

太湖地区稻麦二熟制下长期秸秆还田对土壤酶活性的影响

李腊梅¹, 陆 琴², 严蔚东², 王校常^{1*}

(1 浙江大学农业与生物技术学院茶学系, 杭州 310029; 2 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘 要: 研究了长期秸秆还田情况下太湖水稻土中与 C、N、P、S 养分循环及微生物活动有关的荧光素二乙酸酯 (FDA) 水解酶、酸性磷酸酶、碱性磷酸酶、芳基硫酸酯酶、 β -葡萄糖苷酶、脲酶和脱氢酶等 7 种酶的活性。结果表明: 秸秆还田与无机肥处理都明显增强了所有酶的活性, 与对照无肥区的差异达到了显著水平。酶活性对化肥或秸秆还田的敏感度为: β -葡萄糖苷酶 > 脱氢酶、脲酶 > FDA 水解酶、碱性磷酸酶 > 芳基硫酸酯酶 > 酸性磷酸酶。各处理间酶活性顺序为: NPKS2 (NPK + 稻秆 4500 kg/hm²) > NPKS1 (NPK + 稻秆 2250 kg/hm²) > NPK (N 120 kg/hm², P 75 kg/hm², K 150 kg/hm²) > CK。

关键词: 水稻土; 秸秆还田; 土壤酶

中图分类号: S154.2

长期的肥料试验和秸秆还田试验可以用来评价这些农业措施对农业生产和土壤可持续发展的影响。过去的研究基本上以研究土壤肥力的维持和农业生产力为主, 相对较少关注其土壤健康或质量问题。同时对其相关的土壤生物学性质的研究也相对较少, 这从我国的长期肥料试验结果也可以看出^[1-3]。土壤酶活性用来评价土壤肥力尽管由来已久, 但对其作用的认识并不完全一致^[4-5]。近来有关土壤质量及相关指标的研究中, 同样有许多学者提出土壤酶学特性可以作为一种潜在的指标体系, 并对此作了不少的相关研究^[6-8]。但由于酶学研究上的一些局限性及其他原因, 有关长期肥料试验下土壤酶活性变化的研究相对较少, 尤其是我国在这方面的研究更是较少, 与国外相比, 在研究的深度和广度上我国相对来说要落后许多。国内的有限的研究多集中在脲酶、磷酸酶、脱氢酶、转化酶等少数几个酶上面, 而对目前国际上研究得相对比较热门的几个酶, 如荧光素二乙酸酯 (Fluorescein diacetate, FDA) 水解酶、 β -葡萄糖苷酶、芳基硫酸酯酶等的研究则几乎没有报道^[4,9-15]。

秸秆还田作为一种常见的农田培肥措施, 在我国有悠久的历史, 同时也被认为是维持土壤持久生产力的必要措施。以前对秸秆还田的研究大多只关

注其对农田土壤的物理或化学性质的影响, 很少关注到其对土壤生物学性质尤其是土壤中各种酶活性的影响。本研究的目的是研究长期有机无机肥配施下水稻土中有关土壤 C、N、P、S 循环相关的主要酶活性的变化, 以探讨各种酶对秸秆还田及化肥施用等农艺措施的响应程度和灵敏度。

1 材料与方法

1.1 实验设置

设在中国科学院常熟生态试验站的水稻土长期肥力试验开始于 1990 年, 土壤为潜育性水稻土 (竖头乌栅土)。供试土壤当时的基本性质见表 1。试验采用完全随机区组设计方案, 设 4 个处理: CK (无肥区); NPK (只施无机肥, N 120 kg/hm², P 75 kg/hm², K 150 kg/hm²); NPKS1 (NPK + 稻秆 2250 kg/hm²); NPKS2 (NPK + 稻秆 4500 kg/hm²)。中 N、P、K 用量同。每种处理设 3 个重复, 共 12 个小区, 小区面积为 20 m²。采用稻麦轮作制^[1]。

采样时间为 2001 年 5 月下旬小麦收割后。在小区内沿“之”字形线等距离随机在耕作层取 6 ~ 8 个样点的小样, 混合组成一个原始样品。样品采集后立即带回实验室, 捡去土壤中的可见根系、秸秆后,

①基金项目: 973 项目“土壤质量标准与可持续利用”(G1999011808)资助。

* 通讯作者 (xcwang@zju.edu.cn)

作者简介: 李腊梅 (1982—), 女, 河南人, 硕士研究生, 主要从事茶园生态环境与茶叶品质方面的研究。E-mail: lmlihen@126.com

表1 试验开始前土壤的基本性质

Table 1 Basic soil properties prior to the long-term experiment

pH	有机质	全 N	速效 K	速效 N	碱解 N	CaCO ₃
(H ₂ O)	(g/kg)	(g/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(g/kg)
8.09	34	1.98	92	5.7	115	5.5

立即放入冰箱冷藏保存，直到样品进行酶分析。部分样品风干后测定土壤速效 N、P、K、pH、有机 C 等。

1.2 实验测定项目及方法

1.2.1 土壤基本理化性质分析 风干土样的 pH，有机 C，速效 N、P、K 等的分析测定，均按文献[16]中的方法进行。

1.2.2 酸性磷酸酶与碱性磷酸酶活性测定^[17] 称相当于 1 g 风干土重的鲜土于 50 ml 三角瓶中，加入 0.2 ml 甲苯和 4 ml MUB（通用缓冲液，测酸性磷酸酶时用 pH 6.5 的，测碱性磷酸酶时用 pH 11 的），再加 1 ml 0.05 mol/L 对硝基苯磷酸钠溶液（用同样的缓冲液 MUB 配制），摇匀后加盖，放进 37 的培养箱中进行培养，1 h 后取出，加入 0.5 mol/L 的 CaCl₂ 溶液 1 ml 及 0.5 mol/L 的 NaOH 溶液 4 ml，摇匀后过滤并测定滤液在 410 nm 下的吸光值。酶活性单位用 PNP（对硝基苯） $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 表示，以风干土重计。

1.2.3 芳基硫酸酯酶活性测定 采用修正的对硝基苯硫酸盐培养法测定^[13,17]。称取相当于 1 g 风干土重的鲜土于 50 ml 三角瓶中，加入 0.25 ml 甲苯和 4 ml 0.5 mol/L 乙酸缓冲液（pH 5.8），再加 1 ml 0.02 mol/L 对硝基苯硫酸盐溶液，摇匀加盖后在 37 条件下培养 1 h，取出后加 1 ml 0.5 mol/L CaCl₂ 溶液及 4 ml 0.5 mol/L NaOH 溶液，摇匀过滤，取滤液在 410 nm 下比色测定。酶活性单位同磷酸酶。

1.2.4 脲酶活性测定^[18] 称约 2 g 风干土重的鲜土于 125 ml 的三角瓶中，加入 2 ml 720 mmol/L 底物溶液（CK 不加，培养后补加）和 8 ml 0.1 mol/L 硼酸缓冲液（pH 10），摇匀，加塞，放入 37 °C 培养箱中培养 2 h 后取出，再加入 10 ml 2 mol/L KCl 溶液，加塞后在 200 r/min 下振荡 30 min，滤纸过滤，取滤液 2 ml 于 25 ml 容量瓶中，依次加入 3 ml 1 mol/L KCl 溶液，2.5 ml 苯酚溶液和 2.5 ml 次氯酸钠碱性溶液，摇匀，室温下静置 1 h，加入 0.5 ml 掩蔽剂，

最后用去离子水定容并在 625 nm 下比色。酶活性单位以 $\text{NH}_4^+\text{-N}\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 表示，以风干土重计。

1.2.5 FDA 水解活性测定 FDA 水解活性测定见前文^[15]。称取约 1 g 风干土重的鲜土于 100 ml 的三角瓶中，加入 25 ml 60 mmol/L 磷酸缓冲液（pH 7.6）及 100 μl FDA 溶液，放置于 30 恒温摇床上培养 1 h，加入 25 ml 丙酮终止反应，摇匀过滤，取滤液在 490 nm 下比色测定。酶活性单位为荧光素 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 表示，以风干土重计。

1.2.6 β -葡萄糖苷酶活性测定^[14] 称相当于 1 g 风干土重的鲜土于 50 ml 的三角瓶中，加入 0.25 ml 甲苯，4 ml MUB（pH 6.0）和 1 ml 0.05 mol/L 对硝基苯- β -D-葡萄糖苷溶液（PNG），摇匀加盖，37 °C 条件下培养 1 h 后去盖，加入 1 ml 0.5 mol/L CaCl₂ 溶液和 4 ml 0.1 mol/L THAM 缓冲液（pH 12），摇匀过滤，在 410 nm 下比色测定。酶活性单位同磷酸酶。

1.2.7 脱氢酶活性测定^[17,19] 称约 1 g 风干土重的鲜土于 15 mm $\times$ 150 mm 的试管中，加入 1 ml 3% 的氯化 2,3,5-三苯基四唑（TTC）溶液及 1 ml 蒸馏水，充分混匀后塞上塞子，放进 37 的恒温培养箱中培养 24 h 后打开塞子再加 5 ~ 8 ml 甲醇，塞紧后充分摇匀约 1 min 后去塞，用塞有脱脂棉的玻璃漏斗过滤到 25 ml 容量瓶中，用甲醇把试管中的土都转移到漏斗上，用甲醇少量多次冲洗漏斗直到棉团中的红色消失，滤液用甲醇补充到 25 ml 并摇匀后在 485 nm 下比色测定其吸光值。酶活性单位为 TPF $\text{mg}/(\text{g}\cdot 24\text{ h})$ ，以风干土重计。

2 结果与分析

2.1 土壤肥力

经过 10 年的连续试验，相比于 CK，施肥区土壤肥力变化明显（表 2）。化肥和秸秆还田处理明显增加了土壤中的有机质含量，同时土壤速效 N、P、K 含量也明显增加，其在 4 个处理中的大小趋势表现为：NPKS2 > NPKS1 > NPK > CK。其中，速效 N 在 4 种处理中的差异相对小一点，肥料使用对速效

表 2 长期肥料试验土壤其土壤肥力状况 (2001 年 5 月)

Table 2 Fertility of the paddy soil under different treatments in the long-term experiment

处理	pH (1mol/L KCl)	有机 C (g/kg)	速效 N (mg/kg)	速效 P (mg/kg)	速效 K (mg/kg)
CK	7.20	1.39	9.72	9.80	110.33
NPK	7.01	1.56	12.14	18.60	193.00
NPKS1	6.80	1.73	13.46	20.34	224.33
NPKS2	6.83	1.83	14.57	21.60	240.33

P 和速效 K 的提高效果是最好的, 约是 CK 的 2 倍。但化肥及秸秆还田等措施, 导致了土壤 pH 的降低, 尽管幅度没有养分变化明显, 但也呈现了酸化趋势。

2.2 土壤酶活性

从土壤 FDA 水解活性结果来看 (图 1), 长期

无肥区 (CK) 的 FDA 水解活性明显低于其他处理, 而秸秆还田处理 (NPKS1、NPKS2) 间及与化肥处理 (NPK) 间 FDA 水解活性差异不显著。秸秆还田和化肥处理的土壤 FDA 水解活性要比 CK 高 30%~40%, 其水解活性范围在荧光素 75~106 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 之

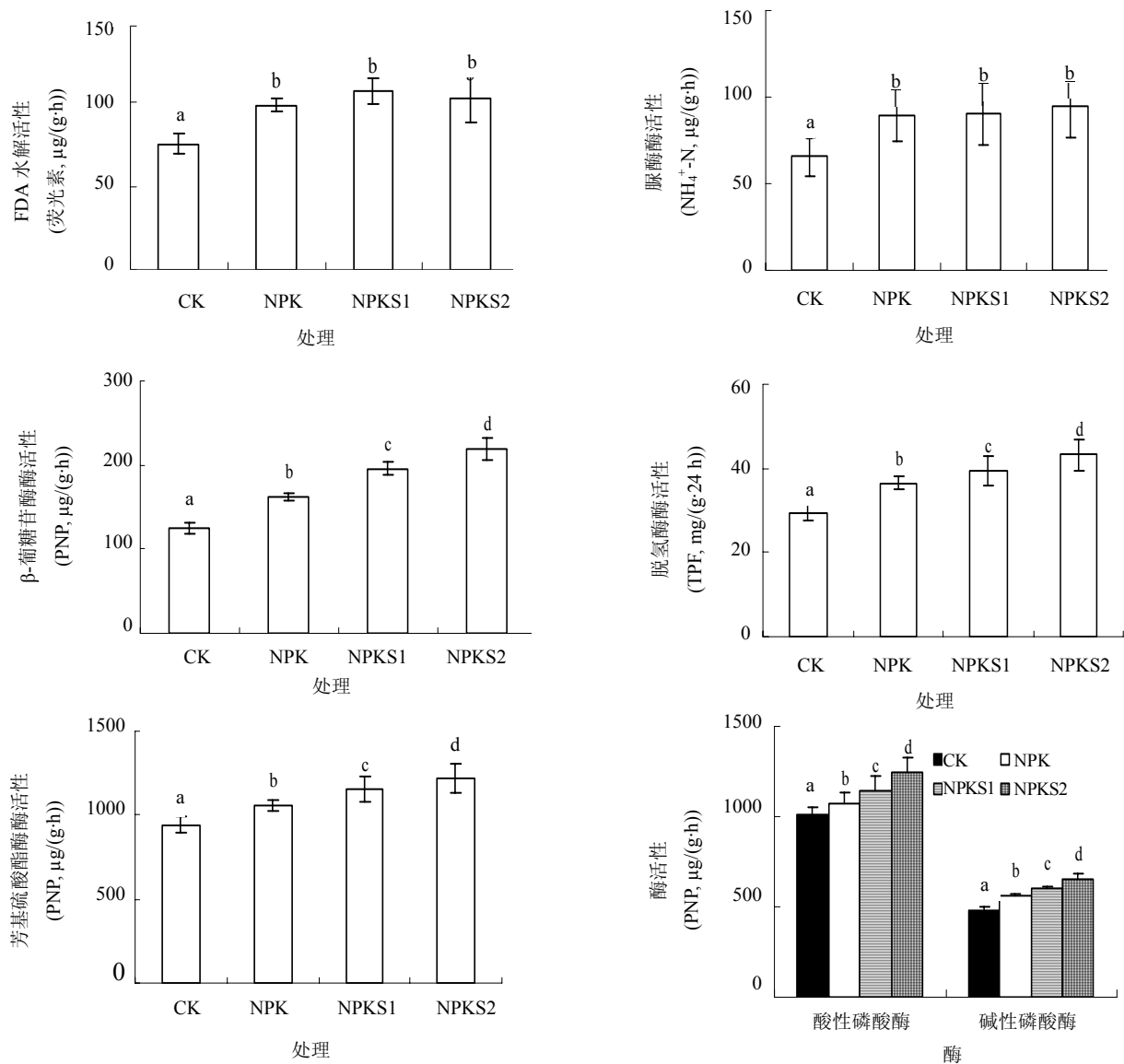
图 1 长期肥料试验对水稻土酶活性的影响 (图中不同小写字母表示显著性差异水平 ($P < 0.05$))

Fig. 1 Effect of long-term fertilizer experiment on enzyme activities in soil

间。各处理间土壤脲酶活性的变化趋势与 FDA 水解酶相似，只有 CK 的酶活性明显低于各肥料处理，而秸秆还田对脲酶活性没有产生明显的促进作用。

各个处理间土壤酸性磷酸酶活性差异显著，纯化肥的 NPK 处理尽管也明显增强其酶活性，但增强幅度较小，在 7% 左右。而 NPK + 秸秆处理明显增强酸性磷酸酶活性，两个秸秆还田处理 NPKS1 和 NPKS2 分别使其活性增加 14% 和 23%，表明秸秆还田有促进酸性磷酸酶活性的作用。碱性磷酸酶表现出同样的趋势，但 NPK、NPKS1 和 NPKS2 3 种处理使其活性增加的幅度明显高于酸性磷酸酶，其增幅分别为 17%、26% 和 37%。脱氢酶、芳基硫酸酯酶和 β -葡萄糖苷酶活性各处理间同样差异明显。其中施肥使 β -葡萄糖苷酶活性增加幅度最大，其 NPKS2 处理土壤的酶活性比 CK 高 76%。各处理间，酸性磷酸酶、碱性磷酸酶、脱氢酶、芳基硫酸酯酶和 β -

葡萄糖苷酶活性的大小顺序为：NPKS2 > NPKS1 > NPK > CK，所有处理间酶活性差异均达到了显著性水平 ($P < 0.05$)。

与 CK 相比，NPK 处理导致酶活性增加幅度最大的是 FDA 水解酶、 β -葡萄糖苷酶和脲酶 3 种，增加幅度均在 30% 以上，其中以脲酶为最大，其次是脱氢酶，幅度在 24% 左右。增加幅度最小的是酸性磷酸酶。秸秆还田增加酶活性的顺序则分别为： β -葡萄糖苷酶 > 脱氢酶、脲酶 > FDA 水解酶、碱性磷酸酶 > 芳基硫酸酯酶 > 酸性磷酸酶。

不同土壤酶活性之间其相互关系列于表 3。酸性磷酸酶、碱性磷酸酶、脱氢酶、 β -葡萄糖苷酶和芳基硫酸酯酶活性相互间呈显著性相关 ($P < 0.05$)，而与 FDA 水解酶、脲酶关系不显著。脲酶和 FDA 水解酶及脱氢酶三者间相互存在着明显的正相关。

表 3 不同酶活性之间的相互关系 (r)

Table 3 Correlations between enzymes in activity

	酸性磷酸酶	碱性磷酸酶	FDA 水解酶	脱氢酶	β -葡萄糖苷酶	脲酶
碱性磷酸酶	0.9837*					
FDA 水解酶	0.7791	0.8773				
脱氢酶	0.9688*	0.9974*	0.9053			
β -葡萄糖苷酶	0.9851*	0.9968*	0.8714	0.9913*		
脲酶	0.8541	0.9313	0.9643*	0.9547*	0.9108	
芳基硫酸酯酶	0.9819*	0.9972**	0.8809	0.9930*	0.9998**	0.9180

3 讨论

过去的大量研究表明化肥施用与秸秆还田通常增强土壤肥力，尤其增加土壤速效 N、P、K 的含量以及土壤有机质含量^[1-2,9,11]。太湖地区化肥和秸秆还田长期试验的结果也证明了这一点（表 1）。

FDA 水解反应被认为能较好地反映微生物活性。通常土壤中的 FDA 能被许多酶如酯酶、蛋白酶、脂肪酶等所水解。因此 FDA 水解活性代表的是土壤中具有水解活性的一类酶^[6-7,20]。太湖地区典型丰产水稻土 FDA 水解活性为荧光素 60 ~ 80 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ ^[21]。目前长期试验田块的 FDA 水解活性为荧光素 75 ~ 106 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ ，化肥处理和秸秆还田处理间活性差异不明显。Bandick 和 Dick^[7]也曾报道相似的结果。FDA 水解活性被认为与土壤微生物及其生物量有极好的相关性，常用来表征微生物生物量^[20]。N 肥如尿素的施用或尿素加有机肥的施用导致了水稻土中

脲酶和过氧化氢酶活性、微生物活动明显增强，细菌、放线菌、真菌、自生固氮菌、脲酶产生菌数量明显高于 CK^[10,22]。但在我们目前的结果中如果以 FDA 水解活性表示其微生物生物量变化，结果与他们的并不一致。造成这一差异的原因可能是肥料供应方式的不一致，因为其无机肥是尿素，而不是我们试验中的 NPK 营养；另一原因可能是长期的肥料试验降低了这种效果。所以进一步的土壤微生物生物量与 FDA 水解活性间的关系研究很有必要。

长期的无机肥与有机添加物联合使用显著提高了土壤中脲酶及碱性磷酸酶的活性^[23]。化肥和秸秆还田在旱地黄土上的长期试验也表明，脲酶和碱性磷酸酶活性明显增加^[9]。褐潮土上长期秸秆还田试验的结果同样表明，NPK 加秸秆还田增加土壤中酸性磷酸酶和转化酶的活性，但降低了脲酶的活性^[11]。Martens 等^[19]的连续 3 年试验结果表明，添加大麦秸

秆的土壤其酸性磷酸酶、碱性磷酸酶、脱氢酶和脲酶的活性要比 CK 高 2 倍以上。我们目前的试验结果同样也表明, NPK 和秸秆还田都有增加土壤酸性磷酸酶、碱性磷酸酶、脱氢酶和脲酶活性的效果, 而且有随秸秆还田增加, 酶活性增加的明显数量效应。

β -葡萄糖苷酶 (DC3.2.1.21) 主要是负责 β -D-吡喃葡萄糖的水解, 牵涉到麦芽糖和纤维二糖的水解。 β -葡萄糖苷酶被认为是纤维素降解中最重要的一种酶, 与土壤碳代谢密切相关^[7,24]。因此在秸秆还田中 β -葡萄糖苷酶的活性可能具有重要的指示作用。太湖地区几个主要丰产稻田耕作层 β -葡萄糖苷酶的活性在 $PNP\ 52 \sim 140\ \mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 间^[14], 美国衣阿华州农业土壤中的 β -葡萄糖苷酶活性则要高得多, 最高达到 $PNP\ 300\ \mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ ^[25]。不同土壤其 β -葡萄糖苷酶活性明显不同, 其活性与土壤有机碳呈极显著的正相关。另外我们的淹水培养试验表明, 淹水会明显导致 β -葡萄糖苷酶活性的下降。所以太湖地区水稻土 β -葡萄糖苷酶活性与美国的旱地土壤尤其是草地相比, 可能就会低一些。但试验土壤中 β -葡萄糖苷酶活性在太湖地区水稻土中是算比较高的。在我们目前的研究结果中发现, β -葡萄糖苷酶活性对秸秆还田和无机肥的施用反映最强, 其增加幅度高达 75%, 其对秸秆还田的响应要比对有机碳的响应敏感得多。同样, Martens 等^[21]也报道对大麦秸秆还田 3 年的研究, 其土壤 β -葡萄糖苷酶活性增加 1 倍以上, 而且其刺激的效果随秸秆还田次数增加而下降。秸秆覆盖同样也明显增加土壤中 β -葡萄糖苷酶的活性。

土壤中的芳基硫酸酯酶主要是催化降解有机质中的酯硫键, 所以其活性高低与土壤有机质有关, 有机质高的土壤通常其芳基硫酸酯酶活性也高^[13,26]。同时它也与有效硫供应有关, 受到土壤中无机硫的负反馈调节。太湖地区水稻土有机质含量较高, 所以其平均酶活性高达 $PNP\ 160\ \mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$, 比美国佛罗里达州土壤的平均值 $PNP\ 85\ \mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 略高, 但最大酶活性基本一致, 都在 $PNP\ 300\ \mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 左右^[27]。Perucci 和 Scarponi^[26]认为不同的秸秆还田会导致芳基硫酸酯酶亲和性的变化, 如番茄和向日葵的秸秆明显降低芳基硫酸酯酶的 K_m , 增加其 V_{max} , 表明酶活性增大, 其亲和力下降。Bandick 和 Dick^[7]及 Martens 等^[19]的研究也表明施肥导致芳基硫酸酯酶活性的明显增强。而目前我们的研究结果表明, 尽管芳基硫酸酯酶活性随秸秆还田和无机肥

的施用而增加, 但由于其本身酶活性较大, 其响应灵敏度相对较低。在各个处理对培肥措施的反应中其增加幅度在 7 种酶中与酸性磷酸酶一样, 处于最小一级。

我们目前的研究结果表明, 秸秆还田明显增强了酸性磷酸酶、碱性磷酸酶、芳基硫酸酯酶、FDA 水解酶、 β -葡萄糖苷酶、脱氢酶、脲酶的活性, 尤其是 β -葡萄糖苷酶、脲酶和 FDA 水解酶活性。7 种酶活性对培肥 (无机肥或无机结合秸秆还田) 的响应能力或灵敏度是不一样的。FDA 水解酶、脲酶、 β -葡萄糖苷酶这 3 种酶活性对培肥比较敏感, 其次是脱氢酶, 而酸性磷酸酶、碱性磷酸酶、芳基硫酸酯酶这 3 种酶活性的敏感性要差一点, 这与 Martens 等人^[19]的研究结果是一致的, 可能与秸秆中较高的碳水化合物含量有关, 丰富的底物能有效地提高酶活性。另外也可能是由于本身磷酸酶、芳基硫酸酯酶的活性比较高, 而导致其增加幅度较小。因为这 3 种酶在各处理间的差异都达到了显著水平。同时也注意到脲酶和 FDA 水解酶活性在 NPK 和秸秆处理间的差异并不明显。所以如果据此推测这 3 种酶 (磷酸酶和芳基硫酸酯酶) 对化肥或秸秆还田的灵敏度小还有待商榷。

与 Martens 等^[19]的结果相比, 我们的试验结果表明, 秸秆还田对所有酶的酶活性刺激效果较小。造成此差异的原因可能有下面两个方面, ①我们试验的土壤是一个连续 10 年秸秆还田的土壤, 随着秸秆还田次数的增加, 其刺激效应逐渐降低。②由于稻田的特殊性, 即秸秆还田后处于长期淹水状态, 从而导致酶活性明显降低。

不同酶活性间的相互关系可以用来表明其来源的相关性, 如果来源或者主要来源一致, 其酶活性间的相互关系就会呈显著性正相关。从目前的结果来看, 酸性磷酸酶、碱性磷酸酶、脱氢酶、 β -葡萄糖苷酶和芳基硫酸酯酶活性相互间呈显著性相关, 表现其来源可能基本一致, 即可能主要是来源于微生物和植物, 而 FDA 水解酶和脲酶则可能主要来自于微生物, 来自植物的相对较少, 导致与其他几种酶相互间关系不是很密切。但这可能受到许多因素的影响, 即这些酶在土壤中的稳定性影响。

参考文献:

- [1] 廖海秋, 施卫明, 严蔚东, 王校常, 曹志洪. 有机无机肥配施对潜育性水稻土肥力水平的影响. 土壤通报,

- 1998,29 (6): 248-249
- [2] 王胜佳, 陈义, 吴春艳, 王家玉, 李实烨. 施用不同肥料对稻田作物产量与土壤肥力的长期影响. 浙江农业学报, 2004, 16 (6): 372-376
- [3] 刘建玲, 张福锁. 小麦-玉米轮作长期肥料定位试验中土壤磷库的变化. 磷肥产量效应及土壤总磷库、无机磷库的变化. 应用生态学报, 2000, 11 (3): 360-364
- [4] 周礼恺, 张志明. 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
- [5] Nannipieri P. The potential use of soil wnzymes as indicators of productivity sustainability and pollution // Pankhust CE, Double BM. Soil Biota: Management in Sustainable Farming Systems. Australia: CSIRO, 1994: 238-244
- [6] Dick RP. Soil enzyme activities as integrative indicators of soil health // Pankhurst C, Doube BM. Biological Indicators of Soil Health. Wallingford: CAB International, 1997: 121-156
- [7] Bandick AK, Dick RP. Field management effects on soil enzyme activities. Soil Biol. Biochem., 1999, 31: 1471-1479
- [8] Bergstrom DW, Monreal CM, King DJ. Sensitivity of soil enzyme activities to conservation practices. Soil Science Society of America Journal, 1998, 62: 1 286-1295
- [9] 邱莉萍, 刘军, 王益权, 孙慧敏, 和文祥. 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
- [10] 任祖淦, 陈玉水, 康福钦, 王东海, 张逸清. 有机无机肥料配施对土壤微生物和酶活性的影响. 植物营养与肥料学报, 1996, 2 (3): 279-283
- [11] 孙瑞莲, 赵秉强, 朱鲁生, 徐晶, 张夫道. 长期定位施肥对土壤酶活性的影响及其调控土壤肥力的作用. 植物营养与肥料学报, 2003, 9 (4): 406-410
- [12] 张奇春, 王光火, 方斌. 不同施肥处理对水稻养分吸收和稻田土壤微生物生态特性的影响. 土壤学报, 2005, 42 (11): 116-121
- [13] 陆琴, 王校常, 严蔚东, 安志装, 施卫明, 曹志洪. 太湖地区水稻土芳基硫酸酯酶的分布. 土壤学报, 2003, 40 (3): 386-392
- [14] Wang XC, Lu Q. Activity of β -glucosidase in paddy soils in the Taihu Lake Region, Pedosphere, 2006, 16 (1): 118-124
- [15] Wang XC, Lu Q. Effect of waterlogged and aerobic incubation on enzyme activities in paddy soil. Pedosphere, 2006, 16 (4): 532-539
- [16] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
- [17] Tabatabai MA. Soil enzymes // Weaver RW, Angel JS, Bottomley PS. Methods of Soil Analysis. Part 2. Microbiological and Biochemical Properties. Madison: Soil Science Society of America, 775-833
- [18] Kandeler E. Urease activity by colorimetric technique // Schinner F, Öhlinger R, Kandeler E, Margesin R. Methods in Soil Biology. Berlin: Springer-Verlag, 1995: 171-174
- [19] Martens DA, Johanson,JB, Frankenberger Jr WT. Production and persistence of soil enzymes with repeated addition of organic residues. Soil Sci., 1992, 153(1): 53-61
- [20] Adam G, Duncan H. Development of a sensitive and rapid method for the measurement of total microbial activity using fluorescein diacetate (FDA) in a range of soils. Soil Biol. Biochem., 2001, 33: 943-951
- [21] 陆琴. 太湖地区水稻土的酶学特征及水肥管理的酶学效应 (硕士论文). 南京: 中国科学院南京土壤研究所, 2002
- [22] 李振高, 俞慎, 吴胜春, 王俊华, 潘映华. 不同氮肥对水稻根圈微生物生物量及硝化-反硝化细菌的影响. 土壤, 2003, 35 (6): 490-494
- [23] Goyal S, Chander K, Mundra MC, Kapoor KK. Influence of inorganic fertilizers and organic amendments on soil organic matter and soil microbial properties under tropical conditions. Biol. Fert. Soils, 1999, 29: 196-200
- [24] Deng SP, Tabatabai MA. Effect of tillage and residue management on enzyme activities in soils. II. Glycosidases. Biol. Fert. Soils, 1996, 22: 208-213
- [25] Eivazi F, Tabatabai MA. Factors affecting glucosidase and galactosidase in soils. Soil Biol. Biochem., 1990, 22: 891-897
- [26] Perucci P, Scarponi L. Effect of crop residue addition on arylsulphatase activity in soils. Plant and Soil, 1983, 73: 323-326
- [27] Tabatabai MA, Bremner JM. Arylsulfatase activity of soil. Soil. Sci. Soc. Am. Proceedings, 1970, 34: 225-229

Effect of Long-Term Straw Incorporation on Enzyme Activity in Paddy Soil Under Rice-Wheat Rotation in Taihu Region

LI La-mei¹, LU Qin², YAN Wei-dong², WANG Xiao-chang¹

(¹ Department of Tea Science, College of Agriculture and Biological Technology, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China;

² Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract: Effect of long-term rice straw incorporation on soil enzyme activities in paddy soil under rice-wheat rotation in the Taihu Lake Region of China was investigated. Seven enzymes closely related to soil biological activities and C, N, P and S cycles, i.e., Fluorescein diacetate (FDA), acid phosphatase, alkaline phosphatase, arylsulfatase, β -glucosidase, urease and dehydrogenase, were selected. Results showed that compared with CK, the treatment with no fertilizer, treatments with chemical fertilizers or rice straw showed significantly enhanced enzyme activities. In terms of sensitivities to rice straw incorporation or chemical fertilizer, the enzymes was in the order of β -glucosidase > dehydrogenase, urease > FDA, alkaline phosphatase > arylsulfatase > acid phosphatase, while in terms of enzyme activity the treatments followed the order of NPKS2 (NPK + rice straw 4500 kg/hm²) > NPKS1 (NPK + rice straw 2250 kg/hm²) > NPK (N 120 kg/hm² + P 75 kg/hm² + K 150 kg/hm²) > CK.

Key Words: Paddy soil, Rice straw incorporation, Soil enzyme