

红壤小流域不同土地利用方式坡面下水塘底泥养分含量变化*

王晓龙^{1,2}, 胡 锋^{1**}, 李辉信¹, 秦江涛¹, 张 斌³

(1: 南京农业大学 资源与环境学院, 南京 210095)

(2: 中国科学院生态环境研究中心系统生态重点实验室, 北京 100085)

(3: 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘 要:以我国南方丘陵区红壤小流域为研究对象, 对不同土地利用方式坡面下的 4 个水塘底泥中养分含量作了分层比较研究(0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm, 15-20 cm, 20-25 cm, 25-30 cm)。结果表明: 4 个水塘底泥养分含量差异明显, 在 0-15 cm 泥层有机碳、全氮、速效氮和全磷含量以邻近村庄的水塘(简称 C 塘)底泥最高, 其次为板栗园坡下的水塘(简称 B 塘), 水稻田坡面下水塘(简称 S 塘)和花生地坡面下水塘(简称 H 塘)最低; 在 15-30 cm 泥层, 有机碳和速效氮含量以 B 塘最高, 而全氮和全磷含量则以 C 塘最高; 有效磷含量除 C 塘 0-15 cm 底泥外, 其余均为痕量。表明土地利用方式对其坡面下水塘底泥养分含量影响明显。各水塘底泥养分随泥层加深均呈递减趋势, 其中全氮和速效氮减幅以 C 塘最大, 分别为 36.0% 和 38.7%, 有机碳和全磷减幅则以 B 塘最大, 为 29.4% 和 31.9%; 各塘底泥养分含量的最大降幅主要在浅层底泥, 水塘养分积累加速表明近年来农村面源污染加剧。传统农业耕作方式的改变是农村水体底泥养分含量增加的主要原因之一。

关键词:红壤小流域; 土地利用方式; 底泥; 养分含量

Variations of the nutrient concentrations in the sediments of ponds under the slopes of different land use patterns in small red soil watershed

WANG Xiaolong^{1,2}, HU Feng¹, LI Huixing¹, QIN Jiangtao¹ & ZHANG Bin³

(1: College of Resource and Environmental Sciences, Nanjing Agriculture University, Nanjing 210095)

(2: Key Laboratory of Systems Ecology Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS, Beijing 100085 P. R. China)

(3: Institute of Soil Science, CAS, Nanjing 210008, P. R. China.)

Abstract: Based on the low hill small red soil watershed in the Ecological Experiment Station of Red Soil of China Academy of Sciences, the variations of nutrient concentrations in the sediments(0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm, 15-20 cm, 20-25 cm, 25-30 cm) of 4 ponds under the slopes of different land use patterns were investigated. The 4 ponds were B pond (locateal in the downside slope of Chinese chestnut land), C pond (locateal in the vicinity of the village), H pond (locateal in the downside slope of peanut land) and S pond (locateal in the downside slope of paddy field respectively). The results showed that: The nutrient concentrations in sediment of 4 ponds were differed obviously. The highest concentrations of TOC, TN, AN and TP in 0-15 cm sediment were appeared in C pond, and the lowest were in H pond. In 15-30 cm sediment, the highest concentrations of TOC and AN were found in B pond, while TN and TP were found in C pond. The concentrations of AP of the sediment in 4 ponds were trace except the 0-15 cm sediment in C pond with low level. This suggested that the land use patterns had significant effect on the nutrient concentrations in the sediments of the ponds. The nutrient concentrations of the

* 国家自然科学基金项目(49871046)、中国科学院红壤生态开放试验站基金项目共同资助。2005-09-17 收稿; 2005-12-01 收修改稿。王晓龙, 男, 1977 年生, 博士生。

** 通讯作者; E-mail: fenghu@niau.edu.cn

sediments (0–30 cm) in 4 ponds all decreased from surface to bottom. The TN and AN with the maximal descent were found in C pond, and the TOC and TP were both in B pond. The most descents of nutrient concentrations in sediment in each pond appeared in superficial sediment layers. The accelerations of the nutrient accumulating in sediment indicated that the export of nutrient from each land use pattern had increased in recent years obviously, and one of the main causes of the nutrient enhancement in the sediment was the transform of the traditional agricultural cultivation fashions.

Keywords: Small red soil watershed; land used pattern; sediment; nutrient concentration

水体底泥作为水体3大环境要素(水质、水生生物和底泥)之一,是水体中营养物质的重要蓄积库,在沉淀和释放污染物方面起着重要作用,有时也是形成水体富营养化的关键因素之一^[1,2].我国南方红壤丘陵区由于不合理的种植制度和耕作方式,每年水土流失不仅造成大量的N、P等养分元素损失,使土壤质量退化,土地生产力降低,同时这些养分元素及侵蚀泥沙进入水体后也促使水体富营养化和水体底泥淤积,严重危害了当地的农村生态环境和人们生活质量^[3-6].80年代以来,我国学者在湖泊底泥沉积的空间分布规律和底泥N、P养分释放特征对水体富营养化的影响等方面做了大量研究和报道,同时对影响底泥养分释放-吸附动态平衡的环境因素也做了许多研究工作^[7-15].但这些工作主要集中在城市周边大型的湖泊和水库,以及对底泥养分动态平衡的机理研究,对于农村小型水体的富营养化及底泥养分含量的调查研究则很少涉及.本研究以我国南方红壤小流域为研究对象,对流域内不同土地利用方式下水体底泥的养分含量进行分析研究,旨在揭示该地区农业土地利用方式对农村小型水体底泥养分沉积特征的影响,为控制该地区小型水体淤积和富营养化,促进当地农村生态环境的改善提供科学依据.

1 材料与方 法

1.1 样地概况

本研究在中国科学院红壤生态开放试验站孙家小流域进行,该小流域位于江西省余江县,地处我国中亚热带地区,属亚热带季风区,气候温热多雨,年均日照1809.5h,年均气温17.6℃,多年平均降水量1794.7mm,年蒸发量为1318mm.小流域面积为46.2hm²,土壤类型为发育于白垩系红砂岩和第四系红粘土的红壤和水稻土.地形地貌为地丘岗冲地,海拔为41.0–54.8m,相对高差15–30m,主要利用方式为林业、农林复合利用、旱作农业和水稻,水体面积约0.6hm².小流域所有土地资源均已开发利用,但由于利用方式不合理,加上该地区降雨集中,土壤扰动强烈,水土流失严重^[16].

本研究选择了该小流域不同土地利用方式下4个小型水体.分别为:板栗园西塘(B塘)、水稻田西塘(S塘)、花生地西边藕塘(H塘)、村口塘(C塘),各水体自80年代末,除H塘南部每年采藕外,基本没有清塘等对底泥扰动较大的行为,故各水体底泥淤积深厚,其中B塘位于小流域板栗园西坡下部,面积约0.15hm²,池塘南部底泥层深厚,北部则为硬质黏土.进水口位于北部,进水量少,为半封闭水体,高温夏季有水华产生;由于西北部为灌溉沟渠隔开,降雨时只有板栗园坡面径流水及泥沙进入水体.S塘位于小流域东南部,面积约0.2hm²,底泥较厚,且分布均匀.池塘北部由灌溉沟渠与旱坡地隔开,东面和南面的水稻田引自北面灌溉渠的水不间断的排入水体,由池塘西部的出水口排出,水体更新快.降雨时主要是水稻田径流水及泥沙进入.H塘位于花生地西侧,面积约0.15hm²,南部种藕,北部生长芦苇.底泥淤积深,池塘北部进水口有水不断排入,水体更新较快.降雨时主要有东面花生地和花-橘间作地表径流进入.C塘紧邻村庄西部,面积约0.1hm²,没有明显的进水口和出水口,底泥淤积层厚,水体常年有水华产生,水体更新慢,降雨时主要有来自村庄径流进入水体.

1.2 样品采集

2002年7月中旬用柱状泥样采集器对B塘、S塘、H塘和C塘分别进行随机多点采样,每个样地采集3个混合样,用于统计分析.每个样本采集6层泥样(0–5cm, 5–10cm, 10–15cm, 15–20cm, 20–25cm和25–30cm).样品密封运回实验室,自然风干后,过20目和100目土筛.其中H塘因南部藕区泥层扰动较大,泥样主要在北部芦苇区采集.同时多点混合采集了各水塘坡面上的花生地、花-橘间作、板栗园、水稻田

4种不同土地利用方式表层土壤(0-5 cm),用于测定表层土壤养分含量(由于无法确定有代表性的样点,本研究中没有采集村庄中的表层土壤)。

表1 不同利用方式下表层土壤养分含量(0-5 cm)

Tab.1 Contents of nutrients in surface soil layer under different land use patterns(0-5 cm)

	pH	有机碳(g/kg)	全氮(g/kg)	有效氮(mg/kg)	全磷(g/kg)	有效磷(mg/kg)
花生地	5.1	6.77	0.70	75.23	0.45	45.76
花-橘间作	5.1	7.09	0.69	67.36	0.36	30.02
板栗园	5.2	12.35	0.81	94.42	0.34	26.10
水稻田	6.5	19.8	80.99	118.6	0.64	66.60

1.3 样品分析

分析方法均为常规法:pH,酸度计测定(土:水为1:2.5);有机碳,重铬酸钾氧化法;全氮,凯氏法;全磷,高氯酸消化、钼锑抗比色法;速效氮(碱解氮),康维皿扩散法;速效磷,双酸浸提、钼锑抗比色法^[17]。

1.4 数据统计分析

单因素方差分析(One-Way ANOVA)和双变量相关分析(Pearson)采用SPSS统计软件,显著性水平设置为 $P < 0.05$,其中用a、b、c、d不同字母分别表示方差分析结果达到显著性差异的样地。

2 结果与分析

2.1 不同利用方式下水体底泥pH分异

由表2可见,4个水塘底泥pH值变化范围不大,在7.32-7.59之间。在0-5 cm和5-10 cm泥层S塘和H塘pH高于B塘和C塘,差异达到显著水平。10-15 cm泥层pH值C塘显著低于其他各塘。而在15-20 cm,20-25 cm和25-30 cm泥层四个4水塘底泥pH值则无显著差异。总体上,各塘底泥pH值随土层的加深均呈增高趋势。我国南方红壤地区由于强淋溶作用,土壤普遍呈酸性特征,pH值一般在4.3-6.5之间^[4]。表层土壤由于侵蚀作用进入水体后,在淹水条件下,氧化电位降低,土壤中的铝离子活性减低,从而使水塘底泥pH值上升^[16]。

表2 不同利用方式下水体底泥pH分异

Tab.2 Variance of pH in the sediments of ponds under different land use patterns

样地	底泥层次(cm)					
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30
B塘	7.32b ¹⁾	7.37b	7.50a	7.51a	7.54a	7.59a
S塘	7.46a	7.47a	7.46a	7.49a	7.50a	7.51a
H塘	7.46a	7.47a	7.47a	7.48a	7.49a	7.51a
C塘	7.33b	7.34b	7.34b	7.47a	7.47a	7.50a

1)列中字母若不相同,表明样地之间存在显著差异($P < 0.05, n = 3$,邓肯法),下同。

2.2 不同利用方式下水体底泥有机碳含量分异

表3中,0-5 cm,5-10 cm,10-15 cm和15-20 cm泥层有机碳含量各塘分异基本一致,C塘>B塘>S塘>H塘,其中0-5 cm泥层各塘差异达到显著性水平,5-10 cm,10-15 cm和15-20 cm泥层C塘和B塘有机碳含量显著高于S塘和H塘。20-25 cm和25-30 cm泥层有机碳含量依次为B塘>C塘>H塘>S塘,其中B塘和C塘显著高于H塘和S塘。底泥中的有机碳主要来自于侵蚀泥砂携带进入和水体生物死亡沉积。靠近村庄的水塘(C塘)由于村庄里的枯枝落叶和畜禽粪便在降雨时可进入水体,同时夏季繁殖的水藻死亡后在底泥中大量沉积,因而底泥有机碳要高于其他水塘。B塘底泥有机碳高于S塘和H塘,可能主要

是因为板栗园地表堆积的大量植被凋落物进入水体沉积的原因. 而 S 塘底泥有机碳高于 H 塘, 则可能是因为水稻田土壤有机碳高于花生地, 因而进入 S 塘的侵蚀泥砂携带的有机碳也较高. 与 0-20 cm 泥层相比, 20-30 cm 泥层各水塘有机碳含量差异缩小, 这可能与底泥有机碳稳定性有关. 从不同层次底泥有机碳含量可以看出, 各塘底泥有机碳含量均以表层最高, 然后随泥层的加深而降低. 从 0-5 cm 到 25-30 cm 泥层, 各塘有机碳含量减幅分别为 B 塘 29.4%、S 塘 32.9%、H 塘 13.7%、C 塘 41.5%, 以 C 塘和 S 塘最高, H 塘最低; C 塘和 B 塘在 0-5 cm 和 5-10 cm 泥层之间有个明显的降低过程, 可能是因为 C 塘和 B 塘表层底泥含有大量植物残体, 活性较高, 易于分解.

表 3 不同利用方式下水体底泥有机碳含量分异(g/kg)

Tab. 3 Variance of the contents of TOC in the sediments of ponds under different land use patterns(g/kg)

样 地	底泥层次(cm)					
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30
B 塘	15.63b	13.07a	12.96a	12.68a	11.75a	11.05a
S 塘	13.78c	12.59b	10.63b	10.46b	9.46b	9.25b
H 塘	10.44d	10.24c	9.88b	9.75b	9.38b	9.01b
C 塘	18.25a	14.53a	13.42a	13.10a	11.72a	10.68a

2.3 不同利用方式下水体底泥全氮、速效氮含量分异

表 4 中, 在 0-5 cm 和 5-10 cm 泥层全氮含量 C 塘 > B 塘 > S 塘 > H 塘, 且各塘之间差异均达到了显著水平; 在 10-15 cm, 15-20 cm, 20-25 cm 和 25-30 cm 泥层各塘全氮含量分异趋势与 0-5 cm 和 5-10 cm 泥层一致, 但各塘之间均没有达到显著性差异.

表 5 中各塘底泥速效氮含量范围在 81.63-356.24 mg/kg 之间. 0-5 cm, 5-10 cm 和 10-15 cm 泥层速效氮含量 C 塘 > B 塘 > S 塘 > H 塘, 与全氮含量分异一致, 其中 C 塘显著最高, H 塘则显著低于其他样地, B 塘和 S 塘无显著性差异. 15-20 cm 泥层有效氮含量 B 塘 > C 塘 > S 塘 > H 塘, 其中 B 塘、C 塘和 S 塘之间均无显著性差异. 20-25 cm 和 25-30 cm 泥层 B 塘 > S 塘 > C 塘 > H 塘, 其中 S 塘与 B 塘差异不显著, 而二者与 C 塘和 H 塘达到显著性差异. 各水塘 0-30 cm 泥层全氮和速效氮含量均随泥层的加深而降低. 从养分的垂直分布规律看, 各塘全氮和速效氮含量均随泥层的加深而降低. 从 0-5 cm 到 25-30 cm 泥层全氮含量减幅以 C 塘最高为 36.0%, 其次为 S 塘 32.9%、B 塘 29.3%、H 塘 13.7%, 其中 C 塘和 B 塘全氮含量从 0-5 cm 到 5-10 cm 泥层降幅明显; 速效氮含量减幅以 C 塘最高为 38.7%, 其次是 H 塘 28.5%、S 塘 19.0%、B 塘 17.8%, 其中 C 塘在 5-10 cm 和 10-15 cm 泥层间有明显下降过程, 而 H 塘表层底泥速效氮含量低于 5-10 cm 泥层, 而后从 5-10 cm 到 10-15 cm 泥层显著下降. 总体而言, 泥层间较大的养分含量变化主要发生在较浅泥层, 随着泥层的加深, 泥层间养分含量差异在减小.

表 4 不同利用方式下水体底泥全氮含量分异(g/kg)

Tab. 4 Variance of the contents of TN in the sediments of ponds under different land use patterns (g/kg)

样 地	底泥层次(cm)					
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30
B 塘	15.63b	13.57b	12.96a	12.68a	11.71a	11.05a
S 塘	13.78c	12.59b	10.63b	10.46b	9.28b	9.25b
H 塘	10.44d	10.24c	9.88b	9.75b	9.18b	9.01b
C 塘	18.25a	14.53a	13.42a	13.10a	11.72a	11.68a

表5 不同利用方式下水体底泥速效氮含量分异(mg/kg)

Tab. 5 Variance of the contents of AN in the sediments of ponds under different land use patterns(mg/kg)

样地	底泥层次(cm)					
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30
B塘	295.14b	281.61b	275.46b	272.07a	264.76a	242.63a
S塘	279.42b	275.29b	271.46b	256.23a	244.48a	226.42b
H塘	114.17c	120.08c	100.08c	95.96b	90.27c	81.63c
C塘	356.24a	324.61a	278.65a	265.41a	222.38b	218.67b

2.4 不同利用方式下水体底泥全磷、速效磷含量分异

表6中,各塘底泥全磷含量在0.23-1.24g/kg范围内,分异较大.其中0-5cm和5-10cm泥层全磷含量分异一致,C塘>S塘>B塘>H塘,差异均达到显著水平;在10-15cm泥层B塘和S塘全磷含量无显著性差异;15cm泥层以下,即15-20cm,20-25cm和25-30cm泥层全磷含量分异相同,C塘>B塘>S塘>H塘,各塘之间均达到显著性差异.总体来看,C塘0-30cm全磷含量显著最高,H塘0-30cm则显著低于其他水体底泥.各塘全磷含量垂直分布规律与有机碳、全氮和有效氮基本一致,在0-30cm泥层随泥层的加深而降低,各塘减幅依次为B塘:31.9%、S塘:61.7%、H塘:39.5%、C塘:51.6%,其中各塘全磷减幅最大值均出现在0-5cm和5-10cm泥层之间.总体而言,泥层间较大的养分含量变化主要发生在较浅泥层,随着泥层的加深,泥层间养分含量差异在减小.

而在表7中,在调查的4个水塘中,除C塘外,B塘、S塘和H塘底泥速效态磷含量均没有测出.C塘15-30cm泥层速效磷为痕量,0-15cm速效磷含量也极低.

表6 不同利用方式下水体底泥全磷含量分异(g/kg)

Tab. 6 Variance of the contents of TP in the sediments of ponds under different land use patterns(g/kg)

样地	底泥层次(cm)					
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30
B塘	0.69c	0.55c	0.53b	0.53b	0.49b	0.47b
S塘	0.81b	0.65b	0.51b	0.41c	0.38c	0.31c
H塘	0.38d	0.33d	0.29c	0.26d	0.25d	0.23d
C塘	1.24a	0.87a	0.81a	0.75a	0.73a	0.60a

表7 不同利用方式下水体底泥速效磷含量分异(mg/kg)

Tab. 7 Variance of the contents of AP in the sediments of ponds under different land use patterns(mg/kg)

样地	底泥层次(cm)					
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30
B塘	痕量	痕量	痕量	痕量	痕量	痕量
S塘	痕量	痕量	痕量	痕量	痕量	痕量
H塘	痕量	痕量	痕量	痕量	痕量	痕量
C塘	0.87	1.11	0.45	痕量	痕量	痕量

2.5 水体底泥不同养分指标之间相关关系

表8中底泥pH与不同养分含量之间均呈显著负相关,除速效氮外,均达到极显著水平.有机碳、全氮、速效氮和全磷两两之间相关性均达到极显著水平,表明底泥养分含量之间高度相关,这与大多数报道一致^[18-20].底泥pH与养分含量呈显著负相关关系,可能是因为侵蚀泥砂进入水体沉积后,pH逐渐升高,而养分却随泥层的加深却逐渐降低.此外,也有报道认为底泥pH升高会促使致养分释放速率加快^[21,22].

表 8 水体底泥不同养分指标之间相关系数

Tab. 8 Correlation coefficients among the nutrient indices in sediments of ponds

	pH	有机碳	全氮	有效氮	全磷
pH	1.000	-0.710**	-0.517**	-0.410*	-0.638**
有机碳		1.000	0.830**	0.751**	0.903**
全氮			1.000	0.955**	0.869**
有效氮				1.000	0.792**
全磷					1.000*

** 极显著水平 $P < 0.01$; * 显著水平 $P < 0.05$, $n = 72$

3 讨论与结论

湖泊表层底泥是水土界面物质(物理的、化学的、生物的)的积极交替带,也是湖泊营养物质循环的中心环节,底泥养分剖面垂直分布,是不同时期沉积物情况的反映^[23]. 本研究中各塘底泥氮、磷养分含量从表层到底层呈递减趋势,表明长期以来,该地区小型水体氮、磷养分积累和输入的增大. 众多研究表明,上世纪 80 年代以来,由于工农业的迅速发展,导致我国大量湖泊富营养化,同时,水体养分的积累和增加,也反映在底泥中 N、P 养分含量从底层到表层逐步提高^[24-26].

C 塘全氮含量在 0-5 cm 到 5-10 cm 泥层间以及速效氮含量从 5-10 cm 和 10-15 cm 泥层间有明显的下降过程,显示近年来农村日常生活对水体中氮的贡献在增大,而全氮和速效氮的最大降幅出现在不同泥层,可能是与底泥中不同含氮化合物分解程度不一致有关. B 塘全氮含量在 0-5 cm 到 5-10 cm 泥层间降幅也很明显,表明板栗园近年氮的输出量提高,这可能是由于近年来板栗园经济效益好,为提高板栗产量而增加施肥量的结果. H 塘表层底泥速效氮含量低于 5-10 cm 泥层,而后从 5-10 cm 到 10-15 cm 泥层显著下降,这也反映了农业利用方式对底泥养分含量的影响. H 塘坡面主要为花生地和花-橘间作,速效氮含量从 5-10 cm 到 10-15 cm 泥层显著下降可能是前几年由于花生价格较高,花生地农业投入较大的结果;随着近几年花生价格的下降,一些花生地改为花-橘间作,施肥量相应减少,而表层底泥中速效氮易于溶出,从而导致 H 塘表层底泥速效氮含量较低. 各塘底泥中全磷含量均随泥层的加深而降低,并且减幅最大值均出现在 0-5 cm 和 5-10 cm 泥层之间,这表明近年来小流域内水体中磷的积累率加速,从而意味着该地区水体环境有加剧恶化的趋势.

底泥养分含量主要取决于外源养分的沉积和底泥内源养分的吸附-释放过程. 此外,底泥养分形态和水体更新速率对底泥养分含量也有一定影响^[24,27,28]. 一般认为,水体底泥中的养分含量来源主要有两个途径,一是侵蚀泥砂进入水体时本身携带的养分;二是水体藻类死亡体沉积而形成^[29]. 本研究中不同土地利用坡面下的四个水塘中,C 塘中各泥层有机碳、全氮、有效氮和全磷含量显著最高,其次为 B 塘和 S 塘,H 塘有机碳、全氮、有效氮和全磷含量则远低于其他水体底泥,可能有以下原因造成:首先,由于各水体坡面土地利用方式不同,易于侵蚀的表层土壤各种养分含量不一致,造成进入水体沉积的侵蚀泥砂中养分含量差异较大,因而促使各塘底泥的养分含量的分异. 花生地坡面下的 H 塘虽然泥砂侵蚀量大,但由于表层土壤养分含量较低,并且土壤中养分以施入的化学肥料为主,极易溶于水而流失,因而沉积泥砂中养分含量较低,从而其底泥中养分含量明显低于其他水塘; B 塘和 S 塘坡面上的板栗园和水稻田表层土壤养分含量高,并且由于地表有植被或水层覆盖,径流泥砂中养分富集率较高,从而底泥养分高于 H 塘. C 塘底泥主要来自于村庄中侵蚀泥砂沉积,在降雨时村庄中放养的畜禽粪便便会随侵蚀径流进入水塘沉积,此外平时生活用水如含磷洗涤液等的排入,也会增加底泥养分含量;其次,水塘底泥养分除沉积泥砂携入外,水表浮游动植物死亡体沉积也是重要来源之一. B 塘和 C 塘是封闭水体,夏季高温时产生水华,富营养化特征明显,而大量水藻死亡沉积后,会明显增加底泥养分含量. 最后,底泥养分含量也受其内源养分释放与吸附速率有关. 已有研究表明过水性水体营养化程度及底泥养分含量比死水性水体低^[14]. S 塘和 H 塘为过水性水塘,底泥养分释放后很快被移出,从而加速了底泥养分的释放速度.

相比较而言,底泥全氮、有效氮、全磷含量远较水体坡面土壤为高(表 1),这与已有对太湖底泥和湖区

土壤研究结果报道不一致^[12].这是由于侵蚀泥沙中养分富集,进入水体沉积的侵蚀泥砂携带养分较高;其次,藻类死亡体会增加底泥养分含量.本研究中各塘底泥中速效磷含量极低.土壤中的磷进入水体后,可能发生一系列化学变化,一部分磷很快被释放进入水体,另一部分则被铁、铝等离子进一步固定,以至有效磷含量降低.Hedgs 等人的研究也表明了相似的结论^[30].本研究中4个水体中只有B塘和C塘在盛夏时产生水华,由于底泥速效磷含量较低,水体中的磷主要来自外源输入.夏季是该地区农忙季节,施肥量大,同时降雨集中,养分随径流输出可占全年流失量的60% - 80%^[31].由于夏季农忙时人口增加和板栗园施加追肥,C塘和B塘在夏季有大量氮、磷等养分输入,同时由于水体更新慢,养分在水塘中的滞留期长,从而诱发了水华的产生;H塘和S塘在夏季也有大量养分随径流输入,但由于水体更新快,养分在水塘中滞留期短,因而水华不易产生.

相对国内大多数湖泊,红壤小流域不同利用方式下各塘底泥养分含量平均较低.靠近居民点的水塘和板栗林坡面下的水塘底泥中养分含量要高于花生地和水稻田坡面下的水塘,说明生活污水和果园径流养分输入的水体底泥养分含量要高于农田径流养分输入的水体底泥.从养分含量的垂直分布来看,不同利用方式下各塘底泥表层养分含量明显高于深层底泥,表明近年来农村面源污染加剧.其主要原因是农业耕作方式的改变以及施肥量的增加,特别是近年来,由于农民壮年劳力大都外出打工,传统的农业耕作方式如蓄积和施用有机肥、清塘取肥等由于劳动力耗费较大已经逐渐被舍弃,代之以大量施用化学肥料等对环境影响较大的农作方式.这些是造成农村生态环境恶化的主要原因之一.此外,市场经济行为通过对农村种植和施肥方式的影响,从而对农村环境造成的正面或负面的影响也不容忽视.因此,继续保持可持续的传统农业耕作方式,合理种植经济作物,加强对农村生活污水的处理,对于保护我国农村生态环境有着重要意义.

4 参考文献

- [1] 金相灿,屠清瑛主编.湖泊富营养化调查规范(第二版).北京:中国环境科学出版社,1990.
- [2] 范成新,杨龙元,张路.太湖底泥及其间隙水中氮磷垂直分布及其相互关系分析.湖泊科学,2000,12(4):359-366.
- [3] 李辉信,胡锋,徐盛荣.红壤丘陵区不同利用管理方式对土壤肥力的影响.土壤通报,1996,27(3):114-116.
- [4] 孙波等.我国中亚热带缓丘区红黏土壤肥力的演化.土壤学报,1994,36(2):203-217.
- [5] 王效举,龚子同.红壤丘陵小区域不同利用方式下土壤的变化和预测.土壤学报,1998,35(1):135-139.
- [6] 梁音,张桃林,史德明.南方红壤丘陵区土壤侵蚀评价.《红壤生态系统研究》(第三集).北京:中国农业科技出版社.1995.
- [7] 杨汉东,蔡述明.武汉东湖的现代沉积速率及其与扰动的关系.环境科学与技术,1993,63(4):11-13.
- [8] 严国安,谭智群,任南.武汉东湖水环境污染状况及控制和恢复对策.环境科学与技术,1994,67(4):19-23.
- [9] 马立珊,汪祖强,张水铭等.苏南太湖水系农业面源污染及其控制对策研究.环境科学学报,1997,17(1):39-47.
- [10] 隋桂荣.太湖表层沉积物中OM、TN、TP的现状与评价.湖泊科学,1996,8(4):319-324.
- [11] 隋少峰,罗启芳.武汉东湖底泥磷释放特点.环境科学,2001,22(1):102-105.
- [12] 袁旭音,陈骏,陶于祥,季峻峰,许乃政.太湖北部底泥中氮、磷的空间变化和环意义.地球化学,2002,31(4):321-328.
- [13] Kim Lee-Hyung, Choi Euiso, Michael K Stenstrom. Sediment characteristics, phosphorus types and phosphorus release rates between river and lake sediments. *Chemosphere*, 2003, 50: 53-61.
- [14] 秦伯强,胡维平,高光等.太湖沉积物悬浮的动力机制及内源释放的概念性模式.科学通报,2003,48(17):182-183.

- [15] 李一平, 逢 勇, 向 军. 太湖水质时空分布特征及内源释放规律研究. 环境科学学报, 2005, **25**(3): 300 - 306.
- [16] 赵其国等. 中国东部红壤地区土壤退化的时空变化、机理及调控. 北京: 科学出版社, 2002.
- [17] 鲁如坤. 土壤农业化学分析. 北京: 科学出版社, 2000.
- [18] 李震宇, 朱荫媚, 王 进. 杭州西湖沉积物的若干物理和化学性状. 湖泊科学, 1998, **10**(1): 79 - 841.
- [19] Liikanen ANU. Effects of temperature and oxygen availability on greenhouse gas and nutrient dynamics in sediment of a eutrophic mid-boreal lake. *Biogeochemistry*, 2002, **59**: 269 - 286.
- [20] 张水元, 刘衢霞, 华 俐. 太平湖水库水质的理化性质. 水生生物学报, 2000, **24**(5): 530 - 536.
- [21] 金相灿, 王圣瑞, 庞 燕. 太湖沉积物磷形态及 pH 值对磷释放的影响. 中国环境科学, 2004, **24**(6): 707 - 711.
- [22] 付春平, 钟成华, 邓春光. pH 与三峡库区底泥氮磷释放关系的试验. 重庆大学学报, 2004, **27**(10): 125 - 127.
- [23] 李文朝. 东太湖沉积物中氮的积累与水生植物沉积. 中国环境科学, 1997, **17**(5): 418 - 421.
- [24] 范成新, 秦伯强等. 梅梁湖和五里湖水—沉积物界面的物质交换. 湖泊科学, 1998, **10**(1): 73 - 78.
- [25] 李文朝, 陈开宁, 吴庆龙. 东太湖表层沉积物的磷的饱和度初步研究. 湖泊科学, 1998, **10**(3): 49 - 54.
- [26] 谢丽强, 谢 平, 唐汇娟. 武汉东湖不同湖区底泥总磷含量及变化的研究. 水生生物学报, 2001, **25**(4): 305 - 310.
- [27] Torrent J, Schwertmann U & Barron V. Phosphate sorption by natural hematites. *European J Soil Sci*, 1994, **45**: 45 - 51.
- [28] Fabre A C. Inorganic phosphate in exposed sediments of the River Garonne. *Hydrobiologica*, 1992, **228**: 37 - 42.
- [29] 李一平, 逢 勇, 丁 玲. 太湖富营养化控制机理模拟. 环境科学与技术, 2004, **27**(3): 1 - 4.
- [30] Hedges J, Stem J H. Carbon and nitrogen determination of carbonate containing solids. *Limnol Oceanogr*, 1984, **29**: 657 - 663.
- [31] 马 琨, 王兆蹇, 陈 欣等. 不同雨强条件下红壤坡地养分流失特征研究. 水土保持学报, 2002, **16**(3): 16 - 19.