

## 水稻不同生育期的土壤微生物量和酶活性的变化

曾路生<sup>1</sup> 廖 敏<sup>1,\*</sup> 黄昌勇<sup>1</sup> 罗运阔<sup>2</sup> 薛 冬<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 浙江大学 环境与资源学院 资源科学系, 浙江 杭州 310029; <sup>2</sup> 江西农业大学 国土资源与环境学院, 江西 南昌 330045; \*通讯联系人, E-mail: liaomin@zju.edu.cn)

### Variation of Soil Microbial Biomass and Enzyme Activities at Different Developmental Stages in Rice

ZENG Lu-sheng<sup>1</sup>, LIAO Min<sup>1,\*</sup>, HUANG Chang-yong<sup>1</sup>, LUO Yun-kuo<sup>2</sup>, XUE Dong<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> Department of Resources Science, College of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China;

<sup>2</sup> College of Land Resources and Environment, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; \* Corresponding author, E-mail: liaomin@zju.edu.cn)

**Abstract:** A pot experiment was conducted to study the variation in the soil microbial biomass carbon ( $C_{mic}$ ), soil microbial biomass nitrogen ( $N_{mic}$ ), soil respiration intensity, soil microbial metabolic quotient, soil enzyme activities, and chlorophyll content, proline content and peroxidase activity (POD) in rice leaf at different developmental stages under submerged conditions. The  $C_{mic}$ ,  $N_{mic}$  and soil respiration activity significantly ascended at the early stage and then declined during rice growth, but ascended slightly again at maturity. Whereas soil metabolic quotient declined at all stages. Soil urease activity increased firstly and then decreased, but acid phosphatase and dehydrogenase activities descended first and then ascended, and descended again. Soil urease activity and acid phosphatase activity showed a peak value about 30 days after rice transplanting, but the peak value of dehydrogenase activity emerged about 50 days after rice transplanting and the three soil enzyme activities were significantly different at different developmental stages. As rice growing, chlorophyll content in rice leaf descended at the early stage then ascended sharply and a peak value appeared about 70 days after rice transplanting. POD activity increased gradually, but proline content declined gradually. It was suggested that soil biochemical characteristics was affected significantly by rice growth in the interaction system of the rice, soil and microorganisms.

**Key words:** rice; soil microbial biomass; soil metabolic quotient; soil enzyme activity; chlorophyll; proline; peroxidase

**摘 要:** 研究了全生育期淹水栽培条件下, 水稻不同生长阶段的土壤微生物生物量 C、土壤微生物生物量 N、呼吸作用强度、代谢商、土壤酶活性及水稻叶绿素、脯氨酸、过氧化物酶(POD)活性的变化特征。随着水稻生长, 土壤微生物生物量 C、土壤微生物生物量 N、呼吸作用强度表现为先升后降, 到成熟期有所回升的变化规律, 且在水稻不同生育阶段差异显著, 而土壤微生物代谢商一直下降。土壤脲酶活性表现为先升后降, 而酸性磷酸酶与脱氢酶活性则表现为先降后升再降的变化规律。脲酶及酸性磷酸酶活性在水稻移栽后的 30 d 左右形成峰值, 而脱氢酶活性则在 50 d 左右形成峰值, 且在水稻不同生育阶段差异显著。随着水稻生长, 水稻叶片中的叶绿素含量表现为先降后升的变化规律, 在移栽后 70 d 左右形成峰值, 然后急剧下降, POD 的活性则表现为逐渐增强, 而脯氨酸含量表现为逐渐下降, 不过上述水稻生理指标与土壤各生物化学指标间不存在显著的相关性。试验结果表明在水稻-土壤-微生物相互作用的体系中, 土壤微生物量和酶活性明显受到水稻生长发育的影响。

**关键词:** 水稻; 土壤微生物生物量; 土壤代谢商; 土壤酶活性; 叶绿素; 脯氨酸; 过氧化物酶

**中图分类号:** S154.34; S311; S511.01

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-7216(2005)05-0441-06

土壤微生物与土壤酶是土壤物质循环和能量流动的主要参与者, 是土壤生态系统中最活跃的组分, 推动土壤有机质的矿化分解和土壤养分 C、N、P、S 等的循环与转化<sup>[1]</sup>。研究表明, 土壤微生物生物量 C、N 是土壤 C、N 周转及储备库, 也是土壤有效 C、N 的重要来源<sup>[2~5]</sup>。土壤呼吸作用和代谢商反映了土壤微生物活性的强弱, 其强度明显受到生态环境变化的影响<sup>[6,7]</sup>。土壤酶活性同样是反映土壤肥力的有效生物学指标, 有研究表明脲酶与尿素水解密切相关, 其活性对提高氮肥利用率具有重要意义<sup>[8,9]</sup>。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<sup>[10,11]</sup>, 是评价土壤磷素生物转化方向的重要指标。脱氢酶能酶促有机物质脱氢分解矿化, 它由活的生物体所产生, 是了解土壤有机质厌氧分解强度的重要指标<sup>[12,13]</sup>。但是土壤环境的微小变化都会导致土壤微生物与土壤酶活性发生改变, 这一特性能较敏感表征土壤微环境的细小变化<sup>[14,15]</sup>。水稻的生长发育是在土壤-微生物-水

收稿日期: 2004-11-23; 修改稿收到日期: 2005-01-14。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40201026); 国家重点基础研究发展规划计划资助项目(2002CB410804)。

第一作者简介: 曾路生(1966-), 男, 在读博士研究生。

稻-大气相互作用的系统中进行的,彼此相互作用,水稻的生长发育必然影响到土壤微生物和土壤酶的活性,相关研究目前大多局限于水稻生长的某一时期,而就整个生育期水稻生长对土壤微生物和土壤酶活性的影响及其关系的研究未见报道。鉴于此,本研究将探讨水稻整个生育期土壤微生物与酶活性的变化规律及其与水稻生长之间的关系。

1 材料与方法

1.1 供试土壤及预处理

供试土壤为采自浙江大学华家池试验场的黄松田水稻土(普通简育水耕人为土)和德清黄红壤性水稻土(普通简育水耕人为土),取表层 0~20 cm 土、土样自然风干后过 3.2 mm 筛备用,土样的基本理化性质见表 1。分别称取相当于 5.0 kg 烘干土的风干土样置于系列 25 cm ×20 cm 塑料盆钵中,分别拌入 0.4 g/kg 尿素,0.4 g/kg 磷酸氢二钾作基肥,混匀,淹水培养 15 d 后移栽水稻。

1.2 水稻栽培

试验在浙江大学华家池校区网室进行。供试品种为杂交水稻浙农 7 号,由浙江大学农业与生物技术学院提供。精选饱满种子,清水预浸谷种 2 d,用 40 %的福尔马林消毒 3 h,再用清水冲洗净,放入下垫滤纸的培养皿中,保持一定湿度,于培养箱中 25℃ 催芽 1 周,然后播种到苗床中。将秧龄为 25 d 的秧苗移栽到装有淹水 15 d 预培养土样的塑料盆钵中,每钵定苗 4 株。整个生育期始终保持 2 cm 水层,在移栽后的 15 d(苗期至分蘖期),30 d(分蘖期)和 50 d(孕穗期)各追施 0.2 g/kg 的尿素和 0.2 g/kg 的磷酸氢二钾,重复 3 次。

1.3 样品采集

土壤样品淹水预培养 15 d,待水稻移栽后 0、15、30、50 和 90 d 用特制的注射取样器采集土样,多次、多点抽取 0~10 cm 的表层土壤样品后,集中于

塑料袋中,用玻璃棒拌匀,制成混合土样,测定土壤微生物生物量 C、N,呼吸作用强度及土壤酶活性。

同时在水稻移栽后的 15、30、50、70、90 d,采集水稻第 3 叶(自顶部向下)置于垫有纱布的托盘中,带回室内分析叶绿素、脯氨酸含量及过氧化物酶活性。

1.4 分析方法

土样的基本理化性质采用常规分析方法<sup>[16]</sup>;土壤微生物量 C 用氯仿熏蒸,0.5 mol/L K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>提取,TOC-500 自动分析仪测定<sup>[17]</sup>;土壤微生物量 N 用氯仿熏蒸,0.5 mol/L K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>提取,经消化用连续流动分析仪测定<sup>[18]</sup>;土壤呼吸作用强度采用室内密闭培养,1 mol/L NaOH 碱液吸收法测定<sup>[19]</sup>;土壤中脲酶活性用苯酚钠比色法测定;酸性磷酸酶活性用磷酸苯二钠比色法测定;脱氢酶活性用 TTC 比色法测定<sup>[20]</sup>。

叶绿素含量以丙酮、乙醇混和液提取,比色法测定<sup>[21]</sup>;脯氨酸含量以磺基水杨酸提取,茚三酮比色法测定<sup>[22]</sup>;过氧化物酶活性则采用愈创木酚法测定<sup>[21]</sup>。

1.5 数据处理与统计分析

实验数据采用软件 SPSS 11.5 及 Microsoft Excel 2000 处理。

2 结果与讨论

2.1 水稻不同生育期的土壤微生物生物量 C、N,呼吸强度及代谢商的变化

土壤微生物量可用微生物生物量 C 或 N 表征<sup>[23]</sup>,是评价土壤微生物参与土壤中 C、N 物质转化循环能力的重要指标。在淹水条件下,土壤微生物生物量 C 在水稻移栽后的前期缓慢上升,移栽后 15 d 与 0 d 比,黄松田水稻土与黄红壤性水稻土中分别增加了 9.91 % 和 18.27 % (表 2);然后随着水稻的生长发育而逐渐下降,到移栽后 50 d 时,与 0 d

表 1 供试土壤基本理化性质  
Table 1. Characteristics of the soil used.

土壤 Soil	pH (H <sub>2</sub> O)	总有机碳	速效磷	全氮	阳离子交换	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g·kg <sup>-1</sup> )	盐基饱 和度 BS / %	土壤颗粒组成		
		TOC	Available P	Total N	量 CEC			Granule composition/(g·kg <sup>-1</sup> )		
		/(g·kg <sup>-1</sup> )	/(mg·kg <sup>-1</sup> )	/(g·kg <sup>-1</sup> )	/(cmol·kg <sup>-1</sup> )			0.02~	0.002~	<0.002
		/(g·kg <sup>-1</sup> )	/(mg·kg <sup>-1</sup> )	/(g·kg <sup>-1</sup> )	/(cmol·kg <sup>-1</sup> )			2.00mm	0.02 mm	mm
黄松田水稻土 A	5.97	11.55	39.57	1.00	14.59	10.04	98.33	650	288	62
黄红壤性水稻土 B	5.12	29.69	10.63	2.56	12.47	20.31	91.51	225	570	205

A, Paddy soil derived from silty loam; B, Paddy soil derived from clayed red soil; TOC, Total organic carbon; CEC, Cation exchange capacity; BS, Base saturation. The same as in tables below.

表2 水稻不同生育期土壤微生物生物量及代谢商

Table 2. Soil microbial biomass and soil metabolic quotient at different rice developmental stages.

微生物活性和土壤类型 Microbial activity and soil type	移栽后天数 Days after transplanting					平均值 Mean	标准 偏差 SD	变异 系数 CV / %	
	0 d	15 d	30 d	50 d	90 d				
微生物生物量碳 Soil microbial metabolic biomass carbon / (mg · kg <sup>-1</sup> )									
黄松田水稻土 A	74.68 b	82.08 a	67.47 c	37.80 e	62.36 d	64.88	16.87	26.00	
黄红壤性水稻土 B	528.00 c	626.36 a	595.75 b	326.75 e	408.95 d	497.03	126.90	25.53	
微生物生物量氮 Soil microbial metabolic biomass nitrogen/ (mg · kg <sup>-1</sup> )									
黄松田水稻土 A	11.50 b	15.97 a	10.46 c	7.64 e	9.35 d	10.91	3.18	29.15	
黄红壤性水稻土 B	85.75 b	96.19 a	72.53 c	47.62 e	51.52 d	70.72	21.10	29.84	
呼吸强度 Respiration intensity/ (mg · kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )									
黄松田水稻土 A	11.19 b	11.85 a	9.48 c	3.20 e	6.19 d	8.38	3.63	43.34	
黄红壤性水稻土 B	9.38 a	9.46 a	8.32 b	2.48 d	3.30 c	6.59	3.42	51.86	
土壤代谢商 Soil metabolic quotient / h <sup>-1</sup>									
黄松田水稻土 A	0.150 a	0.144 a	0.141 a	0.085 c	0.099 b	0.123	0.030	24.39	
黄红壤性水稻土 B	0.018 a	0.015 a	0.014 a	0.008 a	0.008 a	0.013	0.004	30.77	

表中同一行数据后跟相同小写字母者表示 LSD 检验差异不显著 ( $P=0.05$ ) ,下同。  
In a row , data followed by the same letters indicate no significant difference at  $P=0.05$  level according to LSD test . The same as in the tables below .

相比,分别下降了 49.38 %和 38.25 %;之后,随着水稻继续生长,土壤中的微生物生物量 C 也渐渐回升,到成熟期(移栽后 90 d),黄松田水稻土中回升到移栽 0 d 时的 83.50 %,而黄红壤性水稻土中回升到移栽 0 d 时的 77.45 %。从表 1 和表 2 还可以看出,土壤微生物生物量同时受土壤性质的影响。黄红壤性水稻土有较高的微生物生物量 C,平均 497.03 mg/kg,而黄松田水稻土则有较低的微生物生物量 C,平均 64.88 mg/kg,前者是后者的 8 倍,表明土壤有机质和粘粒含量对微生物生物量 C 可能产生明显影响。

土壤中微生物生物量 N 有相似的规律。即水稻移栽后的前两周(苗期),土壤中微生物生物量 N 有一定的增加,但随着水稻继续生长,微生物生物量 N 减少,到移栽后 50 d 时,土壤中的微生物生物量 N 只有移栽 0 d 时的 46.43 % (黄松田水稻土)和 55.46 % (黄红壤性水稻土)。到移栽后 90 d 时,土壤微生物生物量 N 有所回升。与移栽后 50 d 时相比,黄松田水稻土和黄红壤性水稻土中分别增加了 22.38 %和 8.19 %。

土壤呼吸作用强度与土壤中的微生物总量及其活性密切相关。水稻移栽后的前期,呼吸作用强度缓慢增加(表 2)。随着水稻的进一步生长,微生物呼吸作用强度减弱。到移栽后 50 d 时,呼吸作用强度只有刚移栽时的 28.60 % (黄松田水稻土)和 26.44 % (黄红壤性水稻土)。到移栽 90 d 时,土壤呼吸作用有所回升。与微生物生物量 C、N 不同的是,不同阶段的同一时期黄松田水稻土中的呼吸作用要强于黄红壤性水稻土。经 LSD 检验,土壤微生物

生物量 C、N,呼吸作用强度在水稻不同生育期差异显著。

土壤代谢商是微生物活性的重要指标之一,用来定量表征单位生物量的微生物在单位时间里代谢能力的大小。土壤环境在受到胁迫或干扰条件下,微生物为了维持生存可能需要更多的能量,而使土壤微生物的代谢活性发生不同程度的反应<sup>[24]</sup>。水稻移栽后,随着水稻生长发育,土壤代谢商缓慢下降。但经 LSD 检验,黄红壤性水稻土中,土壤代谢商在水稻各生育期差异并不显著,而在黄松田水稻土中,水稻生长的中前期差异不显著,到后期,土壤代谢商略有回升并差异显著。

以上结果表明,水稻地上部分的生长发育与地下部分土壤微生物及其生化特征存在着复杂的关系。产生这种复杂关系的原因可能是,水稻移栽后 15 d,正处在苗期至分蘖期,水稻根系正处于扎根期,生长较缓慢,对土壤养分的吸收能力弱,可能有利土壤微生物的生长<sup>[25]</sup>;移栽后 30~50 d 为分蘖至拔节期,水稻地上部分生长快,地下部分正处扩根期,水稻吸收 N、P、S 等养分的能力强,与微生物竞争养分使微生物同化作用减弱,可能导致微生物生物量的减少和土壤呼吸作用强度的减弱<sup>[26]</sup>;移栽后 90 d,水稻处于成熟期,水稻根系生长减缓直至停滞,与土壤微生物的竞争作用减弱,土壤微生物生物量和土壤呼吸作用强度有所回升。对于它们之间内在关系还有待进一步深入研究。

在正常条件下,土壤中的微生物生物量 C、N 与该土壤的有机碳含量呈正相关,丰富的碳源基质能转化成较多的土壤微生物生物量。而土壤呼吸作用

与代谢商是土壤微生物活性强弱的表现,其大小除与土壤微生物量有关外,还与土壤质地、矿物组成、pH 变化及环境胁迫(如土壤污染等)密切相关。因此,土壤微生物生物量大并不等于其生物活性强。供试土壤中,黄红壤性水稻土有机碳含量较高,可导致土壤微生物生物量的增多。但同时该土壤颗粒组成中以粉粒和粘粒为主,保水能力强,通气性差,不利于土壤微生物的能量代谢活动<sup>[27]</sup>,所以出现了土壤微生物生物量较高,但其呼吸强度和代谢商反而较低的现象。

2.2 水稻不同生育期土壤酶活性的变化

由表 3 可知,在水稻移栽后的前一阶段,土壤脲酶活性随着水稻的生长而逐渐增强,到移栽后 30 d 时(水稻分蘖期)达最高值,与移栽(0 d)时比,黄松田水稻土和黄红壤性水稻土中脲酶活性分别增加了 47.88 %和 21.61 %。随着水稻继续生长,脲酶活性趋于下降,到移栽后 90 d 水稻处于成熟期时,黄松田水稻土中脲酶活性只有 0 d 时的 95.9 %,而黄红壤性水稻土中只有 0 d 时的 64.81 %。在水稻的整个生育期,黄红壤性水稻土中的脲酶活性始终高于黄松田水稻土,可能黄红壤性水稻土中全氮含量较高,有机质丰富,为土壤微生物提供了较多的氮源,增强了脲酶活性。

土壤中酸性磷酸酶活性在水稻移栽后的前两周逐渐下降,移栽 15 d 后与脲酶有相似的规律。随着水稻生长,酸性磷酸酶活性逐渐增强,到移栽后 30 d 左右时达最高值。两种土壤中酸性磷酸酶活性分别增加了 18.36 % (黄松田水稻土)和 86.43 % (黄红壤性水稻土)。然后随着水稻继续生长,酸性磷酸酶活性下降,到移栽后 90 d 时,分别只有 0 d 时的 13.43 % (黄松田水稻土)和 59.71 % (黄红壤性水稻土)。在整个生育期中,黄红壤性水稻土中的酸性磷

酸酶活性始终高于黄松田水稻土,而变异系数要小于黄松田水稻土(表 3)。酸性磷酸酶可加速土壤有机磷脱磷速度,积累的磷酸酶对土壤磷素的有效性具有重要作用。

土壤中脱氢酶活性在水稻移栽后的前两周也是随着水稻生长而逐渐下降,移栽 15 d 后逐渐增多。但与脲酶和酸性磷酸酶不同的是,最高值出现在移栽后 50 d 左右的孕穗期,此时黄松田水稻土与黄红壤性水稻土的脱氢酶活性分别是 151.62 和 282.33  $\mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{d})$ ,然后随水稻继续生长而下降。到移栽后 90 d 时,土壤中脱氢酶活性只有 0 d 时的 44.68 % (黄松田水稻土)和 78.13 % (黄红壤性水稻土)。在水稻生长过程中,黄红壤性水稻土的脱氢酶活性始终高于黄松田水稻土,变异系数要小于黄松田水稻土。

从前面结果可知,在水稻移栽后的前两周,水稻根系处于恢复和扎根阶段。除脲酶有一定增加外,酸性磷酸酶和脱氢酶活性都减弱。在水稻移栽后的 30 ~ 50 d,即由分蘖期到孕穗期这段时间,是水稻生长最旺盛的阶段,也是土壤酶活性最强的时期<sup>[28]</sup>。此时水稻根系将分泌出更多的有机酸和碳水化合物,进而刺激相关酶的活性<sup>[29]</sup>。脲酶与酸性磷酸酶为胞外酶,两者变化规律相似,而脱氢酶为胞内酶,主要来源于微生物和水稻的生命活动,与前两者变化规律不一致。从前面结果还可知,土壤酶活性不仅受水稻生长发育的影响,同时受土壤性质的制约。经 LSD 检验,土壤中脲酶、酸性磷酸酶及脱氢酶活性在水稻不同生育期差异达显著水平。

土壤酶是土壤活性蛋白质,一方面来源于土壤微生物的分泌<sup>[30]</sup>。因此,在供试土壤中,黄红壤性水稻土土壤微生物生物量较大,其分泌物相应增多,导致该土壤的各土壤酶活性均强于黄松田水稻土。

表 3 水稻不同生育期土壤酶活性的变化

Table 3. Soil enzyme activity at different rice developmental stages.

土壤酶活性和土壤类型 Soil enzyme activity and soil type	移栽后天数 Days after transplanting					平均值 Mean	标准 偏差 SD	变异 系数 CV / %
	0 d	15 d	30 d	50 d	90 d			
脲酶 Urease (NH <sub>3</sub> -N,37 ) / (mg · g <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )								
黄松田水稻土 A	0.22 c	0.23 b	0.32 a	0.22 c	0.21 d	0.24	0.05	20.15
黄红壤性水稻土 B	0.48 c	0.55 b	0.59 a	0.37 d	0.31 e	0.46	0.12	25.35
酸性磷酸酶 Acid phosphatase (phenol , 37 ) / (mg · g <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )								
黄松田水稻土 A	0.87 c	0.57 b	1.03 a	0.49 d	0.12 e	0.62	0.36	57.86
黄红壤性水稻土 B	1.40 b	0.91 d	2.61 a	1.03 c	0.84 c	1.36	0.73	53.97
脱氢酶 Dehydrogenase (TPF,37 ) / (μg · g <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )								
黄松田水稻土 A	97.62 b	73.81 d	82.94 c	151.62 a	43.61 e	89.92	39.74	44.20
黄红壤性水稻土 B	168.71 c	144.33 d	171.42 b	282.33 a	131.82 e	179.74	59.73	33.24

表 4 水稻不同生育期一些生理指标的变化

Table 4. Changes of some physiological characteristics in leaf of rice at different developmental stages.

生理指标和土壤类型 Physiological characteristics in leaf of rice and soil type	移栽后天数 Days after transplanting					平均值 Mean	标准 偏差 SD	变异 系数 CV %
	15 d	30 d	50 d	70 d	90 d			
叶绿素含量 Chlorophyll content in leaf/ (mg · g <sup>-1</sup> )								
黄松田水稻土 A	4.80 b	4.58 c	3.25 d	5.19 a	1.05 e	3.77	1.69	44.77
黄红壤性水稻土 B	4.05 b	4.68 a	3.80 c	4.65 a	1.13 d	3.66	1.47	40.08
脯氨酸含量 Proline content in leaf/ (μg · g <sup>-1</sup> )								
黄松田水稻土 A	79.75 a	65.47 c	70.31 b	40.31 d	41.55 d	59.49	16.39	27.55
黄红壤性水稻土 B	69.81 a	61.69 b	56.77 c	48.39 e	51.49 d	57.48	7.80	13.57
过氧化物酶活性 Peroxidase activity in leaf/ (OD <sub>470</sub> · g <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup> )								
黄松田水稻土 A	98.51 e	114.54 d	144.35 c	223.53 b	261.42 a	168.15	65.47	38.94
黄红壤性水稻土 B	190.11 d	192.37 d	196.55 c	208.57 b	264.52 a	210.30	28.84	13.71

另一方面来源于水稻根系的分泌,受水稻不同生育期的生命活动强弱所支配。在水稻生命活动较强的时期,其分泌物增多,可使土壤酶活性增强,但此时期的土壤微生物活动却受到一定的抑制。水稻生长后期,根系衰老,分泌物减少,使土壤酶活性减弱,但对土壤微生物的抑制作用也减弱,所以造成土壤酶活性的变化与土壤微生物生物量的变化不同步的现象。

2.3 不同生育期水稻叶绿素含量等生理指标的变化与土壤微生物生物量及土壤酶活性的关系

不同生育期水稻的叶绿素、脯氨酸含量及过氧化物酶活性的变化见表 4。从表中分析可知,水稻移栽后的 15~50 d,叶绿素含量在黄松田水稻土中是缓慢下降的,而在黄红壤性水稻土中是先上升后下降。之后,两种土壤水稻的叶绿素含量又逐渐回升,移栽后 70 d 形成一个峰值,到 90 d 时叶绿素含量急剧下降。水稻脯氨酸含量在移栽后 50 d 前在黄松田水稻土中变化不明显,移栽 50 d 后大幅度下降,至移栽 70 d 后出现一低值并趋于平稳。而在黄红壤性水稻土中水稻脯氨酸含量缓慢下降,至移栽 70 d 后也出现一低值,到移栽后 90 d 脯氨酸含量略有回升。水稻的过氧化物酶活性从移栽后 15~50 d 在黄松田水稻土中缓慢上升,移栽 50 d 后大幅度增加,之后缓慢增加。而在黄红壤性水稻土中水稻的过氧化物酶活性在移栽后 70 d 前变化不明显,至移栽后 90 d 时有较明显的增加。黄松田水稻土中水稻的叶绿素含量、脯氨酸含量及过氧化物酶活性的变异系数均高于黄红壤性水稻土中的变异系数。

在土壤养分状况没有达到限制水平的条件下,水稻各生育期生理指标的变化是其遗传特性使然。经相关分析可知,供试土壤条件下,不同生育期水稻生理指标的变化与土壤生化指标的变化并无显著的

相关性。

3 结论

在水稻-土壤-微生物相互作用的体系中,随着水稻从苗期-分蘖期-孕穗期-成熟期发展进程的推进,土壤微生物生物量 C、N 及呼吸作用强度经历了上升-下降-上升的变化过程,而土壤代谢商不断降低。土壤脲酶活性表现为先上升后下降,而酸性磷酸酶与脱氢酶活性则经历了先降后升再降的过程。水稻生长旺盛期也是土壤酶活性最强的时期,水稻成熟衰老时期,土壤酶活性则下降。土壤酶活性受土壤微生物及水稻生长规律的共同影响。表明了水稻地上部分的生长发育影响地下部分土壤微生物和土壤酶活性的变化。但不同生育期水稻生理指标的变化与土壤微生物和土壤酶活性的变化无显著的相关性。

参考文献:

1 黄昌勇. 土壤学. 北京: 中国农业出版社, 2000. 192 - 214.

2 Insam H, Mitchell C C, Dormaar J F. Relationship of soil microbial biomass and activity with fertilization practice and crop yield of three Ultisols. *Soil Biol Biochem*, 1991, 23: 459 - 464.

3 He Z L, Yao H Y, Chen G C. Relationship of crop yield to microbial biomass in highly-weathered soils of China. In: Ando T. *Plant Nutrition for Sustainable Food Production and Environment*. Tokyo, Japan: Kluwer Academic Publishers, 1997. 751 - 752.

4 姚桃应, 何振立, 黄昌勇. 红壤微生物氮的周转期及其研究意义. *土壤学报*, 1999, 36(3): 387 - 395.

5 高云超, 朱文珊, 陈文新. 土壤微生物生物量周转的估算. *生态学杂志*, 1993, 12(6): 6 - 10.

6 Baath E. Effects of heavy metal in soil on microbial processes and populations: a review. *Water Air Soil Poll*, 1989, 47: 335 - 379.

- 7 Alvarez R, Diaz R A, Barbero N, *et al.* Soil organic carbon, microbial biomass and CO<sub>2</sub>-C production from three tillage systems. *Soil & Till Res*, 1995, 33: 17 - 28.
- 8 Cookson P, Lepiece A G. Urease enzyme activities in soils of the Batinah region of the Sultanate of Oman. *J Arid Environ*, 1996, 32: 225 - 238.
- 9 Klose S, Tabatabai M A. Urease activity of microbial biomass in soils. *Soil Biol Biochem*, 1999, 31: 205 - 211.
- 10 Pascual J A, Moreno J L, Hernandez T, *et al.* Persistence of immobilized and total urease and phosphatase activities in a soil amended with organic wastes. *Bioresource Tech*, 2002, 82: 73 - 78.
- 11 Cesare F D, Garzillo A M V, Buonocore V. Use of sonication for measuring acid phosphatase activity in soil. *Soil Biol Biochem*, 2000, 32: 825 - 832.
- 12 Sinclair D C R, Smith G M, Bruce A, *et al.* Soil dehydrogenase activity adjacent to remedially treated timber, weathered in a physical field model. *Intl Biodeter Biodegr*, 1997, 39(23): 207 - 216.
- 13 Brzezinska M, Stepniewska Z, Stepniewski W. Soil oxygen status and dehydrogenase activity. *Soil Biol Biochem*, 1998, 30: 1783 - 1790.
- 14 何振立. 土壤微生物量及其在养分循环和环境质量评价中的意义. *土壤*, 1997, 29(2): 61 - 69.
- 15 Trasar-Cepeda C, Leiro S S, Seoane F, *et al.* Limitations of soil enzymes as indicators of soil pollution. *Soil Biol Biochem*, 2000, 32: 1867 - 1875.
- 16 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1980. 1 - 490.
- 17 Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol Biochem*, 1987, 19: 703 - 707.
- 18 Brookes P C, Landman A, Pruden G. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biol Biochem*, 1985, 17(6): 837 - 842.
- 19 鲁如坤. 土壤农业化学分析法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999. 74 - 77, 238 - 239.
- 20 关松荫, 张德生, 张志明. 土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社, 1986. 274 - 339.
- 21 张宪政. 作物生理研究法. 北京: 农业出版社, 1992.
- 22 朱广廉, 邓兴旺, 左卫能. 植物体内游离脯氨酸的测定. *植物生理学通讯*, 1983, (1): 35 - 39.
- 23 Nannipieri P, Muccini L, Ciardi C. Microbial biomass and enzyme activities, production and persistence. *Soil Biol Biochem*, 1983, 15(1): 679 - 685.
- 24 蒋先军, 骆永明, 赵其国. 重金属污染土壤的微生物学评价. *土壤*, 2000, (3): 130 - 134.
- 25 廖敏, 谢晓梅, 吴良欢. 水稻覆膜旱作对稻田土壤微生物生态质量的影响. *中国水稻科学*, 2002, 16(3): 243 - 246.
- 26 Liesack W, Schnell S, Niels Peter Revsbech N P, *et al.* Microbiology of flooded rice paddies. *Microbiol Rev*, 2000, 24: 625 - 645.
- 27 杨长明, 杨林章, 颜廷梅, 等. 不同养分和水分管理模式对水稻土质量的影响及其综合评价. *生态学报*, 2004, 24(1): 63 - 70.
- 28 李阳生, 李绍清. 淹涝胁迫对水稻生育后期的生理特性和产量性状的影响. *武汉植物学研究*, 2000, 18(2): 117 - 122.
- 29 郑丕尧. 作物生理学导论. 北京: 北京农业大学出版社, 1992. 485 - 490.
- 30 周礼恺. 土壤酶学. 北京: 科学出版社, 1987. 135 - 241.

## 《中国农业科学》2006 年征订启事

《中国农业科学》由农业部主管、中国农业科学院主办。主要刊登农牧业基础科学和应用科学研究论文:作物遗传育种·种质资源·分子遗传学;耕作栽培·生理生化;植物保护;土壤肥料·节水灌溉·农业生态环境;园艺·园林·贮藏·保鲜·加工;畜牧·兽医·资源昆虫;水产;综述与专论;研究简报;快讯等。读者对象是国内外农业科学研究院(所)、农业大专院校、综合性大学的农业科研、教学与管理人员。

《中国农业科学》为大16开本,每月10日出版,国内外公开发行。每期216页,定价39.50元,全年定价474.00元,邮发代号:2-138,国外代号:BM43。

《中国农业科学》(英文版)(Agricultural Sciences in China)每期80页,国内定价每期20.00元,全年240.00元,国外定价每期20.00美元,全年240.00美元,邮发代号:2-851,国外代号:1591M。

《中国农业科学》实行网上投稿、网上审稿,网上查稿。网址:www.ChinaAgriSci.com。

订阅办法:可到当地邮政局订阅,或直接汇款至编辑部订阅,可破季订阅,免收邮费。邮编:100081;地址:北京市中关村南大街12号《中国农业科学》编辑部;开户银行:中国农业银行北京北下关支行;户名:中国农业科学院农业信息研究所;帐号:050601040009874;电话:010-68919808,68975146;传真:010-68976244;E-mail:zgnykx@mail.caas.net.cn;联系人:林鉴非。