

管冠,姚锋先,刘桂东,等.不同施肥年限对赣南脐橙果园土壤酶活性及微生物种群的影响[J].江苏农业科学,2016,44(2):382-385.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.02.111

# 不同施肥年限对赣南脐橙果园土壤酶活性及微生物种群的影响

管冠,姚锋先,刘桂东,卢占军

(赣南师范学院国家脐橙工程技术研究中心,江西赣州 341000)

**摘要:**赣南脐橙享誉全国,但长期的化肥施用使得当地果园土壤退化现象日益严重,制约了当地脐橙产业发展,也危害了脐橙果实的品质安全。本研究通过平板计数法、比色法测定了不同施肥年限的脐橙果园土壤微生物种群数量、土壤酶活性。在施肥年限 8 年以内,细菌、真菌、放线菌数量随着施肥年限的增加而增加,而超过 8 年之后,脐橙果园土壤微生物的数量呈下降趋势;同时土壤蔗糖酶、脲酶、酸性磷酸酶活性也呈现出类似规律。试验结果表明,在赣南脐橙果园中化肥的长期施用不利于土壤微生物种群的稳定,同时也会造成土壤酶活性降低。

**关键词:**脐橙果园;施肥年限;土壤微生物;土壤酶活性

**中图分类号:** S666.406 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)02-0382-03

在赣南地区,纽荷尔是当地种植的主要脐橙品种,总产量世界第二,种植面积 10.2 万  $\text{hm}^2$ ,居世界之最<sup>[1]</sup>。作为我国脐橙主产区之一,赣南地区果园目前突出的问题是化肥施用量过高,施用年限较长;有机肥施用量少,由此导致的土壤退化现象以及生态环境污染日益严重,直接影响了脐橙植株的正常生长,也危害了脐橙果实的品质安全<sup>[2]</sup>。赣南地区属山地丘陵地区,土壤偏酸,而长期施用化肥会导致土壤酸化加重,严重影响脐橙对土壤养分的吸收利用<sup>[3]</sup>。有研究表明,目前增加化肥施用量对果园脐橙产量增长的促进效果呈逐渐下降趋势,化肥的长期施用也会对脐橙果园的土壤肥力特性造成深刻的负面影响<sup>[4]</sup>。最直接的问题就是肥料损失大、利用率低、直接造成土壤养分不平衡、土壤环境发生改变,特别是土壤生物学性质恶化。

土壤生物学性质的好坏与土壤微生物活动息息相关,微生物在土壤中发生的代谢活动能够在很大程度上影响植物对土壤养分的吸收利用<sup>[5]</sup>。在土壤生态系统中,土壤微生物种群与土壤酶活性之间也存在密切的联系,有机质的添加能够有效地促进土壤微生物种群数量增多,提高土壤酶活性<sup>[6]</sup>。大量研究表明,土壤微生物土壤酶活性能直观地反映土壤质量的变化,是评价土壤质量不可缺少的指标<sup>[7]</sup>。

根据我国赣南地区脐橙果园施用肥料的现状,笔者认为长期施用化肥是导致果园土壤环境恶化的关键因素之一,探究化肥施用年限对土壤生物学性状特别是土壤微生物与土壤

酶的影响具有重要的意义。本试验通过研究不同施肥年限的纽荷尔脐橙果园的土壤生物学特性,分析土壤微生物种群、土壤酶与土壤施肥年限的内在关系,为赣南脐橙果园土壤质量的评测提供土壤生物学的科学依据,同时为国内脐橙果园土壤施肥年限的相关研究提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点及材料选择

试验在赣州市信丰县进行(25.16°N,115.03°E)。选择已进入挂果期,肥料施用以化肥为主,管理措施基本一致,面积不低于 2.67  $\text{hm}^2$ ,树龄不同的纽荷尔脐橙果园(其中果园的化肥施用年限分别为 4、6、8、10、12 年)。每个果园采用随机多点采集土样 5 个,同时采集各果园路边无肥料施用影响的土壤作对照(CK),将采集的土壤分别装袋、记录。采集完毕后带回实验室,在自然状况下风干,风干后碾细过 2 mm 筛后供测试分析用,研究不同施肥年限对脐橙土壤微生物种群数量、酶活性的影响。

### 1.2 试验方法

1.2.1 土壤微生物数量测定 细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基平板混菌法培养测定;真菌采用孟加拉红培养基平板混菌法培养测定;放线菌采用高氏 1 号培养基平板混菌法培养测定<sup>[8]</sup>。

1.2.2 土壤酶活性的测定 磷酸酶活性采用 PNPP 法<sup>[9]</sup>测定,脲酶活性采用苯酚钠比色法<sup>[9]</sup>测定,蔗糖酶活性采用水杨酸比色法<sup>[10-11]</sup>测定。

### 1.3 数据统计分析

试验测定数据采用 Excel 2007 进行处理, SigmaPlot 10.0 作图,采用 SAS 8.0 统计分析软件进行方差分析、显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥年限对脐橙果园微生物数量的影响

在本试验条件下,化肥的施用能使作物土壤中细菌、真菌、放线菌数量增加。如在施用化肥 8 年的脐橙果园土壤中,

收稿日期:2015-08-14

基金项目:江西省自然科学基金(编号:20133BAB21001);江西省教育厅科技项目(编号:GJJ150990);江西省对外科技合作项目(编号:20141BDH8001)。

作者简介:管冠(1985—),男,湖北黄石人,博士,讲师,主要从事土壤生物学研究。E-mail:guanguan\_1985@aliyun.com。

通信作者:卢占军,博士,副教授,从事植物病理学研究。E-mail:76640059@qq.com。

其细菌、真菌、放线菌数量均高于路边对照处理(CK)土壤,分别增加 39%~135%、25%~91%、58%~219%。由此可见,短期的化肥施用对土壤放线菌数量的增加效果相比其他 2 种微生物更为明显。

而随着化肥施用年限的增加,脐橙果园土壤中的微生物数量表现出先增加后减少的趋势特征。试验结果表明,施肥年限在 6~10 年的果园土壤其细菌、真菌、放线菌数量均明显高于施肥年限 12 年的土壤。如在施肥年限为 8 年的果园土壤中,土壤的细菌、真菌、放线菌数量要比施肥年限 12 年的果园土壤细菌、真菌、放线菌数量多 88%~217%、171%~314%、41%~186%。在施肥年限达到 10 年后,果园土壤细菌、真菌、放线菌数量减少,其中土壤细菌、真菌与果园路边未施肥对照相比差异不大,而放线菌数量则明显低于果园路边未施肥对照处理(CK)。

表 1 不同施肥年限对脐橙果园微生物种群数量影响

年限 (年)	细菌(×10 <sup>5</sup> CFU/g)		真菌(×10 <sup>4</sup> CFU/g)		放线菌(×10 <sup>4</sup> CFU/g)	
	样品	CK	样品	CK	样品	CK
4	1.60±0.38b	1.40±0.37b	0.83±0.45a	0.62±0.33a	3.00±0.90b	1.70±0.32a
6	3.70±1.40a	2.40±0.67a	1.10±0.29a	0.71±0.14a	5.30±1.70ab	1.70±0.28a
8	4.30±1.10a	2.30±0.76a	1.20±0.25a	0.76±0.15a	6.20±2.10a	2.60±1.10a
10	2.80±1.10ab	2.10±0.92ab	0.86±0.17a	0.56±0.22a	4.80±2.50ab	1.80±0.73a
12	1.70±0.13b	1.60±0.21b	0.35±0.07b	0.65±0.14a	2.90±0.23b	1.75±0.10a

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ )。

2.2 不同种植年限对土壤酶活性的影响

试验在 2013—2014 年进行,土壤为挂果期 0~20 cm 表层土样。不同施肥年限对脐橙果园土壤酶活性影响如图 1 所示,数据为 5 次重复的平均值,标准差用柱线表示。

2.2.1 对蔗糖酶活性的影响 与相同果园路边土样不施肥的空白对照(CK)相比,在施用化肥后,脐橙果园土壤的蔗糖酶活性均有不同程度的提高(图 1-a)。其中施用化肥 8 年后的果园土壤蔗糖酶活性提高最为明显,增加幅度达到 16%~53%。

而不同的施肥年限也会影响土壤蔗糖酶活性。本试验的结果表明,随施肥年限的延长,果园土壤的蔗糖酶活性逐步提高,到 8 年达到峰值,为 52.3 mg/(g·d)蔗糖,之后逐步下降。值得注意的是,在施肥年限 10 年以后,土壤蔗糖酶活性显著降低。施肥年限为 8 年的果园土壤比施肥年限 12 年的果园土壤蔗糖酶活性要高 91%~153%。

土壤蔗糖酶又叫转化酶,主要参与土壤有机碳循环,能够有效地将土壤中的蔗糖水解,生成葡萄糖和果糖,从而为土壤的各种微生物提供碳源<sup>[16]</sup>。研究表明,土壤蔗糖酶活性与土壤有机碳的累积相关,同时其活性也与土壤碳氮比相关<sup>[17]</sup>。本试验表明随着种植年限的增加,土壤中蔗糖酶活性增加,超过一定范围施肥年限,蔗糖酶活性下降,这与杜静静等的报道一致<sup>[18]</sup>。果园土壤蔗糖酶活性略高于果园路边未施肥对照组(CK),但没有显著性差异,表明化肥的施用对土壤蔗糖酶活性的影响并不直接,而在化肥施用 8~10 年之后,蔗糖酶活性显著下降,说明土壤蔗糖酶活性更有可能是由于微生物种群数量与代谢发生的改变而对其造成的影响。

2.2.2 对脲酶活性的影响 相对于土壤蔗糖酶,与相同果园路边土样不施肥的空白对照(CK)相比,在施用化肥后,脐橙

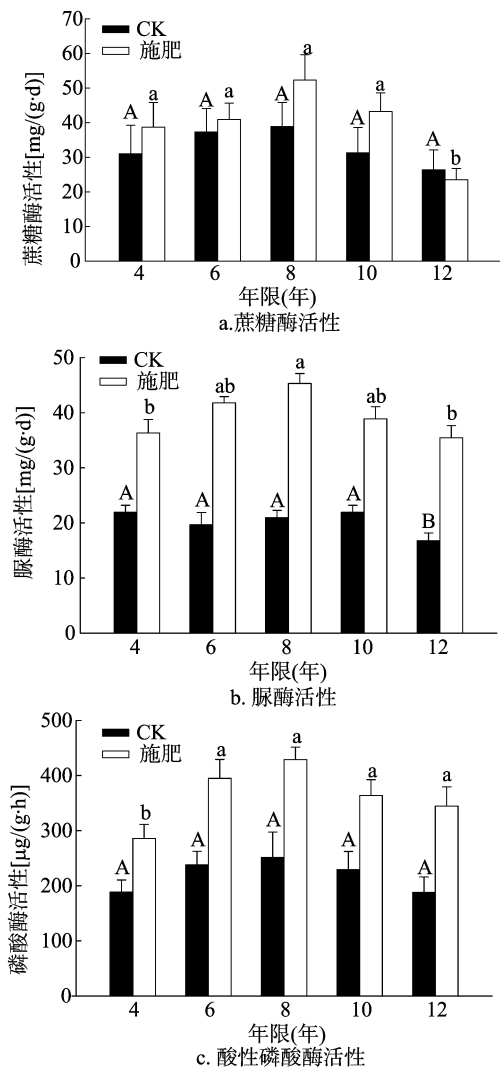
大量研究表明,随着施肥与种植年限的增加,土壤中的有机物也会随之累积,在土壤结构稳定的情况下,微生物活动更加频繁<sup>[12]</sup>。刘桂婷等报道,在种植 5 年内,土壤有机质、速效氮、速效磷、速效钾含量随种植年限增大有逐渐上升的趋势,种植 5~9 年趋于平稳<sup>[13]</sup>。在本试验中,施用化肥的果园土壤微生物数量要高于果园路边不施肥对照土壤(CK),可以认为,合理化肥施用能够促进土壤微生物数量的增加,这一结果也与前人研究结果<sup>[14]</sup>一致。值得注意的是,在本试验条件下,施肥年限超过 10 年的赣南脐橙果园土壤中,其微生物数量发生了显著下降(表 1)。不同的土壤类型以及不同的作物种类都会对土壤微生物的生存环境造成影响,从而导致其数量发生变化<sup>[15]</sup>。而 10 年以上的化肥施用对于土壤结构会造成一定程度的破坏,不利于土壤微生物的生长,尤其是在赣南山地果园土壤,其影响更为显著。

果园土壤的脲酶活性的提高幅度更为显著(图 1-b)。与土壤蔗糖酶表现出的特征类似,在施用化肥 8 年后的果园土壤脲酶活性的提高最为明显,相比对照处理(CK)增加幅度达到 108%~125%。

在本试验条件下,化肥施用年限对土壤脲酶活性的影响趋势与土壤蔗糖酶活性类似,同样也是在施肥年限 8 年时达到峰值,为 45.3 mg/(g·d)氨态氮,年限再往上增加土壤脲酶活性呈现下降趋势,但在不同施肥年限的影响下,其变化幅度不如土壤蔗糖酶显著。

土壤脲酶是一种酰胺酶,与尿素的形态转化效率直接相关,主要作用是水解有机物分子中的肽键,在尿素的分解过程中扮演不可替代的角色<sup>[19]</sup>。在本试验中,相比土壤蔗糖酶活性,化肥的施用对土壤脲酶活性的促进作用更大。说明土壤脲酶活性与化肥施用,尤其是氮肥的施用联系更为紧密<sup>[20]</sup>。在赣南脐橙果园,氮肥的施用以尿素为主,作为土壤脲酶作用的底物,尿素的施用能够有效地促进土壤脲酶活性的提高。与土壤蔗糖酶表现出的趋势一致,以施肥年限 8 年为分界,果园土壤脲酶活性呈现先升高后降低的规律,而不施肥对照处理(CK)的土壤脲酶活性则没有发现显著差异变化。推测其原因可能是由于化肥的施用年限过长在一定程度上破坏土壤的土著生态系统,土壤酸化板结,导致微生物活动下降、脲酶活性下降<sup>[21]</sup>。

2.2.3 对酸性磷酸酶活性的影响 土壤酶主要来源于植物根系与土壤微生物,其中酸性磷酸酶的作用是在酸性条件下催化土壤中磷酸单酯和磷酸二酯水解,将有机磷酯水解为无机磷酸。在其水解作用下,赣南脐橙果园酸性土壤中的有机磷会转化成小分子无机磷供植物吸收利用,是土壤磷素肥力指标之一<sup>[22]</sup>。



不同大写、小写字母分别表示CK、施肥处理不同年限之间比较差异显著

图1 不同施肥年限对脐橙果园土壤酶活性影响

施肥年限对土壤酸性磷酸酶活性的影响趋势与之前2种酶一致,都呈现先升后降的趋势,但前期的升高幅度更大,后期的降低幅度更小(图1-c)。本试验的结果表明,相比土壤蔗糖酶与脲酶,化肥的施用能够更有效地促进土壤酸性磷酸酶活性的增加,与果园路边未施肥对照(CK)相比,在施肥年限4~12年间,土壤酸性磷酸酶活性都有显著上升(升幅分别为38%~65%、52%~80%、61%~79%、46%~71%、65%~102%)。同时,施肥年限长的果园土壤酸性磷酸酶活性显著高于施肥年限4年的土壤。如在施肥年限为8年的果园土壤中,土壤磷酸酶活性要比施肥年限4年的果园土壤磷酸酶活性高42%~58%。

在本试验中,随着施肥年限的增加,磷酸酶活性增加。对照组和试验组中的变化趋势是一致的,且对照组和试验组的磷酸酶活性差异比较明显。主要原因可能是随着施肥年限的增加,土壤中的有机磷增加,底物浓度增加,导致磷酸酶活性增加,以此来提高脐橙无机磷的利用率<sup>[22]</sup>。对照组中的磷酸酶活性增加可能是因为土壤中磷酸酶活性不足于满足正常的植物生长需要,而刺激根系分泌磷酸酶<sup>[24]</sup>。超过一定施肥年

限,环境愈加恶劣,微生物数量下降,作物根系作用受限,磷酸酶来源减少,使得磷酸酶活性下降。

### 3 结论

不同施肥年限的赣南脐橙果园土壤试验结果表明,与无化肥影响的路边对照土壤相比,化肥的施用能够显著提高土壤酶活性及土壤微生物数量。与8年化肥施用年限的果园相比,施肥年限达到10年的果园土壤酶活性及土壤微生物种群数量发生了明显下降。因此,在赣南脐橙果园中,化肥的长期施用既不利于土壤微生物种群的稳定,同时也会造成土壤酶活性降低。

### 参考文献:

- [1]王瑞东,姜存仓,刘桂东,等. 赣南脐橙园立地条件及种植现状调查与分析[J]. 中国南方果树,2011,40(1):1-3.
- [2]赖晓桦,黄传龙,谢上海,等. 赣南脐橙施肥情况调查研究[J]. 中国南方果树,2009,38(4):30-32.
- [3]郭恢财,廖鹏飞,陈伏生. 脐橙果园土壤养分动态与酶活性的季节变化[J]. 生态学杂志,2010,29(4):754-759.
- [4]肖运萍,刘仁根,汪瑞清,等. 水肥处理对赣南脐橙抗旱生理特性及土壤水分的影响[J]. 安徽农业科学,2009,37(30):14664-14666.
- [5]Klánová K. Effect of chemical fertilizers on the transport of *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* and *Salmonella infantis* through sand columns[J]. Folia Microbiologica,1994,39(4):283-286.
- [6]Guan G,Tu S X,Li H L,et al. Phosphorus fertilization modes affect crop yield,nutrient uptake,and soil biological properties in the rice-wheat cropping system[J]. Soil Science Society of America Journal,2013,77(1):166-172.
- [7]唐玉姝,魏朝富,颜廷梅,等. 土壤质量生物学指标研究进展[J]. 土壤,2007,39(2):157-163.
- [8]许光辉. 土壤微生物分析方法手册[M]. 北京:中国农业出版社,1986.
- [9]邱现奎,董元杰,万勇善,等. 不同施肥处理对土壤养分含量及土壤酶活性的影响[J]. 土壤,2010,42(2):249-255.
- [10]Tabatabai M A. Soil enzymes[M]//Weaver R W,Augle J S,Bottomley P S. Methods of soil analysis. Part 2. Microbiological and biochemical properties. Madison,Wis:SSSA,1994:775-883.
- [11]关松荫. 土壤酶及其研究方法[M]. 北京:农业出版社,1986.
- [12]黄玉霞,李俊华,褚贵新,等. 施肥对菜地土壤微生物和土壤酶活性的影响[J]. 石河子大学学报:自然科学版,2007,25(5):552-557.
- [13]刘桂婷,栾鸿霞,于莉. 不同种植年限下辽东温室土壤养分的变化分析[J]. 新农民:上半月,2011(3):150.
- [14]韩晓日,郑国砥,刘晓燕,等. 有机肥与化肥配合施用土壤微生物量氮动态、来源和供氮特征[J]. 中国农业科学,2007,40(4):765-772.
- [15]Prakamhang J,Minamisawa K,Teamtaising K A,et al. The communities of endophytic diazotrophic bacteria in cultivated rice (*Oryza sativa* L.)[J]. Applied Soil Ecology,2009,42(2):141-149.
- [16]Ge G F,Li Z J,Zhang J,et al. Geographical and climatic differences in long-term effect of organic and inorganic amendments on soil enzymatic activities and respiration in field experimental stations of China[J]. Ecological Complexity,2009,6(4,SI):421-431.

刘 洋,潘国浩,付 强,等. 盐城市滨海滩涂围垦区农作物氮、磷累积特征[J]. 江苏农业科学,2016,44(2):385-389.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.02.112

# 盐城市滨海滩涂围垦区农作物氮、磷累积特征

刘 洋<sup>1</sup>,潘国浩<sup>1</sup>,付 强<sup>1</sup>,高 军<sup>2</sup>,章嘉晴<sup>1</sup>,崔立强<sup>1</sup>,张莹莹<sup>1</sup>,崔永平<sup>3</sup>

(1. 盐城工学院环境科学与工程学院/江苏省环境保护海涂生态与污染控制重点实验室,江苏盐城 224051;

2. 环境保护部南京环境科学研究所,江苏南京 210042; 3. 国家海洋局宁波海洋环境监测中心站,浙江宁波 315000)

**摘要:**为探明滨海滩涂围垦区农作物氮、磷累积特征,采集了江苏省盐城市不同围垦年代耕地春秋两季 8 种主要农作物样品,分析了农作物不同器官氮、磷、粗蛋白含量以及氮、磷化学计量特征。结果表明:盐城市滩涂围垦区耕地农作物氮含量偏低,磷含量略高,氮磷比相对较低,需要适当补充氮素;不同围垦年代耕地同类作物氮、磷、粗蛋白含量和氮磷比均没有明显差异,农作物氮、磷累积与滩涂围垦时间关系不大;农作物根部氮、磷含量呈极显著正相关,而茎叶、籽粒的氮、磷含量相关性均不显著。

**关键词:**盐城市;滨海;滩涂;围垦;氮;磷;粗蛋白

**中图分类号:** S14 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)02-0385-05

江苏省盐城市拥有全国最大的平原淤泥质滩涂,该地区已有数千年的围垦历史。通过围垦形成大片耕地,成为我国重要的后备耕地资源<sup>[1]</sup>。滩涂围垦后的耕地具有土体发育不明显、理化性状差、肥力水平低下等特点,可能对农作物养分吸收分配、污染物累积分布等产生影响<sup>[2]</sup>。氮、磷等养分含量在一定程度上可以反映作物生理生化状况、土壤养分供给能力,与作物产量也有一定相关性<sup>[3]</sup>,且可作为对植物营养化学过程进行初步诊断的指标<sup>[4]</sup>。目前有关围垦耕地土壤性质及其污染物与作物关系已有大量研究<sup>[1,5-6]</sup>,但关于其主要农作物氮、磷养分累积特征的研究尚未见报道。研究围垦耕地农作物氮、磷累积特征有助于进一步了解滩涂围垦导

致的环境效应以及对农作物产量、品质的影响。本研究通过野外采样、室内分析,调查了盐城市滩涂围垦区主要农作物氮、磷含量、分布和化学计量特征,旨在为滩涂围垦耕地水肥管理,提升农作物产量、质量提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集

分别于 2011 年 10 月、2012 年 5 月对盐城市滨海滩涂围垦区秋季作物、春季作物进行采集,所采样品均为收获期作物。为消除耕作方式、种间等差异的影响,采样时进行充分的现场调研与鉴定:各采样点同种作物的耕作方式、养分供应情况等基本相同;采集同类农作物品种,大豆为黑脐王,菊花为杭白菊,水稻为淮稻 5 号,玉米为济单 7 号,大麦为苏啤 3 号,小麦为郑麦 9023,油菜为秦油 10 号,蚕豆为启豆 2 号。采样点信息与围垦年代见表 1。在各采样点随机采集足量样品,采集整株作物,根部采集范围约 20 cm × 20 cm × 20 cm (长 × 宽 × 深),将作物分为籽粒(菊花为花朵)、茎叶、根部 3 个部分,洗净、风干、粉碎保存待测。

### 1.2 指标测定

采用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消解样品,采用凯氏定氮法测定全氮含量,采用钒钼黄比色法测定全磷含量<sup>[7-8]</sup>,分析仪器分别为

收稿日期:2015-03-12

基金项目:国家自然科学基金(编号:41301551);江苏省自然科学基金(编号: BK201130426);盐城工学院人才引进项目(编号: kjc2012020、kjc2012021);江苏省大学生创新创业训练计划(编号: 2014065、2015054);公益性行业(环保)科研专项(编号: 201209028)。

作者简介:刘 洋(1982—),女,山东临沂人,博士,主要从事滩涂污染生态学研究。E-mail: ly2002wo20@126.com。

通信作者:付 强,博士,副教授,主要从事滩涂生物地球化学研究。E-mail: fuqiangaa1@126.com。

[17] Yao H, He Z, Wilson M J, et al. Microbial biomass and community structure in a sequence of soils with increasing fertility and changing land use[J]. Microbial Ecology, 2000, 40(3): 223-237.

[18] 杜 静. 不同种植年限果园土壤理化性质与酶活性研究[D]. 临汾:山西师范大学,2013:26-27.

[19] Krajewska B, Ureases I. Functional, catalytic and kinetic properties: a review [J]. Journal of Molecular Catalysis B. Enzymatic, 2009, 59(s1-3): 9-21.

[20] 樊 军,郝明德. 长期施用化肥对黑垆土酶活性影响[J]. 土壤肥料, 2003(5): 34-37.

[21] 庞 欣,张福锁,王敬国. 不同供氮水平对根际微生物量氮及微生物活度的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(4): 476-

480.

[22] Leprince F, Quinquempoix H. Extracellular enzyme activity in soil: effect of pH and ionic strength on the interaction with montmorillonite of two acid phosphatases secreted by the ectomycorrhizal fungus hebeloma cylindrosporum [J]. European Journal of Soil Science, 1996, 47(4): 51-52.

[23] 耿玉清,白翠霞,赵广亮,等. 土壤磷酸酶活性及其与有机磷组分的相关性[J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(增刊 2): 139-143.

[24] 陈永亮,李修岭,周晓燕. 低磷胁迫对落叶松幼苗生长及根系酸性磷酸酶活性的影响[J]. 北京林业大学学报, 2006, 28(6): 46-50.