

果胶酶对早酥梨醋发酵品质的影响研究

张霁红^{1,2*}, 康三江^{1,2}, 胡生海^{1,2}, 曾朝珍^{1,2}, 张海燕^{1,2}

(1. 甘肃省农业科学院农产品贮藏加工研究所, 兰州 730070; 2. 甘肃省果蔬贮藏加工技术创新中心, 兰州 730070)

摘要: **目的** 探究果胶酶对早酥梨醋发酵品质的影响。**方法** 采用 $L_9(3^4)$ 实验设计优化果胶酶酶解工艺, 分析酶解工艺对早酥梨汁酒精发酵、醋酸发酵及发酵产品中主要有机酸、氨基酸物质含量及感官品质的影响。**结果** 加入果胶酶后早酥梨汁的可溶性固形物、总酸、总糖、总酚含量、透光率均显著上升($P<0.05$), 当果胶酶添加量 0.3 g/kg 、酶解温度 $45\text{ }^\circ\text{C}$ 、酶解时间 2.5 h 、 $\text{pH}\ 4.0$ 时, 早酥梨汁总糖含量可达到 $(92.21\pm 0.07)\text{ g/L}$, 比未酶解果汁提升 29.27% ; 酒精发酵、醋酸发酵速率较高, 酒精转化率为 73.7% , 总酸含量 $(4.9\pm 0.02)\text{ g}/100\text{ mL}$; 梨醋产品中7种主要有机酸含量无显著差异, 17种氨基酸总量降低, 必需氨基酸含量比例升高, 与褐变相关的谷氨酸含量由 $(18.51\pm 0.12)\text{ }\mu\text{g/mL}$ 减少至 $(11.95\pm 0.01)\text{ }\mu\text{g/mL}$ 。**结论** 与未酶解工艺比较, 发酵后产品滋味协调、醇厚、澄清透明, 品质较好。

关键词: 果胶酶; 早酥梨醋; 发酵品质

Effect of pectinase on fermentation quality of Zaosu pear vinegar

ZHANG Ji-Hong^{1,2*}, KANG San-Jiang^{1,2}, HU Sheng-Hai^{1,2}, ZENG Chao-Zhen^{1,2}, ZHANG Hai-Yan^{1,2}

(1. Agricultural Product Storage and Processing Institute Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China; 2. Gansu Innovation Center of Fruit and Vegetable Storage and Processing, Lanzhou 730070, China)

ABSTRACT: Objective To study the effect of pectinase on the fermentation qualities of Zaosu pear vinegar. **Methods** $L_9(3^4)$ experimental design was used to optimize the enzymatic hydrolysis process of pectinase, and analyze the effects of enzymatic hydrolysis process on the content of organic acids, amino acids, sensory quality in alcoholic fermentation, acetic acid fermentation and fermentation products of Zaosu pear juice. **Results** After adding pectinase, the soluble solids, total acids, total sugars, total phenols and light transmittance of early crisp pear juice increased significantly ($P<0.05$), under the conditions of 0.3 g/kg pectinase content, $45\text{ }^\circ\text{C}$, 2.5 h , $\text{pH}\ 4.0$, the total sugar content of Zaosu pear juice could reach $(92.21\pm 0.07)\text{ g/L}$, which was 29.27% higher than that of unhydrolyzed juice; the fermentation rate of alcohol and acetic acid was higher, the ethanol conversion rate was 73.7% , and the titratable acid content was $(4.9\pm 0.02)\text{ g}/100\text{ mL}$; there was no significant difference in the content of 7 kinds of main organic acids in pear vinegar, the total amount of 17 kinds of amino acids decreased, and the proportion of essential amino acids increased, the content of glutamic acid related to browning decreased from $(16.55\pm 0.01)\text{ }\mu\text{g/mL}$ to $(12.02\pm 0.02)\text{ }\mu\text{g/mL}$. **Conclusion** Compared with the process without enzymatic hydrolysis, the fermented products taste harmonious, mellow, clear and transparent, the quality is better.

基金项目: 甘肃省农牧厅科技创新计划项目(GNKJ-2018-13)、国家现代农业产业技术体系建设项目(CARS-27)

Fund: Supported by the Science and Technology Innovation Program of Gansu Agriculture and Pastoral Department (GNKJ-2018-13), and the National Modern Agricultural Industrial Technology System Construction Project (CARS-27)

*通信作者: 张霁红, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为果蔬加工。E-mail: 172235399@qq.com

*Corresponding author: ZHANG Ji-Hong, Master, Associate Researcher, Agricultural Product Storage and Processing Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China. E-mail: 172235399@qq.com

KEY WORDS: pectin enzyme; Zaosu pear vinegar; fermentation quality

0 引言

梨果实含有糖、维生素、游离酸、蛋白质、脂肪以及钙、铁、磷等矿物质,有帮助消化、润肺、消痰、降火、解毒之功效,是鲜食和加工的优质果品^[1-2]。梨的主要加工产品有梨汁、梨膏、梨酒、梨醋、梨干、梨脯和罐头等^[3],不同品种的梨果实在外观、口感、香气及营养成分上有显著区别^[4]。早酥梨产品质地细酥脆、汁多适口,在甘肃、宁夏、陕西栽培面积较大,糖含量大都在 10%以上,主要由果糖、蔗糖、葡萄糖等可溶性糖组成^[5],是进行酒精发酵和醋酸发酵的良好碳源。梨汁中果胶、单宁、奎宁酸、酒石酸等含量较高,加工过程中存在出汁率低、涩味重及产品沉淀、混浊等问题。研究证明,果胶酶能有效分解果汁中的果胶质,提高果汁的出汁率、澄清度,并能增加果汁的香气成分^[6-7],影响果酒主要成分及品质^[8-9]。

目前果胶酶、复合果胶酶在果汁提取工艺及品质提升方面有较多报道^[10-14],但果胶酶对果汁发酵果酒、果醋以及发酵过程中各物质影响的进一步研究理论较少,制约果汁发酵产品质量提升。本研究拟开展果胶酶对早酥梨醋发酵品质的影响研究,在果胶酶对早酥梨汁主要成分影响基础上,以总糖含量为指标,考察果胶酶对早酥梨汁主要成分的影响。采用 $L_9(3^4)$ 实验方法优化果胶酶酶解工艺,分析酶解工艺对早酥梨汁酒精发酵、醋酸发酵及发酵产品中主要有机酸、氨基酸物质含量及感官品质的影响,为梨醋品质提升提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

早酥梨(甘肃省景泰县早酥梨产区);安琪果酒专用酵母(湖北安琪酵母股份有限公司);帝伯仕果醋专用菌种(山东烟台帝伯仕有限公司);果胶酶(酶活 3~5 万 U/g,宁夏和氏璧生物技术有限公司);无水乙醇、氢氧化钠、盐酸、没食子酸、甲醇、乙腈异硫氰酸苯酯(分析纯,天津化学试剂有限公司);3,5-二硝基水杨酸(3,5-dinitrosalicylic acid, DNS)生化试剂、福林酚生物试剂(分析纯,北京索莱宝科技有限公司);L-苹果酸、乳酸、柠檬酸、乙酸、丁二酸、富马酸、丙酸、没食子酸(色谱纯,厦门海标科技有限公司)。

1.2 仪器与设备

BSA224S-CW 电子天平(赛多利斯科学仪器北京有限公司);YXQ-LS 立式压力蒸汽灭菌锅(上海博讯实业有限公司);ZHJH-C1112B 超净工作台(北京思博晟达科技有限公司);ZWY-2102 恒温培养振荡器(上海智城分析仪器制造有

限公司);LRH-250 生化培养箱(上海一恒科学仪器有限公司);TGL-16MC 冷冻离心机(长沙维尔康湘鹰离心机有限公司);PAL-1 糖度计(ATAGO 爱拓中国分公司);Agilent 1100 高效液相色谱仪(美国安捷伦仪器公司);Rigol L3000 高效液相色谱仪(苏州普源精电科技有限公司);UV2400 紫外可见分光光度计(上海舜宇恒平科学仪器有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 工艺流程

早酥梨清洗榨汁→酶解→杀菌→过滤→调整糖酸比→冷却→酒精发酵→醋酸发酵→过滤澄清→陈酿→灭菌→产品。

1.3.2 操作要点

早酥梨清洗后去蒂榨汁,向汁中添加一定量的果胶酶,用柠檬酸调整 pH,控制温度和时间进行酶解,酶解后用四层纱布过滤得清汁,加入质量浓度 8% (10^6 CFU)的活化安琪酵母,20 °C 恒温培养,待可溶性固形物含量不在下降时,加入质量浓度 10% (10^8 CFU)的活化醋酸菌液,31 °C、140 r/min 摇床培养待总酸含量稳定时,过滤澄清、灭菌,进行各指标检测。

1.3.3 果胶酶对早酥梨汁成分的影响

鲜榨早酥梨汁中分别加入 0.1、0.2、0.3 g/kg 的果胶酶,50 °C、pH 4.0 条件下酶解 2 h,测梨汁中的可溶性固形物、总酸、总糖、总酚含量及透光率,每个处理重复 3 次。

1.3.4 梨汁酶解工艺优化

参照张忠平等^[15]的实验结果,以果胶酶添加量(A)、酶解温度(B)、时间(C)、pH(D)为因素,总糖含量为指标进行四因素三水平正交实验,优化早酥梨汁酶解工艺。因素水平见表 1。

表 1 正交实验因素水平表
Table 1 Table of orthogonal factor levels

组别	A 果胶酶添加量/(g/kg)	B 酶解温度/°C	C 酶解时间/h	D/pH
1	0.1	45	1.5	3.5
2	0.2	50	2.0	4.0
3	0.3	55	2.5	4.5

1.3.5 早酥梨果醋发酵

以酶解后梨汁和未酶解梨汁为原料进行酒精发酵、醋酸发酵,分析发酵过程中可溶性固形物含量、酒精含量和总酸含量变化。

1.3.6 产品感官品质分析

根据 GB/T 29605—2013《感官分析 食品感官质量控制导则》,经 10 位专业人员参评,对梨醋的滋味、色泽、香气、体态进行综合评价。

1.3.7 产品理化指标检测

总糖、总酸含量测定: 采用日本产 PAL-1 糖度计测定可溶性固形物含量; 采用 DNS 法测定总糖含量; 采用氢氧化钠酸碱滴定法测定总酸含量。

酒精度测定: 酒精计法。

有机酸含量测定^[16]: 采用高效液相色谱法。

氨基酸含量测定: 参照陈蓉等^[17]柱前衍生-高效液相色谱法测定梨醋中的 17 种氨基酸含量。

总酚含量测定^[18]: 以没食子酸为标品, 采用福林-酚法。

样品含量测定: 精确吸取一定浓度的待测溶液 3 份, 按上述方法检测, 计算其含量。

1.3.8 酒精转化率

酒精转酸率按照公式(1)计算:

$$\text{酒精转酸率}/\% = \frac{\text{醋酸含量}(\text{g}/100\text{g})}{\text{酒精含量}(\text{g}/100\text{g}) \times 1.304} \times 100\% \quad (1)$$

1.4 数据处理

单因素实验每组重复 3 次, 实验结果以平均值±标准偏差表示, 采用正交设计助手(3.1)进行方差分析, Excel 2007 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 果胶酶对早酥梨汁成分的影响

鲜榨早酥梨汁中加入不同浓度的果胶酶, 50℃、pH 4.0 条件下, 酶解 2 h 后梨汁成分含量变化如表 2 所示, 果胶酶酶解后梨汁的可溶性固形物、总酸、总糖、总酚含量以及透光率均显著上升($P < 0.05$), 其中透光率升高比率较大, 达到

57.2%~67.5%, 总糖含量增加 15.7%~20.1%, 总酚含量增加 12.5%~26.7%, 总酸含量增比 10.6%~17.0%, 可溶性固形物含量增加 9.48%~17.0%。加入果胶酶后, 不溶性的果胶、纤维素降解, 植物细胞壁破坏, 细胞内容物外溢, 出汁率、果汁澄清度增加^[7]、总糖、总酚、可溶性固形物含量上升, 果胶酶对梨汁中酸性物质基本无作用, 故总酸含量变化不大。

2.2 早酥梨汁酶解工艺技术参数优化

以果胶酶添加量、酶解温度、时间、pH 为因素, 总糖含量为指标进行 4 因素 3 水平正交实验。从表 3~4 可以看出, 影响早酥梨汁酶解效果的主次因素关系为 $D > B > C > A$, 即 $\text{pH} > \text{酶解温度} > \text{酶解时间} > \text{果胶酶添加量}$ 。最优组合为 $A_3B_1C_3D_2$, 即果胶酶添加量 0.3 g/kg、酶解温度 45℃、酶解时间 2.5 h、pH 4.0。对所得正交实验结果进行方差分析, 在 4 个影响因素中 pH 对总糖含量有显著性影响 ($P < 0.05$)。由于得到的优化组合在正交表内, 在此工艺条件下进行验证实验, 酶解后早酥梨汁总糖含量可达到 (92.21±0.07) g/L, 比未酶解果汁提升 29.27%, 有利于酒精发酵, 促进醋酸发酵。

2.3 梨汁酒精发酵、醋酸发酵

从图 1 可知, 酒精发酵阶段添加果胶酶的梨汁发酵速度较快, 产酒精量较高, 在酒精发酵结束后, 未加果胶酶的发酵液可溶性固形物为 4.9 Brix, 加果胶酶发酵液中可溶性固形物含量为 5.2 Brix, 相比其他果汁而言, 梨汁发酵残糖含量较高^[19], 原因可能是梨汁本身果胶物质含量较高, 果胶酶处理后, 糖类物质降解, 但有些糖不能被酵母利用, 因而使残糖含量上升, 发酵液黏性略有增加。

表 2 果胶酶对早酥梨汁成分的影响

Table 2 Effects of pectinase on the composition of Zaosu pear juice

编号	加入果胶酶/(g/kg)	可溶性固形物/Brix	总酸/(g/L)(以乙酸计)	总酚含量/(μg/mL)	总糖含量/(g/L)	透光率/%
1	0.1	11.20±0.00 ^b	1.61±0.00 ^b	85.23±1.84 ^b	83.41±0.23 ^b	89.32±0.51 ^b
2	0.2	11.97±0.01 ^a	1.75±0.00 ^a	96.05±4.24 ^a	85.60±0.31 ^a	92.71±0.27 ^a
3	0.3	11.93±0.01 ^a	1.69±0.00 ^{ab}	87.61±1.32 ^b	82.53±0.48 ^b	95.14±0.02 ^a
4	0	10.23±0.01 ^c	0.78±0.03 ^c	75.78±0.12 ^c	71.33±0.14 ^c	56.78±0.33 ^c

注: 不同小写字母表示在 $\alpha=0.05$ 水平上差异显著。下同。

表 3 正交实验结果

Table 3 Results of orthogonal test

编号	A	B	C	D	总糖含量/(g/L)
1	1	1	1	1	81.15±0.15
2	1	2	2	2	85.41±0.23
3	1	3	3	3	90.01±0.13
4	2	1	2	3	88.64±0.09
5	2	2	3	1	78.32±0.01

表 3(续)

编号	A	B	C	D	总糖含量/(g/L)
6	2	3	1	2	85.86±0.02
7	3	1	3	2	92.21±0.07
8	3	2	1	3	83.90±0.12
9	3	3	2	1	80.82±0.01
均值 1	85.52	87.33	83.64	80.10	
均值 2	84.27	82.54	84.95	87.82	
均值 3	85.64	85.56	86.85	87.52	
极差	1.37	4.79	3.21	7.73	
主次顺序	D>B>C>A				
优水平	A ₃	B ₁	C ₃	D ₂	
优组合	A ₃ B ₁ C ₃ D ₂				

表 4 方差分析
Table 4 Analysis of variance

因素	偏差平方和	自由度	F	F 临界值	显著性
果胶酶添加量	3.454	2	1.000	19.000	
温度	35.179	2	10.190	19.000	
时间	15.619	2	4.522	19.000	
pH	114.905	2	33.267	19.000	*
误差	3.45	2			

注: *表示在置信度 95%水平下显著。

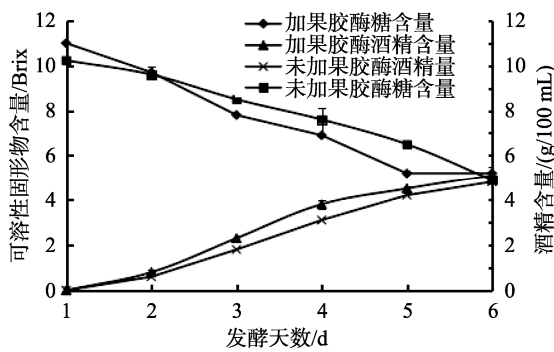


图 1 早酥梨汁酒精发酵过程中可溶性固形物、酒精含量变化(n=3)

Fig.1 Changes of soluble solids and alcohol content during alcohol fermentation of Zaosu pear juice (n=3)

图 2 醋酸发酵阶段是醋酸菌把酒精进一步转化为乙酸及其他次生物质, 因果胶酶的添加, 发酵前期总糖含量、酒精含量升高, 酒精转化乙酸反应迅速, 转化率达 73.7%, 总酸含量 4.9 g/100 mL, 故果胶酶的添加有利于醋酸生成。

2.4 酶解工艺对梨醋感官品质的影响

经 10 位专业人员对 2 种不同发酵工艺发酵后陈酿

60 d 所得的早酥梨醋感官品质评定, 评价结果见表 5。发酵过程中, 果胶酶的加入可使原果胶被分解为果胶酸、果胶酯酸, 果皮中的花色苷被分解, 细胞质中的营养物质溶出, 部分物质经酵母、醋酸菌转化产生多种代谢物质, 丰富了发酵液的物质种类及含量^[8], 故加入果胶酶发酵后的早酥梨醋整体滋味协调、醇厚、澄清透明, 品质较好。

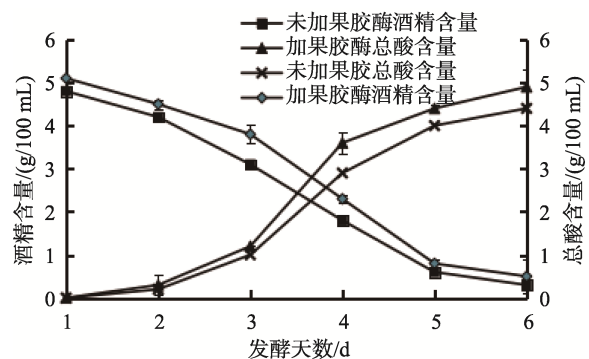


图 2 醋酸发酵过程中酒精、总酸含量变化(n=3)

Fig.2 Changes of alcohol and total acid content during acetic acid fermentation (n=3)

表 5 早酥梨醋感官品质
Table 5 Sensory quality of Zaosu pear vinegar

样品	外观	香气	滋味
酶解工艺优化产品	颜色鲜明、澄清透明、悦目协调	果香、醋香、协调典型, 无不不良气味	整体协调、醇厚、典型、无异杂味
未酶解发酵产品	颜色褐色、暗淡、有浑浊	香气不突出, 有酸涩味, 气味淡薄	整体较协调、酸味不柔和、无异杂味

2.5 梨醋样品有机酸含量

经优化工艺酶解所得早酥梨醋样品中有机酸含量测定结果见表 6, 其乙酸含量较高, 分别占总酸含量的 88.5%、89.5%。对酶解和未酶解工艺所得早酥梨样品中的主要有机酸含量进行 $\alpha=0.05$ 水平上差异性分析, 结果表明两者无显著性差异。这主要是因为加入果胶酶后早酥梨汁中总糖含量上升幅度不大, 继而对发酵过程中的糖转化产物酒精、总酸含量也无太大影响。苹果酸、柠檬酸、丁二酸等其余 6 种挥发性酸含量主要受原料影响, 在发酵过程中参与代谢、降解、转化, 其含量占总酸含量的 10.5% (以酶解优化工艺产品计算), 加入果胶酶后对其总含量几乎没有影响。这与李艳松^[19]等研究的果胶酶对葡萄酒发酵过程中的乙醇含量无显著影响, 屈慧鸽等^[8]研究的在葡萄酒发酵过程中, 加入果胶酶的样品与对照相比总酸含量没有太大区别所表现的结果一致。

表 6 早酥梨醋中主要有机酸含量
Table 6 Content of main organic acids in Zaosu pear vinegar

有机酸	有机酸含量/($\mu\text{g/mL}$)	
	未酶解发酵产品	酶解优化工艺产品
苹果酸	160.4 \pm 0.01	160.6 \pm 0.02
乳酸	18.1 \pm 0.13	20.6 \pm 0.01
乙酸	4100.2 \pm 0.38	4458.9 \pm 0.42
柠檬酸	316.8 \pm 0.21	301.5 \pm 0.25
丁二酸	36.6 \pm 0.03	37.4 \pm 0.06
富马酸	0.6 \pm 0.01	0.6 \pm 0.01
丙酸	0.2 \pm 0.01	0.3 \pm 0.01
总酸	4632.9 \pm 0.26	4979.9 \pm 0.32

2.6 梨醋样品中氨基酸含量测定

对酶解和未酶解发酵工艺梨醋样品中的 17 种氨基酸含量进行测定, 其结果如表 7 所示。酶解和未酶解发酵后的梨醋中总氨基酸含量分别为(310.29 \pm 0.11)、(356.39 \pm 0.13) $\mu\text{g/mL}$, 检测出的 7 种必需氨基酸总量为(153.34 \pm 0.19)、(163.64 \pm 0.21) $\mu\text{g/mL}$, 占总氨基酸比例为 49.42%、45.91%。梨汁发酵过程中易发生褐变, 其中氨基酸起重要作用, 因为氨基酸和还原糖反应, 引发还原糖的消耗和 5-羟甲基糠醛(5-hydroxymethylfurfural, 5-HMF)的形成, 触发链式复合反应产生褐变色素, 并导致果汁褐变、褐变指数上升^[20],

CORNWELL 等^[21]研究了浓缩梨汁在贮存中的褐变, 认为谷氨酸在褐变中起重要作用。由表 7 可知, 加入果胶酶发酵后梨醋样品中氨基酸总量降低, 必需氨基酸的含量降低, 但必需氨基酸的含量比例升高, 谷氨酸含量由(18.51 \pm 0.12) $\mu\text{g/mL}$ 减少至(11.95 \pm 0.01) $\mu\text{g/mL}$, 这可能是酶解后发酵液颜色清亮、褐变度减少的原因之一。

表 7 早酥梨醋中氨基酸含量变化
Table 7 Changes of amino acid content in Zaosu pear vinegar

氨基酸	氨基酸含量/($\mu\text{g/mL}$)	
	未酶解	酶解
天冬氨酸(Asp)	16.55 \pm 0.01	12.02 \pm 0.02
谷氨酸(Glu)	18.51 \pm 0.12	11.95 \pm 0.01
丝氨酸(Ser)	19.16 \pm 0.02	26.97 \pm 0.21
甘氨酸(Gly)	6.30 \pm 0.01	6.33 \pm 0.01
组氨酸(His)	26.33 \pm 0.21	22.35 \pm 0.24
精氨酸(Arg)	56.32 \pm 0.32	37.64 \pm 0.05
苏氨酸(Thr)*	22.16 \pm 0.03	25.54 \pm 0.26
丙氨酸(Ala)	5.19 \pm 0.01	3.23 \pm 0.31
脯氨酸(Pro)	5.06 \pm 0.01	1.56 \pm 0.01
酪氨酸(Tyr)	35.81 \pm 0.02	34.68 \pm 0.03
缬氨酸(Val)*	11.06 \pm 0.01	11.54 \pm 0.01
蛋氨酸(Met)*	6.40 \pm 0.01	7.09 \pm 0.02
胱氨酸(Cys)	3.52 \pm 0.01	0.22 \pm 0.01
异亮氨酸(Ile)*	10.66 \pm 0.42	10.44 \pm 0.28
亮氨酸(Leu)*	33.70 \pm 0.23	30.42 \pm 0.35
苯丙氨酸(Phe)*	33.35 \pm 0.29	30.71 \pm 0.14
赖氨酸(Lys)*	46.31 \pm 0.51	37.6 \pm 0.24
EAA	163.64 \pm 0.21	153.34 \pm 0.19
TAA	356.39 \pm 0.13	310.29 \pm 0.11

注: EAA (essential amino acids): 必需氨基酸总含量; TAA (total amino acids): 总氨基酸含量; *必需氨基酸。

3 结论与讨论

本研究表明, 在早酥梨汁发酵生产梨醋工艺中加入果胶酶可提高梨果的出汁率, 显著增加梨汁的透光率, 有

效提高梨汁中可溶性固形物、总酸、总糖、总酚等物质含量。与未酶解工艺比较,加入果胶酶后早酥梨醋酒精发酵、醋酸发酵速度较快、酒精转化率为 73.7%,总酸含量(4.9±0.02) g/100 mL,所得样品褐变度降低、滋味协调、醇厚、澄清透明,品质较好。由此可见,果胶酶有利于梨醋发酵工艺的提升,适用于产业化生产,但本研究中果胶酶添加对梨醋风味物质的影响以及影响机理方面还不完善,有待进一步深入研究。

参考文献

- [1] 王春晖,曹礼,权花花,等.早酥梨酒酿造中葡萄酒酵母的选择研究[J].中国酿造,2010,(12):62-64.
WANG CH, CAO L, QUAN HH, *et al.* Screening of wine yeast during fermentation of Zaosu pear wine [J]. China Brew, 2010, (12): 62-64.
- [2] 曹雪慧,赵宇婷,王甄妮,等.8个梨品种非浓缩还原汁的特性分析[J].食品研究与开发,2020,41(12):26-29.
CAO XH, ZHAO YT, WANG ZN, *et al.* Study on character of not from concentrate juice in 8 pear varieties [J]. Food Res Dev, 2020, 41(12): 26-29.
- [3] 关军锋,杜晓东.我国梨加工技术现状与未来[J].保鲜与加工,2017,17(3):1-4.
GUAN JF, DU XD. Present situation and future of pear processing technology in China [J]. Storage Process, 2017, 17(3): 1-4.
- [4] 黄莹萍,熊桔,罗玫,等.七大名梨果实品质比较分析[J].饮料工业,2019,22(5):1-4.
HUANG YP, XIONG J, LUO M, *et al.* Comparative analysis of seven famous pears quality [J]. Drink Ind, 2019, 22(5): 1-4.
- [5] 高海燕,王善广,廖小军,等.不同品种梨汁中糖和有机酸含量测定及相关性分析[J].华北农学报,2004,19(2):104-107.
GAO HY, WANG SG, LIAO XJ, *et al.* Study on determination and correlation of soluble sugars and organic acids in pear juice from different cultivars [J]. J North China Agric Sci, 2004, 19(2): 104-107.
- [6] 张文叶,张磊,迟雷,等.果胶酶对山楂果酒酿造过程中甲醇及主要杂醇油含量的影响[J].郑州轻工业学院学报(自然科学版),2015,30(3):1-5.
ZHANG WY, ZHANG L, CHI L, *et al.* Effect of pectinase on methyl alcohol and main fusel oil content in the process of Hawthorn fruit wine fermentation [J]. J Zhengzhou Light Ind Univ (Nat Sci Ed), 2015, 30(3): 1-5.
- [7] 魏娟,蔺佳良,张冠军,等.果胶酶对早酥梨汁的澄清试验实验研究[J].安徽农学通报,2011,17(17):178-180.
WEI J, LIN JL, ZHANG GJ, *et al.* The clarification effect of pectinase on Zaosu pear [J]. Anhui Agric Sci Bull. 2011, 17(17): 178-180.
- [8] 屈慧鸽,李荣,缪静,等.果胶酶对红葡萄酒主要成分的影响[J].酿酒科技,2005,(8):71-73.
QU HG, LI R, MIU J, *et al.* Effect of pectinase on main components of red wine [J]. Liquor-Making Technol, 2005, (8): 71-73.
- [9] 韦婷,何靖柳,刘翔,等.红阳猕猴桃果酒加工中果胶酶酶解工艺[J].食品工业,2020,41(10):45-49.
WEI T, HE JL, LIU X, *et al.* The pectinase enzymolysis technology in the process of Hongyang Kiwi fruit wine [J]. Food Ind, 2020, 41(10): 45-49.
- [10] BASHIR O, HUSSAIN SZ, GANI G, *et al.* Evaluating the physicochemical and antioxidant characteristics of apricot juice prepared through pectinase enzyme-assisted extraction from Halman variety [J]. J Food Meas Charact, 2021(15): 2645-2658.
- [11] GANI G, NAIK HR, JAN N, *et al.* Physicochemical and antioxidant properties of pear juice prepared through pectinase enzyme-assisted extraction from William Bartlett variety [J]. J Food Meas Charact, 2021, (15): 743-757.
- [12] ADELAKUN OE, OKE MO, AKANDE EA, *et al.* Extraction of mango juice with pectinase influences quality [J]. J Asian Food Sci, 2020.16(3): 43-52.
- [13] CAI T, XI PS, KOU CC, *et al.* Study on juice yield by compound enzymolysis in cloudy apple juice [J]. Mater Sci Forum, 2021, 1032: 45-50.
- [14] HASSAN SS, WILLIAMS GA, JAISWAL AK, *et al.* Computational modelling approach for the optimization of apple juice clarification using immobilized pectinase and xylanase enzymes [J]. Curr Res Food Sci, 2020, (3): 243-255.
- [15] 张忠平,杨旭.果胶酶对梨醋澄清效果的影响[J].中国调味品,2017,42(8):111-113.
ZHNG ZP, YANG X. Effect of pectinase on clarifying effect of pear vinegar [J]. China Cond, 2017, 42(8): 111-113.
- [16] 满云.柠檬酸发酵液中有有机酸含量 HPLC 法测定[J].淮南师范学院学报.2021,23(2):126-129.
MAN Y. Determination of organic acid in citric acid fermentation broth by HPLC [J]. J Huainan Norm Univ, 2021, 23(2): 126-129.
- [17] 陈蓉,张超,顾倩,等.柱前衍生-HPLC法同时测定不同产地茯苓中18种氨基酸含量[J].药物分析杂志,2017,37(2):297-303.
CHEN R, ZHANG C, GU Q, *et al.* Pre-column derivation HPLC determination of 18 amino acids in *Poria* from different areas [J]. Chin J Pharm Anal, 2017, 37(2): 297-303.
- [18] 叶杰,倪莉. Folin-ciocalteu 法测定黄酒中多酚含量[J].福建轻纺,2006,(11):66-69.
YE J, NI L. Determination of polyphenols in yellow rice wine by Folin-ciocalteu method [J]. Fujian Light Tex Ind, 2006, (11): 66-69.
- [19] 李艳松,文良娟.果胶酶对葡萄酒酿造过程中甲醇含量的影响[J].食品工业,2012,33(9):17-19.
LI YS, WEN LJ. Effects of pectinase on methanol content during wine fermentation [J]. Food Ind, 2012, 33(9): 17-19.
- [20] 杨毅,谢慧明,王海翔,等.浓缩砾山酥梨汁非酶促褐变中氨基酸变化的研究[J].食品科学,2008,29(2):116-119.
YANG Y, XIE HM, WANG HX, *et al.* Study on amino acid changes in non-enzymatic browning of Dangshan pear juice concentrate [J]. Food Sci, 2008, 29(2): 116-119.
- [21] CORNWELL CJ, WROLSTAD RE. Causes of browning in pear juice concentrate during storage [J]. J Food Sci, 1981, 46: 515-518.

(责任编辑:郑丽张晓寒)

作者简介



张霁红,硕士,副研究员,主要研究方向果蔬加工。

E-mail: 172235399@qq.com