

# 环保酵素在农业上的应用及研究进展

刘 田, 林 玉, 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: 2021年4月27日; 录用日期: 2021年5月28日; 发布日期: 2021年6月4日

---

## 摘 要

本文系统论述了环保酵素的由来以及作用机理及目前国内外在土壤改良和种植业上的应用及研究现状, 综合分析了环保酵素在未来农业生产中的应用前景, 为改善土壤污染、提高土壤肥力和农作物产量及品质提供新的科学研究思路 and 理论依据。

## 关键词

环保酵素, 土壤改良, 农作物

---

# Application and Research Progress of Garbage Enzyme in Agriculture

Tian Liu, Yu Lin, Peiyong Liu\*

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

Received: Apr. 27<sup>th</sup>, 2021; accepted: May 28<sup>th</sup>, 2021; published: Jun. 4<sup>th</sup>, 2021

---

## Abstract

This article introduces the origin and mechanism of garbage enzyme, points out the current application and research status of soil improvement and planting industry at home and abroad, and comprehensively analyzes the application prospects of garbage enzyme in future agricultural production, in order to provide new research ideas for reducing soil pollution, improving soil fertility and crop yield and quality.

---

\*通讯作者。

## Keywords

Garbage Enzyme, Soil Improvement, Crop

Copyright © 2021 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

酵素(Garbage Enzyme), 起源于日本, 发扬于我国台湾。它是由植物、菌类或其它物质为原料, 在微生物的作用下经发酵产生的具有特定生物学活性的次级代谢产物。它的用途极其广泛, 根据《酵素产品分类导则》可以把酵素按照应用领域的不同分为环保酵素、食用酵素、日化酵素、饲料酵素、农用酵素和其他酵素这六大类[1]。

环保酵素是由泰国 Dr. Rosukon 经 30 多年的研制发明而成的[2]。因环保酵素制作成本低、原材料随手可得, 制作工艺简单, 且具有多种功效而引起人们的广泛关注。环保酵素是将果蔬垃圾、水、糖按照一定比例混合后经多种微生物联合发酵 3 个月后得到的棕褐色液体[3]。环保酵素的制作很大程度上减少了湿垃圾排放量并使其变废为宝。环保酵素内含有脂肪酶、淀粉酶、超氧化物歧化酶、过氧化氢酶; 维生素、氨基酸、乙醇、乳酸、黄酮等多种活性成分以及钙、钾、镁等矿质元素[4]。环保酵素不仅具有降解污渍[5]、节能减排[6]、净化水体[7]和空气[8]的作用, 而且将环保酵素作为肥料施加到土壤中能改良土壤环境, 促进农作物生长, 提高农作物的产量和品质。

目前, 环保酵素在我国的研究方向主要集中在对土壤肥力和促进农作物生长发育等方面的研究; 而国外对环保酵素的研究重点主要是对酵素中营养成分含量和微生物类群的测定、酵素菌对重金属的降解作用以及酵素在污水处理上的研究, 在农业生产方面的研究还比较匮乏。本文在国内外相关研究基础上, 系统总结和论述环保酵素在农业生产中的应用, 为将来环保酵素在土壤改良和在提高农作物产量和品质的深入研究提供科学的理论依据。

## 2. 环保酵素的作用机理

环保酵素中含有丰富的微生物类群和矿质元素[9]。酵素菌产生的代谢产物不仅能够促进土壤中有机的氧化分解、激活长期被土壤固化的营养元素, 使其在短时间转化为能够被植物直接吸收利用的成分, 而且能够有效减少土壤中的重金属含量, 降低它的生物有效性。因此, 把环保酵素作为肥料施加到土壤中, 能够改良土壤结构, 提高土壤中有机质、氮、磷、钾等矿质元素的含量, 增加土壤肥力[10]。

将环保酵素作为肥料施加到土壤后, 酵素菌中含有大量的有益菌群能够有效抑制土壤中的有害病菌, 降低农作物遭遇病虫害的概率, 如环保酵素对西瓜幼苗患枯萎病、青椒灰霉病以及草莓白粉病等常见农作物病虫害均具有一定的防治效果。环保酵素中含有大量的营养活性物质和矿质元素。通过将环保酵素稀释成不同比例喷撒到农作物叶片表面不仅能够有效提高农作物的产量, 而且农作物中可溶性氨基酸、维生素 C、有机酸、可溶性蛋白等营养物质的含量也有一定程度的增加。环保酵素中含有具有清除农作物中重金属的微生物如酵母菌、乳酸菌等, 通过将稀释一定比例的环保酵素处理被重金属污染的农作物, 能够有效降低农作物中重金属的含量, 从而达到控制污染和提高农作物的品质的目的[11]。

### 3. 环保酵素在土壤改良的方面的应用

#### 3.1. 环保酵素对土壤污染的改良效果

土壤能为农作物提供必不可少的养分、空气和水分，是农作物能够正常生长、发育和繁殖的基础。化肥和农药的使用虽然能够提高土壤肥力和农作物产量，降低其遭受到病虫害的可能性，为粮食产量和农业生产力的提高做出了巨大贡献，但它们的不合理使用也对土壤甚至水域环境造成了不可估量的影响[12]。

目前，土壤问题主要体现在土壤污染、土壤板结、营养物质分布不均衡这三个方面。据 2014 年《全国土壤污染状况调查公报》结果显示，中国土壤污染物总超标率占 16.1%，其中耕地污染物超标率占 19.4%，污染类型主要以重金属超标如汞、铬、砷、镍等为主[13]。因此，在提高土壤肥力的同时降低土壤污染，实现边修复边生产的效果将会是未来农业生产的研究重点。环保酵素作为一种新型的微生物复合肥料，含有较高浓度的有机质、氮素、磷素、钾素等营养成分[14]。把它施加到土壤中不仅显著能够提高土壤肥力，而且能够有效地促进土壤中有机质的分解和矿化。有机质中含有大量的羟基、氨基和羧基等，这些官能团可以吸附土壤中的重金属，减少土壤中的重金属含量，降低它的生物有效性，减弱重金属对土壤的毒害作用[15]。另外环保酵素中的微生物产生的醋酸、乳酸等有机酸可促进铅的溶解，同时也能促进被土壤吸附固定的磷元素重新释放。水溶性磷可以与重金属如铅、镉、锌等结合形成难溶性复合物，增强土壤对重金属的吸附性，降低土壤中重金属的迁移性和危害性[16]。

#### 3.2. 环保酵素对土壤肥力的改良效果

由于长期的单一、过度施肥和土壤的不合理应用，导致土壤中有机质含量下降、各类营养元素的比例严重失衡。化肥进入土壤后只有很少一部分能够直接被植物吸收利用，大部分都被土壤固定或流入到无机环境中。曹任林等[17]研究表明，我国氮肥、磷肥、钾肥的平均利用率为 35%左右。氮素、磷素、钾素是植物正常生长发育的必需营养物质，是核酸、叶绿素、酶、植物激素等化合物的重要组成部分。氮代谢和钾代谢与农作物的抗逆性、光合作用强度等也有着十分紧密的联系[18] [19]。钾素是农作物必需的大量元素之一，是植物体内含量较高的一种阳离子，在叶片中的丰富度仅次于氮。虽然我国土壤中钾元素的含量很高，但它比其它元素更容易流失，而且 95%为无效钾，不能直接被农作物吸收利用[20]。磷素是农作物正常生长发育必不可少的营养元素，它主要以磷酸盐的形式被吸收，但土壤中的磷素大部分是以不溶性或难溶性磷素形式存在，不能够被直接吸收利用。Krey T 等[21]研究表明，土壤中磷循环主要以微生物的活动为中心，在微生物的作用下可提高土壤中可溶性磷的含量，增加农作物对磷素的吸收，促进农作物的生长发育。

环保酵素中含有丰富的微生物类群和较高浓度的有机质、氮素、磷素、钾素等营养成分。把它施加到土壤中能够有效地促进土壤中有机质的分解和矿化，提高土壤中全磷、全钾、速效磷、速效钾等含量，改良土壤的理化性质。表 1 总结了环保酵素处理土壤前后与土壤肥力相关的几个重要指标的变化。从表一中可以清楚地看到，土壤被环保酵素处理后土壤肥力有显著的提高。韩剑宏等[24]使用环保酵素作为一种修复材料去处理盐碱化土壤一段时间后，能够显著降低土壤 pH 和 ESP，降幅分别为 10.15%和 28.06%。张立超[25]研究发现，在改良滨海盐碱土时使用浓度为 1:800 环保酵素分别处理 5~6 周和 4~5 周后能够显著提高土壤中的有机质和全氮含量；使用 1:600 浓度比的环保酵素处理 5~6 周后，能够显著提高土壤中全磷的含量。Shi Z 等[26]认为蚯蚓具有独特的生物学优势，是衡量土壤质量的一个重要的生物指标。李方志等[22]研究表明试验田被使用 1:500 和 1:750 浓度比环保酵素处理后，土壤中蚯蚓的数量明显增多。蚯蚓对土壤中有机质含量的提高又具有十分重要的作用。因此，使用 1:750 浓度比的环保酵素处理实验田后，对土壤中有机质的含量改良效果最好[22]。

**Table 1.** Soil fertility changes before and after garbage enzyme treatment [20] [22] [23]**表 1.** 环保酵素处理前后土壤肥力变化[20] [22] [23]

土壤肥力指标	处理前	处理后	时间(天)	增幅率(%)
有机质/(g/kg)	24.32	49.33	28	102.83
全氮/(g/kg)	10.59	27.46	28	159.30
全磷/(p/%)	0.0068	0.07	49	11.11
速效磷/(mg/kg)	31.8	37.2	49	13.41
全钾/(k/%)	1.68	1.76	35	5.39
速效钾/(mg/kg)	193.9	242.0	42	6.06

## 4. 环保酵素在种植业方面的应用

### 4.1. 环保酵素对农作物的病虫害的防治效果

农产品在人们日常生活中不可或缺的。虽然大多数农产品的生产周期较短，但其遭遇病虫害的情况却十分严重。因此，需要不断地喷施农药，降低其患病的几率，但农产品中农药的残留不仅影响了食品安全，甚至会严重危害人类的健康。

覃叶欣等[27]研究表明西瓜幼苗被果蔬类酵素处理后，能够降低西瓜幼苗患枯萎病的可能，提高它的抗病性。刘艳娜等[28]用薄荷、雀草、紫苏等经密闭发酵制成的酵素去处理梨树发现，其不仅能提高叶片养分含量、改善生长状况，而且能够有效抑制轮纹病、黑星病、腐烂病的发生。李洁等[29]用 1:1000 和 1:2000 植物酵素喷施青椒后发现，青椒灰霉病的感病率与对照相比分别下降了 4.4% 和 5.2%。王丽丽等[30]研究发现大蒜和生姜酵素对朱砂叶螨的驱避、毒杀作用具有非常好的效果。朱丽梅等[31]研究表明大蒜酵素对大棚草莓白粉病和灰霉病具有一定的防治效果，并且稀释后的大蒜酵素浓度越高，防治效果越好；大蒜酵素与水按 1:10 比例的稀释液对大棚草莓白粉病和灰霉病的防治效果最好，防治效果分别为 85.92% 和 80.12%。

### 4.2. 环保酵素对农作物中农药残留的改良效果

农药的使用能够大大的降低农作物患病害的概率，对农作物的生长发育具有非常好的促进作用，但与此同时也会造成农药污染，农产品中农药的残留的现象。山东省寿光市是有名的“蔬菜之乡”，但由于长期以来化肥农药的不合理使用，导致土壤中养分含量比例失调，部分蔬菜中药物含量超标[32]。

王鑫等[33]研究发现通过对农贸市场中的芹菜、茼蒿、油菜、黄瓜等农产品中的农药残留进行检测，发现这些农产品中均具有较高的农药残留量。Zhang F 等[34]调查表明呼和浩特市全麦植物(290  $\mu\text{g/g}$ )和玉米(270  $\mu\text{g/g}$ )中的有机磷农药残留量远高于农业土壤(185  $\mu\text{g/g}$ )。这些农作物中的农药残留物不仅严重影响了蔬菜的品质，并且能沿着食物链和食物网进行传递，最终流入人体，危害人类健康。

李向明[32]通过将酵素菌技术应用到蔬菜大棚中，对辣椒、黄瓜、云豆等蔬菜进行多处施肥对比试验，结果表明酵素菌肥能够降解蔬菜中化肥和农药残留物，有效降低蔬菜病虫害的发生率。韦文芳等[35]通过用不同浓度的环保酵素去处理芥菜，发现环保酵素对氧化乐果、百菌清、高效氯氟氰菊酯等农药具有明显的降解效果并且在 1:300 处理条件对农药的降解效果最好。因此，使用环保酵素作为蔬菜农药残留降解剂不仅不会对蔬菜造成二次污染，而且还可以作为蔬菜等农作物的叶面肥和抑制病虫害发生的抑制剂，减少蔬菜病虫害的发生，提高蔬菜品质。

### 4.3. 环保酵素对农作物中重金属的降解效果

Onakpa M M 等[36]称环境中由于存在大量重金属，它们被植物吸收后会在人类和动物体内积累并对

它们造成危害。目前有许多已知的重金属来源,但主要以人类活动产生为主。例如农作物在种植过程中,施加农药虽然能够有效地防治病虫害、提高蔬菜品质,但与此同时也会造成农药污染和残留。王敏敏等[37]在江西省内采集9类蔬菜,检测铅、镉、砷、汞含量,发现这些蔬菜中铅、镉、砷和汞的超标率分别为2.22%、1.40%、0.35%和0.91%。清除农作物中重金属的方法主要包括物理法、化学法和生物法。Ayansina A等[38]称采用常规的物理和化学方法进行修复,不仅不经济而且还会产生大量的化学废物,污染环境。生物法主要是通过利用细菌和真菌等微生物的吸附或富集作用去清除食物中的重金属,它与另两种方法相比具有高效、经济、环保和无毒的优点[11]。

Fu Y等[39]利用 *Lactobacillus plantarum* 和 *Pediococcus pentosaceus* 联合发酵能使大米中镉含量降低85.73%且处理后大米中镉含量符合国家食品卫生标准。Chang Y C [40]等利用 *Lactobacillus bulgaricus* 和 *Streptococcus thermophilus* 菌株联合发酵能有效去除凤梨木中97.8%的砷。Feng M等[41]从白菜酵素中分离出植物乳杆菌 *Lactobacillus plantarum*, 其分泌的胞外多糖具有较好的铅吸附效果。齐天翊[42]从酵素中分离出 *Lactobacillus brevis*、*Lactobacillus plantarum* 和 *Pediococcus cellicola* 三株菌株,它们对铅均有较强的耐受性,而对镉的耐受性较差;在100 ppm浓度条件下 *Lactobacillus plantarum* 对铅的吸附率为78.47%,细菌体内铅的积累量为2.27 mg/dry g。Wada N等[43]在被镉污染的土壤中使用植物废料发酵物能够有效的抑制水稻对镉的吸收,提高作物产量,并且能在至少两年内不造成土壤表层水体富营养化。周泽宇等[44]研究表明,喷施环保酵素能够有效降低稻米中镉的含量,在土壤中镉背景值低的情况下,稻米中镉含量与对照组相比能降低63.08%;土壤中镉背景值高的情况下,与对照相比稻米中镉含量降低47.54%。Wei X等[45]使用环保酵素处理丹参后,发现环保酵素不仅能够使丹参对镉的吸收减少25.31%,而且丹参酮的积累量增加40.08%。因此,环保酵素可以去处理重金属污染的农田和农产品,改善农作物品质,促进微生物修复。

#### 4.4. 环保酵素对农作物的产量及营养成分的改良效果

化肥和农药的使用在提高农产品产量和品质的同时,会对土壤以及人类健康造成不可估量的影响,而环保酵素作为一种新型有机肥,含有大量对农作物有益的营养活性物质及矿质元素,对农作物的产量及体内营养物质含量的提高都有促进作用。

周泽宇等[44]研究发现,与对照组相比喷施植物酵素后能促进水稻分蘖,提高结实率,对水稻增产效果明显,增产8.60%。高亮等[46]对豆芽进行了施加酵素的试验,结果发现施加酵素后豆芽的产量和品质与对照相比都有明显的提高,其中以1:200浓度的酵素稀释液处理效果最好,此时豆芽增产5.6%,营养物质如可溶性糖、可溶性蛋白、游离氨基酸的含量分别提高54.5%、12.29%、19.06%。杨园媛等[47]研究表明甘蓝施加酵素后可明显缩短育种时间,促进甘蓝生长并且甘蓝产量显著提高。李洁等[28]研究发现,使用1:1000和1:2000的植物酵素稀释液不仅青椒植株的生长和产量均有促进作用,而且能够显著提高青椒果实中维生素C、可溶性固形物和糖含量,维生素C含量与对照组青椒果实相比可分别提高24.4%和22.6%。普燕爽等[48]研究发现,朝天椒施加1:750浓度比的环保酵素后的成活率以及长势都明显由于空白浇水区和高浓度硫酸钾复合肥区。

文廷刚等[49]对红椒施加不同浓度的酵素菌肥进行试验,结果显示施加酵素菌肥后红椒的产量以及品质均有明显提高,其中以2%浓度酵素菌肥处理效果最好,此时红椒增产2.6%,纤维素含量降低32.3%,辣椒素、维生素C、可溶性糖和可溶性蛋白含量提高11.1%、46.2%、15.3%、15.4%。李银余[50]研究发现,利用酵素菌肥去处理水稻后,能使水稻增产90 kg/hm<sup>2</sup>。蔡艳华等[51]将施加酵素菌肥与尿素种植的草莓对比后发现,被酵素菌肥处理后草莓的产量以及草莓果实中维生素C和可溶性糖含量都显著提高,其中草莓果实中维生素C含量可提高14.81%。邓万香[52]研究表明,施加酵素生物肥后的黄瓜幼苗不仅有效提高黄瓜的座果率、瓜长、瓜重,而且黄瓜的产量高、色泽好、口感佳。王延平等[53]研究表明在

田间试验中酵素菌肥可使番茄、萝卜、黄瓜分别增产 16.5%、16.6%、19.6%，番茄在盆栽试验中可增产 19.6%，这三种蔬菜中可滴定酸、可溶性糖、维生素 C 含量与对照相比都明显有所提高。沈奕等[54]对番茄进行研究发现，施加复合酵素后番茄的产量以及番茄中维生素 C、可溶性糖和有机酸的含量与传统土壤培养相比都有显著提高，分别为 13.4%、70.17%、4.35%和 59.35%。

## 5. 结论

环保酵素中含有丰富的营养活性物质和微生物类群，施加到土壤中不仅能够通过减少土壤中的重金属含量和降低重金属的迁移，从而达到改良土壤污染的目的，而且能提高土壤有机质、氮、磷、钾等营养物质的含量，增加土壤肥力。将环保酵素喷施到农作物表面能够有效地降低农产品中农药的残留量，并且对病虫害的发生以及农作物的产量和果实中营养物质的含量都有一定的改良效果；通过利用环保酵素中的微生物及其代谢产物的富集和吸附作用，可以有效减少农产品中重金属的含量，提高产品质量。因此，环保酵素在农业上的合理使用对食品安全以及农业生产力的提高都具有重要意义。

## 6. 展望

制作环保酵素的原材料容易获取，但不同种类的材料制备的环保酵素的活性成分以及微生物类群都存在着差异，因此在制作环保酵素时，对原材料的如何选择依旧是目前需要解决的问题。

将环保酵素应用到盐碱地以及重金属污染的土壤中，不仅能提高土壤肥力、降低重金属的有效性，而且不会加重土壤污染。在未来应进一步研究环保酵素对盐碱地以及重金属污染土壤的长期改良效果，分析环保酵素对在盐碱地以及重金属污染土壤中生长的植物的影响，为土壤改良提高科学的理论依据。

环保酵素喷施到农作物表面，能够有效地提高农产品的产量和品质，为后续的实际生产应用提供了理论依据，但环保酵素对影响农作物各项生理生化指标的内在分子机制的研究还未见报道，可作为未来科学研究的重要方向之一。

## 参考文献

- [1] 中国轻工业联合会. QB/T5324-2018 酵素产品分类导则[S]. 北京: 中国轻工业出版社, 2018.
- [2] Ho, Y.M., Ling, L.K. and Manaf, L.A. (2014) Garbage Enzyme as a Solution to Waste Minimization. From Sources to Solution. In: *Proceedings of the International Conference on Environmental Forensics 2013*, Springer, Berlin, 347-350. [https://doi.org/10.1007/978-981-4560-70-2\\_63](https://doi.org/10.1007/978-981-4560-70-2_63)
- [3] 蔡毅飞, 唐敏. 环保酵素的发酵过程研究[J]. 科技资讯, 2017, 15(14): 230-230.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] Chen, H., Shen, H., Su, H.F., et al. (2017) High-Efficiency Bioconversion of Kitchen Garbage to Biobutanol Using an Enzymatic Cocktail Procedure. *Bioresource Technology*, **245**, 1110-1121. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.056>
- [7] Nazaitulshila, R. and Ooi, C.K. (2018) Investigation on the Influence of Bio-Catalytic Enzyme Produced from Fruit and Vegetable Waste on Palm Oil Mill Effluent. *IOP Conference*, **140**, Article ID: 012015. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/140/1/012015>
- [8] 余金良, 郭帅, 盛元梁, 等. 环保酵素对空气净化效果的研究[J]. 现代园艺, 2017(11): 21-22.
- [9] 赵晨阳, 马佳玲, 戴峰, 等. 环保酵素的微生物群落结构和化学成分分析[J]. 科技经济导刊, 2019(16): 1-5.
- [10] 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, 2017, 23(23): 53-54.
- [11] 马欢欢, 白凤翎, 励建荣. 乳酸菌吸附作用清除食品中有毒重金属研究进展[J]. 食品科学, 2017, 38(11): 301-307.
- [12] Lu, Y., Song, S., Wang, R., et al. (2015) Impacts of Soil and Water Pollution on Food Safety and Health Risks in China. *Environment International*, **77**, 5-15. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.12.010>
- [13] 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, 36(9): 1689-1692.

- [14] 刁亚娟. 酵素菌肥对番茄生长发育及其土壤养分含量的影响[D]: [硕士学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2008.
- [15] 杜明阳, 赵秀兰. 土壤有机质与重金属迁移转化关系文献综述[J]. 南方农业, 2016, 10(17): 92-94.
- [16] Kim, J.A., Vijayaraghavan, K., Reddy, D.H.K., *et al.* (2018) A Phosphorus-Enriched Biochar Fertilizer from Bio-Fermentation Waste: A Potential Alternative Source for Phosphorus Fertilizers. *Journal of Cleaner Production*, **196**, 163-171. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.004>
- [17] 曹仁林, 贾晓葵. 我国集约农业中氮污染问题及防治对策[J]. 中国土壤与肥料, 2001(3): 3-6.
- [18] 王新磊, 吕新芳. 氮代谢参与植物逆境抵抗的作用机理研究进展[J]. 广西植物, 2020, 40(4): 583-591.
- [19] 雷晶, 郝艳淑, 王晓丽, 等. 植物钾效率差异的营养生理及代谢机制研究进展[J]. 中国土壤与肥料, 2014(1): 1-5.
- [20] 李方志, 王殷, 李丝丝, 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.
- [21] Krey, T., Vassilev, N., Baum, C., *et al.* (2013) Effects of Long-Term Phosphorus Application and Plant Growth Promoting Rhizobacteria on Maize Phosphorus Nutrition under Field Conditions. *European Journal of Soil Biology*, **55**, 124-130. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2012.12.007>
- [22] 李方志, 李丝丝, 王殷, 等. 环保酵素改良土壤中有机质与磷素的探索性研究[J]. 环境科学导刊, 2016, 35(5): 65-69.
- [23] 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.
- [24] 韩剑宏, 刘泽霞, 张连科, 等. 生物炭和环保酵素对盐碱化土壤特性的影响[J]. 生态环境学报, 2019, 28(5): 1029-1036.
- [25] 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): 8.
- [26] Shi, Z., Tang, Z. and Wang, C. (2017) A Brief Review and Evaluation of Earthworm Biomarkers in Soil Pollution Assessment. *Environmental & Pollution Research*, **24**, 13284-13294. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8784-0>
- [27] 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]: [硕士毕业论文]. 南宁: 广西大学, 2019.
- [28] 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.
- [29] 李洁, 陈凯, 郝小燕, 等. 植物酵素对大棚青椒生长及产量的影响[J]. 现代农业科技, 2015(11): 82-86.
- [30] 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(8): 1209.
- [31] 朱丽梅, 刘艳芝, 王淑霞, 等. 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.
- [32] 李向明. 化肥、农药“失宠”, 酵素菌肥进大棚——寿光市发展无公害蔬菜, 把功夫下在“根”上[J]. 山东农业: 农村经济, 1995(7): 28.
- [33] 王鑫, 任玉瑛, 韩超, 等. 天津市蔬菜农药污染现状及农药残留危害[J]. 农业工程技术, 2018, 38(32): 44.
- [34] Zhang, F., He, J., Yao, Y., *et al.* (2013) Spatial and Seasonal Variations of Pesticide Contamination in Agricultural Soils and Crops Sample from an Intensive Horticulture Area of Hohhot, North-West China. *Environmental Monitoring & Assessment*, **185**, 6893-6908. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3073-y>
- [35] 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.
- [36] Onakpa, M.M., Njan, A.A. and Kalu, O.C. (2018) A Review of Heavy Metal Contamination of Food Crops in Nigeria. *Annals of Global Health*, **84**, 488-494. <https://doi.org/10.29024/aogh.2314>
- [37] 王艳敏, 周鸿, 熊丽, 等. 江西省蔬菜中重金属污染状况调查及评价[J]. 现代预防医学, 2020, 47(7): 1202-1206.
- [38] Ayansina, A. and Olubukola, B. (2017) A New Strategy for Heavy Metal Polluted Environments: A Review of Microbial Biosorbents. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **14**, 94. <https://doi.org/10.3390/ijerph14010094>
- [39] Fu, Y., Liao, L., Yang, L., *et al.* (2015) Optimization of Fermentation Process of Removal of Cadmium in Rice Powder Using Lactic Acid Bacteria. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, **31**, 319-326.
- [40] Chang, Y.C., Choi, D. and Kikuchi, S. (2012) Enhanced Extraction of Heavy Metals in the Two-Step Process with the Mixed Culture of *Lactobacillus bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus*. *Bioresource Technology*, **103**, 477-480. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.09.059>
- [41] Feng, M., Chen, X., Li, C., *et al.* (2012) Isolation and Identification of an Exopolysaccharide-Producing Lactic Acid Bacterium Strain from Chinese Paocai and Biosorption of Pb(II) by Its Exopolysaccharide. *Journal of Food Science*,

- 77, 111-117. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02734.x>
- [42] 齐天翊. 自制酵素中细菌群落动态分析和优势菌株的重金属吸附积累特性研究[D]: [硕士学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2018.
- [43] Wada, N., DI, G., Hideyuki, I., *et al.* (2020) Variations in Cadmium Concentrations in Rice and Oxidation-Reduction Potential at the Soil Surface with Supplementation of Fermented Botanical Waste-Based Amendment in Large-Scale Farmland. *Analytical Sciences*, **36**, 531-538. <https://doi.org/10.2116/analsci.19SBP01>
- [44] 周泽宇, 唐文邦, 明兴权, 等. 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.
- [45] Wei, X., Cao, P., Wang, G., *et al.* (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>
- [46] 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.
- [47] 杨园媛, 贾圣青, 杨辉, 等. 土壤调理剂与酵素施用对土壤理化性质及甘蓝产量的影响[J]. 蔬菜, 2020(2): 14-19.
- [48] 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.
- [49] 文廷刚, 郭小山, 吴传万, 等. 酵素菌对温室红椒生长发育和根际土壤环境的影响[J]. 中国农学通报, 2015, 31(7): 55-60.
- [50] 李银余. 水稻施用酵素菌生物有机肥料的效果[J]. 农技服务, 2012, 29(1): 36-36.
- [51] 蔡艳华. 不同配方酵素菌肥对草莓产量和品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2020, 38(26): 14300-14301.
- [52] 邓万香. 高寒地区酵素生物有机肥在黄瓜上的肥效试验[J]. 北方园艺, 2012(16): 20-21.
- [53] 王延平, 周亚光, 李方正, 等. 酵素菌生物肥在蔬菜作物上的应用研究[J]. 辽宁农业科学, 2007(6): 13-16.
- [54] 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.