示柜, 青岛海尔特种电冰柜有限公司; SW-CJ-2FD 型超净工作台, 上海博迅实业有限公司医疗设备厂; KC-280 型数控液体灌装机, 温州市凯驰包装机械有限公司。苹果酸、草酸、酒石酸、抗坏血酸、莽草酸、柠檬酸、蔗糖、葡萄糖、果糖、山梨醇标准品, 购自 Sigma (上海) 贸易有限公司; 分析纯磷酸氢二钠、磷酸购自天津市福晨化学试剂厂。

1.3 方法

1.3.1 果汁的制备

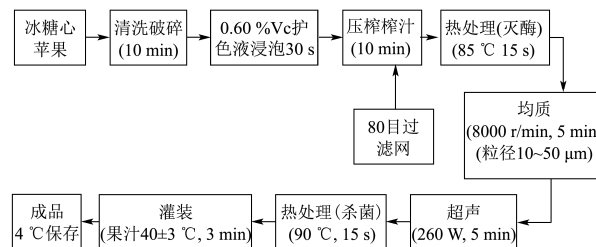


图 1 NFC 苹果汁制备流程图

Fig.1 Flow diagram of NFC apple juice production

参考田由^[6]建立 NFC 果汁加工工艺, 如图 1 所示。冷藏原料果清洗破碎后用 JYZ-E21C 压榨型榨汁机制汁, 经超高温瞬时杀菌机完成第一次热处理 (灭酶, 85 °C、15 s) 和冷却。果汁热处理后通过分散机和超声波细胞粉碎机进一步均质破碎, 之后再经由超高温瞬时杀菌机第二次热处理和冷却 (杀菌, 90 °C、15 s),

在超净工作台内收集果汁，使用灌装机装入消毒过的包装瓶。两次热处理、灌装、成品按工艺单元的参数控制温度外，榨汁控制在室温 20 ± 3 °C 操作，原料整果和碎块均在低温展示柜 8.00 ± 1 °C 暂存。在每个单元收集 1 次果汁样品，所收集样品来自 3 次独立制备。各单元工段收集样品经液氮冷冻，放置于 -80 °C 超低温冰箱存用。

1.3.2 加工过程中果汁可溶性糖、有机酸和不同途径呼吸速率的测定

1.3.2.1 可溶性糖和有机酸的测定

可溶性糖样品和有机酸样品的制备方法以及利用高效液相色谱仪测定可溶性糖和有机酸的检测条件均参考谭归^[27]的研究报道。高效液相色谱仪（安捷伦，1260 型），可溶性糖的检测条件：安捷伦 Hi-Plex Ca 离子交换柱（ $8.00\ \mu\text{m}$ ， $7.7\times 300\ \text{mm}$ ），流动相为纯水、经超声波脱气；泵流速设置为 $0.80\ \text{mL}/\text{min}$ ，进样量 $10.00\ \mu\text{L}$ ，柱温 $80\ ^\circ\text{C}$ ；示差检测器（G1362A RID）测定，灵敏度设置 $0.05\ \text{AUFS}$ ；有机酸的检测条件：安捷伦 Zorbax SB-Aq 柱（ $4.60\ \text{mm}\times 250\ \text{mm}$ ， $5\ \mu\text{m}$ ），流动相为 $20.00\ \text{mmol}/\text{L}\ \text{Na}_2\text{HPO}_4$ 缓冲液（ $\text{pH}\ 2.30$ ，磷酸调配），泵流速 $0.70\ \text{mL}/\text{min}$ ，进样量 $5.00\ \mu\text{L}$ ，柱温 $40\ ^\circ\text{C}$ ；紫外检测器测定，波长 $210\ \text{nm}$ 。

1.3.2.2 果汁样品不同途径的呼吸速率测定

果汁样品不同途径呼吸速率测定和计算参考潘俨^[26]等液相氧电极仪法调整。原料的反应体系设为 $2.00\ \text{mL}$ ，果汁的反应体系为 $1.00\ \text{mL}$ ；反应体系溶液使用 $20.00\ \text{mM}\ \text{pH}\ 7.4$ 磷酸钾缓冲液，称量解冻样品 $0.60\ \text{g}$ （或 $1.40\ \text{mL}$ ）放入氧电极仪反应室，加入对应用量的抑制剂；反应室控温 $20\pm 3\ ^\circ\text{C}$ ，测定 $5\ \text{min}$ 内总呼吸和糖酵解途径（Embden-Meyerhof- Parnas, EMP）、三羧酸循环途径（Tricarboxylic Acid Cycle, TCAC）、磷酸戊糖途径（Phostho Pentose Pathway, PPP）、细胞色素途径（Cytochrome Pathway, CP）、交替途径（Alternative Pathway, AP）的呼吸速率耗氧速率。

1.3.2.3 样品固酸比测定

用数显糖酸仪测定 NFC 苹果汁加工过程中固酸比的变化，每个单元操作后的果汁样品平行测定三次，取其平均值。

1.4 数据处理

使用 SigmaPlot 12.5 软件作图，采用 SPSS 20.0 软件进行主成分分析，采用 Duncan 法和单因素 ANOVA 进行显著性和方差分析。

2 结果与讨论

2.1 NFC 苹果汁加工过程中果汁可溶性糖含量的变化

量的变化

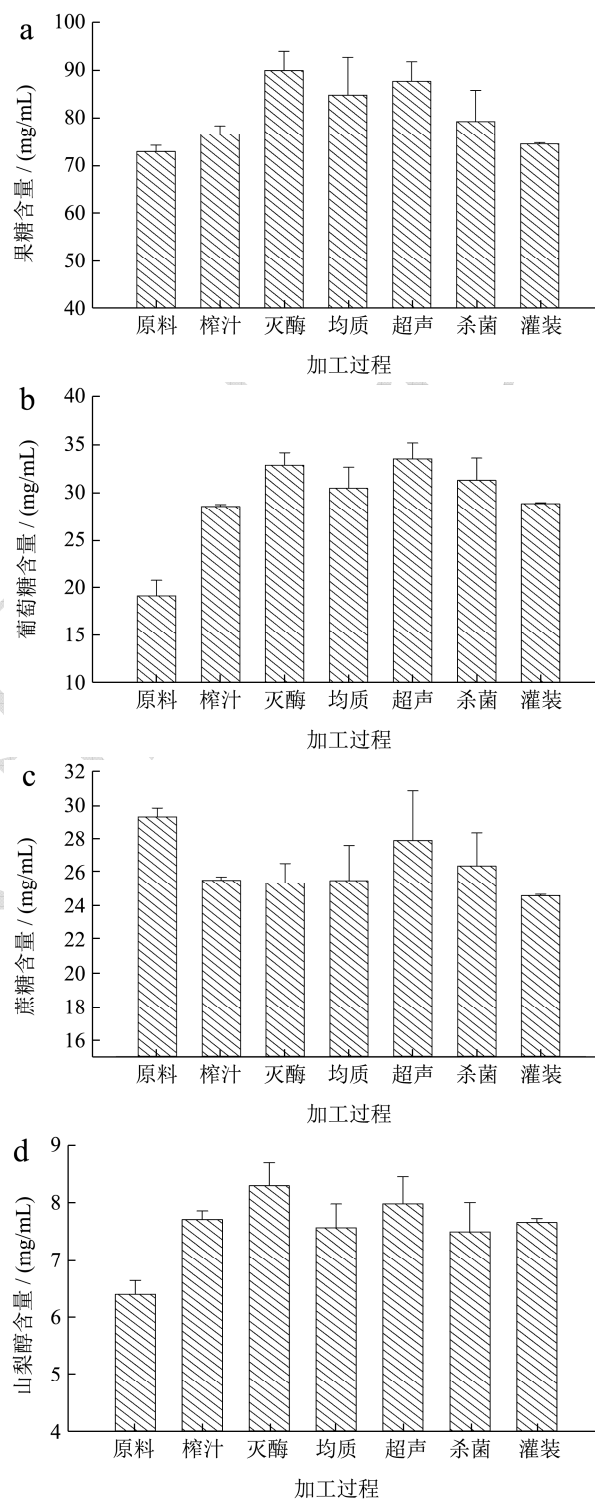


图 2 NFC 苹果汁加工过程样品中各可溶性糖含量的变化
Fig.2 Changes in solsble sugars content during NFC apple juice processing

注：a：果糖含量的变化；b：葡萄糖含量的变化；c：蔗糖含量的变化；d：山梨醇含量的变化。

图2显示,在原料果实和制备果汁中测得的可溶性糖以果糖含量最高,占54.84%~57.49%,蔗糖、葡萄糖含量次之,分别占16.21%~22.96%、14.99%~21.66%,山梨醇含量最少,占5.01%~5.79%,这与之前的研究报道中所测得的阿克苏红富士苹果果实中的可溶性糖含量基本一致^[16]。图2b、2d所示,榨汁样品与原料相比,葡萄糖、山梨醇含量出现显著升高,分别升高了49.12% ($p<0.01$)、20.59% ($p<0.01$),可能是因为榨汁使得更多的氧气溶解在了果汁中且果汁与氧气的接触面积增大,使葡萄糖和山梨醇的合成途径加快,图2c蔗糖含量出现显著降低,降低了12.95% ($p<0.05$),这是在榨汁过程中因为氧气的加入使得蔗糖的代谢加快,转化为葡萄糖^[28,29]导致的。图2a、2b所示,热处理(灭酶)工段样品比榨汁工段样品果糖和葡萄糖含量出现显著升高,分别升高了17.45% ($p<0.01$)、15.09% ($p<0.01$),是因为高温使得葡萄糖和果糖的合成途径加快^[29]。后续工段样品的蔗糖、葡萄糖、果糖和山梨醇的含量都没有显著变化,分别基本稳定在24.61~27.93 mg/mL、28.86~33.54 mg/mL、74.49~89.99 mg/mL和7.50~8.31 mg/mL。

2.2 NFC 苹果汁加工过程中果汁有机酸含量的变化

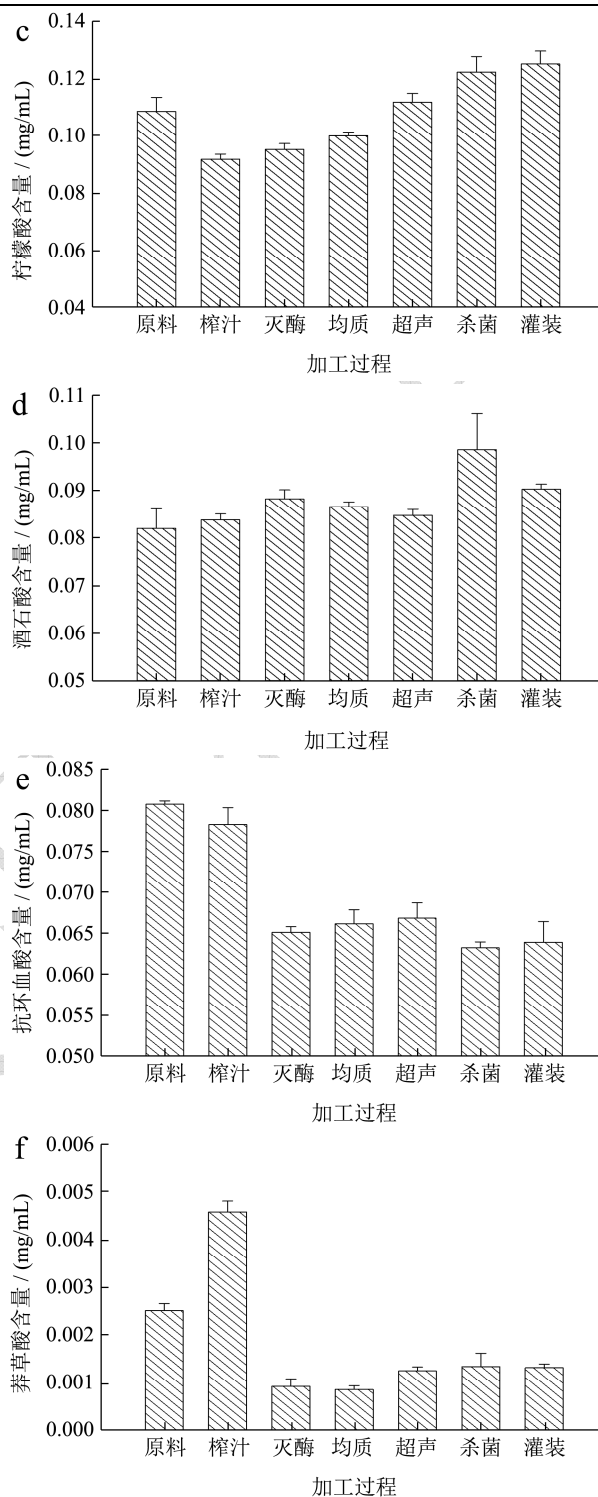
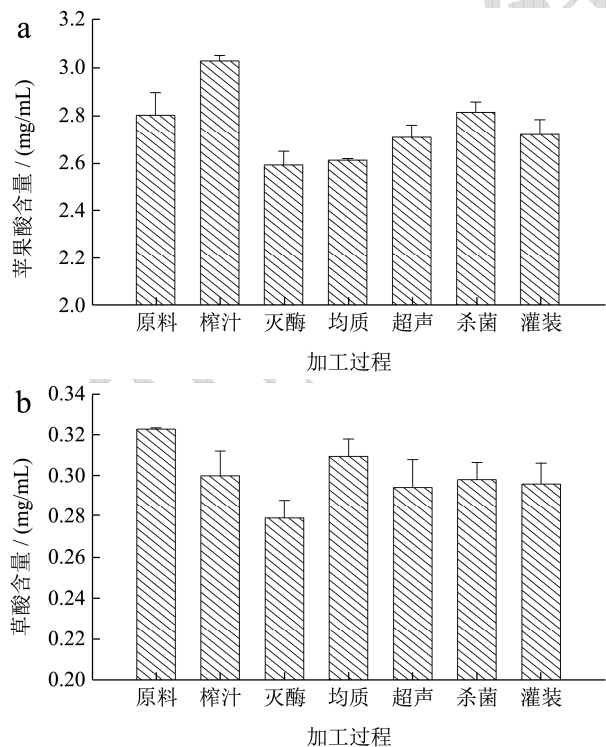


图3 NFC 苹果汁加工过程样品中各有机酸含量的变化

Fig.3 Changes in organic acid content during NFC apple juice processing

注: a: 苹果酸含量的变化; b: 草酸含量的变化; c: 柠檬酸含量的变化; d: 酒石酸含量的变化; e: 抗坏血酸含量的变化; f: 莽草酸含量的变化。

图3显示,果实原料以及榨汁过程中测得的有机酸以苹果酸为主,占62.34%~84.35%,草酸、柠檬酸、酒石酸和抗坏血酸含量次之,莽草酸含量极少,这与之前的研究报道中所测得的苹果原料中的有机酸的种类及其含量是有差异的,增加了酒石酸、抗坏血酸和莽草酸,少了琥珀酸等^[19],这是因为苹果品种和生长环境的不同导致的。

榨汁工段的样品与原料果实相比,图3a、3f所示的苹果酸、莽草酸含量显著增加了8.06% ($p<0.01$)、82.75% ($p<0.01$),图3b、3c所示的草酸和柠檬酸含量显著降低了7.01% ($p<0.05$)、15.54% ($p<0.01$),而图3d、3e所示的酒石酸和抗坏血酸含量无显著变化。热处理(灭酶)工段样品与榨汁工段样品相比,苹果酸、草酸、抗坏血酸和莽草酸含量显著降低了14.45%、6.98% ($p<0.01$)、16.8% ($p<0.01$)、79.84% ($p<0.01$),柠檬酸和酒石酸含量则没有显著变化。均质工段样品与杀菌工段相比,仅有草酸和抗坏血酸含量显著升高了10.86% ($p<0.01$)、7.14% ($p<0.01$);超声粉碎工段样品比均质工段相比,莽草酸和柠檬酸含量显著升高了46.41% ($p<0.05$)、11.86% ($p<0.01$)。二次热处理(杀菌)工段样品与超声工段相比,柠檬酸含量显著升高了14.80% ($p<0.01$),抗坏血酸含量显著降低约5.39% ($p<0.05$)。灌装环节的样品有机酸含量均未出现明显变化。

苹果酸作为主要的有机酸,在榨汁工段的含量显著升高,一方面是因为其主要存在于液泡中^[30],细胞受到榨汁环节的机械损伤,进而可能使得测得的苹果酸含量增加,另一方面可能是因为榨汁的操作促进了苹果酸的合成,随着TCA途径由中间代谢产物柠檬酸转为苹果酸;在灭酶环节含量减少,是高温使得苹果酸的代谢反应加快导致的,这与之前研究中的高温会使得果实的含酸量降低是一致的^[31];之后加工环节的果汁样品则因为灭酶的高温处理,抑制了苹果酸合成和代谢酶的活性,使得苹果酸没有显著变化。

2.3 NFC 苹果汁加工过程中果汁固酸比的变化

图4所示,经过灭酶的果汁样品与灭酶前的样品相比,固酸比出现显著升高 ($p<0.01$),这与之前的研究所报道的,在加工过程中灭酶前后可溶性固形物含量无显著性变化、可滴定酸含量显著降低的试验结果相一致^[6]。经过灌装的果汁样品,固酸比又出现显著降低 ($p<0.01$),且均质、超声、杀菌各工段样品没有固酸比的显著差异,但都比灌装、榨汁样品和原

料果明显高,灌装得到的果汁的固酸比与果实原料相比没有显著变化,因此,虽然在NFC苹果汁的加工过程中可溶性糖和有机酸的含量会有变化、固酸比会有略微升高,但最终对于果汁产品来说并没有显著影响,且较好地保持了果实原料的糖酸风味。

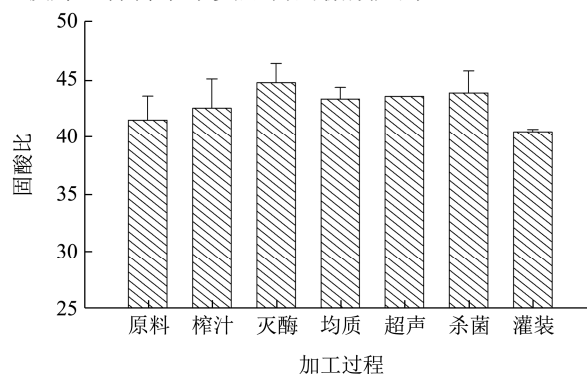


图4 NFC 苹果汁加工过程样品中固酸比的变化

Fig.4 Changes in total soluble solid/titratable acidity during NFC apple juice processing

2.4 NFC 苹果汁加工过程中各呼吸途径呼吸速率的变化

图5显示,热处理(灭酶)之前,样品以EMP途径和AP为呼吸的主要途径和电子传动链,分别占总呼吸比例的75.15%~84.88%和32.35%~80.88%。

图5a榨汁样品与原料相比,总呼吸速率显著升高约1.32倍 ($p<0.01$),这是因为榨汁使得更多的氧气溶于果汁,加快了呼吸代谢的进行^[32]。图5b-图5f所示,EMP和TCAC途径的呼吸速率显著升高约1.62倍 ($p<0.01$)和0.64倍 ($p<0.05$),PPP途径呼吸速率显著降低约75.56% ($p<0.01$);电子传递链中,CP和AP呼吸速率显著降低约0.85倍 ($p<0.01$)和0.07倍 ($p<0.05$)。灭酶样品与榨汁样品相比,图5a中总呼吸速率明显降低约92.90% ($p<0.01$)。图5b-5f所示,EMP和TCAC途径呼吸速率明显降低约95.6% ($p<0.01$)、78.94% ($p<0.01$),PPP呼吸速率显著升高约2.60倍;电子传递链中,CP和AP呼吸速率明显降低约75.1% ($p<0.05$)和98.6% ($p<0.01$),这可能是因为高温对于各途径呼吸速率的影响是有显著抑制作用的^[32]。样品均质后,图5d的PPP呼吸速率显著降低约29.23% ($p<0.05$),而图5c的TCAC途径和图5e的CP的呼吸速率回升,与均质过程提高果汁溶解氧含量,促进电子传递代谢有关。

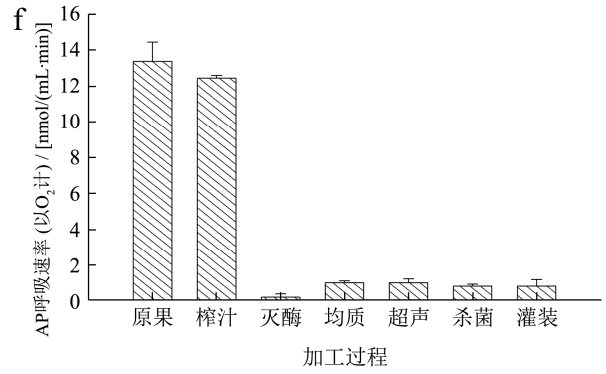
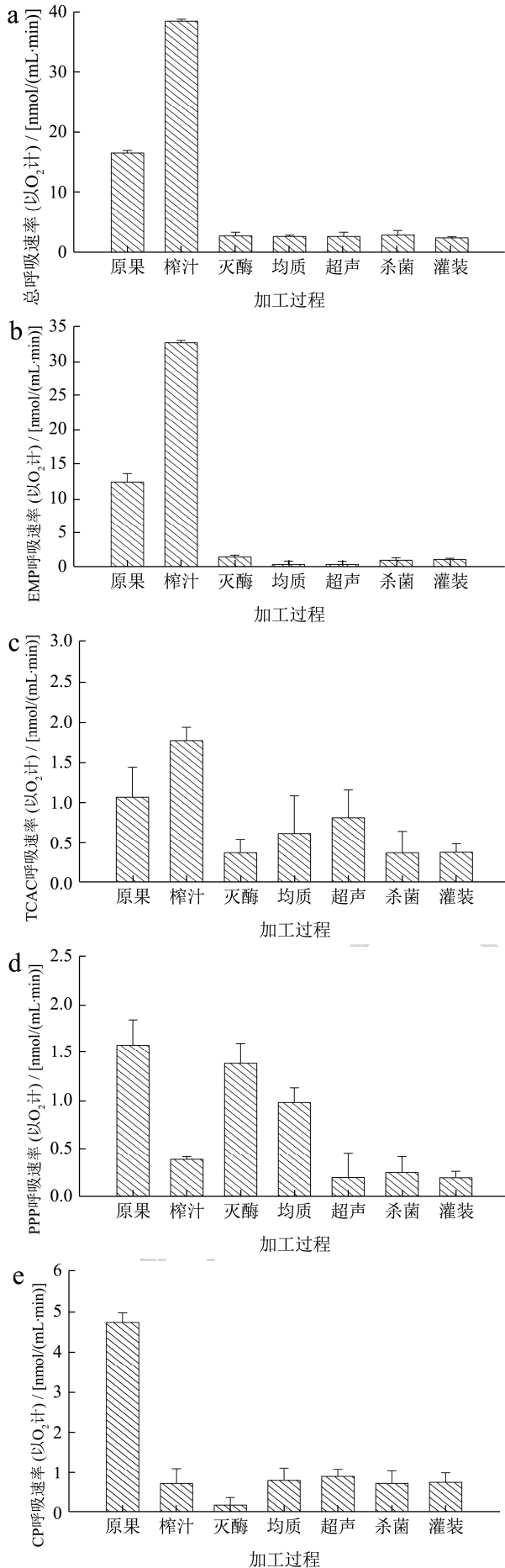


图5 NFC 苹果汁加工过程样品不同呼吸途径呼吸速率的变化
Fig.5 Changes in the respiration rate of different pathways during NFC apple juice processing

注: a: 总呼吸速率的变化; b: EMP 途径呼吸速率的变化; c: TCAC 途径呼吸速率的变化; d: PPP 呼吸速率的变化; e: CP 呼吸速率的变化; f: AP 呼吸速率的变化。

2.5 NFC 苹果汁加工过程中有机酸和可溶性糖含量与不同途径呼吸速率的主成分分析

糖含量与不同途径呼吸速率的主成分分析

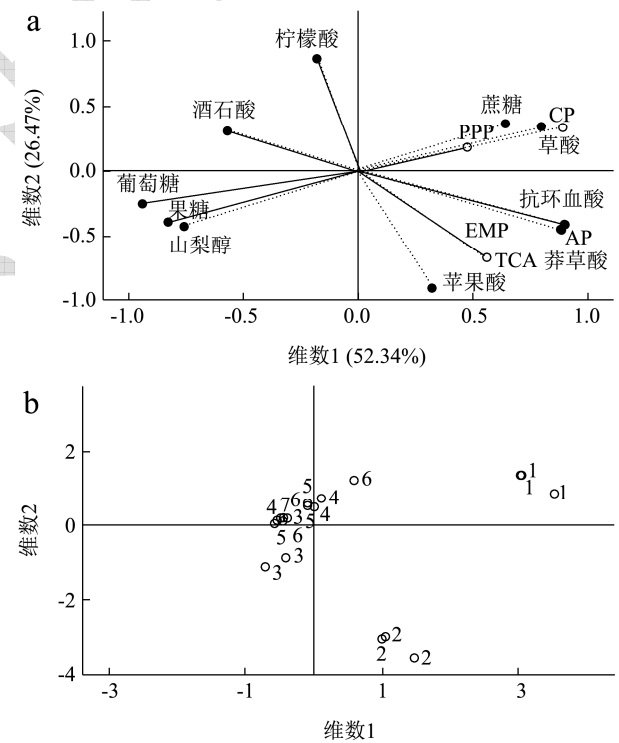


图6 NFC 苹果汁加工过程中有机酸和可溶性糖含量与不同途径呼吸速率的主成分分析

Fig.6 Principal component analysis of soluble sugars, organic acids and different pathway respiration rates during NFC apple juice processing

图6所示, 以加工过程中的各单元操作为标示变量, 以可溶性糖和有机酸含量为分析变量, 各途径呼吸速率为补充变量, 得到主成分负荷图(图6a)和标

示图(图 6b)。图 6a 所示, 4 种可溶性糖、6 种有机酸、3 个呼吸途径及 2 条电子传递链被分成 2 个维度, 对分析变量和补充变量的方差解释为 78.81%。以图 6b 所示的标示图可将 NFC 果汁加工的风味品质变化过程分为两个阶段, 第一个阶段包括原料、榨汁 2 个工段, 第二个阶段包括灭酶、均质、超声和杀菌和灌装 5 个工段。在第一阶段中, 果汁品质变化的主成分为苹果酸、莽草酸和抗坏血酸, 载荷系数分别为 0.898、0.877 和 0.894, 第二阶段中, 果汁品质变化的主成分为果糖、葡萄糖和柠檬酸, 载荷系数分别为 0.830、0.940 和 0.860。

各呼吸途径作为补充变量在图 6a 负荷图中, EMP 途径和 AP 呼吸与抗坏血酸、莽草酸含量变化的相关性较高, TCA 途径呼吸与苹果酸、抗坏血酸和莽草酸含量变化的相关性较高, CP 呼吸与蔗糖和草酸含量变化的相关性较高。

NFC 苹果汁加工过程中, 影响糖酸组分和呼吸强度变化的最主要工段是灭酶。但灭酶后果汁样品的部分糖酸组分含量并未稳定, 依然发生一定变化, 呼吸速率较低但并未完全停止代谢, 部分途径的呼吸速率还会回升, 说明热处理强度还未达到完全抑制中心代谢和糖代谢酶活性的效果; 但进一步提高热处理强度, 将会明显降低正常口感和香气的风味, 并增加劣质化风味。

因此, 在 NFC 苹果汁加工过程中, 榨汁提高呼吸代谢速率、明显改变糖酸含量, 可以通过隔氧或脱氧榨汁、低温榨汁, 减少风味物质的氧化反应, 如: 液氮降温排氧打浆技术^[33]等; 同时均质和超声对呼吸代谢和糖酸含量的变化有影响, 也可以通过隔氧和低温来减少风味物质的损耗^[34], 如: 高压均质技术^[35,36]等; 灭酶明显降低呼吸代谢, 改变糖酸含量, 杀菌会影响有机酸含量的改变, 不同工段物料代谢强度越高, 灭酶、钝酶处理的强度相应要高; 对于灭酶不彻底和热杀菌影响糖酸风味的问题, 可采用低能耗、低强度的非热技术加以抑制代谢酶残留活性, 比如脉冲电场技术^[37-39]、超声波技术^[40-42]、超高压技术^[43,44]等, 使果汁尽量避免劣质化反应, 保持苹果原料的营养价值和糖酸风味品质。

3 结论

在 NFC 苹果汁的加工过程中以灭酶处理对果汁糖酸风味影响较大, 以此将整个风味品质形成过程分成原料到榨汁和灭酶到灌装两个阶段。第一阶段, 可溶性糖中的葡萄糖和山梨醇含量升高了 49.12% 和 20.59%, 有机酸中的苹果酸含量升高了 8.06%、草酸

含量显著降低了 7.01%, TCAC 呼吸速率升高 0.64 倍, CP 呼吸速率降低 0.85 倍; 第二阶段, 果糖、葡萄糖、苹果酸、草酸含量和固酸比的变化呈正态分布, 与 EMP 途径、TCAC 途径和 AP 途径的呼吸速率变化相关。因此, 在果汁工业化生产工艺中, 加工环节的改进与优化应更多关注热处理单元的操作, 来使果汁产品尽量保持苹果原料的酸甜风味及营养价值。

参考文献

- [1] TCBI 006-2019. 非浓缩还原果汁 橙汁[S]. TCBI 006-2019. Not-From-Concentrate Fruit Juice Orange Juice [S]
- [2] 韩晓宇. 以“汇源”为例浅析我国果汁行业发展状况-基于“五力模型”视角[J]. 商场现代化, 2013, 11: 120
HAN Xiao-yu. An analysis of the development of China's juice industry with "Huiyuan" as an example [J] Market Modernization, 2013, 11: 120
- [3] 颖. 纯果汁成为饮料行业发展新趋势[J]. 福建轻纺, 2016, 2: 25
YING. Pure juice becomes a new trend in the beverage industry[J]. Fujian Light Textile, 2016, 2: 25
- [4] 超军文, 卢昆. 2015 年上半年浓缩果汁行业出口受阻[J]. 农业工程技术, 2015, 29: 35
CHAO Jun-wen, LU Kun. Exports of concentrated fruit juice industry blocked in the first half of 2015 [J]. Agricultural Engineering Technology, 2015, 29: 35
- [5] 李娟. 保健型果汁饮料的发展现状与前景[J]. 农业与技术, 2018, 38(20): 254
LI Juan. Development status and prospects of health-care juice drink [J]. Agriculture and Technology, 2018, 38(20): 254
- [6] 田由. 不同苹果品种及加工关键参数对非浓缩还原苹果汁品质的影响[D]. 西安: 陕西师范大学, 2018
TIAN You. Effects of different apple varieties and processing key parameters on the quality of not-from-concentrate apple juice [D]. Xi'an: Shanxi Normal University, 2018
- [7] Markowski J, Baron A, Le Quere J M, et al. Composition of clear and cloudy juices from French and Polish apples in relation to processing technology [J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 62: 813-820
- [8] Tastan O, Baysal T. Chitosan as a novel clarifying agent on clear apple juice production: optimization of process conditions and changes on quality characteristics [J]. Food Chemistry, 2017, 237: 818-824
- [9] HE Zhi-yong, TAO Ya-dan, ZENG Mao-mao, et al. High

- pressure homogenization processing, thermal treatment and milk matrix affect *in vitro* bioaccessibility of phenolics in apple, grape and orange juice to different extents [J]. Food Chemistry, 2016, 200: 107-116
- [10] Tian You, Sun Li-jin, Yang Ya-li, et al. Changes in the physicochemical properties, aroma and polyphenols of not from concentrate (NFC) apple juice during production [J]. CyTA-Journal of Food, 2018, 16(1): 755-764
- [11] Yang Ya-li, Shen Hai-liang, Tian You, et al. Effect of thermal pasteurization and ultraviolet treatment on the quality parameters of not-from-concentrate apple juice from different varieties [J]. CyTA-Journal of Food, 2019, 17(1): 189-198
- [12] 陈贤爽,王锦涛,鲁周民,等. 枇杷果汁加工过程中产品品质的变化[J]. 食品科学, 2016, 37(21): 79-84
CHEN Xian-shuang, WANG Jin-tao, LU Zhou-min, et al. Changes in product quality during the processing of loquat juice [J]. Food Science, 2016, 37(21): 79-84
- [13] 章金英. 苹果汁加工工艺中果汁褐变控制[D]. 北京: 中国农业大学, 2004
ZHANG Jin-ying. Juice browning control in apple juice processing [D]. Beijing: China Agricultural University, 2004
- [14] 黄筱静. 影响苹果浊汁品质关键因素的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005
HUANG Xiao-jing. Study on the key factors affecting the quality of apple turbid juice [D]. Beijing: China Agricultural University, 2005
- [15] 师源,何强,李莹,等. 高效液相色谱法测定浓缩果汁中 5 种可溶性糖[J]. 化学分析计量, 2019, 28(1): 97-100
SHI Yuan, HE Qiang, LI Ying, et al. Determination of 5 soluble sugars in concentrated fruit juice by high performance liquid chromatography [J]. Chemical Analysis and Measurement, 2019, 28(1): 97-100
- [16] 谢季云,赵晓敏,汪永琴,等. 1-MCP 处理对不同期采收的阿克苏红富士苹果在采后贮藏期糖代谢的影响[J]. 现代食品科技, 2018, 34(9): 111-121, 214
XIE Ji-yun, ZHAO Xiao-min, WANG Yong-qin. Effect of 1-MCP treatment on sugar metabolism of Aksu red fuji apples harvested at different stages during post-harvest storage [J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(9): 111-121, 214
- [17] 郑丽静. 苹果果实糖酸特性及其与风味关系研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2015
ZHENG Li-jing. Study on the characteristics of sugar and acid of apple fruit and its relationship with flavor [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2015
- [18] Ma Bai-quan, Chen Jie, Zheng Hong-yu, et al. Comparative assessment of sugar and malic acid composition in cultivated and wild apples [J]. Food Chemistry, 2015, 172: 86-91
- [19] 郭燕,梁俊,李敏敏,等. 高效液相色谱法测定苹果果实中的有机酸[J]. 食品科学, 2012, 33(2): 234-237
GUO Yan, LIANG Jun, LI Min-min, et al. Determination of organic acids in apple fruits by high performance liquid chromatography [J]. Food Science, 2012, 33(2): 234-237
- [20] WANG Hai-bo, WANG Chuan-zeng, CHENG Lai-liang, et al. Effect of metaxenia on sugars and organic acids and taste quality of bagged fuji apple fruits [J]. Agricultural Biotechnology, 2017, 6(4): 63-66
- [21] 梁之彦. 生理化学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985
LIANG Zhi-yan. Physiological Chemistry [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1985
- [22] 李庆章,吴永尧. 生物化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004
LI Qing-zhang, WU Yong-yao. Biochemistry [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2004
- [23] 汤溢. “风味甜瓜”系列果实高糖高酸品质形成的机理研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010
TANG Mi. Study on the Mechanism of high-sugar and high-acid quality formation of "Fruit Melon" series fruits [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2010
- [24] Duque P, Arrabaca J D, Barreiro-M-G. Respiratory metabolism during cold storage of apple fruit. I. Sucrose metabolism and glycolysis [J]. Physiologia Plantarum, 1999, 107(1): 14-23
- [25] Duque P, Arrabaca J D. Respiratory metabolism during cold storage of apple fruit. II. Alternative oxidase is induced at the climacteric [J]. Physiologia Plantarum, 1999, 107(1): 24-31
- [26] 潘俨. 库尔勒香梨果实发育及采后糖代谢与呼吸代谢关系的研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2016
PAN Yan. Study on the fruit development and the relationship between post-harvest sugar metabolism and respiration metabolism of Xianger pear [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2016
- [27] 谭归. 包装材料和气体比例对西州密 17 号甜瓜采后生理和品质影响的研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2017
TAN Gui. Effect of packaging materials and gas ratio on postharvest physiology and quality of Xizhou Mi17 melon [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2017
- [28] 邓丽莉,生吉萍. 苹果果实糖代谢过程及其调控研究进展[J]. 保鲜与加工, 2012, 12(1): 7-11, 17
DENG Li-li, SHENG Ji-ping. Research progress on sugar metabolism and regulation of apple fruits [J]. Preservation

- and Processing, 2012, 12(1): 7-11, 17
- [29] 李芋萱,曾凯芳,王宝刚,等.不同处理对采后果实糖代谢过程影响研究进展[J].食品科学,2015,36(5):283-288
LI Yu-xuan, ZENG Kai-fang, WANG Bao-gang, et al. Research progress on the effects of different treatments on sugar metabolism in postharvest fruits [J]. Food Science, 2015, 36(5): 283-288
- [30] 王立霞.几个功能型苹果优良果实风味品质评价及苹果酸代谢相关酶的研究[D].济南:山东农业大学,2014
WANG Li-xia. Evaluation of fruit flavor quality and malate metabolic enzymes of several functional apple plants [D]. Jinan: Shandong Agricultural University, 2014
- [31] 陈发兴.果实有机酸代谢研究进展[J].果树学报,2005,22(5): 526-531
CHEN Fa-xing. Research progress on fruit organic acid metabolism [J]. Journal of Fruit Science, 2005, 22(5): 526-531
- [32] 孙文泰.外源水杨酸对采后鸭梨果实呼吸途径的影响[D].保定:河北农业大学,2010
SUN Wen-tai. Effect of exogenous salicylic acid on respiration path of postharvest ya pear fruits [D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2010
- [33] 赵国建,杨公明.苹果液氮降温排氧打浆技术研究[J].农业工程学报,2007,6:228-232
ZHAO Guo-jian, YANG Gong-ming. Study on apple liquid nitrogen cooling and oxygen removal [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 6: 228-232
- [34] 陈学红,秦卫东,马利华,等.加工工艺条件对果蔬汁的品质影响研究[J].食品工业科技,2014,35(1):355-362
CHEN Xue-hong, QIN Wei-dong, MA Li-hua, et al. Effect of processing technology on the quality of fruit and vegetable juices [J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(1): 355-362
- [35] 关云静.高压均质对 NFC 芒果汁微生物和品质的影响[D].北京:中国农业科学院,2016
GUAN Yun-jing. Effect of high-pressure homogenization on the microbe and quality of NFC mango juice [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2016
- [36] 代蕾,孙翠霞,刘夫国,等.高压均质对果蔬汁品质影响研究进展[J].食品工业科技,2016,37(12):389-393
DAI Lei, SUN Cui-xia, LIU Fu-guo, et al. Research progress on the effect of high-pressure homogenization on fruit and vegetable juice quality [J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(12): 389-393
- [37] 马理姣.脉冲电场钝化 PPO 对苹果制品的影响及酶钝化机理的初探[D].扬州:扬州大学,2015
MA Li-zheng. Effect of pulsed electric field passivation PPO on apple products and preliminary study on enzyme passivation mechanism [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2015
- [38] 廖小军.高压脉冲电场系统设计及其杀菌灭酶效果与对苹果汁品质影响研究[D].北京:中国农业大学,2004
LIAO Xiao-jun. Design of high-voltage pulsed electric field system and its bactericidal effect and its effect on apple juice quality [D]. Beijing: China Agricultural University, 2004
- [39] 田一雄.基于射频与脉冲电场的 NFC 苹果汁钝酶杀菌新工艺研究[D].无锡:江南大学,2018
TIAN Yi-xiong. Research on a new technology of NFC apple juice blunt enzyme sterilization based on radio frequency and pulsed electric field [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2018
- [40] 钟烈洲.超声波对现榨苹果汁的品质影响[D].杭州:浙江大学,2013
ZHANG Lie-zhou. Effect of ultrasound on quality of freshly squeezed apple juice [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2013
- [41] 王振帅,曾秋烦,信思悦,等.超声联合杀菌对火龙果汁品质及抗氧化性的影响[J].食品与发酵工业,2019,45(5):157-163
WANG Zhen-shuai, ZENG Qiu-fan, XIN Si-yue, et al. Effect of ultrasonic combined sterilization on the quality and antioxidant activity of dragon fruit juice [J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(5): 157-163
- [42] 胡貽椿.浓缩苹果汁生产过程中嗜酸耐热菌的分离鉴定及超声波杀灭作用研究[D].咸阳:西北农林科技大学,2007
HU Yi-chun. Isolation and identification of acid-tolerant and heat-resistant bacteria during the production of concentrated apple juice and its ultrasonic killing effect [D]. Xianyang: Northwest A & F University, 2007
- [43] 方亮.超高压处理对猕猴桃果汁杀菌钝酶效果和品质的影响[D].无锡:江南大学,2008
FANG Liang. Effect of ultrahigh pressure treatment on bactericidal enzymes and quality of kiwi fruit juice [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008
- [44] 刘野,赵晓燕,胡小松,等.超高压对鲜榨西瓜汁杀菌效果和风味的影响[J].农业工程学报,2011,27(7):380-386
LIU Ye, ZHAO Xiao-yan, HU Xiao-song, et al. Effect of ultrahigh pressure on sterilization effect and flavor of freshly squeezed watermelon juice [J]. Journal of Agricultural Engineering, 2011, 27(7): 380-386