

土壤中氮磷和滇池水体污染的潜在关系

贝荣塔^{1,3}, 周 跃², 何 敏¹

(1. 昆明理工大学, 云南 昆明 650093; 2. 云南财经大学, 云南 昆明 650221; 3. 西南林学院, 云南 昆明 650224)

摘 要:从不同角度探讨滇池水体氮磷污染是十分重要的。通过对滇池东南岸的大渔乡台地土壤氮磷量、地表径流氮磷量以及滇池氮磷污染状况进行研究。结果表明,台地土壤总磷量远高于我国农业土壤主要养分的分级标准的高量值,达 7.5 倍;速效磷则超过分级标准高量值的 20 倍。在面源污染中,滇池周边土壤高磷量是滇池磷污染的重要途径之一。地表径流磷含量超过地表水 V 类标准。尽管土表层中氮量不是太高,但地表径流氮含量超过地表水 V 类标准。研究还表明,土壤中氮磷通过地表径流的方式流失是一个缓慢的、复杂的过程,土壤氮磷并不是几次降水后就流失殆尽的。土壤中氮磷对滇池的污染也是一个逐步的、潜移默化的过程。

关键词:台地土壤;地表径流;氮磷污染;滇池

中图分类号:S714.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2010)02-0030-05

Potential Relationship between Soil Nitrogen & Phosphorus Content and Water Pollution in Dianchi Lake

BEI Rong-ta^{1,3}, ZHOU Yue², HE Min¹

(1. Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan 650093, China;
2. Yunnan University of Finance and Economics, Kunming, Yunnan 650221, China;
3. Southwest Forestry College, Kunming, Yunnan 650224, China)

Abstract: It was very important to approach the nitrogen & phosphorus pollution in Dianchi Lake from different angles. The contents of nitrogen and phosphorus in the soil with platform structure and runoff in Dayu Township which is located in the south-east bank of Dianchi Lake, were analyzed, the contents of these two elements in the water of the lake were also measured. The results showed that the total phosphorus content in the platform soil was 7.5 times higher than the highest content of the classification standard among the main nutrients in agricultural soils in China. The effective phosphorus content surpassed 20 times of the standard. The soil high phosphorus content around the lake was one of the important channels of phosphorus pollution in nonpoint surface pollution in the lake. The phosphorus content of the surface runoff surpassed grade V standard of surface water. The nitrogen content of the surface soil was not too high, but the nitrogen content of the surface runoff surpassed grade V standard of surface water. The research also indicated that the loss of the soil nitrogen & phosphorus was a slow and complicated process by surface runoff. The soil nitrogen & phosphorus were not lost completely after it rained for several time. The soil nitrogen & phosphorus polluting the Lake was also a gradual process and the soil nitrogen & phosphorus exerted an imperceptible influence on the lake.

Key words: platform soil; surface runoff; nitrogen & phosphorus pollution; Dianchi Lake.

昆明市是我国较缺水的城市之一。水资源总量并不少,但水资源总量的多少只是反映一个区域资源丰亏的一个方面,只有通过综合考虑一个区域的人口数量、国土面积、耕地面积等因素,采取人均

占有水量、单位国土面积水量、单位耕地水量(以农业用水为分子)等指标,在一定程度上才能准确地描述出这个地区水资源短缺与否^[1]。而昆明市单位占有淡水量少,这更突显了滇池的重要性。因此,保护滇池水体免受污染是人们良好的愿望。

近二、三十年以来,随着人口的急剧增加和经济的高速发展,氮、磷污染负荷逐渐增加,致使滇池污染和富营养化严重,制约着湖泊功能的发挥,对昆明以至云南的经济发展造成严重影响^[2]。昆明市的北部草海,水体已达到严重富营养化程度。盘龙江源于昆明北郊松华坝水库,流经昆明市区后注入滇池北部草海区,途中受纳昆明卷烟厂、昆明农药厂等多家企业、农村和居民区所排放的工业废水、农灌污水和大量生活污水等,严重污染了滇池水质。污水中过量磷的排入是引起滇池北部草海区严重富营养化的主要原因^[3]。但是,滇池中氮磷来源有多种途径,如湖周边生产、生活污水的大量排入,早期磷矿厂的兴建及其生产运营过程中废水的排入等,而滇池周边土壤氮磷面源污染是一个不容忽视的问题。为此,对滇池岸边台地土壤氮磷含量及其地表径流中氮磷量对滇池水体氮磷污染进行了研究,以期对该区的水环境治理提供科学依据。

1 研究区概况

研究区位于云南省昆明市东南呈贡县大渔乡境内,面积约 25.7 km²,为高原面上低山浅切割地形,海拔高度 1 900~1 930 m,山坡大多已开垦为农耕台地。年平均气温为 14.7℃,最热月平均气温 19.7℃,最冷月平均气温 7.5℃。年平均日照时数 2 448.8 h。年平均降水量 1 035 mm,其中,5—10 月为雨季,11 月至次年 4 月为旱季。土壤为山地红壤,酸性反应,质地多为中壤土至轻粘土,有机质、水解性氮、速效钾含量较低,盐基饱和度较高。植被主要是人工栽植的蓝桉(*Eucalyptus globulus*)、金竹(*Phyllostachys nigra* var. *henonis*),灌木有川梨(*Pyrus pashia*)、窄叶火棘(*Pyracantha angustifolia*)、悬钩子(*Rubus jinposhanensis*)等^[4]。草本以禾本科植物为主。

2 材料与方法

试验区共布置了 24 个米级小区,即按代表性原则在台地上布点,以铝铁皮为材料,每种类型布置 3 个重复水平,命名为 A I、A II、A III, B I、B II、B III,……, G I、G II、G III,对照组为 O I、O II、O III。米级小区以铝铁皮为材料,做成 1 m×1 m 的正方形,

高 0.4 m,下部焊一接嘴,以承接地表径流的集水装置(图 1);同时不同类型的试验区内挖掘 14 个具代表性的土壤剖面(F 与 G 为相同土壤类型),取样点如 A II 0~20,表示在相应小区内取 0~20 cm 的表层土样,考虑到土壤的相似性,并没有所有米级小区都取土样。把取到的土样带回室内,在洁净的室内晾干后,磨细过筛,然后测定土壤的 pH 值、土壤质地、总氮、总磷、水解性氮和速效磷。土壤 pH 值用酸度计测定,土壤质地用比重计法测定,总氮用重铬酸钾-硫酸消化法测定,总磷用钼锑抗分光光度法测定,水解性氮用碱解蒸馏法测定,速效磷用化学比色法测定^[5]。

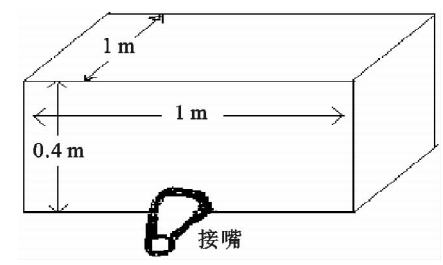


图 1 米级小区集水装置

Fig. 1 Collecting water device in metre-class area

2002 年,利用雨季在试验区的米级小区内收集地表径流,并把地表径流分成两部分:一部分混合水样用于分析测定地表径流的氮磷流失量;另一部分混合水样用于测定地表径流的泥沙产出量。水中总氮量采用过硫酸钾氧化-紫外分光光度法测定,水中总磷采用强酸消解-钼锑抗分光光度法测定,氨氮采用纳试试剂光度法测定^[6-7]。

3 结果与分析

3.1 土壤酸度、质地及氮磷量分析

由表 1 可见,试验区表层土壤 pH 值在 5.0~7.5 之间,偏酸性,偶呈中性;土壤质地粘重,重壤土和轻粘土占 1/2 以上,这在表土层中是偏粘性的。土壤总氮、水解性氮属中等偏低水平,总氮均值为 0.101%,变幅 0.027%~0.165%,差异较大;水解性氮均值 45.81 mg·kg⁻¹,变幅 15.14%~98.31%,差异也很大,但最高者仍未能达到我国农业土壤水解性氮的高量标准。试验区表土层中总磷、速效磷含量都非常高,总磷均值为 1.132%,超过我国农业土壤高量标准的 7.5 倍,但变幅大;速效磷均值为 204.2 mg·kg⁻¹,是我国农业土壤高量标准的 20 倍,样点间差异大,但即便最低者 47.85 mg·kg⁻¹,仍超过速效磷高量标准的 4.7 倍,这在我国土壤普遍缺磷的情形下是十分罕见的。研究中也取了土壤母岩样本进行总磷测试,结果为土壤成土母

岩中总磷量超过 7%，这应该是引起土壤高磷量的重要影响因素。

表 1 试验区表层土壤理化性状

Table 1 Physico-chemical properties of the surface layer soil in the experimental area

取样点	pH	质地	总氮/%	总磷/%	水解性氮/(mg·kg ⁻¹)	速效磷/(mg·kg ⁻¹)
AⅡ0~20	5.36	重壤土	0.096	0.821	36.79	127.20
AⅢ0~20	5.55	中壤土	0.165	6.995	98.31	131.10
BⅠ0~20	5.16	轻壤土	0.081	0.199	49.73	79.70
BⅡ0~20	5.21	中壤土	0.124	0.548	20.06	92.88
CⅠ0~20	5.50	轻粘土	0.107	1.570	79.35	117.50
CⅢ0~20	5.20	重壤土	0.089	2.273	37.01	86.15
DⅠ0~20	5.86	重壤土	0.027	0.368	56.05	62.99
DⅢ0~20	5.70	中壤土	0.118	0.287	31.90	48.48
EⅠ0~20	7.43	中壤土	0.129	0.463	56.34	49.16
EⅡ0~20	5.80	轻粘土	0.107	0.148	61.01	47.85
FⅠ0~20	6.27	中壤土	0.105	0.540	15.14	148.60
FⅡ0~20	7.27	重壤土	0.086	0.851	22.18	1154.70
OⅢ0~20	6.12	中壤土	0.114	0.347	61.29	436.30
径0~20	5.25	重壤土	0.063	0.436	16.14	276.10
均值	5.83		0.101	1.132	45.81	204.20
母岩				7.930		
分级标准(高)			>0.15	>0.15	>100	>10
分级标准(中)			0.10~0.15	0.08~0.150	50~100	5~10
分级标准(低)			≤0.10	≤0.08	≤50	≤5

3.2 试验区台地米级小区地表径流氮磷及泥沙量分析 水样,分别测定了水样中总氮、总磷和氨氮量和泥沙在米级小区内,于雨季分 3 个时间点接取地表量(表 2)。

表 2 试验区地表水氮磷及泥沙量

Table 2 Nitrogen, phosphorus and sand content in surface water in experimental area

项目	总氮/(mg·L ⁻¹)			总磷/(mg·L ⁻¹)			氨氮/(mg·L ⁻¹)			泥沙量/(g·L ⁻¹)		
	6月25日	7月15日	7月20日	6月25日	7月15日	7月20日	6月25日	7月15日	7月20日	6月25日	7月15日	7月20日
AⅠ	4.388	7.696	7.168	3.484	3.608	2.702	3.28	0.80	1.36	18.1	2.80	2.02
AⅡ	3.028	3.432	1.802	5.848	0.888	0.379	1.34	0.61	0.62	3.99	1.01	0.07
AⅢ	6.988	9.027	4.382	4.949	0.398	0.702	3.34	2.70	0.88	5.71	0.42	0.19
BⅠ	3.508	5.264	2.641	2.616	0.168	0.589	1.50	0.55	0.38	9.31	0.05	0.43
BⅡ	2.428	3.818	0.936	2.050	0.008	0.250	1.40	0.49	0.43	7.40	0.12	0.10
BⅢ	6.268	6.628	5.186	0.576	0.068	0.597	5.84	1.28	1.30	9.58	0.12	0.27
CⅠ	4.348	10.360	9.364	11.67	3.068	4.411	4.11	2.01	2.80	37.60	4.13	3.34
CⅡ	1.828	9.412	2.811	2.656	2.048	1.153	0.96	1.95	0.71	32.8	1.53	2.15
CⅢ	4.428	8.034	10.030	5.828	9.478	8.516	3.50	1.50	0.94	29.90	13.60	11.0
DⅠ	3.668	8.729	20.780	0.394	0.728	0.847	2.80	1.95	0.99	7.35	4.18	0.63
DⅡ	3.828	4.372	20.700	1.646	0.548	0.532	2.48	1.10	0.80	8.61	3.25	1.46
DⅢ	3.948	12.430	9.579	3.222	0.128	0.524	3.28	0.74	2.15	52.80	0.74	0.31
EⅠ	2.628	11.620	5.329	4.514	2.188	1.073	1.02	0.61	0.20	37.70	4.83	3.16
EⅡ	8.828	30.250	17.27	2.374	0.348	1.056	7.04	9.66	3.59	35.30	4.67	3.39
EⅢ	3.348	28.450	19.29	3.424	1.708	0.500	2.70	11.2	0.85	83.90	3.29	1.47
FⅠ	3.308	13.300	4.275	2.474	0.338	3.363	2.64	0.25	0.15	48.10	0.64	1.83
FⅡ	3.268	10.020	11.26	3.930	0.468	0.492	0.74	0.01	1.03	32.60	2.15	1.85
FⅢ	0.908	6.432	2.802	2.010	0.708	0.847	0.04	0.07	0.57	20.70	1.46	2.18
GⅠ	4.068	13.480	2.989	1.202	0.568	0.355	3.56	0.80	1.06	11.70	0.62	0.45
GⅡ	1.468	4.554	10.68	1.303	0.148	0.750	1.28	0.37	3.59	12.10	0.57	2.84
GⅢ	4.028	24.400	2.668	1.162	0.368	0.323	3.82	7.28	0.59	65.50	0.85	0.55
平均	4.11	11.37	8.52	3.49	1.67	1.76	2.98	2.52	1.52	21.20	2.43	1.89
地表水Ⅳ类	≤1.5			≤0.3			≤1.5					
地表水Ⅴ类	≤2.0			≤0.4			≤2.0					

由表 2 可看出,台地米级小区地表径流的总氮、总磷、氨氮量均超过地表水标准限值Ⅴ类标准,尤其地表径流中总磷量远大于Ⅴ类标准,平均值超过 5 倍以上,而总氮量也超过地表水Ⅴ类标准的 2~5

倍。可见,地表径流的氮、磷量对滇池水质氮、磷污染是不容忽视的,其潜在影响也是深远的。

研究还表明,台地土壤地表径流中泥沙含量在不同时间点上差异非常大。该年份 6 月 25 日当地降水量比 7 月 15 日和 20 日的降水量要大得多,且 6 月 25 日的前几日米级小区内人为动土严重,致使地表径流中泥沙量多,但对氮磷流失量影响不大。

3.3 表土层氮磷量与地表径流氮磷量的关联度分析

土壤中的氮磷主要是通过地表径流等途径而流入湖泊的。为了探索试验区表层土壤氮磷量与地表径流氮磷之间的关系,利用 SPSS 软件对二者进行分析(表 3)。表中所列数据,包含土壤水解性氮与 3 次地表径流总氮、氨态氮的关系,土壤总氮与 3 次地表径流总氮的关系,土壤总磷与 3 次地表径流总磷

的关系,土壤速效磷与 3 次地表径流速效磷的关系。

经分析可知,土壤表层氮磷量与地表径流氮磷量存在着一定相关性,但一般不表现出显著性的特点。除了土壤水解性氮与 6 月 25 日所采水样中总氮具显著相关性外,其余的相关性并不显著,但大多表现为不同程度的正相关关系,如土壤水解性氮对地表径流氨氮量有较大的正向影响。而表层土壤总氮对径流总氮、土壤总磷对径流总磷、土壤速效磷对径流速效磷影响轻微。这一现象表明了土壤中氮磷通过地表径流的方式流失是一个较缓慢的、复杂的过程,土壤氮磷并不是几次降水后就流失殆尽的,同样土壤中氮磷对滇池的污染也是一个逐步的、潜移默化化的过程。

表 3 表层土氮磷量与地表径流氮磷量的相关性分析

Table 3 Correlation analysis between the surface soil and surface runoff nitrogen &. phosphorus contents							
项目	径流采集时间 /(月-日)	地表径流总氮			地表径流氨氮		
		6-25	7-15	7-20	6-25	7-15	7-20
土壤水解性氮	Pearson correlation	0.591 *	0.181	0.184	0.424	0.431	0.360
	Sig. (2-tailed)	0.043	0.573	0.567	0.170	0.161	0.250
项目	径流采集时间 /(月-日)	地表径流总磷					
		6-25	7-15	7-20			
土壤总氮	Pearson correlation	0.271	0.099	-0.569			
	Sig. (2-tailed)	0.394	0.759	0.054			
项目	径流采集时间 /(月-日)	地表径流总磷			径流速效磷		
		6-25	7-15	7-20	6-25	7-15	7-20
土壤总磷	Pearson correlation	0.302	0.161	0.140			
	Sig. (2-tailed)	0.340	0.618	0.665			
土壤速效磷	Pearson correlation				0.017	-0.125	-0.150
	Sig. (2-tailed)				0.958	0.699	0.641

注:Pearson correlation:相关系数;Sig. (2-tailed):相伴概率(双尾);* Correlation is significant at the 0.05 level.

3.4 地表径流氮磷状况与滇池水体富营养化

台地上地表径流中氮磷超标严重,对滇池的氮磷污染造成直接的或间接的威胁是不言而喻的。但滇池的氮磷污染而导致水体富营养化的问题应是一果多因现象,如工业排污、生活排污、农业氮磷肥的

过量施用以及母岩的高磷特性等。至于滇池的氮磷污染及其富营养化问题严重,这已是公开的秘密,如滇池外海水质多在Ⅳ、Ⅴ类地表水标准之间,而草海的氮磷污染更趋恶化(表 4)。

表 4 滇池外海不同区域氮、磷含量^[2]

Table 4 Nitrogen &. phosphorus contents of different areas in Waihai around Dianchi Lake						
项目	东部	南部	西部	北部	中部	均值
总氮/(mg·L ⁻¹)	1.629	1.613	2.129	3.238	1.603	2.042
总磷/(mg·L ⁻¹)	0.189	0.294	0.243	0.294	0.185	0.241
水质标准	Ⅳ	Ⅴ	Ⅴ	Ⅴ	Ⅳ	
营养程度	富营养	重富营养	重富营养	重富营养	富营养	

此外,由于土壤中含磷量高而又普遍缺乏科学的土地利用和土地监管,造成地表径流含磷量特别高,这与滇池富营养化程度不断加重应有某种潜在

关系。面源污染可能是滇池富营养化不断加剧的重要原因之一。由图 2 可见,在土壤表层以总磷量最高,而地表径流中则以总氮量最高。

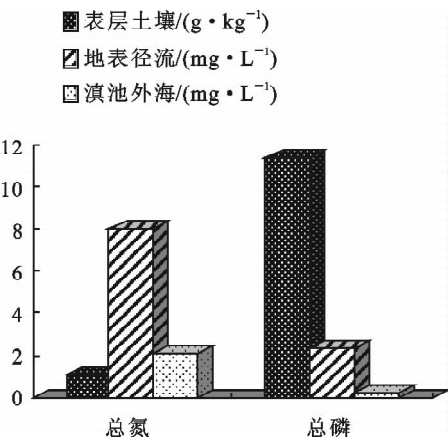


图 2 土壤、径流及滇池外海总氮、总磷量

Fig. 2 Total nitrogen & total phosphorus contents in the soil, runoff and Waihai around Dianchi Lake

4 结论与讨论

大渔乡台地土壤磷含量远远高于我国农业土壤养分含量的高量标准,对地表水及对滇池磷污染都是一种严重的潜在威胁。

台地米级小区地表径流的总氮、总磷和氨氮量均超过地表水标准限值 V 类标准,地表径流中总磷量远大于 V 类标准,平均值超过 5 倍,而总氮量也超过地表水 V 类标准的 2~5 倍。

土壤中氮磷通过地表径流的方式流失是一个缓慢的、复杂的过程,氮磷并不是很快就流失殆尽的,土壤中氮磷对湖泊的污染也是一个逐步的、潜移默化的过程。

滇池的氮磷污染而导致水体富营养化的问题应是一果多因现象。在土壤表层以总磷量最高,而地表径流中则以总氮量最高,面源污染可能是滇池富营养化不断加剧的重要原因之一。

参考文献:

[1] 陈爱侠. 陕西省水资源利用效率及其影响因素分析[J]. 西北林学院学报, 2007, 22(1): 178-182.

CHEN A X. Analysis on the utilization efficiency of water resource in Shaanxi Province and Its effecting factors[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2007, 22(1): 178-182. (in Chinese)

[2] 孟裕芳. 滇池外海氮,磷含量的发展趋势分析[J]. 云南环境科学, 1999, 18(4): 32-33.

MENG Y F. The development tendency analysis of nitrogen and phosphorous content in Waihai of Dianchi Lake[J]. Yunnan Environmental Science, 1999, 18(4): 32-33. (in Chinese)

[3] 尹家元, 杨继红, 杨光宇, 等. 昆明滇池及盘龙江磷形态分布研究[J]. 岩矿测试, 1999, 18(1): 7-10.

YIN J Y, YANG J H, YANG G Y, *et al.* Distribution of phosphorus species in water from Dianchi Lake and Panlong River[J]. Rock and Mineral Analysis, 1999, 18(1): 7-10. (in Chinese)

[4] 张兆国, 赵晓惠, 陈慧泉, 等. 农林复合经营模式控制滇池面山台地水土及氮、磷流失的研究[J]. 林业调查规划, 2005, 30(1): 39-43.

ZHANG Z G, ZHAO X H, CHEN H Q, *et al.* Study on water erosion control and N & P loss in terrance of Dianchi Basin with agroforestry models[J]. Forest Inventory and Planning, 2005, 30(1): 39-43. (in Chinese)

[5] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1977.

Institute of Soil Science Chinese Academy of Sciences. Soil Physico-chemical Analysis[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1977. (in Chinese)

[6] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.

State Environmental Protection Administration. Water & Wastewater Monitoring and Analysis Method[M]. 4th ed. Beijing: China Environmental Science Press, 2002. (in Chinese)

[7] 奚旦立, 孙裕生, 刘秀英. 环境监测[M]. 3 版. 北京: 高等教育出版社, 2004.

XI D L, SUN Y S, LIU X Y. Environmental Monitoring[M]. 3rd ed. Beijing: Higher Education Press, 2004. (in Chinese)