

果胶酶低温处理山楂鲜果浆 制备山楂酒工艺优化

张 铎¹, 毛 健^{1,2,3,*}, 刘双平^{1,2,3}, 周志磊^{1,2,3}, 韩 笑^{1,2,3}, 武健美⁴
 (1. 江南大学粮食发酵工艺与技术国家工程实验室, 江南大学食品学院,
 江南大学食品安全与营养协同创新中心, 江苏无锡 214122;
 2. 国家黄酒工程技术研究中心, 浙江绍兴 312000;
 3. 江南大学(如皋)食品生物技术研究, 江苏如皋 226500;
 4. 江苏沐兰食品股份有限公司, 江苏镇江 212125)

摘要: 由于山楂中存在大量果胶, 制作山楂酒需对山楂果浆进行澄清处理。现有工艺多采用高温浸提或高温酶解的方式, 两种处理方式温度较高, 对山楂风味及营养都有不利影响。本研究通过优化果胶酶的处理温度、添加量、处理时间等条件, 开发新型低温酶解工艺处理山楂鲜果浆, 进而制备发酵山楂酒。本研究发现在 35 °C 条件下添加 0.15 mL/L 果胶酶处理 4 h 后, 山楂鲜果浆的透光率可高达 93%。同时该工艺相比未添加果胶酶处理的山楂果浆, 还原糖含量由 8.2 g/L 上升至 14.2 g/L, 总酸含量从 5.5 g/L 上升至 7 g/L, 对还原糖和总酸的提取效果较好。测定 35 °C 处理山楂果浆主要风味指标优于果胶酶 55 °C 酶解处理发酵的山楂酒。

关键词: 果胶酶, 优化, 山楂果浆, 透光率, 山楂酒

Optimization of low temperature pectinase hydrolysis treatment of fresh hawthorn pulp for preparation of hawthorn wine

ZHANG Duo^{1,2,3}, MAO Jian^{1,2,3,*}, LIU Shuang-ping^{1,2,3}, ZHOU Zhi-lei^{1,2,3}, HAN Xiao^{1,2,3}, WU Jian-mei⁴

(1. National Engineering Laboratory for Cereal Fermentation Technology, Jiangnan University, School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Synergetic Innovation Center of Food Safety and Nutrition, Jiangnan University, Wuxi 214122, China;
 2. National Engineering Research Center of Chinese Rice Wine, Shaoxing 312000, China;
 3. Jiangnan University and Rugao Institute of Food Technology, Rugao 226500, China;
 4. Jiangsu Mulan Food Co., Ltd., Zhenjiang 212125, China)

Abstract: Because there was a lot of pectin in the hawthorn, the hawthorn wine fermentation needed to clarify the hawthorn fruit pulp. The heat extracting and enzymatic hydrolysis were adapted to clarify the pulp, the two methods had negative effect on the flavor and nutrition because of the high treatment temperature. The research developed a new low temperature enzymatic hydrolysis process by optimizing the conditions such as pectinase addition, treatment temperature, processing time and so on. The treated pulp was used to make hawthorn wine. The transmittance of the pulp was 93% under the conditions; the temperature was 35 °C, the addition of pectinase was 0.15 mL/L, the processing time was 4 h. Compared to the pulp without enzymatic hydrolysis, the reducing sugar risen from 8.2 g/L to 14.2 g/L, the total acids risen from 5.5 g/L to 7 g/L. The extraction effects of reducing sugar and total acid were better. The flavor component of the hawthorn wine was better than the wine which enzymatic hydrolysis was under 55 °C.

Key words: pectinase; optimization; hawthorn pulp; transmittance; hawthorn wine

中图分类号: TS261.4 文献标识码: B 文章编号: 1002-0306(2017)19-0161-06
 doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2017.19.030

收稿日期: 2017-03-06

作者简介: 张铎(1992-), 男, 硕士研究生, 主要从事食品生物技术研究, E-mail: zdphill@163.com.

* 通讯作者: 毛健(1970-), 男, 博士, 教授, 主要从事食品生物技术研究, E-mail: maojian@jiangnan.edu.cn.

基金项目: 国家自然科学基金-面上项目(31571823); 江苏省自然科学基金-面上研究项目(K20161293); 2015年度区科技重点研发计划项目(NY2015009)。

山楂(*Crataeguspinnatifida Bunge*)是一种我国的传统水果,属于蔷薇科山楂属,是我国北方地区重要的栽培水果^[1]。传统发酵山楂酒制作工艺为对山楂进行热浸提制备山楂汁进而发酵制备。如有报道采用先在-35℃温度冷冻6h后85℃高温浸提山楂果20h,再使用果胶酶酶解浸提液制作山楂酒^[2]。该方法采用高温浸提易导致山楂营养成分及风味物质被破坏,并且整果浸提时山楂果破坏不完全,营养物质不能充分溶解,同时高温下易发生美拉德反应,影响山楂酒的风味口感,因此有必要探究低温条件下处理山楂鲜果的可行性。

鲜果浆发酵山楂酒是先将山楂粉碎打浆,进行果胶酶处理后直接发酵,发酵结束后进行离心过膜罐装。鲜果浆发酵山楂酒由于其低温工艺避免了高温处理山楂造成的风味营养损失,同时山楂果经过打浆破坏完全。山楂果中丰富的果胶含量导致酒体浑浊透光率低^[3],粘度大口感差,因此需要对山楂果浆进行果胶酶处理,降低粘度提升透光率。果胶是一种杂多糖,主要由D-半乳糖醛酸通过 α -(1,4)糖苷键连接成的直链高分子化合物^[4]。果胶酶是能分解果胶质的多种酶的总称,包括果胶聚半乳糖醛酸酶、聚甲基半乳糖醛酸酶、果胶甲酯水解酶、原果胶酶等^[5]。

目前,国内外关于果胶酶处理果汁已有部分报道。有研究发现香蕉汁悬浮颗粒主要是由蛋白质与碳水化合物组成,在酸性条件下,带正电荷的蛋白质被带负电荷的果胶包裹形成稳定的混浊体系,香蕉原汁中悬浮颗粒的平均粒径小而稳定,经过Pectinex SMASH处理后表面果胶被分解,内部蛋白质相互吸引聚集增大,最终形成聚合物而凝沉使果汁澄清^[6]。由此可见,果胶酶可以酶解果胶,显著提升透光率,但目前果胶酶处理的温度普遍较高。有报道发现果胶酶处理山楂汁的最优条件为1.36 U/mL,50℃处理1.7 h^[7]。可见探究的重点集中在果胶酶最适温度50~55℃条件下果胶酶的添加量。因该温度下仍会对山楂果浆风味营养品质产生不良影响^[8],有必要探究优化更低温度下果胶酶处理的更佳条件。相关文献表明透光率达到90%~95%可认为果汁基本澄清^[7]。

本文对果胶酶Novozymes Pectinex Yield MASH处理山楂鲜果浆的最优条件进行了探究,从山楂鲜果浆的果胶酶处理到制作发酵山楂酒都维持在较低温度,避免高温条件对山楂果浆风味营养的破坏,为山楂鲜果浆低温处理进而发酵山楂酒的工艺提供了指导。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

五棱山楂 购自山东省枣庄市;Novozymes Pectinex Yield MASH 果胶酶(30000 U/mL) 诺维信生物技术有限公司;RV171 商业安琪酿酒酵母 安琪酵母股份有限公司;其他试剂为国产分析纯。

DFY-300 型摇摆式高速万能粉碎机 温岭市林大机械有限公司;FE-20 型 pH 计 梅特勒-托利多

公司;7230G 型分光光度计 上海佑科仪器有限公司;EL3002 型电子天平 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;RJ-LDL-50G 型台式低速大容量离心机 无锡瑞江分析仪器有限公司;AR-1000 型流变仪 美国 TA 仪器公司(英国分公司);Thermo Fisher Trace 气相色谱质谱联用仪 美国 Thermo 公司;Sy-2 型错流膜过滤器 绍兴海纳膜技术有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 制备山楂鲜果浆 将山楂洗净去核,使用粉碎机粉碎,按1:4的料水比(以质量计)加入打浆机中打浆,制得山楂果浆。

1.2.2 果浆发酵山楂酒的制备 将山楂果浆进行果胶酶处理,处理3L山楂果浆装入5L烧杯中,补糖200 g/L,按添加量2 g/L活化6g安琪商业酵母菌并加入烧杯中,放入22℃恒温培养箱中静置发酵,每天监测理化指标,当残糖低于10 g/L时视为发酵结束,用低速大容量离心机离心处理,取上清液于干净烧杯中,再过微滤膜装入容器得到果浆发酵山楂酒^[2]。

1.2.3 果胶酶处理温度对山楂果浆澄清效果的影响 添加0.2 mL/L果胶酶在不同温度下处理5h观察山楂果浆澄清效果。设置如下温度梯度:20、25、30、35、40、50℃,每组3个平行。处理结束后离心,离心条件:转速5000 r/min,离心时间10 min。取上清液测定如下指标判断处理效果:透光率、pH、总酸、还原糖、粘度。

1.2.4 果胶酶添加量对山楂果浆澄清效果的影响 在35℃条件下分别加入0、0.01、0.02、0.05、0.08、0.1、0.15、0.2、0.3、0.5 mL/L的果胶酶处理山楂果浆5h,每组3个平行,处理结束后离心,离心条件:转速5000 r/min,离心时间10 min。取上清液测定如下指标判断处理效果:透光率、pH、总酸、还原糖、粘度。

1.2.5 果胶酶处理时间对山楂果浆澄清效果的影响 添加0.15 mL/L果胶酶在35℃条件下比较不同处理时间对山楂果浆澄清效果的影响。在35℃条件下分别处理0、1、2、3、4、5 h,每组3个平行,处理结束后离心,离心条件:转速5000 r/min,离心时间10 min。取上清液测定如下指标判断处理效果:透光率、pH、总酸、还原糖、粘度。

1.2.6 相关理化指标测定方法 透光率:取离心后的上清液,以蒸馏水作为对照,使用分光光度计在670 nm处测定透光率 T ^[8-9];粘度:使用质构流变仪测定样品的粘度;总酸:采用电位滴定法^[10];还原糖:使用DNS法测定^[11];pH:使用pH计法^[10];酒度:采用蒸馏法测定^[10]。

1.2.7 不同果胶酶处理温度果浆发酵山楂酒风味物质检测 分别在35℃和55℃条件下使用果胶酶处理山楂果浆,按1.2.2制备果浆发酵山楂酒,取样测定风味物质。样品处理:将山楂酒酒精度稀释至3%,取6 mL稀释后酒液,加到20 mL顶空瓶中,加1.5 g NaCl,30 μ L内标(8800 μ g/L 2-辛醇)。使用50/30 μ m DVB/CAR/PDMS萃取头(使用前250℃老化30 min),50℃下吸附40 min,250℃解吸7 min,用于

GC-MS 测定。GC 条件:色谱柱: TG-WAXMS (30 m × 0.25 μm × 0.25 mm); 进样口温度: 250 °C; 程序升温: 40 °C 保持 3 min; 6 °C/min 升温至 100 °C; 10 °C/min 升温至 230 °C, 保持 7 min; 载气: 高纯氦气 (>99.999%), 不分流, 流速为 1.0 mL/min。MS 条件: 离子化方式: EI, 发射电流: 50 μA, 电子能量: 70 eV, 离子源温度: 230 °C, 传输线温度: 250 °C, 扫描范围: 33~400 amu^[12]。

1.2.8 数据处理和分析方法 利用 Excel2013 整理分析实验数据, 使用 Origin Pro 8.0 绘制相关图表。

2 结果与分析

2.1 果胶酶处理温度优化实验

热处理会对果汁品质产生不良影响, 万鹏^[13]等人研究发现热处理过程中抗坏血酸和总酚含量明显下降, 同时热处理还会导致果汁风味香气成分和营养物质的热降解。因此有必要探究果胶酶能否在较低温度下处理山楂鲜果浆, 使其离心过滤后透光率提升至 90% 以上。实验发现在果胶酶添加量为 0.2 mL/L, 处理时间 5 h 的条件下, 果胶酶处理时温度变化对于山楂果浆的 pH、总酸和还原糖影响较小, pH 基本维持在 3.12 左右, 总酸含量为 6.9 g/L 左右, 而还原糖在 14 g/L 左右。

果胶酶活力受温度变化影响较大, 50 °C 左右被认为是果胶酶处理的最适温度^[14-15]。如图 1 所示, 果胶酶处理时间为 5 h, 处理温度在 25~30 °C 时, 山楂果浆透光率很低为 10%~30%。说明此温度下果胶酶活力很低, 即使处理时间为 5 h, 果胶酶也不足以酶解山楂鲜果浆中的果胶。当处理温度达到 35 °C 后山楂果浆的透光率可以达到 90%。如图 2 所示粘度呈现先下降后不变的趋势, 当处理温度达到 35 °C 后粘度可以达到 0.03 Pa·s 以下。因此使用果胶酶处理山楂鲜果浆, 处理温度必须达到 35 °C 以上, 果胶酶较好的处理效果。

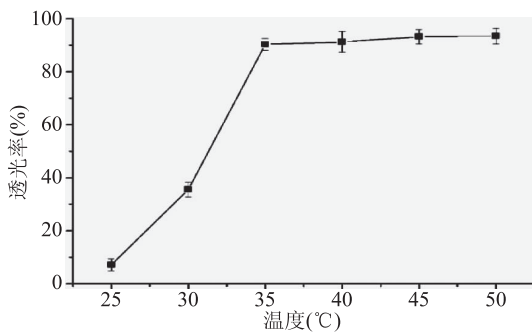


图1 果胶酶处理温度对透光率影响

Fig.1 Effect of pectinase treatment temperature on transmittance

2.2 果胶酶添加量优化实验

处理山楂鲜果浆中果胶酶的添加量是影响生产成本的重要因素, 因此在能够处理至满意效果的前提下, 果胶酶的添加量越少越好^[16], 有必要对果胶酶的添加量进行优化, 探究果胶酶在 35 °C 条件下处理山楂鲜果浆 5 h 后离心处理得到的山楂果浆透光率在 90% 以上的最佳添加量。

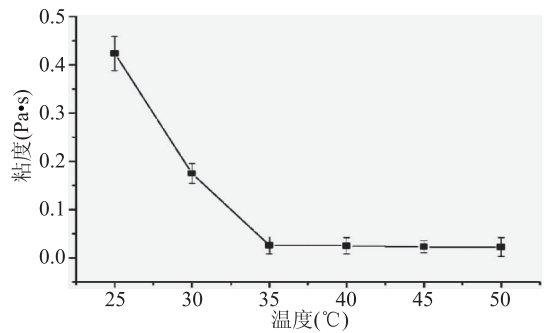


图2 果胶酶处理温度对粘度影响

Fig.2 Effect of pectinase treatment temperature on viscosity

2.2.1 果胶酶添加量对透光率的影响 透光率是衡量果汁澄清度的指标, 透光率越高表明果汁越澄清^[7,17]。果胶酶添加量直接影响山楂果浆的透光率, 果胶酶会酶解裹复在浑浊物颗粒表面以保护胶体形式存在的果胶。当果胶被酶解后, 这些浑浊物失去了保护, 浑浊物颗粒相互絮凝在果汁中沉淀^[18], 再经过离心过滤处理去除沉淀后山楂果浆的透光率上升。如图 3 所示, 35 °C 条件下经果胶酶处理 5 h 的山楂果浆透光率随果胶酶添加量的增加呈先上升后不变的趋势, 未进行果胶酶处理时, 山楂果浆透光率仅为 67%。在添加果胶酶处理后, 山楂果浆的透光率在添加量 0~0.15 mL/L 时迅速升高, 当果胶酶添加量达到 0.15 mL/L 后, 山楂果浆的透光率基本不变, 维持在 93%~95% 左右。此时透光率可达满意效果, 因此从透光率考虑果胶酶的添加量应为 0.15 mL/L。

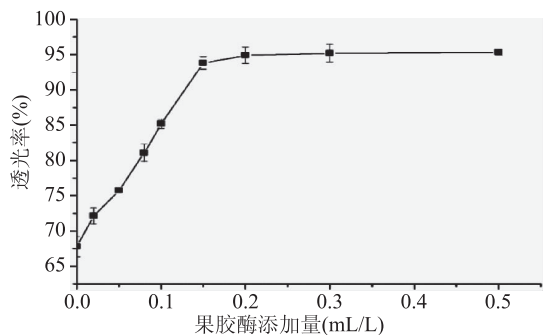


图3 果胶酶添加量对透光率的影响

Fig.3 Effect of pectinase content on transmittance

2.2.2 果胶酶添加量对 pH 影响 如图 4 所示, 处理后的山楂果浆 pH 随果胶酶添加量的增加总体上呈反 S 型, 果胶酶添加量较少时, 即添加量为 0~0.05 mL/L 时, pH 变化很小维持在 3.18 左右, 当果胶酶添加量为 0.05~0.1 mL/L 时, 山楂果浆 pH 下降较快从 3.18 降至 3.07 左右, 果胶酶添加量达到 0.1 mL/L 后, 随着果胶酶添加量的升高, pH 基本不变。可能由于适量的果胶酶加入后酶解果胶, 分解成为果胶酸和果胶酯酸^[5,19], 这些物质呈现弱酸性导致 pH 的降低, 随着添加量继续增加果胶基本被酶解完全, 不再继续酶解生成酸性物质, pH 保持稳定。

2.2.3 果胶酶添加量对总酸影响 处理后的山楂果浆总酸随果胶酶添加量的增加呈先上升后稳定的趋势, 如图 5 所示, 当果胶酶添加量为 0~0.08 mL/L 时,

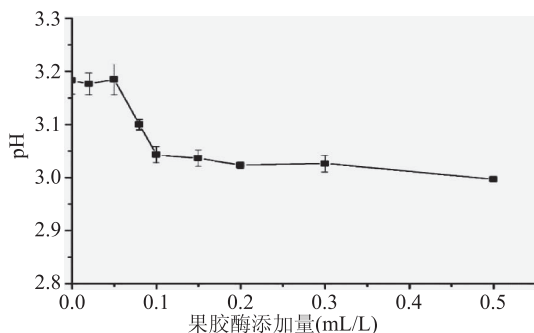


图4 果胶酶添加量对 pH 的影响

Fig.4 Effect of pectinase content on pH

山楂酒的总酸上升较快,从 5.5 g/L 升至约 7.0 g/L,当果胶酶添加量达到 0.08 mL/L 后,总酸基本稳定不变,维持在到 7 g/L 左右。果胶酶添加量对总酸的影响变化在 0.05 mL/L 后总体上和果胶酶对 pH 的变化图反应的内容保持一致。可能由于开始时果胶酶添加量较少,导致仅有少量果胶被酶解成果胶酸和果胶酯酸溶入果汁中,两种物质未电离完全,因此总酸虽然升高而 pH 却几乎不变^[6]。随着果胶酶添加量的上升,果胶逐渐被全部酶解,生成的果胶酸和果胶酯酸电离完全^[19],此时总酸和 pH 的变化趋势保持一致,即 pH 先降低后不变,总酸先升高后不变。

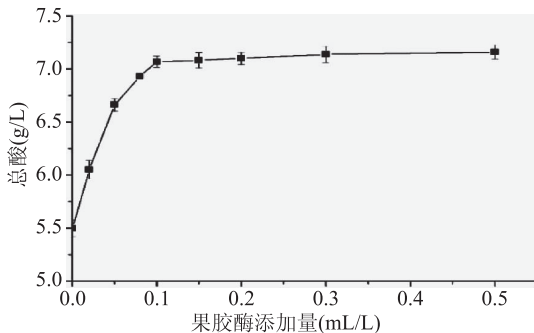


图5 果胶酶添加量对总酸的影响

Fig.5 Effect of pectinase content on total acids

2.2.4 果胶酶添加量对还原糖影响 如图6所示,处理后的山楂果浆还原糖随果胶酶添加量的增加呈现先平稳后上升的趋势,当果胶酶的添加量从 0~0.1 mL/L 时,还原糖含量基本维持在 8 g/L 左右。当果胶酶添加量从 0.1~0.3 mL/L 时,还原糖含量升高较快,而后还原糖基本维持稳定。说明随着果胶酶使用量的提高,山楂中的各种成分越来越多地溶进山楂果浆中,由于果胶酶的作用,还原糖表面的果胶被解离,这部分还原糖导致山楂果浆中还原糖含量升高^[20]。当果胶酶添加量在 0.1~0.15 mL/L 时,果胶酶添加量增加了 0.05 mL/L,还原糖从 8.3 g/L 升至 10.9 g/L,增加了 2.6 g/L;当果胶酶添加量从 0.15 mL/L 到 0.3 mL/L 时,果胶酶添加量增加了 0.15 mL/L,而还原糖含量仅从 10.9 g/L 升至 14.2 g/L,增加了 3 g/L。虽然还原糖都升高 3.3 g/L,但果胶酶添加量前者仅为后者的 1/2,说明前者的使用效率更高。因此从经济角度考虑,果胶酶添加量为 0.15 mL/L 较为合适。

2.2.5 果胶酶添加量对粘度影响 如图7所示,处理后的山楂果浆粘度随果胶酶添加量的增加呈先上升后

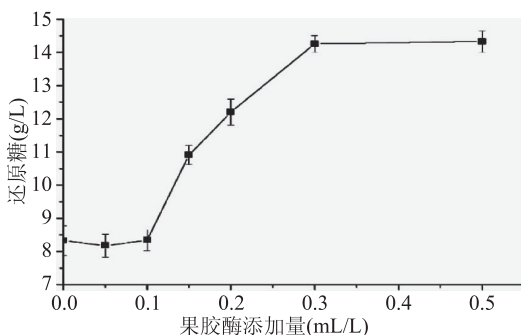


图6 果胶酶添加量对还原糖的影响

Fig.6 Effect of pectinase content on reducing sugar

下降最后基本不变的趋势。不添加果胶酶时山楂果浆粘度较低,随着果胶酶添加量从 0 上升至 0.05 mL/L 时,山楂果浆粘度迅速上升,从 0.05 Pa·s 升高至 11.22 Pa·s,这可能是由于加入少量果胶酶后山楂中的果胶溶入水中,而果胶酶的添加量较少,不足以酶解大量果胶,因此导致山楂果浆粘度迅速升高,当果胶酶添加量为 0.05~0.15 mL/L 时,山楂果浆粘度迅速降低,从 11.22 Pa·s 降至 0.02 Pa·s,此后随果胶酶添加量的增加,山楂果浆中影响粘度的主要成分果胶逐渐被果胶酶酶解,因此山楂果浆的粘度迅速降低,当果胶酶添加量达到 0.15 mL/L 后,粘度基本不变。

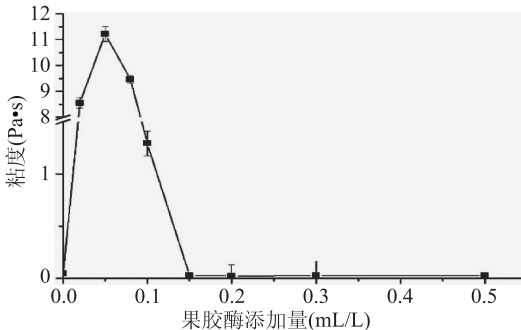


图7 果胶酶添加量对粘度的影响

Fig.7 Effect of pectinase content on viscosity

结合前述图表可以看出,果胶酶添加量为 0~0.05 mL/L 时,山楂果浆中总酸等逐渐升高,粘度也随之升高,随着果胶酶添加量继续增加,山楂果浆中总酸继续升高,还原糖逐渐升高,粘度逐渐降低。透光率在添加量达到 0.15 mL/L 后可达 93%。综合前述分析,结合产品质量、经济因素综合考虑,果胶酶在 35 °C 条件下的最适添加量为 0.15 mL/L。

2.3 果胶酶处理时间优化实验

果胶酶处理时间也影响最终的处理效果,当果胶酶添加量一定时,处理温度升高时,所需的处理时间较少,当处理温度降低时,所需的处理时间有所增加。山楂鲜果浆的处理过程会与空气接触,其中的营养物质和风味成分会被氧化^[21]。因此果胶酶处理需要静置、密封,尽量减少与空气的接触,同时在保证酶处理效果的前提下尽量减少处理时间。前述实验已确定果胶酶的添加量,降低了果胶酶的处理温度,现需要优化确定 0.15 mL/L 果胶酶 35 °C 条件下处理山楂果浆至透光率达到 90% 以上的最少处理时间。

前期实验表明果胶酶处理时间变化对于 pH、总酸及还原糖影响较小, pH 维持在 3.2 左右, 总酸约为 6.8 g/L, 还原糖约为 11 g/L, 但对于透光率的影响较为明显。从图 8 中可以看出, 随着处理时间的增加, 透光率整体呈现上升趋势, 当处理时间达到 4 h 后透光率达到 93%。从图 9 中可以看出, 随着处理时间的增加, 粘度总体呈下降趋势, 处于较低水平。当处理时间达到 4 h 后, 粘度降至 0.03 Pa·s。因此确定 0.15 mL/L 果胶酶 35 °C 条件下处理山楂鲜果浆的时间为 4 h。此时山楂果浆经离心处理后的透光率粘度均能达到满意效果。

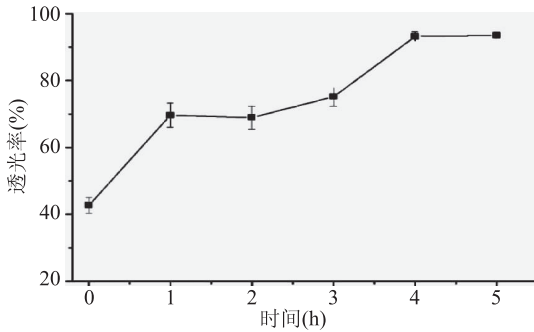


图 8 果胶酶处理时间对透光率的影响

Fig.8 Effect of pectinase processing time on transmittance

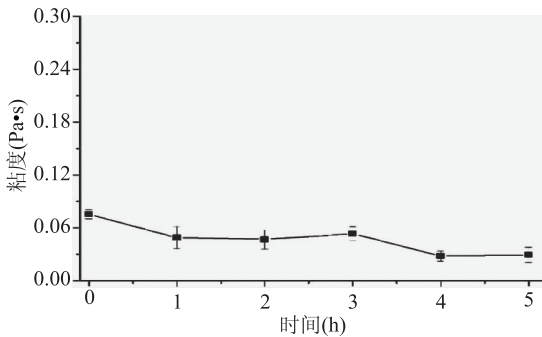


图 9 果胶酶处理时间对粘度的影响

Fig.9 Effect of pectinase processing time on viscosity

2.4 山楂鲜果浆发酵山楂酒

2.4.1 发酵山楂酒理化指标 按 1.2.2 制备果浆发酵山楂酒并测定理化指标, 见表 1。实验表明, 果胶酶 35 °C 条件下处理山楂果浆进而发酵制得的山楂酒理化指标均符合山楂酒行业标准: QB/T 1983-1994《山楂酒》。

表 1 果浆发酵山楂酒理化指标

Table 1 The physical and chemical index of the fermented hawthorn wine

酒度 (%)	还原糖 (g/L)	总酸 (g/L)	pH	透光率	粘度 (Pa·s)
10.8	8.65	7.58	3.3	92.7	0.03

2.4.2 发酵山楂酒风味指标 对山楂果浆分别采用 35 °C 和 55 °C 进行果胶酶处理并制作果浆发酵山楂酒。果酒中的主要风味物质乙酸乙酯、乙酸异戊酯、异戊醇、辛酸乙酯、苯乙醇等^[22], 测定两种山楂酒的上述主要风味物质, 具体含量见表 2。

表 2 果浆发酵山楂酒主要风味成分含量

Table 2 The main flavor components content of the fermented hawthorn wine

化合物	35 °C 果胶酶处理发酵山楂酒 (mg/L)	55 °C 果胶酶处理发酵山楂酒 (mg/L)
乙酸乙酯	3.256 ± 0.122	2.956 ± 0.961
乙酸异戊酯	1.267 ± 0.056	0.676 ± 0.037
异戊醇	3.872 ± 0.095	3.289 ± 0.107
辛酸乙酯	0.638 ± 0.063	0.892 ± 0.052
苯乙醇	0.785 ± 0.047	0.562 ± 0.059

除辛酸乙酯外, 35 °C 果胶酶处理山楂鲜果浆发酵山楂酒的风味成分: 乙酸乙酯、乙酸异戊酯、异戊醇、苯乙醇等含量均高于 55 °C 果胶酶处理山楂果浆发酵山楂酒。说明果胶酶 35 °C 低温处理山楂果浆后酿造的果浆发酵山楂酒的风味较好, 可能由于山楂果浆未经高温处理, 避免了高温条件破坏风味物质。

3 结论

果胶是导致山楂果浆及山楂酒粘度高口感差、透光率低较浑浊的主要原因。果胶酶处理山楂果浆可以降解果胶, 降低粘度提升透光率。通过上述果胶酶优化实验表明果胶酶在较低温度 35 °C 条件下可以较充分酶解果胶使果浆的透光率达到 90%。进一步实验表明, 果胶酶在较低温度下处理料液比为 1:4 的山楂鲜果浆最佳条件为: 果胶酶添加量 0.15 mL/L, 处理温度 35 °C, 处理时间 4 h, 此时山楂鲜果浆经离心过滤操作后的得到的山楂果浆透光率为 93%, 相比未添加果胶酶处理的山楂果浆, pH 从 3.18 降至 3.07 左右, 还原糖含量由 8.2 g/L 上升至 14.2 g/L, 总酸含量从 5.5 g/L 上升至 7 g/L, 粘度降至 0.02 Pa·s, 对还原糖和总酸的提取效果较好且粘度较低。使用经处理的山楂鲜果浆发酵制得的山楂酒主要风味成分优于 55 °C 酶解山楂果浆制得的山楂酒。实验表明在较低温度下使用果胶酶处理山楂鲜果浆具备可行性, 并制作了山楂鲜果浆发酵山楂酒, 为今后工业中低温处理山楂果浆进而发酵山楂酒提供了指导。

参考文献

- [1] Azimova S S, Glushenkova A I. *Crataeguspinnatifida* Bunge [M]. Springer London, 2012: 1-2.
- [2] 张建才. 山楂发酵酒生产工艺优化研究 [D]. 秦皇岛: 河北科技师范学院, 2013: 18-19.
- [3] 姚艾东, 颜栋美, 李燕. 山楂汁澄清工艺的研究 [J]. 饮料工业, 2001, 4(2): 32-35.
- [4] Pérez S, Mazeau K, Penhoat C. The three - dimensional structures of the pectic polysaccharides [J]. *Plant Physiology & Biochemistry*, 2000, 38(1-2): 37-55.
- [5] Gummadi S N, Panda T. Purification and biochemical properties of microbial pectinases - a review [J]. *Process Biochemistry*, 2003, 38(7): 987-996.
- [6] 王素雅, 王璋. 果浆酶 Pectinex SMASH 澄清香蕉汁的机理 [J]. 食品与发酵工业, 2004, 30(12): 19-25.

(下转第 171 页)

[6] Castro-Torres I G, De la O-Arciniega M, Gallegos-Estudillo J, et al. Raphanus sativus L. var niger as a source of phytochemicals for the prevention of cholesterol gallstones [J]. *Phytother Res*, 2014, 28(2):167-171.

[7] Zhang Y, Kensler T W, Cho C G, et al. Anticarcinogenic activities of sulforaphane and structurally related synthetic norbornyl isothiocyanates [J]. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 1994, 91(8):3147-3150.

[8] Beevi S S, Mangamoori L N, Subathra M, et al. Hexane Extract of Raphanus sativus L. Roots Inhibits Cell Proliferation and Induces Apoptosis in Human Cancer Cells by Modulating Genes Related to Apoptotic Pathway [J]. *Plant Foods for Human Nutrition*, 2010, 65(3):200-209.

[9] Song L, Thornalley P J. Effect of storage, processing and cooking on glucosinolate content of Brassica vegetables [J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2007, 45(2):216-224.

[10] Murcia M A A, Jiménez A M A, Martínez - Tomé M. Vegetables antioxidant losses during industrial processing and refrigerated storage [J]. *Food Research International*, 2009, 42(8):1046-1052.

[11] Nakamura Y, Iwashita T, Tanaka A, et al. 4-(Methylthio)-3-butenyl Isothiocyanate, a Principal Antimutagen in Daikon (Raphanus sativus; Japanese White Radish) [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2001, 49(12):5755-5760.

[12] Hanlon P R, Webber D M, Barnes D M. Aqueous Extract from Spanish Black Radish (Raphanus sativus L. Var. niger) Induces Detoxification Enzymes in the HepG2 Human Hepatoma Cell Line [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2007, 55(16):6439-6446.

[13] GB5009.3—2016 食品中水分的测定方法[S].北京:中国标准出版社,2016.

[14] Syed S B S. Antioxidant, antimicrobial and chemopreventive

efficacy of Raphanus sativus [J]. *Kukatpally*, 2010.

[15] Amarowicz R, Estrella I, Hernandez T, et al. Free radical-scavenging capacity, antioxidant activity, and phenolic composition of green lentil (*Lens culinaris*) [J]. *Food Chemistry*, 2010, 121(3):705-711.

[16] Yuan G F, Wang X P, Guo R F, et al. Effect of salt stress on phenolic compounds, glucosinolates, myrosinase and antioxidant activity in radish sprouts. [J]. *Food Chemistry*, 2010, 121(4):1014-1019.

[17] Martínez - Villaluenga C, Pe As E, Ciska E, et al. Time dependence of bioactive compounds and antioxidant capacity during germination of different cultivars of broccoli and radish seeds [J]. *Food Chemistry*, 2010, 120(3):710-716.

[18] Coogan R C, Wills R B H. Effect of drying and salting on the flavour compound of Asian white radish [J]. *Food Chemistry*, 2002, 77(3):305-307.

[19] 孟天真, 闫永芳, 赵春江, 等. 中式烹饪对马铃薯中抗性淀粉及主要营养物质的影响 [J]. *食品工业科技*, 2012(11):86-89.

[20] Burgos G, Amoros W, Muñoa L, et al. Total phenolic, total anthocyanin and phenolic acid concentrations and antioxidant activity of purple-fleshed potatoes as affected by boiling [J]. *Journal of Food Composition & Analysis*, 2013, 30(1):6-12.

[21] Mejía Garibay B, Palou E, Lópezmaló A. Composition, diffusion, and antifungal activity of black mustard (*Brassica nigra*) essential oil when applied by direct addition or vapor phase contact. [J]. *J Food Prot*, 2015, 78(4):843-848.

[22] 马婧, 袁春龙, 杨丽, 等. 不同粉碎条件对葡萄籽超微粉破壁率的影响 [J]. *食品工业科技*, 2015(4):247-250.

[23] 李雷, 邹翔, 季宇彬. 十字花科植物中异硫氰酸盐的性质及活性研究 [J]. *哈尔滨商业大学学报:自然科学版*, 2007, 23(4):385-389(399).

(上接第165页)

[7] 伍军, 陈壁洲, 韩秀峰, 等. 山楂果汁澄清工艺研究 [J]. *食品科技*, 2004(9):62-65.

[8] 黄优生, 谢明勇, 聂少平, 等. 山楂提取物的抗氧化活性研究 [J]. *食品与生物技术学报*, 2010, 29(2):189-192.

[9] Shahadan S, Abdullah A. Optimizing enzyme concentration, pH and temperature in banana juice extraction [J]. *Asean Food Journal*, 1995, 156-166.

[10] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 15038-2006. 葡萄酒、果酒通用分析方法[S].北京:中国标准出版社,2006.

[11] 王春晓, 江璐, 刘延琳. DNS法监控葡萄酒发酵进程的应用研究 [J]. *中国酿造*, 2012, 31(9):24-27.

[12] Wang L, Xu Y, Zhao G, et al. Rapid analysis of flavor volatiles in apple wine using headspace solid-phase microextraction [J]. *Journal of the Institute of Brewing*, 2004, 110(1):57-65.

[13] 万鹏, 刘亮, 潘思轶, 等. 热处理对荔枝果汁品质的影响 [J]. *食品科学*, 2010, 31(7):22-27.

[14] 陈娟, 阚健全, 杜木英, 等. 果胶酶制剂及其在果浆出汁和果汁澄清方面的应用 [J]. *中国食品添加剂*, 2006(3):119-124.

[15] Pinelo M, Zeuner B, Meyer A S. Juice clarification by protease and pectinase treatments indicates new roles of pectin and protein in cherry juice turbidity [J]. *Food & Bioprocess Technology*, 2010, 88(8):259-265.

[16] Boulton R B, Singleton V L, Bisson L F, et al. Principles and Practices of Winemaking [M]. Springer US, 1999:86-87.

[17] 刘姗姗, 韩焜, 周志江. 澄清草莓汁制作工艺的研究 [J]. *食品工业科技*, 2008(5):241-242.

[18] Yamasaki M, Yasui T, Arima K. Pectic enzymes in the clarification of apple juice [J]. *Agricultural & Biological Chemistry*, 1964, 31(11):552-560.

[19] B. Cheirsilp, K. Umsakul. Processing of banana-based wine product using pectinase and α -amylase [J]. *Journal of Food Process Engineering*, 2008, 31(1):78-90.

[20] Carrilho M E, Ceci L N, Lozano J E. Characterization of starch in apple juice and its degradation by amylases [J]. *Food Chemistry*, 2004, 87(2):173-178.

[21] 欧阳玉祝, 李佑稷, 张萍, 等. 添加芦荟提取物对猕猴桃果汁抗氧化性的影响 [J]. *食品科学*, 2008, 29(10):71-74.

[22] 于爱梅, 徐岩, 王栋, 等. 发酵原料对苹果酒挥发性香气物质影响的分析 [J]. *中国农业科学*, 2006, 39(4):786-791.