

葛丽娟,潘雄,李齐激,等. 贵州常见农业废弃物酵素的抗菌杀虫效果及其成分分析[J]. 江苏农业科学,2025,53(21):163-172.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2025.21.020

贵州常见农业废弃物酵素的抗菌杀虫效果及其成分分析

葛丽娟¹,潘雄¹,李齐激¹,邓廷飞¹,王丽¹,白云²,胡晋楠²,杨小生¹

(1. 贵州省天然产物研究中心,贵州贵阳 550014; 2. 贵阳康养职业大学,贵州贵阳 550081)

摘要:为提升植物源废弃物资源化利用水平,分别利用贵州常见的 5 种植物源废弃物韭黄残渣、烟草花、生姜茎叶、核桃青皮和银杏果皮进行单一发酵制备不同来源酵素,其对应得到的酵素分别标记为 AJJH、AJYH、AJJG、AJQP 及 AJYX。参照农用酵素行业标准评估营养物质含量以及不同酵素在病虫害防治中的效果,最后,针对最优效果的酵素,进一步探讨其与对应原料水煮液(SZYX)在抑菌与杀虫上的区别,并采用超高效液相色谱-串联质谱(UPLC-Q-TOF-MS/MS)技术对其进行化学成分分析。结果表明,AJJH、AJYH、AJJG、AJQP 及 AJYX 酵素含有丰富的有机酸、总氨基酸、总多酚和粗多糖,且含量均显著高于行业标准。在病虫害防治方面,AJYX 酵素(银杏果皮发酵酵素)在抑菌和杀虫方面表现尤为突出。数据显示,AJYX 酵素对根腐菌、尖孢镰刀菌和人参锈腐菌的抑菌率分别达到 81.40%、78.03% 和 64.33%,明显优于其他酵素。此外,在蚜虫和红蜘蛛的杀虫试验中,AJYX 酵素的杀死率分别为 66.57% 和 83.33%。进一步的分析表明,AJYX 酵素除菌后抑菌杀虫效果低于未除菌;此外,AJYX 酵素在抑菌和杀虫方面均优于 SYZX(水煮液),UPLC-Q-TOF-MS/MS 数据显示,AJYX 酵素中含有苦参碱等杀虫物质,而 SYZX 中没有。以上结果表明,AJYX 中的活菌和化学成分共同作用,增强了酵素的生物活性,发酵过程不仅增强了化学成分的活性,还通过微生物的共同作用显著提高了整体生物防治效果。

关键词:农业废弃物;农用酵素;银杏果皮;抑菌效果;可持续发展

中图分类号:S188+.4;X712 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2025)21-0163-10

随着全球人口的持续增长,农业生产规模不断扩大,农业废弃物的产生量也随之增加。植物源废弃物,如农作物的根、茎、叶、果皮等,作为农业生产过程中产生的大量副产品,如果得不到有效处理,不仅会造成资源浪费,还会引发严重的环境污染问题,如温室气体排放、土壤和水体污染等^[1-3]。因此,如何有效地处理和利用这些废弃物已成为农业领域亟待解决的重要课题之一。

目前,对农业废弃物的资源化利用途径主要包括肥料化、能源化、基质化、原料化和饲料化等多种方式^[4-6]。这些方法虽然在一定程度上减少了环境污染,并促进了农业的可持续发展,但在技术层面

仍面临处理技术不完善、资源利用率低、商品化程度不足、经济效益不高等挑战^[7-9]。因此,探索和开发更加有效的植物源废弃物资源化利用技术,成为推动农业可持续发展和实现绿色农业的重要任务。

与此同时,传统化学农药虽然在病虫害防治中发挥了重要作用,但其长期大量使用导致了环境污染、农产品残留超标、害虫抗药性增强,以及对人畜健康的潜在威胁^[10]。随着人们环保意识的增强和对绿色农业的需求,寻找安全、有效、环保的替代品迫在眉睫^[11-12]。

农用酵素是由微生物发酵植物源废弃物产生的一类生物活性物质,具有多种生物功能,如促进植物生长、提高作物产量、增强植物抗病虫害能力等^[13]。与化学农药相比,农用酵素具有环保、无毒副作用、可降解等优点,在现代农业中具有广阔的应用前景^[14-15]。

近年来,针对农用酵素的研究逐渐增多,研究者们探索了利用不同植物源废弃物发酵制备酵素的工艺及其应用效果^[16-18]。一些研究表明,由特定果蔬废弃物发酵制得的酵素展示了显著的抗菌和

收稿日期:2024-08-23

基金项目:贵州省科技计划支撑项目[编号:黔科合支撑(2022)一般134、黔科合支撑(2023)一般077、黔科合支撑(2024)一般110、黔科合支撑(2023)一般040、黔科合支撑(2022)一般177]。

作者简介:葛丽娟(1989—),女,山东莘县人,硕士,主要从事资源废弃物的综合利用研究。E-mail:momo1225@126.com。

通信作者:杨小生,博士,研究员,主要从事活性天然产物的研究与开发。E-mail:gzenp@sina.cn。

抗氧化特性,如抑制特定病原菌的生长和清除自由基的能力^[19]。此外,有些酵素还通过改善土壤环境和提供营养支持,促进了某些植物的生长^[20-21]。然而,不同植物源废弃物的成分和特性各异,其发酵工艺和生物活性也存在较大差异^[22-24]。目前,关于利用农业废弃物制备农用酵素的研究主要集中在个别废弃物的应用上,而对多种废弃物联合利用、发酵工艺优化及其生物防治效果的系统研究相对较少。此外,现有研究也较少涉及贵州地区特有农业废弃物的资源化利用及其在病虫害防治中的潜力。

因此,本研究选取贵州地区常见的 5 种农业废弃物——韭黄残渣、核桃青皮、烟草花、银杏果皮和生姜茎叶,利用微生物发酵技术制备农用酵素,并系统评估其在病虫害防治中的效果。本研究通过分析这些废弃物发酵后形成的农用酵素的理化性质和生物活性,旨在为植物源废弃物的高效资源化利用提供新的思路,并为农用酵素的开发应用提供科学依据,推动绿色、可持续农业的发展。

1 材料与方法

1.1 试验时间及地点

本试验于 2023 年 11 月在贵州省天然产物研究中心功能天然产物与产品研究所发酵处理间、恒温气候室以及微生物室开展试验。

1.2 样品处理方法及病原体培养

本研究选用了 5 种植物源废弃物作为主要原料,包括韭黄残渣、烟草花、生姜茎叶、核桃青皮和银杏果皮。这些原料分别收集于不同来源:韭黄残渣来自贵州两山民润农业开发有限公司,烟草花来自遵义烤烟种植园,生姜茎叶来自贵州力合农业科技有限公司,核桃青皮和银杏果皮则收集自当地农户。此外,黄芪浸膏废弃物作为碳源,来源于贵州汉方药业有限公司水提醇沉后的膏状废弃物。为了促进发酵过程,试验中还使用了高效酒曲(购自贵州省轻工科学研究所)。在进行试验之前,所有原料均经过粉碎和过筛处理,以确保试验的均一性和有效性。

农用酵素样品制备:分别使用韭黄残渣、烟草花、生姜茎叶、核桃青皮和银杏果皮进行单一发酵,以获得 5 种农用酵素,分别标记为 AJJH(韭黄残渣酵素)、AJQP(核桃青皮酵素)、AJJG(生姜茎叶酵素)、AJYH(烟草花酵素)以及 AJYX(银杏果皮酵

素)。发酵过程中,以黄芪浸膏废弃物作为碳源,按原料、碳源和水的质量比 1:1.1:10 进行混合,并加入 0.6% 已活化的高效酒曲,整个发酵过程在 25 ℃ 下进行,并分为 2 个阶段:产气阶段,持续约 10 d,每天早晚进行搅拌,以促进发酵产气并监测 pH 值;密封发酵阶段,将料体密封发酵,持续 15~20 d,直至料体沉淀,上层液体变澄清。所得的澄清液体即为发酵酵素,用于后续的试验分析。

病原体培养:为评估农用酵素的抗菌效果,本研究使用了多种病原菌,包括尖孢镰刀菌(编号 BNCC120618,购自河南省工业微生物菌种工程技术研究中心)、根腐菌和镰刀腐皮菌(均来源于笔者所在实验室)及小麦赤霉菌、细极链格菌、立枯丝核菌、人参锈腐菌(均来自贵州天然产物研究中心药理实验室)。所有病原菌在 PDA 培养基上于 25 ℃ 黑暗条件下培养 5 d,以确保病原菌活性的一致性,从而保证试验结果的可靠性。

1.3 农用酵素特性表征

为全面评估农用酵素的质量和适用性,本研究对酵素的理化性质进行了详细测定。测定项目包括 pH 值及有机质、有机酸、总氨基酸、总多酚、粗多糖含量。所有测定方法均参照 QB/T 5323—2018《植物酵素》标准进行,以确保结果的科学性和标准化^[25]。具体而言,pH 值使用 PHS-3C 型 pH 计(上海仪电科学仪器股份有限公司)测定;有机质含量采用重铬酸钾容量法测定;有机酸含量以乳酸为标准,通过高效液相色谱(HPLC)分析进行测定;总氨基酸含量采用基于水合茚三酮反应的分光光度计法测定;总多酚含量采用基于钨钼酸还原法的微量法测定;粗多糖含量采用基于 3,5-二硝基水杨酸(DNS)的微量法测定。为了确保试验结果的可靠性和重复性,每项测试均进行了 3 次重复,且每次重复使用独立样本,以减少试验误差并提高数据的准确度。

1.4 生物防治效果评估

1.4.1 抗真菌活性评估方法 本研究采用琼脂平板扩散法,评估农用酵素对多种致病菌(包括尖孢镰刀菌、小麦赤霉病菌、镰刀腐皮菌、人参锈腐菌、根腐菌、立枯丝核菌、细极链格菌)的体外抗真菌活性,方法参考文献[26]。具体操作如下。

平板准备:在无菌条件下,将 PDA 培养基 15 mL 与农用酵素 15 μL 混合后,倒入直径为 9 cm 的培养皿中。作为对照,使用相同体积的纯净水代

替酵素。

接种与培养:将培养 5 d 的致病菌用 6 mm 打孔器打孔,取出菌饼后,利用接种针将其准确接种至各个处理和对照组的培养皿中央。每种处理重复 3 次,以增强试验结果的可靠性。接种后的培养皿密封于塑料薄膜内,并放置于 27 ℃ 的恒温培养箱中培养 5 d,以促进菌落生长。

数据收集与处理:培养至 120 h 记录菌落直径,采用十字交叉法进行精确测量。通过比较处理组与对照组的菌落直径,计算农用酵素在各浓度下对胶孢炭疽菌生长的抑制率。抑制率的计算公式如下:

$$\text{抑制率} = \left(1 - \frac{F_t - F_0}{F_{ck} - F_0} \right) \times 100\%。$$

式中: F_{ck} 为对照组菌落直径,mm; F_t 为处理组菌落直径,mm; F_0 为初始菌饼直径,为 6 mm。

1.4.2 蚜虫毒力试验 蚜虫毒力试验采用药液喷施法进行。试验中选择健康的花椒叶,并确保每张叶子上附着 20 头蚜虫。每个处理组对应 3 组平行试验,以提高结果的准确性。将叶片放置于保鲜管中,然后喷施不同浓度的农用酵素溶液。24 h 后,使用毛刷轻触蚜虫,并在显微镜下观察其存活情况,以计算死亡率。

1.4.3 红蜘蛛毒力试验 红蜘蛛毒力试验采用叶盘法进行。选取活动力强、体型一致的 20 头红蜘蛛作为试验对象,并进行 3 组平行试验,确保试验结果的可重复性和准确性。将红蜘蛛放置于花椒叶盘上,用湿棉花条进行隔离,之后喷施不同的农用酵素溶液。24 h 后,用毛刷轻触红蜘蛛,在显微镜下观察其存活情况,进而计算死亡率。

1.5 化学成分分析

在本研究中,针对效果最好的银杏外皮酵素,采用了超高效液相色谱-串联质谱(UPLC-Q-TOF-MS/MS)技术进行化学成分测定,重点对比了水煮液和发酵液中的成分差异。UPLC-Q-TOF-MS/MS 的色谱和质谱条件如下。

色谱条件:使用 Waters Acquity UPLC HSS T3 色谱柱(100 mm × 2.1 mm, 1.8 μm)。流动相为乙腈(A)和 0.1% 甲酸水(B)。梯度洗脱程序为:0~2 min, 5% A; 2~42 min, 5%~95% A; 47~50 min, 5% A。流速设定为 0.3 mL/min,柱温设定为 40 ℃。

质谱条件:使用静电场轨道阱高分辨质谱,在正离子模式下运行。喷雾电压设定为 3 kV,辅助气

压为 0.06 MPa,鞘气压为 0.24 MPa,离子传输管温度为 320 ℃。质谱的一级全扫描范围为 80~1 200 m/z ,分辨率为 70 000;二级扫描分辨率为 17 500,碰撞气体为氮气(N_2),碰撞能量设定为 30 eV。

2 结果与分析

2.1 农用酵素理化性质分析

本研究对 5 种农用酵素的理化性质进行了全面分析,以评估其在可持续农业害虫和病害管理中的潜力。由图 1 可知,除 AJJH 的乳酸含量低于标准外,其他营养指标均显著高于行业标准。多酚含量与乳酸含量之间存在一定的负相关性。具体分析如下。

由图 1-A 可知,各农用酵素的 pH 值在 3.5~5.0 之间,显示为酸性溶液。AJJH 和 AJYX 的 pH 值较高,AJJG 最低。由图 1-B 可知,有机质含量显示出明显差异,AJJG 含量最高,表明其较高的肥效潜力。由图 1-C 可知,乳酸含量在不同酵素中差异显著,AJYH 含量最高,有助于改善土壤酸碱度和抑制病原菌。由图 1-D 可知,AJJG 和 AJJH 氨基酸含量较高,为植物生长提供重要营养。由图 1-E 可知,多酚含量方面,AJJG 含量最高,具备较强的抗氧化能力。由图 1-F 可知,AJYX 在粗多糖含量上明显领先,显示出在提高作物免疫力方面的重要作用。

这些结果表明,不同农用酵素在理化性质上存在显著差异。生姜茎叶酵素(AJJG)在多个指标上表现突出,适合作为高效农用酵素的基础原料。银杏果皮酵素(AJYX)尽管在理化性质上不如其他酵素突出,但其在后续试验中的综合效果值得进一步研究。

2.2 5 种农用酵素对病原菌的体外抗真菌活性

由图 2-A, AJYX 对尖孢镰刀菌的抑菌效果最为显著,抑菌率从 24 h 时的较低值持续上升,120 h 时达到 78.03%。AJJG 表现良好,抑菌率从 24 h 时的较低值持续上升,96 h 时达到最高值 73.90%,120 h 时略有下降至 72.93%。AJQP 在初期抑菌效果较低(27.85%),但 48 h 时抑菌率提升至 59.43%,120 h 时为 59.53%。AJYH 的抑菌效果在后期增强,120 h 时达到 68.83%。AJJH 抑菌效果较为平稳,但明显低于其他发酵液,120 h 时的抑菌率为 30.98%。由图 2-B 可知, AJYX 的根腐菌抑

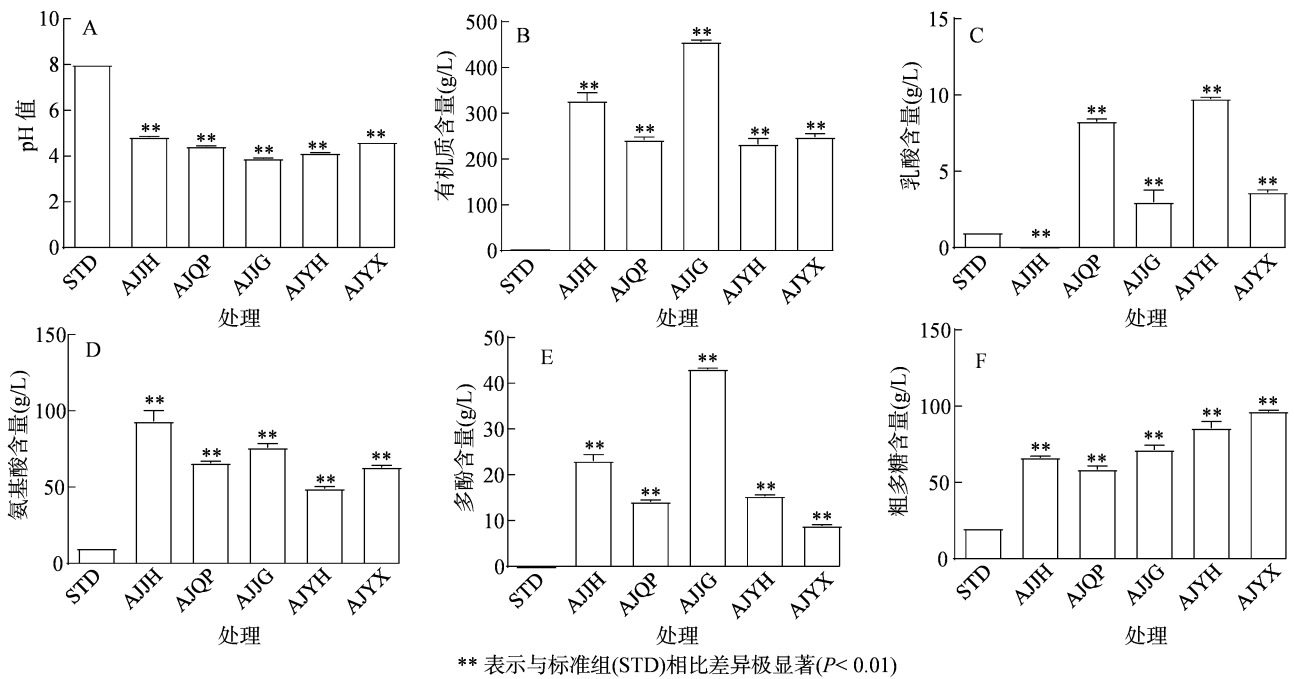


图1 5种农用酶素理化性质

菌效果在所有时间点均处于较高水平,120 h时达到81.40%。AJJG的抑菌效果较为稳定,96 h时达到76.84%,120 h时略微下降。AJQP的抑菌效果先上升后略有波动,整体表现较为平稳。AJYH的抑菌效果呈逐步上升趋势,从24 h时的26.39%逐渐增加至120 h时的71.78%。AJJH的抑菌效果先明显上升,24~72 h期间从26.81%快速增加到78.04%,之后略有下降。由图2-C可知,AJYX对人参锈腐菌的抑菌效果表现最佳,抑菌率从24 h时的15.38%逐步上升至120 h时的64.33%。AJJG的抑菌效果从24 h时的9.69%稳步提升至120 h时的43.95%。AJQP的抑菌效果先升后降,96 h时达到48.81%后,120 h时略有下降至38.22%。AJYH的抑菌效果波动较大,从24 h时的3.27%上升至72 h时的27.82%,96 h时下降至25.71%,120 h时回升至32.88%。AJJH的抑菌效果先抑后扬,从24 h时的23.88%下降至72 h时的23.19%,随后在120 h时提升至44.96%。由图2-D可知,针对立枯丝核菌的抑菌效果,AJYX表现最佳,抑菌率从24 h时的58.10%逐步上升至120 h时的78.42%。AJJG先降后升,最终120 h时达到62.70%。AJQP波动较大,先升后降,120 h时为39.08%。AJYH整体水平较低,从24 h时的1.89%逐步上升至120 h时的20.58%。AJJH先降后升,120 h时达到67.20%。由图2-E可知,AJYX的镰

刀腐皮菌抑菌效果逐渐增强,120 h时的抑菌率达到57.19%。AJJG的抑菌效果整体较低且波动较小,120 h时达到0.43%。AJQP的抑菌效果波动较大,24 h时为负值,随后上升至96 h时的48.81%,但120 h时下降至38.22%。AJYH和AJJH的抑菌效果整体较差,AJYH从24 h时的负值逐步改善,120 h时达到4.07%;AJJH从24 h时的负值逐步提升至120 h时的3.07%。由图2-F可知,AJYX的小麦赤霉菌抑菌率从24 h时的负值逐步上升至120 h时的58.08%,整体呈上升趋势。AJJG的抑菌效果波动较大,96 h时达到20.41%后略有下降。AJQP的抑菌效果先升后降,120 h时为57.70%。AJYH整体表现较差,24~96 h均为负值,120 h时略有改善升至2.68%。AJJH的抑菌效果在前期较低,随后有所提升,120 h时达到30.29%。由图2-G可知,针对细极链格菌的抑菌效果,AJYX的抑菌率从24 h时的39.90%上升至48 h时的70.41%,随后略有波动。AJJG从24 h时的29.56%逐步提升至120 h时的75.21%,整体稳步上升。AJQP先升后降,48 h时达到72.01%后逐渐降至120 h时的48.44%。AJYH从24 h时的8.42%逐步上升至120 h的54.65%。AJJH从24 h时的18.45%稳步提升至120 h时的64.51%。

银杏果皮发酵液(AJYX)在多数抑菌试验中表现最佳,显示出极高的抑菌潜力和稳定性。生姜茎

叶发酵液 (AJJG) 紧随其后,表现出强大的抑菌能力。核桃青皮发酵液 (AJQP) 和韭黄残渣发酵液 (AJJH) 在部分试验中表现出一定的潜力,但整体效

果略低。烟草花发酵液 (AJYH) 在多数试验下抑菌效果较弱,但在某些特定条件下(如后期时间点)表现出一定的改善。

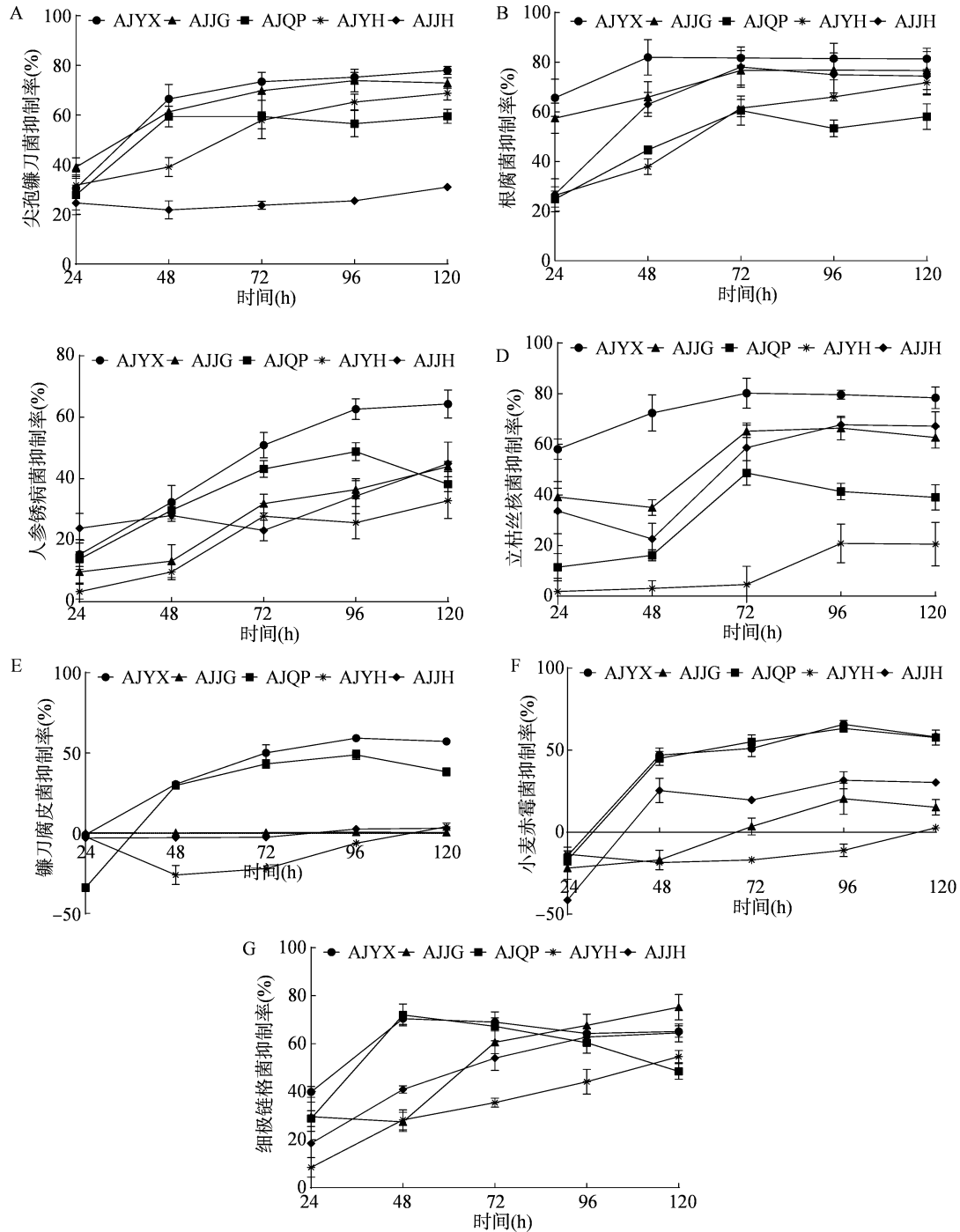


图2 5种农用酵素对致病菌的抑制率

抑菌圈的大小直接反映了抑菌能力的强弱,图3中的黄色字体标示了各酵素在120 h时的抑菌率。由图3-A可知,AJYX和AJJG在培养皿中的抑菌圈最为明显,尖孢镰刀菌抑菌率分别达到78.03%和72.93%。AJYH的抑菌效果也较为显著,抑菌率

为68.83%。AJQP的抑菌率为59.53%,而AJJH的抑菌效果相对较弱,抑菌率仅为30.98%。由图3-B可知,AJYX在培养皿中的抑菌效果最佳,根腐菌抑菌率为81.40%;AJJG次之,抑菌率为76.63%。AJJH、AJYH和AJQP的抑菌效果相对较

弱,抑菌率分别为 74.42%、71.78% 和 58.09%。由图 3 - C 可知,AJYX 对人参锈腐菌的抑菌效果最为显著,抑菌率达到了 64.33%。AJJH 和 AJJG 的抑菌效果相对接近,抑菌率分别为 44.96% 和 43.95%,表现出中等水平的抑菌能力。其他酵素如 AJQP 和 AJYH 的抑菌效果相对较弱,抑菌率分别为 38.22% 和 32.88%。由图 3 - D 可知,AJYX 对立枯丝核菌的抑菌效果最为显著,抑菌率为 78.42%。AJJH 的抑菌效果次之,抑菌率为 67.20%。AJJG 的抑菌效果也较为显著,抑菌率为 62.70%。其他酵素如 AJQP 和 AJYH 的抑菌效果相对较弱,抑菌率分别为 39.08% 和 20.58%。由图 3 - E 可知,AJYX 对镰刀腐皮菌的抑菌效果最为显著,抑菌率为 57.19%。

AJJG 的抑菌效果次之,抑菌率为 42.53%。AJQP 的抑菌效果也较为显著,抑菌率为 38.22%。AJYH 和 AJJH 的抑菌效果相当较弱,抑菌率分别为 4.07% 和 3.07%。由图 3 - F 可知,AJYX 的抑菌效果最佳,小麦赤霉菌抑菌率为 58.08%。AJQP 次之,抑菌率为 57.70%。AJJH 的抑菌效果相对较好,抑菌率为 30.29%。AJJG 的抑菌效果较弱,抑菌率仅为 15.22%。AJYH 的抑菌效果最差,抑菌率仅为 2.68%。由 3 - G 可知,AJJG 对细极链格菌的抑菌效果最为显著,抑菌率达到 75.21%。AJYX 和 AJJH 的抑菌效果也较为显著,抑菌率分别为 65.09% 和 64.51%。相比之下,AJYH 和 AJQP 的抑菌效果相对较弱,抑菌率分别为 54.65% 和 48.44%。

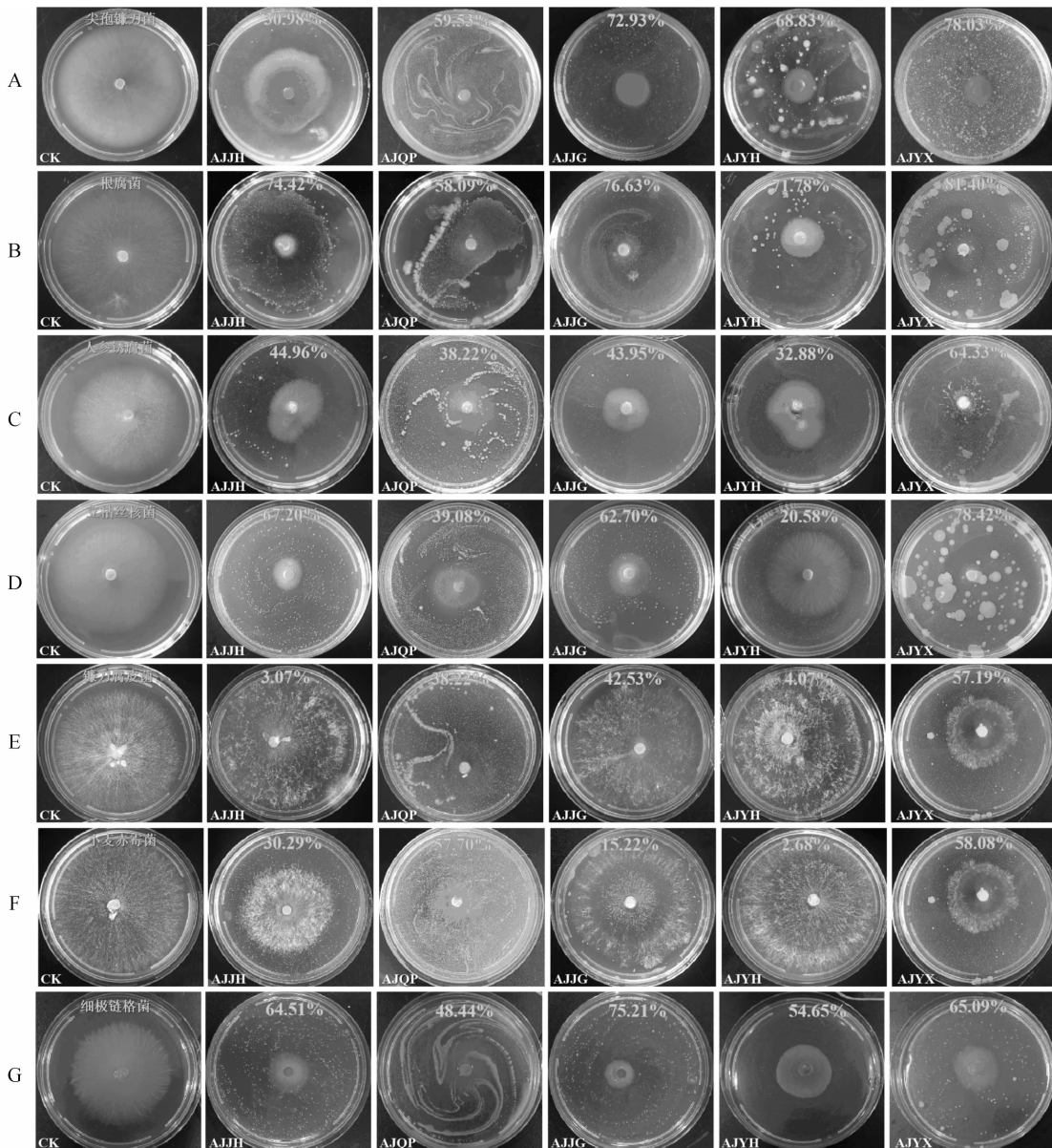
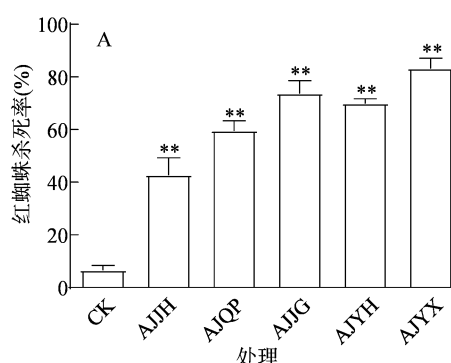


图3 5种农用酵素对致病菌的抑制

综上所述,银杏果皮发酵液(AJYX)在多种病原菌的抑菌测试中均展现出卓越的效果,尤其在尖孢镰刀菌、根腐菌和立枯丝核菌上表现最佳。生姜茎叶发酵液(AJJG)同样表现出较强的抑菌能力。相比之下,韭黄残渣发酵液(AJJH)、核桃青皮发酵液(AJQP)和烟草花发酵液(AJYH)的抑菌效果相对较弱。这些结果表明,银杏果皮是开发高效农用酵素的优选原料,值得进一步研究和应用。

2.3 5种农用酵素对红蜘蛛和蚜虫的喷杀效果

由图4-A可知,空白组(CK)红蜘蛛平均杀死率为6.67%,表明在没有使用农用酵素的情况下,红蜘蛛的死亡率极低。AJJH杀死率为42.83%,显示出中等的杀红蜘蛛效果。AJQP杀死率为59.67%,表现出较好的杀红蜘蛛效果。AJJG杀死率为73.83%,是第二有效的处理方法,表现出较强的杀红蜘蛛效果。AJYH杀死率为70.00%,接近生姜茎叶,显示出良好的效果。AJYX杀死率为83.33%,表现最佳,显示出最强的杀红蜘蛛能力。

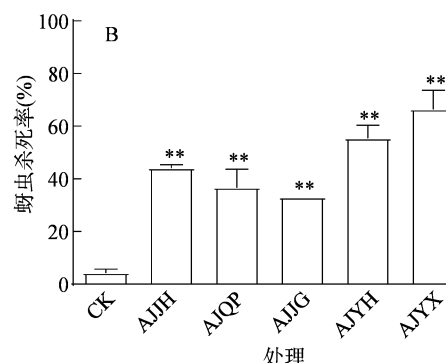


**表示与空白组(CK)相比,试验组在统计学上存在极显著差异($P < 0.01$)

图4 5种农用酵素对红蜘蛛和蚜虫的杀死率

由图4-B可知,在蚜虫杀死率方面,空白组(CK)平均杀死率为4.33%,表明在没有使用农用酵素的情况下,蚜虫的死亡率极低。AJJH杀死率为44.20%,显示出中等的杀蚜虫效果。AJQP杀死率为36.77%,显示出一般的杀蚜虫效果。AJJG杀死率为33.00%,是最弱的处理方法,杀蚜虫效果较差。AJYH杀死率为55.50%,显示出较好的杀蚜虫效果。AJYX杀死率为66.57%,表现最佳,显示出最强的杀蚜虫能力。

综合分析,银杏果皮发酵液(AJYX)在红蜘蛛和蚜虫杀死率方面均表现最佳,平均杀死率最高,是最有效的处理方法。生姜茎叶发酵液(AJJG)在红蜘蛛的杀死率中表现出色,但对蚜虫的效果相对较弱。烟草花发酵液(AJYH)显示出良好的整体效果,特别是在蚜虫的杀死率方面。核桃青皮发酵液(AJQP)和韭黄残渣发酵液(AJJH)的杀虫效果相对中等,但仍显著高于对照组。



2.4 银杏果皮农用酵素与水煮液的比较

2.4.1 抑菌试验 图5展示了银杏果皮发酵原液(AJYX)、发酵液经过除菌滤膜除菌后的溶液(AJYX除菌)、水煮液(SZYX)以及对照组无菌水(CK)对7种致病菌的抑制作用。结果显示,AJYX在所有病原菌的试验中均表现出最强的抑菌效果,优于AJYX除菌和SZYX。

在尖孢镰刀菌的培养皿中,AJYX处理组产生了有益菌,这些有益菌能够明显抑制病原菌的生长,其抑菌效果明显优于AJYX除菌组和SZYX组。类似地,在对细极链格菌、立枯丝核菌、人参锈腐菌和根腐菌的试验中,AJYX处理组的抑菌效果明显优于其他处理组。尽管AJYX除菌组的抑菌效果略低于AJYX处理组,但其仍明显优于SZYX组和对

照组(CK),这表明AJYX除菌组中的化学成分本身也具有一定的抑菌活性,对抑制病原菌生长发挥了重要作用。

在针对镰刀腐皮菌和小麦赤霉菌的试验中,AJYX的抑菌效果虽不显著,但仍略优于其他处理组。整体而言,AJYX作为农用酵素,其优越的抑菌效果主要得益于发酵液中的活性成分和有益菌的协同作用,而除菌处理后,酵素的整体效果有所减弱,显示出微生物在抑菌过程中扮演着重要角色。

综上所述,银杏果皮发酵原液(AJYX)在对多种致病菌的抑制试验中表现出明显的优势,明显优于除菌处理后的溶液(AJYX除菌)和水煮液(SZYX)。这些结果进一步证实了农用酵素中的活性成分与有益菌协同作用的重要性,表明银杏果皮

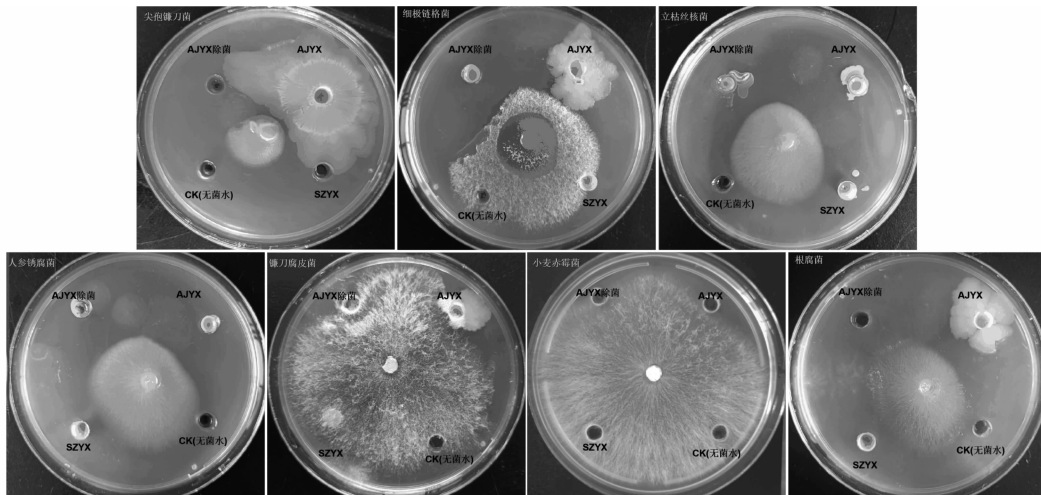


图5 银杏果皮农用酵素(AJYX)和水煮液(SZYX)对致病茵的抑制作用

发酵原液(AJYX)具有作为广谱、高效农用酵素的巨大潜力,值得进一步研究与应用。

2.4.2 杀虫效果 由图6-A可知,AJYX原液对红蜘蛛的杀灭效果最强,平均杀死率达到83.33%,显示出较强的杀虫活性。SZYX原液的杀灭效果次之,平均杀死率为67.78%,虽然不及AJYX,但也表现出较好的杀灭效果。随着稀释倍数的增加(1:5和1:10),2种处理液的杀灭效果均明显降低。尤其是稀释至1:10时,效果明显减弱,表明原液和发酵液中活性成分的浓度对杀灭效果至关重要。

由图6-B可知,AJYX原液对蚜虫表现出较好的杀灭效果,平均杀死率为66.57%,虽然略低于其对红蜘蛛的效果,但仍然显示出较好的杀虫活性。相比之下,SZYX原液对蚜虫的杀灭效果较弱,平均

杀死率为46.67%,同样低于其对红蜘蛛的杀灭率。稀释后的效果变化与对红蜘蛛的情况类似,稀释倍数增加至1:5和1:10后,杀灭效果明显降低。

银杏果皮农用酵素(AJYX)对红蜘蛛展现出明显的杀灭效果,其平均杀死率明显高于对蚜虫的杀灭率。水煮液(SZYX)虽然也具有一定的杀灭效果,但整体效果不及AJYX。稀释处理明显降低了2种酵素的杀虫效果,强调了在应用中保持较高浓度的重要性。因此,AJYX原液在防治红蜘蛛方面具有更好的应用前景,而SZYX可以作为辅助选择。这些结果表明,银杏果皮的的不同处理方式在农用杀虫剂中的应用潜力存在差异,尤其是在针对不同害虫时,其杀灭效果存在明显不同。

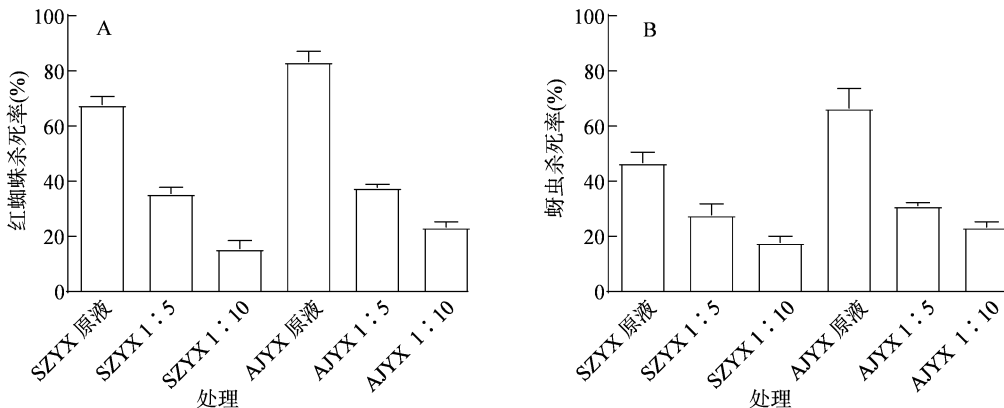


图6 银杏果皮水煮液(SZYX)和农用酵素(AJYX)对红蜘蛛和蚜虫的杀灭效果对比

2.4.3 化学成分分析 表1详细列出了银杏果皮水煮液(SZYX)与银杏果皮农用酵素(AJYX)中各自包含的化学成分,通过比较它们的化合物种类和

分子量,揭示了两者在成分上的相似性与差异性。重复成分:2种物质都含有L-亮氨酸、白果内酯、银杏内酯B、5-羟甲基糠醛和咖啡酸,这些成分

可能是两者共有的基础化学物质。独特成分:水煮液中特有成分包括腺嘌呤、苯甲酸、盐酸胡芦巴碱等。农用酵素中特有成分包括 2L-脯氨酸、L-缬氨酸、苦参碱、染料木素等。复杂化合物:农用酵素中的复杂化合物数量和分子质量似乎更高,例如黄芪甲苷(分子质量 830.47)和芸香苷(分子质量 610.15),这可能暗示农用酵素在应用中具有更广泛的生物活性。分子质量:农用酵素的化合物分子质量范围更广,为 115.06~830.47,表明其成分多样性较大。相对而言,水煮液的化合物分子质量范围较小,通常在 100~400 之间。总的来说,这份比较显示了两者在化学成分上的相似性和差异,表明它们可能在不同的生物和农业应用中具有不同的功能和优势。

表 1 银杏果皮水煮液(SZYX)和农用酵素(AJYX)中化学成分
的 UPLC-Q-TOF-MS/MS 测定结果

处理	化合物	化学式	分子质量
水煮液 (SZYX)	L-亮氨酸	C ₆ H ₁₃ NO ₂	131.09
	白果内酯	C ₁₅ H ₁₈ O ₈	326.10
	银杏内酯 B	C ₂₀ H ₂₄ O ₁₀	424.14
	腺嘌呤	C ₅ H ₅ N ₅	118.03
	苯甲酸	C ₇ H ₆ O ₂	122.04
	5-羟甲基糠醛	C ₆ H ₆ O ₃	126.03
	L-亮氨酸	C ₆ H ₁₃ NO ₂	131.09
	盐酸胡芦巴碱	C ₇ H ₇ NO ₂	137.05
	鸟嘌呤	C ₅ H ₅ N ₅ O	151.05
	L-苯丙氨酸	C ₉ H ₁₁ NO ₂	165.08
	5,7-二羟基色原酮	C ₉ H ₆ O ₄	178.03
	咖啡酸	C ₉ H ₈ O ₄	180.04
	阿格拉宾	C ₁₅ H ₁₈ O ₃	246.13
	小白菊内酯	C ₁₅ H ₂₀ O ₃	248.14
	香紫苏内酯	C ₁₆ H ₂₆ O ₂	250.19
	脱落酸	C ₁₅ H ₂₀ O ₄	264.14
	香紫苏内酯	C ₁₆ H ₂₆ O ₂	268.2
	芹菜素	C ₁₅ H ₁₀ O ₅	270.05
	山柰酚	C ₁₅ H ₁₀ O ₆	286.05
	表儿茶素	C ₁₅ H ₁₄ O ₆	290.08
	6-姜酚	C ₁₇ H ₂₆ O ₄	294.18
	二氢槲皮素	C ₁₅ H ₁₂ O ₇	304.06
	紫胶桐酸	C ₁₆ H ₃₂ O ₅	304.22
	表没食子儿茶素	C ₁₅ H ₁₄ O ₇	306.07
	异鼠李素	C ₁₆ H ₁₂ O ₇	316.06
	白果新酸	C ₂₀ H ₃₂ O ₃	320.23
	银杏酸 GA15:1	C ₂₂ H ₃₄ O ₃	346.25
	银杏酸 C17-1	C ₂₄ H ₃₈ O ₃	374.28

表 1(续)

化合物	化学式	分子质量	
银杏内酯 k	C ₂₀ H ₂₂ O ₉	406.13	
芹菜素-7-O-β-D-吡喃葡萄糖苷	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₀	432.10	
银杏内酯 C	C ₂₀ H ₂₄ O ₁₁	440.13	
木樨草苷	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₁	448.10	
二氢田基黄苷	C ₂₁ H ₂₂ O ₁₁	450.12	
香叶木素-7-O-β-D-葡萄糖苷	C ₂₂ H ₂₂ O ₁₁	462.12	
异槲皮苷	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₂	464.09	
原花青素 B1	C ₃₀ H ₂₆ O ₁₂	578.14	
金松双黄酮	C ₃₃ H ₂₄ O ₁₀	580.14	
山柰酚-3-O-芸香糖苷	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₅	594.16	
芸香苷	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₆	610.15	
农用酵素 (AJYX)	L-亮氨酸	C ₆ H ₁₃ NO ₂	131.09
	白果内酯	C ₁₅ H ₁₈ O ₈	326.10
	银杏内酯 B	C ₂₀ H ₂₄ O ₁₀	424.14
	2L-脯氨酸	C ₅ H ₉ NO ₂	115.06
	L-缬氨酸	C ₅ H ₁₁ NO ₂	117.08
	5-羟甲基糠醛	C ₆ H ₆ O ₃	126.03
	L-苯丙氨酸	C ₉ H ₁₁ NO ₂	165.08
	咖啡酸	C ₉ H ₈ O ₄	180.04
	异阿魏酸	C ₁₀ H ₁₀ O ₄	194.06
	苦参碱	C ₁₅ H ₂₄ N ₂ O	248.19
	刺芒柄花素	C ₁₆ H ₁₂ O ₄	268.07
	染料木素	C ₁₅ H ₁₀ O ₅	270.05
	根皮素	C ₁₅ H ₁₄ O ₅	274.08
	α-亚麻酸	C ₁₈ H ₃₀ O ₂	278.22
	毛蕊异黄酮	C ₁₆ H ₁₂ O ₅	284.07
	异樱花素	C ₁₆ H ₁₄ O ₅	286.08
	6-姜酚	C ₁₇ H ₂₆ O ₄	294.18
	射干苷元	C ₁₆ H ₁₂ O ₆	300.06
	4',7-二甲基柚皮素	C ₁₇ H ₁₆ O ₅	300.10
	棕榈酸甲酯	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	316.26
	白屈菜赤碱		347.11
	银杏内酯 C	C ₂₀ H ₂₄ O ₁₁	440.13
	雷公藤内酯甲	C ₃₀ H ₄₆ O ₃	454.34
	黄芪甲苷	C ₄₁ H ₆₈ O ₁₄	830.47

3 讨论与结论

本研究利用 5 种农业大宗废弃物(韭黄残渣、核桃青皮、烟草花、银杏果皮和生姜茎叶)制备农用酵素,对其在病虫害防治中的生防效果进行了系统评估。结果表明,这些农用酵素在有机酸、总氨基酸、总多酚和粗多糖含量上均显著高于行业标准,显示出良好的生物活性和应用潜力。

特别是银杏果皮农用酵素,在抑菌和杀虫效果方面表现最为突出。银杏果皮农用酵素对根腐菌、尖孢镰刀菌和人参锈腐菌的抑菌率分别达到81.40%、78.03%和64.33%,远高于其他酵素;在对蚜虫和红蜘蛛的杀虫试验中,死亡率分别达到66.57%和83.33%,显示出较强的杀虫能力。

通过化学成分分析,笔者发现发酵后的银杏果皮酵素中存在一些独特的化学成分,这些成分可能是其生物活性增强的原因。同时,对比发酵液和水煮液的效果,笔者认为抑菌效果主要来源于发酵液中的活菌,而杀虫效果则主要归因于其化学成分。

本研究的发现为植物源废弃物的资源化利用提供了新的途径,同时为农用酵素的开发和应用提供了科学依据。然而,研究也存在一定的局限性,例如,试验主要在实验室条件下进行,实际田间应用的效果和持久性尚未得到验证。此外,农用酵素的作用机制和长期应用对生态系统的影响也需要进一步研究。

未来工作将重点围绕优化发酵工艺、田间验证、机制探索及生态安全评估4个方面展开:首先,通过改进发酵工艺提升酵素的稳定性和生物活性;其次,在实际田间条件下系统验证其防治效果的持久性与环境适应性;同时,深入解析其抑菌和杀虫活性的分子机制;最后,全面评估长期施用对土壤微生物群落及生态平衡的影响,确保其作为绿色防控手段的环境安全性。这些研究将为农用酵素的规模化应用提供工艺支撑、理论依据和生态安全数据,以期最终推动植物源废弃物的高值化利用,促进农业绿色可持续发展。

参考文献:

- [1] 吴少博,邢力元,王进朝,等. 农业废弃物资源化利用的国内外研究热点和发展趋势分析[J]. 中国农学通报,2024,40(8):148-156.
- [2] 王吉平,苏天明,张野,等. 基于文献计量学的农业废弃物资源化利用研究现状及态势分析[J]. 湖南生态科学学报,2021,8(1):58-69.
- [3] 卢韵凝. 我国农业废弃物资源化利用现状及对策[J]. 南方农业,2022,16(6):212-214.
- [4] 宋刘洋,丁舒心,张琪,等. 农业废弃物资源化利用研究进展[J]. 青海农林科技,2024(1):42-46.
- [5] Diacono M, Persiani A, Testani E, et al. Recycling agricultural wastes and by-products in organic farming: biofertilizer production, yield performance and carbon footprint analysis[J]. Sustainability, 2019, 11(14):3824.
- [6] de Dieu Marcel Ufitikirezi J, Filip M, Ghorbani M, et al. Agricultural waste valorization: exploring environmentally friendly approaches to bioenergy conversion[J]. Sustainability, 2024, 16(9):3617.
- [7] 杨浩瑜,秦洁,武晓燕,等. 微生物在我国农业废弃物资源化利用中的研究进展[J]. 再生资源与循环经济,2023,16(11):1-4.
- [8] 吕蕾. 农业有机废弃物在食用菌生产中的循环利用[J]. 当代农机,2024(4):75-76.
- [9] 何向育. 农业废弃物资源化利用的经济学研究[J]. 中国生态农业学报(中英文),2024,32(8):1432-1440.
- [10] Tudi M, Ruan H D, Wang L, et al. Agriculture development, pesticide application and its impact on the environment[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021, 18(3):1112.
- [11] 张绍娟. 农业有害生物绿色防控技术应用对策思考[J]. 南方农业,2020,14(26):22-23.
- [12] 陈学新,杜永均,黄健华,等. 我国作物病虫害生物防治研究与应用最新进展[J]. 植物保护,2023,49(5):340-370.
- [13] 张越,赵宇宾,蔡亚凡,等. 农用植物酵素的生态效应研究进展[J]. 中国农业大学学报,2020,25(3):25-35.
- [14] 苏本营,周美华,李晶,等. 农业废弃物生产环保酵素及其应用研究进展[J]. 北方园艺,2024(8):119-125.
- [15] 刘艳娜,崔楠楠,张杰,等. 芳香植物源营养液对梨树的抑菌和营养效应[J]. 中国农业科学,2011,44(19):3981-3990.
- [16] 方晨,周紫琳,郑凤丽,等. 黄酒米浆水制备农用酵素营养液发酵过程中营养成分的变化[J]. 安徽农业大学学报,2018,45(6):1004-1011.
- [17] 李冰,朱秀敏,李代,等. 农用植物酵素有效成分及作用机制[J]. 中国农业科技导报,2024,26(7):156-165.
- [18] 廖欣,王忍,张印,等. 酵素菌剂与有机肥配施对水稻产量、品质和土壤养分的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(14):95-101.
- [19] 郁帆,冯莹,韩剑,等. 农用植物酵素液中梨树腐烂病菌拮抗细菌的筛选和防病效果[J]. 中国农业科技导报,2021,23(12):125-135.
- [20] 戴焱,黄仁权,高永,等. 农用植物酵素对干旱胁迫下高粱种子萌发及生长的影响[J]. 种子,2023,42(3):107-111, 119.
- [21] 刘宇,陈娇月,赵飞,等. 农用酵素对有机番茄高品质生产的作用[J]. 中国农业大学学报,2024,29(6):137-152.
- [22] 范鹤龄,朱清,孙雪冰,等. 不同农用酵素的微生物多样性和群落结构[J]. 中国农业科技导报,2022,24(11):179-189.
- [23] 王丽丽,湛江华,柴伟纲,等. 7种生物酵素对病虫害的室内防治作用初探[J]. 浙江农业科学,2014(8):1209-1211.
- [24] 周健,方晨,喻锦秋,等. 两种农用酵素营养液发酵过程中营养成分的变化[J]. 科技通报,2019,35(7):92-96,108.
- [25] 全国食品工业标准化技术委员会. 植物酵素:QB/T 5323—2018[S]. 北京:中国轻工业出版社,2018.
- [26] Gao Y H, Zhang Y, Cheng X Q, et al. Agricultural Jiaosu: an eco-friendly and cost-effective control strategy for suppressing fusarium root rot disease in *Astragalus membranaceus* [J]. Frontiers in Microbiology, 2022, 13:823704.