

小麦-不同施肥方式对黑土微生物数量和酶活性的影响^{*}

李晓慧^{1,2} 韩晓增^{1**} 王树起³ 严 君¹

(¹ 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 哈尔滨 150081; ² 中国科学院研究生院, 北京 100049; ³ 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016)

摘 要 采用温室盆栽的方法,探讨了不同化肥和小麦根系活动对土壤微生物和土壤酶活性的影响。结果表明:不种小麦条件下,施氮磷钾处理显著增加了土壤真菌数量,增幅为47.0%;不同肥料均显著增加了土壤脲酶活性和土壤磷酸酶活性,增幅为17.2%~32.7%和21.2%~25.9%。种植小麦条件下,根系活动极显著促进了土壤微生物数量、土壤脲酶和土壤磷酸酶活性的增加,增幅分别为39.0%、302%和38.5%;根系活动与肥料耦合增加土壤微生物数量,增幅为3.3%~31.4%。小麦和肥料耦合显著增加土壤脲酶和磷酸酶活性,增幅为59.0%~168%和15.2%~26.7%。磷酸酶活性、细菌数量、真菌数量与小麦根生物量、地上生物量呈显著正相关。

关键词 小麦根系;施肥;细菌;真菌;放线菌;脲酶;磷酸酶

中图分类号 S154.3 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2010)6-1143-06

Effects of wheat root activity and fertilization mode on the microbial amount and enzyme activities in black soil. LI Xiao-hui^{1,2}, HAN Xiao-zeng¹, WANG Shu-qi³, YAN Jun¹ (¹*Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Harbin 150081, China*; ²*Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*; ³*Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China*). *Chinese Journal of Ecology*, 2010, **29**(6):1143-1148.

Abstract: A greenhouse pot experiment was conducted to study the effects of wheat root activity and fertilization mode on the microbial amount and urease and phosphatase activities in black soil. Under the conditions without wheat planting, the amounts of soil fungi increased by 47.0% in treatment NPK, and the activities of soil urease and phosphatase under fertilization increased by 17.2%–32.7%, and 21.2%–25.9%, respectively. With wheat planting, the amount of soil microbes and the activities of soil urease and phosphatase in treatment CK increased by 39.0%, 302%, and 38.5%, respectively, due to the root activity of wheat. The coupling of fertilization and wheat root activity increased soil microbial amount and soil urease and phosphatase activities significantly, with the increment being 3.3%–31.4%, 59.0%–168%, and 15.2%–26.7%, respectively. Soil phosphatase activity and the amounts of soil bacteria and fungi had significant positive correlations with the above- and belowground biomass of wheat.

Key words: root system of wheat; fertilization; bacteria; fungi; actinomyces; urease; phosphatase.

土壤微生物与土壤酶在土壤物质转化和能量流动过程中起重要作用(陈利军和武志杰,2002;王书锦和胡江春,2002),如有机质分解、养分循环与迁

移等代谢过程(Elfstrand *et al.*, 2007; Nayak *et al.*, 2007);是植物营养元素的活性库,在土壤养分转化、维持土壤生态系统稳定以及土壤可持续利用中占据主导地位(张薇等,2005)。土壤微生物的种群数量直接关系到麦田土壤有机质的分解和矿质元素的转化,影响小麦对营养元素的吸收和利用。土壤

^{*} 国家重点基础研究发展计划项目(2005CB121106)和国家科技支撑资助项目(2006BAD21B01和2006BAD05B05)。

^{**} 通讯作者 E-mail: xzhan@neigaehr.ac.cn

收稿日期: 2009-11-16 接受日期: 2010-03-02

酶主要来自于植物根系和土壤生物,其活性常作为土壤生物活性及土壤综合性状的表征,其中脲酶、磷酸酶活性反映了土壤中氮、磷的转化强度。土壤酶活性与微生物数量、有机碳含量之间存在着显著的相关性 (Bergstrom & Monreal, 1998; Gagnon *et al.*, 2000)。

在农田生态系统中对土壤微生物和酶活性的影响主要是由3种因素所驱动:1)土壤的肥力属性。研究表明,长期种植作物施用氮肥、磷肥对土壤脲酶、磷酸酶活性有明显的促进作用,氮磷钾肥配合施用可提高土壤磷酸酶活性;长期施用磷肥处理的微生物数量显著高于无磷处理,且平衡施肥(氮磷钾)处理的微生物数量最多(孙瑞莲等,2003;王俊华等,2007;王树起等,2008;侯雪莹等,2009)。2)作物。有学者对不同作物的土壤酶活性及根际微生物的数量和组成进行了研究(刘凯等,1988;庞欣等,2000;柴强等,2006),种植玉米的土壤微生物总量增幅高达268%(严君等,2009)。3)单纯施肥。在肥土比低于1:400时,脲酶活性和硝化细菌数量随尿素用量的增加而增加,反之,则随尿素用量增加而下降(王曙光等,2004;侯彦林等,2004)。但在诸多报道中,不能明确肥料、作物、肥料和作物耦合3种影响因素对土壤微生物和酶活性的贡献大小。因此,本试验通过对小麦、不同施肥方式、肥料和小麦耦合作用引起黑土微生物和酶活性变化的研究,探讨小麦、不同施肥方式单独作用及两者耦合作用对于土壤物质代谢和转化过程中贡献大小。

1 材料与方法

1.1 试验设计

采用温室盆栽培养试验,供试土壤采自于黑龙江省海伦市常规生产田,属中厚黑土。试验设5种施肥处理,分别为:1)不施肥(CK);2)施氮磷(NP);3)施氮钾(NK);4)施磷钾(PK);5)施氮磷钾(NPK)。5种施肥处理下各设种植小麦和不种小麦裂区处理。试验设置3次重复,共计30个样品,随机排列,供试小麦品种为龙麦26。各培养容器装土500 g,培养温度为:夜/昼13℃/24℃,湿度保持在田间持水量的65%。施肥量:N:150 kg·hm⁻²; P₂O₅:75 kg·hm⁻²; K₂O:60 kg·hm⁻²。将土与肥料混匀后播种小麦,小麦种植1个月后收获。所采集土样为混合土样。

1.2 试验方法及测定项目

1.2.1 植株生物量 采用烘干法测定(鲁如坤,2000)。

1.2.2 土壤微生物数量及酶活性的测定 培养后的土壤三大菌群的数量采用平板菌落计数法测定(黄秀梨,2001)。

土壤脲酶活性用奈氏比色法测定,37℃培养24 h;磷酸酶活性用苯磷酸二钠比色法测定,37℃培养12 h(关松荫,1986)。

1.3 数据处理

小麦对酶活性的影响=[(不施肥种小麦的土壤酶活性-不施肥不种小麦的土壤酶活性)/不施肥不种小麦的土壤酶活性]×100%

小麦对微生物数量的影响=[(不施肥种小麦的土壤微生物数量-不施肥不种小麦的土壤微生物数量)/不施肥不种小麦的土壤微生物数量]×100%

肥料对脲酶活性的影响=[(施肥不种小麦的土壤酶活性-不施肥不种小麦的土壤酶活性)/不施肥不种小麦的土壤酶活性]×100%

肥料对土壤微生物的影响=[(施肥不种小麦的土壤微生物数量-不施肥不种小麦的土壤微生物数量)/不施肥不种小麦的土壤微生物数量]×100%

小麦和肥料耦合对酶活性的影响=[(同种施肥处理种小麦的土壤酶活性-同种施肥处理不种小麦的土壤酶活性-单独小麦作用土壤酶活性)/不施肥不种小麦的土壤酶活性]×100%

小麦和肥料耦合对微生物数量的影响=[(同种施肥处理种小麦的土壤微生物数量-同种施肥处理不种小麦的土壤微生物数量-单独小麦作用土壤微生物数量)/不施肥不种小麦的土壤微生物数量]×100%

采用Excel 2003、SigmaPlot 2000和SPSS 14.0软件对所得数据进行统计分析。同一种植模式下不同施肥处理间土壤微生物数量和土壤酶的差异采用单因素方差分析(one-way ANOVA)及LSD多重比较进行分析处理;种植小麦与否对土壤微生物数量和酶活性的影响采用t-检验法;以α=0.05作为差异显著水平。

2 结果与分析

2.1 不同施肥方式对小麦生物量的影响

施肥处理促进了小麦生物量的增长(图1)。施肥后小麦的地上生物量比不施肥处理(CK)增加

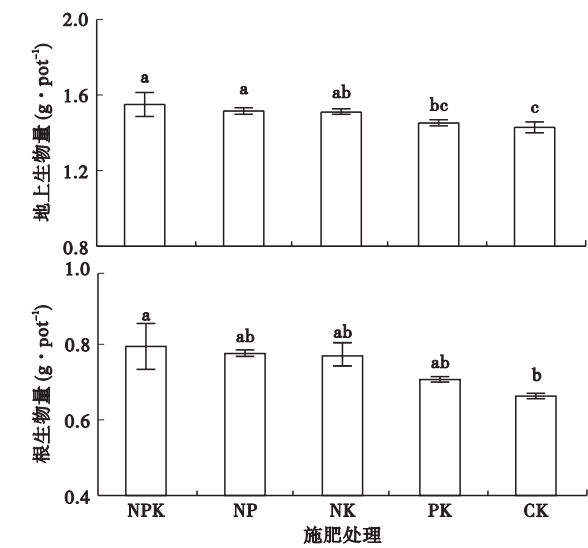


图1 不同施肥方式对小麦生物量的影响
Fig.1 Effect of different fertilization on wheat biomass
不同字母表示各处理间差异显著 ($P<0.05$),下同。

4.37% ~ 19.5%。其中施氮处理(NPK、NP和NK)的小麦生物量与不施肥处理(CK)相比,存在显著差异。说明东北黑土增施氮肥有助于提高小麦地上生物量。NPK处理与不施肥处理(CK)相比,根生物量显著增加,表明均衡施肥促进根系的生长,增加对养分的吸收,为小麦的生长提供良好的基础。

2.2 小麦-不同施肥方式对黑土微生物数量的影响
不同施肥处理对土壤微生物数量的影响不同(表1)。NPK处理真菌数量比其他施肥处理(PK、NK、NP)和不施肥处理(CK)显著增加,表明只有营养元素平衡才能促进土壤细菌和真菌数量的增加。施氮处理(NPK、NP、NK)放线菌数量较CK和PK处理显著降低。

种植小麦促进了土壤微生物数量的增加(表1)。无施肥处理(CK)中,种植小麦后土壤微生物数量增幅为39.0%,与无作物处理存在显著性差异。这主要是由于根系分泌物及凋落物为土壤微生物提供了更多的营养物质,有利于微生物的生长繁殖。

土壤微生物数量在施肥种植小麦处理下,较单独施肥作用显著增加(表1)。细菌、真菌和放线菌数量增幅分别为50.0% ~ 105%、34.2% ~ 118%和20.9% ~ 47.6%。小麦-肥料(PK、NK、NP和NPK)耦合对总微生物数量的影响为3.3%、24.7%、14.0%和31.4%。通过测定小麦的根生物量,施肥较不施肥增幅为6.1% ~ 19.2%,可见施肥促进了小麦根系的生长从而增加了根分泌物,为微生物生长和繁殖提供了更多的营养物质。

2.3 小麦-不同施肥方式对黑土脲酶和磷酸酶活性的影响

无作物情况下,不同施肥处理对土壤脲酶和磷酸酶活性较无肥处理有显著增加作用,增幅分别为17.2% ~ 32.7%和21.2% ~ 25.9%(图2)。施用氮肥(尿素)后,由于土壤脲酶受底物刺激,活性提高;而施用磷肥可能是通过提高土壤综合肥力间接的影响土壤脲酶活性。

小麦生长对土壤脲酶和磷酸酶活性具有极显著的促进作用($P<0.01$),增幅分别达到为302%和38.5%。表明小麦根系在生长过程中通过根分泌物或自身生长而增加了土壤酶活性。

种植小麦,各施肥处理土壤脲酶活性显著增加(图2A)。其中小麦平衡施肥(NPK配施)较不种作物增加355%;施氮处理分别增加311%(NP)、306%(NK);施磷处理(PK)增加308%。小麦-施肥(PK、NK、NP、NPK)耦合对土壤脲酶活性影响为59.0%、75.9%、89.7%和168%。种植小麦,施肥与无肥处理相比,土壤脲酶活性增加17.2% ~ 32.7%,通过测定作物的生物量发现,施用化肥比无肥处理根系生物量增加6.1% ~ 19.2%。

同时,种植小麦后各施肥处理土壤磷酸酶活性也有显著增加(图2B)。其中,平衡施肥(NPK配施)增加51.8%;施磷处理分别增加46.3%(NP)、44.9%(PK);施氮处理(NK)增加44.3%。小麦-施

表1 小麦-不同施肥方式对土壤微生物数量的影响
Tab.1 Effect of wheat-different fertilization on soil microorganism amounts

处理	细菌($\times 10^6$ CFU · g ⁻¹)		真菌($\times 10^3$ CFU · g ⁻¹)		放线菌($\times 10^5$ CFU · g ⁻¹)	
	无作物	种小麦	无作物	种小麦	无作物	种小麦
CK	44.9±9.8 ABa	60.7±1.8 Bb	56.0±5.4 Ba	58.5±7.2 Ba	77.6±3.9 Aa	79.3±19.3 ABa
PK	38.9±16.9 Ba	80.1±8.7 Ab	62.0±14.0 Ba	87.5±26.5 Ab	72.3±17.4 Aa	97.5±28.0 Ab
NK	35.0±7.5 Ba	61.1±4.8 Bb	23.8±8.3 Ca	43.8±6.0 Cb	44.4±7.1 BCa	53.7±13.1 Cb
NP	41.1±6.8 Ba	72.1±12.7 ABb	20.3±7.3 Ca	51.9±11.8 Cb	48.1±9.7 BCa	60.2±13.6 BCb
NPK	54.6±12.1 Aa	81.9±11.0 Ab	82.3±18.3 Aa	110±36.0 Ab	55.4±8.6 Ba	81.7±11.9 Ab

同列不同大写字母表示同一种植模式下不同施肥处理间差异显著性 ($P<0.05$);小写字母表示种植小麦和不种小麦间差异显著性 ($P<0.05$)。

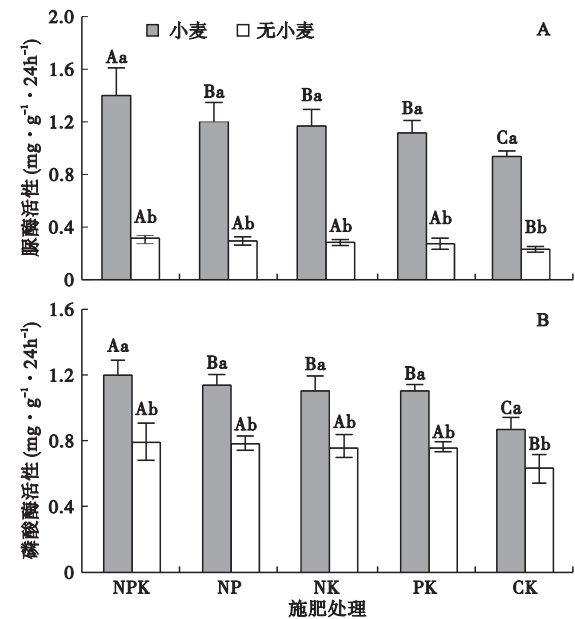


图 2 小麦-肥料对土壤脲酶 (A) 和磷酸酶 (B) 活性的影响

Fig.2 Effect of wheat-fertilization on urease and phosphatase activities of black soil

不同大写字母表示同一种植模式下,不同施肥处理间差异显著 ($P<0.05$);不同小写字母表示种植小麦和不种小麦间差异显著 ($P<0.05$)。

表 3 小麦-肥料作用下土壤酶活性、土壤微生物数量和植物生物量的相关性

Tab.3 Correlation between soil enzyme activities, microorganisms and plant biomass

指标	地上生物量	根生物量	脲酶活性	磷酸酶活性	细菌数量	放线菌数量	真菌数量
地上生物量	1	0.986 **	0.808 *	0.888 *	0.936 **	-0.435	0.883 *
根生物量		1	0.709	0.867 *	0.919 **	-0.511	0.820 *
脲酶活性			1	0.837 *	0.681	0.065	0.955 **
磷酸酶活性				1	0.734	-0.016	0.853 *
细菌数量					1	-0.569	0.718
放线菌数量						1	-0.134
真菌数量							1

3 讨论

3.1 作物和施肥对土壤微生物数量的影响

在无作物情况下,不同施肥方式对微生物数量的影响不同。本研究中,NPK 处理促进了土壤微生物数量的增加,增幅为 21.6%;而其余施肥方式土壤微生物数量均低于无肥处理。不同施肥处理引起土壤 pH 及微生物生长所需营养元素的比例发生改变。侯彦林等(2004)和王曙光等(2004)研究表明,肥料水解后引起土壤 pH 的变化是导致土壤微生物数量和土壤酶活性的改变的主要原因是原因。

种植作物对于土壤微生物数量有直接影响。种

肥(PK、NK、NP 和 NPK)耦合对土壤磷酸酶活性影响分别为 15.2%、16.0%、18.8%和 26.7%。

因此,小麦根系活动增加土壤脲酶和磷酸酶活性效果好于肥料及二者耦合作用,特别是均衡施肥处理(NPK 配施)种植小麦后土壤脲酶和磷酸酶活性与其他各施肥组表现出显著性差异。

2.4 相关性分析

无作物时,土壤脲酶和磷酸酶活性与土壤真菌数量均呈显著正相关(表 2)。施肥后种植小麦(表 3),放线菌数量与小麦地上生物量、地下生物量、脲酶和磷酸酶活性均呈负相关;地上生物量和地下生物量均与土壤磷酸酶活性、真菌数量呈显著正相关,与细菌数量呈极显著正相关,此外地上生物量与脲酶活性具有显著正相关。

表 2 不同施肥方式下土壤酶活性与土壤微生物数量的相关性

Tab.2 Correlation between soil enzyme activities and microorganism amounts

酶活性	细菌数量	放线菌数量	真菌数量
脲酶活性	0.208	0.204	0.863 *
磷酸酶活性	0.189	0.273	0.810 *

** $P<0.01$, * $P<0.05$,下同。

植小麦显著促进了土壤微生物数量的增加,与贾志红等(2004)对蓖麻、花生、甜菜和小茴香等作物的研究结果一致。严君等(2009)研究表明,种植玉米后土壤细菌、真菌和放线菌的数量也有明显增加。然而,细菌、真菌、放线菌在根际内的分布量均大于非根际土壤中的分布量(张福锁等,2008),本研究中采集混合土样,可能在一定程度上降低作物根系对土壤微生物数量的影响。

3.2 作物和施肥对土壤酶活性的影响

在无作物情况下,不同施肥处理均可显著增加土壤脲酶和磷酸酶活性,增幅分别为:17.2% ~ 32.7%和 21.2% ~ 25.9%。施肥处理是通过增加

土壤酶促反应底物以及提高土壤综合肥力直接或间接提高土壤酶活性。种植小麦促进了土壤脲酶和磷酸酶活性的提高,与侯雪莹等(2009)的研究结果一致。小麦和肥料耦合作用显著增加土壤脲酶和磷酸酶活性,增幅分别为 59.0% ~ 168% 和 15.2% ~ 26.7%。小麦和肥料耦合对土壤微生物和酶活性的影响是通过肥料对作物生物量的影响而产生的 (Kanazawa *et al.*, 1988)。

3.3 土壤微生物数量、土壤酶活性和小麦生物量之间的关系

有研究表明,土壤微生物数量与土壤酶活性之间存在着一定的相关性 (Frankenberger & Dick, 1983; 张崇邦等, 2004; 顾美英等, 2009)。本研究表明,不论是否种植小麦黑土脲酶和磷酸酶活性均与真菌数量呈显著正相关 ($r=0.955^{**}$, $r=0.863^{*}$, $r=0.853^{*}$, $r=0.810^{*}$),而与数量占优势的细菌、放线菌相关性不显著,与樊军和郝明德(2003)研究结果一致。可能是由于真菌虽然数量少,但真菌生物量占有优势(陈文新, 1989),因此与两种土壤酶活性的相关性显著。樊军和郝明德(2003)认为细菌数量与土壤酶活性相关性不显著,可能是由于培养基的选择性,所测得的微生物并不是实际数量的全部,并且土壤酶在自然状态下主要以胞外酶形式存在,活性容易受环境影响。

本实验中小麦的地上生物量与磷酸酶活性、细菌数量和真菌数量呈显著正相关 ($r=0.888^{*}$, 0.936^{**} , 0.883^{*})。小麦根生物量与磷酸酶活性、细菌数量和真菌数量呈显著正相关 ($r=0.867^{*}$, 0.919^{**} , 0.819^{*})。施肥促进了作物根系生长,增幅 6.1% ~ 19.2%。根系越发达,根系分泌物(如糖类、有机酸、氨基酸、酚类化合物等有机化合物)越多,从而在一定程度上增加微生物生长繁殖所需营养物质及酶促反应底物,使磷酸酶活性亦随着小麦种植及细菌、真菌生长繁殖得到一定程度的增加(熊明彪等, 2002; 洪坚平等, 2002)。微生物的大量繁殖和旺盛活动以及土壤酶活性的提高又必将对小麦的生长发育产生影响(姬兴杰等, 2006; 齐泽民和杨万勤, 2006)。土壤微生物和土壤酶参与土壤的许多重要的代谢和转化过程,二者一起推动着土壤的物质循环和能量转化。

参考文献

陈利军, 武志杰. 2002. 与氮转化有关的土壤酶活性对抑制

- 剂使用的响应. 应用生态学报, **13**(9): 1099-1101.
- 柴强, 黄高宝, 黄鹏, 等. 2006. 间甲酚及施磷对小麦间作蚕豆土壤微生物和酶活性的影响. 生态学报, **26**(2): 383-394.
- 陈文新. 1989. 土壤和环境微生物学. 北京: 北京农业大学出版社.
- 关松荫. 1986. 土壤酶及其研究法. 北京: 中国农业出版社.
- 顾美英, 徐万里, 茆军, 等. 2009. 连作对新疆绿洲棉田土壤微生物数量及酶活性的影响. 干旱地区农业研究, (1): 1-5.
- 洪坚平, 谢英荷, 孔令节, 等. 2000. 矿山复垦区土壤微生物及其生化特性研究. 生态学报, **20**(4): 669-672.
- 侯雪莹, 韩晓增, 王树起, 等. 2009. 土地利用方式对黑土酶活性的影响. 中国生态农业学报, **17**(2): 215-219.
- 侯彦林, 王曙光, 郭伟. 2004. 尿素施肥量对土壤微生物和酶活性的影响. 土壤通报, **35**(3): 303-306.
- 黄秀梨. 2001. 微生物学实验指导. 北京: 高等教育出版社.
- 姬兴杰, 熊淑萍, 李春明. 2006. 不同肥料类型对土壤酶活性与微生物数量时空变化的影响. 水土保持学报, **22**(1): 123-127.
- 鲁如坤. 2000. 土壤农业化学分析. 北京: 中国农业科学出版社.
- 刘凯. 1988. 有机-无机肥配合施用对土壤酶活性的影响// 全国土壤酶研究文集. 沈阳: 辽宁科学技术出版社: 130-135.
- 庞欣, 张福锁, 王敬国. 2000. 不同供氮水平对根际微生物量氮及微生物活度的影响. 植物营养与肥料学报, **6**(4): 476-480.
- 樊军, 郝明德. 2003. 黄土高原旱地轮作与施肥长期定位试验研究. I. 长期轮作与施肥对土壤酶活性的影响. 植物营养与肥料学报, **9**(2): 146-150.
- 贾志红, 孙敏, 杨珍平, 等. 2004. 施肥对作物根际微生物的影响. 作物学报, **30**(5): 491-495.
- 齐泽民, 杨万勤. 2006. 苞箭竹根际土壤微生物数量与酶活性. 生态学杂志, **25**(11): 1370-1374.
- 孙瑞莲, 赵秉强, 朱鲁生, 等. 2003. 长期定位施肥田土壤酶活性的动态变化特征. 植物营养与肥料学报, **9**(2): 146-150.
- 王书锦, 胡江春. 2002. 新世纪中国土壤微生物学的展望. 微生物学杂志, **22**(1): 36-39.
- 王俊华, 尹睿, 张华勇, 等. 2007. 长期定位施肥对农田土壤酶活性及其相关因素的影响. 生态环境, **16**(1): 191-196.
- 王曙光, 侯彦林, 郭伟. 2004. 不同肥土比对 NO_3^- -N 浓度变化的影响研究. 植物营养与肥料学报, **10**(2): 148-151.
- 王树起, 韩晓增, 乔云发, 等. 2008. 长期施肥对东北黑土酶活性的影响. 应用生态学报, **19**(3): 551-556.
- 熊明彪, 何建平, 宋光煜. 2002. 根分泌物对根际微生物生态分布的影响. 土壤通报, **33**(2): 145-148.
- 严君, 韩晓增, 王守宇, 等. 2009. 黑土不同植被覆盖与施肥下土壤微生物的变化特征. 土壤通报, **40**(2): 240-244.
- 张福锁, 申建波, 冯固, 等. 2008. 根际生态学-过程与调

控. 北京: 中国农业大学出版社.

张 薇, 魏海雷, 高洪文, 等. 2005. 土壤微生物多样性及其环境影响因子研究进展. *生态学杂志*, **24**(1): 48–52.

张崇邦, 金则新, 柯世省. 2004. 天台山小同林型土壤酶活性与土壤微生物、呼吸速率以及土壤理化特性关系研究. *植物营养与肥料学报*, **10**(1): 51–56.

Bergstrom DW, Monreal CM. 1998. Increased soil enzyme activities under two row crops. *Soil Science Society of America Journal*, **62**: 1295–1301.

Elfstrand S, Hedlund K, Martensson A. 2007. Soil enzyme activities, microbial community composition and function after 47 years of continuous green manuring. *Applied Soil Ecology*, **35**: 610–621.

Frankenberger WT, Dick WA. 1983. Relationships between enzyme activities and microbial growth and activity indices in soil. *Soil Science Society of America Journal*, **47**: 945–951.

Gagnon B, Lalande R, Simard RR, *et al.* 2000. Soil enzyme activities following paper sludge addition in a winter cabbage–sweet corn rotation. *Canadian Journal of Soil Science*, **80**: 91–97.

Kanazawa S, Asakawa S, Takai Y. 1988. Effect of fertilizer and manure application on microbial numbers, biomass, and enzyme activities in volcanic ash soils. I. Microbial numbers and biomass carbon. *Soil Science & Plant Nutrition*, **34**: 429–439.

Nayak DR, Babu JY, Adhya K. 2007. Long-term application of compost influences microbial biomass and enzyme activities in a tropical Aeric Endoaquept planted to rice under flooded condition. *Soil Biology & Biochemistry*, **39**: 1897–1906.

作者简介 李晓慧,女,1982 年生,博士研究生,主要从事土壤生态及植物营养方面的研究。E-mail: lixiaohui012@163.com

责任编辑 魏中青
