

Research Progress in Application of Garbage Enzyme in Soil Improvement, Agricultural Production and Environmental Management

Yuqiu Gao, Peiyong Liu*

College of Life Sciences and Health, Northeastern University, Shenyang Liaoning
Email: *liupy@mail.neu.edu.cn

Received: Jul. 25th, 2020; accepted: Aug. 11th, 2020; published: Aug. 18th, 2020

Abstract

The application of Garbage Enzyme in soil improvement, agricultural production and ecological environmental management was summarized in this paper. Some studies on the use of garbage enzyme in agricultural production and environmental improvement in recent years were also summarized. The application prospect of garbage enzyme in agricultural ecology was analyzed. The aim is to provide some new ideas for soil improvement and agricultural production. Future research may focus on the effects of garbage enzyme fungi system on the structure of soil flora and the underlying molecular mechanisms.

Keywords

Garbage Enzyme, Soil Improvement, Agricultural Production, Environmental Management

环保酵素在土壤改良及农业生产和环境治理方面的应用的研究进展

高玉秋, 刘佩勇*

东北大学生命科学与健康学院, 辽宁 沈阳
Email: *liupy@mail.neu.edu.cn

收稿日期: 2020年7月25日; 录用日期: 2020年8月11日; 发布日期: 2020年8月18日

摘要

本文综述了环保酵素在土壤改良及农业生产和生态环境治理中的应用, 整理了近年来利用环保酵素进行

*通讯作者。

农业生产与环境改良的一些研究, 分析了环保酵素在农业生态中的应用前景, 旨在为土壤改良与农业生产提供一些新思路。未来的研究方向可能在于酵素菌类系统对土壤菌群结构的影响以及内在的分子机制。

关键词

环保酵素, 土壤改良, 农业生产, 环境治理

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

环保酵素是将新鲜植物垃圾(厨余或果皮):红糖:水, 按照 3:1:10 的比例加入容器, 密闭发酵 3 个月即可使用的混合发酵液, 具有废物资源化的意义, 因此也被称为“垃圾酵素”(Garbage Enzyme) [1]。酵素富含糖类、酚类、有机酸、维生素等营养物质以及一些活性酶等, 具有多种保健功能, 如消炎、增强免疫力、抗衰老、排毒抗癌等[2]。

环保酵素起源于日本, 2000 年才传至中国。环保酵素有着广泛的应用前景, 传统的酵素起初多应用于饲料, 之后渐渐被应用于功能性食品或洗护用品, 近年来才开始逐渐被应用于农业生产中。(图 1)但目前关于环保酵素的学术性研究寥寥无几, 环保酵素在农业生产及环境治理方面应用的研究也较少。环保酵素是一种经济、实用、有效的天然农业方法[3], 由于其低廉的成本和简单的制作方法逐渐引起人们的关注。微生物制剂和酵素菌制剂技术现已比较成熟, 在农业畜牧业中已经广泛应用, 农业环境治理方面生物方法效果较好, 但生物方法所需用酶较贵, 所以采用环保廉价的环保酵素(垃圾酶), 研究其生物化学活性、抗菌消毒能力及其对土壤肥力增强作用, 或代替化肥、农药或激素性肥料施加于农作物。研究表明, 环保酵素中营养成分浓度较高, 有助于提高土壤中有机质、磷、钾、氮等营养物质的丰度; 酵素在发酵过程中会产生大量的厌氧菌以及兼性厌氧菌, 能够分解转化一些营养成分, 增强土壤降解污染物的能力; 酵素喷洒到蔬菜等作物的叶表面上, 可减少病虫害的发生, 提高蔬菜的品质, 具有“变废为宝”和废弃物资源化的环境效益, 可为环境治理和土壤改良提供科学参考。

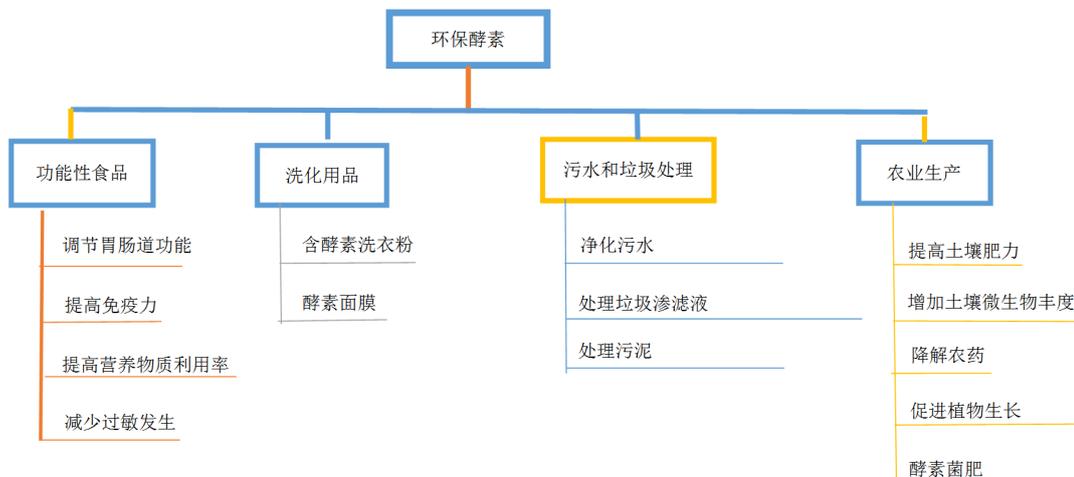


Figure 1. Applications of garbage enzyme
图 1. 环保酵素的多种应用

2. 环保酵素在土壤改良方面的应用

2.1. 环保酵素对土壤污染的改善作用

土壤与农业环境的健康状况广泛受到关注,人们越来越希望使用更加绿色环保的方式进行农业生产。现如今,我国农业生产中始终存在一系列问题,如化肥利用不合理、营养成分失衡等,表现为化肥元素的积累、农药残留、各种重金属和有机污染物的严重污染等[4]。目前,许多研究中采用了一些土壤改良的方法,比如工程水利、增加有机肥料的使用等,但是这些方法要么投资过大,要么效果缓慢[5]。全国土壤污染调查数据显示,土壤主要受镉、镍、铜、砷、汞、铅、DDT等物质污染,土壤污染总量超过了16.1% [6]。环保酵素中营养成分浓度较高,有助于提高土壤中有机质、磷、钾、氮等营养物质的丰度;酵素在发酵过程中会产生大量的厌氧菌以及兼性厌氧菌,能够分解转化一些营养成分,增强土壤降解污染物的能力。利用环保酵素作为改良剂的辅助肥料进行土壤改良,或代替化肥、农药或激素性肥料施加于农作物,能提高农作物的产量和品质,提高土壤肥力。

农药残留严重危害着作物质量和食用安全,如何减少农药残留以维持绿色生产是当今生态社会环境的一个重要问题[7],农业生产迫切需要平衡可持续且养分全面的肥料,以减轻化肥、农药或激素性肥料等对农业生态环境的损害,提高肥料的利用率,改善土壤的结构[8]。研究表明,使用环保酵素作为降解剂喷洒于田间种植的蔬菜,对毒死蜱、氯氟氰菊酯、百菌清、氯氰菊酯等农药均能产生明显的降解效果[9]。环保酵素可减少环境污染,也可添加到洗衣粉等清洁剂中作为家庭清洁的有力帮手[10]。

2.2. 环保酵素对土壤肥力的改良作用

土地盐碱化,板结现象严重是土壤问题的主要集中点,造成上述现象的原因之一是土壤中大量元素的缺乏。钾是土壤中含量最高的大量营养元素,也是植物生长中不可或缺的基本营养素[11]。但是随着氮磷肥使用量不断增多,高产栽培技术的不断推广,大大提高了粮食的产量,以至于作物需要从土壤中吸取的钾越来越多,导致土壤中钾元素含量逐渐降低。目前在许多地区,土壤中钾的缺乏已经严重限制了农业发展[12]。磷元素对于植物的生长及发育非常重要,土壤中的磷主要以 HPO_4^{3-} 和 $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$ 两种形式被植物吸收,而这两种离子在土壤溶液中浓度仅为 $1.5 \mu\text{mol/L}$,对于植物正常生长的需求远远不够,因此在农业生产中磷肥被长期大规模使用[13],不仅增加了土壤中的磷元素向水环境中转移的风险,而且会使土壤处于板结的亚健康状态。与物理和化学方法相比,采用生物系统去除污染物具有成本效益和环境友好性[14]。

近年来,人们开始将酵素应用在土壤肥力的改良[15]。环保酵素营养成分浓度较高,有助于提高土壤肥力,如有机质、磷、钾、氮等[16]。改善土壤质量和减少土壤氮素损失是控制农业非点源污染的有效途径,同时也不会降低粮食产量[17]。李方志[11]研究表明,使用环保酵素浇灌土壤可提高土壤中的钾含量,有效钾增加较为明显。环保酵素的使用还有利于增加土壤中有机质和全磷的含量,喷洒在叶片上有助于防止植物遭受病虫害,提高植物的抗病能力[13]。表1中总结了环保酵素处理土壤前后几个重要的土壤肥力指标的变化的一些研究。从表格中可以清晰看出,相较于处理前,使用环保酵素处理过的土壤肥力显著增加,使用浓度为1:750的环保酵素液连续处理6~7周效果最好。徐新[18]等研究表明,采用施浇竹叶酵素代替原方法(有机肥料或河水浇灌)进行土壤改良,不仅使经济成本降低,还显著增加了改良处理区土壤的养分含量,促进植物生长。作为废弃物回收再利用的一种环保方式,环保酵素全流程绿色健康,有巨大的发展潜力。环保酵素处理前后土壤肥力指标变化如表1所示。

2.3 环保酵素与土壤微生物多样性

在生态系统土壤功能中,土壤养分分解转化、代谢有机碳和降解污染物的驱动力主要归功于土壤微

Table 1. Soil fertility changes before and after garbage enzyme treatment [3] [11] [13]

表 1. 环保酵素处理前后土壤肥力变化[3] [11] [13]

土壤肥力指标	处理前	处理后	增幅率/%
有机质/(g/kg)	31.3	32.9	5.79
全钾/(K, %)	1.68	1.76	5.39
速效钾/(mg/kg)	193.9	242.0	6.06
全磷/(P, %)	0.068	0.070	11.11
速效磷/(mg/kg)	31.8	37.2	13.41
水解性氮/(mg/kg)	105.6	139.3	0.319

生物, 植物根际微生物是植物中有效养分的储备来源[19] [20]。张立超[21]的研究表明, 环保酵素在发酵过程中会产生大量的厌氧菌, 能分解和转化某些营养物质, 提高降解污染物的能力, 提高碳代谢, 为植物生长发育过程中的吸收利用创造一个有利的条件。一些重金属元素对植物根系生长有害, 很容易在土壤低 pH 值情况下对植物产生毒性[22], 现有的土壤 pH 值调节方法为硫、磷肥的使用, 但经济成本高, 且效果一般。环保酵素在自然发酵过程中还会产生乳酸菌(如乳酸杆菌和白串珠菌)和酵母(如毕赤酵母和念珠菌)等益生菌, 乳酸菌被普遍认为是安全的减少生物污染的益生菌[23], 酵母还可以作为多种重金属(包括 Cr、Cu、Cd)的高效生物介质, 这主要是因为酵母对金属毒性具有多种耐受机制。环保酵素可去除棕榈油厂废水中 90%的油脂、50%的悬浮物和 25%的化学需氧量[24]。Xuemin Wei 等[25]研究发现, 单独或联合施用微生物制剂和环保酵素均可使丹参酮积累量增加 9.90%~40.45%, Cd 吸收量减少 5.84%~37.90%。此外, 具有高重金属去除能力的微生物属的相对丰度显著增加。因此, 微生物制剂和环

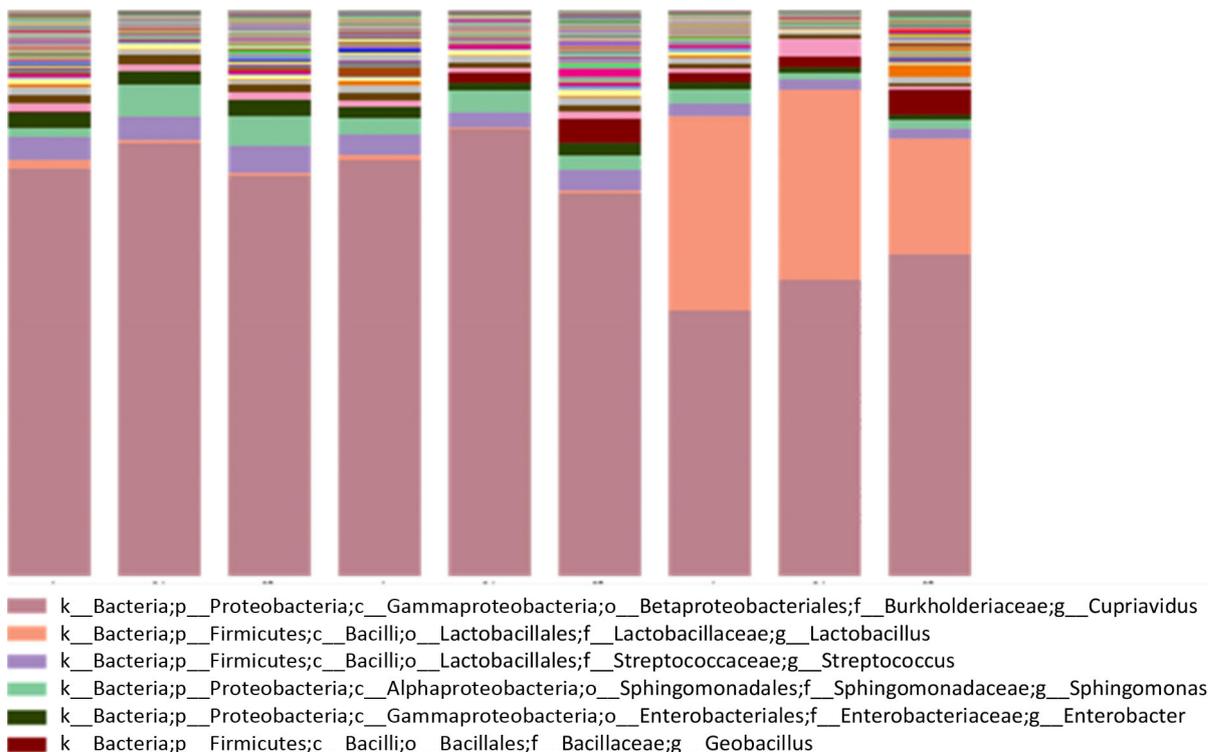


Figure 2. Species and abundance distribution of garbage enzyme phylum [26]

图 2. 环保酵素菌属种类和丰度分布图[26]

保酵素可用于镉污染农田, 促进微生物的修复。

对环保酵素进行高通量测序, 结果显示酵素中细菌生物多样性比真菌丰富, 从门水平上, 其中含量最高的为变形菌门与放线菌门, 属水平上含量最高的是贪铜菌属[27], 表现出对高浓度农药(五氯硝基苯)的耐受性, 其耐酸性与耐重金属(As, Cu, Cd)的能力也得到了证实, 可一定程度上分解土壤中的重金属离子, 表明其对恶劣环境具有修复潜力。此外, 菌株对污染土壤的生物强化作用进一步证实了细菌的修复能力, 在生物修复过程中促进了土壤微生物的代谢和活性。环保酵素属水平菌群种类与丰度分布见图 2 所示, proteobacteria: 变形菌门 Cupriavidus: 贪铜菌。

3. 环保酵素在农业生产与环境治理方面的应用

3.1. 环保酵素对作物生长的影响

高亮等[28]研究发现, 利用酵素或酵素与微量元素硒或锌相配合, 有利于促进绿豆芽生产, 提高绿豆芽的产量, 防止生产、储存和运输过程中变质, 提高绿豆芽中可溶性糖和可溶性蛋白质的含量, 降低多酚的含量。以浓度为 1:200 来处理绿豆可得到最佳效果, 豆芽品质优质, 投入产量比最高, 可达 1:12.3, 酵素处理后的豆芽生物产量较清水对照高 5.6%。如果需要种植培育一些含硒[29]、锌[30]等的特色豆芽, 使用酵素配合硒、锌等元素, 也能获得良好的效果。普燕爽等[3]研究发现, 朝天椒在环保酵素区的长势、土壤中有有效磷、水解氮的含量均优于空白浇水区。沈奕[31]的研究表明与单独施加生物炭和传统土壤栽培相比, 使用复合酵素更能促进番茄植株的生长发育, 维生素 C 含量较对照作物区提高了 88.59%, 并使物候期提前。李金枝等[10]在研究环保酵素对铜钱草的生长影响中发现, 利用酵素作为水培营养素对种植区进行处理, 植物鲜重的增加更为明显, 而且长出了新的小铜钱草, 比较明显地促进茎长。

韦文芳[9]等研究表明, 环保酵素可以在一定程度上降解农作物上的农药, 也可以作为抑制病虫害的抑制剂; 还可作为叶面肥, 喷洒到蔬菜等作物的叶表面, 不仅不会造成二次污染, 还可以减少病虫害的发生, 提高蔬菜的产量和品质, 环保性和可行性比较强, 既能够保证蔬菜等产品的质量, 又可以净化美化农业环境。覃叶欣[32]研究表明, 将环保酵素施用于接种了枯萎病菌的西瓜苗上, 4 周后发现, 施用酵素植株的发病率显著低于未施酵素植株, 说明环保酵素可在一定程度上提高植株的抗病性。

吲哚乙酸是植物天然生长素, 可作为在植物界分布最广的评价植物生长效益的基本营养素[33]。铁元素是微生物合成细胞色素和酶类的必要元素, 铁载体主要存在于根际微生物中, 具有提高植物的抗逆性、增加作物产量和抑制根际有害菌群等作用[34]。周伟等[35]对环保酵素中的生长素和铁载体进行测定, 结果显示几种酵素中的吲哚乙酸含量较高, 达到了生物菌肥的范围(2.5~50 mg/L), 几种酵素的平均铁载体含量也较高, 达到了 27.2 mg/L, 说明环保酵素对作物的生长发育和产量具有较好的促进作用。

3.2. 酵素菌肥的应用

酵素菌技术是 20 世纪 40 年代国外发展起来的一项技术[36], 随之开发出一种高效的新型生物肥料——酵素菌肥, 富含有机质和微生物, 以及微生物的代谢物和多种矿质营养素, 作为肥料, 不仅可以使农作物拥有优质的产量, 而且有利于生态环境[37]。

刘治权等[36]研究表明, 新型肥料酵素菌肥能够激活土壤中的有益微生物, 能分解钾元素、释放磷元素、固定氮元素, 降低土壤污染, 提高作物产量和品质, 是农业中性能较好的生物有机肥料。黄涛等[37]研究表明, 酵素菌肥施用后, 在不同程度上提高有机水稻的重要质量参数(总氨基酸、Mg/K、Mg/N 等); 宛彩云[38]研究发现, 配合使用化肥和酵素生物有机肥可以使玉米植物的产量显著提高, 改善玉米的营养品质, 特别是能够增加玉米的蛋白质和脂肪含量。刘学静[39]研究表明, 酵素有机肥发酵能力和好气性比较强, 能产生几十种高活性酶, 如糖化酶、纤维分解酶、尿素分解酶等, 在利用酵素菌肥作为改善辣椒

品质研究的基础肥料时发现, 在土壤中施加后, 酵素菌肥为土壤微生物提供了充足的碳源, 改善根际微生物的环境, 增强其活性, 相当于间接促进了辣椒根对营养物质的吸收, 从而使茎粗增加, 茎粗的增加为果实数量、果实重量和果实直径的增加奠定了基础。酵素生物有机肥的使用有效地促进了辣椒的健康生长, 提高了辣椒的蛋白质含量和 VC 含量, 提高了作物的品质。

3.3. 环保酵素与生态环境改善

由于蔬菜和水果产量较高, 且缺乏适当的保存和运输措施, 每天都会产生大量的废弃物。Ariunbaatar 等[40]研究指出, 到 2025 年, 食物垃圾的产生将增加 44%, 有机固体废物的管理将成为全球的一个重大问题。传统的有机固体废弃物处理方式最终降解产生二氧化碳和甲烷, 对生物造成了严重的环境污染和健康风险问题, 从环境的角度来看, 迫切需要发展适当的废物管理技术来利用有机废物, 并尽量减少有机废物造成的污染问题。酶可以通过改进生物修复工艺, 回收有价值的资源, 对实现不同部门有机固体废物的零排放起到了重要作用[41]。但是由于生产和纯化成本高, 目前用于环境应用的酶非常昂贵。近年来, 研究人员通过发酵果蔬废弃物生产的环保酵素是一种混合的天然水解酶, 是酶的一种很好的替代品, 比昂贵的单一酶性能更好[42]。环保酵素在适宜的环境条件下, 能在较短的时间内达到较高的降解程度。

3.3.1. 处理活性污泥提高产氢率

Arun, C 等[43]研究了经环保酵素分批厌氧消化的预处理活性污泥同时累积产氢, 并与原污泥进行了超声预处理联合产氢的比较。这项研究有助于实现一种生态友好的可持续的方法来利用污泥的生物制氢。环保酵素污泥增溶处理工艺可以有效地与超声污泥预处理工艺相结合, 以可持续的方式从厌氧消化活性污泥中产生更多的生物氢。利用环保酵素在超声波处理或不处理的情况下, 对乳品废水活性污泥进行优化, 以提高生物制氢效果的研究尚未见报道。因此, 目前研究的主要目标是: 1) 研究优化后环保酵素的用量对污泥增溶的影响; 2) 使用统计工具来确定最优条件改善污泥过程。

3.3.2. 环保酵素处理城市垃圾渗滤液

Aishwarya Rani 等[44]研究表明, 垃圾渗滤液是氨、有机化合物、无机化合物、天然和合成配体、异种生物、仇外有机物、生物有机体、有毒和重金属等多种污染物的混合产物。环保酵素廉价、简单, 将环保酵素的使用从生活废水领域扩大到城市垃圾渗滤液的处理, 环保酵素处理 28 天后, 废液浓度明显降低, 说明这种方法是可行的渗滤液处理方法。进一步的研究可以通过改变环保酵素的暴露时间和混合比例来提供更加有效的结果。

4. 结论

环保酵素制作工艺简单原材料易获取, 营养成分浓度较高, 应用于土壤改良中有助于提高土壤中有有机质、磷、钾、氮等营养物质的丰度, 环保酵素发酵过程中产生大量的变形菌与放线菌, 能够分解转化一些营养成分, 增强土壤抗击恶劣环境的能力。环保酵素可作为肥料促进作物的生长发育, 减少病虫害的发生, 提高蔬菜品质, 促进植物健康生长。可作为降解酶处理废弃物、垃圾渗滤液及活性污泥, 达到改善环境的目的。

5. 展望

由于植物环保酵素在制作过程中易受到发酵体系、微生物、杂菌污染以及季节等环境条件的影响, 所以很难控制产品的质量, 使酵素的开发利用受到影响[45]。所以降低酵素的成本、控制发酵的条件得到高品质的酵素产品是仍需解决的问题。

环保酵素可增加土壤肥力和微生物的丰度, 但环保酵素进入土壤后, 其中丰富的营养成分与菌类系统是如何协同土壤已有微生物, 从而促进有效养分的融合与释放的, 又是与土壤关键微生物中的哪些基因相互作用的, 参与了哪些代谢途径的研究未见报道, 可作为将来研究的方向之一。

作为酵素在土壤中与植物的首要接触点, 环保酵素可能与植物根系以及根际微生物产生相互作用。推测环保酵素中的益生菌与根际微生物产生互作, 但由于菌群数量庞大基因组信息复杂, 其内在机制尚不清楚。现有研究报道, 将环保酵素喷洒于植物叶片上, 可促进植物叶片的光合作用, 提高植物品质, 还可防止叶片遭受病虫害。但此研究仅仅停留在应用方面, 其理论研究内在机理未见报道尚不明确, 比如, 环保酵素中的哪些营养成分或离子参与了相互作用?又或者改变了哪些基因的丰度?其分子生物学机制可作为今后研究的方向。

环保酵素还有很多除改善生态环境以外的功能, 比如作为化妆品、食品或保健品甚至药品中, 广泛的用途使得环保酵素有很大的市场, 在此对环保酵素在土壤改良、农业生产与环境治理方面的应用作归纳总结, 可为今后农业生态环境的改善方面的科学研究提供参考。

参考文献

- [1] 邹梦遥, 吴俊良, 胡卓, 等. 不同单一原料自制环保酵素抗氧化力初探[J]. 广东化工, 2015, 42(16): 296-297+287.
- [2] 刘敏, 熊燕, 付忠旭, 等. 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.
- [3] 普燕爽, 陶津, 林森, 等. 环保酵素对朝天椒生长势及土壤有效磷、水解氮的影响研究[J]. 环境科学导刊, 2019, 38(3): 5-11.
- [4] 史海娃, 宋卫国, 赵志辉. 我国农业土壤污染现状及其成因[J]. 上海农业学报, 2008, 24(2): 122-126.
- [5] 王志春, 李取生, 李秀军, 等. 松嫩平原盐碱化土地治理与农业持续发展对策[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(2): 161-163.
- [6] 陈能场, 郑煜基, 何晓峰, 等. 全国土壤污染状况调查公报[J]. 中国环保产业, 2014(5): 10-11.
- [7] 张玉坤, 马俊贵, 刘雨佳. 磁化水电位水组合降解温室果蔬残留农药研究[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(29): 153-155+200.
- [8] 钱秋华, 张梦昀. 生物质炭配施复合酵素对玉米生长、产量及品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(9): 152-155.
- [9] 韦文芳, 梁春红, 唐千淄, 等. 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.
- [10] 李金枝, 帅翠珍, 泮凯峰, 等. 环保酵素对铜钱草生长的影响[J]. 丽水学院学报, 2018(5): 136-140.
- [11] 李方志, 等. 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.
- [12] 李玉影. 连续施钾对黑土钾素动态变化的影响[J]. 土壤肥料, 2002(3): 18-20.
- [13] 李方志, 李丝丝, 王殷, 等. 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.
- [14] Teng, Y., Wang, X., Li, L., et al. (2015) Rhizobia and Their Bio-Partners as Novel Drivers for Functional remediation in Contaminated Soils. *Frontiers in Plant Science*, 6, 32. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00032>
- [15] 孙德发. 玉米应用“金禾苗牌”植物酵素营养液田间试验与探讨[J]. 农民致富之友, 2019(5): 127.
- [16] 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.
- [17] Yan, X., Shi, L. and Cai, R. (2018) Improvement of Nitrogen Utilization and Soil Properties by Addition of a Mineral Soil Conditioner: Mechanism and Performance. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 2805-2813. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0464-6>
- [18] 徐新, 刘博然, 杜艳, 等. 竹叶酵素制备及其在土壤改良中的应用[J]. 世界竹藤通讯, 2019, 17(2): 44-47.
- [19] Steenwerth, K.L., Jackson, L.E., Calderon, F.J., et al. (2002) Soil Microbial Community Composition and Land Use History in Cultivated and Grassland Ecosystems of Coastal California. *Soil Biology & Biochemistry*, 34, 1599-1611. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(02\)00144-X](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00144-X)
- [20] Kirk, J.L., Beaudette, L.A., Hart, M.M., et al. (2004) Methods of Studying Soil Microbial Diversity. *Journal of Micro-*

- biological Methods*, **58**, 169-188. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2004.04.006>
- [21] 张立超. 环保酵素改良滨海盐碱性土壤的应用研究[J]. 资源节约与环保, 2019, 208(3): 22.
- [22] Yang, W.J. and Jiang, J.G. (2013) Characteristics of Straw Biochar and Its Influence on the Forms of Arsenic in Heavy Metal Polluted Soil. *Applied Mechanics and Materials*, **409-410**, 133-138. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.409-410.133>
- [23] Elsanhoty, R.M., Al-Turki, I.A. and Ramadan, M.F. (2016) Application of Lactic Acid Bacteria in Removing Heavy Metals and Aflatoxin B1 from Contaminated Water. *Water Science & Technology*, **74**, 625-638. <https://doi.org/10.2166/wst.2016.255>
- [24] Rasit, N. and Kuan, O.C. (2018) Investigation on the Influence of Bio-Catalytic Enzyme Produced from Fruit and Vegetable Waste on Palm Oil Mill Effluent. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, **140**, Article ID: 012015. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/140/1/012015>
- [25] Wei, X., Cao, P., Wang, G. and Han, J.P. (2020) Microbial Inoculant and Garbage Enzyme Reduced Cadmium (Cd) Uptake in *Salvia miltiorrhiza* (Bge.) under Cd Stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **192**, Article ID: 110311. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110311>
- [26] 胡月. 不同植物环保酵素主要活性成分分析[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 东北大学, 2019.
- [27] Teng, Y., Wang, X., Zhu, Y., et al. (2017) Biodegradation of Pentachloronitrobenzene by *Cupriavidus* sp. YNS-85 and Its Potential for Remediation of Contaminated Soils. *Environmental Science and Pollution Research*, **24**, 9538-9547. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8640-2>
- [28] 高亮, 孙继发, 潘玲. 酵素对绿豆芽生长发育、产量和品质的影响[J]. 蔬菜, 2020(4): 15-20.
- [29] 张凡, 崔晓萌, 杜新民. 硒对豇豆芽苗菜产量品质及保护酶活性的影响[J]. 农业与技术, 2013(10): 2-3.
- [30] 徐娜, 邹涛, 庞锦伟, 等. 外源锌浸种对大豆种子萌发、大豆芽生长及锌积累的影响[J]. 大豆科学, 2012, 31(6): 932-936.
- [31] 沈奕, 赏莹莹. 复合酵素和生物质炭配施对番茄生长发育和产量、品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(5): 133-135.
- [32] 覃叶欣. 茄果类蔬菜酵素对西瓜幼苗生长及其枯萎病防治效果的研究[D]: [硕士学位论文]. 南宁: 广西大学, 2019.
- [33] 方国兴. 环保酵素在促进建造环保家庭方面的初步探索[C]//黑龙江省科学技术应用创新专业委员会. 黑龙江省科学技术应用创新专业委员会科技创新研讨会 2016 年 1 月会议论文集. 哈尔滨, 2016: 92.
- [34] 程勇杰, 陈小伟, 张沙沙, 等. 柘树植物酵素中氨基酸分析及抗氧化性能研究[J]. 食品工业科技, 2018, 39(6): 1-7+12.
- [35] 周伟, 陈轩, 蒋娟, 胡雪筠, 李占彬, 龙云川, 胡菁, 周少奇. 环保酵素特性成份及微生物种类初步研究[J]. 贵州科学, 2020, 38(3): 11-15.
- [36] 刘治权, 郭洪满. 水稻应用酵素菌肥初探[J]. 农业与技术, 2007, 27(1): 37-39.
- [37] 黄涛, 吴良欢, 贾惠娟, 等. 应用酵素菌肥的有机和传统栽培稻米品质比较研究[J]. 中国稻米, 2009(5): 19-21.
- [38] 宛彩云. 生物有机肥对玉米生长发育及产量品质的影响[J]. 现代农业科技, 2009(12): 163-164.
- [39] 刘学静. 酵素有机肥对辣椒产量及品质的影响[J]. 北方园艺, 2010(18): 35-36.
- [40] Ariunbaatar, J., Panico, A., Frunzo, L., et al. (2014) Enhanced Anaerobic Digestion of Food Waste by Thermal and Ozonation Pretreatment Methods. *Journal of Environmental Management*, **146**, 142-149. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.07.042>
- [41] Kavitha, S., Kumar, S.A., Yogalakshmi, K.N., et al. (2013) Effect of Enzyme Secreting Bacterial Pretreatment on Enhancement of Aerobic Digestion Potential of Waste Activated Sludge Interceded through EDTA. *Bioresource Technology*, **150**, 210-219. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.10.021>
- [42] Eun, J., Beauchemin, K.A., Hong, S.H., et al. (2006) Exogenous Enzymes Added to Untreated or Ammoniated Rice Straw: Effects on *in Vitro* Fermentation Characteristics and Degradability. *Animal Feed Science and Technology*, **131**, 87-102. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.01.026>
- [43] Arun, C. and Sivashanmugam, P. (2018) Enhanced Production of Biohydrogen from Dairy Waste Activated Sludge Pre-Treated Using Multi Hydrolytic Garbage Enzyme Complex and Ultrasound-Optimization. *Energy Conversion & Management*, **164**, 277-287. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.02.095>
- [44] Rani, A., Negi, S., Hussain, A. and Kumar, S. (2020) Treatment of Urban Municipal Landfill Leachate Utilizing Garbage Enzyme. *Bioresource Technology*, **297**, Article ID: 122437. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122437>
- [45] 韩齐, 赵金敏, 高小琴, 等. 功能性酵素发展研究现状[J]. 食品工业科技, 2019, 40(1): 343-346+351.