

乳酸菌发酵对梨汁的护色作用

卢嘉懿¹, 李沐生^{1,2}, 阮征^{1,2}

(1. 华南理工大学食品科学与工程学院, 广东广州 510640)

(2. 广东省天然产物绿色加工与产品安全重点实验室, 广东广州 510640)

摘要: 梨汁在加工过程中极易褐变, 乳酸菌发酵能有效保护梨汁的色泽。本研究测定梨汁发酵及储藏过程中色泽、多酚氧化酶活性、酚类物质、抗坏血酸含量等指标的变化, 并与未发酵梨汁和添加柠檬酸的调酸梨汁对比, 探索乳酸菌发酵对果蔬汁的护色机理。30天储藏期内, 未发酵梨汁褐变指数从0.073变化至0.310, 显著高于发酵梨汁(0.134); 乳酸菌发酵作用有效抑制了多酚氧化酶的活性, 使得发酵梨汁中的酚类物质的保存率(43%)显著高于未发酵梨汁(16%); 发酵梨汁中抗坏血酸稳定性更高, 保存率(85%)较未发酵梨汁高(50%), 减少了非酶褐变。乳酸菌通过在梨汁中发酵产酸, 抑制多酚氧化酶的活性, 保存酚类、抗坏血酸等物质, 从而保护梨汁色泽。

关键词: 乳酸菌发酵; 色泽; 褐变; 多酚氧化酶; 酚类; 抗坏血酸

文章编号: 1673-9078(2019)03-148-153

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.3.023

Color Protection of Pear Juice via *Lactic acid bacteria* Fermentation

LU Jia-yi¹, LI Bian-sheng^{1,2}, RUAN Zheng^{1,2}

(1. College of Food Science and Engineering South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

(2. Guangdong Province Key Laboratory for Green Processing of Natural Products and Product Safety, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Pear juice easily turns brown during processing, and lactic acid bacteria fermentation could effectively protect the color of pear juice. This study determined the changes in indices like color, polyphenol oxidase activity, contents of phenolics and ascorbic acid in pear juices during fermentation and storage, and compared with unfermented pear juice and citric acid-fortified pear juice to explore the mechanism underlying the color protection via *Lactic acid bacteria* fermentation for fruit and vegetable juices. During the 30-day storage, the browning index of unfermented pear juice changed from 0.073 to 0.310, which was significantly higher than that of fermented pear juice (0.134). The fermentation using *Lactic acid bacteria* effectively inhibited the activity of polyphenol oxidase, leading to a significantly higher retention rate (43%) for the phenolics in the fermented pear juice than that of the unfermented pear juice (16%). The stability of ascorbic acid in the fermented pear juice was higher with, the retention rate (85%) being higher than that of unfermented pear juice (50%), by which non-enzymatic browning was reduced. *Lactic acid bacteria* could inhibit the activity of polyphenol oxidase through producing organic acid via fermentation in pear juice, and preserve substances such as phenolics and ascorbic acid to protect effectively the color of pear juice.

Key words: *Lactic acid bacteria* fermentation; color; browning; polyphenol oxidase; phenolic compounds; ascorbic acid

色泽是影响食品和饮料的重要品质之一^[1], 这是消费者在货架上注意到的第一个食品性质, 并且它会影响消费者对该食品的选择^[2]。但在众多食品加工过程中, 食品色泽都被严重破坏^[1]。其中褐变是果蔬汁加工过程中极易发生的现象, 褐变包括酶促褐变和非

收稿日期: 2018-07-16

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0400400); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(x2skD2170940)

作者简介: 卢嘉懿(1994-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品科学与工程, 食品加工与保藏等

通讯作者: 李沐生(1962-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品科学与工程, 食品加工与保藏等

酶褐变, 果汁中的非酶褐变主要有羰氨反应、抗坏血酸褐变。传统的果蔬汁护色方法中, 常通过控制pH、加热或添加酶抑制剂(SO₂或亚硫酸盐)等方法来控制褐变, 但这些工艺又会给果蔬汁带来一定的负面影响(例如硫的残余、对风味或营养品质的影响等)。

乳酸菌发酵果蔬汁是近年来最受关注的益生菌饮品之一, 为消费者带来了营养和风味上的新体验^[3]。而乳酸菌发酵对保护果蔬汁色泽、预防褐变有很好的效果^[4], 乳酸菌发酵的混合果蔬汁与对照组相比色差变化和褐变程度更小^[5], 乳酸菌发酵能保护腰果梨中的类胡萝卜素从而强化腰果梨中的黄色色调^[6], 桑葚

汁经乳酸菌发酵后由于单体花青素的增加使得果汁亮度变暗颜色变红^[7]。果蔬汁中酚类物质、多酚氧化酶(PPO)活性、pH值等都会影响色泽品质,而乳酸菌发酵作用对以上因素都会产生影响,乳酸菌发酵对果蔬汁中色泽影响机理仍需深入研究。

梨汁是典型的在加工过程中易产生褐变的果汁,并且在前期试验中,乳酸菌能在梨汁中进行良好的增值代谢,有较好的营养品质和感官品质。本文选取梨汁和常用于果蔬汁发酵的植物乳杆菌^[8],通过测定其在发酵和储藏过程中色泽、PPO活性、酚类物质、抗坏血酸含量等指标的变化,并与不发酵梨汁和调酸梨汁比分析,探索研究乳酸菌发酵对果蔬汁的护色机理,以更好了解乳酸菌发酵果蔬汁在加工和储藏过程中的色泽品质及其稳定性。为生产高品质果蔬汁、研究果蔬制品的生物保鲜工艺等提供一定理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

市售蜜梨,选择成熟度合适且无明显缺陷的果品;直投式植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*)菌粉LP-115 400B,杜邦丹尼斯克公司提供;没食子酸、原儿茶酸、儿茶素、绿原酸、咖啡酸、表儿茶素(纯度>98%),sigma公司。

1.2 仪器与设备

LDZX-50KBS立式压力蒸汽灭菌锅,上海申安医疗器械厂;SPX-150D-Z生化(恒温)培养箱,上海博讯实验有限公司医疗设备厂;752N紫外可见分光光度计,上海精密科学仪器有限公司;HR1895榨汁机,飞利浦(中国)投资有限公司;CR-400色差仪,日本美能达公司;1260 Infinity高效液相色谱仪,安捷伦公司。

1.3 方法

1.3.1 样品处理

梨洗净,用榨汁机榨汁,过100目滤布;每150 mL分装于250 mL洁净锥形瓶中,硅胶塞密封,将果汁迅速加热至80℃,水浴保温10 min后用迅速冷却至40℃,接种植物乳杆菌,每100 mL果汁接种0.01 g菌粉,初始活菌数可达7.0 Log CFU/mL,37℃恒温箱静置发酵24 h后活菌数达到最高并稳定,pH值由初始的4.62达到3.60并稳定,结束发酵,得到发酵梨汁(PF);取鲜榨梨汁,使用1.0 mol/L柠檬酸调pH至3.60并经上述巴氏杀菌得到调酸梨汁(APJ);取鲜榨

梨汁,经过上述巴氏杀菌得未发酵梨汁(PJ)。

将三者于4℃下储藏,4℃下发酵梨汁在30 d内无杂菌污染,而未发酵梨汁在4℃下储藏至14 d左右果汁中检测出酵母菌,储藏至第30 d已有较浓郁的酒味。测定PF发酵期(0~24 h)以及储藏期(30 d内)各项指标并与PJ和APJ在储藏期的各项数据进行分析对比。

1.3.2 指标测定

褐变指数测定参照文献^[9];色差值用L*、a*、b*、ΔE表示,平行测定3次,ΔE计算公式为:

$$\Delta E = \sqrt{(L_n - L_0)^2 + (a_n - a_0)^2 + (b_n - b_0)^2}$$

式中:L₀、a₀、b₀为梨汁初始色差值,L_n、a_n、b_n为测试样的色差值。

抗坏血酸含量参照GB 5009.86采用2,6-二氯酚法测定;多酚氧化酶(PPO)活性测定参考文献^[10]。

1.3.3 HPLC测定酚类物质

样品前处理:准确量取50 mL待测样品,加入冰的80%丙酮(1:2, V/V),离心(10000 r/min, 10 min)收集上清液。重复以上操作3次,合并上清液。45℃下旋蒸至无水状态,用水溶解残余物,定容至50 mL。

色谱柱:Waters Symmetry C18(4.6 mm×250 mm, 5 μm);流动相:A为2%甲酸,B为乙腈;柱温:40℃;梯度洗脱程序:溶剂A在0~30 min内为95%,在30~45 min内由75%降至60%,在45~50 min维持60%,在50~51 min内由60%上升至95%,维持10 min后返回初始状态。流速:0.8 mL/min,检测波长:280 nm、320 nm、360 nm,进样量10 μL。以没食子酸、原儿茶酸、儿茶素、绿原酸、咖啡酸、表儿茶素为标准品,绘制标准曲线,计算样品中各种多酚类化合物含量。

2 结果与分析

2.1 乳酸菌发酵对梨汁色差影响

三种不同条件的梨汁在发酵和储藏期间色泽品质差异较大。表1中L*体现梨汁亮度,在0~100之间变化,0表示黑色,100表示白色。在PF的发酵期间(24 h内),由于植物乳杆菌在梨汁中的迅速增殖导致梨汁浊度上升而使得L*呈现轻微下降趋势^[6],但在储藏期间PF的L*则维持相对稳定,而PJ在储藏期间L*快速下降,APJ次之。

a*表示红绿度,100为红色,-80为绿色。PF的a*在发酵和储藏期间基本持平,而PJ和APJ的a*在储藏期呈上升趋势;b*表示黄蓝度,100为黄色,-80为蓝色,三种梨汁在储藏期间b*均随时间增加而上

升, 其中 PJ 的 b* 上升最快最多, APJ 次之。L* 的降低和 a*、b* 的上升表明梨汁的颜色在向黑色、黄色和红色靠近, 这与梨汁的褐变有关。

ΔE 为总色差值, ΔE 越大, 说明梨汁色泽变化越

大^[11]。当 ΔE≈2 时, 即表明产生了肉眼可察的色差变化^[12], PJ 在储藏第 6 h 开始 ΔE 达到 2.37, 在之后的储藏期 ΔE 一直上升, 第 30 d 时达到 9.60, 高于 PF (3.99) 和 APJ (5.22)。

表 1 乳酸菌发酵对梨汁色差和褐变指数的影响

Table 1 Effect of lactic acid fermentation on color and browning index in pear juice

样品	指标	0 h	3 h	6 h	12 h	24 h
PJ	L*	49.97±1.06 ^a	48.71±1.01 ^a	47.64±1.18 ^a	46.30±1.25 ^b	45.65±1.01 ^b
	a*	0.20±0.02 ^c	0.27±0.03 ^c	0.47±0.10 ^b	0.51±0.12 ^a	0.50±0.20 ^{ab}
	b*	-0.81±0.13 ^c	-0.06±0.02 ^b	-0.43±0.01 ^c	0.54±0.02 ^b	0.79±0.10 ^b
	ΔE	-	1.47±0.49 ^f	2.37±0.46 ^e	3.92±0.46 ^c	4.62±0.39 ^c
Browning index		0.073±0.01 ^c	0.098±0.01 ^c	0.150±0.02 ^b	0.186±0.01 ^b	0.199±0.02 ^b
PF	L*	49.97±1.11 ^a	49.97±1.07 ^a	49.97±1.18 ^a	48.34±1.05 ^a	48.06±1.31 ^a
	a*	0.20±0.02 ^c	0.20±0.01 ^c	0.10±0.01 ^c	-0.19±0.01 ^d	-0.19±0.02 ^d
	b*	-0.81±0.02 ^c	-0.51±0.01 ^c	-0.28±0.01 ^c	0.03±0.01 ^b	0.79±0.21 ^b
	ΔE	-	0.30±0.37 ^g	0.85±0.33 ^g	2.32±0.43 ^e	2.52±0.38 ^d
Browning index		0.073±0.01 ^c	0.076±0.01 ^c	0.078±0.02 ^c	0.081±0.01 ^c	0.086±0.01 ^c
APJ	L*	49.97±0.96 ^a	49.33±1.20 ^a	49.13±1.35 ^a	48.89±0.86 ^a	48.10±0.93 ^a
	a*	0.20±0.01 ^c	0.20±0.01 ^c	0.13±0.02 ^c	0.21±0.02 ^c	0.38±0.05 ^{bc}
	b*	-0.81±0.02 ^c	-0.51±0.01 ^c	-0.8±0.02 ^c	0.40±0.10 ^b	0.54±0.13 ^b
	ΔE	-	0.71±0.38 ^g	0.84±0.03 ^g	1.62±0.46 ^f	2.31±0.55 ^e
Browning index		0.073±0.01 ^c	0.075±0.01 ^c	0.080±0.01 ^c	0.082±0.01 ^c	0.087±0.01 ^c
样品	指标	3 d	7 d	14 d	30 d	
PJ	L*	44.30±1.25 ^b	43.45±1.22 ^c	42.27±1.23 ^c	42.19±1.12 ^c	
	a*	0.51±0.05 ^{ab}	0.50±0.03 ^{ab}	0.76±0.06 ^a	0.91±0.07 ^a	
	b*	1.26±0.23 ^b	2.09±0.35 ^b	3.64±0.60 ^a	4.77±0.83 ^a	
	ΔE	6.04±0.37 ^b	7.14±0.31 ^b	8.91±0.35 ^a	9.60±0.42 ^a	
Browning index		0.231±0.04 ^a	0.282±0.03 ^a	0.297±0.02 ^a	0.310±0.02 ^a	
PF	L*	47.98±1.21 ^a	47.86±1.16 ^a	47.36±1.18 ^a	47.11±1.06 ^a	
	a*	-0.27±0.02 ^d	-0.56±0.01 ^e	-0.56±0.01 ^e	-0.64±0.00 ^e	
	b*	0.97±0.23 ^b	1.05±0.15 ^b	1.05±0.25 ^b	1.57±0.33 ^b	
	ΔE	2.63±0.42 ^d	2.86±0.32 ^d	3.29±0.43 ^d	3.99±0.31 ^c	
Browning index		0.104±0.01 ^b	0.115±0.02 ^b	0.122±0.02 ^b	0.134±0.04 ^b	
APJ	L*	47.86±1.24 ^a	47.23±0.96 ^a	46.67±1.08 ^b	46.12±0.95 ^b	
	a*	0.41±0.03 ^b	0.47±0.04 ^{ab}	0.76±0.19 ^a	0.91±0.13 ^a	
	b*	0.79±0.25 ^b	1.28±0.31 ^b	2.09±0.35 ^b	2.64±0.42 ^b	
	ΔE	2.66±0.71 ^d	3.46±0.89 ^d	4.43±1.00 ^c	5.22±1.23 ^b	
Browning index		0.110±0.02 ^b	0.121±0.02 ^b	0.137±0.03 ^b	0.149±0.03 ^b	

注: PF 为发酵梨汁, PJ 为未发酵梨汁, APJ 为调酸梨汁。a、b、c、d、e 表示不同样品同一指标之间相比具有显著性差异 ($p < 0.05$)。

梨汁的褐变指数的变化与 L* 变化规律相似, 随着储藏时间的增加, 褐变指数上升, 且 PJ 褐变指数从 0.073 变化至 0.310, 高于 PF (0.134)。

无论是褐变指数还是色差值的变化速率及程度, 都表现为 PJ>APJ>PF, 这表明乳酸菌发酵能较好预防梨汁褐变, 其色泽能够得到较好的维持, 且这种色泽

维持的效果优于单纯添加柠檬酸的护色效果。针对消费者的调查研究表明, 当果汁色泽越暗, 消费者对其接受度越低^[13]。乳酸菌发酵对梨汁的护色作用有利于提升梨汁的品质。

2.2 乳酸菌发酵对梨汁 PPO 活性影响

PPO 的活性高度取决于 pH 值,其最佳酶活在 pH 5.0~7.5 之间^[14]。梨汁接种植物乳杆菌后,梨汁 pH 值由初始的 4.62 达到 3.60 并维持稳定。随着 pH 的降低,酸性环境会使 PPO 上的铜离子解离下来^[15],使 PPO 逐渐失活,未发酵梨汁 (PJ) 和调酸梨汁 (APJ) 中的 PPO 活性在储藏前期有些许浮动上升,推测是榨汁过程释放了处于类囊体中 PPO,使其得以与细胞液中的酚类物质接触而使得酶活稍有上升,这也与色差值和褐变指数在相应期间的变化相呼应。

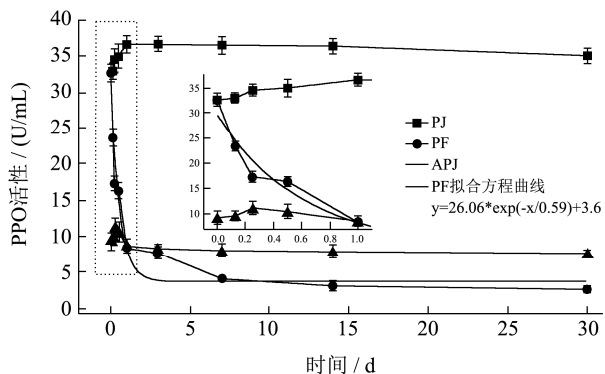


图1 乳酸菌发酵对梨汁中PPO活性的影响

Fig.1 Effect of lacticacid fermentation on PPO activity in pear juice

当发酵梨汁于 24 h 停止发酵进入储藏期后, PPO 活性下降速度开始放缓并趋于稳定, PJ 和 APJ 中的 PPO 活性在此期间亦均在相对稳定中有缓慢降低的趋势。经拟合, PF 中 PPO 活性在发酵和储藏期间的随着时间的变化规律可以用图 1 中的方程表示: $y=26.06 \cdot \exp(-x/0.59)+3.6$ 。

与 PJ 中较高的 PPO 活性相比, PF 和 APJ 中的 PPO 活性明显受到抑制,体现了低 pH 环境对 PPO 活性的抑制。柠檬酸是常用的抑制酶促褐变的添加剂,虽然添加柠檬酸化后的 APJ 的 pH 值和发酵结束后的 PF 相同 (3.60),但 PF 中 PPO 活性更低。表明 PF 中因乳酸菌发酵产生的更为复杂的有机酸体系 (包括乳酸、柠檬酸、苹果酸等可抑制酶活的酸类物质^[16]) 比单纯添加柠檬酸具有更好的抑制酶活的效果,另外,乳酸菌产生的一些其他低分子质量的物质,如醇、酮、CO₂、过氧化氢、双乙酰等代谢产物,具有较强的络合金属离子能力和较高的抗氧化性,也能有效地抑制酶促褐变^[17]。

2.3 乳酸菌发酵对梨汁抗坏血酸影响

果蔬制品加工储藏中常见的非酶促褐变与抗坏血酸密切相关^[18]。一方面,抗坏血酸自动氧化后成为含双羰基化合物,能进一步变化聚合形成有色物质,氨基酸、蛋白质等含氮物能与变化了的抗坏血酸发生化

学反应而加速褐变^[19]。另一方面,抗坏血酸作为还原剂既可除去果蔬汁中的氧气;同时它还可作为螯合剂钝化 PPO 中铜离子从而降低酶活,所有这些都阻止了褐色物质的进一步形成^[20]。因此维持果蔬汁中抗坏血酸含量对控制果蔬汁褐变是一种有效的手段。

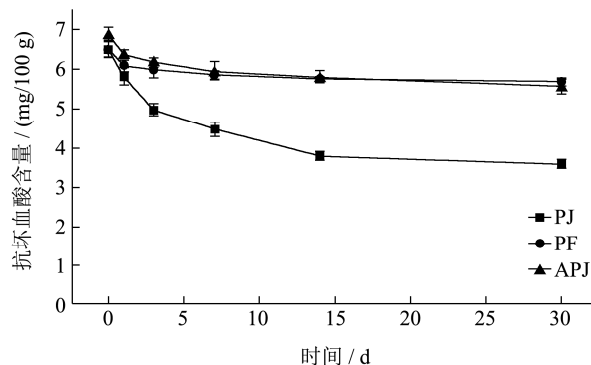


图2 乳酸菌发酵对梨汁中抗坏血酸含量的影响

Fig.2 Effect of lacticacid fermentation on ascorbic acid in pear juice

抗坏血酸的自氧化和抗坏血酸氧化酶的作用等因素导致果蔬汁中抗坏血酸含量减少^[21]。而研究发现,乳酸发酵产酸能提高抗坏血酸的稳定性,发酵液酸性越强,抗坏血酸损失速度越慢^[22]。30 d 储藏期内, PF 抗坏血酸保存率 (85.71%) 显著高于 PJ (50%)。未发酵梨汁中抗坏血酸含量在储藏期迅速减少而后趋于稳定,而 PF 和 APJ 中的抗坏血酸由于低 pH 的环境则得到更好的保存。此外,有些乳酸菌发酵甚至可使果蔬汁中抗坏血酸含量增加^[21],例如干酪乳杆菌发酵的腰果梨汁在发酵 12 h 时抗坏血酸含量增加^[23]。

2.4 乳酸菌发酵对梨汁酚类物质影响

酚类物质在果汁体系中的平衡影响着色泽的表达和稳定^[14],榨汁过程释放了类囊体中的 PPO,使其得以与细胞液中的酚类物质接触,多酚 (主要是咖啡酸、儿茶素、绿原酸等) 在 PPO 作用下转化为黑色的醌类物质,从而影响果蔬汁色泽变化。

表 2 中梨汁内不同的酚类物质降解损失程度有所差异,在没食子酸、原儿茶酸、儿茶素、绿原酸、咖啡酸、表儿茶素中,鲜榨梨汁中含量最高的是绿原酸 (122.18 mg/L)、没食子酸 (14.17 mg/L) 和表儿茶素 (11.98 mg/L),而各梨汁在储藏过程中降解损失最快的是绿原酸,其他酚类物质则在储藏第 14 d 后开始快速下降。其中 PF 在发酵结束后至储藏第 7 d,绿原酸减少 56%,其他酚类物质降幅在 20% 以内。可见在梨汁中,绿原酸是含量最高且最不稳定的酚类物质。

表2 乳酸菌发酵对梨汁酚类物质的影响

Table 2 Effect of lactic acid fermentation on polyphenols in pear juice (mg/L)

时间	没食子酸	原儿茶酸	儿茶素	绿原酸	咖啡酸	表儿茶素	总含量
PJ (0 h)	14.17±1.83 ^a	2.15±0.83 ^a	2.76±0.65 ^a	122.18±4.83 ^a	0.40±0.03 ^a	11.98±0.08 ^a	153.64±5.24 ^a
PF							
1 d	11.13±1.28 ^a	2.15±0.23 ^a	2.64±0.21 ^a	93.35±3.10 ^{ab}	0.39±0.01 ^a	11.27±0.83 ^a	120.93±3.62 ^b
3 d	11.01±1.94 ^a	2.07±0.28 ^a	2.57±0.12 ^{ab}	90.49±2.04 ^{ab}	0.33±0.01 ^a	11.03±0.76 ^a	117.50±2.44 ^b
7 d	9.89±1.55 ^{ab}	1.96±0.76 ^{ab}	2.28±0.19 ^b	80.53±2.01 ^b	0.30±0.02 ^a	11.03±0.59 ^a	105.99±2.54 ^c
14 d	9.19±0.19 ^{ab}	1.74±0.22 ^b	2.17±0.83 ^b	78.29±2.30 ^b	0.28±0.01 ^b	8.43±0.87 ^b	100.01±3.54 ^c
30 d	4.86±0.83 ^c	0.70±0.83 ^c	1.74±0.52 ^c	73.53±1.85 ^b	0.25±0.01 ^b	6.21±0.02 ^b	87.29±2.01 ^d
PJ							
1 d	6.20±0.83 ^b	1.73±0.63 ^b	1.97±0.43 ^{bc}	46.85±2.45 ^c	0.36±0.13 ^a	9.70±0.89 ^b	66.81±2.67 ^e
3 d	4.38±0.59 ^c	0.63±0.23 ^c	1.57±0.10 ^c	31.19±2.19 ^c	0.29±0.03 ^a	8.19±0.04 ^b	46.25±1.89 ^f
7 d	2.99±0.93 ^{cd}	0.27±0.05 ^d	0.83±0.12 ^d	22.88±1.57 ^d	0.20±0.01 ^c	7.80±0.03 ^b	34.97±1.02 ^f
14 d	1.99±0.59 ^d	0.00 ^e	0.23±0.10 ^e	20.88±0.63 ^d	0.18±0.01 ^c	6.97±0.02 ^b	30.25±1.28 ^f
30 d	0.99±0.20 ^{de}	0.00 ^e	0.08 ^e	18.88±0.59 ^d	0.00	5.21±0.02 ^b	25.16±1.09 ^g
APJ							
1 d	8.07±1.55 ^b	1.72±0.62 ^b	2.22±0.89 ^b	97.30±2.75 ^{ab}	0.38±0.03 ^a	9.57±2.83 ^b	119.26±3.78 ^b
3 d	8.29±1.83 ^b	1.75±0.46 ^b	2.04±0.81 ^b	85.12±2.04 ^{ab}	0.30±0.01 ^a	8.85±2.78 ^b	106.35±3.27 ^c
7 d	8.20±0.81 ^b	1.55±0.21 ^b	1.94±0.46 ^{bc}	73.12±1.99 ^b	0.26±0.02 ^b	7.85±1.57 ^b	92.92±3.83 ^c
14 d	4.38±0.43 ^c	0.63±0.01 ^c	1.57±0.28 ^c	67.19±0.93 ^b	0.19±0.01 ^c	6.89±0.02 ^b	80.85±2.34 ^d
30 d	2.99±0.29 ^{cd}	0.27±0.01 ^d	0.83±0.03 ^d	62.88±0.83 ^b	0.02±0.00 ^d	6.11±0.01 ^b	73.10±1.56 ^e

注: PF 为发酵梨汁, PJ 为未发酵梨汁, APJ 为调酸梨汁。a、b、c、d、e 表示不同样品同一酚类物质含量之间相比具有显著性差异 ($p < 0.05$)。

发酵梨汁酚类物质总含量从 153.64 mg/L 降低至 87.29 mg/L, 减少了 43%, 酚类物质自身在果汁加工过程中易被氧化分解、乳酸菌的应激作用而对酚类物质进行的生物代谢^[24]等原因都会导致发酵结束后梨汁中酚类物质减少^[5]。

但与未发酵梨汁相比, 发酵梨汁酚类物质在储藏期含量和稳定性都表现更优。未发酵梨汁在储藏期间酚类物质一直显著迅速降低, 在第 30 d 酚类含量从初始的 153.64 mg/L 降低至 25.16 mg/L, 降低了 84%。而发酵梨汁在储藏期酚类物质含量下降趋势相对较缓, 在第 30 d 降低至 87.29 mg/L, 降低了 43%, 高于未发酵梨汁。Filannino^[25]等研究发现石榴汁发酵结束后 15 d 内总酚含量基本持平, 但 30 d 后总酚含量显著下降, 而对照组中总酚含量显著低于发酵组且下降速率显著高于发酵组, 结果与本实验相符。可见乳酸菌发酵作用有利于梨汁酚类物质含量和稳定性的维持。

调酸梨汁中的酚类物质在储藏期间含量和稳定性较未发酵梨汁更优, 反映了酸性环境减缓酚类物质氧化的作用, 但与发酵梨汁相比, 虽然二者 pH 均为 3.60, 但是调酸梨汁中酚类物质含量和稳定却不及发酵梨汁: 首先, 乳酸菌代谢产生的有机酸体系更为稳定,

更有利于防止酚类物质的氧化; 再者, 乳酸菌代谢过程中能产生酚酸酯酶等酶类, 这些酶可释放梨汁中的酚类物质, 而使得梨汁中酚类含量得到补偿; 最后, 前文测定的发酵梨汁中更低的 PPO 活性也有利于保护酚类物质不被氧化。

3 结论

乳酸菌发酵作用可有效降低梨汁褐变程度。30 d 储藏期内, 未发酵梨汁褐变指数从 0.073 变化至 0.310, 显著高于发酵梨汁 (0.134)。乳酸菌在梨汁中增殖代谢、发酵产酸, 从而抑制 PPO 活性物质, 使得 PPO 活性在发酵期间快速下降, 从初始的 33 U/mL 降低至 4 U/mL, 使得发酵梨汁中的酚类物质的保存率 (43%) 显著高于未发酵梨汁 (16%), 尤其是绿原酸等梨汁中多酚氧化酶的主要底物。发酵梨汁中抗坏血酸稳定性更高, 保存率 (85%) 较未发酵梨汁高 (50%), 减少了非酶褐变。果蔬汁中色泽变化是影响消费者选择的重要因素, 通过乳酸菌发酵, 不仅在营养价值和风味上给消费者新的体验, 还能在不使用其他护色方法下仅通过微生物发酵作用来维持果蔬汁的原有新鲜色泽。除了能为消费者提供高品质的产品外, 这也是一

种十分具有前景的护色技术手段。

参考文献

- [1] Vegara S, Martí N, Mena P, et al. Effect of pasteurization process and storage on color and shelf-life of pomegranate juices [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2013, 54(2): 592-596
- [2] Nachay K. A new color palette emerges [J]. *Food Technology*, 2009, 63(4): 50-62
- [3] Kumar B V, Vijayendra S V N, Reddy O V S. Trends in dairy and non-dairy probiotic products-a review [J]. *Journal of Food Science and Technology-mysore*, 2015, 52(10): 6112-6124
- [4] Walkling-Ribeiro M, Noci F, Cronin D A, et al. Shelf life and sensory attributes of a fruit smoothie-type beverage processed with moderate heat and pulsed electric fields [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2010, 43(7): 1067-1073
- [5] Di Cagno R, Minervini G, Rizzello C G, et al. Effect of lactic acid fermentation on antioxidant, texture, color and sensory properties of red and green smoothies [J]. *Food Microbiology*, 2011, 28(5): 1062-1071
- [6] Pereira A L F, Maciel T C, Rodrigues S. Probiotic beverage from cashew apple juice fermented with *Lactobacillus Casei* [J]. *Food Research International*, 2011, 44(5): 1276-1283
- [7] Kwaw E, Ma Y, Tchabo W, et al. Effect of lactobacillus strains on phenolic profile, color attributes and antioxidant activities of lactic-acid-fermented mulberry juice [J]. *Food Chemistry*, 2018, 250: 148-154
- [8] Furtado M E M, Ramos A M, Lago Vanzela E S, et al. Products of vegetable origin: A new alternative for the consumption of probiotic bacteria [J]. *Food Research International*, 2013, 51(2): 764-770
- [9] Zerdin K, Rooney M L, Vermuë J. The vitamin C content of orange juice packed in an oxygen scavenger material [J]. *Food Chemistry*, 2003, 82(3): 387-395
- [10] Cao Xia-min, Cai Chun-fang, Wang Yong-ling, et al. The inactivation kinetics of polyphenol oxidase and peroxidase in bayberry juice during thermal and ultrasound treatments [J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2018, 45: 169-178
- [11] Cserhalmi Z, SassKiss A, TothMarkus M, et al. Study of pulsed electric field treated citrus juices [J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2006, 7(1): 49-54
- [12] Lee H S, Coates G A. Effect of thermal pasteurization on Valencia orange juice color and pigments [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2003, 36(1): 153-156
- [13] Okayasu H, Naito S. Sensory characteristics of apple juice evaluated by consumer and trained panels [J]. *Journal of Food Science*, 2001, 66 (7): 1025-1029
- [14] Février H, Le Quéré J, Le Bail G, et al. Polyphenol profile, PPO activity and pH variation in relation to colour changes in a series of red-fleshed apple juices [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2017, 85: 353-362
- [15] Zemel G P, Sims C A, Marshall M R, et al. Low pH inactivation of polyphenol oxidase in apple juice [J]. *Journal of Food Science*, 2010, 55(2), 562-563
- [16] Mcevely A J, Iyengar R, Otwell W S. Inhibition of enzymatic browning in foods and beverages [J]. *C R C Critical Reviews in Food Technology*, 1992, 32(3): 253-273
- [17] Rodgers S. Preserving non-fermented refrigerated foods with microbial cultures-a review [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2001, 12(8): 276-284
- [18] Paravisini L, Peterson D G. Role of Reactive Carbonyl Species in non-enzymatic browning of apple juice during storage [J]. *Food Chemistry*, 2018, 245: 1010-1017
- [19] YU Ai-nong, Zhou Yang-yang, Yang Yi-ni. Kinetics of browning and correlations between browning degree and pyrazine compounds in L-ascorbic acid/acidic amino acid model systems [J]. *Food Chemistry*, 2017, 221: 1678-1684
- [20] Guerrero-Beltrán J A, Swanson B G, Barbosa-Cánovas G V. Inhibition of polyphenol oxidase in mango puree with 4-hexylresorcinol, cysteine and ascorbic acid [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2005, 38(6): 625-630
- [21] Zheng Xin, Yu Yuan-shan, Xiao Geng-sheng, et al. Comparing product stability of probiotic beverages using litchi juice treated by high hydrostatic pressure and heat as substrates [J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2014, 23(3): 61-67
- [22] Zulueta A, Esteve M J, Frasquet I, et al. Vitamin C, vitamin A, phenolic compounds and total antioxidant capacity of new fruit juice and skim milk mixture beverages marketed in Spain [J]. *Food Chemistry*, 2007, 103(4): 1365-1374
- [23] Kaprasob R, Kerdchoechuen O, Laohakunjit N, et al. Fermentation-based biotransformation of bioactive phenolics and volatile compounds from cashew apple juice by select *Lactic acid bacteria* [J]. *Process Biochemistry*, 2017, 59: 141-149

(下转第 45 页)