

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw202004030

张华玲, 韩静, 刘绪, 等. 苹果渣乙醇提取物抗菌活性及防腐作用研究 [J]. 广西植物, 2021, 41(7): 1181–1187.

ZHANG HL, HAN J, LIU X, et al. Antibacterial activity and antiseptic effect of ethanol extract from apple pomace [J]. *Guihaia*, 2021, 41(7): 1181–1187.

苹果渣乙醇提取物抗菌活性及防腐作用研究

张华玲^{1,2}, 韩静¹, 刘绪^{1,2*}, 蒲柳¹, 管媛媛¹, 段洁莹¹

(1. 成都师范学院 化学与生命科学学院, 成都 611130; 2. 酿酒生物技术及应用四川省重点实验室, 四川 自贡 643000)

摘要: 为提高苹果渣资源利用率, 探究苹果渣乙醇提取物的抗菌活性和防腐性能, 该文采用微波辅助提取法制取苹果渣乙醇提取物, 用抑菌圈实验测定其抗菌活性, 并研究了其防腐作用。结果表明: (1) 苹果渣乙醇提取物对酵母菌抑制作用不明显 (抑菌圈直径 < 1 mm), 对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌的抑菌作用较明显 (抑菌圈直径为 6~9 mm), 最佳抑菌浓度为 $4.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。(2) pH 值和盐浓度对其抑菌效果有影响, pH 值为 6~7, 盐浓度为 $5.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, 抑菌效果最好。(3) 对百香果有较好的保鲜防腐效果, 最佳使用浓度为 0.2%。在该浓度下贮藏后的百香果腐烂率为 6.7% (对照组为 67%), 失重率为 5.5% (对照组为 36.3%), 可溶性固形物、总酸含量均与贮藏前差异不显著 ($P > 0.05$) (对照组 $P < 0.05$), 且果实较饱满, 硬度较高, 鲜艳有光泽, 酸甜适中。综上所述, 苹果渣乙醇提取物对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌具有良好的抑制作用, 对百香果的保鲜防腐效果佳, 可应用到天然食品的保鲜防腐。

关键词: 苹果渣, 乙醇提取物, 百香果, 抗菌活性, 防腐作用

中图分类号: TS209 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2021)07-1181-07

Antibacterial activity and antiseptic effect of ethanol extract from apple pomace

ZHANG Hualing^{1,2}, HAN Jing¹, LIU Xu^{1,2*}, PU Liu¹, GUAN Yuanyuan¹, DUAN Jieying¹

(1. College of Chemistry and Life Sciences, Chengdu Normal University, Chengdu 611130, China; 2. Liquor-Making Bio-Technology & Application of Key Laboratory of Sichuan Province, Zigong 643000, Sichuan, China)

Abstract: In order to improve the utilization of apple pomace resources, verify the antibacterial activity and antiseptic properties of the ethanol extract of apple pomace, the antibacterial activity of extract from apple pomace were determined by the inhibition zone test. In addition, the antibacterial effect of the extract under different pH and salt concentration had been studied. At the same time, the ethanol extract of apple pomace was applied to the preservation of *Passiflora edulia*, using sensory scores and various physical and chemical indicators (Vc, soluble solids, total acid, solid acid ratio) as the basis to investigate the antiseptic effect of the extract. The results were as follows: (1) The ethanol extract of apple pomace had no obvious inhibitory effect on yeasts (diameter of inhibition zone < 1 mm), but it had obvious inhibitory effect on *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* (diameter of inhibition zone was 6–9 mm). (2) The best

收稿日期: 2020-11-03

基金项目: 酿酒生物技术及应用四川省重点实验室开放基金项目 (NJ2017-13); 国家大学生创新创业项目 (201814389142); 四川省科技计划重点研发项目 (2019YFG0170) [Supported by Liquor-Making Bio-Technology & Application of Key Laboratory of Sichuan Province (NJ2017-13); College Students Innovation and Entrepreneurship Program (201814389142); Key R & D Projects of Sichuan Science and Technology Program (2019YFG0170)]。

作者简介: 张华玲 (1982-), 硕士, 讲师, 主要从事作物遗传及农副产品加工技术研究, (E-mail) zhanghualing2010@163.com。

***通信作者:** 刘绪, 硕士, 副教授, 主要从事食品原料及加工技术研究, (E-mail) 465685853@qq.com。

inhibitory concentration for these strains was $4.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$. In addition, when the antibacterial effect of the extract was optimal, the pH was 6–7 and the salt concentration was $5.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$. (3) The optimal concentration for *Passiflora edulia* was 0.2%, and the rot rate after storage at this concentration was only 6.7% (control group was 67%), and the weight loss rate was 5.5% (control group was 36.3%). The soluble solids and total acid content were not significantly different from those before storage ($P > 0.05$) (control group $P < 0.05$). And most of the fruits were plump, firm, bright and shiny, moderately sweet and sour. The antibacterial extract of apple pomace has antibacterial activity and significant antiseptic effect, and provides a theoretical basis for the development and utilization of apple pomace resources.

Key words: apple pomace, ethanol extracts, *Passiflora edulia*, antibacterial activity, antiseptic effect

目前中国已成为世界上苹果(*Malus domestica*)产量最多的国家。但是苹果渣的利用率非常低,更多被当作废物处理,造成资源浪费和环境污染。每1 000 t 苹果中约有 200 t 苹果渣。因此,苹果渣的加工潜力巨大。新鲜苹果渣含水量为 74% ~ 90%,苹果渣经过干燥后约有 55 t 可利用。因此,苹果渣再利用问题已经成为一个亟待解决的问题(刘永清等,2015)。

苹果渣中的干物质主要是粗蛋白、粗脂肪、粗纤维,以及多糖、酚类、黄酮等活性物质,具有较大的开发利用价值(杨福有等,2000;东莎莎,2017)。现有研究主要利用苹果渣制备多糖(房斐等,2019),提取纤维素(陈雪峰等,2018)、多酚(田莉等,2017),以及作为畜禽饲料开发(靳文广等,2018)等。相关研究表明苹果渣提取物具有良好的抑菌作用。董彩文等(2008)从苹果渣中提取的黄酮对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌具有较好的抑菌效果;单静敏等(2011)从苹果中提取原花青素,证实其对变形链球菌、金黄色葡萄球菌都有抑制作用;周春娣(2014)的研究发现苹果渣多酚对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和枯草杆菌显示了不同程度的抑制作用。此外,有研究表明苹果渣提取物具有抗氧化性、清除自由基的特性。李珍(2014)的研究表明苹果皮渣多酚对 ABTS 自由基、DPPH· 自由基、超氧阴离子自由基均有较强的清除作用,对 Fe^{3+} 具有显著的还原能力;卢艺惠等(2020)证实了从苹果籽壳中提取的色素对 DPPH· 自由基、羟基自由基以及超氧阴离子自由基有较好的清除能力;陈文超(2017)的研究表明苹果渣的低聚糖提取液也有一定的 DPPH·、羟基自由基的清除能力。上述研究表明了苹果渣提取物具有良好的抑菌和抗氧化的作用,在医药及功能性食品开发方面为苹果渣的综合利用提供了科学依据。微生物大量滋生和氧化反应也是引起食物腐烂变质的重要因素,大肠杆

菌、金黄色葡萄球菌也是腐败食物中常见的菌群,而上述研究揭示了苹果渣提取物有用于食物防腐的可能。苹果渣提取物是否能用于食物防腐,特别是易腐烂水果上的应用还鲜有报道,其抑菌效果是否能达到防腐的要求,这一问题尚需深入研究和证实。

为了解决苹果渣资源浪费的问题,以及探究苹果渣乙醇提取物的抗菌活性和在天然食品上的实际保鲜防腐作用,本研究采用微波辅助法提取苹果渣乙醇提取物,以大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和酵母菌为指示菌,研究了苹果渣乙醇提取物抗菌活性和较优抑菌条件;以热带水果百香果(*Passiflora edulia*)为实验对象,研究苹果渣乙醇提取物的实际防腐作用,为利用苹果渣开发新型天然食品防腐剂提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 材料、仪器、设备

材料:新鲜红富士苹果,市售;新鲜红皮百香果,采购于广西靖西县百香百味铺。

检测菌株:大肠杆菌(*Escherichia coli*)、金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)、酵母菌(*Yeast*),均由成都师范学院实验室提供。材料与菌种均由成都师范学院刘绪副教授鉴定。

主要试剂:钨酸钠、钼硫酸锂为国产分析纯;没食子酸标准品(五峰赤诚生物科技股份有限公司)。

主要设备:5100B 型紫外分光光度计(上海元析仪器有限公司);RE-52AA 型旋转蒸发器(上海亚荣生化仪器厂);RM50 型折光率仪(上海昊扩科技有限公司);WI27740 型自动滴定仪(北京北瑞达医药科技有限公司)。

1.2 方法

1.2.1 苹果渣乙醇提取液的制备 榨汁后的苹果渣压片置于干燥箱($120 \text{ }^\circ\text{C}$, 10 h)烘干备用,每次

称取 5.00 g 苹果渣片于破碎机中破碎,置于 100 mL 三角瓶中加入正己烷浸泡 24 h,阴干后,按料液比 1:30($\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)加入 60%乙醇溶液,微波功率 700 W 提取 70 s 后,真空吸滤 2 h (Escarpa & Gonzalez, 1998),收集成品溶液。

1.2.2 苹果渣乙醇提取物抑菌性测定 接种大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和酵母菌于试管中培养后,加入 10 mL 无菌水充分震荡洗涤,制成菌悬液备用(梁峙,1998)。将滤纸打成直径为 6 mm 滤纸片灭菌后备用。将苹果渣乙醇提取物干燥,并配制成 $10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 样品溶液备用。

1.2.3 苹果渣乙醇提取物抗菌活性实验设计

1.2.3.1 抑菌圈直径的测定 在培养基中加入 100 μL 的菌悬液,均匀涂抹,分别制成含有大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和酵母菌的平板,对照组加入等量无菌水。在 37 $^{\circ}\text{C}$ 和 28 $^{\circ}\text{C}$ 恒温下,大肠杆菌和金黄色葡萄球菌培养 24 h,酵母菌培养 48 h,用直尺测定抑菌圈直径。

1.2.3.2 抑菌性分析 将苹果渣乙醇提取物稀释成浓度为 0.5、2.0、5.0、8.0 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的溶液,将已杀菌烘干的 6 mm 圆形滤纸片放入苹果渣乙醇提取物 2 min,捞出沥干后贴在含菌平板。在 37 $^{\circ}\text{C}$ 和 28 $^{\circ}\text{C}$ 恒温下,大肠杆菌和金黄色葡萄球菌培养 24 h,酵母菌培养 48 h,测定抑菌直径(唐传核和彭志英,2001),重复 3 次,以无菌水为对照。

1.2.3.3 最佳抑菌浓度实验 苹果渣乙醇提取物的浓度为 3、4、5、6、7 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$,处理方法同抑菌性分析,测定抑菌圈直径。

1.2.3.4 pH 值对苹果渣乙醇提取物抑菌活性影响 将苹果渣乙醇提取物用盐酸和氢氧化钠梯度调配成 pH 值为 4、5、6、7、8,方法同抑菌性分析,测定抑菌圈直径。

1.2.3.5 盐浓度对苹果渣乙醇提取物抑菌活性影响 用氯化钠将苹果渣乙醇提取物调制浓度分别为 1、3、5、7、9 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐溶液,方法同抑菌性分析,测定抑菌圈直径(Lu & Foo, 2000)。

1.2.4 苹果渣乙醇提取物防腐作用测定 取同等数量的百香果,称取与其质量相应的 0.1%、0.2%、0.3% 的苹果渣乙醇提取物,配制成 50 mL 溶液,离心备用。将上述苹果渣乙醇提取物溶液均匀涂抹在百香果表面,再设置一组空白对照组(不做任何处理的百香果)。套上保鲜膜,自然风干,放于同一环境下(温度 19~21 $^{\circ}\text{C}$,湿度 55%~65%)进行

培养观察。每个实验组处理 6 盒,每盒 5 个,做好标记(空白组:01-06;苹果渣乙醇提取物组:11-16、21-26、31-36)。仔细观察百香果的感官品质(颜色、大小、气味等)。分析不同保鲜条件下百香果的理化指标数值变化及感官品质变化。感官品质评价由 10 名专业感官评价员完成;失重率用电子分析天平测定;腐烂率由统计结果计算; V_c 含量采用紫外分光光度法测定(马宏飞等,2012);可溶性固形物采用折光率仪测定;总酸度采用酸碱滴定法测定(自动滴定仪);固酸比为可溶性固形物值与总酸度的比值。

1.3 实验数据处理

所有实验均重复进行 3 次,采用 SPSS 20.0 软件进行数据分析,实验数据采用 ANOVA LSD 法(最小显著差数法)处理,结果以平均值 \pm 标准偏差表示, $P < 0.01$ 为极显著, $P < 0.05$ 为显著, $P > 0.05$ 为不显著。

2 结果与分析

2.1 苹果渣乙醇提取物抑菌性结果

2.1.1 抑菌性实验 苹果渣乙醇提取物的抑菌作用可以根据抑菌圈的直径来判断抑菌量与抑菌强度是否呈正相关(张杰等,1996)。由表 1 可知,苹果渣多酚提取物对酵母没有明显的抑菌作用,对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌有抑制作用。随着苹果渣乙醇提取物含量浓度的增加,抑菌强度增大,大肠杆菌的抑菌环直径为 0.84 cm,金黄色葡萄球菌为 0.65 cm。

2.1.2 最佳抑菌浓度实验 由图 1 可知,当苹果渣乙醇提取物浓度为 4.0 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抑菌圈直径都达到最大,之后随着提取物浓度的增加,对金黄色葡萄球菌抑菌性呈减小趋势,而对大肠杆菌的抑制作用变化不明显。方差分析结果显示,不同浓度苹果渣乙醇提取物对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌抑菌效果有显著差异($F > F_{0.05(4,4)}$, $P < 0.05$)。

2.1.3 pH 值对苹果渣乙醇提取物抑菌活性影响 由图 2 可知,在中性偏弱酸性的条件下,提取物表现出良好的抗菌活性和稳定性。当 pH 值为 6~7 时,其抗菌活性最强,之后苹果渣乙醇提取物的抗菌活性随着 pH 值的增加而降低。方差分析显示,不同 pH 处理后的苹果渣乙醇提取物对大肠杆菌

表1 苹果渣乙醇提取物的抑菌效果评价

Table 1 Evaluation of the antimicrobial effects of apple pomace ethanol extracts

供试菌株 Selected strains	抑菌效果 Antimicrobial effect
大肠杆菌 <i>Escherichia coli</i>	+++
金黄色葡萄球菌 <i>Staphylococcus aureus</i>	+++
酵母菌 <i>Yeast</i>	-

注: -表示苹果渣乙醇提取物未表现出抑菌活性(抑菌圈的直径 < 1 mm); +表示苹果渣乙醇提取物表现出轻度抑菌活性(抑菌圈的直径为1~3 mm); ++表示苹果渣乙醇提取物表现出中度抑菌活性(抑菌圈的直径为4~5 mm); +++表示苹果渣乙醇提取物表现出高抑菌活性(抑菌圈的直径为6~9 mm)。

Note: - indicates that the ethanol extracts do not exhibit antibacterial activity (the diameter of the antibacterial circle < 1 mm); + indicates that the ethanol extracts show mild antibacterial activity (the diameter of the antibacterial circle is 1-3 mm); ++ indicates that the ethanol extracts show moderate antibacterial activity (the diameter of the antibacterial circle is 4-5 mm); +++ indicates that the ethanol extracts show high antibacterial activity (the diameter of the antibacterial circle is 6-9 mm).

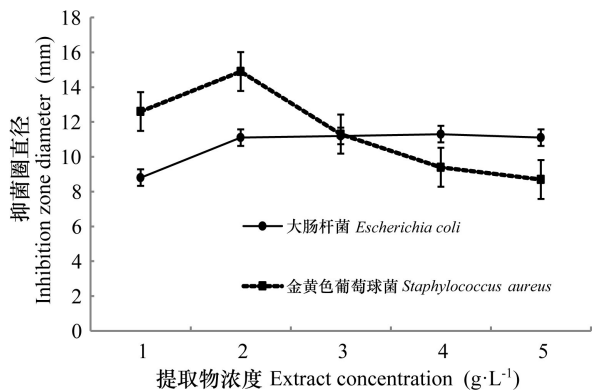


图1 苹果渣乙醇提取物的最佳抑菌浓度实验

Fig. 1 The best inhibitory concentration test of apple pomace ethanol extracts

和金黄色葡萄球菌的抑制作用差异不显著 ($F < F_{0.05(4,4)}, P > 0.05$)。

2.1.4 盐浓度对苹果渣乙醇提取物提取液抑菌活性影响 由图3可知,苹果渣乙醇提取物抑菌效果与盐浓度先呈正相关,当浓度为 $5.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,抑菌圈直径最大,之后随着盐浓度的增加,抑菌性逐渐减小。方差分析结果显示,不同盐浓度处理苹果渣乙醇提取物后对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抑制作用差异不显著 ($F < F_{0.05(4,4)}, P > 0.05$)。

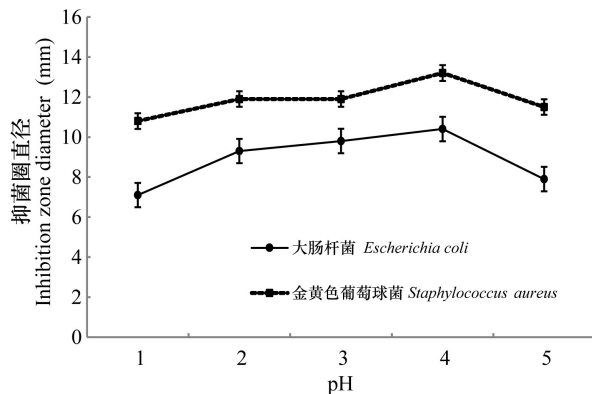


图2 pH值对苹果渣乙醇提取物抑菌活性影响

Fig. 2 Effects of pH value on antibacterial activity of apple pomace ethanol extracts

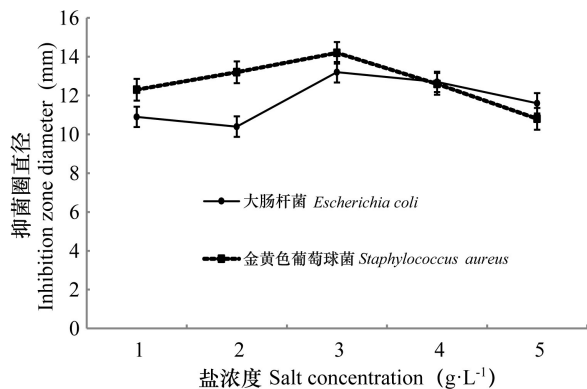


图3 盐浓度对苹果渣乙醇提取物提取液抑菌活性影响

Fig. 3 Effects of salt concentration on antibacterial activity of apple pomace ethanol extracts

2.2 苹果渣乙醇提取物防腐作用结果

由表2可知,空白组百香果手感软,颜色差,且皱缩严重,有异味产生,已经失去了研究和基本的商品食用价值。苹果渣乙醇提取物处理组百香果的硬度、色泽、饱满度、风味都保持较好,这是由于苹果渣乙醇提取物具有抗氧化、抑菌特性,能抑制腐烂变质,显示了其良好的保鲜效果,极大维持了果实优良的感官品质。

由表3可知,苹果渣乙醇提取物处理后的各组百香果,相较于空白组均表现出较好的贮藏优势,防腐保鲜效果明显。但是随着乙醇提取物使用剂量的增大,贮藏效果呈现先升高后降低的趋势。即0.2%苹果渣乙醇提取物组(21-26组)处理后,经过40 d的保鲜实验,百香果腐烂率最低为6.7%,

表 2 处理后百香果的感官品质

Table 2 Sensory properties of passion fruit after treatment in each group

处理组 Treatment group	感官得分 Sensory score	硬度(手捏) Hardness	色泽 Colour and lustre	饱满度 Fullness	风味 Flavour
空白组 Blank group	35	软 Soft	暗沉、无光泽 Dull and matte	皱缩 Shrinking	有异味 Faulty
苹果渣乙醇提取物组 Ethanol extract of apple pomace	80	较硬 Stiffer	鲜艳、有光泽 Bright and lustrous	大多饱满 High plumpness	酸甜适中 Moderately sweet and sour

注: 表中数据为各实验组中随机取样一盒的测定值。

Note: The data in the table are the measured values of one box randomly sampled from each experimental group.

表 3 不同处理组腐烂率及相关理化指标测定结果

Table 3 The decay rate and related physical and chemical indexes of each treatment group were determined

处理组 Treatment group	平均 腐烂率 Average decay rate(%)	平均 失重率 Average weight less(%)	V_c Vitamin C($mg \cdot 100g^{-1}$)		可溶性固形物 Soluble solid(%)		总酸 Total acidity(%)		固酸比 SC/TA ratio	
			贮藏前 Before	贮藏后 After	贮藏前 Before	贮藏后 After	贮藏前 Before	贮藏后 After	贮藏前 Before	贮藏后 After
			01-06(空白)	67± 0.3a	36.3± 0.3d	29.8± 0.1a	24.2± 0.1a	19.6± 0.1a	16.0± 0.3c	3.1± 0.10a
11-16	13.3± 0.3b	7.9± 0.2c	29.8± 0.2a	26.5± 0.2c	19.6± 0.1a	18.3± 0.3b	3.1± 0.12a	2.72± 0.20b	6.3 : 1± 0.1a	6.7 : 1± 0.2b
21-26	6.7± 0.3c	4.3± 0.3a	29.8± 0.1a	28.0± 0.2b	19.6± 0.1a	19.2± 0.2ab	3.1± 0.05a	2.95± 0.05a	6.3 : 1± 0.2a	6.5 : 1± 0.4bc
31-36	10± 0.2bc	6.8± 0.2b	29.8± 0.3a	27.8± 0.2b	19.6± 0.2a	18.9± 0.1a	3.1± 0.15a	2.88± 0.12a	6.3 : 1± 0.1a	6.6 : 1± 0.12b

注: 表中数据为各个剂量组(6个平行数据)的平均值。同列不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

Note: The data in the table are the mean values of each dose group (6 parallel data). Different lowercase letters in the same column indicate significant differences at the 0.05 level.

失重率最低为 5.7%, V_c 含量最高为 28.0, 固酸比最低为 6.5 : 1。经 0.2% 苹果渣乙醇提取物组(21-26 组)处理的百香果, 各项指标远优于空白组, 也略优于 0.1% 苹果渣乙醇提取物组(11-16 组)、0.3% 苹果渣乙醇提取物组(31-36 组), 并且该组理化指标值最接近贮藏前理化指标值, 保鲜效果最好, 这与抑菌浓度实验结果具有一致性, 并不是浓度越高效果越好。对 01-06 组和 21-26 组贮藏后的指标变化进行统计学检验, 结果表明空白组百香果与经过苹果渣乙醇提取物处理对百香果保鲜存在极显著差异($P < 0.01$); 对比 21-26 组贮藏前后, 结果表明在该处理下, 百香果贮藏后各项指标变化不显著($P > 0.05$)。因此, 使用 0.2% 的苹果渣乙醇提取物处理百香果能够起到较好的保鲜防腐作用。

3 讨论与结论

3.1 苹果乙醇提取物的抗菌活性

苹果渣乙醇提取物对大肠杆菌、金黄色葡萄

球菌具有抑制作用, 且对前者的抑制作用大于后者, 而对酵母菌抑制效果不明显, 这与廖春丽等(2012)、Pires et al.(2018)的研究结果相似。抑菌效果与浓度有关系, 但对不同的菌影响不同。在浓度上升到 $4.0 g \cdot L^{-1}$ 时, 抑菌作用最强, 之后随着浓度的增加, 对金黄色葡萄球菌抑菌性呈减小趋势, 而对大肠杆菌的抑制作用变化不明显。可能是苹果渣乙醇提取物对这两种菌存在不同的抑菌机理, 不同的成分可以作用于不同的微生物。本实验苹果渣乙醇提取物是由原花青素、没食子酸等多种物质组成, 抑菌性是否由一种或几种物质作用或协同效应, 还有待进一步的研究(Suárez et al., 2010)。pH 值和盐浓度对抑菌效果也有影响, 在中性偏弱酸性比碱性条件下抑菌效果好, 可能是由于抑菌活性物质在酸性条件下受到的保护比较稳定, 而在碱性条件下会被氧化分解, 或者结构遭到破坏。已有研究表明苹果色素、多酚等有抑菌作用的成分, 在酸性条件下较稳定(高昌勇, 2010; 袁歆怡, 2014)。一定盐浓度能增强苹果渣

乙醇提取物的抑菌活性,但当盐浓度超过 $5.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,抑菌活性反而减弱。这可能是低浓度的盐对维持抑菌物质的结构有一定的作用,而当盐浓度较高时又会使抑菌效果减弱,其作用机理还不明确,这和邝高波(2014)的研究结果相似,即低盐浓度会促进番石榴多酚的抑菌活性,这也说明苹果渣乙醇提取物用于高盐食品效果会受到影响。

3.2 苹果渣乙醇提取物的防腐作用

防腐保鲜实验表明,苹果渣乙醇提取物能延缓百香果的感官品质下降,减缓果实中 V_c 的降解,显著抑制百香果的腐烂和降低其失重率,具有良好的保鲜防腐效果,这是因为苹果渣乙醇提取物具有良好的抑菌和抗氧化特性。中浓度苹果渣乙醇提取物的防腐保鲜效果比高浓度和低浓度效果好,这与抑菌实验结果具有一致性。但是苹果渣乙醇提取物所显示的保鲜防腐效果不仅与其抑菌性有关,还与抗氧化、抑制酶活性等有关,是多种机制综合作用的结果。百香果出现病害主要是由于褐变和微生物作用引起(乔沛等,2020)。其中,果皮的褐变主要由酶促褐变、果实失水褐变、花色苷降解、低温伤害、微生物等造成(Cheng & Breen, 1991; Fuchs & Zauberman, 1993)。吴松霞等(2019)研究发现苹果多酚提取物用于芋艿切片贮藏中,苹果多酚能延缓苯丙氨酸解氨酶(PAL)、多酚氧化酶(PPO)、过氧化物酶(POD)的活性,表明适宜浓度的苹果多酚处理能够抑制酶促褐变的进程。通过抑制脂氧合酶(LOX)活力,能起到维持细胞结构完整性,从而提高果实硬度的作用。苹果渣乙醇提取物中的多酚类物质抑制百香果中多酚氧化酶(PPO)、过氧化物酶(POD)等相关酶的活性,从而减少百香果储存过程中酶促褐变的发生,且保持了百香果的硬度。冉军舰(2013)的研究也指出,不同品种的苹果乙醇提取液具有一定的抗氧化活性,而这对于防止百香果储存过程中非酶褐变具有重要的作用。本研究中的苹果渣乙醇提取物对于百香果的保鲜效果,可用以上机理进行解释,而其作用机制比较复杂,各项酶活指标及相应产物的变化仍需进一步研究证实。

本研究表明苹果渣乙醇提取物具有良好的抗菌活性,在百香果保鲜防腐上也显示出良好的效果,为利用苹果渣开发天然防腐保鲜剂提供了一定的科学依据。但是研究还不够深入和完整,如苹果渣的不同加工处理,以及对提取物的烘干处

理也可能对其活性成分有破坏作用等,这些因素会对抗菌活性及防腐效果造成影响,其保鲜防腐机理也有待进一步研究,故将苹果渣乙醇提取物应用于果蔬的防腐保鲜还有一定的距离。

参考文献:

- CHEN WC, 2017. Study on extraction, purification and antioxidant activity of apple pomace oligosaccharides [D]. Taiyuan: Shanxi University. [陈文超, 2017. 苹果渣低聚糖的提取纯化及抗氧化性研究 [D]. 太原: 山西大学.]
- CHEN XF, LI LQ, XIONG ZY, et al., 2018. Optimization of extraction process of cellulose from apple pomace [J]. J Shaanxi Univ Sci Technol, 36(2): 45-49. [陈雪峰, 李列琴, 熊正宇, 等, 2018. 苹果渣纤维素提取工艺的优化 [J]. 陕西科技大学学报, 36(2): 45-49.]
- CHENG GW, BREEN PJ, 1991. Activity of phenylalanine ammonia-lyase (PAL) and concentrations of anthocyanins and phenolics in developing strawberry fruit [J]. Jashs, 116(5): 865-869.
- DONG CW, LIANG SH, TANG FY, et al., 2008. Study on the extraction of total flavonoids from apple pomace and its antibacterial activity [J]. J Anhui Agric Sci, 36(27): 11631. [董彩文, 梁少华, 汤风雨, 等, 2008. 苹果渣中总黄酮的提取及其抑菌活性研究 [J]. 安徽农业科学, 36(27): 11631.]
- DONG SS, 2017. Nutritive value and comprehensive utilization of apple pomace [J]. Chin Fruit Veg, 37(2): 15-18. [东莎莎, 2017. 苹果渣的营养价值及综合利用 [J]. 中国果菜, 37(2): 15-18.]
- ESCARPA A, GONZÁLEZ MC, 1998. High-performance liquid chromatography with diode-array detection for the determination of phenolic compounds in peel and pulp from different apple varieties [J]. J Chromatogr A, 823(1/2): 331-337.
- ESTEVINHO L, PEREIRA AP, MOREIRA L, et al., 2008. Antioxidant and antimicrobial effects of phenolic compounds extracts of Northeast Portugal honey [J]. Food Chem Toxicol, 46(12): 3774-3779.
- FANG F, CHEN XF, LIU N, et al., 2019. Preparation and characterization of carboxymethylated apple pomace polysaccharide [J]. Food Sci Technol, 44(9): 289-294. [房斐, 陈雪峰, 刘宁, 等, 2019. 羧甲基化苹果渣多糖的制备及其表征 [J]. 食品科技, 44(9): 289-294.]
- FUCHS Y, ZAUBERMAN G, RONEN R, et al., 1993. The physiological basis of *Litchi* fruit pericarp color retention [J]. Acta Hort, 343(343): 29-33.
- GAO CY, 2010. Extraction of red pigment for wine-making use from apple peel & study on its stability [J]. Liquor-Mak Sci Technol, 31(5): 30-31. [高昌勇, 2010. 酿酒用苹果果皮红色素提取及稳定性研究 [J]. 酿酒科技, 31(5): 30-31.]
- GAO YX, TAO CN, ZHOU XJ, et al., 2017. Process optimization of microwave-assisted extraction of polyphenols from young fruits of Huanium apple [J]. Sci Technol Food

- Ind, 38(14): 209-215. [高义霞, 陶超楠, 周向军, 等, 2017. 微波辅助提取花牛苹果幼果多酚的工艺优化 [J]. 食品工业科技, 38(14): 209-215.]
- JIN WG, SHAO JZ, MAVROMICHALIS I, 2018. Using apple pomace as an animal feed ingredient [J]. *Animal Sci Abroad Pigs Poult*, 38(3): 73-74. [靳文广, 邵建忠, MAVROMICHALIS I, 2018. 苹果渣在动物饲料中的应用 [J]. 国外畜牧学(猪与禽), 38(3): 73-74.]
- KUANG GB, 2014. Study on extraction, antioxidant activity and antimicrobial activity of guava polyphenols [D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University. [邝高波, 2014. 番石榴多酚提取及抗氧化和抑菌活性研究 [D]. 湛江: 广东海洋大学.]
- LI JH, MA HQ, CHEN SW, 2008. Studies on antimicrobial effect of grape-polyphenols [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 8(2): 100-107. [李建慧, 马会勤, 陈尚武, 2008. 葡萄多酚抑菌效果的研究 [J]. 中国食品学报, 8(2): 100-107.]
- LI Z, 2014. Research on extraction, purification and antioxidant effects of polyphenols in apple pomace [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences. [李珍, 2014. 苹果皮渣多酚提取、纯化及抗氧化活性研究 [D]. 北京: 中国农业科学院.]
- LIANG Z, 1998. Research and application of apple polyphenols [J]. *Agric Prod Dev*, (6): 18. [梁峙, 1998. 苹果渣乙醇提取物的功效研究与应用 [J]. 农牧产品开发, (6): 18.]
- LIAO CL, TANG HH, YANG SS, 2012. Study on inhibiting oil oxidation and antibacterial characterization by apple polyphenol [J]. *Chin Cond*, 37(6): 31-34. [廖春丽, 汤缓缓, 杨闪闪, 2012. 苹果多酚抑制油脂氧化与抑菌特性的研究 [J]. 中国调味品, 37(6): 31-34.]
- LIU YQ, REN L, ZHANG ZF, et al., 2015. Antibacterial action of polyphenols in apple residue [J]. *J Zhejiang Agric Sci*, 56(12): 2018-2020. [刘永青, 任琳, 张子锋, 等, 2015. 苹果渣中多酚类物质的抑菌作用 [J]. 浙江农业科学, 56(12): 2018-2020.]
- LU YH, ZHANG R, WANG ZY, et al., 2020. Study on the *in vitro* antioxidant and antibacterial properties of the pigment from apple seed shells [J]. *Packag Food Mach*, 38(3): 34-38. [卢艺惠, 张睿, 王朝宇, 等, 2020. 苹果籽壳色素的体外抗氧化性及抑菌性研究 [J]. 包装与食品机械, 38(3): 34-38.]
- LU YR, FOO LY, 2000. Antioxidant and radical scavenging activities of polyphenols from apple pomace [J]. *Food Chem*, 68(1): 81-85.
- MA HF, LU SY, HAN QJ, et al., 2012. Determination of vitamin C in five fruits and vegetables by ultraviolet spectrophotometry [J]. *Chem Bio Eng*, 29(8): 92-94. [马宏飞, 卢生有, 韩秋菊, 等, 2012. 紫外分光光度法测定五种果蔬中维生素 C 的含量 [J]. 化学与生物工程, 29(8): 92-94.]
- PIRES TCSP, DIAS MI, BARROS L, et al., 2018. Antioxidant and antimicrobial properties of dried Portuguese apple variety (*Malus domestica* Borkh. cv Bravo de Esmolfe) [J]. *Food Chem*, 240: 701-706.
- QIAO P, YIN FL, LI J, et al., 2020. Advances on postharvest storage and preservation of passion fruit [J]. *Storage Process*, 20(4): 220-225. [乔沛, 殷菲胧, 李静, 等, 2020. 百香果采后贮藏保鲜研究进展 [J]. 保鲜与加工, 20(4): 220-225.]
- RAN JJ, 2013. Identification of polyphenols in apple and functional properties [D]. Yangliang: Northwest A & F University. [冉军舰, 2013. 苹果多酚的组分鉴定及功能特性研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学.]
- SHAN JM, CAO YP, XIAO JS, et al., 2011. Antibacterial activity of procyanidins from apple and grape seeds against *Streptococcus mutans* and *Staphylococcus aureus* [J]. *Food Sci*, 32(17): 123-127. [单静敏, 曹雁平, 肖俊松, 等, 2011. 葡萄籽和苹果原花青素对变形链球菌和金黄色葡萄球菌的抑制作用 [J]. 食品科学, 32(17): 123-127.]
- SUÁREZ B, ÁLVAREZ ÁL, GARCÍA YD, et al., 2010. Phenolic profiles, antioxidant activity and *in vitro* antiviral properties of apple pomace [J]. *Food Chem*, 120(1): 339-342.
- TANG CH, PENG ZY, 2001. The development and application of apple polyphenol [J]. *Chin Food Addit*, (2): 41-45. [唐传核, 彭志英, 2001. 苹果多酚的开发及应用 [J]. 中国食品添加剂, (2): 41-45.]
- TIAN L, LI HP, YUAN YH, et al., 2017. Optimization of ultrasound-vacuum assisted extraction of polyphenols from apple pomace [J]. *Food Sci*, 38(14): 233-239. [田莉, 李海萍, 袁亚宏, 等, 2017. 真空耦合超声波提取苹果渣多酚的工艺优化 [J]. 食品科学, 38(14): 233-239.]
- WU SX, GAO HY, LIU RL, et al., 2019. Effects of different concentrations of apple polyphenols on quality of fresh-cut taro [*Colocasia esculenta* (L.) schott] [J]. *Food Sci*, 40(13): 245-251. [吴松霞, 郜海燕, 刘瑞玲, 等, 2019. 苹果多酚处理对鲜切芋艿品质的影响 [J]. 食品科学, 40(13): 245-251.]
- YANG FY, QI ZY, LI CF, et al., 2000. Analysis of nutrition components of dried apple pulp and evaluation of their potentiality for feed [J]. *Acta Zoo Nutrim Sin*, 12(4): 62. [杨福有, 祁周约, 李彩凤, 等, 2000. 苹果渣营养成分分析及饲用价值评估 [J]. 动物营养学报, 12(4): 62.]
- YANG LZ, LI Y, QIAN HF, et al., 2021. Application and antibacterial mechanism of natural preservatives from plants [J]. *Food Ferment Ind*, 47(1): 303-308. [杨连战, 李言, 钱海峰, 等, 2021. 植物源天然防腐剂应用及抑菌机理研究现状 [J]. 食品与发酵工业, 47(1): 303-308.]
- YUAN XY, 2014. Effect of pH and illumination on stability of apple polyphenol [J]. *Mod Agric Sci Technol*, (19): 297-299. [袁歆晗, 2014. pH 与光照对苹果多酚稳定性的影响 [J]. 现代农业科技, (19): 297-299.]
- ZHANG J, ZHOU JQ, ZHAN BY, 1996. Inhibitory effect of *Punica granatum* L. against *Neisseria gonorrhoeae* infection *in vitro* and *vivo* [J]. *Chin J Dermatovenereol*, 10(2): 75-76. [张杰, 周江桥, 詹炳炎, 1996. 中药石榴皮对淋球菌感染的体外抑制作用 [J]. 中国皮肤性病学杂志, 10(2): 75-76.]
- ZHOU CD, 2014. Study on the extraction of polyphenols derived from apple pomace and its antibacterial activity [J]. *Food Ferment Technol*, 50(5): 27-30. [周春娣, 2014. 苹果渣多酚的提取及其抑菌活性研究 [J]. 食品与发酵科技, 50(5): 27-30.]