



张志丹, 姜海超, 罗香丽, 等. 松辽平原玉米带黑土酶活性变化特征研究[J]. 华南农业大学学报, 2014, 35(6): 74-78.

# 松辽平原玉米带黑土酶活性变化特征研究

张志丹<sup>1†</sup>, 姜海超<sup>1†</sup>, 罗香丽<sup>1</sup>, 刘鑫<sup>1</sup>, 董蕊<sup>1</sup>, 李桥<sup>1</sup>,  
徐丽颖<sup>1</sup>, 刘淑霞<sup>1</sup>, 赵兰坡<sup>1</sup>, 王继红<sup>1</sup>, 杨达<sup>2</sup>

(1 吉林农业大学 资源与环境学院/吉林省生态恢复与生态系统管理省部共建国家重点实验室,  
吉林 长春 130118; 2 吉林农业大学 信息技术学院, 吉林 长春 130118)

**摘要:**【目的】揭示松辽平原玉米带黑土酶活性变化规律,为建立有效的施肥制度提供参考。【方法】以松辽平原玉米带长期连作玉米的黑土为供试土壤,在田间调查、采样的基础上,测定不同区域、不同剖面构型(“波浪型”和“平面型”)下各类别土壤酶的活性,并对酶活性与土壤养分质量浓度进行相关性分析。【结果和结论】土壤酶在土壤循环中起到了生物学催化剂的作用,酶活性与土壤养分具有较强相关性,可以作为表征土壤肥力的指示性指标,其中脲酶活性表征不同条件下土壤肥力水平的效果较好。

**关键词:**松辽平原;玉米带;黑土;土壤酶活性;土壤肥力

中图分类号:S153.6

文献标志码:A

文章编号:1001-411X(2014)06-0074-05

## A study on dynamic variation characteristics of black soil enzyme activities in the corn belt of Songliao Plain

ZHANG Zhidan<sup>1†</sup>, JIANG Haichao<sup>1†</sup>, LUO Xiangli<sup>1</sup>, LIU Xin<sup>1</sup>, DONG Rui<sup>1</sup>, LI Qiao<sup>1</sup>, XU Liying<sup>1</sup>,  
LIU Shuxia<sup>1</sup>, ZHAO Lanpo<sup>1</sup>, WANG Jihong<sup>1</sup>, YANG Da<sup>2</sup>

(1 College of Resources and Environmental Science, Jilin Agricultural University/

National Key Laboratory of Jilin Province Ecological Restoration and Ecosystem Management, Changchun 130118, China;

2 College of Information Technology, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

**Abstract:**【Objective】To reveal the variation law of black soil enzyme of Songliao Plain and provide reference to establish an effective fertilization system. 【Method】Black soil under continuous maize cultivation was taken in the corn belt of Songliao Plain as materials. Enzyme activities in different areas and sections(“plant type” and “wave type”) were determined based on field surveys and sampling correlation analyses between enzyme activities and soil nutrient contents were obtained. 【Result and conclusion】Soil enzyme acted as the biological catalyst in a soil cycle. The activities of different kinds of enzymes were significantly correlated with the soil nutrient, so enzyme activities could be used to indicate the soil fertility. Furthermore, urease could indicate the soil fertility well.

**Key words:**Songliao Plain; corn belt; black soil; soil enzyme activity; soil fertility

收稿日期:2013-10-09 优先出版时间:2014-09-30

优先出版网址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1110.S.20141003.1224.013.html>

作者简介:张志丹(1979—),女,副教授,博士,E-mail:zhidanzhang79@163.com;姜海超(1989—),女,硕士研究生,E-mail:

Jianghc@163.com;†对本文贡献相同;通信作者:王继红(1966—),女,教授,博士,E-mail:wjh489@126.com

基金项目:国家自然科学基金(41071160);“十二五”吉林省教育厅规划项目(20130062);吉林省科技厅项目(20130522078JH,20110749,20110202,201205057,20100424)

松辽平原玉米带是国家重要的粮食生产基地,其土壤主要是黑土.近年来,黑土的肥力退化问题日益突出<sup>[1-2]</sup>,使得投入和产出比不断增加,玉米单产徘徊不前,粮食生产效益不高.以往的研究发现,现行的以小型拖拉机为动力的耕作制和以化学氮肥为主的施肥制是导致玉米带黑土肥力退化的主要原因<sup>[3]</sup>.

大量研究表明,酶在土壤碳、氮、磷等元素的循环中发挥着重要的生物催化作用,其活性的变化可以反映土壤养分转化的强弱,与土壤肥力因素密切相关<sup>[4-6]</sup>.为深入探讨松辽平原玉米带黑土肥力退化机理,本研究在分析黑土酶活性的总体特征和区域性特点的基础上,对“波浪型”和“平面型”2类剖面耕层土壤的酶活性进行了测定,并对土壤酶活性与其他肥力指标的关系进行了分析,为建立新型保护性耕作制和环保效益型施肥制度提供科学依据.

## 1 材料与方法

### 1.1 供试土壤

供试土壤为松辽平原玉米带玉米连作黑土,秋季采自吉林省梨树(东经 124.33°,北纬 43.32°)、公主岭(东经 124.49°,北纬 43.35°)、九台(东经 126.83°,北纬 44.15°)、德惠(东经 125.68°,北纬 44.52°)、榆树(东经 126.55°,北纬 44.83°)、扶余(东经 124.18°,北纬 45.50°)等市县,沿 102 国道两侧每隔 5~10 km 选取 1 个调查采样点,共选取了 46 个调查采样地点,其中“波浪型”35 个,“平面型”11 个(图 1).土壤样品均为耕层(0~20 cm)样品,风干后过筛备用.

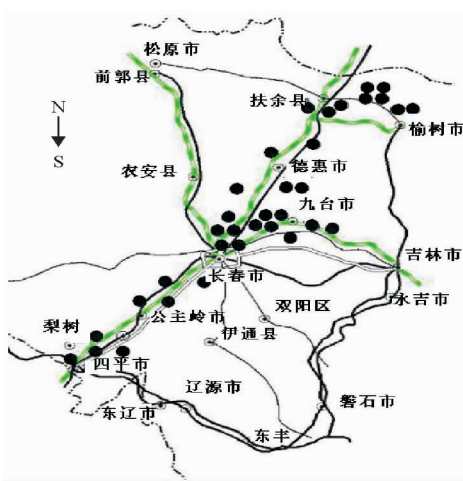


图 1 采样地点图

Fig. 1 The map of the locality

### 1.2 分析项目及方法

过氧化氢酶分析采用 Johnson 等<sup>[7]</sup>的方法,酶活性以 1 g 土壤消耗的  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ KMnO}_4$  体积表示;脲酶分析参考文献[8],酶活性以 37 °C 恒温培养

24 h 后以 1 g 土壤中消耗  $\text{NH}_3 - \text{N}$  的质量表示;转化酶分析参考文献[8],酶活性以 37 °C 恒温培养 24 h 后以 1 g 土壤中消耗  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  的体积表示;蛋白酶分析参考文献[7],酶活性以 30 °C 恒温培养 24 h 后以 1 g 土壤中消耗  $\text{NH}_2 - \text{N}$  的质量表示;磷酸酶分析采用赵兰坡等<sup>[9]</sup>改进法,酶活性以 37 °C 恒温培养 24 h 后以 1 g 土壤中消耗酚的质量表示.土壤分析采用常规分析方法<sup>[10]</sup>测定,其中土壤 pH 值测定采用电位法,阳离子交换量测定采用乙酸铵法,土壤有机质测定采用高温外热重铬酸钾氧化-容量法,土壤全氮的测定采用开氏消煮法,土壤全磷的测定采用酸溶-钼锑抗比色法,水解氮测定采用碱解扩散法,速效磷测定采用 Olsen 法,速效钾测定采用乙酸铵提取法.采用 Excel 2003, SAS 9.1 软件进行数据处理和方差分析,最小显著差数法(LSD)检测差异显著性水平.

## 2 结果与分析

### 2.1 松辽平原玉米带黑土酶活性总体特征

松辽平原玉米带黑土过氧化氢酶活性为  $(1.19 \pm 0.06) \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$ ,脲酶活性为  $(0.59 \pm 0.02) \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,转化酶活性为  $(4.83 \pm 0.15) \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$ ,蛋白酶活性为  $(38.24 \pm 1.52) \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ,碱性磷酸酶活性为  $(0.96 \pm 0.04) \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,酸性磷酸酶活性为  $(2.07 \pm 0.10) \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ .有机质、全 N、全 P 分别为  $(25.32 \pm 0.87)$ 、 $(2.00 \pm 0.05)$ 、 $(1.25 \pm 0.03) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,而速效 N、速效 P 分别为  $(130.3 \pm 2.14)$ 、 $(21.4 \pm 1.42) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ .本文对与土壤碳、氮、磷循环关系较为密切的 6 种酶及其活性的总体特征进行了分析.过氧化氢酶和转化酶与碳循环的关系较为密切,过氧化氢酶活性与土壤呼吸强度及土壤微生物活动相关,在有机质含量高的土壤中活性较强<sup>[11]</sup>,转化酶反映了土壤熟化程度和肥力水平.土壤脲酶和蛋白酶均为水解酶,是氮循环的重要酶类,可以直接参与土壤中含氮有机化合物的转化,其活性通常与氮素相关.而土壤磷酸酶活性主要取决于土壤的腐殖质含量、活性磷含量以及能矿化有机磷化合物的微生物的数量等因素,且与磷素相关性较强.

### 2.2 松辽平原玉米带黑土酶活性的区域变化特征

图 2 为各地区黑土酶活性的平均强度,可以看出不同地区中酶活性存在较大差异,土壤的理化性质不同,对酶的保护作用和对外源物质的吸附缓冲能力也有区别.总体而言,土壤酶活性脲酶、转化酶、酸性及碱性磷酸酶活性的最高值均出现在榆树地区;而梨树地区的酶活性相对较弱,脲酶、蛋白酶和

酸性磷酸酶活性呈现最低值. 出现这种趋势可能是由榆树地区的有机质平均含量较高( $29.7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), 而梨树地区有机质含量较低( $20.7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )造成. 通过测定各地区有机质含量还可以看出, 脲酶、转化

酶、蛋白酶活性的变化与有机质含量的变化趋势较为一致, 表明土壤酶对有机质的转化和分解有重要影响, 在土壤循环中起到了生物学催化剂的作用.

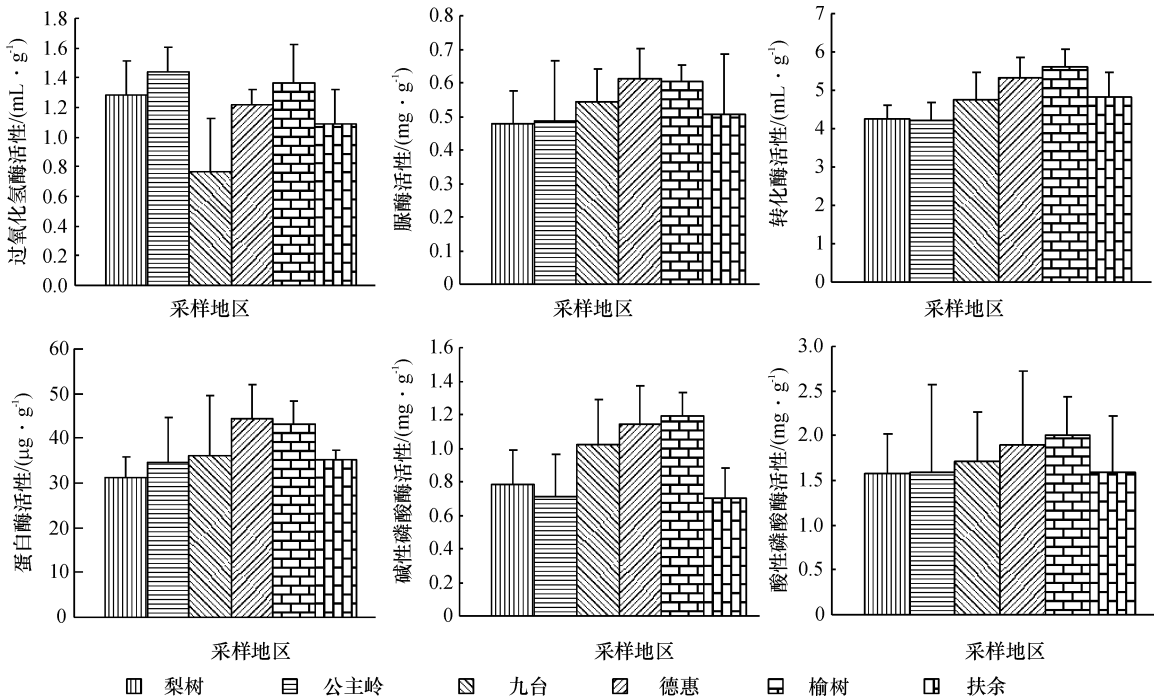


图2 松辽平原玉米带黑土酶活性的区域变化

Fig. 2 The regional variation of black soil enzyme activities of corn belt of Songliao Plain

### 2.3 松辽平原玉米带黑土2种剖面构型下的酶活性变化特征分析

在采样中, 笔者发现以小四轮拖拉机为主要动力的耕作制度下, 玉米带土壤的耕层与犁底层的交界面均为波浪型, 而在少数坚持利用大马力拖拉机进行连

年秋翻的玉米田中, 耕层与犁底层的交界面均为平面. 为区别2种剖面, 将耕层与犁底层的交界面为波浪型的剖面, 称为“波浪型”剖面, 将耕层与犁底层的交界面为平面的剖面, 称为“平面型”剖面(图3).

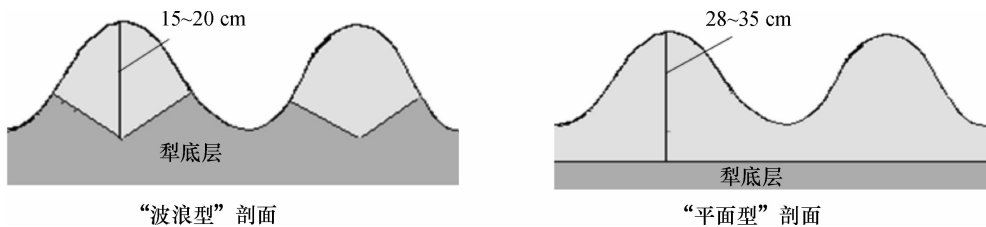


图3 松辽平原玉米带土壤剖面的构造特征

Fig. 3 The structural feature of black soil profile in the corn belt of Songliao Plain

为了进一步揭示黑土酶活性变化规律及其与土壤肥力变化的关系, 阐明土壤酶活性对现行耕作、施肥条件的响应情况, 对2种不同剖面构型下的酶活性进行了分析, 表1为“平面型”和“波浪型”剖面构型表层土壤酶活性的基本状况.

对比表1中的酶活性可以发现, “平面型”剖面结构下的过氧化氢酶、转化酶、蛋白酶的活性平均值比“波浪型”剖面结构下分别提高28.82%、6.93%、

10.06%; 而脲酶、碱性磷酸酶、酸性磷酸酶的活性平均值则分别降低28.70%、8.81%、11.31%. 差异显著性分析结果进一步表明, 2种剖面类型下土壤酶活性呈现出不同的变化特征.

表2是2种不同剖面构型下的土壤养分的分析资料, 可见“平面型”的有机质含量高于“波浪型”13.6%; 速效N含量高于“波浪型”5.3%; 速效P含量低于“波浪型”64.8%; 速效K含量高于“波浪型”2.3%.

表 1 “平面型”与“波浪型”剖面土壤酶活性特征<sup>1)</sup>

Tab. 1 Black soil enzyme activity characters in the profile with a “flat interface” and an “undulated interface”

剖面	过氧化氢酶/ (mL · g <sup>-1</sup> )	脲酶/ (mg · g <sup>-1</sup> )	转化酶/ (mL · g <sup>-1</sup> )	蛋白酶/ (μg · g <sup>-1</sup> )	碱性磷酸酶/ (mg · g <sup>-1</sup> )	酸性磷酸酶/ (mg · g <sup>-1</sup> )
平面型	1.44 ± 0.11a	0.48 ± 0.07b	5.09 ± 0.37a	41.36 ± 1.85a	0.89 ± 0.07a	1.89 ± 0.17b
波浪型	1.11 ± 0.08b	0.68 ± 0.03a	4.76 ± 0.19b	37.58 ± 1.68b	0.98 ± 0.04a	2.13 ± 0.11a

1) 表中数据为平均值 ± 标准差,同列数据后凡具有一个相同小写字母者表示在 P=0.05 水平差异不显著(LSD 法)。

表 2 “波浪型”和“平面型”剖面土壤养分状况<sup>1)</sup>

Tab. 2 Soil nutrient status in profiles with a “flat interface” and an “undulated interface”

剖面	pH	阳离子交换量/ (cmol · kg <sup>-1</sup> )	w/(g · kg <sup>-1</sup> )			w/(mg · kg <sup>-1</sup> )		
			有机质	全 N	全 P	速效 N	速效 P	速效 K
波浪型	6.25 ± 0.09b	24.64 ± 0.44b	24.53 ± 0.43b	0.21 ± 0.01a	0.13 ± 0.01a	128.61 ± 1.69b	23.43 ± 1.64a	124.41 ± 2.60a
平面型	6.67 ± 0.09a	25.82 ± 0.83a	27.87 ± 0.87a	0.20 ± 0.01a	0.12 ± 0.01a	135.49 ± 3.05a	14.82 ± 0.09b	127.27 ± 3.10a

1) 表中数据为平均值 ± 标准差,同列数据后凡具有一个相同小写字母者表示在 P=0.05 水平差异不显著(LSD 法)。

### 2.4 松辽平原玉米带土壤酶活性与土壤养分质量浓度的相关分析

为了进一步研究松辽平原玉米带土壤肥力的状况,对土壤酶活性与土壤养分质量浓度进行相关分析.以土壤有机质质量浓度、全 N 质量浓度、全 P 质量浓度、速效 N 质量浓度、速效 P 质量浓度为自变量,以土壤中过氧化氢酶活性、脲酶活性、转化酶活性、蛋白酶活性、碱性磷酸酶活性、酸性磷酸酶活性为因变量进行逐步回归分析,结果如表 3 所示.

表 3 土壤酶活性与土壤养分质量浓度之间的相关系数<sup>1)</sup>

Tab. 3 The correlation coefficient between soil enzyme activities and soil nutrient contents

土壤酶	有机质	全 N	全 P	速效 N	速效 P
过氧化氢酶	0.472 *	0.447 *	0.359	0.489 *	0.352
脲酶	0.576 **	0.575 **	0.460 *	0.576 **	0.552 *
转化酶	0.576 **	0.488 *	0.544 *	0.542 *	0.542 *
蛋白酶	0.478 *	0.485 *	0.417	0.629 **	0.402
碱性磷酸酶	0.320	0.433	0.598 **	0.440	0.653 **
酸性磷酸酶	0.412	0.442	0.575 **	0.446 *	0.590 **

1) n=20,“\*”、“\*\*”分别表示显著和极显著相关.

从表 3 可知,过氧化氢酶活性与有机质、全 N、速效 N 质量浓度呈显著正相关,说明过氧化氢酶活性的强弱可作为评价黑土肥力的指示性指标.作为主要的氧化还原酶类,其对于有机质氧化和腐殖质形成具有重要作用,能够通过促进水解过氧化氢来降低其对植物的毒害,从而表征土壤的生化活性<sup>[12]</sup>.

脲酶活性与全 P、速效 P 质量浓度呈显著正相关,与有机质、全 N、速效 N 质量浓度呈极显著正相关.脲酶与土壤中氮转化密切相关,且与蛋白质一起参与土壤氮素循环<sup>[13]</sup>,同时还影响着土壤中有效

P 和速效 N 的质量浓度,在土壤 C、N、P 转化过程中作用极大,其活性的强弱可以作为评价黑土肥力变化的敏感指标.

转化酶活性与全 N、全 P、速效 N、速效 P 质量浓度呈显著正相关,与有机质含量呈极显著正相关,说明转化酶是土壤中参与碳循环的一种重要的酶,其活性的强弱可以表征土壤生物化学的动向和强度,可以作为评价黑土肥力的指示性指标.

蛋白酶活性与有机质、全 N 质量浓度呈显著正相关,与速效 N 质量浓度呈极显著正相关,与土壤养分的形成和转化有着密切的关系,也可以作为评价黑土肥力的指标.

碱性磷酸酶活性、酸性磷酸酶活性与全 P、速效 P 质量浓度呈极显著正相关,酸性磷酸酶活性与速效 N 质量浓度呈显著正相关.

### 3 讨论与结论

土壤酶活性的分布趋势与有机质变化较为一致,土壤酶在土壤循环中起到了生物学催化剂的作用,其活性与土壤养分具有高度相关性,可以作为表征土壤肥力的指示性指标.其中,过氧化氢酶活性与有机质、全 N、速效 N 质量浓度呈显著相关;脲酶活性与全 P、速效 P 质量浓度呈显著相关,与有机质、全 N、速效 N 质量浓度呈极显著相关;转化酶活性与全 N、全 P、速效 N、速效 P 质量浓度呈显著相关,与有机质质量浓度呈极显著相关;蛋白酶活性与有机质、全 N 质量浓度呈显著相关,与速效 N 质量浓度呈极显著相关;碱性磷酸酶活性、酸性磷酸酶活性与全 P、速效 P 质量浓度呈极显著相关,酸性磷酸酶活性与速效 N 质量浓度呈显著相关.总体而言脲酶活性与土

壤养分的相关程度更强,对于土壤肥力的表征效果较好.

在2种剖面构型下,过氧化氢酶、转化酶、蛋白酶活性与有机质和速效氮、速效钾的变化方向相一致,而脲酶、碱性磷酸酶、酸性磷酸酶活性与有机质和速效N、速效K的变化方向相反,与速效P的变化方向相一致.磷酸酶活性趋势的原因可能源于黑土区近30年间大量施用氮肥和磷肥的不合理施肥制度,养分的大量累积使得速效磷质量浓度表现为“平面型”低于“波浪型”,土壤中无机磷的增加导致磷酸酶活性减弱,不合理的施肥制度可能是引起磷酸酶活性变化的最主要原因.

而脲酶的主要来源是微生物细胞的增加和裂解以及植物根系本身向土壤提供的酶<sup>[14]</sup>,对于土壤翻耕的反应较为敏感,且受到有机物施用的影响较大.值得注意的是,“波浪型”剖面耕层有效土壤量较“平面型”减少近一半<sup>[3]</sup>,当等量玉米根茬还田或施入等量肥料时,对“波浪型”剖面的耕层土壤来说,单位质量的土壤中归还的根茬数量就比“平面型”的要多出近一倍.因此,脲酶活性变化的强弱可以作为区分“平面型”和“波浪型”2种剖面的敏感指标.这对于揭示现行耕作制度的缺陷、提出适合黑土区的保护性耕作制度具有积极作用.

从2种不同剖面构型入手,研究其与碳、氮、磷循环有关的酶活性的状况与差异,发现脲酶活性变化对土壤翻耕的响应较为灵敏,其活性强弱可以作为2剖面结构划分中表征土壤肥力变化的敏感性指标,对探索适合黑土区的保护性耕作制度和环保效益型施肥制度具有积极的意义.

#### 参考文献:

- [1] 王彬,郑粉莉,王玉玺.东北典型薄层黑土区土壤可蚀性模型适用性分析[J].农业工程学报,2012,28(6):126-131.
- [2] 苏子龙,崔明,范昊明.基于东北漫岗黑土区坡耕地沟蚀防治的防护林带布局优化[J].应用生态学报,2012,

23(4):903-909.

- [3] 赵兰坡,王鸿斌,刘会青,等.松辽平原玉米带黑土肥力退化机理研究[J].土壤学报,2006,43(1):79-84.
- [4] TRASAR-CEPEDA C, LEIRÓS M C, GIL-SOTRES F. Hydrolytic enzyme activities in agricultural and forest soils. Some implications for their use as indicators of soil quality [J]. Soil Biol Biochem, 2008, 40(9):2146-2155.
- [5] TIAN Lei, DELL E, SHI Wei. Chemical composition of dissolved organic matter in agroecosystems: Correlations with soil enzyme activity and carbon and nitrogen mineralization [J]. Appl Soil Ecol, 2010, 46(3):426-435.
- [6] DENG S P, POPOVA I E, DICK L, et al. Bench scale and microplate format assay of soil enzyme activities using spectroscopic and fluorometric approaches [J]. Appl Soil Ecol, 2013, 64:84-90.
- [7] 哈兹耶夫 Φ X. 土壤酶活性 [M]. 郑洪元, 等, 译. 北京: 科学出版社, 1980:86-100.
- [8] 严昶生. 土壤肥力研究方法 [M]. 北京: 农业出版社, 1988:274-276.
- [9] 赵兰坡,姜岩.土壤磷酸酶活性测定方法的探讨[J].土壤通报,1986,17(3):138-141.
- [10] 鲍士旦,土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000,30-169.
- [11] 田波,时连辉,周波,等.不同施用方式下污泥堆肥对土壤性质和草坪生长的影响[J].水土保持学报,2012,26(2):116-126.
- [12] 韩哲,刘守伟,潘凯,等.不同栽培模式对黄瓜根际土壤酶活性及细菌群落结构的影响[J].植物营养与肥料学报,2012,18(4):922-931.
- [13] 门倩,海江波,岳忠娜,等.化肥减量对玉米田土壤酶活性及微生物量的影响[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2012,40(6):133-140.
- [14] 魏雅丽,郭芬芬,陈安强,等.元谋干热河谷植被恢复对土壤酶活性的影响特征[J].农业环境科学学报,2011,30(1):100-106.

【责任编辑 霍欢】