

长期施肥下黄壤旱地磷对水环境的影响及其风险评价*

刘方¹ 黄昌勇¹ 何腾兵² 钱晓刚² 刘元生² 罗海波²

(1 浙江大学环境与资源学院, 杭州 310029)

(2 贵州大学农学院, 贵阳 550025)

摘要 通过对贵州中部黄壤旱坡地进行采样以及采用无界径流小区法收集地表径流样品, 探讨长期施肥下旱地磷素水平与地表径流磷浓度的变化及其对水环境的影响。结果表明: 长期施肥下黄壤旱地的磷素水平不断提高, CaCl_2 浸提磷(溶解态活性磷)和 NaOH 浸提磷(藻类可利用的土壤总磷)与土壤全磷或有效磷之间存在显著的相关性, 土壤富磷化的同时, 旱地磷对水环境影响的潜能明显提高。黄壤旱坡地中 CaCl_2 浸提磷、Olsen-P、 NaOH 浸提磷、土壤磷吸持指数、土壤磷饱和度与地表径流中颗粒态磷、生物有效性磷和溶解态活性磷之间的相关性均达显著水平, 以这些参数作为评价指标, 初步将黄壤旱地磷对水环境的潜在影响程度分为 3 个等级。

关键词 黄壤旱地, 土壤磷素, 地表径流磷, 环境影响评价

中图分类号 S158.5, S157.1

磷在土壤中的迁移性较弱, 而磷肥的当季利用率一般为 15% ~ 25%, 长期施肥后土壤中磷出现明显积累, 使土壤磷素水平不断的提高^[1, 2]。当降雨径流及土壤侵蚀发生时, 土壤磷以水溶态和颗粒态形式随地表径流向水体迁移, 成为水体中磷的补给源, 而土壤磷向水体的大量输出, 会导致水体的富营养化。随着工业污染的治理和减轻, 农业非点源污染上升为主要的环境污染, 而农业土壤磷的大量输出是导致接纳水体富营养化的主要原因^[3], 要防治水体的富营养化, 最关键是对磷的来源加以控制^[3]。从土壤磷素的环境行为研究非点源磷素污染, 探讨磷污染物在农业流域源区的产生机制及其在流域的传输过程, 对农业非点源污染的控制有重要的意义。

国外近期研究表明, 当土壤有效磷含量达到作物生长的适宜水平时(Olsen-P、Bray-P 分别为 25 和 30 mg kg^{-1}), 就水质保护来说已处于过高水平^[2, 3]。而坡地地表径流中磷含量与土壤磷素水平、土壤磷饱和度及土壤性质有显著的相关性^[3-5], 土壤磷向水体的迁移量不仅与施肥量、土壤磷含量有关, 而且受种植制度、耕作制度、土地利用方式等影响^[6-8], 研究土壤磷库的变化及对农业土壤磷进行环境影响评价, 有助于控制地表径流磷的流失和实施相应的养分管理。然而, 不同区域农业管理措施存在较大差异, 需要根据不同区域的农业生产特点建立合理的高磷水平临界值, 才能有效地进行农业土壤磷的环境影响评价。目前国内侧重对土壤磷素与植物营养关系以及磷肥在土壤中转化进行研究, 在农业土壤磷对环境影响方面的研究相对较少, 仅对浙北地区的水稻土以及太湖流域农田土壤等进行了一些研究^[7, 8]。因此, 本文选择贵州中部地区, 探讨黄壤旱地磷素水平与地表径流磷浓度的变化及其对水环境的影响, 并筛选适合的指标对旱地磷的环境影响进行评价, 为黄壤旱地的养分管理与水环境质量的保护提供科学依据。

* 国家重点科技攻关计划西部专项(2000-K01-04-06)资助

- 通讯作者

收稿日期: 2002-06-10; 收到修改稿日期: 2003-05-04

1 材料与方

1.1 土壤样品采集及土壤中磷含量、磷吸持指数和磷饱和度的测定

1.1.1 土壤样品采集 在贵州中部地区选择第四纪粘土、砂页岩发育的黄壤(根据中国土种志分别命名为黄粘土、黄砂粘土),对同一母质发育的土壤,按土地利用方式、种植制度和施肥水平的差异,在春播前进行采样,共采集15个旱地耕层土壤混合样品和4个林地表层土壤(0~20 cm)混合样品。土壤样品风干后,研磨通过1 mm筛孔,供实验与测试分析。

1.1.2 土壤磷含量的测定 土壤中溶解态活性磷采用 $0.01 \text{ mol L}^{-1} \text{ CaCl}_2$ 溶液浸提(水土比为1:5,振荡30 min; $\text{CaCl}_2\text{-P}$),浸提溶液采用异丁醇萃取-钼蓝比色法测定^[9];用 CaCl_2 提取的土壤磷为水溶性磷,能被藻类直接吸收利用^[10]。藻类可利用的土壤总磷采用 $0.1 \text{ mol L}^{-1} \text{ NaOH}$ 溶液浸提-钼蓝比色法测定(水土比为1:500,振荡16 h; NaOH-P)^[10],它包括水溶性磷和部分藻类可以利用的固相态磷。土壤全磷(TP)采用硫酸-高氯酸消煮法测定,土壤有效磷采用Olsen法($0.5 \text{ mol L}^{-1} \text{ NaHCO}_3$ 溶液浸提,振荡30 min; Olsen-P)、Bray-1法($0.003 \text{ mol L}^{-1} \text{ NH}_4\text{F} + 0.025 \text{ mol L}^{-1} \text{ HCl}$ 浸提,振荡5 min; Bray-1-P)和Mehlich-3法($0.2 \text{ mol L}^{-1} \text{ CH}_3\text{COOH} + 0.25 \text{ mol L}^{-1} \text{ NH}_4\text{NO}_3 + 0.015 \text{ mol L}^{-1} \text{ NH}_4\text{F} + 0.013 \text{ mol L}^{-1} \text{ HNO}_3 + 0.001 \text{ mol L}^{-1} \text{ EDTA}$ 浸提,振荡5 min; Mehlich-3-P)测定^[11]。

1.1.3 土壤磷吸持指数(PSI) 在水土比为10:1的条件下,按每克土加入磷酸盐1.5 mg P,平衡后测得的土壤吸磷量 $X(\text{mg g}^{-1})$ 与平衡溶液中磷浓度 $C(\mu\text{mol L}^{-1})$ 的对数值之比为PSI,即 $\text{PSI} = 100X/\log C$ ^[12]。土壤磷吸持指数是指在高磷水平的平衡条件下土壤磷的吸附容量,它与土壤最大吸磷量之间存在着显著的相关性,可将它作为土壤最大吸磷量的替代指标来表征土壤的固磷能力^[8]。

1.1.4 土壤磷饱和度(DSSP) $\text{DSSP} = P/[Al + Fe] \times 100\%$,其中P为 0.2 mol L^{-1} 草酸铵缓冲液提取的磷含量(mmol kg^{-1}),用草酸铵提取的铁、铝含量(mmol kg^{-1})之和作为 $[Al + Fe]$,土壤磷饱和度能反映土壤吸持磷的能力,它可以用来作为评价土壤磷向水体潜在流失的指标^[4]。

1.2 径流样品的采集及磷的测定

1.2.1 径流样品的采集 在第四纪粘土和砂页岩发育的黄壤上,选择有代表性的马尾松林地、玉米连作地和烤烟连作地(采集土壤样品的地块),采用无界径流小区法设置径流收集槽^[3],在同一时间的自然降雨条件下(降雨量为20~40 mm h^{-1})对不同利用方式的旱坡地进行径流样品($n = 19$)的收集。

1.2.2 径流磷的测定 量取250 ml径流液通过 $0.45 \mu\text{m}$ 滤膜,过滤后滤液采用异丁醇萃取-钼蓝比色法^[9]测定溶解态活性磷的含量(DRP);滤膜上的泥沙颗粒经烘干称重后,采用硫酸-高氯酸消煮-钼蓝比色法测定泥沙中磷的含量(颗粒态磷,PP)。另量取20 ml径流液,加入180 ml $0.1 \text{ mol L}^{-1} \text{ NaOH}$ 溶液进行浸提,振荡16 h后离心,采用钼蓝比色法测定离心液中磷的含量,作为径流中生物有效性磷(BAP)的含量^[14]。

2 结果与分析

2.1 长期施肥下黄壤旱地磷对水环境影响潜能的变化

分析结果表明(表1),林地土壤全磷含量为344.2~598.3 mg kg^{-1} ,土壤有效磷(Olsen-P)含量为3.4~7.3 mg kg^{-1} ;而旱地土壤全磷含量为555.9~1411.6 mg kg^{-1} ,Olsen-P含量为9.7~98.1 mg kg^{-1} ,其中连作烟地的磷素水平明显高于连作玉米地,而连作玉米地又明显高于林地。不同土地利用方式下土壤的磷素水平出现明显的差异,主要与施肥水平密切相关,该地区林地一般未施用磷肥,而种植烤烟的旱地磷肥施用量(优质烟区每年施用 P_2O_5 150~180 kg hm^{-2})明显高于玉米地。可见,长期施肥下旱地连续种植作物后土壤磷出现不断积累,特别是长期种植烤烟的旱地,多数土壤中Olsen-P大于25 mg kg^{-1} ,就一般作物生长来说,土壤已达到富磷水平,这可能有利于植株的生长,但大大增加了土壤磷向水体流失的风险。

分析结果表明,该区域土壤中 $\text{CaCl}_2\text{-P}$ 含量为0.45~3.90 mg kg^{-1} ,而 NaOH-P 含量为64.8~695.6 mg kg^{-1} ,不同利用方式下黄壤旱地中 $\text{CaCl}_2\text{-P}$ 和 NaOH-P 含量出现明显的差异,其大小顺序为连作烟地>连作玉米地>林地(表1)。土壤 $\text{CaCl}_2\text{-P}$ 或 NaOH-P 含量与土壤Olsen-P含量之间均存在显著的相关性(r 分别为0.968和0.983, $n = 19, p < 0.01$),它们与土壤全磷量也有显著的相关性(r 分别为0.737和0.806,

$p < 0.01$)。说明在黄壤旱地上随着土壤磷素水平的提高, 作物有效性磷增加的同时, 藻类可利用的磷量也相应的增加。可见, 土壤磷的输出和迁移可以成为藻类利用磷的主要来源, 土壤富磷化的同时, 其对环境影响的潜能也明显提高。

表 1 黄壤旱坡地磷素水平及地表径流中磷的含量

Table 1 The level of P in the soils and the content of P in runoff from the upland fields in yellow soil area

土壤 Soil	编号 No	土地利用方式 Land use pattern	土壤磷 P in soil								径流磷 P in runoff		
			TP	Olsen-P	Bray-P	CaCl ₂ -P mg kg ⁻¹	Mehlich-P	NaOH-P	PSI	DSSP (%)	DRP (μg L ⁻¹)	PP (mg L ⁻¹)	BAP (mg L ⁻¹)
黄粘 泥土	1	林地	522.1	3.4	6.7	0.45	3.2	68.4	37.6	1.20	4.5	0.51	0.26
	2	林地	467.3	6.3	5.5	0.61	7.5	86.7	34.3	1.98	11.0	1.26	0.37
	3	连作玉米地	805.6	9.7	11.4	0.52	14.2	140.2	33.6	3.52	8.7	1.15	0.36
	4	连作玉米地	737.1	12.9	13.6	0.70	21.7	132.4	29.3	5.20	17.0	1.61	0.48
	5	玉米 烤烟轮作地	915.7	19.0	16.2	1.09	24.5	217.7	29.0	6.09	32.0	1.43	0.64
	6	玉米 烤烟轮作地	927.0	23.7	20.7	1.14	35.0	225.2	30.4	8.75	35.0	2.11	0.50
	7	连作玉米地	1007.2	36.9	30.2	1.31	40.5	238.3	26.1	14.36	65.0	2.73	0.53
	8	玉米 烤烟轮作地	1073.9	40.5	32.9	1.36	55.0	259.6	24.6	18.69	52.5	2.53	0.73
	9	烤烟连作地	1235.2	56.5	46.9	1.72	76.8	394.9	23.4	22.12	70.0	4.05	0.96
	10	玉米 烤烟轮作地	1108.3	73.5	56.8	2.94	87.3	513.9	23.5	23.05	96.2	6.87	1.37
	11	烤烟连作地	1411.6	89.9	79.5	3.48	95.5	672.5	24.2	26.29	123.8	5.25	1.29
	12	烤烟连作地	1324.4	98.1	77.0	3.90	111.4	695.6	22.4	29.81	171.3	7.10	1.53
黄沙 泥土	13	林地	344.2	5.6	4.9	0.61	6.94	64.8	25.4	2.77	8.5	1.29	0.52
	14	林地	598.3	7.3	6.3	0.52	9.07	127.4	24.2	3.46	6.5	1.19	0.66
	15	连作玉米地	555.9	27.4	31.2	0.96	37.0	207.1	22.0	9.32	20.5	2.24	0.61
	16	玉米 烤烟轮作地	602.9	34.2	32.9	1.16	44.8	225.3	19.8	12.35	29.3	2.39	0.86
	17	连作玉米地	808.7	41.6	34.0	1.69	66.1	394.8	21.9	14.20	39.0	2.75	1.12
	18	烤烟连作地	825.8	53.0	52.2	2.41	78.9	435.4	17.4	17.01	75.1	3.69	0.91
	19	烤烟连作地	921.0	73.2	81.6	3.67	117.0	576.3	16.8	20.49	108.0	5.40	1.24

2.2 黄壤旱坡地土壤磷含量与地表径流中磷含量的关系

在天然降雨量为 20~40 mm h⁻¹ 条件下 (表 1), 该地林区林地地表径流中颗粒态磷含量 (PP) 为 0.51~1.29 mg L⁻¹, 生物有效性磷 (BAP) 含量为 0.26~0.66 mg L⁻¹, 而溶解态活性磷 (DRP) 含量为 4.5~11.0 μg L⁻¹。而旱地地表径流中 PP 含量为 1.15~7.10 mg L⁻¹, BAP 为 0.36~1.53 mg L⁻¹, DRP 为 8.7~171.3 μg kg⁻¹; 连作烟地 (Olsen-P 为 53.0~98.1 mg kg⁻¹) 地表径流中不同形态磷的含量明显大于连作玉米地 (Olsen-P 为 9.7~41.6 mg kg⁻¹)。虽然坡地土壤磷的流失还与坡度、植被覆盖度以及降雨强度等因素密切相关, 但高磷水平土壤的地表径流中磷的含量明显大于低磷水平的土壤。可见, 土壤磷素水平的提高是增加旱地磷素流失量的重要前提。

从相关分析结果看出 (表 2), 黄壤旱坡地地表径流中 PP、BAP 和 DRP 与土壤中 Olsen-P、Bray-P、

表 2 黄壤旱坡地土壤磷与地表径流磷的相关系数¹⁾

Table 2 Correlation coefficients between P in soils and P in surface runoff from the upland fields

土壤类型 Soil types	径流磷 P in runoff	土壤磷 P in soil							
		Total-P	Olsen-P	Bray-P	CaCl ₂ -P	Mehlich-P	NaOH-P	PSI	DSSP
黄粘土 (n= 12)	DRP	0.865**	0.978**	0.966**	0.977*	0.957*	0.968*	-0.823**	0.942**
	PP	0.811**	0.958**	0.935**	0.956*	0.958*	0.923**	-0.828**	0.927**
	BAP	0.853**	0.972**	0.956**	0.974*	0.971**	0.972**	-0.844**	0.936**
黄沙泥土 (n= 7)	DRP	0.852*	0.959**	0.968**	0.995*	0.967*	0.950*	-0.910**	0.923**
	PP	0.851*	0.980**	0.992**	0.991**	0.985**	0.957**	-0.911**	0.944**
	BAP	0.918**	0.887**	0.826*	0.857*	0.905**	0.925**	-0.750	0.889**

1) * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$

Mehlich-3-P、CaCl₂-P 和 NaOH-P 之间均存在显著的相关性。但是, 地表径流中不同形态磷和土壤磷之间的相关性与磷的测定方法有关, DRP 与 CaCl₂-P 的关系最为密切, PP 则与 Olsen-P、Bray-P、Mehlich-3-P 以及 CaCl₂-P 的关系极为密切, 而 BAP 与 NaOH-P、Olsen-P、Mehlich-P 的关系极为密切。可见, 在一定的程度上可用土壤磷的常规分析测定值来评估或预测土壤磷流失对地表水质的潜在影响, 这与国外一些研究的结论是一致的^[2, 3, 5]。地表径流中 DRP 可被藻类直接吸收利用, 它对地表水环境质量有最直接的影响, 而 CaCl₂-P 能较好地反映黄壤旱地地表径流中 DRP 含量的变化; BAP 代表地表径流中藻类潜在可利用磷的总量, 其对地表水环境质量产生潜在的影响, 而 Olsen-P 或 NaOH-P 能较好地反映地表径流中 BAP 含量的变化。因此, 在一定的程度上可用 CaCl₂-P、Olsen-P 或 NaOH-P 作为指示黄壤旱地地表径流中磷潜在流失的预警指标, 来判断旱地存在非点源磷素污染的可能性。

2.3 黄壤旱坡地土壤磷吸持指数和土壤磷饱和度与地表径流中磷含量的关系

由表 1 看出, 该地区土壤磷吸持指数 (PSI) 的变化范围为 16.8~37.6, 在相同的磷素水平下黄沙泥土的磷吸持指数明显低于黄粘土, 表明黄沙泥土的固磷能力较弱, 这类土壤在地表径流作用下比黄粘土易发生磷素的流失, 但 PSI 未能反映不同类型旱地向水体释放磷的能力。而该地区土壤磷饱和度 (DSSP) 的变化范围为 1.2%~29.8%, 在相同的磷素水平下黄粘土和黄沙泥土的 DSSP 差异不大, 说明 DSSP 能反映不同类型的旱地向水体释放磷的能力。在研究土壤磷素流失对地表水质的潜在影响时, 可将土壤磷饱和度值视为磷的土壤环境容量, 评价农业土壤磷对水环境的影响; 随着 DSSP 的增加, 土壤对磷的吸附能力减弱, 而磷的解吸能力增强, 从而提高了土壤磷向水体潜在流失的能力。

相关分析结果表明(表 2), 黄壤旱坡地地表径流中 DRP、PP 和 BAP 含量与 DSSP 和 PSI 之间存在显著的相关性, 其中 DSSP 与地表径流磷的关系更密切。由于磷酸铁和磷酸铝是酸性土壤主要的磷酸盐化合物, 而 DSSP 能反映土壤铁和铝的变化。可见, 在黄壤旱地上土壤磷饱和度能更好地反映土壤磷向水体流失的潜力, 它可以作为一个指标来评价不同类型黄壤旱地磷对水环境的潜在影响。

2.4 黄壤旱地土壤磷的环境风险评价

土壤中 CaCl₂-P、Olsen-P、NaOH-P 主要反映土壤磷素水平及藻类可利用磷量的变化, 而 PSI 和 DSSP 主要用来表征土壤固磷能力的变化, 可以根据这些参数的变化判定土壤磷流失潜能的阈值及土壤磷流失的潜力, 评价农业磷对水环境质量的潜在影响。本文选择与黄壤旱坡地地表径流磷含量密切相关的 CaCl₂-P、Olsen-P、NaOH-P 和 DSSP、PSI 以作为评价指标, 采用欧氏距离计算距离系数, 然后选择最短距离法对黄粘土和黄沙泥土 (n= 19) 的磷素水平进行聚类分析, 结果(图 1)表明这些土壤的磷素水平可分为 3 大类型, 对这 3 大类型旱地及相应地表径流的 DRP、PP 和 BAP 含量进行统计, 得出不同指标的变化范围(表 3)。

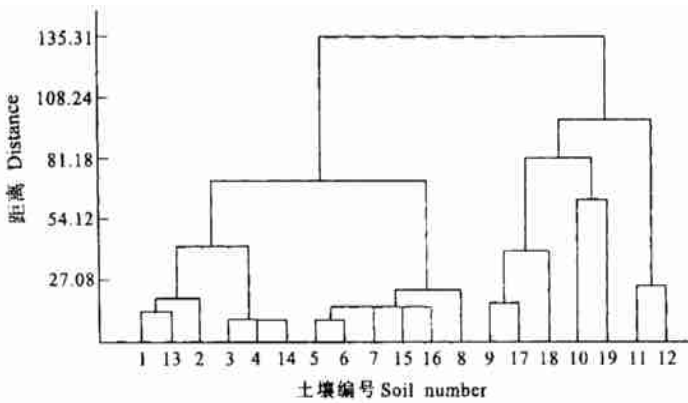


图1 黄壤旱地磷水平的聚类分析结果

Fig. 1 The result of cluster analysis of P level of the upland fields in yellow soil area

表3 不同土壤磷水平下黄壤旱地地表径流磷的含量

Table 3 The concentration of P in runoff from the upland fields in yellow soil area

类别 Category	土壤磷 P in soil					径流磷 P in runoff		
	CaCl ₂ -P (mg kg ⁻¹)	Olsen-P (mg kg ⁻¹)	NaOH-P (mg kg ⁻¹)	DSSP (%)	PSI	DRP (mg L ⁻¹)	PP (mg L ⁻¹)	BAP (mg L ⁻¹)
I (n = 6)	0.45~ 0.70	3.4~ 12.9	68.4~ 140.2	1.2~ 5.2	24.1~ 37.6	0.005~ 0.017	0.51~ 1.61	0.26~ 0.66
II (n = 6)	0.96~ 1.36	19.0~ 40.5	207.1~ 259.6	6.1~ 18.7	19.8~ 30.4	0.021~ 0.065	1.43~ 2.73	0.50~ 0.86
III (n = 7)	1.52~ 3.67	41.6~ 98.1	394.8~ 695.6	14.2~ 29.8	16.8~ 24.2	0.070~ 0.171	4.05~ 7.10	0.91~ 1.53

从表3中看出,第1、2、3类型黄壤旱地中Olsen-P的含量变化范围分别为3.4~12.9 mg kg⁻¹、19.0~40.5 mg kg⁻¹和41.6~98.1 mg kg⁻¹;土壤磷饱和度(DSSP)变化范围分别为1.2%~5.2%、6.1%~18.7%和14.2%~29.8%;其地表径流中DRP含量变化范围分别为0.005~0.017 mg L⁻¹、0.021~0.065 mg L⁻¹和0.070~0.171 mg L⁻¹。目前国外研究的结果表明:河流可接受DRP的临界值为0.06~0.10 mg L⁻¹[15],而进入湖泊水域时径流中DRP达到0.01~0.05 mg L⁻¹,就有加速该水体富营养化的可能[3]。因此,根据上述旱地磷水平的聚类分析结果,结合具体土壤的分析数据(表1),可初步将黄壤旱地磷对水环境的潜在影响程度分为3个等级;即第1类型旱地:土壤Olsen-P < 10.0 mg kg⁻¹、土壤磷饱和度 < 5.0%,这类旱地对水环境质量未产生潜在的影响;第2类型旱地:土壤Olsen-P 20.0~40.0 mg kg⁻¹、土壤磷饱和度5.0%~15.0%,这类旱地对水环境质量可能产生一定的影响,应作为农业非点源磷污染的一般防范区;第3类型旱地:土壤Olsen-P > 40.0 mg kg⁻¹、土壤磷饱和度 > 15.0%,这类旱地对水环境质量可能产生明显的影响,应作为农业非点源磷污染的重点防范区。

综上所述,土壤Olsen-P测定值的范围在一定的程度上反映了旱地地表径流中磷潜在流失以及旱地磷对水环境潜在影响的程度。但是,本文就黄壤旱地磷对水环境潜在影响程度划分而得出的三个等级,并不代表单独用Olsen-P进行评价分级,只不过是Olsen-P常作为衡量耕地土壤磷水平的指标,因而把Olsen-P的范围列出作为一个参考数据。单独用Olsen-P的数量进行分级不能评价土壤磷对水环境的潜在影响,从试验结果看,土壤磷饱和度更适合评价土壤磷对水环境的潜在影响,但这方面还需进行深入的探讨。

3 小结

1. 不同利用方式下黄壤旱地中有效磷(Olsen-P)含量、溶解态活性磷(CaCl₂-P)、藻类可利用的土

壤总磷(NaOH-P)含量出现明显的差异,其大小顺序都为连作烟地>连作玉米地>林地。 $\text{CaCl}_2\text{-P}$ 或NaOH-P与土壤全磷或有效磷含量有显著的相关性。随着土壤磷素水平的提高,藻类可利用磷的数量相应增加,提高了土壤磷对水环境影响的潜能。

2 黄壤旱坡地中土壤溶解态活性磷、土壤有效磷、藻类可以利用的土壤总磷、土壤磷吸持指数(PSI)、土壤磷饱和度(DSSP)与地表径流中颗粒态磷、生物有效性磷和溶解态活性磷之间均存在显著的相关性,土壤磷素水平的提高是增加旱坡地磷素流失的重要前提。在一定的程度上可用 $\text{CaCl}_2\text{-P}$ 、 Olsen-P 或NaOH-P作为指示黄壤旱地地表径流中磷素潜在流失的预警指标,来判断旱地存在非点源磷素污染的可能性。在黄壤旱地上土壤磷饱和度能更好地反映土壤磷向水体流失的潜力,它可以作为一个指标来评价不同类型黄壤旱地磷对水环境的潜在影响。

3. 以 $\text{CaCl}_2\text{-P}$ 、 Olsen-P 、NaOH-P、PSI和DSSP作为评价指标,初步将黄壤旱地磷对水环境的潜在影响程度分为3个等级:即第1类型旱地,土壤 $\text{Olsen-P} < 10.0 \text{ mg kg}^{-1}$,土壤磷饱和度 $< 5.0\%$,这类旱地对水环境质量未产生潜在的影响;第2类型旱地,土壤 Olsen-P 为 $20.0 \sim 40.0 \text{ mg kg}^{-1}$,土壤磷饱和度 $5.0\% \sim 15.0\%$,这类旱地为农业非点源磷污染的一般防范区;第3类型旱地,土壤 $\text{Olsen-P} > 40.0 \text{ mg kg}^{-1}$,土壤磷饱和度 $> 15.0\%$,这类旱地为农业非点源磷污染的重点防范区。

参考文献

1. 陈欣. 磷肥低量施用制度下土壤磷库的发展变化. 土壤学报, 1997, 34(1): 81~ 87
2. Shapley A N, Sims J T. Determining environmentally sound soil phosphorous level. J. Soil and Conservation, 1996, 51(2): 160~ 165
3. Sims J T. Phosphorous soil testing: Innovations for water quality protection. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 1998, 29(11~ 14): 1 471~ 1 489
4. Hooda P S, Rendell A R, Edwards A C. Relating soil phosphorus indices to potential phosphorus release to water. J. Environ. Qual., 2000, 29: 1 166~ 1 171
5. Cox F R, Hendricks S E. Soil test phosphorus and clay effects on runoff water quality. J. Environ. Qual., 2000, 29: 1 582~ 1 586
6. Gaynor J D, Findlay W I. Soil and phosphorus loss from conservation and conventional tillage in corn production. J. Environ. Qual., 1995, 24: 734~ 741
7. 张志剑, 王珂, 朱荫澍, 等. 浙北水稻主产区田间土-水磷素流失潜能. 环境科学, 2001, 22(1): 98~ 101
8. 高超, 张桃林, 吴蔚东. 农田土壤中的磷向水体释放的风险评价. 环境科学学报, 2001, 21(3): 344~ 348
9. 鲁如坤. 土壤农业化学分析法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
10. Wolf A M, Baker H B. Soil tests for estimating labile, soluble and algae-available phosphorous in agricultural soils. J. Environ. Qual., 1985, 14(3): 341~ 348
11. Mehlich A. Mehlich-3 soil test extractant: A modification of Mehlich-2 extractant. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 1984, 15: 1 409~ 1 416
12. Bache B W, Williams E G. A phosphate adsorption index for soils. J. Soil Sci., 1971, 22: 289~ 301
13. Robert J L. Measurement methods for soil erosion. Progress in Physical Geography, 1989, 20(2): 5~ 9
14. Sharpley A N. The measurement of bio-available phosphorus in agricultural runoff. J. Environ. Qual., 1991, 20(2): 235~ 238
15. John N, Tim M H. The selective removal of phosphorus from soil: Is event size important? J. Environ. Qual., 2001, 30(3): 538~ 545

THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF PHOSPHORUS ON WATER BY A LONG-TERM APPLYING FERTILIZER P IN THE UPLAND FIELDS OF YELLOW SOIL AREAS AND ITS RISKS EVALUATION

Liu Fang¹ Huang Chang-yong¹ He Teng-bing² Qian Xiao-gang² Liu Yuan-sheng² Luo Hai-bo²

(1 College of Environmental and Resources Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

(2 Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Summary

The environmental impact of phosphorus on surface water quality by a long-term applying fertilizer P in the upland fields of yellow soil areas and its risks evaluation was studied in Guizhou province. The results showed that the contents of algae-available P (NaOH-extractable P) and labile P (CaCl₂-extractable P) in the soils correlated significantly with the quantities of Olsen-P or total P in the soils, while P application increased both soil P and its corresponding potential of P loss from soil to water bodies at the same time. The results also showed that the contents of CaCl₂-extractable P, Olsen-P, NaOH-extractable P in the soils and the phosphorus sorption of index (PSI) or the degree of soil saturation with phosphorus (DSSP) correlated significantly with the concentrations of dissolved active P, particulate P and bio-available P in runoff, respectively. CaCl₂-extractable P, Olsen-P, NaOH-extractable P, PSI and DSSP were used as indices to estimate agriculture P impacting on surface water quality. As a result, three environmental risk groups were constructed in the upland fields from yellow soil area.

Key words Yellow soil, Soil phosphorus, P concentration of runoff, Environmental risks evaluation