

不同母质类型水稻土酶活性及其与理化性质的关系*

于天一^{1,2} 逢焕成^{1†} 唐海明³ 任天志¹ 杨光立³
 李玉义¹ 肖小平³ 汤文光³ 陈阜²

(1 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081)

(2 中国农业大学农学与生物技术学院, 北京 100193)

(3 湖南省土壤肥料研究所, 湖南长沙 410125)

**SOIL ENZYME ACTIVITIES AND THEIR RELATIONSHIPS WITH SOIL
 PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES IN PADDY SOILS DERIVED FROM DIFFERENT
 PARENT MATERIALS UNDER DOUBLE-RICE CROPPING SYSTEM IN SOUTH CHINA**

Yu Tianyi^{1,2} Pang Huancheng^{1†} Tang Haiming³ Ren Tianzhi¹ Yang Guangli³

Li Yuyi¹ Xiao Xiaoping³ Tang Wenguang³ Chen Fu²

(1 Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing × 100081, China)

(2 College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

(3 Hunan Soil and Fertilizer Institute, Changsha × 410125, China)

关键词 双季稻区; 母质类型; 水稻土; 土壤酶; 土壤理化性质

中图分类号 S154.3 **文献标识码** A

土壤酶来自土壤微生物、植物及动物活体或残体,是土壤生化过程的产物^[1],在催化土壤中有机残留物的分解以及促进养分循环中起重要作用^[2-3]。土壤酶与土壤中几种重要的营养元素(氮、磷、碳)的矿化有关,而且土壤酶的变化速度要快于理化性质,因此常常被用来作为反映土壤质量的敏感指标^[4-5]。近年来国内外学者就单一土壤条件下不同灌溉方式^[6]、施肥制度^[7-9]、耕作措施^[5,10]及轮作制度^[11-12]对土壤酶活性的影响做了大量研究。而关于不同土壤类型条件下的土壤酶活性尚缺乏深入研究。

湖南省是典型的双季稻区,具有水稻土成土母质多样的特点,根据成土母质对土壤发育的不同影响,将全省地表成土母质分为 7 大类:花岗岩风化物,板、页岩风化物,砂岩风化物,石灰岩风化物,紫色砂、页岩风化物,第四纪红色黏土,近代河流冲积

物和湖积物。不同母质在成土过程中对土壤理化及生物学性质有较深刻的影响,土壤性质的不同对土壤酶活性产生的影响不同。本文选取湖南双季稻区具有代表性的 6 种母质发育的水稻土为对象,在 7 年定位试验的基础上研究其土壤酶活性的差异,探讨土壤酶与土壤理化性质之间的关系,为湖南省不同母质类型下水稻土质量提升及双季稻生产的可持续发展提供参考。

1 材料与amp;方法

1.1 试验区概况

试验在湖南省土壤肥料研究所网室进行(28°11'N,113°04'E)。试验地年降水量 1 200 ~ 1 700 mm,年均气温 16 ~ 18℃,≥10℃的活动积温

* 公益性行业(农业)科研专项经费项目(201103001)资助

† 通讯作者, E-mail: hcpang@caas.ac.cn

作者简介:于天一(1984—),男,山东青岛人,博士研究生,主要从事作物生理生态及农作制度研究。E-mail: tianyi_1984@126.com

收稿日期:2012-12-28;收到修改稿日期:2013-02-18

5 000 ~ 5 800 °C, 全年日照时数 1 296 h, 无霜期 260 ~ 310 d, 属于典型的亚热带季风湿润气候。试验小区为防渗水泥池, 每个小区面积为 1.65 m² (长 × 宽 × 高, 165 cm × 100 cm × 140 cm), 设有可封堵的排水口和灌水口。水泥池以鹅卵石垫底 (厚度为 40 cm), 上层填装 90 cm 厚原状土壤。

1.2 试验设计

试验设 6 个处理, 为湖南双季稻区典型母质发育的水稻土, 分别为: (1) 花岗岩风化物发育的麻沙泥 (granitic sandy soil, GSS), (2) 石灰岩风化物发育的灰泥田 (grey clayey soil, GCS), (3) 紫色页岩风化物发育的紫泥田 (purple clayey soil, PCS), (4) 第四纪红土发育的红黄泥田 (red yellow clayey soil, RCS), (5) 板、页岩风化物发育的黄泥田 (yellow clayey soil, YCS), (6) 河流冲积物发育的河沙泥 (alluvial sandy soil, ASS)。

2004 年春将 6 种土壤置水泥池内, 重复 4 次, 随机区组排列。稻田种植制度为双季稻连作。各处理的供试水稻品种、施肥、灌水及其他农事操作相同, 具体情况如下: 于每年 4 月中旬播种早稻, 5 月上旬翻耕、施肥, 基肥施 N 103.5 kg hm⁻², P₂O₅ 45 kg hm⁻², K₂O 67.2 kg hm⁻², 施基肥后 2 d 左右插秧 (行距 20 cm, 株距 30 cm), 插秧 7 d 后追施 N 69 kg hm⁻²。7 月中旬收获, 收获早稻后部分秸秆还田, 还田量为 7 500 kg hm⁻²。于 6 月下旬播种晚稻, 7 月中旬翻耕、插秧 (行距 20 cm, 株距 30 cm), 基肥施 N 132.5 kg hm⁻², P₂O₅ 45 kg hm⁻², K₂O 67.2 kg hm⁻², 插秧 7 d 后追施 N 88.3 kg hm⁻²。其中氮肥为尿素 (N ≥ 46%), 磷肥为过磷酸钙 (P₂O₅ ≥ 12%), 钾肥为氯化钾 (K₂O ≥ 60%)。10 月中旬收获, 晚稻秸秆不还田。采用传统的前期淹水、中期烤田和后期干湿交替的水分管理模式, 其他管理措施同常规大田生产。第 2 年轮作周期以后的试验均与第 1 年轮作周期基本相同。

1.3 样品采集与分析

在 2011 年晚稻收获后, 用五点取样法采集每小区 0 ~ 20 cm 的耕层非根际土壤, 所得的新鲜土样用四分法分出两份, 一份风干供理化性质测试, 另一份鲜样过 10 目筛保存在 4 °C 冰箱中, 在一周之内完成土壤酶活性测定。

土壤有机质用重铬酸钾容量法; 全氮用凯氏定氮法测定; 全磷用 NaOH 熔融-钼锑抗比色法测定; 有效磷用 Olsen 法测定, 速效钾用 NH₄OAc 浸提-火焰光度法测定; 土壤 pH 用酸度计法测定; 鲜土速效氮 (硝态氮和铵态氮) 用 2 mol L⁻¹ KCl 浸提-FIA star5000 连续流动注射分析仪测定; 机械组成采用比重计法测定。土壤脲酶活性用苯酚-次氯酸钠比色法测定, 蔗糖酶活性用 3, 5-二硝基水杨酸比色法测定, 酸性磷酸酶活性用磷酸苯二钠比色法, 过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法测定。

1.4 数据处理

采用 DPS6.85 软件进行数据分析, 采用 LSD 法进行差异显著性检验, 用 EXCEL 软件作图。

2 结果与讨论

2.1 不同母质类型的土壤理化性质

定位试验 7 年后不同母质类型水稻土理化性质见表 1。河流沉积物母质发育的水稻土全量养分及有机质含量较为缺乏, 但其土壤速效氮 (硝态氮、铵态氮) 含量较高。石灰岩及紫色页岩母质发育的水稻土速效氮、有效磷含量较低。花岗岩、第四纪红土及板页岩母质发育的水稻土养分含量较为均衡。

石灰岩、第四纪红土及板页岩母质发育的水稻土机械组成中黏粒及粉粒含量较高, 砂粒含量较低, 说明这 3 种母质发育的土壤质地较为黏重, 而花岗岩、紫色土及河流沉积物 3 种母质发育的水稻土质地较轻。

表 1 不同母质类型水稻土的理化性质

处理	pH	有机质 (g kg ⁻¹)	全氮 (g kg ⁻¹)	全磷 (g kg ⁻¹)	铵态氮 (mg kg ⁻¹)	硝态氮 (mg kg ⁻¹)	有效磷 (mg kg ⁻¹)	速效钾 (mg kg ⁻¹)	机械组成		
									黏粒 (%)	粉粒 (%)	砂粒 (%)
GSS	4.80 ± 0.02	34.6 ± 3.6	2.07 ± 0.10	0.73 ± 0.03	7.27 ± 0.26	2.01 ± 0.02	22.6 ± 2.4	187.6 ± 18.4	30.2 ± 0.2	32.4 ± 0.4	37.4 ± 0.2
GCS	7.00 ± 0.10	25.5 ± 2.7	1.65 ± 0.11	0.69 ± 0.06	4.38 ± 0.36	1.47 ± 0.01	11.9 ± 1.2	185.6 ± 12.4	48.8 ± 2.4	38.0 ± 2.7	13.2 ± 2.1
PCS	7.80 ± 0.23	26.3 ± 4.3	1.94 ± 0.12	0.77 ± 0.02	3.59 ± 0.33	1.08 ± 0.02	12.3 ± 1.3	178.7 ± 10.3	36.0 ± 3.7	43.1 ± 3.7	20.9 ± 2.0
RCS	4.80 ± 0.02	21.2 ± 2.1	1.37 ± 0.03	0.83 ± 0.08	10.49 ± 0.10	2.22 ± 0.03	29.5 ± 3.7	180.2 ± 5.4	40.4 ± 4.2	38.5 ± 4.0	21.0 ± 2.3
YCS	4.70 ± 0.11	35.0 ± 2.6	2.25 ± 0.21	0.81 ± 0.01	7.53 ± 1.02	1.96 ± 0.11	22.8 ± 2.4	199.5 ± 2.0	42.9 ± 3.6	40.1 ± 4.1	17.0 ± 1.0
ASS	4.80 ± 0.04	18.8 ± 1.9	1.17 ± 0.13	0.58 ± 0.02	9.40 ± 0.02	2.16 ± 0.12	20.5 ± 0.2	151.4 ± 3.7	26.2 ± 2.6	36.4 ± 2.0	37.4 ± 3.0

注: 表中数据为平均值 ± 标准差

2.2 不同母质类型对土壤酶活性的影响

不同母质类型土壤酶活性见图 1。不同母质类型对土壤蔗糖酶活性的影响达到显著水平 ($p < 0.05$),对酸性磷酸酶、脲酶及过氧化氢酶活性的影响达到极显著水平 ($p < 0.01$)。

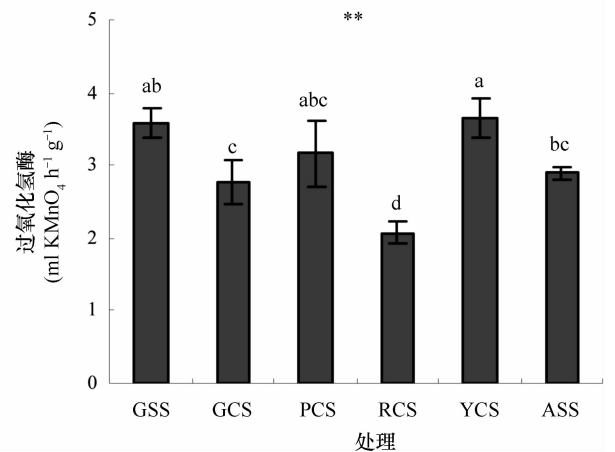
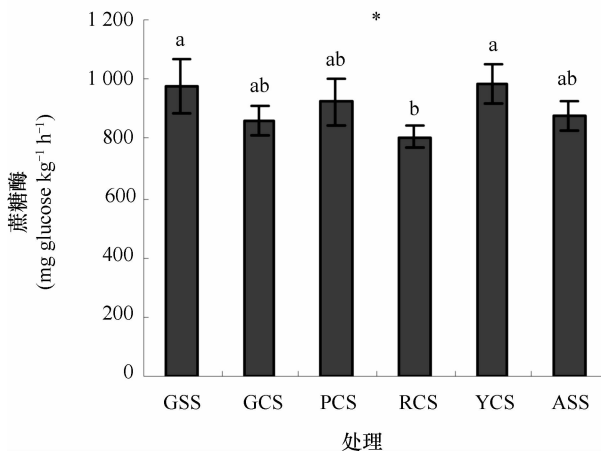
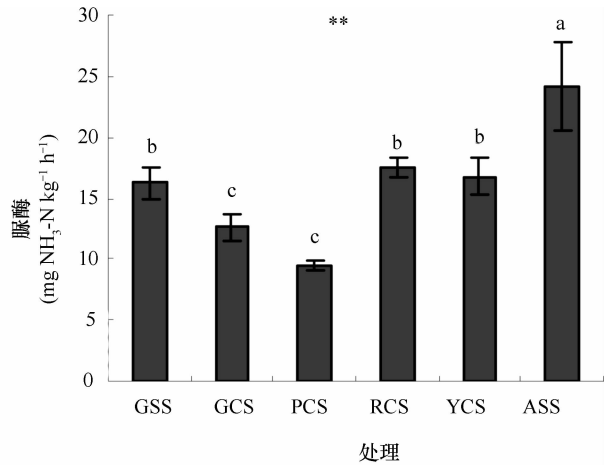
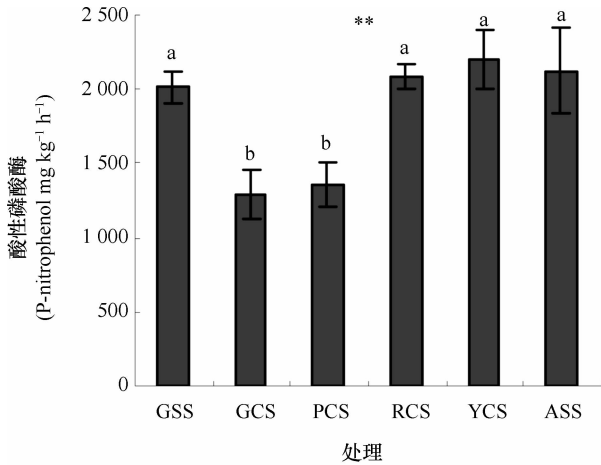
土壤酸性磷酸酶是一类催化土壤有机磷化合物矿化的酶,其活性高低直接影响着土壤中有机磷的分解转化及其生物有效性^[13]。本研究中板页岩及紫色页岩母质发育的水稻土酸性磷酸酶活性较低,显著低于花岗岩、第四纪红土、板页岩及河流沉积物 4 种母质发育的水稻土,而这 4 种母质的水稻土之间酸性磷酸酶活性差异不显著。

土壤脲酶是一种酰胺酶,直接参与尿素形态转化过程,能酶促有机质分子中肽键的水解,其活性高低可以反映出土壤供氮水平^[14]。本研究中河流沉积物母质发育的水稻土脲酶活性显著高于其他 5 种母质发育的水稻土。石灰岩及紫色页岩母质发育的土壤脲酶活性较低,显著低于其他处理。花岗

岩、板页岩及第四纪红土 3 处理的脲酶活性处于中等水平。

土壤蔗糖酶(或转化酶)是参与土壤有机碳循环的酶,其活性强弱可以反映出土壤熟化程度和肥力高低水平,对增加土壤中易溶性营养物质起着重要作用^[1]。本研究中花岗岩及板页岩两种母质发育的水稻土蔗糖酶活性最高,显著高于蔗糖酶活性最低的第四纪红土母质发育的水稻土。石灰岩、紫色页岩及河流沉积物 3 处理蔗糖酶活性处于中等水平。

过氧化氢酶与土壤有机质的转化有密切关系,能促进过氧化氢分解为水和氧,解除过氧化氢的毒害作用,在一定程度上能表征土壤生物氧化过程的强度^[15]。本研究中第四纪红土和板页岩母质发育的水稻土过氧化氢酶活性较高,显著高于过氧化氢酶活性最低的第四纪红土母质发育的水稻土。石灰岩、紫色土及河流沉积物 3 种母质发育的水稻土过氧化氢酶活性处于中等水平。



注:无相同字母表示处理间差异显著 ($p < 0.05$)

图 1 不同母质类型对水稻土酸性磷酸酶、脲酶、蔗糖酶及过氧化氢酶的影响

上述结果表明,石灰岩及紫色页岩母质发育的水稻土脲酶及酸性磷酸酶活性均处于较低水平。第四纪红土母质发育的水稻土蔗糖酶及过氧化氢酶活性均处于较低水平。河流沉积物母质发育的水稻土有利于酸性磷酸酶及脲酶活性的增加。花岗岩、板页岩母质发育的水稻土酸性磷酸酶、蔗糖酶及过氧化氢酶活性均处于较高水平。不同母质类型水稻土理化性质的不同是造成土壤酶差异的主要原因。

2.3 不同母质类型土壤酶活性的主成分分析

对不同母质发育的水稻土的土壤酶活性进行主成分分析,以便能筛选出产生影响的主要土壤酶指标。表 2 显示,第一主成分的方差贡献率为 50.79%,加上第二主成分的方差贡献率达 95.54%。根据主成分分析原理,当累积方程贡献率大于 85%时,即可用于反映系统的变异信息,可见用第一、第二主成分这两个因素即可代表系统内的变异状况。由主成分组成因素分析可知,第一主成分主要反映了蔗糖酶及过氧化氢酶活性的变异。第二主成分主要反映了酸性磷酸酶及脲酶活性的变异。由酶活性变量的权重系数和特征根计算可得到土壤总体酶活性信息系统的第二、一主成分方程:

$$Y_1 = 0.06X_1 - 0.05X_2 + 0.37X_3 + 0.37X_4$$

$$Y_2 = 0.85X_1 + 0.85X_2 - 0.03X_4$$

利用上述两个主成分方程,分别结合方差贡献率(表 2),最终构建出土壤总体酶活性状况的综合评价模型:

$$Y = 0.4300X_1 + 0.3715X_2 + 0.1967X_3 + 0.1827X_4$$

式中 Y_1 、 Y_2 、 Y 为总体酶活性, X_1 为酸性磷酸酶活性, X_2 为脲酶活性, X_3 为蔗糖酶活性, X_4 为过氧化氢酶活性。从综合评价模型中可以看出酸性磷酸酶活性及脲酶活性所占比重较大,说明不同母质发育的水稻土酸性磷酸酶及脲酶作为综合评价土壤酶活性的指标要优于蔗糖酶及过氧化氢酶。

表 2 不同类型水稻土主成分特征根

项目	第一主成分	第二主成分
特征根	2.03	1.79
方差贡献率	50.79	44.74
累计方差贡献率	50.79	95.54

采用单一酶活性指标并不能涵盖全部或整体的酶信息,因此将标准化数据代入综合主成分表达

式中,得到各种母质类型土壤的综合得分,并进行排序(表 3),以便对不同母质类型水稻土的总体酶活性进行定量评价^[16]。综合得分排序为:板页岩 > 河流沉积物 > 花岗岩 > 第四纪红土 > 紫色页岩 > 石灰岩。其中板页岩及河流沉积物母质发育的水稻土的总体酶活性水平明显高于其他母质类型发育的水稻土。

表 3 不同水稻土主成分综合得分及排名

处理	综合得分	排序
GSS	0.562	3
GCS	-1.053	6
PCS	-0.918	5
RCS	-0.214	4
YCS	0.844	1
ASS	0.779	2

2.4 土壤酶活性与土壤理化性质之间的关系

表 4 显示,土壤蔗糖酶活性与有机质、全氮含量呈显著的正相关关系。脲酶活性与硝态氮、铵态氮含量呈显著的正相关关系,与 pH 呈显著的负相关关系。酸性磷酸酶活性与速效磷含量呈显著正相关关系,与 pH 呈显著负相关关系。说明土壤酸性磷酸酶、脲酶及蔗糖酶活性能够在一定程度上反映土壤理化性质的变化。土壤过氧化氢酶活性与各理化性质指标之间的关系均未达到显著水平,说明过氧化氢酶不能表征不同母质类型下土壤理化性质的变化。

表 4 土壤酶活性与理化性质指标之间的关系

	酸性磷酸酶	脲酶	蔗糖酶	过氧化氢酶
pH	-0.9097 *	-0.8107 *	-0.1093	-0.1031
有机质	0.3512	-0.3461	0.8677 *	0.8033
全氮	0.1884	-0.5514	0.8467 *	0.7696
全磷	0.3597	-0.4999	0.0970	-0.0607
铵态氮	0.7639	0.8382 *	-0.3060	-0.3148
硝态氮	0.8105	0.8600 *	-0.1364	-0.1319
有效磷	0.8836 *	0.5868	-0.1325	-0.2021
速效钾	0.2552	-0.5677	0.4601	0.3515
黏粒 (%)	-0.1999	-0.5466	-0.2101	-0.2626
粉粒 (%)	-0.3070	-0.5039	-0.1135	-0.1579
砂粒 (%)	0.2667	0.6129	0.2078	0.2653

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$

3 结 论

定位试验 7 年后,不同母质类型可以显著或极显著地影响水稻土蔗糖酶、酸性磷酸酶、脲酶及过氧化氢酶活性。其中酸性磷酸酶及脲酶作为综合评价土壤酶活性的指标要优于蔗糖酶及过氧化氢酶。不同母质类型水稻土对 4 种酶的影响不同。其中石灰岩及紫色页岩母质发育的水稻土脲酶及酸性磷酸酶活性均处于较低水平,第四纪红土母质发育的水稻土蔗糖酶及过氧化氢酶活性均处于较低水平,河流沉积物母质发育的水稻土有利于酸性磷酸酶及脲酶活性的增加,花岗岩、板页岩母质发育的水稻土有利于酸性磷酸酶、蔗糖酶及过氧化氢酶活性的增加。不同母质类型水稻土理化性质的不同是造成土壤酶差异的主要原因。不同母质水稻土土壤酶综合得分排序为:板页岩 > 河流沉积物 > 花岗岩 > 第四纪红土 > 紫色页岩 > 石灰岩。相关性分析表明,土壤蔗糖酶活性与有机质、全氮含量呈显著正相关;脲酶活性与硝态氮、铵态氮含量呈显著正相关,与 pH 呈显著负相关;酸性磷酸酶活性与速效磷含量呈显著正相关,与 pH 呈显著负相关。

致 谢 感谢湖南省土壤肥料研究所的孙继民博士对本研究中土壤酶活性的测试提供的帮助。

参 考 文 献

[1] 关松荫. 土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社, 1986

[2] McLatchey G P, Reddy K R. Regulation of organic matter decomposition and nutrient release in a wetland soil. *Journal of Environmental Quality*, 1998, 27(5): 1268—1274

[3] Ajwa H A, Dell C J, Rice C W. Changes in enzyme activities and microbial biomass of tall grass prairie soil as related to burning and nitrogen fertilization. *Soil Biology & Biochemistry*, 1999,

31(5): 769—777

- [4] Parthasarathi K, Ranganathan L S. Aging effect on enzyme activities in pressmud vermicasts of *Lampito mauritii* (Kinberg) and *Eudrilus eugeniae* (Kinberg). *Biology and Fertility of Soils*, 2000, 30(4): 347—350
- [5] 任万军, 黄云, 吴锦秀, 等. 免耕与秸秆高留茬还田对抛秧稻田土壤酶活性的影响. *应用生态学报*, 2011, 22(11): 2913—2918
- [6] 王波, 邓艳萍, 肖新, 等. 不同节水稻作模式对土壤理化特性和土壤酶活性影响研究. *水土保持学报*, 2009, 23(5): 219—222
- [7] 李晨华, 贾仲君, 唐立松, 等. 不同施肥模式对绿洲农田土壤微生物群落丰度与酶活性的影响. *土壤学报*, 2012, 49(3): 567—574
- [8] Ebhin M R, Chhonkar P K, Singh D, et al. Changes in soil biological and biochemical characteristics in a long-term field trial on a sub-tropical inceptisol. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 38(7): 1577—1582
- [9] 唐玉妹, 慈恩, 颜廷梅, 等. 太湖地区长期定位试验稻麦两季土壤酶活性与土壤肥力关系. *土壤学报*, 2008, 45(5): 1000—1006
- [10] Jin K, Sleutel S, Buchan D, et al. Changes of soil enzyme activities under different tillage practices in the Chinese Loess Plateau. *Soil & Tillage Research*, 2009, 104(1): 115—120
- [11] 符冠富, 王丹英, 徐春梅, 等. 稻田冬季保护性耕作对土壤酶活性以及稻米品质的影响. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15(3): 618—624
- [12] Riffaldi R, Saviozzi A, Levi M R, et al. Biochemical properties of a Mediterranean soil as affected by long-term crop management systems. *Soil & Tillage Research*, 2002, 67(1): 109—114
- [13] 沈菊培, 陈利军. 土壤磷酸酶活性对施肥-种植-耕作制度的响应. *土壤通报*, 2005, 36(4): 622—627
- [14] 王芳, 张金水, 高鹏程, 等. 不同有机物料培肥对渭北旱塬土壤微生物学特性及土壤肥力的影响. *植物营养与肥料学报*, 2011, 17(3): 702—709
- [15] 邱莉萍, 刘军, 王益权, 等. 土壤酶活性与土壤肥力的关系研究. *植物营养与肥料学报*, 2004, 10(3): 277—280
- [16] 和文祥, 谭向平, 王旭东, 等. 土壤总体酶活性指标的初步研究. *土壤学报*, 2010, 47(6): 1232—1236

(责任编辑: 卢 萍)