

# 尾菜发酵液对生菜生长的影响机理

牛明芬<sup>1</sup>,王宣<sup>1,2</sup>,吕金<sup>3</sup>,马建<sup>2</sup>,徐丽<sup>1</sup>

(1. 沈阳建筑大学市政与环境工程学院, 辽宁 沈阳 110168; 2. 中国科学院沈阳应用生态研究所污染生态与环境工程重点实验室, 辽宁 沈阳 110016; 3. 青岛市生态环境局黄岛分局环境监测中心, 山东 青岛 266400)

**摘要** 目的 将尾菜发酵制成液体肥料及土壤调理剂, 解决大量设施尾菜处理难题, 促进废弃物合理利用。方法 将番茄藤蔓打碎后添加酶、红糖, 经厌氧发酵制成发酵液, 测定主要成分; 以乳酸、硫酸铵、磷酸二氢钾和硫酸钾代替发酵液中有机酸和养分, 进行生菜盆栽试验。结果 施用发酵液、乳酸与肥料均会使土壤速效养分含量上升, 与对照组相比, 100% 发酵液能使土壤中速效磷增加 29.8%, 67% 发酵液处理使速效钾提高 20.9%; 发酵液的施用不仅提高了生菜产量, 而且改善了生菜品质, 施用后使生菜叶片中可溶性糖含量增加, 并降低了叶片中的硝酸盐含量。结论 尾菜发酵液对生菜生长的效果以乳酸对土壤速效磷、速效钾养分的活化作用为主, 从而提高土壤养分含量并增加作物产量, 同时发酵液能够改善生菜农艺性状。

**关键词** 设施尾菜; 发酵液; 乳酸; 肥料; 生菜

中图分类号 TU993.3; S5-3

文献标志码 A

**引用格式:**牛明芬, 王宣, 吕金, 等. 尾菜发酵液对生菜生长的影响机理[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2024, 40(4): 756-762. (NIU Mingfen, WANG Xuan, LYU Jin, et al. The influence mechanism of vegetable waste fermentation broth on lettuce growth[J]. Journal of Shenyang jianzhu university(natural science), 2024, 40(4): 756-762.)

## The Influence Mechanism of Vegetable Waste Fermentation Broth on Lettuce Growth

NIU Mingfen<sup>1</sup>, WANG Xuan<sup>1,2</sup>, LYU Jin<sup>3</sup>, MA Jian<sup>2</sup>, XU Li<sup>1</sup>

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168; 2. Key Laboratory of pollution ecology and environmental engineering of Chinese Academy of Sciences, Shenyang, China, 110016; 3. Environmental Monitoring Center of Huangdao Branch of Qingdao Municipal Bureau of Ecology and Environment, Qingdao, China, 266400)

**Abstract:** In order to solve the problem of treating a large of facility vegetable waste, its fermentation liquid as liquid fertilizer and soil conditioner and its action mechanism were studied. The fermentation broth was made from the tomato vine crushed with the enzyme and brown sugar added, and the main components were determined. Organic acids and nutrients in the fermentation

收稿日期: 2022-01-11

基金项目: 国家重点研发计划项目(2020YFD1100301); 辽宁省教育厅科研项目(Z2218105)

作者简介: 牛明芬(1967—), 女, 教授, 主要从事污染控制与治理技术、固体废弃物处理等方面研究。

broth were replaced by lactic acid, ammonium sulfate, monopotassium phosphate and potassium sulfate. The results showed that the content of available nutrients in the soil can be increased with the application of fermentation broth, lactic acid and fertilizer. Compared with the reference test, fermentation broth with 100% could increase available phosphorus in the soil by 29.8% and fermentation broth with 67% could increase available potassium by 20.9%. The application of fermentation broth not only increased the yield but also improved the quality of lettuce. After the application the content of soluble sugar in lettuce leaves was increased and the nitrate was decreased. By comparing and analyzing the growth effect of lettuce and the physical and chemical properties of soil, it was found that the effect of the fermentation liquid of vegetable waste on the growth of lettuce was mainly the activation effect of lactic acid on soil available phosphorus and available potassium, which can improve the soil nutrient content and yield of lettuce. And the fermentation liquid can improve the agronomic characters of lettuce.

**Key words:** facility vegetable waste; fermented liquid; lactic acid; fertilizer; lettuce

设施农业尾菜是指在蔬菜采摘、加工、运输过程中被遗弃的茎叶、果实等,是设施农业垃圾的主要组分<sup>[1]</sup>。尾菜易变质腐烂,处置不当不仅会影响环境,还会滋生蝇虫,危害人体健康。尾菜因含水量大、碳氮比低,采用常规好氧堆肥法预处理难度大、经济性差、可操作性不强,厌氧发酵是处理尾菜较适宜的方式<sup>[2]</sup>。尾菜经厌氧发酵后生成的尾菜发酵液可作为液体肥料、土壤调理剂等。普燕爽等<sup>[3]</sup>将餐厨果蔬废料发酵液稀释后以灌施方式用于设施朝天椒生产,发酵液对株高、花朵数和果实数的增加具有促进作用。李洁等<sup>[4]</sup>研究发现,喷施经稀释1 000 倍的尾菜发酵液,可减少青椒灰霉病发生。李方志等<sup>[5]</sup>的研究表明白菜尾菜发酵液 pH 呈酸性,施用后可提高土壤速效磷的含量,促进作物生长。尾菜发酵液的研究多集中在尾菜发酵液对植物的品质及生长效果上<sup>[6]</sup>,少有对发酵液主要成分进行分析。发酵液对作物生长的作用机制,是缘于其含有机组分对土壤的改良,还是自身额外养分的带入,尚未有明

确的论断。为此,笔者以番茄藤蔓厌氧发酵生成的发酵液为研究对象,在解析尾菜发酵液主要成分的基础上,进行发酵液组分替代种植试验;通过生菜盆栽试验的方式,对土壤理化指标和生菜生长性状进行测试、分析,明确不同组分对土壤、作物的影响效果,为解析其作用机制提供参考。

1 试 验

1.1 发酵液的主要成分

发酵液由设施番茄藤蔓、落叶经厌氧发酵制成。对发酵液成分的测定结果表明,其 pH 为 3.6,以小分子有机酸为主要成分,具体指标见表 1。参数指标测试方法:总酸度采用酸碱滴定法测定,COD 的质量浓度采用重铬酸钾法测定,有机酸、氨基酸组分及含量成分由液相色谱测定;总氮含量采用过硫酸钾消解紫外分光光度法测定;总磷采用钼酸铵分光光度法测定,总钾采用火焰光度法测定;用电感耦合等离子体质谱仪和液相色谱-质谱联用仪测定微量元素含量。

表 1 番茄尾菜发酵液主要成分

Table 1 The main components of fermentation broth for tomato tail vegetable												mg/L
ρ(总酸)	ρ(COD)	ρ(有机酸)		ρ(养分)			ρ(有效态微量元素)				ρ(氨基酸)	
		乳酸	乙酸	总氮	总磷	总钾	铁	锰	铜	锌	丝氨酸	谷氨酸
0.095	17 248	7 680.1	890.3	145.2	13.9	699.1	1.6	1.3	2.5	9.9	45	142

## 1.2 生菜栽培试验

### 1.2.1 供试土壤基本理化指标

在山东省潍坊市寿光市寨里村设施大棚内,通过盆栽生菜进行尾菜发酵液效果试验。以设施农田0~200 mm的表层土作为栽培土壤,挑出根系、塑料等杂质,混合均匀后,装入盆中。

表2 供试土壤养分质量分数

Table 2 Nutrient mass fraction of tested soil						%
w(SOM)	w(TN)	w(AN)/10 <sup>-5</sup>	w(TP)	w(AP)/10 <sup>-5</sup>	w(TK)	w(AK)/10 <sup>-5</sup>
0.713	0.068	4.66	0.054	1.53	1.30	7.90

### 1.2.2 试验设计

以发酵液有机酸含量、养分含量作为组分替代参数,设置5个栽培试验处理:①发酵液处理组;②乳酸+肥料处理组,以乳酸代替发酵液中的有机酸,以硫酸铵、磷酸二氢钾和硫酸钾代替发酵液总氮、总磷和总钾养分;③乳酸处理组,以乳酸代替发酵液中的有机酸;④肥料处理组,以硫酸铵、磷酸二氢钾和硫酸钾作为总氮、总磷和总钾养分;⑤清水对照组CK。除CK外,其余栽培组设置灌溉梯度,4个处理组投放量均按100%,67%和33%的梯度递减,具体施用量如表3所示。

表3 不同梯度试验组施用量

Table 3 Dosage of different concentration gradient in test							
组别	编号	V(发酵液) V(乳酸)		肥料投入量/mg			
		/mL	/mL	N	P	K	
发酵液组	T1	100	—	—	—	—	
	T2	67	—	—	—	—	
	T3	33	—	—	—	—	
乳酸+肥料组	T4	—	1.09	68.5	6.12	152.03	
	T5	—	0.73	45.9	4.10	101.86	
	T6	—	0.36	22.6	2.02	50.17	
乳酸组	T7	—	1.09	—	—	—	
	T8	—	0.73	—	—	—	
	T9	—	0.36	—	—	—	
肥料组	T10	—	—	68.5	6.12	152.03	
	T11	—	—	45.9	4.10	101.86	
	T12	—	—	22.6	2.02	50.17	

按当地耕作习惯栽培生菜,土壤含水率为20%时浇水,每栽培盆每次浇水200 mL。每盆栽种一株生菜,设置生长期50 d,在生菜

盆高210 mm,直径190 mm,每个花盆统一装土2.8 kg。测定供试土壤pH为7.83,土壤有机质SOM、总氮TN、碱解氮AN、总磷TP、速效磷AP、总钾TK、速效钾AK养分质量分数如表2所示。供试生菜品种“罗莎”来自山东省潍坊市寿光盛丰合作社。

缓苗7 d后,以12 d为间隔,对各组进行浇灌处理,每个处理组均设3个重复,生长期内总处理灌溉次数4次,其余时段以清水灌溉,确保土壤含水率均一。

### 1.3 指标测定与方法

分别于生菜移栽前和收获后进行土壤取样,测定土壤理化性质指标<sup>[7]</sup>。生菜收获后进行品质指标测定,主要测定叶绿素<sup>[8]</sup>、硝酸盐<sup>[9]</sup>和可溶性糖<sup>[10]</sup>,并测定植株地下部分干质量与植株地上部分干质量比值作为根茎比指标。采用Microsoft Excel 2019和SPSS 22.0软件对试验数据进行分析。

## 2 土壤理化性质的影响分析

### 2.1 土壤养分及pH变化

图1为不同处理方式对土壤养分及pH的影响。发酵液组、乳酸+肥料组、肥料组、乳酸组土壤总氮、总磷和总钾质量分数平均值均无显著性差异,与供试土壤相比也无显著性差异,说明发酵液及所含养分不会使土壤中总氮、总磷、总钾发生较大变化。经计算由发酵液带入的养分总量仅占土壤的养分总量的2.3%。在植物吸收、土壤固定等作用下,对土壤养分总量的影响很小。在土壤pH变化上,各处理的pH虽有一定的向下变化趋势,但与供试土壤相比不具显著性,说明各处理方式未对供试土壤的pH产生显著影响。

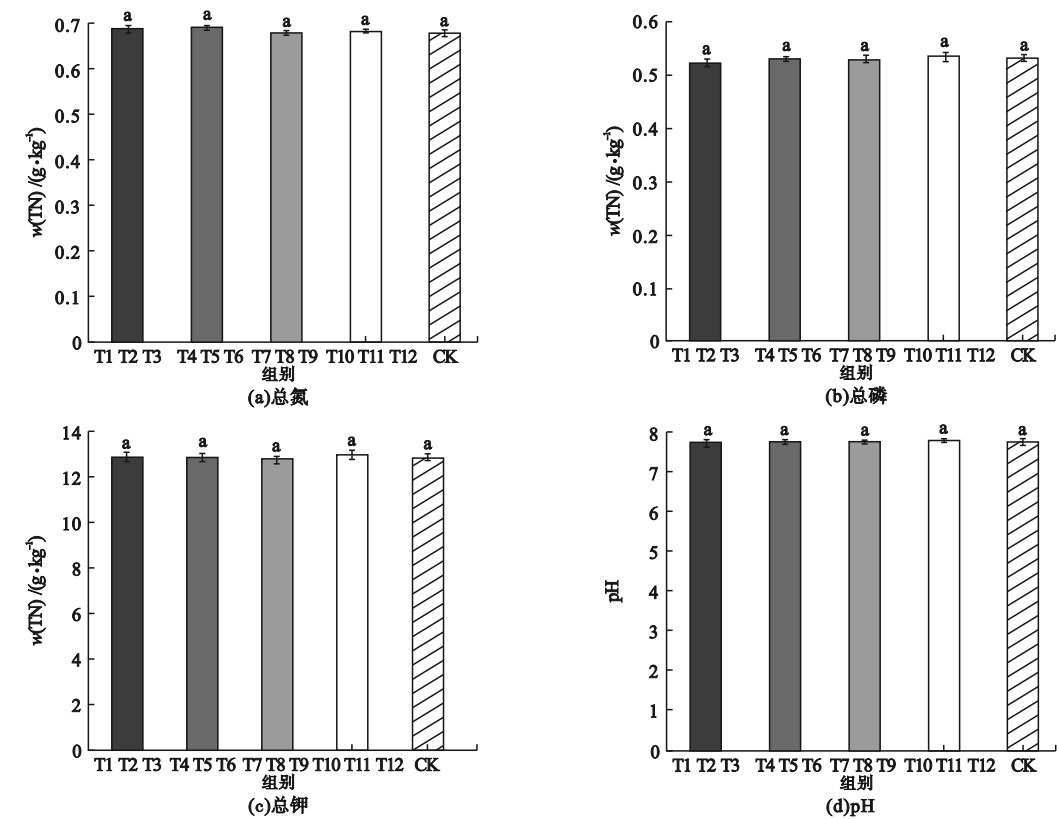


图1 不同处理对土壤养分及pH的影响

Fig. 1 In different test groups the nutrient content and pH of soil

2.2 土壤速效养分和有机质质量分数变化

不同处理对速效养分和有机质含量的影响如图2所示。与清水对照相比,各组的土壤碱解氮、速效磷和速效钾质量分数随发酵液投加量的增加而升高,速效养分总体变化趋势由大到小为:发酵液组、乳酸+肥料组、乳酸组、肥料组、CK。T1处理养分中的碱解氮和速效磷质量分数较CK分别增加了14.9%和29.8%;T2处理的速效钾提高最多,较CK组增加了20.9%。土壤有机质质量分数仅有发酵液处理组显著增加,并表现出随发酵液浓度升高而增加的趋势。

在土壤碱解氮的变化上,小分子有机酸类物质进入土壤后,能刺激根系分泌物的产生,并增加微生物的活性,进而提高土壤中碱解氮含量<sup>[11]</sup>。植物分泌低分子量有机酸被认为是一种有效的土壤磷活化机制,发酵液中有有机酸促进了土壤中磷质量分数上升。乳酸组T7、T8、T9中,速效磷质量分数表现

出随乳酸质量分数增加而增加的趋势,与有机酸质量分数升高会促进土壤磷释放的研究结果相符<sup>[12]</sup>。在土壤速效钾的变化上,由于有机酸能使矿物晶格断裂,会促进钾的释放<sup>[13]</sup>,因而,各处理组也表现出速效钾质量分数随有机酸质量分数升高而升高的趋势。在肥料处理组中,土壤速效养分也较CK有所提高,原因是发酵液中自带的养分也能对土壤养分产生一定影响,但有机酸对养分的活化效果更显著。发酵液的施用使土壤中有有机质上升,原因是发酵液中含有部分纤维素、木质素等分解的残渣,这些有机物料无法像乳酸等小分子有机酸类物质一样被土壤微生物快速利用,形成了土壤中短期留存的有机成分。而乳酸+肥料组中,养分可完全溶于水,可被土壤微生物快速利用并矿化分解,在短期内不会产生土壤有机物的留存,发酵液处理组表现出有机质质量分数较高。

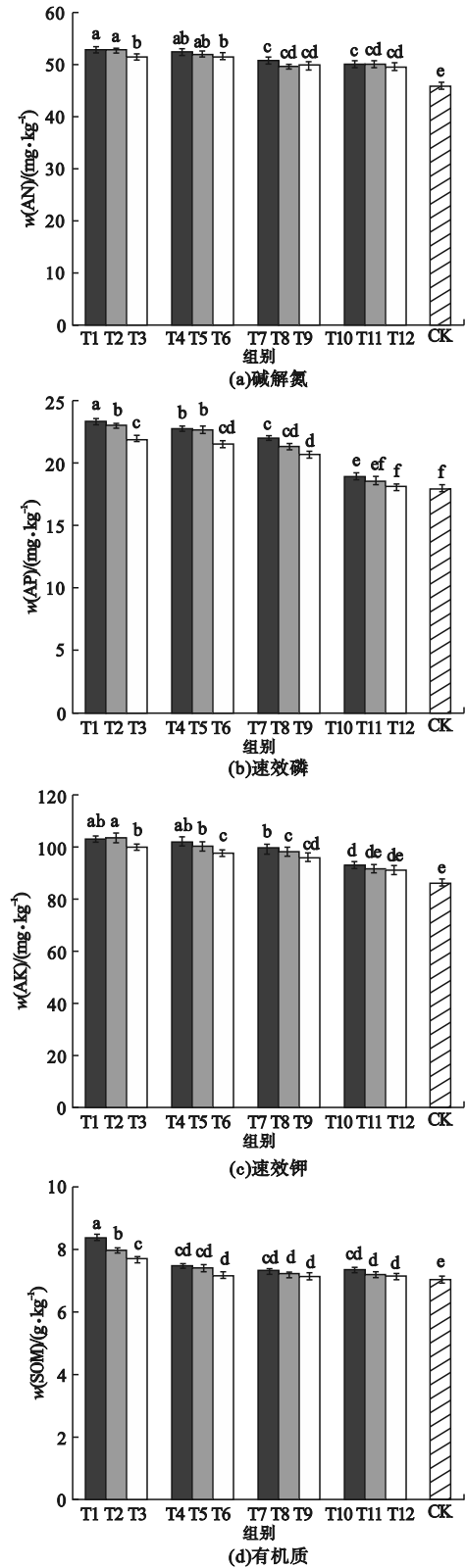


图2 不同处理组对速效养分和有机质含量的影响  
Fig. 2 In different test groups the available nutrients and the organic matter content in the soil

3 生菜生长效果的影响分析

3.1 对生菜农艺性状的影响

不同处理组对生菜农艺性状影响如图3所示。相较于CK 各分组均能使生菜产量和根茎比等指标有一定的提升,对生菜产量和根茎比影响均表现一致,由大到小顺序:发酵液组、乳酸+肥料组、乳酸组、肥料组、CK。发酵液处理组中 T1 组的根茎比提高44.8%,鲜重均值增加22.4 g/株,增加量达到了22%。发酵液在提高作物产量等方面功效较为显著<sup>[14]</sup>,这与发酵液中含有植物生长所需的氮、磷、钾和微量元素等有益养分有关。各组中乳酸活化养分使试验处理后产量较CK 组均有提高。

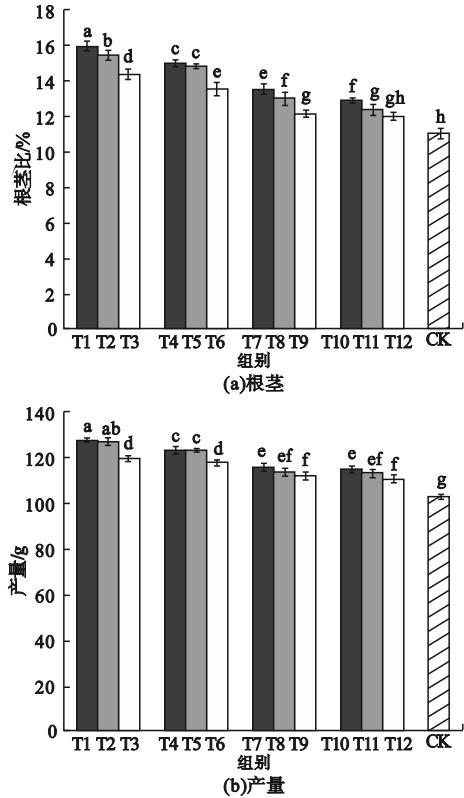


图3 不同处理组对生菜农艺性状影响  
Fig. 3 In different test groups the agronomic characters of lettuce

3.2 对生菜品质的影响

不同处理组对生菜品质的影响如图4所示。从图4(a)可以看出,经发酵液处理后生



菜的可溶性糖指标变化最为显著,生菜可溶性糖质量分数达到 4.4%,较 CK 提高 83%。发酵液组中 T2 组的硝酸盐质量分数最低,硝酸盐较 CK 降低了 36.7%。肥料处理组和乳酸+肥料组均使生菜中硝酸盐质量分数较 CK 处理升高,生菜中硝酸盐较 CK 增加 9.5%。从图 4(c)可以看出,植物叶绿素含量在 230~260 mg/kg,不同处理组之间几乎没有明显差异,表明发酵液及其主要成分不足以对植物叶绿素产生差异性影响。

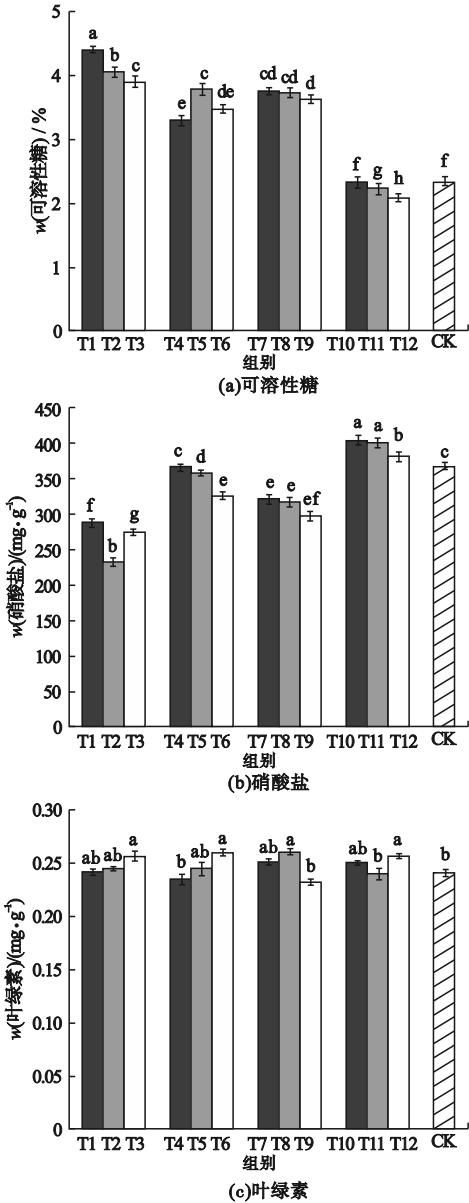


图4 不同处理对生菜品质的影响

Fig. 4 In different test groups the lettuce quality

含有机酸的发酵液组、乳酸+肥料组和乳酸组中,生菜可溶性糖有显著上升,硝酸盐质量分数显著下降;而肥料组中可溶性糖与CK相比无显著差异,但硝酸盐含量反而增加。发酵液中活性成分能作为速效碳源促进植物的生长发育,提高作物蛋白质、糖分等含量,并能提高叶片的光合作用,促进作物生长<sup>[15]</sup>,随着作物生物量的提高,在同等氮吸收的情况对吸收近植物体内的硝酸盐起到了稀释作用。而肥料组主要是由于以硫酸铵等速效养分供给为主,施入土壤后被植物快速转化为硝酸盐形式,易被植物吸收,并缺少由发酵液、乳酸组带入的速效碳源,造成作物碳、氮元素吸收的不平衡,表现为硝酸盐含量升高。

4 结 论

(1)发酵液中含有的有机酸和自带的养分能使土壤理化性质发生变化,使土壤中被直接利用的养分含量增加,其中100%发酵液和67%发酵液处理使速效磷、速效钾质量分数分别提高29.8%、20.9%;进而促进生菜根系生长,使生菜增产效果显著,其中100%发酵液处理可使生菜增产22%,为今后发酵液在蔬菜种植方面的应用提供理论参考。

(2)发酵液中乳酸能够改善生菜品质,与CK相比,100%发酵液能使生菜可溶性糖提高83%,67%发酵液使硝酸盐降低36.7%,发酵液对作物产量及品质的影响主要是通过提高了养分的有效性,并能提供一定速效碳源,改良了土壤的条件,促进了作物生长。

参考文献

[1] 冯晶,张玉华,罗娟,等. 批式与连续两相发酵的果蔬废弃物厌氧产气性能[J]. 农业工程学报, 2016, 32(22): 233-238.  
(FENG Jing, ZHANG Yuhua, LUO Juan, et al. Biogas production of fruit and vegetable wastes two-phase fermentation by batch and continuous feeding [J]. Transactions of the Chinese society of agricultural engineering, 2016, 32(22): 233-238.)

- 2016,32(22):233-238.)
- [2] 杨世关,李继红,孟卓,等.木质纤维素原料厌氧生物降解研究进展[J].农业工程学报,2006,22(增刊1):120-124.  
(YANG Shiguan, LI Jihong, MENG Zhuo, et al. Review on anaerobic biodegradation of lignocellulose [J]. Transactions of the Chinese society of agricultural engineering, 2006, 22 (S1):120-124.)
  - [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.  
(PU Yanshuang, TAO Jin, LIN Sen, et al. Effect on the growth of pod pepper and soil available phosphorus and hydrolyzable nitrogen by irrigating garbage enzyme [J]. Environmental science survey, 2019, 38(3):5-11.)
  - [4] 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):82-83.  
(LI Jie, CHEN Kai, HAO Xiaoyan, et al. Effect of using plant enzymes on growth and yield of green pepper [J]. Modern agricultural science and technology, 2015(11):82-83.)
  - [5] 李方志,李丝丝,王殷,等.环保酵素改良土壤中有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 Fangzhi, LI Sisi, WANG Yin, et al. Study on improving soil organic matter and phosphorus by garbage enzymes [J]. Environmental science survey, 2016, 35(5):65-69.)
  - [6] 吕丹蕾,卢兴霞,邵玉慧,等.植物酵素在蔬菜生产中的应用研究概述[J].天津农林科技,2020(6):39-41.  
(LYU Danlei, LU Xingxia, SHAO Yuhui, et al. Application of plant enzymes in vegetable production [J]. Science and technology of Tianjin agriculture, 2020(6):39-41.)
  - [7] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000.  
(LU Rukun. Analytical methods for agricultural chemistry [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000.)
  - [8] 李得孝,郭月霞,吴海燕,等.玉米叶绿素含量测定方法研究[J].中国农学通报,2005,21(6):153-155.  
(LI Dexiao, GUO Yuexia, YUAN Haiyan, et al. Determined methods of chlorophyll from maize [J]. Chinese agricultural science bulletin, 2005, 21(6):153-155.)
  - [9] 赵杰.紫外可见分光光度法测定白菜中硝酸盐含量[J].安徽农业科学,2014,42(27):9553-9554.  
(ZHAO Jie. Determination of nitrate in vegetables by ultraviolet spectrophotometry method [J]. Journal of Anhui agricultural sciences, 2014, 42 (27):9553-9554.)
  - [10] 王春艳,袁毅,白雪梅.铜-还原碘量法测定薏苡仁可溶性糖含量[J].食品工业,2020,41(2):201-205.  
(WANG Chunyan, YUAN Yi, BAI Xuemei. Determination the content of soluble sugar in coix seed by shaffer-somogyi. [J]. The food industry, 2020, 41(2):201-205.)
  - [11] 王清奎,汪思龙.土壤团聚体形成与稳定机制及影响因素[J].土壤通报,2005,36(3):415-421.  
(WANG Qingkui, WANG Silong. Forming and stable mechanism of soil aggregate and influencing factors [J]. Chinese journal of soil science, 2005, 36(3):415-421.)
  - [12] PALOMO L, CLAASSEN N, JONES D L. Differential mobilization of P in the maize rhizosphere by citric acid and potassium citrate [J]. Soil biology & biochemistry, 2006, 38(4):683-692.
  - [13] 丛日环,李小坤,鲁剑巍,等.低分子量有机酸对红壤和黄褐土钾素转化的影响[J].土壤学报,2009,46(3):532-536.  
(CONG Rihuan, LI Xiaokun, LU Jianwei, et al. Effect of low-molecular-weight organic acids on transformation of potassium in red soil and yellow cinnamon soil in south China [J]. Acta pedologica, 2009, 46(3):532-536.)
  - [14] 李俊,姜昕,李力,等.微生物肥料的发展与土壤生物肥力的维持[J].中国土壤与肥料,2006(4):1-5.  
(LI Jun, JIANG Xin, LI Li, et al. Development of microbial fertilizer and maintaining of soil biological fertility [J]. Soil and fertilizer in China, 2006(4):1-5.)
  - [15] 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.  
(LIU Xuejing. Effect of organic fertilizer of enzymes on chili's yield and quality [J]. Northern horticulture, 2010(18):35-36.)
  - [16] 秦渊渊,李友丽,郭文忠,等.3种发酵因素对蔬菜废弃物降解与产物特性的影响[J].中国蔬菜,2019(5):45-51.  
(QIN Yuanyuan, LI Youli, GUO Wenzhong, et al. Effects of three fermentation factors on degradation and product characteristics of vegetable wastes [J]. Chinese vegetables, 2019(5):45-51.)
  - [17] 蔡艳华,王连君,王雨娟,等.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,2010,38(26):14300-14301.  
(CAI Yanhua, WANG Lianjun, WANG Yujuan, et al. Effects of different formulation of enzyme fertilizer on yield and quality of Strawberry [J]. Anhui agricultural sciences, 2010, 38(26):14300-14301.)
  - [18] 陈小伟,程勇杰,范昊安,等.草莓酵素发酵过程中氨基酸成分分析和蛋白质营养评价[J].食品工业科技,2018,39(17):64-78.  
(CHEN Xiaowei, CHENG Yongjie, FAN Haoan, et al. Amino acid composition analysis and protein nutritional evaluation in strawberry fermentation process [J]. Food industry technology, 2018, 39(17):64-78.)
- (责任编辑:王国业 英文审校:唐玉兰)