

洞庭湖区不同利用方式对土壤微生物 生物量碳氮磷的影响

彭佩钦^{1,2}, 吴金水¹, 黄道友¹, 汪汉林¹, 唐国勇¹, 黄伟生¹, 朱奇宏¹

(1. 中国科学院亚热带农业生态研究所 亚热带农业生态重点实验室, 湖南 长沙 410125; 2. 湖南农业大学资源环境学院, 长沙 410128)

摘要:以湖南省沅江市典型湖垌为代表,通过密集取样分析,研究了洞庭湖区不同利用方式条件下农田土壤微生物生物量碳、氮、磷的变化及其和土壤碳、氮、磷的关系,发现水田土壤碳、氮和微生物生物量碳、氮明显高于旱地,水田土壤中双季稻高于一季稻;土壤磷的含量旱地稍高于水田,但土壤微生物生物量磷水田稍高于旱地。尽管在水田土壤中微生物生物量碳、氮有明显的不同,但水田土壤微生物生物量磷维持在相对稳定的水平。典型样区土壤微生物生物量碳占有机碳的比例为 0.65% ~ 7.24%,平均 3.00%;土壤微生物生物量氮占全氮的比例为 0.98% ~ 7.41%,平均 3.81%;土壤微生物生物量磷占全磷的比例为 0.16% ~ 7.54%,平均 2.80%。土壤 C/N 为 3.87 ~ 17.31,平均 9.15;B_C/B_N 为 4.06 ~ 9.29,平均 7.26。土壤微生物生物量碳、氮与土壤碳、氮之间存在极其显著的线性相关关系,但土壤微生物生物量磷占全磷之间相关关系不显著。土壤微生物生物量碳、氮、磷之间的相关关系达到了极显著水平。不同的利用方式和耕作制度导致了土壤碳、氮和微生物生物量碳、氮的差异,土壤微生物生物量碳、氮能够很好地反映洞庭湖区农田土壤碳、氮水平。

关键词:土壤碳、氮、磷;微生物生物量碳、氮、磷;洞庭湖区;土地利用方式;耕作制度

文章编号:1000-0933(2006)07-2261-07 中图分类号:S153 文献标识码:A

Microbial biomass C, N, P of farmland soils in different land uses and croppingsystems in Dongting Lake region

PENG Pei-Qin^{1,2}, WU Jin-Shui¹, HUANG Dao-You¹, WANG Han-Lin¹, TANG Guo-Yong¹, HUANG Wei-Sheng¹, ZHU Qi-Hong¹

(1. Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Key Laboratory of Subtropical Agriculture Ecology, Changsha 410125, China; 2. College of Resource and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(7): 2261 ~ 2267.

Abstract: In the aim of understanding the characteristics of the microbial biomass in the farming soil derived from wetlands, detail field investigations were conducted in a selected landscape unit (112°16' ~ 112°56' E, 28°42' ~ 29°11' N) in the Dongting Lake region of Hunan Province. Data suggest that paddy soils contained larger amounts of total organic C (TOC), total N (TN), and the microbial biomass C and N (B_C and B_N) than arable soils in this region. For paddy soils, the contents of TOC and TN were larger under double-rice cropping systems than under single rice cropping systems. However, the content of total P (TP) for soils was under slightly larger in arable soils but the content of microbial biomass P (B_P) was slightly larger in paddy soils than in arable soils. It is surprising that, despite of the difference in the contents of TOC and TN resulted from double and single rice cropping systems, the content of B_P maintained relatively consistent for all the paddy soils. B_C, B_N, and B_P as the percentage of TOC, TN,

基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向资助项目(KZCX 3-SW-426, KZCX 1-SW-01);中国科学院知识创新领域前沿资助项目(02200220020223)

收稿日期:2005-09-20; **修订日期:**2006-01-30

作者简介:彭佩钦(1965~),男,湖南汨罗市人,博士生,研究员,主要从事土壤与环境生态研究. E-mail: pqpeng@isa.ac.cn

致谢:路鹏、邹炎、宋变兰等参加土样采集、调查和分析工作,特此致谢

Foundation item: The project was supported by the Knowledge Innovation Program of Chinese Academy of Sciences (No. KZCX 3-SW-426, KZCX 1-SW-01) and field project of the Knowledge Innovation Program of CAS (No. 02200220020223)

Received date: 2005-09-20; **Accepted date:** 2006-01-30

Biography: PENG Pei-Qin, Ph.D. Candidate, Professor, mainly engaged in soil ecology and environment. E-mail: pqpeng@isa.ac.cn

and TP in the soils of this region varied from 0.65% to 7.24% (a mean of 3.00%), 0.98% to 7.41% (a mean of 3.81%), and 0.16% - 7.54% (a mean of 2.80%), respectively. The ratio of B_C to B_N varied from 4.06 to 9.29 (a mean of 7.26). The contents of B_C and B_N significantly correlated to those of SOC and TN ($p < 0.01$), but not so between the contents of B_P and TP. Significant correlations also existed the contents of B_C , B_N , and B_P . This study suggests that land-uses and cropping systems resulted in significant differences in the contents of TOC and TN in soils in wetland regions, and that the contents of B_C and B_N can sensitively reflect changes in TOC and TN.

Key words: soil C, N, P; soil microbial biomass C, N, P; Dongting Lake region; land uses; cropping systems

随着人们对持续农业的日益关注,要求人们不断了解和认识不同农业管理措施对土壤肥力及生态环境的影响。土壤微生物作为土壤有机物质转化的执行者,其数量及其周转对植物有效养分起着“库”和“源”的作用,对土壤有机碳和主要养分(如氮、磷)的植物有效性及在陆地生态系统中的循环有着深刻的影响^[1-4],在维持土壤营养物质的循环中具有十分重要的作用。农业中的种植制度、轮作措施、有机残体的投入与施肥均是影响土壤微生物生物量的重要因素。作为有机物分解和养分转化中介者的土壤微生物,其数量及活性大小直接影响着土壤有机物质的周转及作物养分的供应^[5-8]。因此,提高土壤微生物的数量是保持土壤肥力常新和维持农业生态系统良性循环的重要前提。

土地利用方式的改变,尤其是耕作制度的变更,一方面导致进入土壤中肥料和植物残体的数量不同和性质各异^[9-12],另一方面由于土壤水管理、耕作方式等农业管理措施的差异,影响了土壤中养分的矿化、运输、吸收和利用,因而造成土壤养分的差异^[13-17]。洞庭湖区包括 19 个县(市、区)和 15 个国营农场,是湖南省主要的商品粮、棉、油基地,在湖南乃至全国的农业可持续发展具有重要的地位。由于社会经济的发展,洞庭湖地区土地利用方式和耕作制度发生了重大变化^[18,19],曾希柏等利用长期定位试验对稻田不同耕作制度下有机质和氮磷钾的变化进行了研究^[20],任可爱等研究长期施肥对土壤氮磷钾的影响^[21]。但对该区不同利用方式条件下土壤碳、氮、磷研究较少,尤其是微生物生物量碳、氮、磷的变化研究更是未见报道。以湖南省洞庭湖区沅江市典型湖垸为代表,通过密集采样分析和野外调查,研究洞庭湖区不同利用方式条件下农田土壤碳、氮、磷和微生物生物量碳、氮、磷的变化及其相互关系,以期为正确评价农田土壤的肥力提供科学依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究地区概况

洞庭湖区位于长江中游下荆江南岸,东经 $110^{\circ}50' \sim 113^{\circ}45'$,北纬 $27^{\circ}55' \sim 30^{\circ}23'$,属亚热带季风性气候。春夏冷暖气流交替频繁,夏秋晴热少雨,秋寒偏早。多年平均气温 $16.5 \sim 17^{\circ}\text{C}$,1 月份平均气温 $3.8 \sim 4.7^{\circ}\text{C}$,7 月份平均气温 29°C 左右,年平均降水量 $1250 \sim 1450\text{mm}$,无霜期 $258 \sim 275\text{d}$ 。采样区地处 $112^{\circ}16' \sim 112^{\circ}56'\text{E}$ 、 $28^{\circ}42' \sim 29^{\circ}11'\text{N}$,行政区域为沅江市大同乡,位于洞庭湖西南,年平均气温 16.5°C ,年均降水量 1161mm ,降水集中且多为暴雨。主要地貌为湖积平原,海拔在 $26.9 \sim 28.5\text{m}$,土壤为以湖积物、冲积物发育而成的水稻土和潮土。

1.2 研究方法

采用野外调查取样和室内化验分析相结合的研究方法。

1.2.1 野外调查取样 于 2004 年 3 月在洞庭湖区的沅江市大同乡典型湖垸选取 370hm^2 的样区。按 10hm^2 3~4 个样的标准采集 4 种利用方式(苧麻为主的旱地、油菜为主的旱地、一季稻水田和双季稻水田)下的土壤耕层样($0 \sim 15\text{cm}$),其采样数分别为 42、25、32 和 54 个,共 153 个土样。采样过程中应用全球定位系统对每个土样点(地块)准确定位,并现场调查每个土样点(地块)的基本情况,包括取样点的地块面积、户主姓名,种植方式,耕作制度,灌溉情况,近 3a 来的投入、产出水平以及施肥的具体情况(包括肥料种类、数量)。

1.2.2 室内分析 土壤样品放入 4°C 冰箱中保存。用于测定土壤微生物量 C、N、P 的样品除去可见动、植物残体,过孔径 2mm 筛,混匀并在室温下风干至土壤含水量大约相当于 40% 的土壤饱和持水量。在标准条件

下(25℃, 100%空气湿度的容器内)预培养 10d。用于测定基本理化性质的样品在室温下完全风干, 碾磨并过孔径 100 目筛。

土壤有机碳的测定采用重铬酸钾-浓硫酸外加热法^[22], 采用元素分析仪(Vario-MAX C/N 分析仪, 德国)测定土壤全氮含量, 土壤全磷采用 NaOH 熔融-钼锑抗比色法^[22]。

土壤微生物量 C、N 采用氯仿熏蒸-K₂SO₄ 提取方法测定^[23,24]。称取 4 份预培养土样, 每一份土壤 25 g(烘干基), 其中 2 份直接用 0.5 mol/L K₂SO₄ 提取(300 r/min 振荡 30 min)。另 2 份在真空干燥器内用氯仿熏蒸(24 h), 熏蒸的土样除去氯仿后立即提取。取 10ml 提取液与 10ml 2%六偏磷酸钠混后以碳自动分析仪(Phoenix-8000)分析提取的有机 C。另取 20ml 提取液, 加 CuSO₄ 和浓硫酸消化后采用流动注射仪分析提取的 N。以熏蒸土样与不熏蒸土样提取的有机 C、N 的差值分别乘以转换系数 K_c(2.22)或 K_N(2.22)计算土壤微生物量 C、N。

土壤微生物 P 采用熏蒸培养-NaHCO₃ 提取方法测定^[25,26]。称取 4 份预培养土样, 每份土壤 4.0 g(烘干基), 2 份直接用 0.5mol/L NaHCO₃(pH8.5)提取, 另外 2 份熏蒸提取。采用比色法测定分析提取液中的 P。同时用外加无机 P 的方法测定 P 的提取回收率。以熏蒸土样与不熏蒸土样提取的 P 的差值并校正提取回收率后, 乘以转换系数 KP(2.5)计算土壤微生物生物量 P。

数据采用 Excel 和 SAS 6.12 分析处理。

2 结果与分析

2.1 不同利用方式的土壤碳、氮、磷

典型样区水田土壤有机碳(SOC)平均含量为 26.90 g/kg, 主要分布区间在 15 ~ 35 g/kg(分布频率为 88.5%, 下同), 全氮平均含量为 2.96 g/kg, 主要分布区间在 2.0 ~ 4.0 g/kg(93.1%); 旱地土壤有机碳平均含量为 19.60 g/kg, 主要分布区间在 15 ~ 27.5 g/kg(85.5%), 全氮平均含量为 2.22g/kg, 主要分布区间在 1.5 ~ 3.0 g/kg(87.7%)。水田土壤磷平均含量为 0.968g/kg, 主要分布区间在 0.70 ~ 1.20 g/kg(92.0%); 旱地土壤磷平均含量为 1.01g/kg, 主要分布区间在 0.80 ~ 1.20 g/kg(93.2%)。由此可知不同利用方式下土壤的有机碳、全氮含量差异明显, 经 SAS 分析 4 种利用方式之间的土壤有机碳、全氮含量差异显著, 即双季稻 > 一季稻 > 油菜 > 苧麻(表 1)。土壤磷的含量差异不大, 旱地稍高于水田(高 4%), 但其中油菜显著高于双季稻(表 1)。

表 1 不同利用方式的土壤碳、氮、磷的含量 (g kg⁻¹)

Table 1 Soil C, N, P content of farming lands in Dongting Lake region														
利用类型 Soil types	种植制度 Cropping systems	样本数 Sample number	有机碳 SOC				全氮 TN				全磷 TP			
			平均值	标准差	比较	比较	平均值	标准差	比较	比较	平均值	标准差	比较	比较
			Mean	Stdev	Mc ¹⁾	Mc ¹⁾	Mean	Stdev	Mc	Mc ¹⁾	Mean	Stdev	Mc ¹⁾	Mc ¹⁾
旱地 Dry land	苧麻为主 Ramie	42	18.17	3.74	dC ¹⁾		2.09	0.39	dC		1.00	0.13	abA	
	油菜为主 Rape	25	22.00	5.11	cB		2.45	0.62	cB		1.04	0.12	aA	
	合计 Total	67	19.60	4.65		bB	2.22	0.51		bB	1.01	0.13		aA
水田 Paddy soil	一季稻 Rice	32	25.13	5.73	bAB		2.76	0.58	bAB		1.00	0.10	abA	
	双季稻 Rice-rice	54	28.30	6.28	aA		3.07	0.62	aA		0.95	0.16	bA	
	合计 Total	86	27.12	6.24		aA	2.95	0.62		aA	0.97	0.14		bA
农业用地 Farmland		153	23.83	6.72			2.63	0.68			0.99	0.14		

1) 多重比较: 字母相同的表示没有差异, 小写字母不同的表示其差异达到 95% 的显著水平, 大写字母不同的表示其差异达到 99% 的极显著水平 Multi-comparison; The same letters within each vertical column indicate no significantly difference for concentration of SOC under different land use at 5% level (The same capital letter at 1%)

2.2 不同利用方式的土壤微生物生物量碳、氮、磷

典型样区水田土壤微生物生物量碳(B_c)平均含量为 830.66 mg/kg, 主要分布区间在 400 ~ 1500mg/kg(分布频率为 91.95%, 下同), 土壤微生物生物量氮(B_N)平均含量为 115.47 mg/kg, 主要分布区间在 70 ~ 160 mg/kg(78.16%); 土壤微生物生物量磷(B_p)平均含量为 29.12 mg/kg, 主要分布区间在 10 ~ 50 mg/kg(88.5%); 旱地

B_c 为 590.66g/kg, 主要分布区间在 400 ~ 1100 mg/kg(88.0%), 土壤微生物生物量氮(B_N)平均含量为 84.62 mg/kg, 主要分布区间在 40 ~ 110 mg/kg(79.1%); 土壤微生物生物量磷(B_P)平均含量为 24.52 mg/kg, 主要分布区间在 5 ~ 35 mg/kg(82.0%)。由此可知洞庭湖区不同利用方式农田土壤微生物生物量碳差异明显(表 2)。经 SAS 分析, 水田与旱地差异显著, 水田中双季稻与一季稻差异显著, 旱地中油菜与苧麻差异显著, 即不同利用方式下土壤微生物生物量碳水田 > 旱地, 双季稻 > 一季稻, 油菜 > 苧麻。土壤微生物生物量氮顺序与微生物生物量碳基本相同(表 2), 水田 > 旱地, 双季稻 > 一季稻, 但油菜与苧麻差异不显著, 双季稻显著高于其它 3 种植植制度。土壤微生物生物量磷(B_P)基本一致, 不同利用方式下差异不显著, 但水田与旱地之间差异达到了显著水平(表 2)。

表 2 不同利用方式的土壤微生物生物量碳、氮、磷 (mg kg^{-1})

Table 2 Soil microbial biomass C, N, P of farming lands in Dongting Lake region

利用类型 Soil types	种植制度 Cropping systems	样本数 Sample number	微生物生物量碳 B_c				微生物生物量氮 B_N				微生物生物量磷 B_P			
			平均值 Mean	标准差 Stdev	比较 Mc ⁽¹⁾	比较 Mc ⁽¹⁾	平均值 Mean	标准差 Stdev	比较 Mc	比较 Mc ⁽¹⁾	平均值 Mean	标准差 Stdev	比较 Mc ⁽¹⁾	比较 Mc ⁽¹⁾
旱地 Dry land	苧麻为主 Ramie	42	522.71	169.85	cB		78.55	27.83	bB		24.07	12.82	aA	
	油菜为主 Rape	25	704.81	384.21	bAB		94.81	39.56	bAB		25.28	12.59	aA	
	合计 Total	67	590.66	281.91		bB	84.62	33.36		bB	24.52	12.65		bA
水田 Paddy soil	一季稻 Rice	32	735.77	285.04	bAB		100.78	35.90	bAB		24.45	9.96	aA	
	双季稻 Rice-rice	54	888.49	382.05	aA		125.12	56.58	aA		31.70	14.40	aA	
	合计 Total	86	831.66	355.19		aA	116.06	51.05		aA	29.00	13.33		aA
农业用地 Farmland		153	726.13	345.61			102.29	46.75			27.04	13.19		

1) 多重比较: 字母相同的表示没有差异, 小写字母不同的表示其差异达到 95% 的显著水平, 大写字母不同的表示其差异达到 99% 的极显著水平 Multi-comparison: The same letters within each vertical column indicate no significantly difference for concentration of SOC under different land use at 5% level(The same capital letter at 1%)

2.2 土壤微生物生物量碳、氮、磷与土壤碳、氮、磷的关系

典型样区土壤微生物生物量碳占有有机碳的比例为 0.65% ~ 7.24%, 平均 3.00%; 土壤微生物生物量氮占全氮的比例为 0.98% ~ 7.41%, 平均 3.81%; 土壤微生物生物量磷占全磷的比例为 0.16% ~ 7.54%, 平均 2.80%。土壤 C/N 为 3.87 ~ 17.31, 平均 9.15; B_c/B_N 为 4.06 ~ 9.29, 平均 7.26。由表 3 可知洞庭湖区不同利用方式土壤 B_c/SOC 、 B_N/TN 、 B_P/TP 双季稻高于其它 3 种利用方式。结果显示, 利用方式不仅影响土壤微生物生物量, 同样影响微生物生物量碳、氮、磷占土壤碳、氮、磷百分率。

表 3 土壤微生物生物量碳、氮、磷占土壤碳、氮、磷的比例

Table 3 The percentages of soil microbial biomass C, N, P in soil C, N, P

利用类型 Soil types	种植制度 Cropping systems	$B_c/\text{SOC}(\%)$		$B_N/\text{TN}(\%)$		$B_P/\text{TP}(\%)$		C/N		B_c/B_N	
		平均值 Mean	标准差 Stdev	平均值 Mean	标准差 Stdev	平均值 Mean	标准差 Stdev	平均值 Mean	标准差 Stdev	平均值 Mean	标准差 Stdev
旱地 Dry land	苧麻为主 Ramie	2.87	0.73	3.77	1.13	2.42	1.26	8.79	1.56	6.93	1.85
	油菜为主 Rape	3.07	1.08	3.89	1.17	2.48	1.28	9.11	1.55	7.43	2.33
水田 Paddy soil	一季稻 Rice	2.94	1.17	3.63	1.01	2.46	0.97	9.27	1.89	7.35	1.72
	双季稻 Rice-rice	3.11	1.18	3.92	1.31	3.45	1.80	9.37	2.00	7.40	1.77
农业用地 Farmland		3.00	1.05	3.81	1.18	2.80	1.50	9.15	1.79	7.26	1.88

典型样区土壤微生物生物量碳、氮与土壤碳、氮之间存在极其显著的线性相关关系(表 4), 但土壤微生物生物量磷占全磷之间相关关系不显著, 且土壤微生物生物量碳、氮、磷之间的相关关系达到了极显著水平。表明土壤微生物生物量可以用来指示土壤肥力的水平。土壤微生物生物量 C 和 N 的变化基本保持同步, 说明稻田土壤微生物对 N 素的固持作用主要取决于土壤微生物本身的生物量的大小, 土壤微生物生物量碳、氮能够很好地反映洞庭湖区农田土壤碳、氮水平。土壤微生物生物量磷似乎不能反映土壤磷水平。

表 4 土壤微生物生物量碳、氮、磷的含量与土壤碳、氮、磷的相关关系(R)

Table 4 Correlations between soil organic carbon, soil N, soil P and soil microbial biomass C, N, P

利用类型 Soil types	种植制度 Cropping systems	样本数 Sample number	微生物碳与有 机碳 B_C -SOC	微生物氮与 全氮 B_N -TN	微生物磷与 全磷 B_P -TP	微生物碳与微 生物氮 B_C - B_N	微生物碳与微 生物磷 B_C - B_P	微生物氮与微 生物磷 B_N - B_P
旱地 Dry land	苧麻为主 Ramie	42	0.6250**	0.4781**	0.1367	0.8131**	0.5122**	0.5787**
	油菜为主 Rape	25	0.8052**	0.6725**	0.0173	0.8325**	0.7803**	0.7915**
水田 Paddy soil	一季稻 Rice	32	0.5768**	0.6845**	0.2131	0.8423**	0.6984**	0.7682**
	双季稻 Rice-rice	54	0.5877**	0.8210**	0.0141	0.9032**	0.8180**	0.9170**
农业用地 Farmland		153	0.6957**	0.7550**	0.0100	0.8834**	0.7255**	0.8022**

3 讨论

本研究采样区为洞庭湖典型湖垸,农田土壤均由长江泛滥冲积沉积物母质发育而成,由于形成土壤的冲积物来源比较均一,加之采样区面积不大(370hm^2),土壤只有水稻土和潮土两种类型,而造成这两种类型差别的主要原因是利用方式(耕作制度)不同^[27]。采样区 1978 年以前土地利用方式绝大部分为水田,耕作制度为稻-稻-肥。20 世纪 80 年代起,由于苧麻价格上涨和外出务工农民数量增加等原因,一部分水田耕作制度改为一季稻-肥,一部分地势稍高或排水良好的水田改种苧麻。近年来,部分水田改为旱地(油菜、棉花、蔬菜),稻-稻-肥和稻-肥种植制度也变为稻-稻-闲(排水)和稻-闲(排水)。因此,由土地利用方式的改变引起的进入土壤的各种物质性质和数量的差异以及土壤水分条件的改变可能是导致土壤有机碳和氮素含量差异的原因之一。有研究表明干湿交替能够显著降低土壤微生物生物量^[28,29]。旱作方式下频繁发生的土壤干湿交替,促进了土壤有机碳和氮素的分解,也难以维持较高的微生物生物量,而淹水状况下,土壤有机碳和氮素的分解较慢,也有利于维持较高的土壤微生物生物量。同时不同的利用方式进入生态系统的有机碳的数量、性质(稻草、苧麻秆)和方式(翻压还田、表面覆盖)等存在较大的差异。据田间调查,耕作制度为双季稻的有机碳的年投入量为 3159 kg/hm^2 ,耕作制度为一季稻的有机碳的投入量 2196 kg/hm^2 ,而耕作制度为旱地的(苧麻为主)有机碳的投入量 1505 kg/hm^2 ,水旱轮作土壤干湿交替现象发生频繁,促进了土壤有机碳和氮素的分解。据田间调查,氮素的盈余量双季稻(112.56 kg/hm^2)最高。研究显示,本研究区域的耕作土壤全氮平均含量高于同纬度的长江下游的太湖地区(1.61 g/kg)^[30],这可能与土壤性质、施肥及大量的秸秆还田有关。因为秸秆还田不仅增加了土壤氮素的输入量,还能减少化肥氮的损失。较高的 C、N 投入量是导致双季稻土壤 C、N 和微生物生物量 C、N 高于其它 3 种利用方式的主要原因。

该区磷素的输入以化肥为主,四种主要利用方式化肥带入磷均占磷投入量的 80% 以上。磷素的输出以农产品和作物秸秆带出为主,占磷素输出的 95% 以上。据田间调查土壤磷素都呈盈余状态,盈余量旱地最高(36.13 kg/hm^2),比水田的盈余量多(双季稻 19.39 kg/hm^2 ,一季稻水田 13.57 kg/hm^2)。这可能是该区土壤磷旱地稍高于水田(高 4%)的重要原因。但土壤微生物生物量磷水田高于旱地 15%,且土壤微生物生物量磷与全磷之间相关关系不显著。虽然土壤微生物生物量磷是土壤有效磷的重要给源,且与土壤有效磷直接相平衡^[31],但土壤微生物对磷的固持作用主要取决于土壤微生物本身的生物量大小^[4,32]。据此我们推测可能是由于该区土壤全磷丰富,大大超出了微生物对磷的固持作用。土壤微生物生物量磷与土壤有机碳和土壤微生物生物量之间都呈极显著的线性关系,这与黄敏等^[33]和刘守龙^[34]等的研究结果相同。黄敏^[35]等研究表明,土壤 MB-P 对施用化肥的反应并不敏感,而投入有机物料可显著提高土壤 MB-P。因此可以认为该区水田较高的 C 投入量显著提高了土壤 MB-P;而旱地虽然土壤磷稍高,但 C 投入量仅为水田的 1/2,是导致 MB-P 低于水田的重要原因。

4 结语

洞庭湖区不同利用方式的土壤有机碳、全氮和微生物生物量碳、氮存在显著的差异,其中双季稻显著高于其它 3 种利用方式。与碳、氮不同的是,土壤磷和微生物生物量磷含量相对差距小。较高的 C、N 投入量是导致双季稻土壤 C、N 和微生物生物量 C、N 高于其它 3 种利用方式的主要原因。水田较高的 C 投入量也显著提高了土壤 MB-P。

References:

- [1] Singh J S, Raghubanshi A S, Singh R S, Srivastava S C. Microbial biomass acts a source of plant nutrients in dry tropical forest and savanna. *Nature*, 1989, 338: 499 ~ 500.
- [2] Srivastava S C, Singh J S. Microbial C, N and P in dry tropical soils: Effects of alternate land-uses and nutrient flux. *Soil Biology & Biochemistry*, 1991, 23(2): 117 ~ 124.
- [3] Smith J L, Paul E A. The significance of soil microbial biomass estimated. In: Bollage J M and Stotzky G eds. *Soil Biochemistry*. New York: Marcel Dekker. Inc., 1991. 359 ~ 396.
- [4] He Z L. Soil microbial biomass and its significance in nutrient cycling and evaluation of environmental quality. *Soil*, 1997, 21(2): 61 ~ 69.
- [5] Wu J. The turnover of organic C in soil. U. K: University of Reeding, 1991.
- [6] Zhou J B, Li S X. Relationships between soil microbial biomass C and N and mineralizable nitrogen in some arable soils on Loess Plateau. *Pedosphere*, 1998, 8 (4): 349 ~ 354.
- [7] Zaman M, Di H J, Cameron K C, *et al.* Gross nitrogen mineralization and nitrification rates and their relationships to enzyme activities and the soil microbial biomass in soils treated with dairy shed effluent and ammonium fertilizer at different water potentials. *Biol. Fertil. Soils*, 1999, 29: 178 ~ 186.
- [8] Van Gestel M, Ladd J N, Amato M. Microbial biomass responses to seasonal change and imposed drying regimes at increasing depths of undisturbed topsoil profiles. *Soil Biol. Biochem.*, 1992, 24: 103 ~ 111.
- [9] Powers J S. Changes in soil carbon and nitrogen after contrasting land-use transitions in Northeastern Costa Rica. *Ecosystems*, 2004, 7(2): 134 ~ 146.
- [10] Li Z P and Wang X J. Simulation of soil organic carbon dynamic after changing landuse pattern in hilly red soil region. *Chin. J. A ppl. Ecol.*, 1998, 9 (4): 365 ~ 370.
- [11] Wu J G, Zhang X Q, Xu D Y. Impact of landuse change on soil carbon storage. *Chin. J. A ppl. Ecol.*, 2004, 15 (4): 593 ~ 599.
- [12] Chen G Q, Huang D Y, Su Y R, *et al.* Effects of soil organic matter in hilly red soils from mid-subtropics region under various utilization patterns. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(2): 256 ~ 260.
- [13] Cai C F, Chen J Z, Wang C R, *et al.* Effects of rotation cropping system on soil nutrients in hilly region of red soil in south Hubei. *Soil and Environmental Sciences*, 2001, 10(1): 47 ~ 50.
- [14] McGrath D A, Smith C K, Gholz H L, *et al.* Effects of land-use change on soil nutrient dynamics in Amazonia. *Ecosystems*, 2001, 4: 625 ~ 645.
- [15] Knops J M, Tilman D. Dynamics of soil nitrogen and carbon accumulation for 61 years after agricultural abandonment. *Ecology*, 2000, 81(1): 88 ~ 98.
- [16] Gao Y J, Huang D M, Zhu P L, *et al.* The long term impact of different soil management on nitrogen fertility in rice-based cropping system. *Acta Pedologica Sinica*, 2000, 37(4): 456 ~ 463.
- [17] Chen Y Q, Yu J Y. The evolution of interior properties of red soil under various use patterns. *Chinese Journal of Soil Science*, 2004, 35(2): 149 ~ 151.
- [18] Huang G Q. The evolution and development of cropping system of farmland in south China. *Chinese Journal of Rice*, 1997, (4): 3 ~ 8.
- [19] Yang G L, Li L, Ye T L. Study on reform of cropping system in Dongting lake and its agricultural sustainable development. *Research of Crop*, 1997, 3: 1 ~ 3.
- [20] Zeng X B, Guan G F. The change of organic, nitrogen, phosphorus and potassium nutrient in different cropping system. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19 (1): 90 ~ 95.
- [21] Ren K A, Xiao H A, Lli L, *et al.* Changes of soil organic matter, nitrogen, phosphorus and potassium contents in paddy soils in Dongting Lake area. *Research of Agricultural Modernization*, 2005, (2): 150 ~ 153.
- [22] Nanjing Agricultural University. *Soil physics and chemistry analysis*. Beijing: Agricultural Press, 1998.
- [23] Brookes P C, Landman A, Pruden G and Jenkinson D S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen, a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biol. Biochem.*, 1985, 17: 837 ~ 842.
- [24] Wu J, Brookes P C, Jenkinson D S. Formation and destruction of microbial biomass during the decomposition of glucose and ryegrass in soil. *Soil. Biol. Biochem*, 1993, 25(10): 1435 ~ 1441.
- [25] Wu J S, Xiao H A, Chen G Q, *et al.* Measurement of microbial biomass-p upland soils in China. *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(1): 70 ~ 78.
- [26] Brookes P C, Powlson D S, Jenkinson D S. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. *Soil. Biol. Biochem*, 1982, 14: 319 ~ 329.
- [27] Peng P Q, Qiu S J. Agricultural environment and its sustainable development at embankment region of Dongting Lake. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2005, 14(3): 322 ~ 326.
- [28] Wu J S. 1994. *Soil organic matter and turnover dynamics*. He Dianyuan ed. *Soil fertility and fertilizing of the cultivating crops in southern China*. Beijing: Science Press, 1994. 37 ~ 46.
- [29] Kieft T L, Sorofer E, Firestone M K. Microbial biomass response to a rapid increase in water potential when dry soil is wetted. *Soil Biol. Biochem.*, 1987,

19: 119 ~ 126.

- [30] Liu F C, Shi X Z, Yu D S, *et al.* Mapping soil properties of the typical area of Taihu Lake watershed by geostatistics and geographic information systems. *Acta Pedologica Sinica*, 2004,41(1):20 ~ 27.
- [31] Zhang S R, Huang Y F, Li B G, *et al.* Temporal spatial variability of soil available phosphorus and potassium in the alluvial region of the Huanghuaihai Plain. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2003,9(1):3 ~ 8.
- [32] Wang Y, Shen Q R, Shi R H, *et al.* Soil microbial biomass and its ecology effect. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 1996,19(4):45 ~ 51.
- [33] Huang M, Xiao H A, Huang D Y, *et al.* Responses of the microbial biomass P to the changes of organic C and P in paddy soils. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004,37(9):1400 ~ 1406.
- [34] Liu S L, Xiao H A, Tong C, *et al.* Microbial biomass C, N and P and their responses to application of inorganic and organic fertilizers in subtropical paddy soils. *Research of Agricultural Modernization*, 2003, (4):278 ~ 282.
- [35] Huang M, Xiao H A, Huang D Y, *et al.* Effect of amendment of organic materials on transformation of p in red earth soil under flood drought cultivation. *Acta Pedologica Sinica*, 2004,41(4):584 ~ 589.

参考文献:

- [4] 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, 21(2): 61 ~ 69.
- [10] 李忠佩, 王效举. 红壤丘陵区土地利用方式变更后土壤有机碳动态变化的模拟. *应用生态学报*, 1998, 9(4): 365 ~ 370.
- [11] 吴建国, 张小全, 徐德应. 土地利用变化对土壤有机碳贮量的影响. *应用生态学报*, 2004, 15(4): 593 ~ 599.
- [12] 陈桂秋, 黄道友, 苏以荣, 等. 红壤丘陵区土地不同利用方式对土壤有机质的影响. *农业环境科学学报*, 2005, 24(2): 256 ~ 260.
- [13] 蔡崇法, 陈家宙, 王长茨, 等. 鄂南红壤丘陵区种植结构调整对土壤养分的影响. *土壤与环境*, 2001, 10(1): 47 ~ 50.
- [16] 高亚军, 黄东迈, 朱培立, 等. 稻麦轮作条件下长期不同土壤管理对氮素肥力的影响. *土壤学报*, 2000, 37(4): 456 ~ 463.
- [17] 陈永强, 俞劲炎. 不同利用方式下红壤内在性质的演化. *土壤通报*, 2004, 35(2): 149 ~ 151.
- [18] 黄国勤. 中国南方稻田耕作制度的演变和发展. *中国稻米*, 1997, (4): 3 ~ 8.
- [19] 杨光立, 李林, 叶桃林, 等. 略论洞庭湖集约农区耕作改制及农业可持续发展策略. *作物研究*, 1997, 3: 1 ~ 3.
- [20] 曾希柏, 关光复. 稻田不同耕作制下有机质和氮磷钾的变化研究. *生态学报*, 1999, 19(1): 90 ~ 95.
- [21] 任可爱, 肖和艾, 李玲, 等. 洞庭湖区稻田土壤有机质和氮磷钾含量的变化. *农业现代化研究*, 2005, (2): 150 ~ 153.
- [22] 南京农业大学主编. *土壤农化分析*. 北京: 农业出版社, 1998.
- [25] 吴金水, 肖和艾, 陈桂秋, 等. 旱地土壤微生物磷测定方法研究. *土壤学报*, 2003, 40(1): 70 ~ 78. : 70 ~ 78.
- [27] 彭佩钦, 仇少君. 洞庭湖区农业环境与湖垸农业可持续发展模式. *长江流域资源与环境*, 2005, 14(3): 322 ~ 326.
- [28] 吴金水. 土壤有机质及其周转动力学. 见: 何电源主编. *中国南方土壤肥力与栽培作物施肥*, 北京: 科学出版社, 1994: 37 ~ 46.
- [30] 刘付程, 史学正, 于东升, 等. 基于地统计学和 GIS 的太湖典型地区土壤——以土壤全氮制图为例. *土壤学报*, 2004, 41(1): 20 ~ 27.
- [31] 张世熔, 黄元仿, 李保国, 等. 黄淮海冲积平原区土壤速效磷、钾的时空变异特征. *植物营养与肥料学报*, 2003, 9(1): 3 ~ 8.
- [32] 王岩, 沈其荣, 史瑞和, 等. 土壤微生物量及其生态效应. *南京农业大学学报*, 1996, 19(4): 45 ~ 51.
- [33] 黄敏, 肖和艾, 童成立, 等. 稻田土壤微生物磷变化对土壤有机碳和磷素的响应. *中国农业科学*, 2004, 37(9): 1400 ~ 1406.
- [34] 刘守龙, 肖和艾, 童成立, 等. 亚热带稻田土壤微生物生物量 C、N、P 状况及其对施肥的反应特点. *农业现代化研究*, 2003, (4): 278 ~ 282.
- [35] 黄敏, 肖和艾, 黄巧云, 等. 有机物料对水旱轮作红壤磷素微生物转化的影响. *土壤学报*, 2004, 41(4): 584 ~ 589.