

氮肥形态对小麦不同生育期土壤酶活性的影响

罗来超¹, 吕静霞¹, 魏鑫¹, 苗艳芳^{1*}, 李娜¹, 李生秀², 都开彬¹

(1. 河南科技大学农学院, 河南 洛阳 471000; 2. 西北农林科技大学资源与环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 采用田间试验与室内分析相结合的方法, 研究了氮肥形态对小麦不同生育期土壤酶活性的影响。结果表明: 脲酶、蛋白酶活性随小麦生育时期推进呈现出两个峰值, 蔗糖酶先降后升再降, 呈倒‘S’型曲线, 脱氢酶在越冬、成熟期高, 其它生育期低, 曲线似‘U’型, 过氧化氢酶活性在返青后呈急剧上升, 拔节后缓降。0~20 cm 酶活性普遍高于 20~40 cm; 施肥可以提高土壤酶活性, 可使脲酶活性提高 60.3%, 蛋白酶活性平均提高 36.0%, 蔗糖酶活性平均提高 36.7%, 脱氢酶活性平均提高 100%, 过氧化氢酶平均提高 33.8%; 土壤酶活性变异系数的平均值大小顺序是: 脲酶>脱氢酶>蛋白酶>蔗糖酶>过氧化氢酶; 氮肥形态对小麦不同生育期 5 种土壤酶的影响各异, 没有一定的规律性。

关键词: 氮肥形态; 冬小麦; 土壤酶活性; 旱地

中图分类号: S143.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)06-0099-04

Effects of nitrogen fertilizer forms on soil enzyme activities at different growth stages of wheat

LUO Lai-chao¹, LV Jing-xia¹, MIAO Yan-fang^{1*}, LI Na¹,
LI Sheng-xiu², WEI Xin¹, DU Kai-bin¹

(1. Agriculture School, Henan University of Science and Technology, Luoyang, He'nan 471003, China;
2. College of Resource and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: A field experiment was carried out to study the effects of nitrogen (N) fertilizer forms on soil enzyme activities at different growth stages of wheat. The results showed, during the whole growing season of wheat, the activities of urease and protease presented a two-peak curve, while the activities of invertase, dehydrogenase and catalase demonstrated an inverted S-curve (i.e., decreasing – rising – decreasing), U-curve (i.e., being high at overwintering and maturity stage but low at other stages), and inverted L-curve (i.e., being risen sharply after reviving stage but decreased slowly after jointing stage), respectively. The enzyme activities in 0~20 cm layer of soil were generally higher than those in 20~40 cm layer. N application significantly improved soil enzyme activities, in which the activities of urease, protease, invertase, dehydrogenase and catalase were elevated by 60.3%, 36.0%, 36.7%, 100% and 33.8% on average, respectively. The average values of coefficient of variation of soil enzyme activities were sequenced as: urease > dehydrogenase > protease > invertase > catalase. The effects of N fertilizer forms to soil enzyme activities at different stages of wheat were different, but there was no definite regularity.

Keywords: nitrogen fertilizer form; winter wheat; soil enzyme activity; dryland

酶是土壤生态系统的重要组成成分, 是评价土壤内在质量的重要指标^[1-4]。酶直接参与了土壤有机质的分解和腐殖质的合成, 其活性大小在一定程度上标志着土壤物质转化的速度和供肥的能力, 间接影响着作物的产量^[5-7]。因此, 关于不同环境条件、不同栽培方式、不同肥料配比对蛋白酶、脲酶、过氧化氢酶、蔗糖酶等活性的影响, 曾有不少报道^[5-13], 反映了土壤酶在农业实践中已被广泛地应用。在豫西旱地, 小麦是主要的粮食作物, 氮素是小麦需要最多的大量营养元素, 不同形态的氮素对小

收稿日期: 2013-05-21
基金项目: 国家自然科学基金项目(30971866); 洛阳市科技攻关项目(1203206B)
作者简介: 罗来超(1987—), 男, 河南新乡人, 硕士, 研究方向为植物营养与施肥。E-mail: luolaichao0106@163.com。
* 通信作者: 苗艳芳(1956—), 女, 河南洛阳人, 教授, 硕士生导师, 主要从事植物营养理论与施肥技术研究。E-mail: myf2237@163.com。

麦产量和品质的影响曾有一些报道,但对麦田土壤酶活性影响的研究较少。为了探讨氮肥形态对旱地土壤酶活性及土壤肥力的影响,本研究在豫西旱地安排了不同形态氮肥试验,为调控旱地土壤的供肥强度提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试小麦 (*Triticum aestivum* L.) 为河科大 9612, 由洛阳绿野生物有限公司提供。

供试土壤为碳酸盐褐土,其基本理化性状见表 1。试区属暖温带半干旱区丘陵旱地,土层深厚,保

水性能良好。前茬为夏玉米。

1.2 试验设计

试验共设 5 个处理,分别为:(1)对照(CK),不施氮肥;(2)施用铵态氮肥(氯化铵,AC);(3)施用硝态氮肥(硝酸钠,SN);(4)施用酰胺态氮肥(尿素,U);(5)施用混合氮肥(AS + U),氮肥分别用 20% 硫酸铵(AS)和 80% 尿素(U)。各处理在均施 100 kg·hm⁻²(过磷酸钙)基础上施用 100 kg·hm⁻²氮肥。田间采取随机区组设计,重复 4 次,小区面积 12 m² (4 m × 3 m)。2011 年 10 月 16 日播种,2012 年 5 月 20 日收获。田间管理同大田栽培。

表 1 供试土壤基本理化性质
Table 1 Physico-chemical properties of tested soils

深度 Depth /cm	质地 Texture	有机质 O. M /%	碱解氮 Hydro-N /(mg·kg ⁻¹)	速效磷 Available P /(mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available K /(mg·kg ⁻¹)	阳离子交换量 CEC /(cmol·kg ⁻¹)	pH
0 ~ 20	中壤 Medium loam	1.55	64.56	7.72	120.97	17.88	8.03
20 ~ 40	重壤 Heavy loam	0.94	37.33	5.29	67.77	17.00	8.15

1.3 测定项目与方法

1.3.1 试验取样 用土钻分别于小麦不同生育期采集 0 ~ 20 cm(编号 A)、20 ~ 40 cm(编号 B)两层土样,分别将小麦越冬期(代码 1)、返青期(代码 2)、拔节期(代码 3)、孕穗期(代码 4)、灌浆期(代码 5)、成熟期(代码 6)的大田土壤样品(A1 ~ A6)与(B1 ~ B6)经混匀风干处理后过 1 mm 筛,用于测定土壤酶活性。

1.3.2 土壤养分的测定 土壤有机质采用重铬酸钾容量法测定;碱解氮采用碱解扩散法测定;速效磷采用 0.5 mol·L⁻¹碳酸氢钠浸提 - 钼锑抗比色法测定;速效钾采用 1 mol·L⁻¹乙酸铵提取 - 火焰光度计法测定;土壤 pH 值为 1:2.5 水土比,pH 计测定;土壤质地用甲种比重计法^[14]。

1.3.3 土壤酶活性的测定 土壤脲酶活性采用苯酚钠比色法测定,以 37℃ 下培养 24 h 后,1 g 干土中 NH₃ - N 的含量(mg·g⁻¹)表示;土壤蛋白酶活性采用茚三酮比色法测定,以 30℃ 下培养 24 h 后,1 g 干土中 NH₃ - N 的含量(mg·g⁻¹)表示;土壤蔗糖酶活性用 3,5 - 二硝基水杨酸比色法测定,以 37℃ 下培养 24 h 后,1 g 干土中葡萄糖(Glucose)的含量(mg·g⁻¹)表示^[15];土壤脱氢酶采取 TTC 还原法测定,以 37℃ 下暗培养 24 h 后,1 g 干土中 TPF 的含量(μL·g⁻¹)表示^[16];土壤过氧化氢酶活性采用紫外分光光度法测定,以 20 min 内每克土壤分解的过氧化氢的毫克数(mg·g⁻¹)表示^[17]。

1.4 数据统计与分析

试验数据采用 Microsoft Excel 2003 和 DPS v7.05 分析软件对试验数据进行统计分析。用 Duncan 新复极差法进行多重比较,以 $P < 0.05$ 为显著标准。

2 结果与分析

2.1 氮肥形态对小麦不同生育期土壤脲酶活性的影响

脲酶是特异催化尿素水解成二氧化碳和氨的酶,其活性与土壤氮素转化密切相关。在旱地土壤中,0 ~ 20 cm 土层脲酶活性普遍高于 20 ~ 40 cm(图 1)。小麦不同生育期内上、下两层有比较一致的规律是:脲酶活性有两个高峰期,即拔节期和灌浆期,并以灌浆期脲酶活性最高;氮素形态对脲酶的影响各处理间差异不显著,灌浆期酰胺态氮处理的脲酶活性显著高于其它施肥处理和对照;脲酶活性强,利于土壤氮素水解转化,提高土壤的矿质态氮的供应能力,满足小麦拔节期到灌浆期的快速生长对氮素的需求,利于小麦高产。

2.2 氮肥形态对小麦不同生育期土壤蛋白酶活性的影响

由图 2 可知,小麦不同生育期蛋白酶活性也有两个高峰期,即返青期和灌浆期,并以灌浆期土壤蛋白酶活性较高,拔节和孕穗期处在折线的谷底。这两个时期,正值小麦营养生长和生殖生长的时期,植物体内氮素用于合成蛋白质,供细胞大量的增值,故

蛋白酶活性低。灌浆到成熟期蛋白酶活性直线下降。同一生育期的不同土层蛋白酶活性平均值差异不大。从氮肥形态对土壤蛋白酶活性的影响来看,以施酰胺态氮肥的酶活性最高,其次是氯化铵,不施肥的最低。

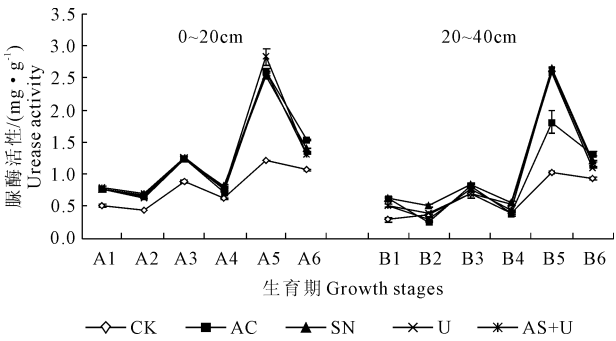


图 1 氮肥形态对小麦生育期土壤脲酶活性的影响

Fig.1 Urease activity in soils as affected by N fertilizer forms during growth season of wheat

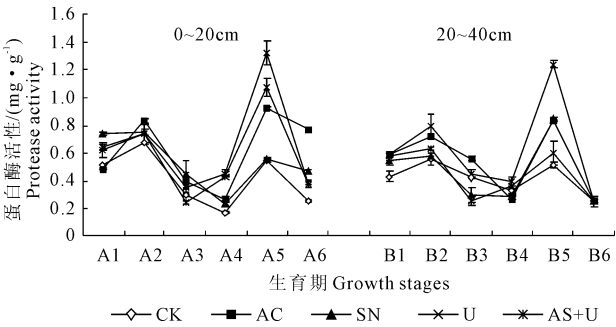


图 2 氮肥形态对小麦生育期土壤蛋白酶活性的影响

Fig.2 Protease activity in soils as affected by N fertilizer forms during growth season of wheat

2.3 氮肥形态对小麦不同生育期土壤蔗糖酶活性的影响

由图 3 可知,0~20 cm 土壤蔗糖酶活性值 18~80 mg·g⁻¹ 范围内,整个生育期酶活性先降后升再降,型似倒‘S’;以灌浆期最高,返青期最低。施氮可以显著提高蔗糖酶活性,0~20 cm、20~40 cm 酶活性分别提高 43.6%、30.2%。氮肥形态对蔗糖酶活性的影响是,0~20 cm 以混合氮、酰胺态氮和硝态氮较高,三者活性接近,比对照高约 50%,20~40 cm 以铵态氮酶活性最高,比对照高 65.6%。

2.4 氮肥形态对小麦不同生育期土壤脱氢酶活性的影响

由图 4 可知,小麦不同生育期土壤脱氢酶活性表现为先降后平灌浆后又回升,到成熟期基本与越冬期持平,变化曲线似‘U’型;表层酶活性显著高于对照,以施铵态氮和硝态氮土壤脱氢酶活性高,其次是混合氮和酰胺态氮。酶活性范围在 0.01~0.20

μL·g⁻¹ 范围内,土壤表层活性高,0~20 cm 酶活性是 20~40 cm 的 2 倍。

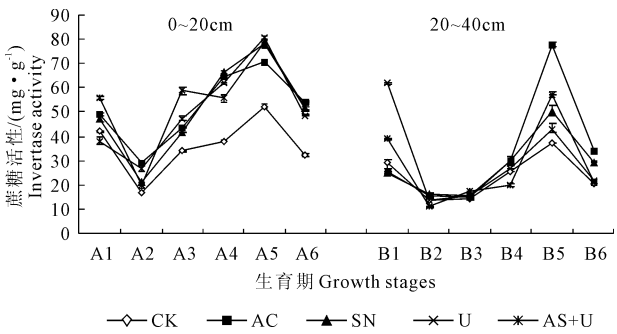


图 3 氮肥形态对小麦生育期土壤蔗糖酶活性的影响

Fig.3 Invertase activity in soils as affected by N fertilizer forms during growth season of wheat

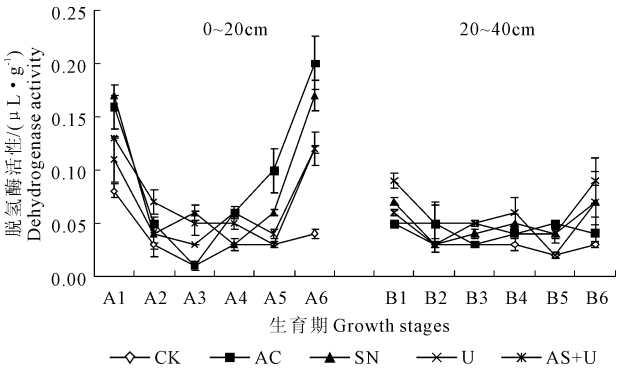


图 4 氮肥形态对小麦生育期土壤脱氢酶活性的影响

Fig.4 Dehydrogenase activity in soils as affected by N fertilizer forms during growth season of wheat

2.5 氮肥形态对小麦不同生育期土壤过氧化氢酶活性的影响

过氧化氢酶是土壤中重要的氧化还原酶,在一定程度上表征土壤腐化强度和有机质积累程度。据报道过氧化氢酶活性与土壤有机质转化速度密切相关^[18-20]。由图 5 看出,在该试验条件下,土壤过氧化氢酶的活性范围在 2~10 mg·g⁻¹ 范围内,酶活性特征是从越冬期开始逐渐上升,到拔节期达到最高,且上层平均高于下层 16%;施氮对氧化还原酶活性有显著影响,平均比对照高 33.8%;表层以拔节期最高,下层以拔节期硝态氮处理最高。总之施氮肥能改善氧化还原酶活性,提高原土壤有机质的腐解,增强土壤的供肥过程。

2.6 氮肥形态对小麦土壤酶活性变化的影响

酶是土壤各种生化反应的催化剂,其活性受土壤水分、温度、植物种类及土层深度等因素的影响,变异系数是表征酶稳定性的重要指标。在旱地小麦生态条件下,脲酶活性平均为 1.02 mg·g⁻¹,变异系数(CV)范围为 0.40~0.91,受土层和氮肥影响较

大,0~20 cm 活性高于 20~40 cm,施肥比对照表土酶活性提高 60.3%,施酰胺态氮肥土壤酶活性大于其它处理,其次是硝态氮肥。蛋白酶活性平均为 0.51 mg·g⁻¹,变异系数平均 0.46,施肥处理比对照平均提高 36.0%。蔗糖酶活性平均为 0.45 mg·g⁻¹,酶活性施氮比对照平均高 36.7%,变异范围小于脲酶而大于蛋白酶和脱氢酶。脱氢酶活性平均为0.06 μL·g⁻¹,变异系数为 0.51,施肥比对照脱氢酶活性平均提高 1 倍。过氧化氢酶活性平均为 6.09 mg·g⁻¹,受施肥影响最小,施肥比对照平均提高 33.8%,是 5 种酶中最稳定的一个,变异系数为 0.30 左右。5 种酶活性变异系数的平均值大小顺序是:脲酶>脱氢酶>蛋白酶>蔗糖酶>过氧化氢酶,综

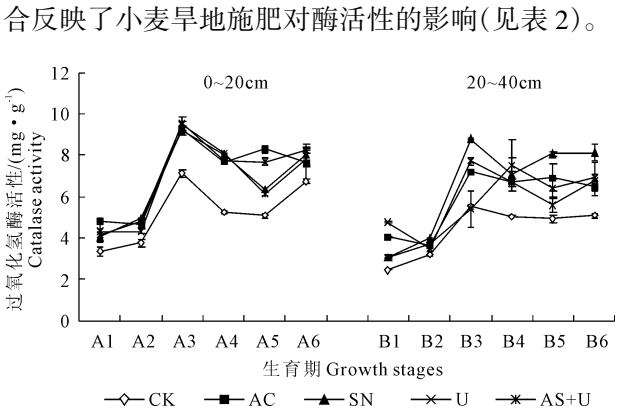


图 5 氮肥形态对小麦生育期土壤过氧化氢酶活性的影响
Fig.5 Catalase activity in soils as affected by N fertilizer forms during growth season of wheat

表 2 不同氮肥处理下土壤酶活性的变化												
Table 2 The changes of soil enzyme activities under different N fertilizer forms												
处理 Treatment	土层 Soil layer /cm	脲酶 Urease		蛋白酶 Protease		蔗糖酶 Invertase		脱氢酶 Dehydrogenase		过氧化氢酶 Catalase		
		平均 Mean /(mg·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	CV	平均 Mean /(mg·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	CV	平均 Mean /(mg·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	CV	平均 Mean /(μL·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	CV	平均 Mean /(mg·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	CV	
CK	0~20	0.78±0.13	0.40	0.41±0.08	0.48	36.04±4.78	0.32	0.04±0.01	0.64	5.22±0.63	0.29	
	20~40	0.61±0.30	0.59	0.61±0.11	0.43	51.79±6.09	0.29	0.10±0.03	0.74	7.23±0.85	0.29	
AC	0~20	1.24±0.29	0.57	0.53±0.08	0.37	50.86±8.08	0.39	0.10±0.03	0.66	6.59±0.84	0.31	
	20~40	0.87±0.33	0.65	0.65±0.15	0.56	50.50±7.59	0.37	0.07±0.02	0.56	7.06±0.92	0.32	
SN	0~20	1.24±0.29	0.58	0.61±0.13	0.51	53.42±7.64	0.35	0.08±0.02	0.52	6.75±0.85	0.31	
	20~40	0.61±0.13	0.51	0.42±0.03	0.27	23.49±3.67	0.38	0.03±0.00	0.31	4.37±0.51	0.29	
U	0~20	0.87±0.24	0.68	0.55±0.10	0.44	33.02±9.43	0.70	0.05±0.01	0.35	5.84±0.64	0.27	
	20~40	1.06±0.33	0.77	0.47±0.09	0.50	27.86±5.13	0.45	0.05±0.01	0.33	6.52±0.99	0.37	
AS+U	0~20	0.97±0.34	0.86	0.62±0.15	0.58	30.56±7.54	0.60	0.06±0.01	0.54	5.83±0.64	0.27	
	20~40	0.96±0.36	0.91	0.48±0.09	0.46	27.69±7.01	0.62	0.05±0.01	0.41	5.51±0.73	0.33	

注:表中数据为平均值±标准误。 Note: Values are means±SD.

3 结 论

1) 麦田土壤酶活性随小麦生育的变化其规律表现各异。脲酶、蛋白酶活性随小麦生育期推进呈现双峰曲线,蔗糖酶先降后升再降呈倒‘S’型曲线,脱氢酶在越冬、成熟期高,其它生育期低,变化曲线似‘U’型,过氧化氢酶活性在返青后急剧上升,拔节后缓降。

2) 酶活性随土壤深度增加而降低,0~20 cm 普遍高于 20~40 cm,脱氢酶上、下层变幅最大。

3) 施肥可以提高土壤酶活性,可使脲酶活性提高 60.3%,蛋白酶活性平均提高 36.0%,蔗糖酶活性平均提高 36.7%,脱氢酶活性平均提高 1 倍,过氧化氢酶平均提高 33.8%;5 种酶活性变异系数的平均值大小顺序是:脲酶>脱氢酶>蛋白酶>蔗糖酶>过氧化氢酶。

氮肥形态对小麦不同生育期 5 种土壤酶的影响各异,没有一定的规律。

参 考 文 献:

[1] 周礼恺.土壤酶活性在评价土壤肥力水平中的作用[J].土壤学报,1983,20(4):413-417.

[2] 王 娟,谷雪景,赵 吉.羊草草原土壤酶活性对土壤肥力的指示作用[J].农业环境科学,2006,25(4):934-938.

[3] 王 灿,王德建,孙瑞娟,等.长期不同施肥方式下土壤酶活性与肥力因素的相关性[J].生态环境,2008,17(2):688-692.

[4] Paz Jimenez M D, Horra A M, Peuzzo L, et al. Soil quality: a new index based on micr-obiologicaland biochemical parameters[J]. Biology and Fertility of Soils,2002,35:302-306.

[5] 邱阳,王亚军,谢忠奎,等.砾石覆盖对农田土壤有机碳、微生物和土壤酶活性的影响[J].西北农业学报,2011,20(10):176-180.

[6] 苗 琳,王 立,黄高宝.保护性耕作对旱地麦田土壤酶活的影响[J].干旱地区农业研究,2009,27(1):6-11.

- concentrations of proline and other solutes in growing regions of young barley leaves[J]. J Exp Bot, 1985,36:1716-1725.
- [12] Levy D. Water deficit enhancement of proline and amino nitrogen accumulation in potato plants and its association with susceptibility to drought[J]. Physiol Plant, 1983,57:169-173.
- [13] Karamanos A, Drossopoulos J B, Nivais C A. Free proline accumulation during development of two wheat cultivars with water stress[J]. J Agric Sci, 1983,100:429-439.
- [14] 许 聪,吴万春.海南岛杂草稻的生态考察和鉴定[J].中国水稻科学,1996,10(4):247-249.
- [15] 张忠林,谭学林,邓安凤.杂草稻种质资源的综合评价[J].植物遗传资源科学,2002,3(4):47-50.
- [16] 余柳青, Mortimer A M, 玄松南, 等. 杂草稻落粒梗的抗逆境特性研究[J].应用生态学报,2005,16(4):717-720.
- [17] 张丽丽,马殿荣,林志强,等.耐盐杂草稻幼苗对 NaCl 胁迫响应及其生理基础[J].华北农学报,2010,25(4):123-129.
- [18] Vinod K S, Nilda R B, Marites A S, et al. Polymorphisms in the ALS gene of weedy rice (*Oryza sativa* L.) accessions with differential tolerance to imazethapyr[J]. Crop Prot, 2010,29:336-341.
- [19] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000:260-261.
- [20] 郝建军,刘延吉.植物生理学实验技术[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,2001:180-181.
- [21] Couper A, Eley D. Surface tension of polyethylene glycolsolutions [J]. J Polym Sci, 1984,3:345-349.
- [22] Menconi M, Sgherri CLM, Pinzino C, et al. Activated oxygen production and detoxification in wheat plants subjected to a water deficit programme[J]. J Exp Bot, 1995,46:1123-1130.
- [23] McCue K F, Hanson A D. Drought and salt tolerance: towards understanding and application[J]. Trends Biotechnol, 1990,8:358-362.
- [24] Dwivedi S, Kar M, Mishra D. Biochemical changes in excised leaves of *Oryza sativa* subjected to water stress[J]. Physiol Plant, 1979,45:35-40.
- [25] Yancey P H, Clark M E, Hand S C, et al. Living with water stress: evolution of osmolyte systems[J]. Science, 1982,217:1214-1217.
- [26] Foyer C H, Noctor G. Oxidant and antioxidant signalling in plants: a re-evaluation of the concept of oxidative stress in a physiological context[J]. Plant Cell Environ, 2005,28:1056-1071.
- [27] Riazi A, Matsuda K, Arslan A. Water-stress induced changes in concentrations of proline and other solutes in growing regions of young barley leaves[J]. J Exp Bot, 1985,36:1716-1725.
- [28] Shalata A, Tal M. The effect of salt stress on lipid peroxidation and antioxidants in the leaf of the cultivated tomato and its wild salt-tolerant relative *Lycopersicon pennellii*[J]. Physiol Plant, 1998,104:169-174.
- [29] Mallick N, Mohn F H. Reactive oxygen species: response of algal cells[J]. Journal of Plant Physiol, 2000,157:183-193.
- [30] Demiral T, Turkan I. Comparative lipid peroxidation, antioxidant systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance[J]. Environ Exp Bot, 2005,53:247-257.
- [31] Sekmen A H, Turkan I, Takio S. Differential responses of antioxidative enzymes and lipid peroxidation to salt stress in salt-tolerant *Plantago maritima* and salt-sensitive *Plantago media*[J]. Physiol Plant, 2007,131:399-411.
- [32] Dieter Groden, Erwin Beck. H₂O₂ destruction by ascorbate-dependent systems from chloroplasts[J]. BBA, 1979,546:426-435.
- [33] Elstner E F. Oxygen activation and oxygen toxicity[J]. Annu Rev Plant Physiol, 1982,33:73-96.
- [34] Reddy A R, Chaitanya K V, Vivekanandan M. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants [J]. J Plant Physiol, 2004,161:1189-1202.
- [35] Supratim Basu, Aryadeep Roychoudhury, Progya Paromita Saha, et al. Differential antioxidative responses of indica rice cultivars to drought stress[J]. Plant Growth Regul, 2010,60:51-59.
- [36] 商 奇.PEG6000 模拟干旱胁迫对水稻蛋白质组的影响及差异蛋白功能分析[D].扬州:扬州大学,2009.

(上接第 102 页)

- [7] 马冬云,郭天财,宋 晓,等.尿素施用量对小麦根际土壤微生物数量及土壤酶活性的影响[J].生态学报,2007,27(12):5221-5228.
- [8] 温晓霞,殷瑞敬,高茂盛,等.不同覆盖模式下旱作苹果园土壤酶活性和微生物数量时空动态研究[J].西北农业学报,2011,20(11):82-88.
- [9] 沈 宏,曹志洪,徐本生.玉米生长期土壤微生物量与土壤酶变化及其相关性研究[J].应用生态学报,1999,10(4):471-474.
- [10] 高 明,周保同,魏朝富,等.不同耕作方式对稻田土壤动物、微生物及酶活性的影响研究[J].应用生态学报,2004,15(7):1177-1181.
- [11] 王 云,韩 宾,史忠强,等.保护性耕作对土壤微生物特性及酶活性的影响[J].水土保持学报,2006,20(4):120-122,142.
- [12] 顾美英,徐万里,茆 军,等.连作对新疆绿洲棉田土壤微生物数量及酶活性的影响[J].干旱地区农业研究,2009,27(1):1-5,11.
- [13] 娜布其,赵建宁,李 刚,等.转双价(Bt + CpTi)棉种植对土壤速效养分和酶活性的影响[J].农业环境科学学报,2011,30(5):930-937.
- [14] 鲍士旦.土壤农化分析(第三版)[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [15] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986.
- [16] 姚应槐,黄昌勇.土壤微生物生态学及其实验技术[M].北京:科学出版社,2006.
- [17] 杨兰芳,曾 巧,李海波,等.紫外分光光度法测定土壤过氧化氢酶活性[J].土壤通报,2011,42(1):207-210.
- [18] 郑 勇,高勇生,张丽梅,等.长期施肥对旱地红壤微生物和酶活性的影响[J].植物营养与肥料学报,2008,14(2):316-321.
- [19] 王冬梅,王春枝,韩晓日,等.长期施肥对棕壤主要酶活性的影响[J].土壤通报,2006,37(2):263-267.
- [20] 李粉茹,于群英,邹长明.设施菜地土壤 pH 值、酶活性和氮磷养分含量的变化[J].农业工程学报,2009,25(1):217-222.