蒸汽灭酶与破碎制浆耦合对苹果鲜榨汁品质的影响

汪良峰， 陈海英， 俞建峰， 崔政伟*

（江南大学 江苏省食品先进制造装备技术重点实验室，江苏 无锡 214122）

摘要： 为了探讨蒸汽处理对鲜榨果浆褐变及品质的影响，自行设计并搭建了小型蒸汽灭酶与破碎制浆耦合实验装置。试验发现，蒸汽环境打浆结束时果浆温度超过后 80 ℃时，果浆色泽明亮、稳定，多酚氧化酶（PPO）基本失活，有效抑制了酶促褐变。对蒸汽环境打浆结束时温度 93、83 ℃的果浆与 25 ℃打出的果浆的理化性质、抗氧化性、风味物质进行了分析和比较。合适的蒸汽处理可以改善苹果浆理化性质，极大地保留了果浆的抗氧化性，但同时也损失了一些果浆风味物质。

关键字： 蒸汽；鲜榨苹果浆；褐变；抗氧化性；风味物质

中图分类号：TS 275　　**文献标志码：**A　　DOI：10.3969/j.issn. 1673-1689.2019.01.016

Effect of Coupled Pulping and Enzyme Inactivation by Steam on the Quality of Fresh Apple Juice

WANG Liangfeng， *CHEN Haiying*， *YU Jianfeng*， *CUI Zhengwei**

（Jiangsu Key Laboratory of Advanced Food Manufacturing Equipment and Technology，Jiangnan University，Wuxi 214122，China）

Abstract： In order to investigate the effect of steam treatment on browning and quality of fresh apple juice，a self-designed equipment of coupling pulping and enzyme inactivation by steam was set up. By a series of experiments we found that if the ending temperature of pulp was above of 80 ℃，the color of apple juice was bright stability，the activity of PPO was almost lost and the enzyme browning was inhibited effectively. The chemical properties，antioxidant activity，volatile flavor compounds of three kinds of apple juice pulped in steam with the ending temperature 93、83、25 ℃ respectively were analyzed and compared. As a result，the physical and chemical properties of the juice was improved，and the antioxidant activity was preserved greatly，as well as the volatile flavor compounds of apple juice was also changed at a certain extent.

Keywords： steam，fresh apple juice，browning，antioxidant activity，volatile flavor compounds

中国是世界上苹果第一生产大国，总产量已超过世界总产量的 55%[1]。如此庞大的产量已远超鲜销市场的需求，苹果深加工已然迫在眉睫。我国苹果汁加工产业起步晚，年加工用果仅占苹果总产量

收稿日期： 2016-08-28

基金项目： 中央高校基本科研业务资金专项（JUSRP51634B）。

* **通信作者：** 崔政伟（1963—），男，博士，教授，主要从事农产品深加工技术与装备研究。E-mail：cuizhengwei@jiangnan.edu.cn

引用本文： 汪良峰，陈海英，俞建峰，等. 蒸汽灭酶与破碎制浆耦合对苹果鲜榨汁品质的影响[J]. 食品与生物技术学报，2019，38(01)：107-113.

20%,而欧美国家已经达到 50%以上[2]。

褐变一直是制约国际苹果汁行业发展的关键难题。褐变是指苹果在制浆后颜色呈褐色以及在贮藏中褐色加深的现象[3]。褐变不仅影响苹果浆的外观、口感和风味,还造成营养成分的流失,降低果浆营养价值和商品价值。

近年来有很多学者做了关于苹果汁防褐变的研究,如李敏等采用添加树脂、活性炭等措施控制苹果汁颜色加深[4-5],Thada 等添加豆香素等植物提取物防止苹果汁酶促褐变[6-7],Riahi 等采用超高压灭酶防止酶促褐变[8-9],但同时也产生营养物质流失,生产成本高,难以实现大规模工业化生产等问题。蒸汽处理能防止鲜榨苹果浆褐变,同时工序简单,生产成本低。作者用自行设计、搭建的试验装置,实现破碎制浆和蒸汽灭酶工艺耦合,探讨蒸汽环境制浆对果浆色泽、理化性质、抗氧化性、风味物质保留的影响。

1 材料与方法

1.1 材料

苹果:市售,选取大小均匀、颜色相近的苹果,贮藏于 4 ℃备用;仲辛醇、没食子酸、自由基产生剂偶氮二异丁脒盐酸盐(AAPH)、荧光物质 Sodium Fluorescein:阿拉丁试剂有限公司产品。

1.2 仪器与设备

LDR24-0.45-Z 全自动小型电加热蒸汽锅炉:顺达服装机械有限公司产品;TM-767II 多功能果蔬破碎机:海盘电器有限公司产品;UPLC-TQD 超高效液相色谱串联四级杆质谱联用仪:美国 waters 公司产品;UltraScan Pro1166 高精度分光测色仪:美国 Hunter lab 公司产品;PowerWave XS2 酶标仪:美国 Bio Tek 公司产品;TGL-16C 高速离心机:安亭科学仪器厂产品;DF-101S 集热式恒温加热磁力搅拌器:予华仪器有限责任公司产品;UV1800 紫外可见光分光光度计:日本岛津公司产品;LZB-10WB 玻璃转子流量计:祥云流量仪器厂产品;PHS-4CT 型智能台式 pH 计:康仪仪器有限公司产品;PAL-1 手持数显糖度计:日本爱拓公司产品;CENTER-309 温度计:群特科技股份有限公司产品;AR1140 分析天平:美国奥斯豪仪器有限公司产品。实验装置简图如图 1 所示。

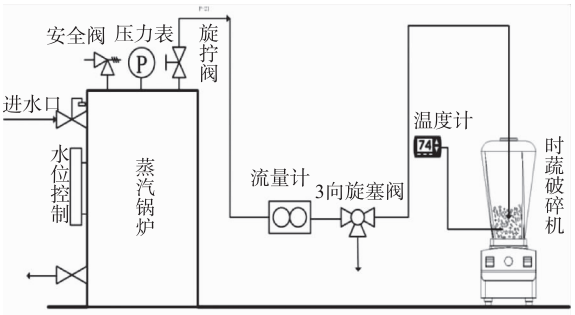


图 1 自制蒸汽灭酶与破碎制浆耦合实验装置简图

Fig. 1 Sketch for self-designed equipment of coupling steam inactive enzyme and break pulp

1.3 试验方法

试验前将苹果从冷藏柜中取出,置于 25 ℃水浴中 1 h 后,去皮、去核、切块,每份 100 g,然后装入果蔬破碎机中待打浆处理。通过打浆前和打浆过程中持续向破碎腔中通入适当蒸汽实现蒸汽灭酶和破碎制浆耦合,试验装置如图 1。前期多次尝试性试验结果表明,当通入压强 0.13 MPa、温度 107 ℃的 1 750 L/h 高温蒸汽(以下高温蒸汽的条件均相同)100 s 时,果浆温度已经达到 95 ℃;而通入 750 L/h 蒸汽 50 s 时,果浆褐变依然很明显。作者研究方案为蒸汽流量取 1 000、1 250、1 500、1 750 L/h,通入蒸汽时间取 50、60、70、80、90 s。每组试验做 3 个平行,记录色值和打浆结束时果浆温度。

1.3.1 苹果浆色泽测定 鲜榨果浆自然冷却 10 min 中后用 hunter lab 高精度分光测色仪进行色泽测定。白板校准值为:L_0=93.5、a_0=-0.84、b_0=0.66;L 表示明度 L=0 指示黑色 L=100 指示白色。

1.3.2 苹果浆 PPO 活性测定 参考 Krapfenbauer 等[10]的方法,略有改动。取 10 mL 鲜榨果浆与 20 mL 4 g/dL PVPP 充分混合后在 12 000 r/min 离心 20 min 后取上清液,即为 PPO 粗酶液。比色皿中加入 2.5 mL 磷酸盐缓冲液(pH 6.5),30 s 后加入 0.5 mL 粗酶液,30 s 后再加入 1 mL 邻苯二酚(0.2 mol/L),混合均匀后立刻在 420 nm 波长下测定吸光值,连续测定 2 min。酶活性(U)由开始处反应速率决定。作者通过蒸汽环境打浆与常温(25 ℃)打浆的对比,来探究破碎制浆耦合蒸汽灭酶对鲜榨果汁的影响,故用实测果浆 PPO 活性与果浆 25PPO 活性做比,得到相对活性 R,计算式:

$$相对活性\ R(\%)=\frac{U}{U_{25}}\times 100 \quad (1)$$

式中:U 为蒸汽环境打浆的果浆 PPO 活性,U_{25} 为对照果浆 25PPO 活性。

1.3.3 苹果浆总酸测定 参考 GB/T 12456—2008 食品中总酸的测定。

1.3.4 苹果浆总酚测定 采用 Folin-Ciocalteu 法[11],略有改动。鲜榨苹果浆稀释 10 倍,过滤,取 1 mL 滤液于试管中,加入 2.5 mL 福林—酚试剂,混合均匀后加入 4.0 mL 质量分数 12% 的 Na_2CO_3 溶液,在 45 ℃水浴中反应 1.5 h 后,在 756 nm 波长处测定吸光值。用没食子酸制定标准曲线。

1.3.5 苹果浆总糖测定 参考 Zhao 等方法[12]。取 20 g 鲜榨果浆与 10 mL 盐酸(体积分数 10%)充分混合后加入 80 mL 去蒸馏水水,过滤后留滤液备用。具塞试管加入 2 mL 备用滤液后立即加入 8 mL 蒽酮试剂(0.2 g 蒽酮溶于 100 mL 浓硫酸,现配限用),在 100 沸水浴中加热 10 min,冰浴冷却室温后在波长 620 nm 处测量吸光值。用葡萄糖溶液制定标准曲线。

1.3.6 苹果浆抗氧化性测定 参考徐维盛等方法[13]。取 10 g 果浆与 20 g 乙醇(体积分数 50%)混合均匀后,12 000 r/min 离心 20 min,取上清液,即为待测样品溶液。用 pH 7.4 的磷酸盐缓冲液配制适当浓度的荧光素钠盐、AAPH 溶液。在 96 孔黑色荧光酶标仪板各孔加入 25 μL 样品溶液后,用自动加样器向各微孔中添加浓度为 0.159 μmol/L 的荧光素钠盐 75 μL;37 孵育 10 min 后,用自动加样器加入浓度 38.25 mmol/L 的 AAPH 溶液 100 μL。以激发波长 485 nm,发射波长 530 nm 进行连续反应,每 70 s 测定一次荧光强度,持续 4200 s,整个体系维持 37 ℃。试验所得不同时间荧光强度与初始时间荧光强度相比,折算成相对荧光强度 f,采用近似积分计算出荧光衰退曲线下方面积(AUC),如式:

$$AUC=0.5\times(2\times(f_0+f_1+\Lambda+f_{n-1}+f_n)-f_0-f_n)\times\Delta t \quad (2)$$

式中,f_n 为第 n 个测定点相对荧光强度;Δt 为相邻两测定点时间间隔,70 s。

计算样品 AUC 与仅有 APPH 作用下的 AUC 之差得到净 AUC,用样品 net AUC 来表征蒸汽对 3 种苹果浆抗氧化活性的影响。

1.3.7 苹果浆风味测定 采用顶空固相微萃取结合气相色谱—质谱联用(GC-MS)技术对苹果浆风味物质成分及含量测定[14]。取 2 g 样品和 3 mL 蒸馏水置于 20 mL 样品瓶中,加入 2 g 促进风味物质挥发的 NaCl,用 2 μL 1.6 mg/mL 的 2-辛醇作内标,之后在 40 ℃加热平衡台上平衡 10 min。萃取头插入 250 ℃的 GC 进样口老化 30 min 后插入已平衡好的样品瓶中吸附,再插入 GC 进样口解吸。气相色谱条件:Agilent HP-5 毛细管柱,氦载气流量 1 mL/min,进样口温度 250 ℃,不分流;升温程序为,起始柱温 35 ℃,维持 1 min 以后以 1 ℃/min 速率增加至 70 ℃,维持 2 min,再以 5 ℃/min 速率升温至 230 ℃,维持 5 min。质谱条件:接口温度 280 ℃,采用电子轰击离子源(EI),离子源温度 230 ℃,四级杆温度 150 ℃,电子能量 70 eV,捕获方式为全扫描(m/z 30~600)。

2 结果与讨论

2.1 蒸汽对鲜榨苹果浆褐变影响

从图 2 中可以看出,打浆结束时果浆温度和蒸汽处理时间基本呈正向线性关系,而 L 值这种变化趋势并不明显。图 2(b)中,在蒸汽流量低于 1 250 L/h,蒸汽时间小于 80 s 时,果浆颜色相对较深,和未蒸汽处理的对照组相差不大。在蒸汽流速大于 1 500 L/h、蒸汽时间大于 60 s 时鲜榨果浆 L 值较大;并且在蒸汽时间超过 70 s 后,随着蒸汽时间增加 L 值变化平缓。图 2(b)中,在纵坐标 L 值为 50 左右(L*)画条横线(分界线),发现在分界线以下的试验点(褐变试验点)偏离分界线均比较远。说明这些褐变试验点在打浆结束后 10 min 内颜色变化很快、幅度大。鲜榨果浆破碎时颜色变化主要由酶促褐变产生[15],由此可以推测这些褐变试验点在打浆结束后 10 min 内发生了剧烈的酶促褐变反应。在分界线以上的试验点(有效试验点)离分界线均相对较近,且变化平缓,说明有效试验点 L 值在超过 L* 后变化很小;此时果浆色泽明亮、稳定,酶活性较弱。温度是影响酶活力的最主要因素,在图 2(a)中以褐变试验点为参考画出一条直线。这条直线代表的温度(T*=80 ℃左右)表示为本实验方案下酶有效失活温度。

在图 2(a)中有部分试验点虽然果浆 L 值大、褐变程度小,但打浆结束温度已经超过 95 ℃,已经严重影响到果浆的品质[16]。结合果浆褐变程度,在打浆结束时温度 25 ℃、70~80 ℃、80~90 ℃、90~100 ℃ 4 个阶段分别取一个试验点进行后续相关指标测定。4 个试验点参数如表 1。

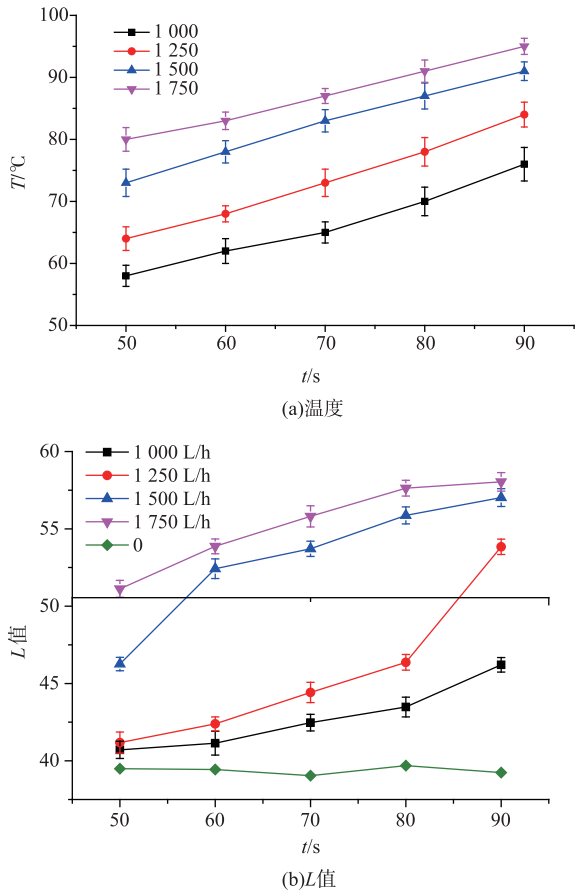


图 2　不同蒸汽处理对鲜榨果浆温度和 *L* 值影响

Fig. 2　Effect of steam treatment on temperature and *L* value of fresh apple juice

表 1　4 个试验点参数

Table 1　Parameters of four test point

试验点	*T*/℃	*L*	*Q*/(L/h)	*t*/s
P1	25±1.9	38.4±0.6	0	0
P2	73±2.3	42.6±0.5	1 000	80
P3	83±1.6	52.9±0.7	1 500	60
P4	93±2.1	57.2±0.6	1 750	80

2.2　蒸汽对鲜榨苹果浆 PPO 活性影响

由图 3 可以看出打浆结束时温度在 80 ℃以上的 P3、P4 试验点酶活性很低，仅有对照 P1 试验点 10%左右；P2 试验点虽然温度也达到了 73 ℃，依然有 66%的活性。这个现象与上文中蒸汽环境打浆果浆 PPO 活性在 *T** 有临界点的推测相符合。从图 4 中 4 个试验点打出果浆 10 min 后拍照图，很清楚的看出蒸汽环境打浆结束时温度高于 *T** 的 P3、P4 试验点，果浆中 PPO 活性基本得到钝化，酶促褐变基本得到抑制。

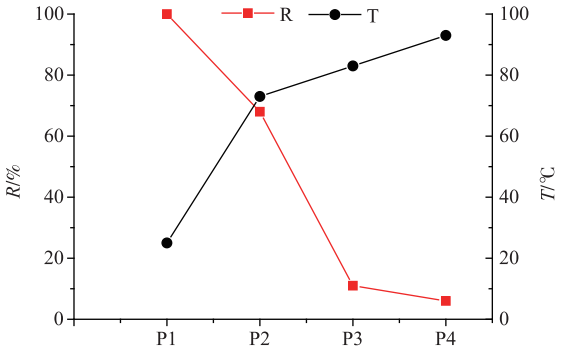


图 3　4 个试验点果浆温度及果浆相对酶活性

Fig. 3　Pulp temperature and relative enzyme activity of four test points apple juice

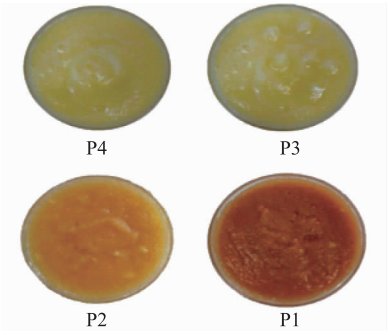


图 4　4 个试验点打出果浆 10 min 后拍照图

Fig.4　Photo graph for four test points apple juice after 10 min of breaking

2.3　蒸汽对鲜榨苹果浆理化性质影响

结合 2.1、2.2 结论选择了试验点 P4、P3 以及对照组 P1 进行后续分析试验，并把制的果浆以打浆结束时果浆温度分别命名为：果浆 93（打浆结束时果温度 93 ℃，以下类同）、果浆 83、果浆 25。

3 种果浆部分理化性质如表 2 所示。果浆 83、果浆 93 总酚含量比果浆 25 要高很多，这和文献[17]试验结果相一致。酚类是果浆中很重要的营养成分之一，酶促褐变的有效抑制极大的提高了果浆营养价值。总酸的增加、pH 降低和文献略有不同[18]，其中机理也尚不清楚，酸性物质的增加对改善苹果浆酸甜可口的口感有很大帮助。果浆 83、果浆 93 总糖含量明显比果浆 25 要低，而且果浆 83 也比果浆 93 要高；这应该是由蒸汽环境打浆随着温度的升高加剧了糖类焦化反应导致的。由此可以看出，在蒸汽环境中打浆虽然糖类有所流失，有利于酚类和酸性物质的保留。

表 2　蒸汽处理对果浆理化特性影响

Table 2　Effect of steam treatment on physical and chemical properties of apple juice

果浆	总酚/(μg/g)	总酸/(g/hg)	总糖/(g/hg)	TSS/%	pH
果浆 25	214.34±4.21	2.73±0.03	9.56±0.98	9.2±0.2	4.03±0.03
果浆 83	396.09±10.32	3.17±0.03	6.71±0.82	8.5±0.3	3.91±0.02
果浆 93	436.58±11.75	3.33±0.02	5.69±0.76	8.1±0.3	3.87±0.02

2.4　蒸汽处理对抗氧化性影响

氧自由基吸收能力能很好的表征苹果浆抗氧化活性。3 种果浆荧光衰减情况如图 5 所示，果浆 25 荧光衰减速度明显比果浆 83、果浆 93 要快很多；3 种果浆净 AUC 分别为 1555.694、3196.466、3738.196，从中可以看出果浆 83、果浆 93 在氧自由基吸收能力上比果浆 25 要好很多，说明蒸汽环境打浆增加了果浆的抗氧化性。这和蒸汽环境打浆有效抑制了酶促褐变，保留果浆中酚类、黄酮类化合物有关[19]。果浆 93 的抗氧化性比果浆 83 要好，说明果浆抗氧化性增加依赖于打浆结束时温度的升高；适当提高打浆结束时温度更有利于抗氧化性增加，但也不可避免的带来其他影响。

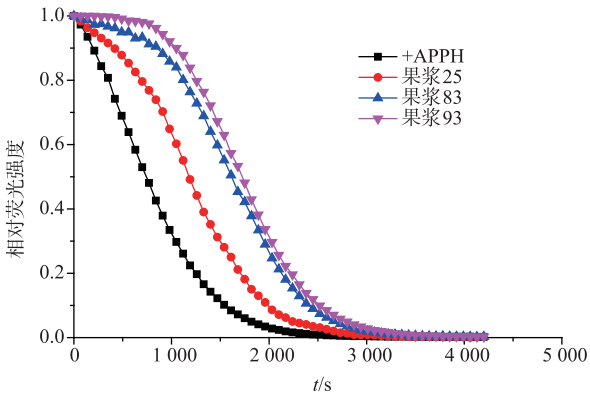


图 5　3 种果浆荧光衰减图

Fig. 5　Fluorescence decay of three apple juice

2.5　蒸汽对鲜榨苹果浆风味影响

采用顶空固相微萃取气—质联用技术从 3 种鲜榨果浆中检测出大约 230 种物质，其中主要的挥发性风味物质(相对质量分数≥0.1%)有 45 种，如表 3 所示。主要风味物质有醇类、酯类、醛类、酮类、烯烷炔，其中醇类和酯类种类最多，分别有 12 种、10 种。3 种果浆检测出的化合物种类及质量分数如图 6 所示，从中可以看出果浆中挥发性风物物质种类虽然很多，但相对质量分数超过 0.1%化合物(C 类化合物)种类却很少，仅占所有物质种类 16%左右。果浆 83、果浆 93 中挥发性风味物质种类比果浆 25 增加了 30 种左右，这应该和蒸汽环境打浆果胶酶将半乳糖醛酸分解为小分子的挥发性风味物质有关[20]。C 类化合物含量总和在通入蒸汽后变化非常明显，在没有通入蒸汽的果浆 25 中达到 50.37%，而通入蒸汽后的果浆 93、果浆 83 中分别仅有 22.44%、19.25%。通入蒸汽后，C 类化合物含量的降低可能由两部分造成：一部分是低沸点风味物质在高温打浆环境中提前挥发；另一部分是高温致使一些风味物质分解。

表 3　3 种果浆中主要挥发性风味物质

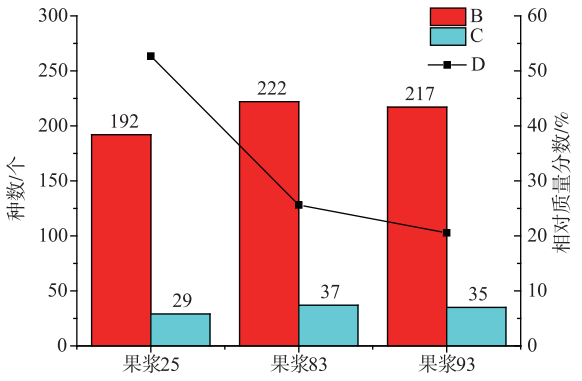
Table 3　Main volatile flavor compounds of apple juice

序号	保留时间/min	挥发性物质	相对质量分数/%		
			果浆 93	果浆 83	果浆 25
醇类					
1	3.98	2,3-丁二醇	0.27	—	1.66
2	9.60	异丁醇	0.18	—	0.18
3	12.40	正丁醇	0.33	0.34	0.51
4	17.02	L-2-甲基丁醇	3.00	3.92	—
5	20.71	正戊醇	0.12	—	—
6	30.96	正己醇	1.18	1.77	8.63
7	33.99	3-己烯-1-醇	—	0.17	1.13
8	41.51	1-辛烯-3-醇	—	0.14	—
9	41.65	庚醇	0.11	0.12	0.10
10	42.42	6-甲基-5-庚烯-2-醇	—	—	0.22
11	43.90	异辛醇	0.61	0.69	0.64
12	46.89	辛醇	0.47	0.56	0.25
酯类					
13	6.69	丁酸乙酯	—	0.19	0.30
14	7.25	2-甲基丁酸乙酯	—	—	0.12
15	8.15	乙酸丁酯	0.14	—	0.73
16	10.61	乙酸 2-甲基丁酯	4.14	4.60	14.30
17	14.09	乙酸正戊酯	—	—	0.27
18	18.90	己酸乙酯	—	—	0.85
19	22.52	乙酸己酯	0.14	0.10	0.99
20	24.57	甲酸三异丙酯	0.29	0.28	0.20
21	28.81	乙酸-2-己烯-1-醇酯	—	—	0.21
22	55.42	丁酸丁酯	0.17	0.16	0.12
醛类					
23	4.91	正戊醛	0.19	0.28	—
24	8.49	己醛	0.36	0.64	4.56

续表 3

序号	保留时间/min	挥发性物质	相对质量分数/%		
			果浆 93	果浆 83	果浆 25
25	17.05	2-己烯醛	—	—	11.06
26	26.61	2-庚烯醛	0.16	0.19	—
27	34.35	壬醛	0.24	0.28	0.10
28	37.59	2-辛烯醛	—	0.14	—
酮类					
29	23.23	仲辛酮	0.26	0.19	0.29
30	24.88	1-庚烯-3-酮	0.20	0.28	—
31	28.61	甲基庚烯酮	0.14	0.14	0.10
烯烷炔					
32	5.35	癸烷	—	0.47	—
33	5.69	3,3-二甲基庚烷	—	0.13	0.11
34	6.59	3-乙基-3-甲基庚烷	—	0.21	0.10
35	8.85	十一烷	0.35	1.03	0.73
36	20.76	乙氧基乙炔	—	0.11	—
37	42.18	甲基环庚烯	0.14	—	—
38	53.47	4,4-二乙基-2,5-辛二炔	—	0.27	0.18
其他					
39	2.82	1-甲氧基-4-苯基乙炔苯	5.00	3.33	0.45
40	39.48	5-氨基乳清酸	0.14	—	0.19
41	45.75	2-氨基蒽	0.17	0.16	0.12
42	52.02	萘	0.64	0.42	0.32
43	54.83	1-甲基萘	—	0.83	0.49
44	57.30	1,7-二甲基萘	—	0.16	—
45	64.19	2,4-二特丁基苯酚	0.11	0.14	0.16

注：仅列出相对质量分数≥0.1%的挥发性风味物质；“—”表示没有检测到该物质或相对质量分数<0.1%。



注：B-实测化合物，C-相对质量分数大于 0.1% ，D-相对质量分数大于 0.1%的化合物相对质量分数总和

图 6　3 种果浆检测出的化合物种数及相对质量分数

Fig. 6　Number of compounds detected and relative content of apple juice

按化合物种类和相对质量分数对 C 类化合物进行了分类分析，结果如表 4。果浆 93、果浆 83 与果浆 25 相比醇类、醛类、酮类的物质种类没有明显的变化，酯类、烯烷炔变化明显，其中酯类物质种类减少了 100%左右。5 类物质在相对质量分数上均有明显变化，尤其是醛类变化最大，相对质量分数降低了 90%以上，醇类、酯类、分别降低了 50%、70%左右，酮类质量分数虽然有所增加，但相对质量分数很低仅有 0.5%左右。

蒸汽处理对果浆中挥发性风味影响明显，通入蒸汽后虽然化合物种类略有增加，但影响果浆风味最大的 3 类物质，醇类、酯类、醛类损失较多，并且打浆结束时温度越高，损失越明显。

表 4　3 种果浆中几种主要挥发性风味物质种数和相对质量分数

Table 4　Species and relative content of several kinds of main volatile flavor compounds of apple juice

	果浆 93		果浆 83		果浆 25	
	种类/个	相对质量分数/%	种类/个	相对质量分数/%	种类/个	相对质量分数/%
醇类	9	6.27	8	7.71	8	13.32
酯类	5	4.88	4	5.05	9	17.89
醛类	4	0.76	5	1.53	3	15.72
酮类	4	0.60	3	0.55	2	0.39
烯烷炔	2	0.49	6	2.22	4	1.12

3 结　语

通过采用小型蒸汽灭酶与破碎制浆耦合实验装置在蒸汽环境对苹果破碎进行打浆试验，发现合适的蒸汽处理可以抑制果浆的酶促褐变，改善果浆色泽；果浆 PPO 在打浆结束温度 80 ℃以上基本失活。进一步对果浆 93、果浆 83 和果浆 25 进行了理化性质、抗氧化性、风味物质的比较分析。发现蒸汽环境打浆由于有效的抑制了酶促褐变，改善了果浆理化性质，同时极大的保留了果浆的抗氧化活性；同时由于蒸汽的通入升高了果浆温度，损失了果浆中风味物质，并且这种损失随着打浆结束时温度的

升高而增加。蒸汽环境中打浆,通过合理控制蒸汽用量可以达到,灭酶防褐变,改善果浆品质的效果。

蒸汽环境打浆工艺简单,适合工业化生产,目前作者正在研制成熟的适合大规模生产的苹果蒸汽破碎机。

参考文献:

[1] 中国(北京)国际果蔬展览会暨研讨会. 中国水果产量猛增[EB/OL]. http://www.chinafvf.com/news/11935.html

[2] FENG Juanjuan,HOU Jianyun,LIU Jundi,et al. Analyzed of export trade situation and Countermeasures for Chinese concentrated apple juice from Jan.~Jun.in2013[J]. **World Agriculture**,2013(12):95-100.(in Chinese)

[3] ZHAO Anqing,WANG Yuhong. Color value control of apple concentrate juice [J]. **Journal of Gansu Lianhe University: Natural Sciences**,2008,22(1):73-75.(in Chinese)

[4] LI Ming,GONG Xiaomei,LI Xihong,et al. Effect of resin and flow rate on the color value and stability of apple juice [J]. **Food Science and Technology**,2016(1):41-43.(in Chinese)

[5] LI Yinghua,LI Hongyan. Effect of activated carbon adsorption on the color value of apple juice [J]. **Modern Food Science and Technology**,2011,27(7):799-801.(in Chinese)

[6] THADA R,CHOCKALINGAM S,DHANDAPANI R K,et al. Extraction and quantitation of coumarin from cinnamon and its effect on enzymatic browning in fresh apple juice:a bioinformatics approach to illuminate its anti-browning activity [J]. **Journal of Agricultural & Food Chemistry**,2013,61(22):5385-5390.

[7] XUE D,QIN Z,DAI Y,et al. Encapsulation artocarpanone and ascorbic acid in O/W microemulsions:Preparation, characterization,and antibrowning effects in apple juice[J]. **Food Chemistry**,2016,192:1033-1040.

[8] RIAHI E,RAMASWAMY H S. High-pressure processing of apple juice:kinetics of pectin methyl esterase inactivation [J]. **Biotechnology Progress**,2003,19(3):908-914.

[9] ZHAO L,WANG Y,QIU D,et al. Effect of ultrafiltration combined with high-pressure processing on safety and quality features of fresh apple juice[J]. **Food & Bioprocess Technology**,2014,7(11):3246-3258.

[10] KRAPENBAUER G,KINNER M,GOSSINGER M,et al. Effect of thermal treatment on the quality of cloudy apple juice [J]. **Journal of Agricultural & Food Chemistry**,2006,54(15):5453-5460.

[11] ZHAO Xiaojuan,LI Mingyi,HUANG Guiying,et al. Determination of total polyphenols in apple vinegar beverage by Folin-Ciocalteu[J]. **Food Science and Technology**,2013,34(8):31-35.(in Chinese)

[12] ZHAO L,WANG Y,HU X,et al. Korla pear juice treated by ultrafiltration followed by high pressure processing or high temperature short time[J]. **LWT – Food Science and Technology**,2015,65:283-289.

[13] XU Weisheng,LI Dong,LIU Jingdneg. Study on the evaluation of the total antioxidant capacity of 12 kinds of fruit by ORAC method[J]. **Food Industries**,2014(1):247-250.(in Chinese)

[14] ZHENG Yu,LIU Chuang,LI Linjie,et al. Changes of volatile flavor compounds in apple juice concentrate processing [J]. **Food and Fermentation Industries**,2015,41(11):121-128.(in Chinese)

[15] ZHAO Guangyuan,WANG Zhang,XU Shiying. Study on enzymatic browning of cloudy apple juice during processing and its prevention[J]. **Science and Technology of Food Industry**,2003,24(10):57-61.(in Chinese)

[16] HU Qingjiabao,LIU Xuan,BI Jinfeng,et al. Effects of non thermal processing and traditional heat treatment on the quality of apple juice[J]. **Food and Fermentation Industries**,2016,42(1):102-107.(in Chinese)

[17] ZHAO Guangyuan,WANG Zhang,XI Shiying,et al. Effect of steam heat treatment on color and turbidity stability of cloudy apple juice during the breakup of[J]. **Food and Fermentation Industries**,2004,30(10):26-31.(in Chinese)

[18] WU Xu,DONG Wenbing,ZHANG Jianhua. Application of steam quenching process in the production of concentrated apple juice[J]. **Food Science**,2008,33(3):88-90.(in Chinese)

[19] SUN Y,ZHONG L,CAO L,et al. Sonication inhibited browning but decreased polyphenols contents and antioxidant activity of fresh apple(malus pumila mill,cv. Red Fuji) juice[J]. **Journal of Food Science & Technology**,2015,52(12):1-7.

[20] 吴继红. 苹果汁加工中典型芳香成分的形态、变化及增香调控的研究[D]. 北京:中国农业大学,2004.