

长期定位施肥对太湖地区稻麦轮作土壤酶活性的影响^①

唐玉姝^{1,2}, 慈恩¹, 颜廷梅^{1*}, 魏朝富², 杨林章¹, 沈明星³

(1 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008; 2 西南大学资源与环境学院, 重庆 400716;

3 农业部苏州水稻土生态环境野外科学观测试验站, 江苏苏州 215001)

摘要: 对太湖地区 25 年长期定位试验田的稻麦两季土壤酶活性进行了测定分析。结果表明, 麦季不同施肥处理间的 5 种土壤酶活性变化没有明显的规律性; 无论是仅施化肥还是施有机肥加化肥, 稻季 5 种土壤酶活性的不同肥料配比处理之间绝大多数均无显著差异; 成对比较显示, 稻麦两季绝大多数相同肥料处理的酶活性之间没有显著差异, 仅有稻季猪粪加氮磷钾全施 (MNPK) 处理的酸性磷酸酶活性极显著高于麦季。分析差异不显著的原因, 可能与经过多年的长期定位培肥, 土壤储积酶已经达到“饱和”水平, 因此不会对外源肥料的施用产生显著响应有关。

关键词: 稻麦轮作; 土壤酶; 长期定位试验; 水稻土

中图分类号: S154.2

土壤酶活性与土壤诸多理化指标及生物性质相联系, 能够较全面且灵活可靠地反映出土壤生物学肥力质量变化和判别胁迫环境下以及人为扰动下土壤生态系统的响应机制^[1], 在一定程度上比静态的土壤理化性质更有实际意义。但其容易受到施肥, 耕作方式, 土壤物理、化学性状等的影响, 而长期定位试验可克服一些不稳定因素^[2], 能系统地研究土壤肥力演变和肥效变化规律, 也为深入研究不同措施对土壤酶活性影响及其机理提供了基础, 具有短期试验不具备的解释与回答问题的潜力^[3]。自 20 世纪 20 年代, 国内外学者^[4-9]已经对长期定位试验土壤酶活性进行了很多研究, 且主要集中在施用化肥或有机肥及其配比、不同轮作方式、土层深度或作物生长周期等对单一或几种土壤酶活性的影响。稻麦轮作是两个截然不同土壤环境的联结, 但目前极少有对长期定位试验稻麦两季各自的土壤酶活性体系进行系统对比的研究。对太湖地区 25 年长期定位试验田稻麦轮作两季的土壤酶活性进行分析比较, 以期找到长期轮作、季节变化和施肥配比等对其的影响, 为长期定位试验土壤酶活性综合研究提供一定理论依据和研究思路。

1 材料与方法

1.1 供试土壤概况

试验位于江苏省太湖地区苏州农科所长期定位试验田区 (31°32'45"N; 120°41'57"E)。供试土壤为黄土

沉积物发育而来的微酸性重壤质黄泥土, 该土壤占太湖地区耕地面积的 86%。试验开始时 (1980 年) 0~15 cm 耕层土壤的基本理化指标如下: pH 6.7, 体积质量 1.26 g/cm³, 有机质 24.2 g/kg, 全 N 1.43 g/kg, 全 P (P₂O₅) 0.98 g/kg, 速效 P (P₂O₅) 8.4 mg/kg, 速效 K 和缓效 K 分别为 127 和 237 mg/kg^[10]。有效态 B、Cu、Zn、Fe 分别为 0.21、4.91、146 和 129 mg/kg。

1.2 试验设计

试验为两因素随机区组设计, A 因素有两个处理, 即只施化肥区 (C) 和有机肥 (猪粪或豆饼) 加化肥区 (M)。B 因素有 7 个处理: 不施肥 (0)、单施 N 肥 (N)、N 肥加 P 肥 (NP)、N 肥加 K 肥 (NK)、P 肥加 K 肥 (PK)、NPK 3 种肥料全施 (NPK)、N 肥加稻草还田 (RN)。3 重复之间顺序排列, 小区面积为 20 m² (4 m × 5 m)。区间用花岗岩板材与水泥作永久性田埂分隔, 中间有灌渠通各小区。供试作物除 1993 年夏熟作物为油菜、2000 年为蚕豆以外, 其余均为稻麦轮作。除 1982 年为三熟制外, 其余均为二熟制。

各试验处理的肥料用量如表 1。

1.3 样品采集与测定

土壤样品分为稻麦两季进行采集。麦季采样时间为 2005 年 6 月小麦收割后, 稻季采样时间为 2005 年 11 月水稻收割后。每个小区用土钻在耕层 (0~15 cm) 分别按“S”形取 10 个点, 每 10 个点的土样组成一个混合样品。所得的新鲜土样用四分法分出两份,

①基金项目: 国家自然科学基金项目 (40371073)、江苏省自然科学基金项目 (BK2005169) 和国家科技支撑计划项目 (2006BAD17B06) 资助。

* 通讯作者 (tmyan@issas.ac.cn)

作者简介: 唐玉姝 (1982—), 女, 四川南充人, 硕士研究生, 主要从事区域水土资源管理研究。E-mail: t0803@tom.com

表 1 不同处理肥料用量 (kg/(hm²·y))

Table 1 Description of different fertilization treatments

化肥处理	肥料用量	有机肥加化肥处理	肥料用量
C0	对照 (不施肥)	M0	猪粪 (相当于 N 103.1, P 82.7 和 K 70.1)
CN	N 150 ~ 300	MN	猪粪 + CN
CNP	N 150 ~ 300 + P 55.8	MNP	猪粪 + CNP
CNK	N 150 ~ 300 + K 137.5	MNK	猪粪 + CNK
CPK	P 55.8 + K 137.5	MPK	猪粪 + CPK
CNPK	N 150 ~ 300 + P 55.8 + K 137.5	MNPK	猪粪 + CNPK
CRN	N 150 ~ 300 + 秸秆 4500 (相当于 N 40.6, P 5.5 和 K 59.8)	MRN	猪粪 + CRN

注：数据由扬州大学资环学院殷士学教授提供。

一份风干供理化性质测试，另一份鲜样过 10 目筛保存在 0~4℃ 冰柜中。

脲酶 (UR)、酸性磷酸酶 (ACP)、碱性磷酸酶 (ALP)、β-葡萄糖苷酶 (β-GLY) 和芳基硫酸酯酶活性 (ARL) 根据 Tabatabai^[11] 法进行测定。

1.4 数据分析

常规数据整理由 Excel 2003 完成；方差分析用 DPSv 3.01 完成；成对比较由 SPSS 13.0 完成，成对比较采用 t-检测法。

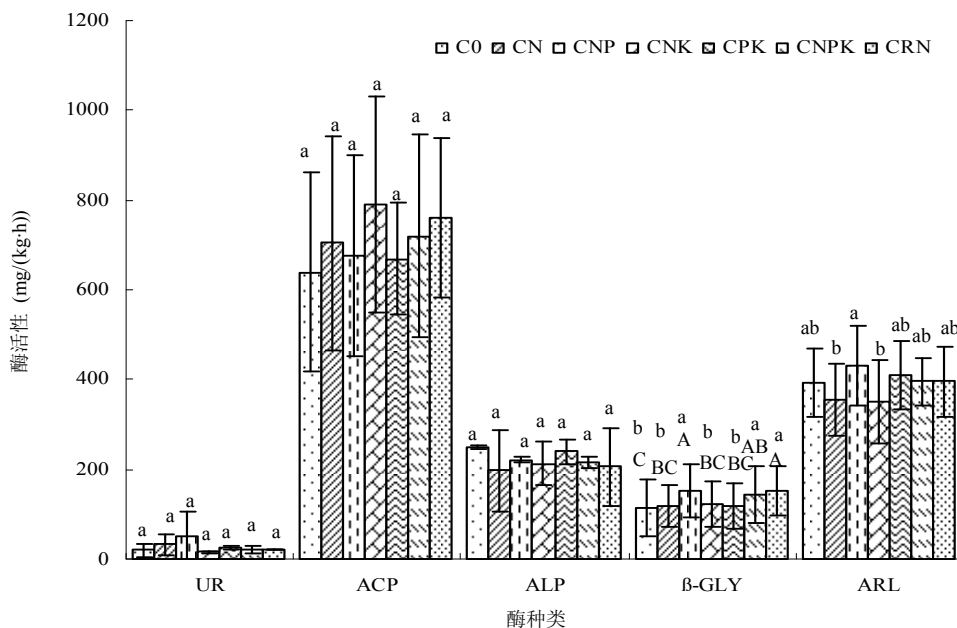
2 结果与分析

2.1 长期施肥对土壤酶活性的影响

2.1.1 长期施用化肥对土壤酶活性的影响 与 C0

处理相比：麦季 CNP、CRN 和 CNPK 处理的 β-葡萄糖苷酶活性有显著增加；CNP、CRN 处理其增加程度甚至达到了极显著水平，当季其他 4 种土壤酶活性的各处理与 C0 相比均无显著差异 (图 1)。稻季 5 种土壤酶活性的各施肥处理与 C0 相比均无显著差异 (图 2)。

不同化肥配比对土壤酶活性的影响：麦季 CNP、CRN 和 CNPK 处理的 β-葡萄糖苷酶活性分别显著高于 CNK、CN 和 CPK 处理，CNP、CRN 与 CNK、CN 和 CPK 之间甚至达到了极显著水平；麦季 CNP 处理的芳基硫酸酯酶活性显著高于 CN 和 CNK，当季其他 3 种土壤酶活性的不同化肥配比处理之间无显著差异 (图 1)。稻季 5 种土壤酶活性的不同化肥配比处理之间均无显著差异 (图 2)。



(UR: 脲酶; ACP: 酸性磷酸酶; ALP: 碱性磷酸酶; β-GLY: β-葡萄糖苷酶; ARL: 芳基硫酸酯酶。

不同小写字母表示 $p < 0.05$ 显著性差异水平；不同大写字母表示 $p < 0.01$ 极显著性差异水平，下同。)

图 1 长期施用化肥对麦季土壤酶活性的影响

Fig.1 Effect of long-term application of chemical fertilizers on soil enzyme activity during wheat growth season

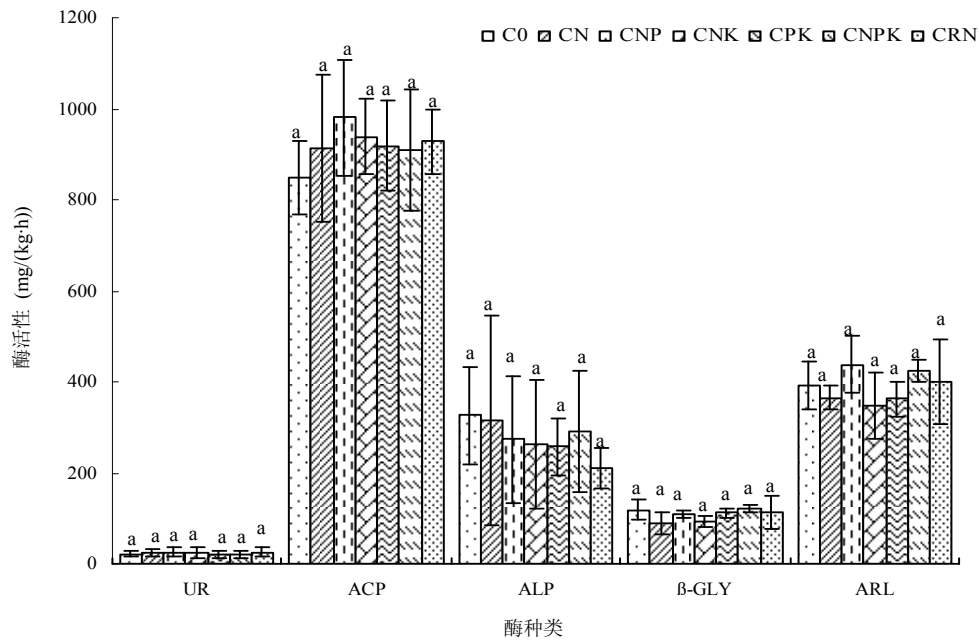


图 2 长期施用化肥对稻季土壤酶活性的影响

Fig. 2 Effect of long-term application of chemical fertilizers on soil enzyme activity during rice growth season

2.1.2 长期有机肥和化肥配施对土壤酶活性的影响

麦季各有机肥和化肥配施处理 5 种土壤酶活性与 M0 处理相比均无显著差异；稻季 MNP 处理的芳基硫酸酯酶活性显著低于 M0，当季其他 4 种土壤酶活性的各有机肥和化肥配施处理与 M0 处理相比均无显著差异（图 3、4）。

不同有机肥加化肥配比对土壤酶活性的影响：麦季 MPK 处理的碱性磷酸酶活性显著地高于 MN、MNP、MNK 及 MRN 处理，当季其他 4 种土壤酶活性的不同有机肥加化肥配比处理之间无显著差异；稻季 5 种土壤酶活性的不同有机肥加化肥配比处理之间均无显著差异（图 3、4）。

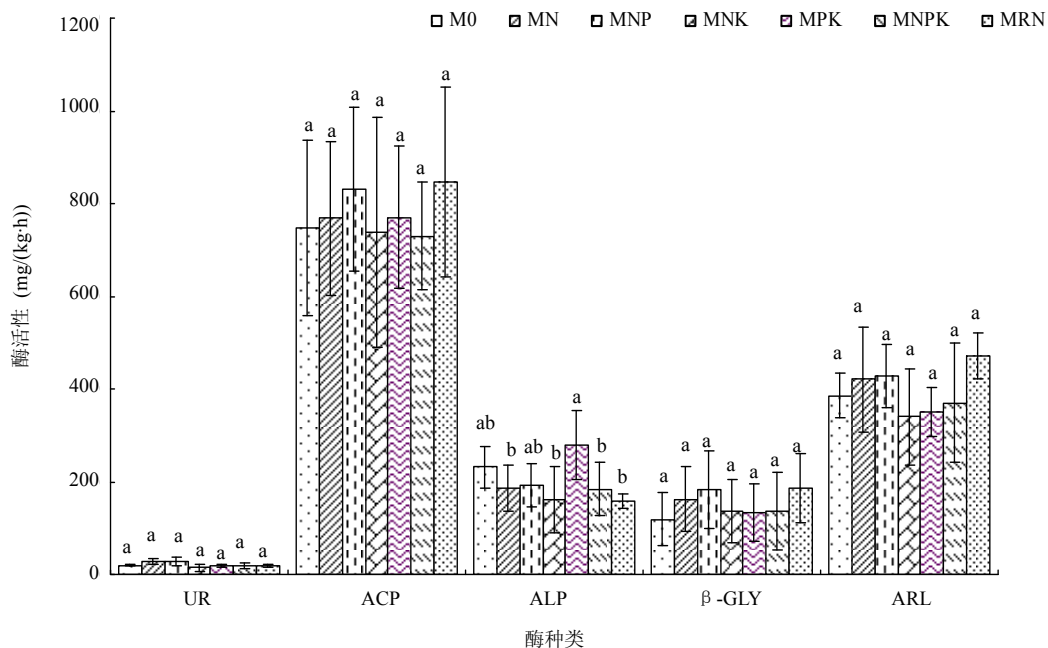


图 3 长期有机肥和化肥配施对麦季土壤酶活性的影响

Fig. 3 Effect of long-term co-application of organic fertilizers and chemical fertilizers on soil enzyme activity during wheat growth season

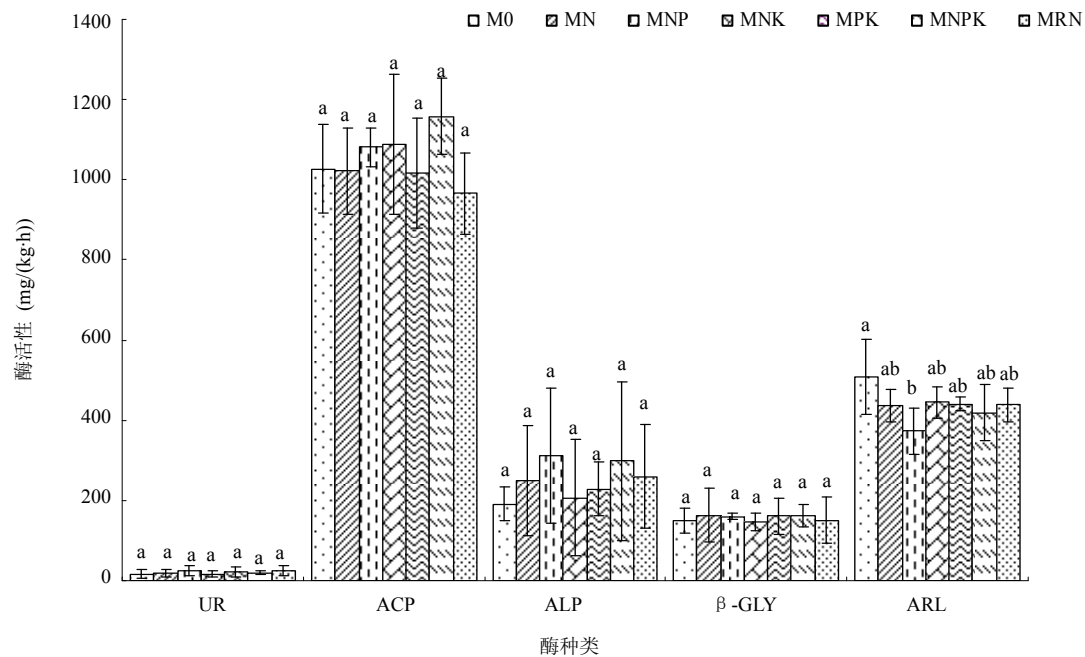


图 4 长期有机肥和化肥配施对稻季土壤酶活性的影响

Fig. 4 Effect of long-term co-application of organic fertilizers and chemical fertilizers on soil enzyme activity during rice growth season

2.2 长期施肥稻麦两季土壤酶活性对比

为了解季节变化对土壤酶活性的影响，将麦季与稻季 14 个处理的酶活性进行成对比较得知（表 2）：稻麦两季各处理的脲酶、碱性磷酸酶、β-葡萄糖苷酶和

芳基硫酸酯酶活性均没有显著差别；MNPK 处理其酸性磷酸酶的活性在稻麦两季存在极显著差异 ($p < 0.01$)，且稻季的酸性磷酸酶活性是极显著高于麦季。

表 2 长期试验稻麦两季土壤酶活性成对比较

Table 2 Paired-samples comparison of soil enzyme activity under wheat-rice rotation system in long-term experiment

处理（麦季-稻季）	成对比较的两尾检验值				
	UR	ACP	ALP	β-GLY	ARL
C0 - C0	0.653	0.325	0.350	0.921	0.984
CN - CN	0.527	0.406	0.571	0.503	0.905
CNP - CNP	0.469	0.272	0.596	0.354	0.943
CNK - CNK	0.239	0.505	0.498	0.446	0.996
CPK - CPK	0.430	0.147	0.614	0.837	0.357
CNPK - CNPK	0.312	0.449	0.462	0.544	0.562
CRN - CRN	0.412	0.125	0.978	0.514	0.970
M0 - M0	0.690	0.243	0.503	0.584	0.176
MN - MN	0.458	0.176	0.606	0.995	0.744
MNP - MNP	0.245	0.082	0.430	0.708	0.500
MNK - MNK	0.988	0.273	0.735	0.859	0.109
MPK - MPK	0.905	0.235	0.466	0.663	0.154
MNPK - MNPK	0.632	0.001**	0.499	0.727	0.713
MRN - MRN	0.328	0.300	0.344	0.690	0.576

注：** $p < 0.01$ 水平显著。

3 讨论与结论

无论是仅施化肥还是施有机肥加化肥, 稻季 5 种土壤酶活性的不同肥料配比处理之间绝大多数均无显著差异。即不同肥料比对稻季土壤酶活性没有显著的影响。这可能是由于在稻作淹水期间, 土壤中有有机物质大量积累, 与腐殖质复合的土壤酶总是处于物理性的被保护状态^[12], 能在较长时间内保持活性。且团粒结构丰富, 而团聚体的数量与土壤酶能否稳定存在于蛋白水解酶或其他环境因子的威胁中是至关重要的^[13]。并且经过多年的长期定位培肥, 稻季土壤具有相对麦季更为丰富的营养物质和稳定物质循环特征, 本身已经形成较为稳定的肥力体系: 土壤中营养元素供应相对充足、养分含量和容量大、缓冲性能力强、土壤酶以酶-矿物黏粒或酶-腐殖质等复合形态广泛聚集其中, 且已经达到“饱和”水平^[14-15]。此时许多土壤肥力因子在一定程度上已不是生物学活性影响和限制性因子, 其在一定范围内增加或减少不会对土壤生物学活性产生实质性影响^[16]。因此外界再施入肥料, 也不会对稻季土壤酶活性产生明显影响。

成对比较显示, 稻麦两季绝大多数相同肥料处理的酶活性之间没有显著差异, 仅稻季猪粪加氮磷钾全施(MNPK)处理的酸性磷酸酶活性极显著高于麦季。酸性磷酸酶的活性与氧化还原电位呈显著正相关, 淹水导致酶活性下降, 水稻土淹水条件下其氧化还原电位可在一周内降到 100~200 mv^[17]。而出现这种升高的情况可能是由于稻季猪粪配施氮磷钾进入到淹水土壤中, 所发生的一系列物理、化学及生化反应改变了土壤的环境状况, 如土壤 pH、氧化还原电位等, 从而活化土壤的 P 素供应, 导致土壤酸性磷酸酶的活性增强^[18]。

致谢: 对中国科学院南京土壤研究所的郭汝礼、阎德智、程月琴、冯明雷和王岩等同志在采样、制样过程中提供的帮助表示感谢!

参考文献:

- [1] 曹慧, 孙辉, 杨浩, 孙波, 赵其国. 土壤酶活性及其对土壤质量的指示研究进展. 应用与环境生物学报, 2003, 9(1): 105-109
- [2] 樊军. 黄土高原旱地长期定位试验土壤酶活性研究(硕士学位论文). 杨凌: 西北农林科技大学, 2001
- [3] Dick RPA. Review: Long-term effect of agricultural systems on soil biochemical and microbial parameters. Agric. Ecosys. Environ., 1992, 40: 25-36
- [4] Duxbury TM, Comerford NB. The effect of soil depth and crop cover on enzymatic activity in Pahokee muck soil. Soil Soc. Am. J., 1981, 45: 322-328
- [5] 周礼恺. 土壤酶活性的总体在评价土壤肥力水平中的作用. 土壤学报, 1983, 20 (4): 413-417
- [6] 蒋和, 翁文钰, 林增泉. 施肥十年后的水稻土微生物学特性和酶活性的研究. 土壤通报, 1990, 21 (6): 265-268
- [7] 袁玲, 杨邦俊, 郑兰君, 刘学成. 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
- [8] 李科江, 张素芳, 贾文竹, 宋平忠, 刘树庆, 霍习良, 王玉朵. 半干旱区长期施肥对作物产量和土壤肥力的影响. 植物营养与肥料学报, 1999, 5 (1): 21-25
- [9] Lalonde R, Gagnon B, Simard RR, Cote D. Soil microbial biomass and enzyme activity following liquid hog manure application in a long-term field trial. Can. J. Soil Sci., 2000, 80: 263-269
- [10] 郭汝礼, 杨林章, 沈明星, 殷士学, 张志勇. 太湖地区黄泥土水稻适宜施氮量研究—长期定位试验. 土壤, 2006, 38(4): 379-383
- [11] Tabatabai MA. Soil enzymes // Weaver RW, Angle S, Bottomley P, Bezdicek D, Smith S, Tabatabai A, Wollum A. Methods of Soil Analysis, Part 2. Microbiological and Biochemical Properties. USA: Soil Science Society of America, 1994:775-833
- [12] 张咏梅, 周国逸, 吴宁. 土壤酶学的研究进展. 热带亚热带植物学报, 2004, 12(1): 83-90
- [13] 林天. 施肥措施和养分对旱地红壤土壤中土壤酶的影响(硕士学位论文). 南京: 中国科学院南京土壤研究所, 2004
- [14] 林天, 何园球, 李成亮, 杨芳, 徐江兵. 红壤旱地中土壤酶对长期施肥的响应. 土壤学报, 2005, 42(4): 682-686
- [15] Wang XC, Lu Q. Beta-glucosidase activity in paddy soils of the Taihu Lake region, China. Pedosphere, 2006, 16(1): 118-124
- [16] 李东坡, 武志杰, 陈利军, 朱平, 任军, 梁成华. 长期不同培肥黑土磷酸酶活性动态变化及其影响因素. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(5): 550-553
- [17] Pulford ID, Tabatabai MA. Effect of water logging on enzyme activities in soils. Soil Biology and Biochemistry, 1988, 20: 215-219
- [18] 丁昌璞, 李九玉. 中国半湿润、半干旱、干旱地区某些土壤的氧化还原状况. 干旱区研究, 2006, 23(4): 515-519

Effects of Long-Term Site-Specific Fertilization on Soil Enzyme Activities of Paddy Fields Under Wheat-Rice Rotation System in Taihu Region

TANG Yu-shu^{1,2}, CI En¹, YAN Ting-mei¹, WEI Chao-fu², YANG Lin-zhang¹, SHEN Ming-xing³

(1 *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;*

2 *College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China;*

3 *Suzhou Paddy Soil Ecological Environment Scientific Observation and Experimental Station, Ministry of Agriculture, Suzhou, Jiangsu 215001, China)*

Abstract: The study on soil enzyme activities under wheat-rice rotation system of 25a long-term site-specific experimental fields of paddy soil in Taihu region shows: there was no obvious regularity for the activity variation of five types of soil enzymes under different fertilization treatments in wheat system; there were no significant differences among most soil enzyme activities under different fertilization treatments in rice system. Paired-samples comparison shows that there were no significant differences among most soil enzyme activities under the same fertilization treatments under wheat-rice rotation system, only acid phosphatase activity under rice system of the treatment of NPK fertilizers + stable manure was significant higher than under wheat system. The reasons for no significant differences among most soil enzyme activities might be attributed to the saturation of soil enzymes from accumulation by 25a long-term site-specific fertilization, thus, they won't show significant responses to the ectogenic fertilizers.

Key words: Wheat-rice rotation, Soil enzyme, Long-term site-specific experiment, Paddy soil