

不同发酵菌及酶处理的蜜桃酵素体外 抗氧化活性比较

荆金金, 林冰洁, 许雯静, 姜新平, 张丰香

(潍坊医学院公共卫生与管理学院, 山东潍坊 261053)

摘要:以蜜桃为原料,利用不同菌发酵和不同酶预处理蜜桃制备蜜桃酵素,探究不同菌发酵和酶处理对蜜桃酵素发酵和活性的影响。不同菌发酵的蜜桃酵素的pH值和可溶性固形物含量在发酵初期下降较快,发酵20 h后期趋缓;而清除 $O_2^{\cdot-}$ 和DPPH·的能力在发酵初期提升较快,发酵50 h后趋缓。发酵60 h后,各组的可溶性固形物含量由5.00 °Brix降至约3.60 °Brix;酵母菌发酵蜜桃酵素清除 $O_2^{\cdot-}$ 和DPPH·的能力都较高,分别为43.70%和38.25%。蜜桃酵素感官评定得分高低对应发酵菌依次为:酵母菌、双歧杆菌-7菌和10菌、乳链球菌-5菌、植物乳杆菌。两种果胶酶和纤维素酶1.5 L能显著增加蜜桃浆液的可溶性固形物含量;酶解预处理能够提高蜜桃浆液本身的 $O_2^{\cdot-}$ 和DPPH·的能力。果胶酶处理可以得到澄清的蜜桃酵素液,且能提高蜜桃酵素的风味,其中经果胶酶SPL处理的蜜桃酵素的香气和滋味最优。

关键词: 酵素; 发酵菌; 酶处理; 抗氧化活性

文章编号: 1673-9078(2020)04-260-267

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.4.034

Comparison of *in vitro* Antioxidant Activity of Peach Jiaosu treated with Different Bacteria and Enzymes

JING Jin-jin, LIN Bing-jie, XU Wen-jing, JIANG Xin-ping, ZHANG Feng-xiang

(College of Public Health and Management of Weifang Medical University, Weifang 261053, China)

Abstract: Peach jiaosu was prepared by fermentation with different bacteria and pretreated with different enzymes, and the effects of fermentation with different bacteria and enzyme treatments on the fermentation and antioxidant activity of peach jiaosu were investigated. The pH value and soluble solids content of peach jiaosu decreased rapidly in the initial stage of fermentation and slowed down in the later stage. The ability of scavenging $O_2^{\cdot-}$ and DPPH· increased rapidly in the initial stage of fermentation, but slowed down after 50 h of fermentation. After 60 hours of fermentation, the soluble solids content of each group decreased from 5.00 °Brix to about 3.60 °Brix. Peach jiaosu produced by yeast had higher ability to scavenge $O_2^{\cdot-}$ and DPPH·, 43.70% and 38.25% respectively. According to the sensory evaluation results from high to low score, the order of fermentation bacteria were yeast, bifidobacterium-7 and 10, streptococcus lactis-5 and lactobacillus plantarum. Both pectinase and cellulase 1.5 L could significantly increase the soluble solids content in peach juice. Enzymatic pretreatment could improve the ability of scavenging $O_2^{\cdot-}$ and DPPH· of peach serum. The clarified peach fermentation liquid could be obtained by pectinase treatment, which could also improve the flavor of peach jiaosu. The peach jiaosu treated by pectinase SPL had the best aroma and taste.

Key words: jiaosu; fermentation bacteria; enzyme treatment; antioxidant activity

引文格式:

荆金金,林冰洁,许雯静,等.不同发酵菌及酶处理对蜜桃酵素发酵和抗氧化活性的影响[J].现代食品科技,2020,36(4):260-267

JING Jin-jin, LIN Bing-jie, XU Wen-jing, et al. Effects of different bacteria and enzymes treatment on the fermentation and antioxidant activity of peach jiaosu [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(4): 260-267

收稿日期: 2019-10-26

基金项目: 潍坊医学院科技扶贫专项 (FP1801003)

作者简介: 荆金金 (1993-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 功能性食品的开发及利用

通讯作者: 张丰香 (1982-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 食源性蛋白及功能性多肽

蜜桃是蔷薇科桃属植物,是全球性的大宗水果,中国是世界蜜桃的第一生产大国,面积及产量均居世界首位,其营养价值高,性味平和,含有糖分、蛋白质、膳食纤维、钙、磷、铁等多种矿物质和维生素,有补益气血、养阴生津、润肠通便的作用,能够有效的辅助调节血液的平衡^[1]。虽然蜜桃营养丰富,深得大家喜爱,但由于其成熟期短,成熟后果皮柔软,容易腐烂,不耐储藏和运输,生命周期短,成为限制蜜桃产业发展的瓶颈。因此,蜜桃产品的开发及蜜桃的保鲜技术研究成为了蜜桃产业发展的关键所在。

酵素原是日本对于“酶”的称呼,后演变为一类可食用的发酵食品,是指以动物、植物或食用菌为原料,经微生物发酵制备的含有特定生物活性的发酵制品^[2]。酵素具有很高的研究价值和潜在商业价值,不仅含有酶,还包括产酶微生物、相关调控因子及代谢产物等,其富含多种维生素、矿物质、低聚糖、多酚等。果蔬在多种微生物的作用下,不仅保存了果蔬原有的营养成分,还能形成一些新的活性成分,增加其营养和保健价值,这些丰富的营养物质使得酵素具有很好的抗氧化、抑菌消炎、促进新陈代谢、提高免疫力、降血糖、降血脂、解酒护肝、调节肠道菌群等功能^[3-5]。因此,对蜜桃进行发酵,制备蜜桃酵素,开发蜜桃深加工产品,是解决蜜桃不宜存储、提高蜜桃产品附加值的重要途径之一。但目前该方面的理论研究较少,本文拟对蜜桃酵素的发酵过程进行研究,重点探讨不同的成品发酵剂以及酶预处理对发酵过程、蜜桃酵素感观以及酵素抗氧化活性的影响,以期对蜜桃的深度开发利用提供一定的理论基础和技术依据。

1 材料与方法

1.1 材料及仪器

1.1.1 原料及试剂

新鲜蜜桃,市售安丘辉渠蜜桃;高活性酵母干粉菌,安琪酵母股份有限公司;植物乳杆菌(乳酸菌-纳豆)、乳链球菌-5菌(含有保加利亚乳杆菌、嗜热链球菌、嗜酸乳杆菌、植物乳杆菌、干酪乳杆菌)、双歧杆菌-7菌(保加利亚乳杆菌、嗜热链球菌、乳双歧杆菌、植物乳杆菌、嗜酸乳杆菌、干酪乳杆菌、鼠李糖乳杆菌)、双歧杆菌-10菌(保加利亚乳杆菌、乳酸乳球菌乳脂亚种、乳双歧杆菌、乳酸乳球菌乳酸亚种、肠膜明串珠菌肠膜亚种、嗜热链球菌、乳酸乳球菌双乙酰亚种、嗜酸乳杆菌、干酪乳杆菌、鼠李糖乳杆菌),北京川秀科技有限公司生产;纤维素酶 1.5 L、果胶酶 SP-L、纤维素酶 ctec2、果胶酶 5XL,诺维信公司生产;

1,1-二苯基-2-苦肼基(DPPH),Sigma公司;其他试剂均为国产分析纯试剂。

1.1.2 主要仪器设备

3-16KL 台式冷冻离心机,德国 Sigma 公司;HH-8 型恒温振荡水浴锅,北京华人新创科技有限公司;FE28 台式酸度计,梅特勒-托利多集团;101-1BS 电热恒温鼓风干燥箱,上海跃进医疗器械有限公司;Thermo1510 酶标仪,美国赛默飞世尔科技公司;2W 阿贝折光仪,上海圣科仪器设备有限公司;DS-1 高速组织捣碎机,上海标本模型厂;双排气阀玻璃发酵罐,青岛麦欧力家居用品有限公司。

1.2 实验工艺

1.2.1 蜜桃发酵工艺

蜜桃清洗干净,切成大约 3 mm 左右的薄片,沸水热烫 50 s 左右,用组织捣碎机捣碎成颗粒均匀的桃浆,在已经灭菌好的发酵罐中,按物料:水=1:1 的比例将桃浆与水混合,酶解或不酶解,加入发酵菌进行发酵,发酵结束后,将发酵液置于台式冷冻离心机,室温,4000 r/min 下离心 10 min,弃残渣,取上清液测定其 pH、可溶性固形物含量、O₂⁻和 DPPH· 的清除能力。

1.2.2 不同发酵菌对蜜桃的发酵

在蜜桃浆中分别加入 0.5%高活性酵母干粉菌、植物乳杆菌、乳链球菌-5 菌、双歧杆菌-7 菌、双歧杆菌-10 菌,放入发酵箱,温度设定为发酵剂推荐温度 38±3 °C 之间,发酵 0 h、10 h、24 h、48 h、72 h,取发酵液离心后,取上清液测量各项指标。

1.2.3 采用不同酶对蜜桃进行预处理

酵母菌发酵前采用不同酶预处理蜜桃,研究预处理对蜜桃酵素发酵的影响。500 mL 蜜桃浆中,分别加入纤维素酶 1.5 L、果胶酶 SP-L、纤维素酶 ctec2、果胶酶 5XL 1.20 mL,50 °C 下酶解 1 h,90 °C 灭酶 2 min,冷却至 40 °C 加入 0.5%酵母菌,放入恒温箱中 40 °C 下发酵 0 h、3 h、6 h、9 h、21 h、45 h、57 h、77 h,取发酵液离心后,取上清液测量各项指标。

1.3 指标测定方法

1.3.1 pH 值的测定

取待测样品置于小烧杯中,采用校准后的 pH 计直接测定发酵液的 pH 值。

1.3.2 可溶性固形物含量的测定

采用阿贝折光仪直接测量发酵液中可溶性固形物的含量,单位°Brix。

1.3.3 清除 O_2^- 能力的测定

参照静天玉等^[6]的方法进行测定。

1.3.4 清除 DPPH 能力的测定

DPPH 清除能力参照 Gadow 等^[7]的方法测定。

1.4 感官评定方法

表 1 蜜桃酵素的感官评价指标及赋分

Table 1 Sensory evaluation index and score of peach jiaosu

项目(满分)	评价标准	得分
色泽(20分)	淡黄绿色	20~15
	淡黄色	14~8
	偏褐色	7~0
香气(35分)	有明显蜜桃香味	35~25
	蜜桃香味不明显	24~13
	无蜜桃香味	12~0
滋味(45分)	滋味柔和, 厚重, 酸度适中, 无苦涩味	45~31
	滋味较柔和, 偏酸	30~16
	酸涩味重, 有其他异味	15~0

参照苏春雷等^[8]和孙树平等^[9]的感官评价指标, 结合本实验蜜桃酵素自身的特点设定感官评价指标, 具体见表 1。从前期参加过感官评定培训的学员中选取成绩优秀的 10 人对蜜桃酵素进行感官评价打分。

1.5 数据处理

采用 Excel 进行数据处理和绘图, 利用 SPSS Statistics 17.0 对感官评定结果进行单因素方差分析, $p < 0.05$, 差异具有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 不同发酵菌对酵素发酵过程和活性的影响

发酵菌对于酵素的发酵是非常重要的, 目前已有报道的有利用自然环境中微生物进行天然发酵, 如张巧等^[10]的大果山楂酵素, 李云娇等^[11]的水果酵素; 利用霉菌进行发酵, 如苏春雷等^[8]利用米根霉、米曲霉、黑曲霉发酵制备余甘子酵素; 利用酵母菌进行发酵, 如崔国庭等^[12]制备的草莓酵素, 冯彦君等^[13]制备的麦苗酵素; 利用乳酸菌等进行发酵, 如侯银臣等^[14]利用植物乳杆菌和嗜酸乳杆菌复配制备桑葚酵素, 杨志鹏等^[15]利用乳酸菌发酵制备海棠果酵素。非天然发酵相对天然发酵来说, 生产周期要短, 过程易控制。在非天然发酵过程中, 使用最多的是酵母菌, 其次是乳酸菌, 两者复配发酵也有很好的效果, 然而对于同种酵素不同发酵菌种的筛选报道却很少。在目前已有果蔬

酵素发酵研究的基础上, 本研究选择了酵母菌、植物乳杆菌、含乳链球菌的乳酸 5 菌复合菌(乳链球菌-5 菌)、含双歧杆菌的乳酸 7 菌复合菌(双歧杆菌-7 菌)和含双歧杆菌的乳酸 10 菌复合菌(双歧杆菌-10 菌)来对蜜桃进行发酵, 制备蜜桃酵素, 观察不同菌种发酵过程中蜜桃酵素的 pH、可溶性固形物含量、DPPH 和 O_2^- 清除能力的变化情况, 以便为蜜桃酵素发酵菌种的筛选提供基础。

2.1.1 不同发酵菌发酵过程中蜜桃酵素 pH 的变化

图 1 表示不同菌发酵蜜桃过程中, 发酵液 pH 值的变化。从图可以看出, 在灭菌后的蜜桃浆中, 这五种菌都能快速繁殖, 产酸, 使得 pH 值快速下降。在接种 40 h 后, 酵母菌、双歧杆菌-7 菌和乳链球菌-5 菌组的 pH 值已经降到 4.0, 之后下降趋势进一步减缓, 下降趋势基本一致, 发酵 70 h 后, 降至 3.7 左右, 三者之间的 pH 值差异无统计学差异, $p > 0.05$ 。发酵 40 h 后, 植物乳杆菌和双歧杆菌-10 菌的 pH 下降速度较其它三种发酵菌要慢, 并且和其它三种菌发酵的酵素 pH 值差异具有统计学意义, $p < 0.05$; 发酵 50 h 后就趋于稳定, 维持在 4.0 左右, 两者 pH 值之间的差异也无统计学意义, $p > 0.05$ 。果蔬酵素发酵后期 pH 值最低一般在 3.5 左右^[9,16,17], 大部分的非发酵菌在 pH 3.0~4.5 条件下^[18], 生长都会受到抑制。因此, 接种发酵菌后, pH 在较短的时间内降到较低, 有利于发酵期的食品安全问题。

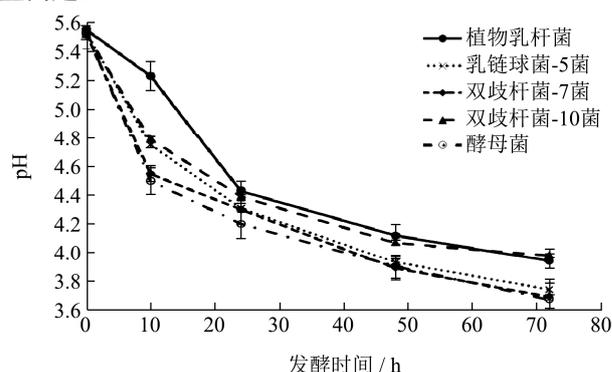


图 1 不同发酵菌发酵过程中蜜桃酵素 pH 值的变化

Fig.1 Changes of pH value of peach jiaosu during fermentation of different bacteria

2.1.2 不同发酵菌发酵过程中蜜桃酵素可溶性固形物的变化

果汁中的可溶性固形物主要是可溶性糖类物质, 是微生物生长的重要碳源, 在发酵过程中, 糖的含量会不断下降, 可以用来监测发酵过程中微生物的活动情况^[10,19]。图 2 表示五种不同发酵菌发酵过程中可溶性固形物的含量变化。

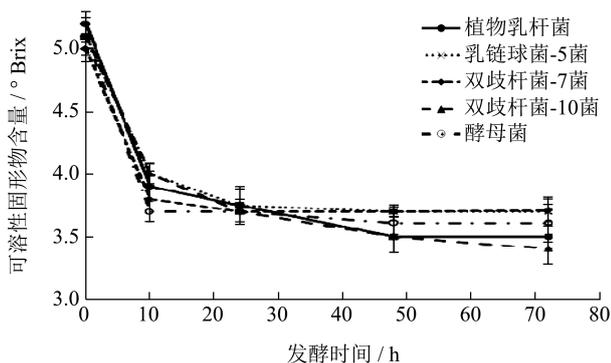


图2 不同发酵剂发酵过程中蜜桃酵素可溶性固形物含量的变化

Fig.2 Changes of soluble solids content of peach jiaosu during fermentation of different bacteria

从图2可以看出,蜜桃酵素可溶性固形物含量随发酵时间推移逐渐减小,这是因为酵素液中碳水化合物丰富,适于微生物的生长繁殖,不断消耗碳水化合物,使可溶性固形物含量逐渐减小。郭红莲等^[20]在天然枸杞发酵过程中也检测到枸杞酵素中可溶性固形物的含量随着发酵时间的增加而降低,发酵前期降低速度较快,后期趋于平缓。本实验蜜桃酵素发酵前10h可溶性固形物含量从5.00 °Brix左右降到4.00 °Brix以下,降低幅度比较大 ($p < 0.05$)。发酵48h后,蜜桃酵素的可溶性固形物含量降至3.60 °Brix,各发酵菌蜜桃酵素的可溶性固形物之间差异不具统计学意义, $p > 0.05$ 。

2.1.3 不同发酵菌发酵过程中蜜桃酵素 O_2^- 清除能力的变化

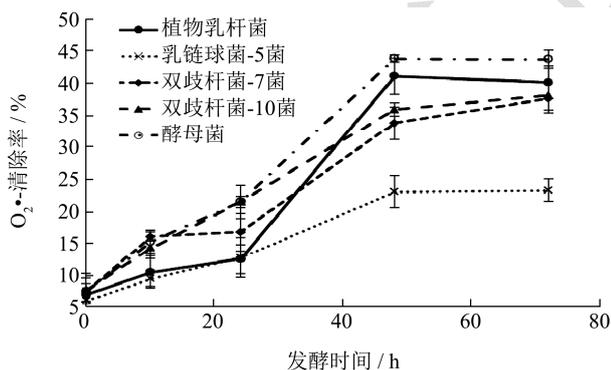


图3 不同发酵剂发酵过程中蜜桃酵素对 O_2^- 的清除率的变化

Fig.3 Changes of O_2^- scavenging capacity of peach jiaosu during fermentation of different starters

图3表示五种发酵菌发酵过程中,蜜桃酵素对 O_2^- 的清除率随发酵时间的变化趋势。发酵初期,蜜桃酵素对 O_2^- 的清除率随时间增长推移逐渐升高;发酵48h之后,发酵液的 O_2^- 的清除率趋于稳定 ($p > 0.05$)。发酵72h时,蜜桃酵素对 O_2^- 的清除率均值从高到低分别为43.70%、40.10%、38.07%、

37.56%、23.20%,其中酵母菌最高,植物乳杆菌、双歧杆菌-10菌和双歧杆菌-5菌之间差异无统计学意义 ($p > 0.05$),乳链球菌-5菌最低。

2.1.4 不同发酵菌发酵过程中蜜桃酵素 DPPH·清除能力的变化

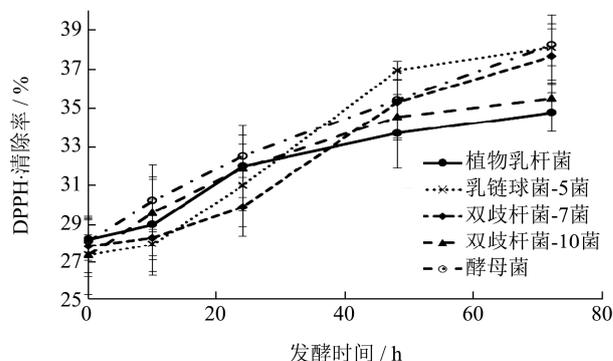


图4 不同发酵剂发酵过程中蜜桃酵素对 DPPH· 的清除率的变化

Fig.4 Changes in the clearance rate of DPPH· by peach jiaosu during fermentation of different bacteria

图4表示五种发酵菌发酵的蜜桃酵素的DPPH·清除能力随时间的变化趋势。从图4可以看出,48h之前,五种发酵剂发酵的蜜桃酵素对DPPH·的清除率随发酵时间延长呈增加趋势 ($p < 0.05$),DPPH·的清除率上升幅度比较大;48h后,只有酵母菌和双歧杆菌-7菌的上升趋势还有统计学意义 ($p < 0.05$),这一变化与阙斐等^[21]研究的香蕉酵素对DPPH·的清除率随发酵时间的变化趋势相一致。张巧等^[10]和陈小伟等^[22]在研究果蔬酵素成分及抗氧化活性时认为,果蔬酵素清除DPPH·的能力,与酵素中酚类物质的含量有关,但却并不是绝对正相关,但目前已有果蔬酵素研究结果都表明适当的发酵时间能够提高果蔬汁的DPPH·的清除率。蜜桃中含有丰富的酚类和黄酮类物质,是清除自由基的主体^[23]。在发酵初期,随着发酵时间的延长,果蔬中的酚类等抗氧化物质被释放出来,使得酵素的抗氧化活性不断增强^[10,24]。不同发酵菌剂之间,发酵过程中DPPH·的清除率也有差异,五种发酵剂下蜜桃酵素的DPPH·清除率如图4所示,发酵72h时,酵母菌、双歧杆菌-7菌和乳链球菌-5菌发酵的蜜桃酵素的DPPH·的清除率之间差异无统计学意义 ($p > 0.05$),但高于另外两种发酵菌 ($p < 0.05$)。

2.2 不同酶预处理蜜桃对酵素品质和活性的影响

酶预处理蜜桃,可以将蜜桃中的大分子物质水解成小分子物质,从而获得更多的可溶性固形物,这一过程对蜜桃发酵素的发酵是否有影响,目前还不得而

知。因此,本研究采用不同的酶:纤维素酶 1.5 L、果胶酶 SPL、纤维素酶 ctec2、果胶酶 5XL,对蜜桃进行酶解处理,然后在相同发酵条件下利用酵母菌对蜜桃进行发酵处理,测定不同发酵时间下酵素中 pH、可溶性固形物含量和蜜桃酵素的抗氧化能力的变化情况。

2.2.1 不同酶处理对蜜桃酵素 pH 的影响

采用纤维素酶 1.5 L、纤维素酶 ctec2、果胶酶 SPL、果胶酶 5XL 对蜜桃进行酶解处理后,蜜桃发酵过程中 pH 随发酵时间的变化见图 5 所示。经过果胶酶 SPL 和 5XL 酶解处理后,蜜桃浆液的 pH 值有所下降 ($p < 0.05$)。在相同的发酵条件下,发酵前期 10 h,酶解处理和未酶解处理的蜜桃酵素的 pH 值的下降趋势几乎一致;发酵 10 h 后,未经酶解处理的蜜桃酵素的 pH 值继续缓慢下降,而经酶解处理后的蜜桃酵素的 pH 值出现小幅的回升,而后又呈缓慢的下降趋势 ($p < 0.05$)。经果胶酶 5XL 处理的蜜桃酵素,在发酵 10 h 时, pH 最低,降到 4 以下,其他酶解处理的降到 4.5 左右;发酵 70 h 之后,经纤维素酶 ctec2 处理的蜜桃酵素的 pH 值最高,为 4.2,其他酶解处理的 pH 值之间差异无统计学意义 ($p > 0.05$),降至 3.8 左右。在研究过程中发现,经酶解处理后,浆液的粘稠度总体下降,且出现气泡的时间要比非酶解处理的要早,这说明经酶解处理后,更有利于发酵微生物的生长。发酵前 10 h,微生物迅速生长大量产酸,使得 pH 值下降较快,之后微生物生长受到抑制,部分酸被利用,使得 pH 值有所升高,随着发酵时间的增加,微生物继续生长产酸, pH 值又呈现出缓慢下降趋势。

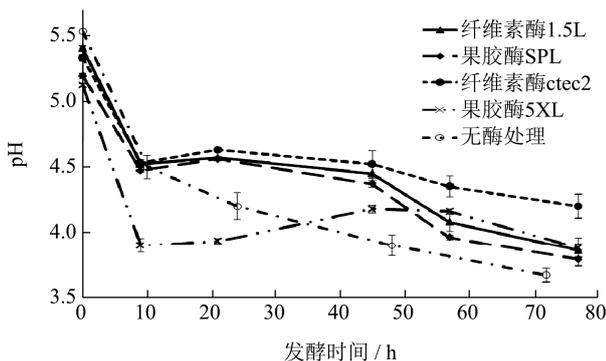


图5 不同酶处理对蜜桃酵素 pH 的影响

Fig.5 Effect of different enzyme treatments on the pH of peach jiaosu

2.2.2 不同酶处理对酵素可溶性固形物的影响

经纤维素酶 1.5 L 和果胶酶处理后,蜜桃浆液的可溶性固形物含量增加 ($p < 0.05$),如图 6 所示。经果胶酶 SPL 和 5XL 处理后,蜜桃浆液中的可溶性固形物含量最高,超过 6.00 °Brix; 其次为纤维素酶 1.5 L,为 5.50 °Brix; 经纤维素酶 ctec2 处理后的可溶性固形

物的含量与未经酶处理的接近,5.10 °Brix。发酵前 10 h,可溶性固形物下降迅速,之后,未经酶处理的和经纤维素酶 1.5 L 处理的可溶性固形物含量趋于稳定,而经果胶酶和纤维素酶 ctec2 处理的缓慢下降之后又上升,发酵 57 h 之后趋于稳定。酶解处理后的蜜桃酵素的发酵液的可溶性固形物含量要高于未经酶解处理的。发酵 70 h 后,经果胶酶处理的蜜桃酵素中可溶性固形物含量最高 ($p < 0.05$)。

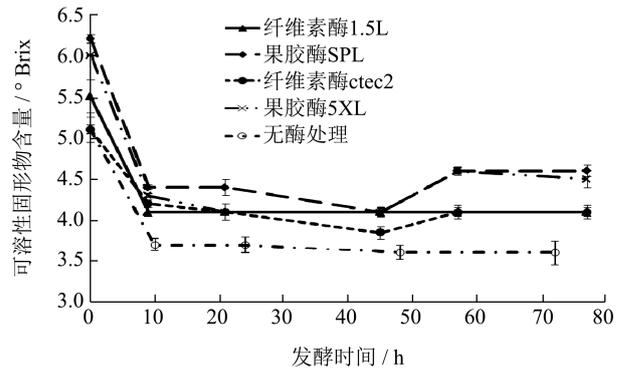


图6 不同酶处理对蜜桃酵素可溶性固形物含量的影响

Fig.6 Effect of different enzyme treatments on the content of soluble solids in peach jiaosu

2.2.3 不同酶处理对酵素 O₂⁻清除能力的影响

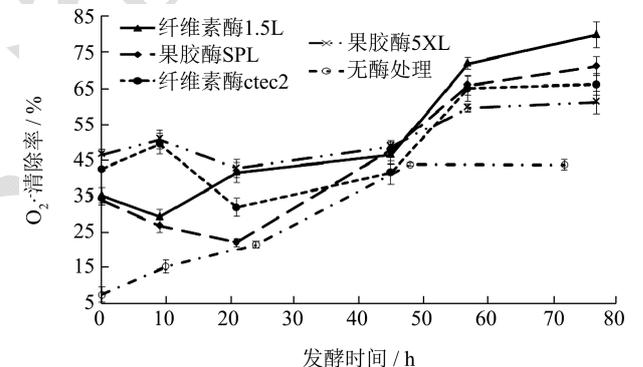


图7 不同酶处理对蜜桃酵素 O₂⁻清除能力的影响

Fig.7 Effect of different enzyme treatments on the O₂⁻ scavenging capacity of peach jiaosu

不同酶处理蜜桃酵素在发酵过程中对 O₂⁻清除能力见图 7。经酶处理后,蜜桃浆液对 O₂⁻清除能力从 7%上升到 30%以上 ($p < 0.05$)。发酵前 20 h,不同酶处理的蜜桃酵素的 O₂⁻清除率有波动 ($p < 0.05$),这主要受不同酶处理程度的影响;发酵 20 h 后,蜜桃酵素 O₂⁻清除率呈上升趋势 ($p < 0.05$),直到发酵 57 h 后,除纤维素酶 1.5 L,其他酶处理的蜜桃酵素的 O₂⁻清除率变化不再具有统计学意义 ($p > 0.05$)。从图中也可以看出,发酵 50 h 后,经酶预处理的蜜桃酵素的 O₂⁻清除率要远高于未经酶处理的蜜桃酵素。发酵末期,清除率从高到低所对应的预处理酶分别是纤维素酶 1.5 L、果胶酶 SPL、纤维素酶 ctec2、果胶酶 5XL,

且各组之间差异具有统计学意义, $p < 0.05$ 。

2.2.4 不同酶预处理对蜜桃酵素 DPPH·清除能力的影响

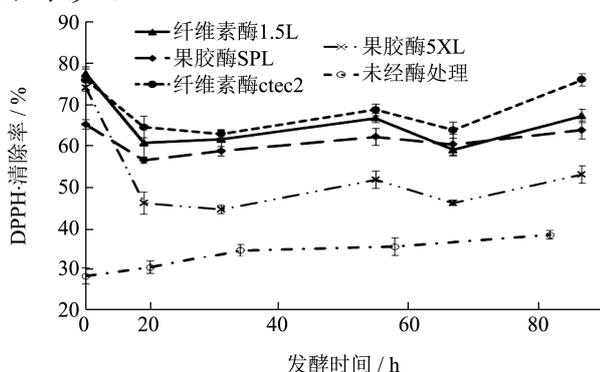


图8 不同酶处理对蜜桃酵素 DPPH·清除能力的影响

Fig.8 Effect of different enzyme treatments on the DPPH· scavenging capacity of peach jiaosu

酶处理对蜜桃酵素 DPPH·清除能力的影响见图8。酶解处理同样能够提高蜜桃浆液的 DPPH·的清除能力 ($p < 0.05$), 这主要是酶解处理使得蜜桃中的酚类及酮类等具有抗氧化活性的物质释放出来, 增强浆液的抗氧化能力。但随着发酵的开始, 经酶处理的蜜桃酵素的 DPPH·的清除能力呈现下降趋势 ($p < 0.05$), 这主要归结于发酵前期, 酶解处理时溶液中不断混入的氧将酚类等物质氧化所致; 而未经酶解处理的蜜桃浆液由于菌种的快速繁殖, pH 值的迅速下降, 溶液中的微量溶解氧被快速消耗掉, 导致其在发酵初期 DPPH·的清除能力也呈上升趋势。而到发酵后期, 随

着氧的消耗, 微生物对固形物的分解利用, 使得蜜桃酵素的 DPPH·清除能力又出现上升趋势 ($p < 0.05$)。发酵 70 h 后, 蜜桃酵素对 DPPH·的清除能力从高到低所对应的预处理酶分别是: 纤维素酶 ctec2、纤维素酶 1.5 L、果胶酶 SPL、果胶酶 5XL, 各组之间差异具有统计学意义, $p < 0.05$ 。

2.3 蜜桃酵素的感官评价

2.3.1 不同发酵剂发酵蜜桃酵素的感官评定

蜜桃酵素风味会随着发酵条件的改变而发生变化^[8,9], 因此, 本实验选取各发酵剂发酵过程中, 感官评价最好条件下发酵的蜜桃酵素的感官评价结果进行比较。具体评价数据见表2所示。不同发酵剂发酵的蜜桃酵素的色泽之间差异不具有统计学意义 ($p > 0.05$), 都能呈现蜜桃浆液的淡黄绿色, 色泽均匀, 不透明; 采用酵母菌、双歧杆菌-7 菌和双歧杆菌-10 菌发酵的蜜桃酵素的蜜桃香气要好于植物乳杆菌和乳链球菌-5 菌发酵的蜜桃酵素; 在蜜桃酵素滋味方面, 最好的是酵母菌, 其次是双歧杆菌-7 菌和 10 菌, 第三位的是乳链球菌-5 菌, 单纯的植物乳杆菌发酵的排在最后。从整体的发酵风味来看, 酵母发酵的风味口感要好于其他发酵剂, 主要是酵母菌发酵蜜桃酵素有淡淡的醇香, 口感和滋味浓厚一些, 而单纯的乳酸菌发酵, 容易过酸或有涩味, 混合乳酸菌发酵风味要好于单种乳酸菌发酵。

表2 不同发酵菌发酵蜜桃酵素的感官评定结果

Table 2 Sensory evaluation results of peach jiaosu by different fermentation bacteria

项目	酵母菌	植物乳杆菌	乳链球菌-5 菌	双歧杆菌-7 菌	双歧杆菌-10 菌
色泽	15.85±1.27	16.10±1.45	15.53±1.56	15.75±1.55	15.52±1.27
香气	27.92±1.70 ^a	20.72±2.01 ^b	25.46±1.31 ^c	28.42±1.59 ^a	29.38±2.10 ^a
滋味	32.44±2.49 ^a	19.89±1.81 ^b	26.81±1.28 ^c	29.24±1.73 ^d	28.87±1.80 ^d

注: 字母不同表示两者之间的差异具统计学意义, $p < 0.05$; 字母相同表示两者之间的差异不具统计学意义, $p > 0.05$ 。

表3 不同酶处理蜜桃酵素的感官评价结果

Table 3 Sensory evaluation results of peach jiaosu by different enzyme treatments

项目	无酶处理	纤维素酶 1.5 L	纤维素酶 ctec2	果胶酶 SPL	果胶酶 5XL
色泽	15.85±1.27 ^a	13.68±1.25 ^b	13.32±1.45 ^b	7.73±1.31 ^c	7.01±1.06 ^c
香气	27.92±1.70 ^a	26.42±1.37 ^b	25.36±1.66 ^b	29.70±1.64 ^c	29.01±1.55 ^{a,c}
滋味	32.44±2.49 ^a	33.01±2.26 ^{a,c}	32.19±2.25 ^a	38.06±1.73 ^b	34.73±1.15 ^c

注: 字母不同表示两者之间的差异具统计学意义, $p < 0.05$; 字母相同表示两者之间的差异不具统计学意义, $p > 0.05$ 。

2.3.2 不同酶预处理后发酵蜜桃酵素的感官评定结果

不同酶预处理后, 在相同的发酵条件下得到的蜜桃酵素的感官评价结果见表3所示。酶解预处理对蜜桃酵素的色泽、香气和滋味都有影响, $p < 0.05$ 。经纤

维素酶解预处理后, 其酵素的淡黄绿色比未经酶处理的要弱, 色泽均匀, 溶液不透明; 而经果胶酶预处理后的蜜桃酵素, 溶液澄清透亮, 色泽呈淡褐色。经果胶酶预处理的蜜桃酵素的香气和滋味都要比未经酶处理的要好, 而经纤维素酶处理的蜜桃酵素的滋味与未

经酶处理的之间差异不具统计学意义 $p > 0.05$, 香气要弱于未经酶处理的蜜桃酵素, $0.01 < p < 0.05$ 。这主要是因为蜜桃富含果胶质, 相比较纤维素酶, 果胶酶更能将果胶质水解掉, 降低溶液的粘稠性, 增加溶液的澄清度, 同时经果胶酶处理蜜桃浆液的可溶性固形物含量最高, 酶解的过程中会释放更多的风味物质, 使的整个发酵后的蜜桃酵素的感官效果提升。

3 结论

3.1 不管是酵母菌还是乳酸菌, 都能对蜜桃进行发酵, 随着发酵时间的增加, 酵素的 pH 和可溶性固形物含量先是快速下降, 后下降趋缓; 随着发酵时间的增加, 酵母菌和乳酸菌发酵都能增强蜜桃酵素抗 $O_2^{\cdot-}$ 和 DPPH 的能力, 发酵初期上升快速, 后期趋缓; 不同发酵剂发酵蜜桃酵素的香气和滋味差异较大。综合蜜桃酵素发酵过程的抗氧化活性以及感官结果, 最适用于蜜桃酵素发酵的是酵母菌, 其次是双歧杆菌-7 菌和双歧杆菌-10 菌, 单纯的植物乳杆菌发酵品质最差。

3.2 对蜜桃浆进行酶解处理, 会增加其可溶性固形物含量, 对后期蜜桃酵素的品质也有显著的影响。首先酶解处理本身就会增加蜜桃浆液的抗氧化性, 经酶解处理的蜜桃浆液在发酵的过程中, 发酵早期抗氧化活性波动较大, 但发酵后期也都趋于上升, 这也充分说明, 发酵过程能够增加蜜桃酵素的抗氧化活性, 此外, 经果胶酶预处理后的蜜桃酵素澄清, 风味更加浓厚。因此适当的酶解处理, 有利于蜜桃酵素的发酵。

参考文献

- [1] 何平, 李林光, 王海波, 等. 遮光性套袋对桃果实转录组的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(6): 1088-1097
HE Ping, LI Lin-guang, WANG Hai-bo, et al. Effects of shading fruit with opaque paper bag on transcriptome in peach [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(6): 1088-1097
- [2] 唐思煜, 翁云丹, 毛舸, 等. 添加蔗糖对裸燕麦酵素发酵过程中理化指标与活性成分变化的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(15): 78-83
TANG Si-yu, WENG Yun-dan, MAO Ge, et al. Effects of sucrose addition on the changes of physicochemical indexes and active components during oat jiaosu fermentation [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(15): 78-83
- [3] 马巧灵, 申元英, 杨芳, 等. 苹果酵素对代谢性疾病模型小鼠的实验研究[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(16): 14-16
MA Qiao-ling, SHEN Yuan-ying, YANG Fang, et al. Experimental study of model mice on the apple enzyme of metabolic disease [J]. Food Research and Development, 2015, 36(16): 14-16
- [4] 冯莉, 张鹤鑫, 何国库, 等. 水果酵素对小鼠酒精性肝损伤保护作用的研究[J]. 中国酿造, 2017, 36(9): 112-115
FENG Li, ZHANG He-xin, HE Guo-ku, et al. Protective effects of fermented fruit beverage on alcoholic liver injury in mice [J]. China Brewing, 2017, 36(9): 112-115
- [5] Jayabalan R, Subathradevi P, Marimuthu S, et al. Changes in free-radical scavenging ability of Kombucha tea during fermentation [J]. Food Chemistry, 2008, 109(1): 227-234
- [6] 静天玉, 赵晓瑜. 用终止剂改进超氧化物歧化酶邻苯三酚测活法[J]. 生物化学与生物物理进展, 1995, 22(1): 84-86
JING Tian-yu, ZHAO Xiao-yu. The improved pyrogallol method by using terminating agent for superoxide dismutase measurement [J]. Progress in Biochemistry and Biophysics, 1995, 22(1): 84-86
- [7] Astrid Von Gadow, Elizabeth Joubert, Hansmann Cf. Effect of extraction time and additional heating on the antioxidant activity of Rooibos tea (*Aspalathus linearis*) extracts [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1997, 45: 1370-1374
- [8] 苏春雷, 王强, 黄洁君, 等. 新型余甘子酵素发酵工艺的优化[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(9): 128-136
SU Chun-lei, WANG Qiang, HUANG Jie-jun, et al. Optimized fermentation process to produce novel *Phyllanthus emblica* jiaosu [J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(9): 128-136
- [9] 孙树平, 刘志伟, 李京, 等. 辣椒酵素益生菌复合发酵制剂的筛选[J]. 食品与机械, 2019, 35(8): 189-194, 199
SUN Shu-ping, LIU Zhi-wei, LI Jing, et al. Screen of probiotic compound starter for capsicum ferment [J]. Food & Machinery, 2019, 35(8): 189-194, 199
- [10] 张巧, 陈春喜, 陈振林, 等. 大果山楂酵素发酵过程中组分及抗氧化性研究[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(22): 15-19
ZHANG Qiao, CHEN Chun-xi, CHEN Zhen-lin, et al. Research of compositions and antioxidant activity during natural fermentation of *Malus domeri* (Bois) Chev. enzyme drink [J]. Food Research and Development, 2018, 39(22): 15-19
- [11] 李云姣, 李琪, 杜佳峰, 等. 水果酵素体外抗氧化及抑制 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶活性的研究[J]. 中国食品学报, 2019, 19(4): 79-84
LI Yun-jiao, LI Qi, DU Jia-feng, et al. Antioxidant activity and inhibitory effects on α -amylase and α -glucosidase of

- fermented fruit juice *in vitro* [J]. Chinese Journal of Food Science, 2019, 19(4): 79-84
- [12] 崔国庭,王缎,刘向丽,等.响应面法优化草莓酵素的发酵工艺及其生物活性初探[J].食品工业科技,2018,39(9):143-148
CUI Guo-ting, WANG Duan, LIU Xiang-li, et al. Optimization of fermentation process of strawberry-jiaosu by response surface methodology and the primary study of bioactivity [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(9): 143-148
- [13] 冯彦君,张懋,韩宇斌.麦苗酵素发酵工艺的优化及其抗氧化功能[J].食品与生物技术学报,2018,37(2):165-170
FENG Yan-jun, ZHANG Min, HAN Yu-bin. Optimization of the fermentation process of barley ferment and study on its antioxidant properties [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2018, 37(2): 165-170
- [14] 侯银臣,吕行,黄继红,等.发酵条件对桑葚酵素抗氧化能力的影响[J].河南农业大学学报,2019,53(2):251-256
HOU Yin-chen, LYU Xing, HUANG Ji-hong, et al. Effect of fermentation conditions on the antioxidant capacity of the ferment of mulberry [J]. Journal of Henan Agricultural University, 2019, 53(2): 251-256
- [15] 杨志鹏,王婷,袁峰,等.海棠果酵素产品开发及其生物活性研究[J].中国调味品,2018,43(1):48-51
YANG Zhi-peng, WANG Ting, YUAN Feng, et al. Study on the bioactivity and development of *Calophyllum inophyllum* L. enzyme product [J]. China Condiment, 2018, 43(1): 48-51
- [16] 王益莉,欧雪莲,李朝南,等.发酵时间对五种果蔬酵素抗氧化活性的影响[J].中国食品添加剂,2018,1:175-181
WANG Yi-li, OU Xue-lian, LI Chao-nan, et al. Effects of fermentation time on antioxidant activity of five fruits and vegetables [J]. China Food Additives, 2018, 1: 175-181
- [17] 邵颖,陈安徽,陈尚龙,等.植物酵素发酵过程中理化成分变化规律及其对果蝇寿命的影响[J].现代食品科技,2018, 34(3):25-31
SHAO Ying, CHEN An-hui, CHEN Shang-long, et al. Changes of biochemical indicators and antioxidant activity of plant ferment during fermentation and the effect on the lifespan of *Drosophila melanogaster* [J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(3): 25-31
- [18] 何鹏晖,匡晓,钱杨,等.发酵蔬菜中腐败微生物及其防控的研究进展[J].食品工业科技,2017,38(11):374-378
HE Peng-hui, SHE Xiao, QIAN Yang, et al. Research advances of spoilage microorganisms and their preventive measures in fermented vegetables [J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(11): 374-378
- [19] 高庆超,常应九,马蓉,等.黑果枸杞酵素自然发酵过程中微生物群落的动态变化[J].食品与发酵工业,2019, 45(13): 126-133
GAO Qing-chao, CHANG Ying-jiu, MA Rong, et al. Dynamic changes in microbial community during natural fermentation of *Lycium Ruthenicum* Murr. enzymes [J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(13): 126-133
- [20] 郭红莲,邢紫娟,余巧银,等.天然枸杞酵素发酵的代谢产物分析[J].食品研究与开发,2018,39(5):48-55
GUO Hong-lian, XING Zi-juan, YU Qiao-yin, et al. Analysis of metabolites produced by ferment of natural *Lycium barbarum* L. [J]. Food Research and Development, 2018, 39(5): 48-55
- [21] 阙斐,黄涵年,赵粼.香蕉酵素发酵过程中的组分及抗氧化活性变化研究[J].食品工业科技,2019,40(16): 290-293,303
QUE Fei, HUANG Han-nian, ZHAO Lin. Change of components and antioxidant activity of banana enzymes during fermentation process [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(16): 290-293, 303
- [22] 陈小伟,范昊安,张婷,等.咖啡果皮酵素发酵过程中代谢产物与抗氧化功能评价[J].食品研究与开发,2019,40(9):18-25,50
CHEN Xiao-wei, FAN Hao-an, ZHANG Ting, et al. Study on the evaluations of metabolites and antioxidant activity during the fermentation process of coffee peel jiaosu [J]. Food Research and Development, 2019, 40(9): 18-25, 50
- [23] 卢娟芳,刘盛雨,芦旺,等.不同类型桃果肉酚类物质及抗氧化活性分析[J].中国农业科学,2017,50(16):3205-3214
LU Juan-fang, LIU Sheng-yu, LU Wang, et al. Phenolic profiles and antioxidant activity of fruit pulp from different types of peaches [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(16): 3205-3214
- [24] 薛淑龙,范昊安,陈小伟,等.竹叶酵素发酵过程中代谢产物及抗氧化活性的变化[J].现代食品科技,2019,35(5):228-235,174
XUE Shu-long, FAN Hao-an, CHEN Xiao-wei, et al. Study on the changes of material metabolism and antioxidant activity of bamboo leaf jiaosu during the fermentation process [J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35(5): 228-235, 174