

农用植物酵素的生态效应研究进展

张越¹ 赵宇宾¹ 蔡亚凡¹ 刘小平² 胡跃高¹ 王小芬^{1*}

(1. 中国农业大学 农学院, 北京 100193

2. 四川省泸县农业农村局, 四川 泸州 646100)

摘要 为明确农用植物酵素发酵机理及生态效应,本研究分析 2005—2018 年国内外已发表 75 篇文献,总结现有农用植物酵素发酵机理、工艺、成分、农业应用和问题挑战,重点分析农用植物酵素生态效应特点及作用机制。结果表明,农用植物酵素是富含矿质养分、代谢活性物质和有益微生物菌群的复杂而稳定的生态系统,在土壤改良、促进作物生长及防虫抑菌等方面均发挥重要作用。展望未来,农用植物酵素是获得当地土著有益微生物的一项简便易行的方法,也是变废为宝且便于推广的一项新兴技术。

关键词 农用植物酵素; 废弃物处理; 土壤-微生物-植物; 生态效应; 农业生态系统

中图分类号 X712 **文章编号** 1007-4333(2019)03-0025-11 **文献标志码** A

Ecological effects of plant Jiaosu for agriculture: A review

ZHANG Yue¹, ZHAO Yubin¹, CAI Yafan¹, LIU Xiaoping², HU Yuegao¹, WANG Xiaofen^{1*}

(1. College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China

2. Sichuan Luxian Agricultura and Rural Affairs, Luzhou 646100, China)

Abstract In order to clarify the fermentation mechanism and ecological response of plant Jiaosu for Agriculture, this review analyzes 75 published literatures from 2005 to 2018, summarizes the fermentation mechanism, process, composition, agricultural application and challenges, and focuses on the mechanism of ecological effects of plant Jiaosu for agriculture. The results suggest that plant Jiaosu for agriculture is a complex complex and stable ecosystem with multi-function which is rich in nutrients, metabolically active substances and beneficial microbial flora. Due to the multiple components, Jiaosu displays different agro-ecological effects in soil improvement, the promotion of crop growth and insect control and bacteriostatis. Plant Jiaosu is a simple and easy way to obtain indigenous beneficial microorganisms from environment. It is also a novel technology that can be easily implemented in rural area.

Keywords plant Jiaosu for agriculture; agricultural waste management; soil-microorganisms-plant; ecological effects; agro-ecosystem

中国自古是农业大国,农业安全生产是全民健康生活的基石。改革开放以来,集约化农业带来作物产量提高的同时,也造成巨大的环境污染,农业面临一次由高投入、粗放型、追求产量到低投入、高产、低污染和高品质的变革^[1-3]。在生态文明大背景下,有机农业、循环农业及生态农业应运而生。农业农村部大力推进化肥减量提效,农药减量控害,积极探索产出高效、产品安全、资源节约、环境友好的现代农业发展之路,故需研发新的农业投入品来减少化肥

农药使用从而推动农业健康持续发展。

2018 年 12 月 28 日,工业和信息化部(工信部)发布关于酵素的两项标准,分别为 QB/T 5323-2018《植物酵素》^[4]和 QB/T 5324-2018《酵素产品分类导则》^[5]。标准中规定植物酵素分为农用、食用、日化、环保及其他 5 大类。其中农用植物酵素包括种植业、养殖业和土壤改良 3 类。种植业用、养殖业用和土壤改良植物酵素的理化指标均被详细标明,见表 1。农用植物酵素其本质是微生物利用植物源

收稿日期: 2019-04-18

基金项目: 现代农业产业技术体系建设项目(201601510110144)

第一作者: 张越,博士研究生,E-mail: amy Zhang@cau.edu.cn

通讯作者: 王小芬,主要从事生物质资源农用转化研究,E-mail: wxiaofen@cau.edu.cn

表1 农用植物酵素分类及(特征)理化指标^[5]

Table 1 Classification and physicochemical indicators of plant Jiaosu for agricultural

植物酵素种类 Classification of plant Jiaosu	指标 Index	形态 State	
		液态 Liquid	固态 Solid
种植业用植物酵素 Plant Jiaosu for planting	pH	≤8.0	≤8.0
	水分	—	≤30%
	有机质	≥5 g/L	≥45 g/kg
	有机酸(以乳酸计)	≥1 g/L	≥5%
	有效活菌数	≥1×10 ⁷ CFU/mL	≥1×10 ⁷ CFU/g
	微量元素	≥2 g/L	≥1 g/kg
	氨基酸	≥10 g/L	≥15 g/kg
	低聚糖	≥5 g/L	≥5 g/kg
	蛋白酶活性	≥100 U/L	≥500 U/kg
	β-葡聚糖酶活性	≥200 U/L	≥1 000 U/kg
	多酚	≥0.1 g/L	≥0.05%
	粗多糖	≥20 g/L	≥10%
养殖业用植物酵素 Plant Jiaosu for breeding	pH	≤7.5	—
	水分	—	≤30%
	乙醇含量	≤0.8 g/L	—
	有效活菌数	≥1×10 ⁷ CFU/ mL	≥1×10 ⁷ CFU/ g
	氨基酸	≥15 g/L	≥15 g/kg
	游离氨基酸	≥10 g/L	≥5 g/kg
	总酸	≥5 g/L	≥15 g/kg
	有机酸(以乳酸计)	≥1 g/L	≥5 g/kg
	粗多糖	≥10 g/L	≥15 g/kg
	低聚糖	≥5 g/L	≥5 g/kg
	蛋白酶活性	≥100 U/L	≥500 U/kg
	α-淀粉酶活性	≥200 U/L	≥1 000 U/kg
脂肪酶活性	≥50 U/L	≥200 U/kg	
土壤改良植物酵素 Plant Jiaosu for soil improvement	pH	≤7.5	≤7.5
	水分	—	≤30%
	有机酸(以乳酸计)	≥1 g/L	≥5 g/kg
	有效活菌数	≥1×10 ⁷ CFU/mL	≥1×10 ⁷ CFU/g
	有机质	≥5 g/L	≥45 g/kg
	微量元素	≥2 g/L	≥1 g/kg
	氨基酸	≥10 g/L	≥10 g/kg
	粗多糖	≥20 g/L	≥15 g/kg

注:表中指标均为发酵过程中产生的非外源添加的物质。酶活性在25℃条件下保存≥半年。

Note: The indicators in the table are all non-exogenous substances produced during fermentation.

Enzyme activity is kept at 25℃ for not less than half a year.

有机废弃物发酵而成的发酵液,含有营养成分、代谢活性物质与有益微生物菌群,是具有多元复合功能的生态产品。

农用植物酵素是一种新型高附加值生态投入品,用途广泛,目前作为叶面肥,滴灌肥,生物农药和分解菌剂等应用于农业生产^[6-7]。该技术是富集本地有益微生物和处理当地有机废弃物的一项简单易行方法,具有成本低、设备简易和操作方便等优势,对促进植物生长、提高作物品质、改善土壤生态、缓解环境污染及作物防病治虫等均有积极作用,具有广阔的研究和应用前景。

但目前农用植物酵素的研究和应用处于探索阶段,与其发酵机理、工艺优化,生态应用模式等相关的研究鲜有报道。本研究通过分析2005—2018年已发表的75篇文献,总结现有农用植物酵素发酵机理、工艺、成分、农业应用和问题挑战,重点分析农用植物酵素生态效应特点及作用机制,旨在阐明通过农用植物酵素构建健康的土壤-微生物-植物农业生态系统的思路,以期为农用植物酵素的深入研究及推广应用奠定基础。

1 农用植物酵素

中国工业和信息化部定义农用植物酵素是指以植物为主要原料,添加或不添加辅料,经微生物发酵制得的含有特定生物活性成分的用于种植业、养殖业和土壤改良的酵素产品^[4-5]。农用植物酵素由微生物发酵而成,其影响因素包括植物源有机废弃物的成分和性状、原料配比、发酵温度、发酵周期、氧气含量、搅拌和是否添加菌剂等。发酵底物组成成分是关键因子,可直接影响发酵周期和农用植物酵素的成分。植物源有机废弃物的基本性状,如粉碎程度和含水量等对发酵进程亦有较大影响;氧气含量、温度等可影响微生物多样性和生命活动间接影响发酵系统。

1.1 发酵工艺

郭俊花等^[8]研究表明,苹果渣酵素最优发酵工艺为苹果皮渣添加量400 g/L、加糖量90 g/L、初始pH 5.5、发酵时间150 d。30℃中温发酵效果最优^[9]。梨幼果:酵素:红糖:水=50:1:10:35(质量比),果实浆状,有氧条件,25~28℃,发酵30~45 d是农用植物酵素最佳的发酵工艺^[10]。综上所述,农用植物酵素的原料配比可根据原料性质调整,适度粉碎、中温发酵是较优工艺参数^[11]。

1.2 基本成分

发酵体系中微生物以植物源有机废弃物为发酵底物,通过厌氧发酵生成含有矿质养分、有效活菌、有机酸和植物激素等生物活性物质于一体的农用植物酵素^[12]。

1.2.1 矿质养分

农用植物酵素中富含植物生长必需的N、P、K三大营养元素,也包括Ca、Mg和S等中量元素和B、Cu、Fe和Mn等微量元素,且比例适宜,利于作物吸收。耿健等^[13]研究表明,孔雀草、紫苏、神香草、薄荷和香矢车菊5种芳香植物源营养液中的P、Ca和Mg含量显著高于北京南国春有机农业技术开发有限公司生产的叶面肥南国春,且各种矿质元素含量比例较为平衡。植物源酵素原液中富含N、P、K、Ca、Mg、Fe、Zn和B等矿质元素^[14]。综上,农用植物酵素中富含的矿质养分及微量元素与原料性质有直接关系,因此,应针对性地根据特定作物的需肥规律选择特定的酵素发酵底物。

1.2.2 有效活菌

农用植物酵素是微生物发酵产品,整个发酵体系中主要是细菌和真菌两类微生物群。佟玉洁等^[15]研究表明农用植物酵素中主要微生物为酵母菌和霉菌,可参与硝化和反硝化过程,从而调节土壤氮素平衡,还可促进土壤腐殖质的合成。此外,该类微生物可促进有机质的矿化,增加土壤肥力。部分霉菌具有分解纤维素的作用。杨芳等^[16]发现酵素约有5种优势菌群。杜丽平等^[17]通过对木瓜酵素自然发酵过程微生物进行测定,发现酵素中主要细菌有植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*)、假肠膜明串珠菌(*Leuconostoc pseudomesenteroides*)、类肠膜魏斯氏菌(*Weissella paramesenteroides*)及不可培养的丙酸菌(*Uncultured Propionibacterium sp.*),其中植物乳杆菌为主要优势细菌;主要酵母有酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)、假丝酵母(*Candida xestobii*、*Candida intermedia*)、毕赤酵母(*Pichia guilliermondii*、*Komagataella phaffii*、*Pichia punctispora*、*Pichia galeiformis*)、棒孢酵母(*Clavispora sp.*)及弗比恩酵母(*Cyberlindnera fabianii*),其中酿酒酵母和毕赤酵母为主要优势酵母。

1.2.3 有机酸

农用植物酵素体系中的微生物通过自身代谢产生乳酸、乙酸、柠檬酸和氨基酸等有机酸,这些酸性物质具有螯合、酸溶和抑菌作用,可活化土壤中的矿

质养分。其中氨基酸主要来源于发酵底物中蛋白质的酶解以及微生物自溶^[18]。

Arun^[19]提出乙酸可作为农用植物酵素发酵成熟的生物指标。柳明娟等^[20]检测到农用植物酵素中富含以天冬氨酸和谷氨酸为主的17种氨基酸成分。黄伟菁等^[21]制作农用植物酵素在发酵过程中游离氨基酸含量逐渐下降最终趋于平稳,而腐殖酸含量呈现缓慢上升趋势。

1.2.4 植物激素

农用植物酵素中的植物激素包括生长素类、赤霉素类、细胞分裂素类和脱落酸类,可有效调控作物生长^[22]。利用孔雀草和紫苏等5种芳香植物制备农用植物酵素,结果表明神香草酵素中生长素和细胞分裂素含量较高分别达到303.77和129.98 ng/mL,同时还含有少量赤霉素和脱落酸^[13]。植物源酵素原液中含有大量生长素、细胞分裂素、赤霉素和脱落酸且比例均衡^[14]。

1.2.5 酶

农用植物酵素中富含多种活性酶,主要为脂肪酶、淀粉酶、蛋白酶和过氧化氢酶等。Selvakumar^[23-24]测定出农用植物酵素中含有蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶,并称其为多元复合水解催化剂。农用植物酵素中含有上述3种活性酶,可有效提高活性污泥产甲烷潜力^[25-26]。除含有上述酶类,农用植物酵素中还有少量的纤维素酶和超氧化物歧化酶(SOD)等^[27-29]。

2 农用植物酵素在农业中的生态效应

化肥农药的长期施用危害巨大,水体富营养化、重金属污染、有毒有害物质增加、氮氧化物的排放、土壤板结、微生物多样性锐减、食品安全和害虫抗药性增强等问题日益凸显^[30]。农用植物酵素作为农田废弃物资源化利用的生态产品,是集营养元素,活性代谢产物与有益微生物于一体的多元体系,这种多元性导致其用途的广泛性,可作为液态肥、杀虫剂和土壤改良剂等被广泛使用。

2.1 作用机理

农用植物酵素的生产技术要点是以植物源有机废弃物为发酵底物就近就地培养本地微生物,通过生物发酵转化成能够培肥地力、控虫防害和提高植物免疫力的有机生态产品。其作用机理可分为以下几点:

1) 农用植物酵素富含氮、磷、钾等大量元素及微量元素,能被植物有效吸收利用。其有机质含量较

高,能为土壤提供各种养分,但多以缓效形式存在,可提高土壤肥力。此外,有机质还可与腐殖质和多糖等物质共同调控土壤团粒结构及pH等理化性质,并通过调控微生物来增加土壤酶活性、平衡微生物丰度和组成^[31-32]。

2) 农用植物酵素是微生物发酵产品,其中有益微生物在整个农业生态系统中扮演着重要的角色。碳氮元素的代谢、有机废弃物的资源化利用、土壤及植物病害的防治等均由微生物主导。Elizabeth等^[33]将草场的土壤接种到贫瘠的土壤中,使其作为“Booster shots”,使土壤由贫瘠变肥沃,其根本原因在于草场中丰富的微生物群在贫瘠土地中生存繁殖并逐步改善土壤的质量。Franco等^[34]研究也表明有机种植方式会改变土壤微生物群的丰度和结构,在促进有益微生物的生长繁殖的同时抑制有害微生物。部分微生物代谢产生的多种有机酸及酶类^[35],能分解土壤中不能被作物直接吸收利用的和难溶性无法吸收的矿质养分。研究表明,低分子有机酸和腐殖酸可活化土壤中的无机磷^[36-37]。酶的活性可间接地反映土壤中生化反应的方向和强度,酶可水解蛋白质产生氨基酸、多肽,还可刺激吡啶乙酸和赤霉素等植物激素的分泌,这些活性物质能促进细胞分裂、提高光合效率、使作物根系更发达,对于农用植物酵素中的酶作用机制有待进一步验证^[38]。

3) 农用植物酵素一般pH<4,且富含多种小分子有机酸。王勇等^[39]研究表明苯甲酸、酒石酸和肉桂酸等14种有机酸能有效抑制小麦全蚀病菌、草莓灰霉病菌等多种病原菌。这是因为大多数微生物均不耐酸,有机酸可抑制生物大分子合成,提高胞内渗透压,诱导产生抗菌肽^[40]。

2.2 农业生态效应

2.2.1 作物增产

农用植物酵素富含有益微生物,能有效平衡土壤微生物。其中的乳酸菌等能抑制病菌,防治多种作物病害,对促进形成健康的土壤微生物生态环境有积极作用。农用植物酵素含有丰富的大量元素及微量元素,可被植物直接吸收利用,有机酸等可将难溶的矿物元素分解为可溶态,进一步补充植物的营养需求。隋丽丽等^[41]以农用植物酵素1:200稀释液进行蔬菜小区试验,黄瓜与辣椒单位产量较对照组分别增加5.8%和22.2%。梁会欣等^[42]利用植物酵素施用于马铃薯,处理组较对照组增产19.3%~29.9%。张艳梅等^[43]利用1:200酵素稀释液在玉

米关键时期进行喷施,增产效果达 17.9%~25.8%。李洁等^[44]在黄瓜生长期,施用植物酵素 6 次,结果表明植物酵素可促进植株生长,与对照相比增产 23.49%。

2.2.2 土壤改良

由于化肥农药长期乱用滥用,土壤遭到严重破坏,酸碱失衡、板结严重和重金属污染等,而农用植物酵素因富含有机质和有机酸等成分具有一定酸碱缓冲能力,能有效改善土壤的 pH。李方志等^[45-47]的研究表明,农用植物酵素能有效增加土壤中氮、磷、钾及有机质的含量,从而改善土壤理化性质,提高土壤质量。冯筠洋等^[48]将农用植物酵素施用土壤后,发现土壤中蚯蚓数量增加,氮磷钾等营养元素含量提高,土壤更加肥沃。佟玉洁等^[15]的研究也表明农用植物酵素能有效增加土壤中养分含量,并确定最佳的稀释浓度为 1:800。

2.2.3 植物生长

农用植物酵素可作为液体肥料浇灌于土壤或喷施于植物,其中富含的多种植物激素,如 IAA(生长素)、CTK(细胞分裂素)、GA(赤霉素)和 ABA(脱落酸),可明显促进作物光合作用,利于作物生长。陶津等^[49]将农用植物酵素施用于辣椒,结果表明 1:750 稀释液能使辣椒的生长势增强,产量增加。孙雨浓等^[50]利用土培法培养菠菜幼苗,发现农用植物酵素能有效提高菠菜幼苗 POD(过氧化物酶)和 SOD 等活性,从而提高植物的抗逆性。罗蕊等^[10]将农用植物酵素喷施于梨树叶面,能显著促进叶片生长,提高其中矿质成分含量,提升叶片光合性能,从而促进梨树生长。杨文静等^[51]试验结果表明,与清水对照相比,农用植物酵素能促进树木新梢生长,增大叶面积,提高叶绿素含量及单果重量,并提高果实中可溶性固形物及维生素 C 的含量。代明亮等^[12]利用植物源营养液能有效提高新梢生长量、叶面积、单果重及可溶性固形物含量。

2.2.4 防病治虫

发酵成熟的农用植物酵素 pH 在 4 左右,这是由于系统中富含大量乳酸菌等有益微生物,可代谢产生有机酸可降低发酵体系 pH,抑制其他有害微生物的生长繁殖。农用植物酵素中低级挥发性脂肪酸对某些虫害酶系起到抑制作用,影响其正常生理活动。此外,赤霉素等植物激素对病虫害防治有增效功能,从而达到防治病虫的效果^[52]。韦文芳等^[53]的研究表明农用植物酵素通过浸种,喷淋等方式可

有效防治黄瓜枯萎病。大蒜农用植物酵素对于黄瓜白粉病、霜霉病和番茄叶霉病防治效果分别达到 85.6%、79.2%和 82.55%^[54]。王丽丽等^[55]发现大蒜、丁香和洋葱农用植物酵素对朱砂叶螨有较好地毒杀作用,死亡率分别高达 77%、65%和 67%。而生姜和大蒜农用植物酵素对青枯劳尔氏菌有拮抗作用,处理 2 d 后抑菌圈直径分别为 3.0 和 2.2 cm,蒜素是一种有效防控植物病害的天然成分^[56]。王荣娟等^[57]用苹果农用植物酵素配合水杨酸混合喷施草莓,对灰霉病有显著抑制作用。耿健等^[13]发现喷施芳香源植物发酵液可以有效抑制梨树黑星病、轮纹病和腐烂病。

综上,农用植物酵素的防病治虫功能是由于农用植物酵素中的有机酸及有益微生物,而含有大蒜、生姜和洋葱等具有特殊驱虫杀虫功能的芳香类植物的农用植物酵素对病虫害防治更有效。因此,在农业生产上,可利用大蒜、生姜、洋葱、辣椒和萹草等具有驱虫作用的芳香类植物为底物,针对性地用于植物的防病治虫。

2.2.5 降低重金属污染

重金属污染范围广,主要通过水、大气和土壤污染进而导致农产品重金属超标^[58]。近年来,关于重金属超标食品的新闻屡见不鲜,而土壤被认为是重金属进入食物链的主要来源,目前主要利用微生物降低土壤重金属可利用度。农用植物酵素作为微生物发酵产品,可用于农田重金属的治理。周泽宇等^[59]研究表明喷施农用植物酵素可显著降低稻米中镉含量。丁文墨等^[60]的研究结果表明应用酵素种植的菠菜、快菜中重金属含量(砷、铅、镉、铬和汞)均远低于 GB 2762-2012^[61]中的限量。但其机理还有待于进一步深入研究。

2.2.6 治理污泥污水

水污染是全球关注的热点话题,其中灰水是污水主要来源,其 COD 值(化学需氧量)较高且富含大量的磷和氨氮,直接排放将导致水体与土壤富营养化,对植物有害,故需要对污水进行无害化处理,研究表明农用植物酵素对污水和活性污泥的处理具有显著效果。Fazna 等^[62]的研究发现农用植物酵素处理 27 d 后能完全去除灰水中的氨氮和磷,且 TDS(溶解性总固体)、BOD(生化需氧量)和 COD 指标均呈现下降趋势。Fu 等^[63]研究也证明农用植物酵素可有效去除污水中的氨氮和磷。Rasit 等^[64]研究表明农用植物酵素能有效去除棕榈废水中油脂、

TSS(总悬浮固体)和 COD。印度科技部相关研究表明农用植物酵素处理后,乳业废弃活性污泥的产氢能力大大提高^[65]。薛书雅等^[66]发现农用植物酵素处理 30 min 后,可有效去除水中余氯。

2.2.7 农残降解

农药残留是食品安全的重要问题之一。韦文芳等^[53]利用 4 种不同浓度农用植物酵素(1:100/200/300/400)处理喷施 5 种农药(氧化乐果、高效氯氟氰菊酯、高效氯氟菊酯、毒死蜱和百菌清)的芥菜,并利用气相色谱法对喷施农用植物酵素后 24、48、72 和 96 h 的样本进行动态监测,结果表明相较于清水对照,农用植物酵素对 5 种农药降解效果明显,其中 96 h 后氧化乐果、高效氯氟氰菊酯、高效氯氟菊酯被完全降解,毒死蜱、百菌清的降解率也达到

99.35%和 91.30%。

综上所述,农用植物酵素具有多元生态效应,可提高土壤肥力,促进作物生长,提高有益微生物丰度,促进土壤、水和作物间物质能量的良性循环。图 1 可知,大量施用化肥农药是不可持续的农业发展模式,且长期使用危害巨大。农用植物酵素在农业生产中的不同用途,其具有多效复合生态效应,能促进农业系统的平衡与健康发展。农用植物酵素可代替部分化肥农药,二者配施可增加生物多样性,提高土壤有机质含量,降低土壤养分消耗,增加土壤酶活性,提高部分作物产量,优化土壤性质,稳定土壤生态系统,这有利于提高农业系统中健康土壤-微生物-植物生态系统内稳性,最终推动农业可持续发展^[71]。

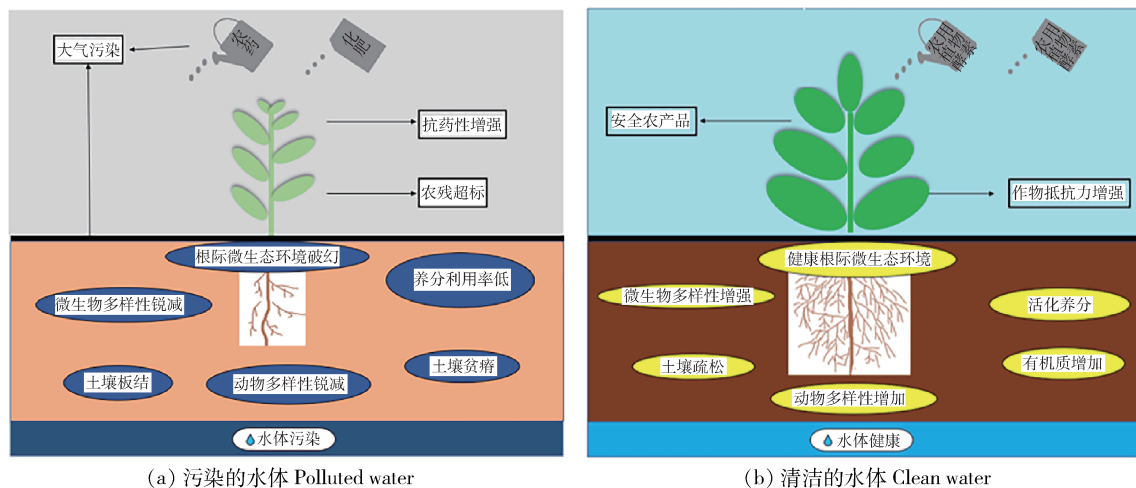


图 1 农药化肥及农用植物酵素对农田系统影响示意图^[67-70]

Fig. 1 Schematic diagram of the influence of pesticide, fertilizer and plant jiaosu for agriculture on farmland system^[67-70]

3 农用植物酵素面临的问题

目前,农用植物酵素主要在家庭农场使用,相关理论研究还未深入开展。具体总结如下:

3.1 缺乏基础研究

工信部已对农用植物酵素建立了行业标准,对具体产品指标有明确规定,但由于农用植物酵素是新兴产业,其相关的基础研究十分缺乏。农用植物酵素的品质受发酵环境影响较大,需根据特定发酵底物,优化其糖添加量、粉碎程度和搅拌频率等工艺参数。通过监测其理化性质及微生物动态,揭示其发酵机理,并明晰农用植物酵素有效活性成分对土

壤-植物-微生物系统的作用机制。通过基础研究,逐渐形成其理论及实践,为产业提供理论及技术支撑。

3.2 发酵稳定性较差

由于农用植物酵素原料来源广泛、分布范围广,发酵稳定性不易保证,接种可使有益菌群在发酵系统中迅速繁殖,占据优势生态位,从而提高发酵效率,保证发酵的稳定性。因此开发农用植物酵素发酵促进菌剂是一项保证发酵成功的重要工作。

3.3 施用标准欠细化

为科学地指导实践生产,需制定农用植物酵素施用标准,即针对特定农作物建立相应施用方案,规

定其施用方式、施用浓度和施用时期等。

4 展 望

近年来,随着《农业综合开发区域生态循环农业项目指引》^[73]、《到2020年化肥施用量零增长行动方案》^[74]及《到2020年农药使用量零增长行动方案》^[75]等多项文件的颁布,发展生态农业是大势所趋。农用植物酵素属于植物源发酵液,具有绿色环保、操作简单、成本低廉和应用广泛等特点,是促进农业生态系统健康发展,符合现代生态农业发展的趋势,理应受到研究者的关注和重视。

目前农用植物酵素作为新生事物,亟待对其开展基础性研究。本研究就此做以下几点展望:

1) 农用植物酵素原料来源广泛且性质差异较大,需优化其发酵工艺参数,以期为规模化生产提供理论依据。

2) 农用植物酵素多在小型农场自然发酵而成,这种应用模式取得了较好的效益,但发酵周期长、占地面积广。随着农用植物酵素的进一步发展和推广,需开发配套的现代化发酵设备,提高发酵效率,缩短发酵周期,以适应新的发展阶段需求。发酵设备可结合大中型农场的生态循环农业建设,可实现大中型农场本地废弃果蔬和餐厨剩余物等资源向农田投入品转化,对提高土壤有机质及改善土壤生态具有非常重要的意义。

3) 需针对特定植物源原料研发新型多功能农用植物酵素,如开发特定作物的农用植物酵素专用型产品及广谱型功能酵素产品,如营养型、防病型和土壤改良型等多种功能产品。

4) 农用植物酵素作为一种富含有益微生物的酸性发酵液,可与废弃物资源化技术相结合,建立农用植物酵素与堆肥、沼液等配合施用模式,这将是未来生态农业的一个发展方向。

参考文献 References

[1] 张宇坤,田景云,尹雅文,谢宙雨,刘妍,李雪梅,孟宪东. 生态循环农业视阈下环保酵素农耕应用的探索[J]. 辽宁科技学院学报, 2018, 20(1): 3
Zhang Y K, Tian J Y, Yin Y W, Xie Z Y, Liu Y, Li X M, Meng X D. Exploration of using rubbish enzyme into farming from the visual angle of ecological recycling agriculture[J]. *Journal of Liaoning Institute of Science and Technology*, 2018, 20(1): 3 (in Chinese)

[2] 孟凡乔. 中国有机农业发展: 贡献与启示[J]. 中国生态农业学报, 2019, 27(2): 198-205
Meng F Q. Organic agriculture development in China: Challenges and implications[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2019, 27(2): 198-205 (in Chinese)

[3] 沙威. 发展生态农业对生态文明建设的作用分析[J]. 农技服务, 2017, 34(1): 153
Sha W. Analysis of the function of developing ecological agriculture to the construction of ecological civilization[J]. *Agriculture Technology Service*, 2017, 34(1): 153 (in Chinese)

[4] QB/T 5323. 植物酵素[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018
QB/T 5323. Plant Jiaosu[S]. Beijing: China Standard Press, 2018 (in Chinese)

[5] QB/T 5324. 酵素产品分类导则[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018
QB/T 5324. Guidelines for the classification of Jiaosu products [S]. Beijing: China Standard Press, 2018 (in Chinese)

[6] 欧阳传德, 陈琴琴. 浅议自制环保酵素在农业生产中的应用[J]. 安徽农学通报, 2018, 1(3): 53-54
Ouyang C D, Chen Q Q. Application of garbage enzymes for environmental protection in agricultural production[J]. *Anhui Agriculture Science Bulletin*, 2018, 1(3): 53-54 (in Chinese)

[7] 马倩颖. 浅析环保酵素在家居和农业上的应用[J]. 科技风, 2018, 5(2): 150
Ma Q Y. Brief analysis the application of environmental protection enzymes to home and agriculture[J]. *Technology Wind*, 2018, 5(2): 150 (in Chinese)

[8] 郭俊花, 许先猛, 马欣, 王晓东, 李赟群. 利用苹果皮渣发酵制备天然酵素工艺优化及其对苹果品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(1): 97-101
Guo J H, Xu X M, Ma X, Wang X D, Li Z Q. Optimization of natural enzyme production by apple peel residue fermentation and its effect on apple quality[J]. *Jiangsu Agriculture Science*, 2018, 46(1): 97-101 (in Chinese)

[9] 蔡毅飞, 唐敏. 环保酵素的发酵过程研究[J]. 科技资讯, 2017 (14): 230-232
Cai Y F, Tang M. Study on fermentation process of garbage enzymes for environmental protection[J]. *Science & Technology Information*, 2017(14): 230-232 (in Chinese)

[10] 罗蕊, 张杰, 柳明娟, 姬谦龙, 姚允聪. 梨果实源营养液的制备及其对梨树叶片光合特性和果实品质的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(16): 3337-3345
Luo R, Zhang J, Liu M J, Ji Q L, Yao Y C. Method of making pear fruit-derived nutrient solution and its effect on photosynthetic characteristics and fruit quality[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45(16): 3337-3345 (in Chinese)

[11] 祝子焱. 环保酵素对环境改善的贡献[J]. 环境与发展, 2018, 30(1): 227-228
Zhu Z H. Contribution of environmental enzymes to environmental improvement[J]. *Inner Mongolia Environmental*

- Sciences, 2018, 30(1): 227-228 (in Chinese)
- [12] 周新萍, 付小全, 陈桂兰. 利用餐厨垃圾制作植物酵素及其活性成分分析[J]. 东莞理工学院学报, 2014(5): 93-96
Zhou X P, Fu X Q, Chen G L. The manufacture of plant enzyme by restaurant garbage and analysis of its active components[J]. *Journal of Dongguan University of Technology*, 2014(5): 93-96 (in Chinese)
- [13] 耿健, 崔楠楠, 张杰, 周志钦, 姚允聪. 喷施芳香植物源营养液对梨树生长、果实品质及病害的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(5): 1285-1294
Geng J, Cui N N, Zhang J, Zhou Z Q, Yao Y C. Effect of aromatic plant-derived nutrient solution on the growth, fruit quality and disease prevention of pear trees[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(5): 1285-1294 (in Chinese)
- [14] 代明亮, 李松涛, 韩振海, 许雪峰, 张新忠, 李天忠. 植物源营养液对‘雪青梨’生长及果实品质的影响[J]. 中国农业大学学报, 2008, 13(5): 19-23
Dai M L, Li S T, Han Z H, Xu X F, Zhang X Z, Li T Z. Effects of plant-derived nutrient solutions on the growth and fruit quality of ‘Xueqing’ pear[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2008, 13(5): 19-23 (in Chinese)
- [15] 佟玉洁. 自制环保酵素改善土壤肥力试验研究[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(26): 119-121
Tong Y J. Test research of soil fertility improved by self-made garbage enzyme[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2017, 45(26): 119-121 (in Chinese)
- [16] 杨芳. 基于 PCR-DGGE 技术的自制酵素微生物群落结构分析[D]. 大理: 大理大学, 2016
Yang F. Analysis of microbial community construction in different self-made enzyme samples by PCR-DGGE technique [D]. Dali: *Dali University*, 2016 (in Chinese)
- [17] 杜丽平, 刘艳, 焦媛媛, 马立娟, 肖冬光, 管于平. PCR-DGGE 分析木瓜酵素自然发酵过程中微生物的多样性[J]. 现代食品科技, 2017, 33(8): 80-88
Du L P, Liu Y, Jiao Y Y, Ma L J, Xiao D G, Guan Y P. Polymerase chain reaction-denaturing gradient gel electrophoresis analysis of microbial diversity of papaya enzyme preparation during natural fermentation [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2017, 33(8): 80-88 (in Chinese)
- [18] Soufleros E H, Bouloumpasi E, Tsarchopoulos C, Bliaderis C G. Primary amino acid profiles of Greek white wines and their use in classification according to variety, origin and vintage [J]. *Food Chemistry*, 2003, 80(2): 261-273
- [19] Arun C, Sivashanmugam P. Identification and optimization of parameters for the semi-continuous production of garbage enzyme from pre-consumer organic waste by green RP-HPLC method[J]. *Waste Management*, 2015, 10(44): 28-33
- [20] 柳明娟, 姬谦龙, 姚允聪. 樱桃发酵液中的氨基酸分析[J]. 现代仪器与医疗, 2009, 15(1): 62-63
Liu M J, Ji Q L, Yao Y C. Simple analysis of amino acids in cherry fermentation[J]. *Modern Instruments & Medical Treatment*, 2009, 15(1): 62-63 (in Chinese)
- [21] 黄伟菁, 戚亚平, 王荣娟, 吴红英, 姚允聪, 姬谦龙. 苹果果实匀浆发酵过程中营养组分的动态变化分析[J]. 北京农学院学报, 2009, 24(1): 1-4
Huang W J, Qi Y P, Wang R J, Wu H Y, Yao Y C, Ji Q L. Dynamic analysis of nutrition component in the process of apple fruit fermentation[J]. *Journal of Beijing Agricultural College*, 2009, 24(1): 1-4 (in Chinese)
- [22] 方晟, 毛建卫, 单之初, 毛旻晨, 李好好. 植物源作物酵素营养液研究进展及发展建议[J]. 农业工程, 2017, 7(4): 181-186
Fang S, Mao J W, Shan Z C, Mao Y C, Li H H. Research progress and development suggestions on plant-derived enzyme nutrient solution[J]. *Agricultural Engineering*, 2017, 7(4): 181-186 (in Chinese)
- [23] Selvakumar P, Sivashanmugam P. Multi-hydrolytic biocatalyst from organic solid waste and its application in municipal waste activated sludge pre-treatment towards energy recovery[J]. *Process Safety and Environmental Protection*, 2018(117): 1-10
- [24] Selvakumar P, Sivashanmugam P. Optimization of lipase production from organic solid waste by anaerobic digestion and its application in biodiesel production[J]. *Fuel Processing Technology*, 2017(165): 1-8
- [25] Arun C, Sivashanmugam P. Investigation of biocatalytic potential of garbage enzyme and its influence on stabilization of industrial waste activated sludge[J]. *Process Safety and Environmental Protection*, 2015(94): 471-478
- [26] Arun C, Sivashanmugam P. Enhance production of biohydrogen from dairy waste activated sludge pre-treated using multi hydrolytic garbage enzyme complex and ultrasound-optimization[J]. *Energy Conversion and Management*, 2018, 164: 277-287
- [27] 刘敏, 熊燕, 付忠旭, 陈发贵, 戚姗姗, 胡久平, 赵辉. 不同配方发酵的酵素产品中活性物质的对比研究[J]. 食品与发酵科技, 2015, 51(5): 27-31
Liu M, Xiong Y, Fu Z X, Chen G F, Qi S S, Hu J P, Zhao H. Comparative study of active substances in different formulations of enzyme products [J]. *Sichuan Food and Fermentation*, 2015, 51(5): 27-31 (in Chinese)
- [28] 张梦梅, 刘芳, 胡凯弟, 胡露, 刘金霞, 张美佳, 刘书亮. 酵素食品微生物指标与主要功效酶及有机酸分析[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(9): 195-200
Zhang M M, Liu F, Hu K D, Hu L, Liu J X, Zhang M J, Liu S L. Analysis on microorganism index, main enzymes and organic acids of leaven food [J]. *Food and Fermentation Industry*, 2017, 43(9): 195-200 (in Chinese)
- [29] 蔡毅飞. 环保酵素中具有清洁作用的成分分析[J]. 科技经济导刊, 2018, 26(29): 118
Cai Y F. Component analysis of garbage enzymes with clean function in environmental protection [J]. *Technology and*

- Economic Guide*, 2018, 26(29): 118 (in Chinese)
- [30] 刘庆巍. 化肥对土壤的污染及防治对策[J]. 养殖技术顾问, 2011(9): 240
Liu Q W. Pollution of chemical fertilizer on soil and its control measures [J]. *Technical Advisor for Animal Husbandry*, 2011(9): 240 (in Chinese)
- [31] 董晓宾. 环保酵素对城郊微型菜篮子存在问题的解决探索[J]. 现代园艺, 2018(6): 6
Dong X B. Probe into the problems of environmental enzymes in suburban vegetable baskets[J]. *Modern Horticulture*, 2018 (6): 6 (in Chinese)
- [32] 夏燕飞, 张文会, 沈向, 毛志泉, 胡艳丽. 有机质对苹果园土壤改良及对果实产量品质的影响[J]. 北方园艺, 2012(21): 177-180
Xia Y F, Zhang W H, Shen X, Mao Z Q, Hu Y L. Effects of soil organic matter on soil characteristics and fruit production and quality in apple orchard[J]. *Northern Horticulture*, 2012 (21): 177-180 (in Chinese)
- [33] Elizabeth P. Soil 'booster shots' could turn barren lands green [EB/OL]. (2016-7-11), <http://www.sciencemag.org/news/2016/07/soil-booster-shots-could-turn-barren-lands-green>
- [34] Franco W, Frank R, Martin H, Hartmann M, Fliessbach A. Community structures and substrate utilization of bacteria in soils from organic and conventional farming systems of the DOK long-term field experiment[J]. *Applied Soil Ecology*, 2006, 33(3): 294-307
- [35] Arun C, Sivashanmugam P. Study on optimization of process parameters for enhancing the multi-hydrolytic enzyme activity in garbage enzyme produced from pre-consumer organic waste [J]. *Bioresource Technology*, 2017, 226: 200-210
- [36] 王永壮, 陈欣, 史奕, 鲁彩艳. 低分子量有机酸对土壤磷活化及其机制研究进展[J]. 生态学杂志, 2018, 37(7): 2189-2198
Wang Y Z, Chen X, Shi Y, Lu C Y. Review on the effects of low molecular weight organic acids on soil phosphorus activation and mechanisms[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2018, 37(7): 2189-2198 (in Chinese)
- [37] 王林权, 周春菊, 王俊儒, 李生秀, 邵明安. 鸡粪中的有机酸及其对土壤速效养分的影响[J]. 土壤学报, 2002, 39(2): 268-275
Wang L Q, Zhou C J, Wang J R, Li S X, Shao M A. Organic acids in chicken feces and their effects on availability of nutrients in loess soil[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39 (2): 268-275(in Chinese)
- [38] 徐福乐, 罗立津, 高灿红. 植物生长调节剂对甜椒的抗寒性诱导效应研究[J]. 农药学通报, 2011, 13(1): 33-39
Xu F L, Luo L J, Gao C H. Inducing effects of plant growth regulators on the chilling resistance of sweet pepper (*Capsicum annuum*) [J]. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2011, 13(1): 33-39 (in Chinese)
- [39] 王勇, 孙杨, 周明霞, 王苗苗, 韩立荣, 冯俊涛, 张兴. 14种小分子有机酸的抑菌活性筛选[J]. 河北农业大学学报, 2018, 41(4): 22-28
Wang Y, Sun Y, Zhou M X, Wang M M, Han L R, Feng J T, Zhang X. Antifungal activity screening of 14 small molecular organic acid [J]. *Journal of Hebei Agricultural University*, 2018, 41(4): 22-28 (in Chinese)
- [40] 张军, 田子罡, 王建华, 王安如. 有机酸抑菌分子机理研究进展[J]. 畜牧兽医学报, 2011, 42(3): 323-328
Zhang J, Tian Z G, Wang J H, Wang A R. Advances in antimicrobial molecular mechanism of organic acids[J]. *Acta Veterinaria Et Zootechnica Sinica*, 2011, 42(3): 323-328 (in Chinese)
- [41] 隋丽丽, 连玉武, 孙文彬, 张艳梅. 植物酵素对果菜增产效应及其作用机理[J]. 科技品牌与创新, 2017(2): 75-77
Sui L L, Lian Y W, Sun W B, Zhang Y M. Effect of plant enzyme on yield increase of fruit and vegetable and its mechanism[J]. *Sci-tech Innovations and Brands*, 2017(2): 75-77 (in Chinese)
- [42] 梁会欣, 连玉武, 孙文彬, 张艳梅, 孙梓远. 植物酵素对马铃薯的影响及其作用机理[J]. 科技品牌与创新, 2016(12): 75-77
Liang H X, Lian Y W, Sun W B, Zhang Y M, Sun Z Y. Effects of plant enzymes on potatoes and their mechanisms[J]. *Sci-tech Innovations and Brands*, 2016 (12): 75-77 (in Chinese)
- [43] 张艳梅, 连玉武, 孙梓媛, 梁会欣. 植物酵素对玉米增产效应及其作用机理[J]. 科技品牌与创新, 2017(1): 72-74
Zhang Y M, Lian Y W, Sun Z Y, Liang H X. Effect of plant enzyme on yield increase of maize and its mechanism[J]. *Sci-tech Innovations and Brands*, 2017, (1): 72-74 (in Chinese)
- [44] 李洁, 周娟, 郝小燕, 应英, 许学. 植物酵素对大棚黄瓜生长及产量的影响[J]. 中国食物与营养, 2014(12): 29-32
Li J, Zhou X, Hao X Y, Ying Y, Xu X. Effect of plant enzyme on growth and yield of greenhouse cucumis sativus[J]. *Food and Nutrition in China*, 2014, (12): 29-32 (in Chinese)
- [45] 李方志, 李丝丝, 王殷, 杨汝兰, 杜北, 杨琴, 赵敏慧. 环保酵素改良土壤有机质与磷素的探索性研究[J]. 环境科学导刊, 2016, 35(5): 65-69
Li F Z, Li S S, Wang Y, Yang R L, Du B, Yang Q, Zhao M H. Study on improving soil organic matter and phosphorus by garbage enzymes[J]. *Environmental Science Survey*, 2016, 35 (5): 65-69 (in Chinese)
- [46] 李方志, 杨琴, 杨汝兰, 杜北, 王殷, 李丝丝, 赵敏慧. 环保酵素对土壤中有效氮、全氮及有机质改良效果的研究[J]. 玉溪师范学院学报, 2016, 32(4): 42-47
Li F Z, Yang Q, Yang R L, Du B, Wang Y, Li S S, Zhao M H. Effects of garbage enzyme hydrolysis of nitrogen, total nitrogen and organic matter on the soil improvement [J]. *Journal of Yuxi Normal University*, 2016, 32(4): 42-47 (in Chinese)
- [47] 李方志, 王殷, 李丝丝, 杨汝兰, 杜北, 杨琴, 赵敏慧. 环保酵素对土壤钾素的改良效果[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(17):

- 168-169
Li F Z, Wang Y, Li S S, Yang R L, Du B, Yang Q, Zhao M H. The improvement effects of garbage enzyme on soil potassium[J]. *Anhui Agriculture Science*, 2016, 44(17): 168-169 (in Chinese)
- [48] 冯筠洋. 环保酵素施用对土地与植物生长状况的影响研究[J]. *化工设计通讯*, 2017, 43(10): 185-188
Feng J Y. Effects of environmental enzyme application on land and plant growth [J]. *Chemical Engineering Design Communications*, 2017, 43(10): 185-188 (in Chinese)
- [49] 陶津, 李云龙, 周根国, 赵敏慧. 环保酵素对土壤理化性质及辣椒生长的影响[J]. *玉溪师范学院学报*, 2017, 33(4): 35-40
Tao J, Li Y L, Zhou G G, Zhao M H. Influence of environmental enzyme on the physico-chemical properties of soil and the growth of pepper[J]. *Journal of Yuxi Normal University*, 2017, 33(4): 35-40 (in Chinese)
- [50] 孙雨浓, 李光耀, 张欣雨, 刘佩勇. 环保酵素对菠菜幼苗生理生化指标影响的研究[J]. *园艺与种苗*, 2017(5): 4-7
Sun Y N, Li G Y, Zhang X Y, Liu P Y. Effect on physiological and biochemical indexes of spinach with environmental enzyme[J]. *Horticulture & Seed*, 2017(5): 4-7 (in Chinese)
- [51] 杨文静, 田佶, 张杰. 芳香植物营养液对苹果生长及果实品质的影响[J]. *北京农学院学报*, 2015, 30(1): 19-21
Yang W J, Tian J, Zhang J. Effect of aromatic plant-derived nutrient solution on the growth and fruit quality of apple trees [J]. *Journal of Beijing University of Agriculture*, 2015, 30(1): 19-21 (in Chinese)
- [52] 李正华. 厌氧发酵液的抗病防虫机理及其应用技术研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2002
Li Z H. Study on the mechanism of disease resistance and pest control of anaerobic fermentation broth and its application technology[D]. Zhengzhou: Heinan Agriculture University, 2002 (in Chinese)
- [53] 韦文芳, 梁春红, 唐千淄, 吴雪莲. 环保酵素对田间种植蔬菜残留农药的降解作用[J]. *广西农学报*, 2016, 31(3): 24-26, 30
Wei W F, Liang C H, Tang Q Z, Wu X L. Study on degradation of the pesticide residues in vegetables by spraying garbage enzyme[J]. *Journal of Guangxi Agriculture*, 2016, 31(3): 24-26, 30 (in Chinese)
- [54] 朱丽梅, 刘艳芝, 王淑霞, 徐祥文, 马井玉. 环保酵素防治3种蔬菜病害的初步研究[J]. *中国园艺文摘*, 2017, 33(5): 40-41
Zhu L M, Liu Y Z, Wang S X, Xu X W, Ma J Y. Preliminary study on the control of three vegetable diseases by enzymes [J]. *Chinese Horticultural Abstracts*, 2017, 33(5): 40-41 (in Chinese)
- [55] 王丽丽, 谌江华, 柴伟纲, 孙梅梅, 姚红燕. 生物酵素对朱砂叶螨和青枯劳氏菌的作用研究[J]. *宁波农业科技*, 2014(4): 6-8
Wang L L, Shen J H, Chai W G, Sun M M, Yao H Y. Effects of bio-enzymes on *Tetranychus cinnabarinus* and *Ralstonia solanacearum*[J]. *Ningbo Agricultural Science and Technology*, 2014(4): 6-8 (in Chinese)
- [56] Alan J S, Anant P, Daniela P. Control of plant diseases by natural products; Allicin from garlic as a case study [J]. *European Journal of Plant Pathology*, 2008, 121(3): 313-322
- [57] 王荣娟, 戚亚平, 宋备舟, 黄彬, 王雷, 姚允聪, 姬谦龙. 苹果果实发酵液对草莓防御酶系活性及抗病性的影响[J]. *中国农学通报*, 2010, 26(16): 250-255
Wang R J, Qi Y P, Song B Z, Huang B, Wang L, Yao Y C, Ji Q L. Influences of apple fruit broth on activities of defense enzymes and disease resistance on strawberry [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(16): 250-255 (in Chinese)
- [58] Li Y, Gou X, Wang G, Zhang Q, Su Q, Xiao G J. Heavy metal contamination and source in arid agricultural soil in central Gansu Province, China[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2008, 20(5): 607-612
- [59] 周泽宇, 唐文邦, 明兴权, 张力科, 张桂莲, 雷斌, 彭赛, 邓化冰, 易国良. 喷施植物酵素“金禾苗”与“环保酵素”对水稻产量及稻米中镉含量的影响[J]. *中国农技推广*, 2016, 32(6): 50-52
Zhou Z Y, Tang W B, Ming X Q, Zhang L K, Zhang G L, Lei B, Peng S, Deng S B, Yi G L. Effects of spraying plant enzymes “Jinhe seedling” and “environmental enzyme” on rice yield and cadmium content[J]. *China Agricultural Technology Extension*, 2016, 32(6): 50-52 (in Chinese)
- [60] 丁文墨. 羊粪和酵素对菠菜和快菜安全评价及土壤质量的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2016
Ding W M. Safety evaluation of sheep compost and BYM applied to spinach and pakchoi production and their impacts on soil quality[D]. Beijing: China Agriculture University, 2016 (in Chinese)
- [61] GB 2762. 食品中污染物限量[S]. 北京: 中华人民共和国卫生部, 2012
GB 2762. Contaminant Limit in Food [S]. Beijing: The Central People's Government of People's Republic of China, 2012 (in Chinese)
- [62] Fazna N, Meera V. Treatment of synthetic grey water using 5% and 10% garbage enzyme solution [J]. *Proceedings of International Conference on Materials for the Future-Innovative Materials, Processes, Products and Applications*, 2013, 3(4): 111-117
- [63] Fu E T, Chuang W T. A study of the garbage enzyme's effects in domestic wastewater [J]. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 2011, 5(12): 1143-1148
- [64] Rasit N, Kuan Q C. Investigation on the influence of bio-catalytic enzyme produced from fruit and vegetable waste on

- palm oil mill effluent [C]//Institute of Physics: Conference Series; Earth and Environmental Science, 2018
- [65] Arun C, Sivashanmugam P. Enhanced production of biohydrogen from dairy waste activated sludge pre-treated using multi hydrolytic garbage enzyme complex and ultrasound-optimization [J]. *Energy Conversion*, 2018, 164: 1-9
- [66] 薛书雅, 李凤梅, 高云霞. 环保酵素对去除水中余氯的试验研究[J]. 河北建筑工程学院学报, 2017, 35(2): 138-141
- Xue S Y, Li F M, Gao Y X. Study on the test of removal of residue chlorine by garbage enzyme [J]. *Journal of Hebei Institute of Architectural Engineering*, 2017, 35(2): 138-141 (in Chinese)
- [67] 郑金来, 李君文, 晁福寰. 常见农药降解微生物研究进展及展望[J]. 环境科学研究, 2001, 14(2): 62-64
- Zheng J L, Li J W, Chao F H. Advance and prospect of microorganism degrading common pesticide [J]. *Research of Environment Science*, 2001, 14(2): 62-64 (in Chinese)
- [68] Jongtae L. Effect of application methods of organic fertilizer on growth, soil chemical properties and microbial densities in organic bulb onion production [J]. *Scientia Horticulture*, 2010, 124(3): 299-305
- [69] 唐海龙. 有机肥与化肥配施对土壤环境质量影响的研究[D]. 济南: 山东农业大学, 2012
- Tang H L. Research on the efficiency of organic and chemical fertilizers to soil environmental quality [D]. Jinan: Shandong Agricultural University, 2012 (in Chinese)
- [70] 路慧英, 周怀平, 杨振兴, 关春林, 解文艳. 长期氮磷化肥和有机肥配施对褐土钾素平衡及不同形态的影响[J]. 山西农业科学, 2013, 41(1): 60-65
- Zhao H Y, Zhou H P, Yang Z X, Guan C L, Xie W Y. Influence of long-term nitrogen, phosphorus fertilizers and organic complex fertilizations on cinnamon potassium balance and forms [J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2013, 41(1): 60-65 (in Chinese)
- [71] Zhang X Y, Dong W Y, Dai X Q, Schaeffer. S, Yang F T, Radosevich M, Xu L L, Liu X Y, Sun X M. Responses of absolute and specific soil enzyme activities to long term additions of organic and mineral fertilizer [J]. *Science of the Total Environment*, 2015, (536): 59-65
- [72] 赵倩彦, 姚允聪, 闫静, 姬谦龙. 果实发酵液作为肥料的功效研究进展[J]. 生物技术进展, 2017, 7(2): 135-138
- Zhao Q Y, Yao Y C, Yan J, Ji Q L. Progress on function of fruit fermentation liquor as fertilizer [J]. *Current Biotechnology*, 2017, 7(2): 135-138 (in Chinese)
- [73] 中华人民共和国农业农村部, 国家农业综合开发办公室. 农业综合开发区域生态循环农业项目指引(2017—2020年)[EB/OL]. (2016-09-28), <http://ishare.iask.sina.com.cn/f/bw36V5kgIad.html>
- Ministry of Agriculture and Rural Affairs of People's Republic of China, State Agriculture Comprehensive Development Office. Guidelines for regional eco-circular agriculture projects for comprehensive agricultural development (2017 - 2020) [EB/OL]. (2019-04-18). <http://ishare.iask.sina.com.cn/f/bw36V5kgIad.html> (in Chinese)
- [74] 中华人民共和国农业农村部. 到2020年化肥施用量零增长行动方案[EB/OL]. (2019-04-18). <https://wenku.baidu.com/view/c893484eef06eff9aef8941ea76e58fafab0459f.html>
- Ministry of Agriculture and Rural Affairs of People's Republic of China. Action plan of zero increase in fertilizer application by 2020 [EB/OL]. (2019-04-18). <https://wenku.baidu.com/view/c893484eef06eff9aef8941ea76e58fafab0459f.html> (in Chinese)
- [75] 中华人民共和国农业农村部. 到2020年农药使用量零增长行动方案[EB/OL]. (2015-02-17), <https://wenku.baidu.com/view/c3398d36b94ae45c3b3567ec102de2bd9605ded6.html>
- Ministry of Agriculture and Rural Affairs of People's Republic of China. Action plan of zero increase in pesticide application by 2020 [EB/OL]. (2019-04-18). <https://wenku.baidu.com/view/c3398d36b94ae45c3b3567ec102de2bd9605ded6.html> (in Chinese)

责任编辑: 吕晓梅