

腐植酸肥料对生姜土壤微生物量和酶活性的影响

刘 兰 兰^{1,2}, 史 春 余^{1,*}, 梁 太 波¹, 于 海 静¹, 刘 凤 娟¹

(1. 山东农业大学农学院, 山东泰安 271018; 2. 邹城市农业局, 山东邹城 273500)

摘要: 设 4 个处理: 空白对照、等量腐植酸、等量无机养分和腐植酸复合肥。通过小区试验, 研究了腐植酸肥料在生姜不同生育时期对土壤微生物量和 3 种重要酶活性的影响。结果表明: 与不施肥处理比较, 施用腐植酸使前期的微生物量碳增加、脲酶活性降低, 后期的微生物量碳减少、脲酶活性提高; 施用腐植酸增加土壤活跃微生物量、提高酸性磷酸酶活性、降低蔗糖酶活性, 全生育期平均土壤活跃微生物量和酸性磷酸酶活性分别提高 17.34% 和 11.40%、蔗糖酶活性降低 10.57%。与施用等量无机养分处理比较, 施用腐植酸复合肥也使前期的微生物量碳增加、脲酶活性降低, 后期的微生物量碳减少、脲酶活性提高; 施用腐植酸复合肥增加土壤活跃微生物量、提高酸性磷酸酶和蔗糖酶活性, 全生育期平均土壤活跃微生物量、酸性磷酸酶和蔗糖酶活性分别提高 18.61%、10.07% 和 7.61%。

关键词: 腐植酸肥料; 生姜; 土壤微生物量; 土壤酶

文章编号: 1000-0933(2009)11-6136-06 中图分类号: TQ444.6, Q939.96 文献标识码: A

Microbial and enzyme activity in response to humic acid in soil with a ginger crop

LIU Lan-Lan^{1,2}, SHI Chun-Yu^{1,*}, LIANG Tai-Bo¹, YU Hai-Jing¹, LIU Feng-Juan¹

1 College of Agronomy, Shandong Agricultural University, Taian 271018, Shandong, China

2 Agricultural Bureau of Zoucheng City, Zoucheng 273500, Shandong, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(11): 6136 ~ 6141.

Abstract: This field study was conducted to investigate the effect of humic acid on microbial and the activities of three enzymes in the soil where gingers (*Zingiber officinale* Rose) were grown. Soil was subjected to four fertilizer regimes: control, humic acid only (19.6g/m²), inorganic nutrient (45.0 g N/m², 15.0 g P₂O₅/m², and 60.0 g K₂O/m²), and humic acid compound (45.0 g N/m², 15.0 g P₂O₅/m², 60.0 g K₂O/m² and 19.6g humic acid/m²). Microbial carbon level was greater during the early experimental period, but lower during the late experimental period in humic acid only versus the control and in humic acid compound versus nutrient treatment. Urease activity level was lower during the early experimental period, but greater during the late experimental period in humic acid only versus the control and in humic acid compound versus nutrient treatment. When data were averaged over the entire experimental period, humic acid only treated soil exhibited a 17.3% higher active microbial carbon level, 11.4% higher acid phosphatase activity, and 10.6% lower invertase activity. than the control. Soil treated with the humic acid compound had 18.6% higher active microbial carbon level, 10.1% higher acid phosphatase activity and 7.6% higher invertase activity than inorganic nutrient treatment, when data were averaged over the entire experimental period.

Key Words: humic acid; ginger; soil microbial; soil enzyme

土壤微生物不仅是土壤有机质和养分转化循环的动力, 而且也是植物营养元素的一个重要的源与库^[1,2]。土壤酶主要来源于植物根系分泌物和土壤微生物的增殖及其死亡残体的胞溶^[3], 它们在土壤有机质

基金项目: 国家“863”计划资助项目(2003AA217022); 山东省教育厅科技计划资助项目(J07YF05)

收稿日期: 2008-07-31; **修订日期:** 2009-03-24

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: scyu@sdaa.edu.cn

的分解及养分转化循环过程中起着重要的作用,其活性高低可以反映土壤养分的转化强度和方向^[4]。因此,土壤微生物生物量和酶活性都是衡量土壤肥力水平和土壤质量的重要生物学指标^[5]。

已有研究表明,腐植酸类肥料在改良土壤、促进土壤养分有效化和提高肥料利用率等方面有明显的效果^[6~8]。但是,有关腐植酸类肥料与土壤微生物关系的研究尚少^[9,10],与土壤酶活性关系的研究还有待于进一步完善^[9,11~14]。一般认为,与施用等养分无机肥比较,施用腐植酸尿素或者腐植酸复合肥料对土壤脲酶的活性具有抑制作用^[9,11~13];也有研究指出,施用腐植酸类肥料或腐植酸共聚物对脲酶活性无影响或者提高脲酶活性,这与腐植酸没有经过活化处理有关^[9,12,14]。此外,部分研究者发现,与施用等养分无机肥比较,施用腐植酸复合肥料可以提高碱性磷酸酶活性^[11];与不施肥处理比较,施用腐植酸共聚物可以提高蔗糖酶活性^[14]。这些研究一般是在无植被条件下或者在作物苗期进行的,系统研究作物整个生育期土壤酶活性变化动态的报道尚少^[13]。

生姜(*Zingiber officinale*)是山东省重要的特产经济作物和出口创汇产品,生姜生长发育对氮磷钾等矿质营养需求量大,需要有良好的土壤条件。本文以生姜田耕作层土壤为研究对象,开展腐植酸类肥料对生姜不同生育时期土壤微生物量和部分酶活性影响的研究,为评价腐植酸肥料对农田耕作层土壤质量的影响提供科学依据。

1 材料与方法

试验于2006年5~10月,在山东省泰安市山东农业大学农学实验站进行。

1.1 供试材料和土壤养分状况

供试品种:莱芜大姜。

供试肥料:尿素,含N 46.00%;磷酸一铵,含N 11.00%, P_2O_5 44.00%;硫酸钾,含 K_2O 50.00%。腐植酸来源于山西霍州生产的风化煤,风化煤含水量20.41%、腐植酸总量40.10%、游离腐植酸含量38.15%、pH值为3.91。活化的风化煤腐植酸,游离腐植酸含量为38.02%;腐植酸复合肥料为风化煤腐植酸活化后与尿素、磷酸一铵、硫酸钾混合后、圆盘造粒而成,含N 15.00%、 P_2O_5 5.00%、 K_2O 20.00%、游离腐植酸6.54%。

供试土壤质地为壤土,试验地0~20cm土层,土壤有机质1.12%,碱解氮73.53mg/kg,速效磷28.96 mg/kg,速效钾85.27 mg/kg。

1.2 试验设计

试验设4个处理: T_1 为不施肥(空白对照); T_2 为等量腐植酸,风化煤用量 51.60g/m^2 (游离腐植酸 19.62g/m^2); T_3 为等量无机养分,尿素 89.67g/m^2 ,磷酸一铵 34.09g/m^2 ,硫酸钾 120.00g/m^2 (N 45.00g/m^2 、 P_2O_5 15.00g/m^2 、 K_2O 60.00g/m^2)。; T_4 为腐植酸复合肥料, 300.00g/m^2 。(N 45.00g/m^2 、 P_2O_5 15.00g/m^2 、 K_2O 60.00g/m^2 、游离腐植酸 19.62g/m^2)。

分基肥(50%,播种前施用)、苗肥(20%,播种后60d施用)、旺盛生长肥(30%,播种后90d施用)3次施用。采用池栽方式,小区面积 10m^2 。每个处理重复3次,随机排列。

1.3 取样方法

在生姜主要生育时期(苗期、三股杈期、盛长前期、盛长后期和收获期,即播种后75~80、95~100、115~120、135~140和155~160d)取0~20cm土层土壤,每处理随机选取3个点,保鲜、烘干各一半,鲜样用于微生物量碳、活跃微生物量、土壤脲酶、蔗糖酶、酸性磷酸酶的测定。

1.4 测定项目与方法

土壤微生物量碳测定应用基质诱导呼吸法;土壤活跃微生物量测定用呼吸曲线数学分析法^[15,16]。

土壤脲酶活性,采用靛酚比色法测定,蔗糖酶活性采用3,5-二硝基水杨酸比色法测定,酸性磷酸酶采用磷酸苯二钠比色法^[17]。

数据统计分析采用 F 检验,多重比较采用新复极差(LSR)法。

2 结果与分析

2.1 腐植酸肥料对生姜土壤微生物的影响

微生物量碳能在很大程度上反应土壤微生物数量,常作为土壤对环境响应的指示指标。在 0~20cm 土层,各个处理的土壤微生物量碳随生姜生长发育的变化趋势一致,播种后 140d 以前逐渐增加,播种后 140d 最多,之后明显减少(图 1)。与不施肥处理相比,等量腐植酸处理的土壤微生物量碳,在播种后 80~120d 增加,140~160d 减少;等量无机养分处理的土壤微生物量碳,在播种后 80~100d 减少,120~140d 增加。与等量无机养分处理相比,腐植酸复合肥处理的土壤微生物量碳,在播种后 80~100d 增加,120~160d 减少。说明追施腐植酸可以增加前期(播种后 100d 之前)的土壤微生物量碳,而追施化肥会减少前期的土壤微生物量碳;但是,在生姜生长发育后期,土壤微生物量碳的增减趋势相反。

土壤中存在着一少部分生理功能活跃的微生物,活跃微生物量与土壤呼吸、土壤酶活性都有密切关系^[18]。在 0~20cm 土层,各个处理的土壤活跃微生物量随生姜生长发育的变化趋势一致,播种后 120d⁻¹以前逐渐增加,播种后 120d⁻¹最多,之后逐渐减少(表 1)。与不施肥处理相比,等量腐植酸处理的土壤活跃微生物量,在整个生育期都增加;等量无机养分处理的土壤活跃微生物量,播种后 80~120d⁻¹减少,140~160d 增加。与等量无机养分处理相比,腐植酸复合肥处理的土壤活跃微生物量,在整个生育期都增加。

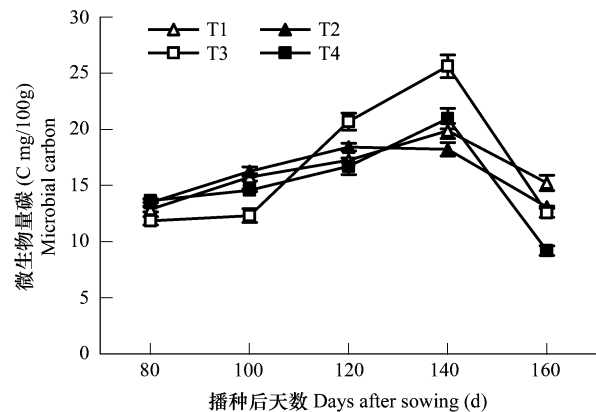


图 1 腐植酸肥料对土壤微生物量碳的影响

Fig. 1 Effects of humic acid on soil microbial carbon

表 1 腐植酸肥料对土壤活跃微生物量的影响

Table 1 Effects of humic acid on soil active microbial (mg/kg)

处理 Treatment	播种后天数 Days after sowing (d)					平均 Average
	80	100	120	140	160	
T1	18.17 ± 0.77c	19.64 ± 1.03c	29.90 ± 1.26c	20.84 ± 0.89d	18.70 ± 1.02c	21.45
T2	20.53 ± 0.69a	21.74 ± 0.49a	36.84 ± 1.00a	26.04 ± 1.23a	20.68 ± 0.75a	25.17
T3	15.61 ± 0.51d	16.28 ± 0.67d	27.42 ± 0.77d	23.40 ± 1.27c	19.92 ± 0.22ab	20.53
T4	19.79 ± 0.76ab	20.60 ± 0.96b	35.80 ± 1.50ab	25.08 ± 0.79ab	20.46 ± 0.86a	24.35

数据后的小写字母不同表示在 0.05 水平上的差异显著性,下同 Different small letters Means significantly different at $P=0.05$, same as below

2.2 腐植酸肥料对生姜土壤酶活性的影响

蔗糖酶是土壤中广泛存在的酶,能促进蔗糖分解,是土壤中碳循环转化的关键酶。从图 2 可以看出,随着生姜生长发育,空白对照和等量腐植酸 2 个处理的土壤蔗糖酶活性变化不大,而且等量腐植酸处理的土壤蔗糖酶活性一直低于空白对照。随着生姜生长发育,等无机养分和腐植酸复合肥 2 个处理的土壤蔗糖酶活性呈现出“先提高、后降低”的趋势,播种后 115d 土壤蔗糖酶活性最高,而且腐植酸复合肥处理的土壤蔗糖酶活性一直高于等无机养分处理。

脲酶也是土壤中广泛存在的酶,它直接参与尿素形态转化,能酶促分子中肽键的水解,是土壤中氮循环转化的重要酶。从图 3 可以看出,随着生姜的生长发育,各个处理土壤脲酶活性有相同的变化趋势。与不施肥处理相比,等量腐植酸处理的土壤脲酶活性,在播种后 75~95d 降低,115~135d 有提高趋势,155d 显著提高;等量无机养分处理的土壤脲酶活性,在播种后 75~95d 提高,115~155d 降低。与等量无机养分处理相比,腐植酸复合肥处理的土壤脲酶活性,在播种后 75~95d 降低,115~155d 提高。说明在生姜生长发育前期腐植酸具有抑制土壤脲酶活性的作用,而在后期腐植酸具有提高土壤脲酶活性的作用。

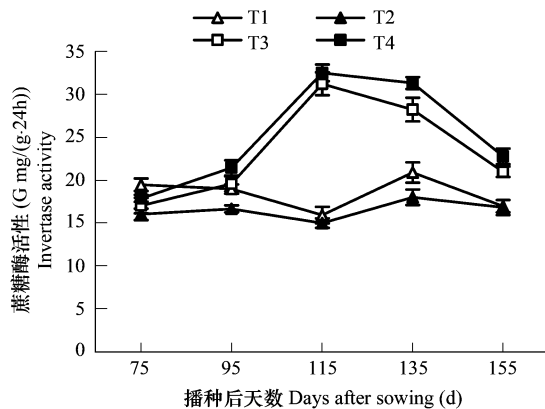


图2 腐植酸肥料对土壤蔗糖酶活性的影响

Fig.2 Effects of humic acid on soil invertase activity

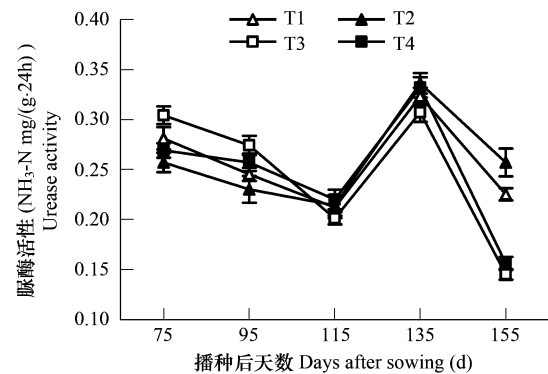


图3 腐植酸肥料对土壤脲酶活性的影响

Fig.3 Effects of humic acid on soil urease activity

土壤磷酸酶是一类催化土壤有机磷化合物矿化的酶,其活性高低直接影响着土壤中有机磷的分解转化及其生物有效性;酸性磷酸酶可加速土壤有机磷脱磷速度,提高土壤磷素的有效性,是评价土壤磷素转化方向的重要指标。由表2可知,随着生姜生长发育,各个处理土壤酸性磷酸酶活性均呈现出“先提高、后降低”的趋势,播种后135d土壤酸性磷酸酶活性最高。不同施肥处理之间比较,在生姜的各个生育时期,土壤酸性磷酸酶活性均表现为:T4 > T3 > T2 > T1。说明不同类型的肥料都具有提高土壤酸性磷酸酶活性的作用,而且无机养分与腐植酸之间有累加效应。

表2 腐植酸肥料对土壤酸性磷酸酶活性的影响

Table 2 Effects of humic acid on soil acid phosphatase activity (P_2O_5 mg/(100g·2h))

	播种后天数 Days after sowing(d)					平均 Average
	75	95	115	135	155	
T1	1.98 ± 0.04d	3.92 ± 0.20d	6.46 ± 0.19cd	6.72 ± 0.23d	5.93 ± 0.18c	5.00
T2	2.71 ± 0.13c	4.77 ± 0.21c	6.67 ± 0.28c	7.66 ± 0.17bc	6.04 ± 0.17bc	5.57
T3	3.11 ± 0.12b	5.04 ± 0.17b	7.09 ± 0.19b	7.85 ± 0.35b	6.23 ± 0.26b	5.86
T4	3.69 ± 0.18a	5.69 ± 0.19a	7.90 ± 0.20a	8.33 ± 0.29a	6.66 ± 0.19a	6.45

3 讨论

3.1 无机化肥对生姜不同生育时期土壤微生物量和酶活性的影响

有关无机化肥对农田土壤微生物量和酶活性影响的研究,已经有比较多的报道^[19~23]。一般认为,适量施用氮肥、磷肥,或者氮磷、氮磷钾配施,可以增加土壤微生物量,提高土壤脲酶、磷酸酶等的活性^[19~21]。但是,也有施用尿素降低土壤脲酶活性的报道^[22]。在本试验中,与不施肥处理比较,无机化肥处理的土壤微生物量碳和活跃微生物量,前期减少、后期增加(播种后160d的微生物量碳除外)。与不施肥处理比较,施用无机化肥可以提高全生育期土壤蔗糖酶和酸性磷酸酶活性(播种后75d的蔗糖酶除外);同时,提高前期的土壤脲酶活性、降低后期的土壤脲酶活性。在生姜生长发育的前期和后期,土壤微生物量和脲酶活性增减趋势不一致可能与前期正是生姜追肥期有关。因此,在描述施用化肥与土壤微生物量、酶活性关系时,有必要注明施肥时期以及微生物量和酶的测定时期。

3.2 腐植酸肥料对生姜不同生育时期土壤微生物量和酶活性的影响

与不施肥处理比较,施用腐植酸使全生育期的土壤活跃微生物量和前期的土壤微生物量碳增加;而后期的土壤微生物量碳减少。与施用无机化肥比较,施用腐植酸复合肥也使全生育期的土壤活跃微生物量和前期的土壤微生物量碳增加;而后期的土壤微生物量碳减少。施用腐植酸或腐植酸复合肥导致后期的土壤微生物量碳减少,可能与腐植酸可以刺激作物生长、作物对C源需求较多、使构成微生物体的C源减少有关^[20,24]。

与不施肥处理比较,施用腐植酸处理的土壤脲酶活性表现为:前期降低、后期提高;与施用无机化肥比较,施用腐植酸复合肥处理的土壤脲酶活性也是表现为:前期降低、后期提高。说明腐植酸肥料对脲酶具有“先控后促”的作用,这对减少作物苗期养分损失、满足旺盛生长期作物对养分的需求有重要作用。由于本试验所用的腐植酸已经活化;因此,施用腐植酸或腐植酸复合肥可以降低前期土壤脲酶活性的结论与前人的研究结果基本一致^[9,11~13]。施用腐植酸或腐植酸复合肥可以提高后期土壤脲酶活性的结论又提示人们,腐植酸类肥料对土壤脲酶的抑制作用不但与腐植酸是否活化有关^[12],而且与腐植酸类肥料的施用时期有关。

与不施肥处理比较,在整个生育时期,施用腐植酸处理的土壤酸性磷酸酶活性都显著提高;与施用无机化肥比较,在整个生育时期,施用腐植酸复合肥处理的土壤酸性磷酸酶活性也都显著提高,与彭正萍有关碱性磷酸酶的研究结果一致^[11]。这可能是腐植酸促进植物对磷素吸收、提高磷肥利用率^[8]的原因之一。与不施肥处理比较,施用腐植酸处理降低蔗糖酶活性;但是,与施用无机化肥比较,施用腐植酸复合肥处理提高蔗糖酶活性,这可能与土壤碳氮比不同有关。

References:

- [1] Wu J, Brookes P C, Jenkinson D S. Formation and destruction of microbial biomass during the decomposition of glucose and ryegrass in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 1993, 25: 1435—1441.
- [2] Burger M, Jackson L E. Microbial immobilization of ammonium and nitrate in relation to ammonification and nitrification rates in organic and conventional cropping systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 2003, 35: 29—36.
- [3] Zhang L L, Zang Y L, Chen L J, Wu Z J. Response of saccharidase activities to free-air carbondioxide enrichment (FACE) under rice-wheat rotation. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(6): 1019—1024.
- [4] Yuan L, Yang B J, Zheng X J. Effects of long-term fertilization on enzymatic activities and transformation of nitrogen and phosphorus in soil. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 1997, 3(4): 300—306.
- [5] Hargreaves P R, Brookes P C, Ross G J S, Poulton P R. Evaluating soil microbial biomass carbon as an indicator of long-term environmental change. *Soil Biology and Biochemistry*, 2003, 35: 401—407.
- [6] Wu L P, Cheng S X. The studies and products of the added effects of humic acid on urea along with the developmental current. *Humic Acid*, 2000, (1): 1—3.
- [7] Wu L P, Cheng S X, Li L. The reactivity of humic acid and phosphorus fertilizer along with the effects of HA-P on agricultural chemistry. *Humic Acid*, 2002, (1): 32—35.
- [8] Du H Y, Xue S C, Sun Z F, Wang Y Q. Effects of different application rates of Humic Acid compound fertilizer on nutrients absorption of grape. *Chinese Journal of Soil Science*, 2006, 37(3): 546—549.
- [9] Qian H X, Sun M Q, Yan Y J. Preliminary Studies about Fertilizing Value Mechanism of UHA. *Soils and Fertilizers*, 2002, (1): 34—36.
- [10] Yang Y M, Xue S C, Xia F Z, Jia S L, Meng C X. Effect of the Humic Acid Fertilizer on the Quantity of Microorganism in the Soil. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2007, 22(supplement): 187—189.
- [11] Peng Z P, Men M X, Xue S C, Sun X X, Xue B M, Bi S Q. Effects of humic acid (HA) compound fertilizer on the conversion of soil nutrient and activities of soil enzyme. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2005, 28(4): 1—4.
- [12] Jiang J P, Sun M Q, Guo Y R, Zhou J. Pilot study on production of urea humate and its application. *Phosphate & Compound Fertilizer*, 2001, 21(1): 24—26.
- [13] Lu X, Wang S G, Wang H H, Wang Y. Study on New Types of Urease Inhibitors. *Acta Pedologica Sinica*, 1997, 34(4): 461—466.
- [14] Zhang H W, Chen G, Tang A M, Xie G H, Chen Z Q, Ning P, Huang T, Zeng F S. The Effect of Humic Acid Copolymers on Soil Enzyme Activities. *Chinese Journal of Soil Science*, 2003, 34(1): 29—32.
- [15] Gao Y C, Zhu W S, Chen W X. Bacterial and Fungal Biomass and Activities in Straw Mulch No-Tillage soils. *Chinese Journal of Ecology*, 2001, 20(2): 30—36.
- [16] Xu G H, Zhen H Y. The Analysis Method Manual of soil microbial. Beijing: Agriculture Press, 1986. 26—227.
- [17] Guan S Y. Study on method of soil enzyme. Beijing: Agriculture Press, 1986. 61—141.
- [18] Wang Y, Han B, Shi Z Q, Shao G Q, Jiang X D, Ning T Y, Jiao N Y, Li Z J. Effects of Conservation Tillage on Soil Microbial Characters and Soil Enzyme Activities. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(4): 120—122, 142.
- [19] Mi G Q, Yuan L P, Gong Y S, Zhang F M, Ren H Z. Influences of different water and nitrogen supplies on soil biological environment in solar

greenhouse. Transactions of the CSAE, 2005, 21(7): 124—127.

- [20] Wang J H, Liu J S, Yu J B, Wang J D. Effect of Fertilizing N and P on Soil Microbial Biomass Carbon and Nitrogen of Black Soil Corn Agroecosystem. Journal of Soil and Water Conservation, 2004, 18(1): 35—38.
- [21] Yao H Y, He Z L, Huang C Y. Effect of Nitrogen Fertilizer in Combination with Organic Carbon on Nitrogen Availability. Agronomy Environmental Protection, 1999, 18(2): 54—56, 75.
- [22] Wang D M, Gong W F, Wu F R, Yang H J, Chen J J. Effects of Nitrogen and Phosphorus Fertilizers on Physical and Chemical Characteristics and Enzyme Activity of Soil and Tobacco Growth under Film Mulch. Tobacco Science & Technology, 2004, (6): 33—36.
- [23] Meng N, Liao W H, Jia K, Liu J L. Effect of phosphorus fertilizer and organic manure on organic phosphorus content and the activity of phosphatase in soils. Journal of Agricultural University of Hebei, 2006, 29(4): 57—59.
- [24] Zhang H, Jiang W Y, Liu B. Effects of the Humic Acid of different sources on improving plant growth and its mechanism. Humic Acid, 2000, (2): 16—19.

参考文献:

- [3] 张丽莉, 张玉兰, 陈利军, 武志杰. 稻-麦轮作系统土壤糖酶活性对开放式 CO₂ 浓度增高的响应. 应用生态学报, 2004, 15(6): 1019~1024.
- [4] 袁玲, 杨邦俊, 郑兰君. 长期施肥对土壤酶活性和氮磷养分的影响. 植物营养与肥料学报, 1997, 3(4): 300~306.
- [6] 武丽萍, 成绍鑫. 关于腐植酸对尿素增效作用研究与产品开发状况及发展趋势. 腐植酸, 2000, (1): 1~3.
- [7] 武丽萍, 成绍鑫, 李丽. 腐植酸与速效磷肥的作用及 HA-P 的农化效应. 腐植酸, 2002, (1): 32~35.
- [8] 杜会英, 薛世川, 孙忠富, 王艳群. 腐植酸复混肥对葡萄养分吸收利用的影响. 土壤通报, 2006, 37(3): 546~549.
- [9] 钱惠祥, 孙明强, 严玉娟. 腐植酸包裹型长效尿素肥效机理初步研究. 土壤肥料, 2002, (1): 34~36.
- [10] 杨云马, 薛世川, 夏凤召, 贾树龙, 孟春香. 腐植酸复合肥对土壤微生物量的影响. 华北农学报, 2007, 22(增刊): 187~189.
- [11] 彭正萍, 门明新, 薛世川, 孙旭霞, 薛宝民, 毕淑芹. 腐植酸复合肥对土壤养分转化和土壤酶活性的影响. 河北农业大学学报, 2005, 28(4): 1~4.
- [12] 姜剑平, 孙明强, 郭玉荣, 周骏. 腐植酸尿素的中试工艺研究与应用. 磷肥与复肥, 2001, 21(1): 24~26.
- [13] 陆欣, 王中贵, 王海洪, 王艳. 新型脲酶抑制剂的研究. 土壤学报, 1997, 34(4): 461~466.
- [14] 张宏伟, 陈港, 唐爱民, 谢国辉, 陈志泉, 宁平, 黄涛, 曾繁森. 腐植酸共聚物对土壤酶活性的影响. 土壤通报, 2003, 34(1): 29~32.
- [15] 高云超, 朱文珊, 陈文新. 秸秆覆盖免耕土壤细菌和真菌生物量与活性的研究. 生态学杂志, 2001, 20(2): 30~36.
- [16] 许光辉, 郑洪元. 土壤微生物分析方法手册. 北京: 农业出版社, 1986. 26~227.
- [17] 关松荫. 土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社, 1986. 61~141.
- [18] 王芸, 韩宾, 史忠强, 邵国庆, 江晓东, 宁堂原, 焦念元, 李增嘉. 保护性耕作对土壤微生物特性及酶活性的影响. 水土保持学报, 2006, 20(4): 120~122, 142.
- [19] 米国全, 袁丽萍, 龚元石, 张福漫, 任华中. 不同水氮供应对日光温室番茄土壤酶活性及生物环境影响的研究. 农业工程学报, 2005, 21(7): 124~127.
- [20] 王继红, 刘景双, 于君宝, 王金达. 氮磷肥对黑土玉米农田生态系统土壤微生物量碳、氮的影响. 水土保持学报, 2004, 18(1): 35~38.
- [21] 姚槐应, 何振立, 黄昌勇. 提高氮肥利用效率的微生物量机制探讨. 农业环境保护, 1999, 18(2): 54~56, 75.
- [22] 汪邓民, 龚文丰, 吴福如, 杨红娟, 陈建军. 覆膜条件下氮磷肥对土壤理化性质、酶活性及烟草生长的影响. 烟草科技, 2004, (6): 33~36.
- [23] 孟娜, 廖文华, 贾可, 刘建玲. 磷肥、有机肥对土壤有机磷及磷酸酶活性的影响. 河北农业大学学报, 2006, 29(4): 57~59.
- [24] 张辉, 姜文勇, 刘波. 不同来源腐植酸促进植物生长活性及作用机理研究. 腐植酸, 2000, (2): 16~19.