

石匣小区氮磷坡面流失特征研究

窦培谦, 王晓燕, 房孝铎, 王丽华
(首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京 100037)

摘 要: 以石匣试验小区为研究对象, 分析了小区特征对氮磷、泥沙流失的影响。结果表明: 在不同的土地利用方式中果园产生的径流中氮磷浓度最高, 林地最低, 而氮磷的流失量标准小区最高, 林地最低; 免耕种植、梯田种植、鱼鳞坑造林等耕作方式会明显减少农田土壤的侵蚀及氮磷的流失, 植被覆盖明显减少径流量和泥沙量, 从而有效地控制农田氮磷污染物的流失; 在其它条件相同的情况下, 坡度小的小区氮磷流失量明显减小; 降雨量与氮磷的流失量呈现明显的正相关; 雨季径流中氮、磷主要以颗粒态存在, 径流中的泥沙量与径流量有较好的线性关系 ($R=0.72$)。

关键词: 氮、磷流失; 土地利用方式; 耕作方式; 坡度; 降雨量

中图分类号: S158.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006)04-0019-06

随着人类经济活动的不断加剧, 水环境污染已成为全球性问题。非点源污染的严重性随着点源污染控制能力的提高而逐渐表现出来, 特别是当点源污染控制水平达到一定程度后, 非点源污染必将成为水环境污染的主要原因。北京市为严重缺水的城市, 水环境的污染, 更将加重水源危机。目前研究表明, 非点源是影响水库水质的主要污染源, 其中水土流失、农田施用的化肥、农药流失以及畜禽养殖是主要的污染形式^[1~6]。本文选择了石匣试验区 22 个具有不同坡度、植被、耕作方式的样地, 通过监测分析其降雨径流中氮、磷浓度, 揭示不同土地利用方式、耕作条件及降雨条件对径流污染的影响, 探讨土壤氮、磷流失特征。

1 研究区域及方法

1.1 研究区概况

密云县高岭乡石匣试验区位于密云水库东北部, 总面积 33 km², 属于潮河流域下游。为石浅山丘陵区, 地势北高南低, 海拔 150~390 m, 沟壑密度 0.2 km/km², 沟道坡度一般为 20°左右。岩石类型为花岗岩, 土壤类型为淋溶褐土。气候上属暖温带季风气候, 降雨集中于夏季且多暴雨, 6~8 月降雨量占全年降雨量的 76.5%, 多年平均降雨量 660 mm。根据水利部颁发的水土保持试验规范, 选择不同坡向、坡长、坡度、土地利用方式及耕作方式进行小区布设, 具体说明见图 1 及表 1^①。

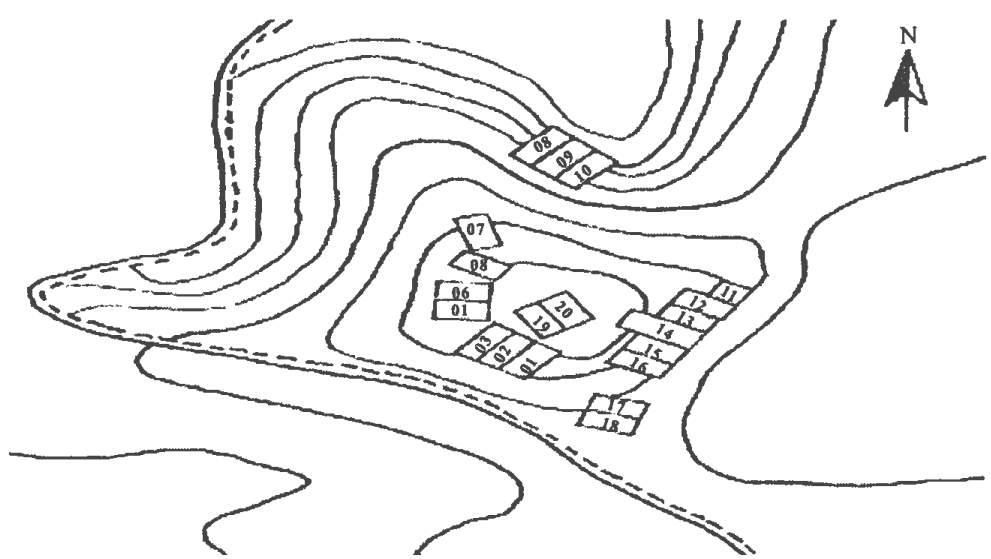


图 1 试验小区分布示意图
Fig. 1 Distribution of empirical area

收稿日期: 2005-06-28
基金项目: 北京市教育委员会科技发展计划面上项目 (KM200510028012)
作者简介: 窦培谦 (1981—), 男, 山东潍坊人, 硕士研究生, 研究方向为生态环境治理与建设。E-mail: doupq@sina.com.
①徐谦等. 密云水库水源保护区农、林、牧业发展与非点源污染相关关系研究 (内部资料). 1998。

表 1 试验小区自然属性特征

Table 1 Physical characteristic of experimental area

小区编号 No.	坡度(°) Slope	面积(m ²) Area	土地利用状况 Land use	耕作方式 Type of cultivation
1	16.5	50	玉米坡耕地 Slope field with corn	开荒种植 Cultivation on bare land
2	16.5	50	栗树 Chestnut	大水平条田 Gentle slope
3	16.5	50	板栗休闲地(翻耕) Chestnut	大水平条田, 翻耕 Gentle slope
4	14.4	50	标准小区 Standard plot	标准小区 Standard plot
5	14.4	50	自然坡覆盖度<30% Natural slope(vegetation coverage<30%)	灌草坡封育 Slope with shrub
6	14.4	50	玉米坡耕地 Slope field with corn	大水平条田 Gentle slope
8	27.0	50	自然坡生长荒草(45%~60%) Natural slope(vegetation coverage45%~60%)	大水平条田 Gentle slope
9	27.0	50	荒草坡覆盖度 45%~65% Grassland (vegetation coverage45%~60%)	小水平条田 Small gentle slope
10	27.0	50	刺槐 Acacia	鱼鳞坑造林 Woodland
11	19.3	25	自然坡 Natural slope	灌草坡封育 Slope with shrub
13	18.55	50	荆条覆盖度 40%~65% Bramble(vegetation coverage45%~60%)	无翻耕 No tillage
15	19.0	50	荒草坡覆盖度 70%~80% Grassland(vegetation coverage70%~80%)	荒地 Bare land
16	19.0	50	荒草坡覆盖度 45%~65% Grassland (vegetation coverage45%~60%)	荒地 Bare land
17	3.5	50	荒草坡 Grass land	梯田种植 Terraced fields
18	3.5	50	坡耕地玉米覆盖度<10% Slope land with corn (vegetation coverage<10%)	坡耕地 Slope land
20	6.3	50	玉米地 Corn land	免耕种植 No tillage
21	14.4	100	标准小区 Standard plot	标准小区 Standard plot
22	14.4	50	标准小区 Standard plot	标准小区 Standard plot

1.2 研究方法

在 2003 年雨季的 4 次大的降雨后从径流桶中采集径流样品 1 000 ml, 在 4℃进行保存送回实验室分析。

参照《水和废水监测分析方法》中的过硫酸钾氧化—分光光度法, 总磷由未过滤的样品测得, 过滤后的样品测定可溶性磷的含量, 由总磷(Total phosphorus, TP)=可溶性磷(Dissolved phosphorus, DP)+颗粒态磷(Particulate phosphorus, PP)计算颗粒态磷的含量。径流中水溶性氮(DN)(硝态氮、亚硝态氮与氨氮之和)由以下方法测定: 硝酸盐氮(NO₃⁻-N)用酚二磺酸比色法; 亚硝酸盐(NO₂⁻-N)为α 奈胺比色法; 铵氮(NH₄⁺-N)用纳氏试剂比色法^[8]。颗粒态氮(PN)由差减法算出。

氮、磷流失量(kg/km²)=
$$\frac{\text{氮、磷浓度(mg/L)} \times \text{径流量(L)}}{\text{小区面积(km}^2\text{)} \times 10^{-6}}$$

2 结果与讨论

2.1 土地利用方式对径流中氮磷流失的影响
石匣试验小区的土地利用类型可分为: 农田、荒

草坡、果园、林地、标准小区五类。由图 2 可以看出, 石匣试验小区不同土地利用方式氮污染物的浓度变化明显, 其总氮的变化趋势为: 果园(6.78 mg/L)>荒草坡(6.65 mg/L)>农地(3.00 mg/L)>标准小区(2.46 mg/L)>林地(1.16 mg/L), 颗粒态氮表现出相同的变化趋势。径流中溶解态氮的变化趋势为荒草坡(0.61 mg/L)> 果园(0.41 mg/L)>农地(0.34 mg/L)> 标准小区(0.28 mg/L)>林地(0.10 mg/L)。由于林地中植被根系的吸附能力使其径流中氮污染物浓度最低, 果园、农地由于化肥的使用使得径流中氮浓度较高。

总磷浓度的变化趋势为: 果园(0.312 mg/L)>标准小区(0.233 mg/L)>荒草坡(0.135 mg/L)>农地(0.093 mg/L)>林地(0.054 mg/L); 溶解态磷浓度变化趋势为: 果园(0.054 mg/L)>农地(0.034 mg/L)>荒草坡(0.031 mg/L)>标准小区(0.025 mg/L)>林地(0.011 mg/L)。与总氮浓度相似, 径流中总磷的浓度最高为果园, 最低为林地, 林地中由于植物根系的拦截作用大大降低了径流中

磷污染物的浓度。果园由于化肥的使用,部分未被吸收的磷素随径流流失,导致水体中磷浓度偏高。

从图 3 可以看出,氮磷流失量的变化与其浓度变化表现出不同的趋势。总氮流失量变化趋势为:标准小区(13.98 kg/km²)>荒草坡(10.83 kg/km²)>果园(9.77 kg/km²)>农地(8.91 kg/km²)>林地(4.58 kg/km²);总磷流失量变化趋势为:标准小区(3.56 kg/km²)>果园(1.90 kg/km²)>农地(1.29 kg/km²)>荒草坡(1.10 kg/km²)>林地(0.18 kg/km²)。

标准小区由于没有任何植被覆盖,径流量远远大于其他土地利用方式,尽管标准小区氮、磷浓度不是很高,但氮、磷流失量是五种土地利用方式中最高的。果园、农地中氮、磷浓度最高,氮、磷流失量却不是最高,这是由于果园和农地有一定的植被覆盖度,

植物根系可以有效阻止土壤流失,减少径流量,使其氮、磷流失量低于标准小区。

2.2 径流中氮磷污染物形态

由图 2 可以看出,大部分采样点的磷以颗粒态磷为主,占总磷的比重在 63.4%~89.3%之间,平均 74.8%。氮的流失也是以颗粒态为主,占总氮的比例在 66.4%~81.2%之间,平均 72.3%,可溶性氮所占比例较小,大部分在 18.8%~33.6%之间,这与黄满湘对北京地区氮流失研究相一致^[10]。可溶性氮的主要存在形态为 NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N, NO₂⁻-N 占总氮的比例很小,平均为 5%(最高为 14%),而且与总氮的浓度呈明显的线性负相关,而 NO₃⁻-N 与总氮的浓度具有明显的线性正相关性(图 4)。

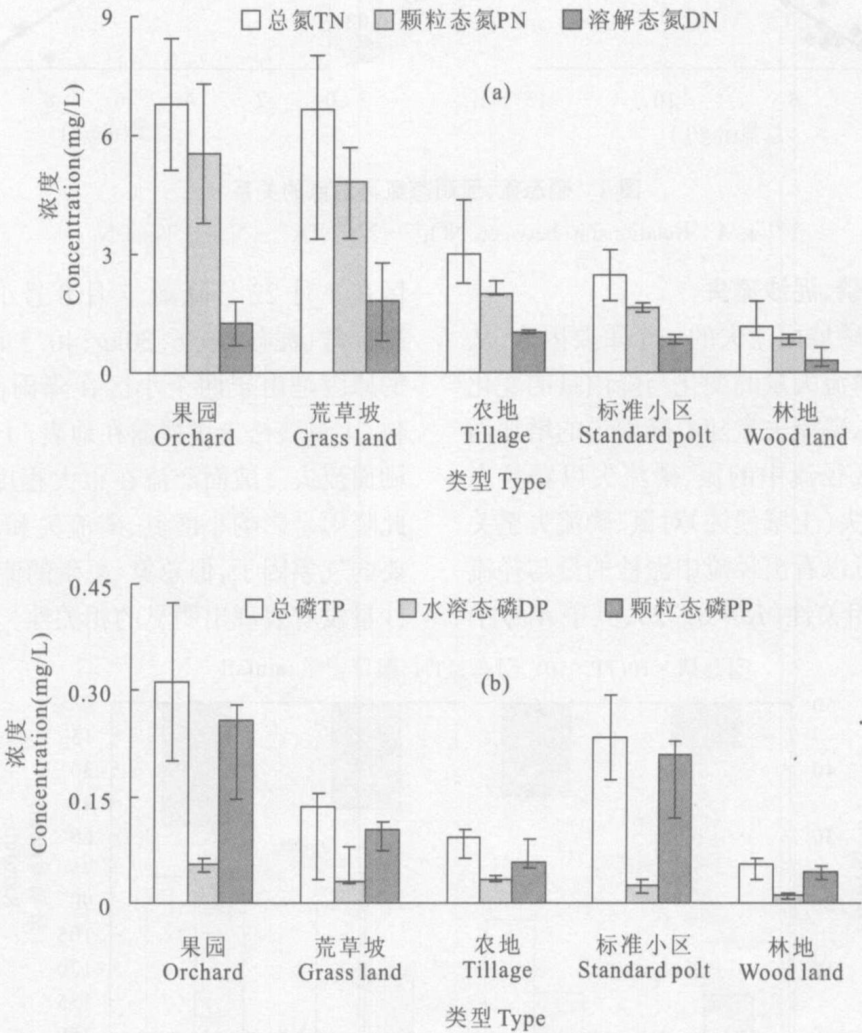


图 2 土地利用对氮磷浓度的影响

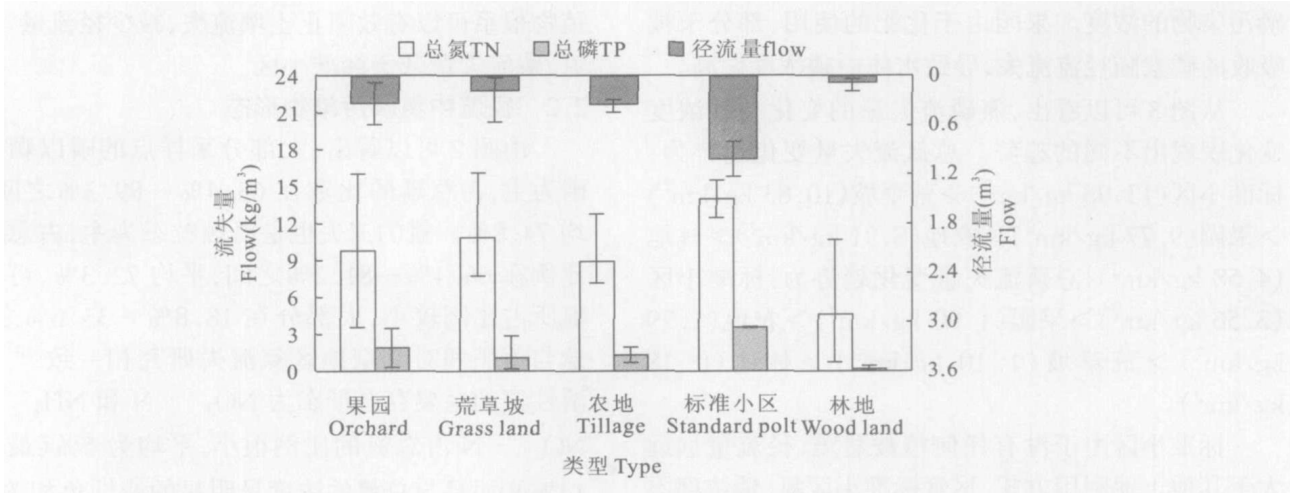


图 3 土地利用对氮、磷流失量、径流量的影响

Fig.3 Land use effect on loss of nitrogen, phosphorus and flow

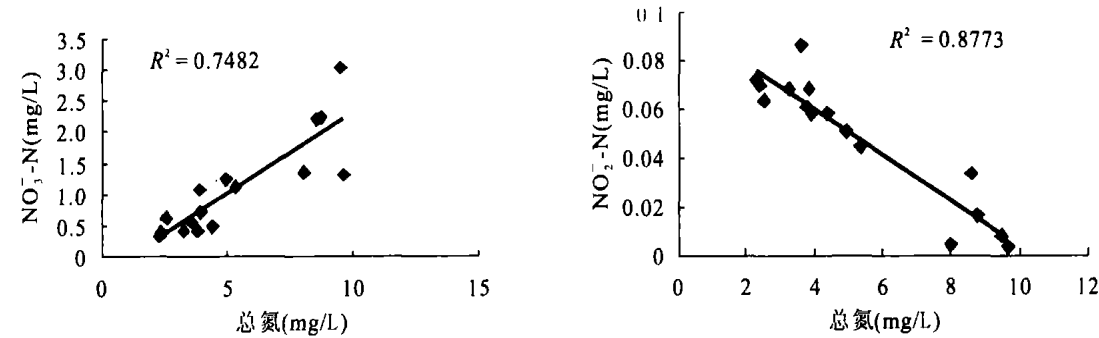


图 4 硝态氮、亚硝态氮与总氮的关系

Fig.4 Relationship between NO₃⁻-N, NO₂⁻-N and Total N

2.3 降雨径流与氮磷、泥沙流失

降雨是影响氮、磷坡面流失的一个重要因素，从图 5 可以看出，氮、磷流失量的变化与降雨量的变化呈明显正相关，即氮、磷流失量随着降雨量的增加而增加。由于石匣小区径流中的氮、磷流失以颗粒态为主，因此泥沙的流失(土壤侵蚀)对氮、磷流失至关重要。由图 6 我们可以看出径流中泥沙的量与径流量具有很好的线性相关性 ($R=0.72$)，其中 4 号小

区在 7 月 22 号降雨，7 月 8 号小区 20 号泥沙量数据异常 (泥沙量 36.30kg、40.5 kg)，造成这种现象的原因是由于两个小区在降雨前土壤刚刚进行翻耕，大量疏松土壤裸露在地表，土壤很容易被雨水冲刷而流失。坡面产流在很大程度上取决于降雨，因此降雨是影响小区氮、磷流失和侵蚀产沙的一个重要的气象因子，但总氮、总磷的流失量跟径流量或泥沙量没有表现出明显的相关性。

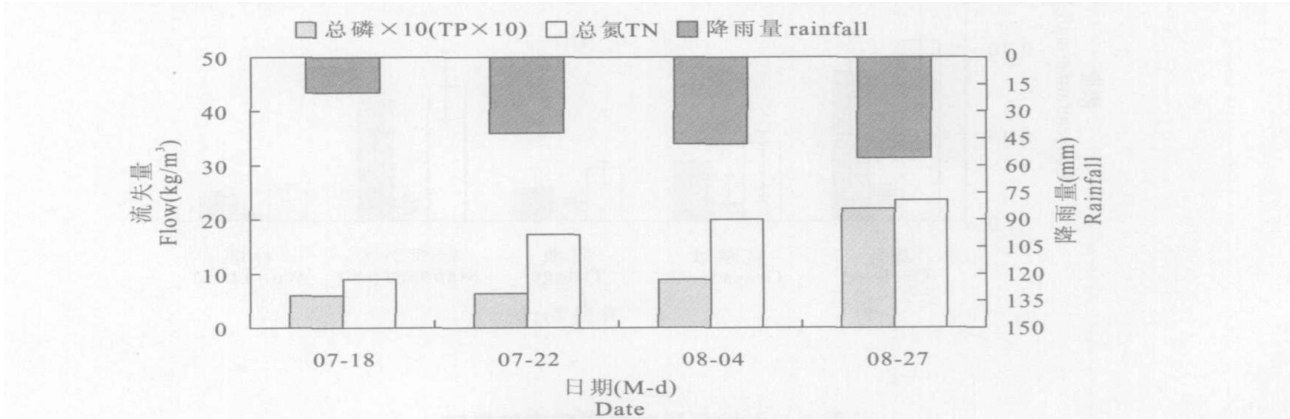


图 5 降雨量与氮、磷流失的关系

Fig.5 Relationship between flow and sand

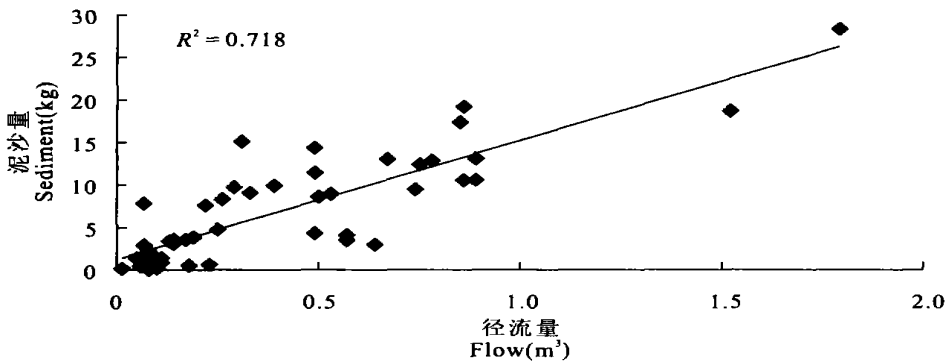


图 6 径流量—泥沙量线性关系图

Fig.6 Relationship between flow and sand

2.4 耕作方式对径流量、泥沙量及氮磷流失量的影响

表 2 耕作方式对氮、磷流失量的影响

Table 2 Tillage measure effect on loss of nitrogen and phosphorus

小区编号	坡度(°)	坡长(m)	耕作方式	径流量(m³)	泥沙量(kg)	氮流失量(kg/km²)	磷流失量(kg/km²)
Plot	Slope	Length	Tillage measure	Flow	Sediment	Loss of nitrogen	Loss of phosphorus
3	16.5	10	板栗(无翻耕) Chestnut (no tillage)	0.67	14.37	16.99	1.08
4	14.4	10	板栗(翻耕) Chestnut (tillage)	0.69	22.68	24.66	1.22
9	27	10	荒草坡小水平条田 Grass land (small gentle slope)	0.08	0.02	2.43	0.16
8	27	10	荒草坡(grass land)	0.11	0.88	3.88	0.19
6	14.4	10	玉米坡耕地大水平条田 Corn (gentle slope)	0.39	6.99	10.01	0.50
1	16.5	10	玉米坡耕地开荒种植 corn(farm land)	0.49	14.29	15.9	1.47
21	14.4	10	标准小区(standard plot)	1.04	17.89	37.12	2.00
22	14.4	10	标准小区(standard plot)	0.77	9.04	27.82	1.1
2	16.5	10	栗树 Chestnut	0.07	4.93	5.00	0.12
20	6.3	10	玉米地 corn	0.31	15	11.81	0.77
10	27	10	刺槐(无翻耕) Acacia(no tillage)	—	—	—	—
15	19	10	荒草坡覆盖度(无翻耕) Grass land (no tillage)	0.08	0.61	3.23	0.08
17	3.5	10	香椿(无翻耕)No tillage	—	—	—	—

由表 2 可以看出;3 号、4 号小区坡度、坡长相差不大,但氮、磷流失量的差别却很明显。翻耕的 4 号小区氮、磷流失量明显高于 3 号小区,氮、磷流失量分别减少 31.1%、11.5%,由此可见,土地翻耕会明显增加径流中氮、磷流失量。8 号、9 号小区坡度、坡长一致,9 号小区(小水平条田)的氮、磷流失量小于 8 号小区,减少量分别为 37.4%、15.8%。1 号、6 号小区在坡度、坡长相差不大,相同土地利用的情况下,6 号(大水平条田)氮、磷流失量要明显低于 1 号(开荒种植),减少量分别为 37.0%、65.9%。

上述三组对比,小区径流量差别不是很明显,但泥沙量的差异非常明显,进行保土耕作的 3 号、9 号、6 号小区的泥沙量分别比小区 4 号、8 号、1 号减少 36.6%、97.7%、51.1%。而氮、磷的流失以泥沙结合态为主,因此进行保土耕作如布设水平条田、免耕种植可有效减少泥沙的流失,从而减少氮、磷的流失。

不考虑土地利用差异,耕作措施对氮、磷流失量、泥沙量也有明显的影响。由表 3.2 我们可以看出;小区 1 号,小区 3 号,小区 4 号,小区 21 号,小区

22 号氮、磷流失量,泥沙量比较高,小区 21 号、22 号(无任何植被覆盖)、小区 1 号、3 号、4 号为休闲地和开荒地,这表明裸地或开荒容易造成土壤的流失,使土壤中的氮、磷随土壤流失进入水体,而有一定的植被覆盖的小区 2 号、8 号、9 号、15 号、20 号氮、磷流失量和泥沙量较低,原因是植物根系有效阻止了土壤的流失,从而减少了颗粒态氮的来源。

另外梯田种植(17 号小区)和鱼鳞坑造林(10 号小区)等水土保持措施也明显减少了土壤的侵蚀,两

个小区都没有径流产生。

2.5 坡度对径流量、泥沙量及氮磷流失的影响

由表 3 可以看出,在坡长、耕作方式一致的条件下,1 号小区氮、磷流失量、泥沙量明显大于 18 号小区。氮、磷流失量增长分别为:7 月 8 号 70.1%、338%;7 月 22 日,24.2%、34%;8 月 4 日,241%、344%;8 月 28 日,60.7%、477%。由此可见同等条件下减少农田的坡度可有效减少氮、磷的流失。

表 3 坡度对氮磷、泥沙流失的影响
Table 3 Slope effect on loss of nitrogen,phosphorus and sediment

小区编号 Plot	坡度(°) Slope	坡长 (m) Length	耕作方式 Tillage measure	日期 (M-d) Date	径流量 (m ³) Flow	泥沙量 (kg) sediment	氮流失量 (kg/km ²) Loss of nitrogen	磷流失量 (kg/km ²) Loss of phosphorus
1	16.5	10	玉米坡耕地 Slope field with corn	07-08	0.13	3.37	6.65	0.57
				07-22	0.64	7.99	19.24	7.92
				08-04	0.67	13.02	21.52	1.42
				08-28	0.53	2.86	26.58	2.02
18	6.3	10	玉米坡耕地 slope field with corn	07-08	0.07	2.89	3.91	0.13
				07-22	0.49	5.32	15.49	5.91
				08-04	0.23	0.61	6.32	0.32
				08-28	0.14	2.65	16.54	0.35

3 结 语

1) 径流中总磷和总氮浓度与土地利用有关,果园由于施肥量较大,径流中氮磷浓度偏高,而林地由于对氮磷等污染物有一定的净化作用,径流中氮磷浓度较低。氮磷的流失量标准小区最大,果园、农地次之,林地最小。

2) 径流氮磷输出与耕作强度有关,免耕种植、梯田种植、鱼鳞坑造林等水土保持措施减弱农田土壤养分侵蚀流失,植被覆盖可明显减少径流量和泥沙量,从而有效地控制农田氮磷污染物的流失。

3) 在供试小区,氮磷的流失主要以颗粒态为主,NO₃⁻-N 是径流水溶性氮流失的主要形态。

4) 在同种耕作条件下,坡度大的小区泥沙、氮磷的流失较坡度小的严重。

5) 降雨量与氮磷流失量呈明显的正相关。

参 考 文 献:

[1] 王晓燕,王照蒸. 密云水库流域降雨径流土壤中氮磷流失规律[J]. 首都师范大学学报(自然科学版),2001,22(2):79-85.
[2] 王晓燕,王清平. 北京密云水库小流域非点源污染负荷估算[J]. 地理科学,2004,24(2):227-231.

[3] 杜桂森. 密云水库水质现状及发展趋势[J]. 环境科学,1999,20(2):110-112.
[4] LalR. Research and development priorities in soil degradation[J]. Advance in Soil Science. 1990,3(2):331-336.
[5] A·McGrath, C·KenSmith, HenryL·Gholz. Effects of Land-Use Change on Soil Nutrient Dynamics in Amazonia Deborah[J]. E-cosystems, 2001,4:625-645.
[6] 于秀玲. 非点源污染对密云水库水质的影响[A]. 北京市环境科学研究所. 中国环境科学研究院环境科学论文集(1980~1990)[C]. 北京:中国环境科学出版社,1990.
[7] 国家环境保护总局. 水和废水环境监测分析方法[M]. 北京,中国环境科学出版社,1989. 275-287.
[8] 张兴昌,邵明安. 不同植被对土壤侵蚀和氮素流失的影响[J]. 生态学报,2000,20(6):1038-1044.
[9] 黄满湘,章申. 北京地区农田氮素养分随地表径流流失机理[J]. 地理学报,2003,58(1):147-154.
[10] 李裕元,邵明安. 土壤翻耕影响坡地磷流失试验研究[J]. 应用生态学报,2004,15(3):443-448.
[11] 袁东海. 不同农作方式下红壤坡耕地磷流失特征[J]. 应用生态学报,2003,14(10):1661-1664.
[12] 张兴昌. 耕作及轮作对土壤氮素径流流失的影响[J]. 农业工程学报,2002,18(1):70-74.
[13] 孟庆华. 黄土丘陵沟壑地区不同土地利用方式的径流及磷流失[J]. 自然科学进展,2002,12(4):393-397.

(英文摘要下转第 45 页)

幅度为 9%，垂直方向大于水平方向。灌溉停止 24 h 后土壤水分运动达到暂时平衡，此后土壤含水量变化很小，土壤湿润锋几乎不再扩展。

参 考 文 献:

[1] 付琳. 滴灌时的土壤浸润状况[J]. 灌溉排水, 1983, (3): 36—45.

[2] 刘晓英, 杨振刚, 王天俊. 滴灌条件下水分运动规律的研究[J]. 水力学报, 1990, (1): 11—22.

[3] 陈渠昌, 吴忠渤. 滴灌条件下沙地土壤水分分布与运移规律[J]. 灌溉排水, 1999, 18(1): 28—31.

[4] 汪志农, 王文焰, 王全九, 等. 点源入渗土壤水分运动规律研究[J]. 水利学报, 2002, (6): 39—44.

[5] 张振华, 蔡焕杰, 郭永昌, 等. 滴灌湿润体影响因素的试验研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(2): 17.

Investigation on soil water redistribution under drip irrigation condition

LIU Xue-qin, FAN Xing-ke

(Institute of Soil and Water Conservation, CAS; Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: The test was carried out on air-dried sandy soil to investigate the course of soil water redistribution under drip irrigation condition. It was discovered that the water content at the spot that was close to the dripping points dropped by 1%~2% suddenly after the course of water redistribution began. Afterwards, the soil water content of this spot reduced along with the time, and it reduced quickly in the earlier period, but slowly in the later period. The water content of the original wetting front edge continued to increase in the earlier period of soil water redistribution, but reduced slowly along with the time in the later period. The movement of soil water redistribution enabled the soil water content in the wetting region to drop to some extent, and the soil water was shifted from high moisture section to low moisture section. Under the experiment condition, the horizontal wetting distance grew up by 6%, and the vertical wetting distance grew up by 9%. The movement of soil water achieved the temporary balance in 24 h after stopping irrigation. Subsequently the change of the soil water content became very small, and the wetting front was kept nearly un-expanded.

Keywords: drip irrigation; soil water content; soil water redistribution

(上接第 24 页)

Research on loss of nitrogen and phosphorus in Shixia experiment plot

DOU Pei-qian, WANG Xiao-yan, QIN Fu-lai, WANG Li-hua

(College of Resources, Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100037, china)

Abstract: The characteristic of plot effect on loss of nitrogen phosphorus and sediment in soil was studied in this paper. The results show that: in the different land-use, the concentration of Total N and Total P in the runoff of orchard is highest, the lowest one is in the runoff of woodland. However, the loss of Total N and Total P of standard experimental area is highest, the lowest one is woodland; no tillage, terrace tillage has an obvious control on the soil erosion, vegetation coverage also can decrease the runoff and the loss of sediment, so they can prevent the loss of nitrogen and phosphorus effectively; in the experimental area with same land-use and other characteristics, low slope can decreases the loss of nitrogen and phosphorus; there is various plus correlation between rainfall and loss of nitrogen and phosphorus; In rainy season, the nitrogen and phosphorus in the runoff exist mainly in particle form, and there is a remarkable linear relativity between the flow and sediment.

Keywords: loss of nitrogen and phosphorus; land use; tillage measure; slope; rainfall