

## 紫色丘陵区典型小流域氮素迁移及其环境效应

朱波, 汪涛, 徐泰平, 况福虹, 罗专溪, 高杨

(中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

**摘 要:** 选择四川盆地中部紫色土丘陵区典型小流域, 通过 2002~2004 年 3 a 对主要土地利用地类氮素流失、小流域地表水和井水氮素迁移形态、途径与通量的连续观测, 研究非点源氮素的来源、去向、迁移特征及其环境效应。结果表明, 紫色土坡地氮素主要通过径流与泥沙迁移, 坡耕地、居民点氮素流失是小流域非点源氮的主要贡献者, 其氮素流失负荷分别为 150.4 kg、73.84 kg, 占小流域氮素迁移总负荷的 52.4%、25.7%; 紫色丘陵区小流域地表水已呈现明显氮素富营养化特征, 地下水硝酸盐污染较为严重, 应重视该地区非点源污染控制; 小流域氮素迁移的尺度差异明显, 坡地以颗粒态氮为主, 小流域以硝酸盐为主, 氮素迁移的尺度效应可能导致非点源氮污染的异地效应, 从而加剧长江三峡水体富营养化压力。

**关键词:** 紫色土; 氮素; 非点源污染; 小流域

**中图分类号:** S155.2<sup>+</sup>

**文献标识码:** A

氮(N)是农业生产中最重要的养分限制因子<sup>[1]</sup>, 而同时也是日益增长的环境污染因子。《Nature》最近报道“氮污染是仅次于气候变暖和生物多样性衰减的全球性环境威胁”, 同时还强调水中过量硝酸盐的危害<sup>[2]</sup>。我国耕地资源不足, 为满足日益增长人口的粮食需求, 提高单产成为最有效的途径, 其中化肥尤其氮肥的作用勿容置疑<sup>[3]</sup>。氮肥和其他化肥在农业中的广泛应用和用量不断增长, 促进了中国农业的发展, 粮食产量在过去 50 a 里几乎呈直线上升<sup>[4]</sup>。但随着我国化肥用量高速增长, 近 50 a 里, 氮肥增加 10 倍, 目前平均用 N 量达 180 kg/hm<sup>2</sup>, 过量施用氮肥造成氮肥利用率下降, 仅为 30%~45% (当季), 近年来粮食产量增幅减缓<sup>[5]</sup>。过量氮在土壤中累积, 通过农田淋洗和径流进入环境, 对水环境造成极大压力。

紫色土是亚热带湿润季风气候条件下由紫色砂页岩发育而成的岩性土, 集中分布在四川盆地丘陵区<sup>[6]</sup>。紫色土因矿质养分储量丰富而成为传统的耕

作土壤, 紫色土丘陵区因独特的紫色土资源与亚热带气候的最佳组合成为四川农业的主体区域<sup>[7]</sup>, 也是西南地区农业的中心。频繁的耕作与不合理的管理, 造成紫色土坡耕地水土流失严重, 而紫色土主要分布在长江上游, 是上游水体养分和泥沙的重要来源。因此, 查明紫色土坡地养分流失及其环境效应对保护长江水环境具有重要意义。国内学者对北方黄土和南方红壤坡耕地的土壤养分流失作了大量的研究<sup>[8-10]</sup>, 但紫色土坡耕地的研究很少, 有限的研究集中在三峡库区<sup>[11,12]</sup>, 主要开展坡地养分流失, 小流域养分迁移及其环境效应研究缺乏。本文拟在紫色土丘陵区典型小流域开展坡地氮素流失、小流域氮素迁移途径、负荷及其环境效应研究, 查明不同利用紫色土坡地氮素去向, 阐明氮素迁移对小流域水环境质量影响的主要方式、特征与贡献, 为紫色土丘陵区非点源氮污染控制提供科学依据。

收稿日期(Received date): 2006-07-13。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金(40571093)和国家重点基础研究发展计划(2003CB415202)项目 [Project of Natural Science Foundation of China (40571093) and National Key & Basic Research Development Planning (2003CB415202)]

作者简介(Biography): 朱波(1966-), 男, 四川仁寿人, 博士, 研究员。从事土壤学、农业生态学和地球化学循环等方面的研究 [Zhu Bo, (1966-), male, born in Renshou county, Sichuan province, PH. D. Professor, majors in soil, agro-ecology and environ-geochemistry. E-mail: bzhu@imde.ac.cn]

# 1 观测试验设计与研究方法

## 1.1 典型小流域概况

小流域位于四川盆地中北部的盐亭县林山乡截流村(简称截流小流域),地理位置:105°27'E,31°16'N,地处嘉陵江一级支流——涪江支流弥江、湍江的分水岭上,海拔400~600 m,面积约0.35 km<sup>2</sup>。本区属中亚热带湿润季风气候,年均气温17.3℃, >10℃的积温5 000~6 000℃,多年平均降雨826 mm,无霜期297 d。土壤为石灰性紫色土,质地为中壤,植被为桉木(*Alder cremastogyne*)和柏木(*Cypresses fineries*)混交林,主要农作物有水稻、玉米、小麦、甘薯、油菜等。该小流域为紫色土丘陵区的一个缩影,其土地利用模式及小流域农业结构具代表性。小流域旱耕地15.64 hm<sup>2</sup>,水稻田3.93 hm<sup>2</sup>,林地12.14 hm<sup>2</sup>,其他用地2.93 hm<sup>2</sup>。小流域土壤CaCO<sub>3</sub>、有机质、全氮(N)分别为131.6±4.8、7.8±0.7、0.59±0.3 g/kg,速效氮、磷、钾分别为44.72±4.44、6.94±1.02、102.64±5.91 mg/kg。

## 1.2 观测试验设计

### 1.2.1 观测与采样点布置

径流、泥沙与氮素迁移观测:分别在裸地、农地、林地、草地、径流小区和居民点集水区(0.4 hm<sup>2</sup>)开展径流、泥沙与氮素迁移的观测与采样测定,径流小区或径流场编号为1、2、3、4、5,位置见图1。观测频度为降雨产流观测。

小流域水环境氮素含量测定:地表水6个,分别为群英池、站内蓄水池、站边蓄水池、苏蓉塘、出口堰塘、小流域把口站,采样编号分别为1、2、3、4、5、6;水井10个,每月测定一次,降雨产流后加测。观测与采样点布置见图1。

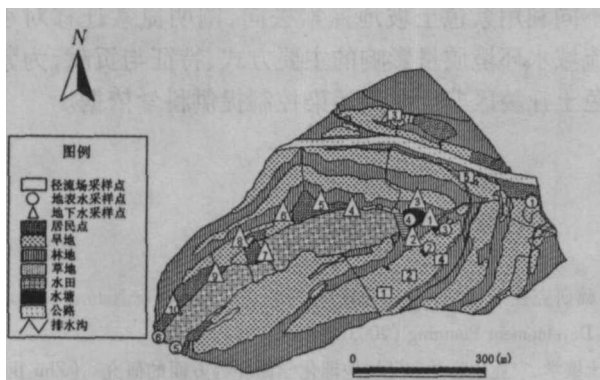


图1 小流域观测与采样点布置

Fig. 1 Monitoring and sampling sites in the watershed

### 1.2.2 主要测定方法

径流小区降雨产流时采集水沙混合样,小流域地表水和井水采样深度一般在0.3~0.5 m处,样品采集后立即放入冰箱冷藏保存。测定水沙混合液或水样中的总氮(TN)、泥沙吸附态(颗粒态)氮(PN)、硝态氮(NN)、亚硝态氮(SNN)、氨态氮(AN)等。总氮测定时先摇匀,取水、沙混合样10 ml,碱性过硫酸钾高温(120℃)消解,定容,离心,然后用紫外分光比色法测定总氮含量(GB11894-89)。水样经0.45 μm滤膜过滤后,采用紫外分光光度法测定硝态氮含量(GB8538-1995),纳氏试剂分光光度法测定铵态氮含量(GB8538-1995)<sup>[13]</sup>。泥沙经风干,用凯氏法测定其氮含量。计算径流侵蚀泥沙,总氮、颗粒态氮、硝态氮、铵态氮浓度和负荷。

## 2 研究结果与讨论

### 2.1 紫色土坡地氮素流失特征与迁移负荷

#### 2.1.1 不同土地利用坡地氮素流失特征

2002年降雨产流频繁,测定整个降雨产流事件的TN含量(图2),当年的第一场大雨(04-14,降雨量为39.3 mm)的径流TN含量最高,特别是耕地与居民点,因旱季降雨量小,基本不产流,环境中氮素累积较多,一遇暴雨产流,其含量较高。径流总氮雨季呈前期高,后期低的分配特点。而各种土地利用地类中,居民点氮素含量最高,年平均为5.95 mg/L,其次为耕地,2.86 mg/L,最低为裸地,平均1.20 mg/L。

2002~2004年不同土地利用坡地氮流失量见表1。氮流失因土地利用而异,居民点流失量最高,

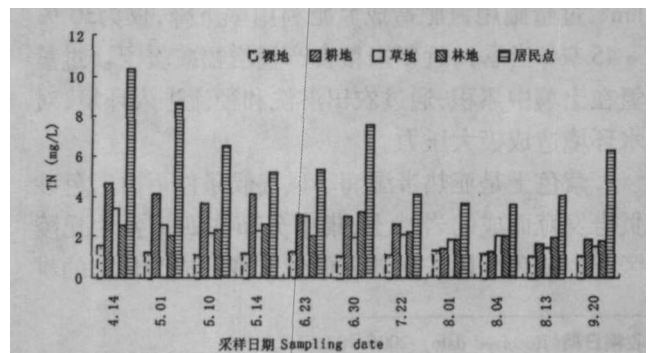


图2 不同土地利用地类径流总氮含量的季节变化

Fig. 2 Seasonal patterns of TN from runoff in plots under different land use

3 a 平均流失量为 24.78 kg/hm<sup>2</sup>,其次为坡耕地,为 10.08 kg/hm<sup>2</sup>,5 种土地利用地类的氮素流失量顺序为:居民点 > 坡耕地 > 草地 ≈ 林地 > 裸地。氮素主要通过径流与泥沙迁移,其中耕地、裸地约 60% 以上的氮素是通过泥沙迁移的,随径流迁移的氮约占 40%,而地表覆盖较好的草地与林地氮素主要随径流迁移,而居民点 80% 以上的氮素通过径流迁移。

不同土地利用地类氮素迁移形式(途径)的差异受其产流、产沙特点所控制,裸地、坡耕地水土流失严重,土壤侵蚀强度可达 3 860 ~ 5 645 t/(km<sup>2</sup> · a),而植被覆盖良好的草地、林地侵蚀量远低于耕地和裸地<sup>[14]</sup>,而居民点地表硬化,水分难以入渗,径流系数大,因此,裸地、坡耕地氮素主要通过泥沙迁移,而林草地、居民点主要通过径流迁移。

表 1 不同利用类型坡地氮素流失量(kg/hm<sup>2</sup>)  
Table 1 Nitrogen loss from slope land under different land use

编号	土地利用	2002			2003			2004			平均		
		径流	泥沙	总量	径流	泥沙	总量	径流	泥沙	总量	径流	泥沙	总量
1	裸地	2.0	52.83	4.78	1.03	2.24	3.27	2.08	2.31	4.39	1.72	2.46	3.18
2	耕地	4.53	6.16	10.69	4.11	4.27	8.38	4.63	6.55	11.18	4.42	5.66	10.08
3	纯柏林	3.56	2.15	5.61	1.92	1.41	3.33	2.75	2.12	4.87	2.75	1.89	4.64
4	草地	2.51	1.73	4.24	1.90	1.49	3.39	2.80	2.48	5.28	2.40	1.90	4.30
5	居民点	19.0	5.97	24.97	16.2	2.57	18.77	26.3	4.29	30.59	20.5	4.28	24.78

2.1.2 小流域氮素迁移负荷

通过不同土地利用类型氮素流失量的测定,结合小流域相应土地利用地类面积,估算出小流域氮素迁移负荷(图 3),小流域氮素年均迁移负荷为 287 kg,其中坡耕地、居民点和林地氮素负荷各为 150.4 kg、73.84 kg、61.85 kg,分别占各地类总负荷的 52.4%、25.7%、21.5%,是小流域非点源 N 负荷的主要贡献者。坡耕地近年来氮肥施用量不断增加,已达 363.5 kg/hm<sup>2</sup><sup>[15]</sup>,加之水土流失依然严重,成为紫色土丘陵小流域氮素的主要来源。从迁移途径而言,整个小流域以泥沙迁移的氮占 42.8%,径流迁移的氮占 57.2%。

2.2 小流域地表水氮素分配特征

2.2.1 地表水不同形态 N 素含量

小流域地表水氮素各形态、平均含量及其组成比例见表 2,TN 含量较高,最高达 4.76 mg/L,平均 2.58 mg/L,远超过水体氮素富营养化发生浓度,与太湖、鄱阳湖、巢湖等富营养淡水湖总氮含量不相上下<sup>[16]</sup>。NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 变幅在 0.31 ~ 2.12 mg/L 之间,平均浓度为 1.14 mg/L,硝态氮在氮素组成中所占比例最高,是地表水氮素存在的主要形式;另外氨态氮、颗粒态氮也是地表水氮素存在的主要形式之一,表明紫色土人为活动强烈,颗粒态氮所占比例较高反映了土壤侵蚀较为严重,而氨态氮以较高比例存在是畜禽粪便、生活废水污染的重要特征;小流域地表水 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 浓度较低,低于总氮的 2%。

2.2.2 地表水氮素分配的季节特征

小流域地表水氮素四种主要存在形态 TN、NN、PN、AN 的季节变化特征见图 4 和图 5。TN 浓度较高,均在 0.5 mg/L 以上,总体雨季偏高,具有明显的季节波动趋势(图 4 a)。而 NN 含量变化范围 0.18 ~ 3.15 mg/L,平均值 1.30mg/L,雨季(6 ~ 9 月)含量偏高,谷底高于坡顶(图 4 b),表明硝酸盐随径流迁移,且可能随径流在小流域呈叠加态势。

小流域地表水颗粒态的分配特点如图 5 a。地表水中 PN 范围在 0.01 ~ 1.86 mg/L,平均 0.41 mg/L,雨季(6 ~ 9 月)偏高,而且位置较高的测点含量更高,低洼地带的测点颗粒态氮浓度低,可见颗粒态氮随泥沙迁

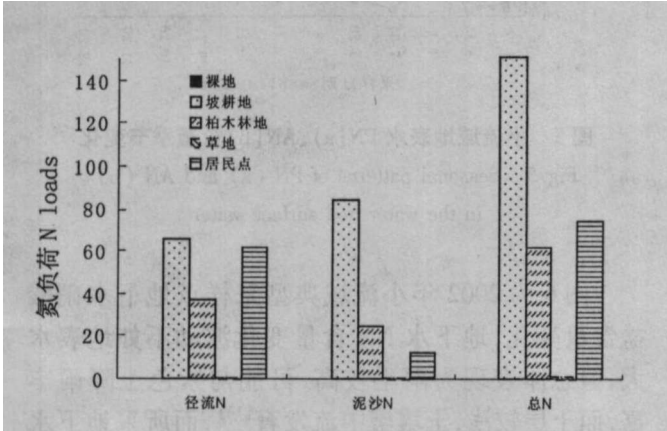


图 3 小流域氮素迁移负荷  
Fig. 3 Nitrogen loads in a typical watershed

移而且在紫色土丘陵小流域中经过沉淀、蓄存、拦蓄。 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  浓度随时间变化明显(图 5 b),在 0.40 mg/L 左右波动,雨季偏高,平均浓度为 0.36 mg/L。

2.3 小流域地下水氮素形态与含量特征

表 3 列出观测小流域地下水氮素主要形态及其平均含量,紫色丘陵区地下水氮素存在的主要形态为硝态氮(NN)、氨态氮(AN)和亚硝态氮(SNN)。小流域地下水总 N(TN) 含量在 2.42 ~ 16.99 mg/L 间,平均含量为 10.71 mg/L。地下水中 NN 含量在 1.52 ~ 15.29 mg/L 间,平均为 9.39 mg/L。 $\text{NO}_3^- - \text{N}$  占总 N 含量的比例在 62.81 % ~ 97.60 % 间,表明地下水中 N 素存在形式以硝酸盐为主。而地下水中  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  和  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  含量很低。其中, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量仅占总 N 的 8 % 以下,而  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  更低,所占比例在 0.01 % ~ 1.0 % 间(表 3)。而本地区 55% 的地下水 NN 超过 WHO 饮用水标准,摄入过量的硝酸盐在人体内经过厌氧反应可转化成亚硝酸盐,亚硝酸盐是致癌物质,川中丘陵区是我国食道癌高发区,可能与其地下水硝酸盐含量较高有关。

表 2 地表水氮素形态、平均浓度 (mg/L) 及比例 (%) (2002 ~ 2004 年)

Table 2 Nitrogen forms, average contents and ratios in the watershed surface water

编号	采样地点	TN	NN	SNN	PN	AN	NN	SNN	PN	AN
1	群英池	0.92	0.31	0.013	0.19	0.39	33.7%	1.4%	20.7%	42.4%
2	站内蓄水池	1.73	0.96	0.018	0.36	0.38	55.5%	1.0%	20.8%	22.0%
3	站边蓄水池	4.76	1.53	0.081	1.46	0.58	32.1%	1.7%	31.0%	12.2%
4	苏家湾	3.60	2.12	0.062	0.53	0.52	58.9%	1.7%	14.7%	14.4%
5	出口堰塘	2.27	0.85	0.028	0.33	0.43	37.4%	1.2%	14.5%	18.9%
6	小流域出口	2.17	1.05	0.028	0.31	0.52	48.4%	1.3%	14.3%	24.0%

表 3 地下水氮素主要形态、含量 (mg/L) 及其占总 N 的比例 (%)

Table 1 Groundwater nitrogen forms, contents and ratios in the watershed

井编号	TN	NN		AN		SNN	
		含量	比例	含量	比例	含量	比例
1	13.14	11.16	84.93	0.15	1.14	0.007	0.05
2	11.33	9.9	87.38	0.16	1.41	0.003	0.03
3	11.66	10.08	86.45	0.17	1.46	0.012	0.10
4	9.21	7.41	80.46	0.19	2.06	0.003	0.03
5	15.36	13.67	89.00	0.16	1.04	0.026	0.17
6	16.99	15.29	89.99	0.25	1.47	0.003	0.02
7	12.74	11.83	92.86	0.18	1.41	0.012	0.09
8	10.29	8.99	87.37	0.19	1.85	0.011	0.11
9	2.97	2.02	68.01	0.23	7.74	0.03	11.04
10	11.69	11.41	97.60	0.23	1.97	0.023	0.20

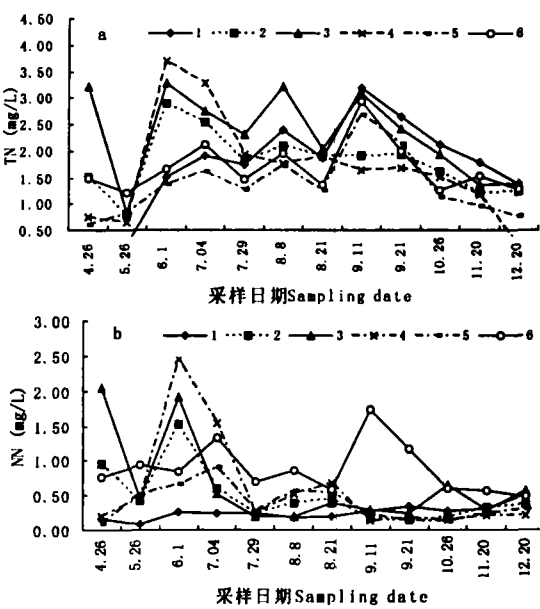


图 4 小流域地表水 TN(a)、NN(b) 含量季节变化  
Fig. 4 Seasonal patterns of TN (a) and NN (b) in the watershed surface water

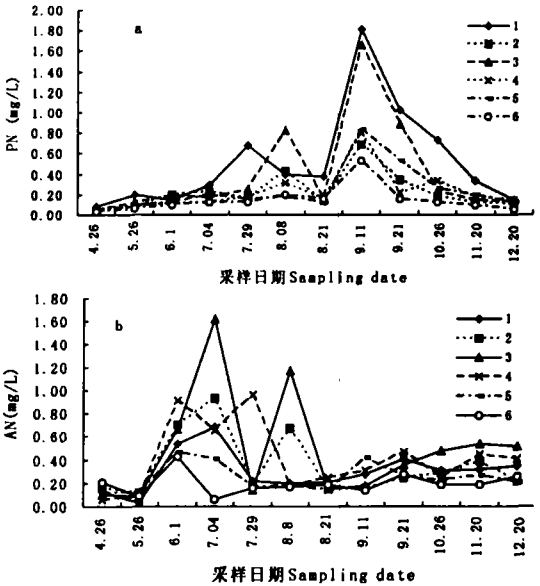


图 5 小流域地表水 PN(a)、AN(b) 含量季节变化  
Fig. 5 Seasonal patterns of PN (a) and AN (b) in the watershed surface water

图 6 为 2002 年小流域典型采样点地下水硝酸盐含量变化,地下水 NN 含量变化波动不如地表水大,但总体表现为雨季较高,可能与紫色土降雨丰富,而土层较浅,土壤壤中流发育<sup>[17]</sup>,而所采地下水均为浅层地下水,壤中流是浅层地下水的主要补给水源,紫色土中累积的硝酸盐经淋溶通过壤中流携带汇入地下水,造成其硝酸盐含量偏高。

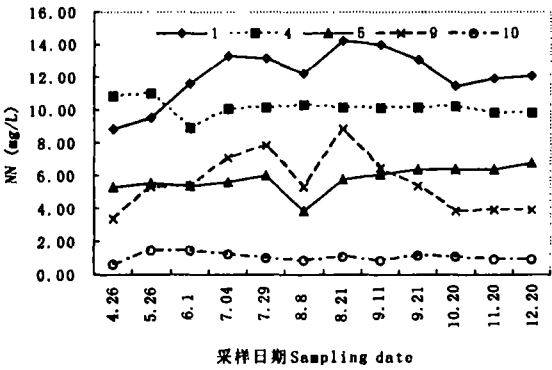


图6 小流域地下水 NN 含量季节变化

Fig. 6 Seasonal patterns of NN in the watershed groundwater

2.4 小流域出口处氮素含量特征

小流域出口处氮素含量分布季节特征见图7。小流域出口处氮素形态全年主要以溶解态为主,特别是以硝酸盐的形式迁移,小流域出口处硝态氮含量平均达到 $1.2 \pm 0.3 \text{ mg/kg}$ ;而颗粒态(PN)并非主要迁移形态,仅为 $0.36 \pm 0.08 \text{ mg/kg}$ ,PN 仅高于AN。小流域坡地或沟道以上的侵蚀区氮素迁移以颗粒态为主,而到小流域出口处,氮素迁移则以溶解态,特别是硝态氮为主。可见小流域氮素迁移已表现出明显的尺度效应,PN 在小流域各部位特别在自然排水沟渠的坑塘、堰、水稻田经过沉淀、拦蓄,到小流域出口已降低,而NN易溶于水,不易被泥沙颗粒所吸附,可随径流长程迁移,致使小流域出口氮素形态已硝酸盐为主。紫色土小流域氮素的这种迁移特点可能造成非点源氮的长程迁移,导致非点源污染的异地效应,也可能是长江干流溶解性无机氮偏高的重要原因。

3 结论

1. 居民点、坡耕地氮素流失量高,3 a 平均为

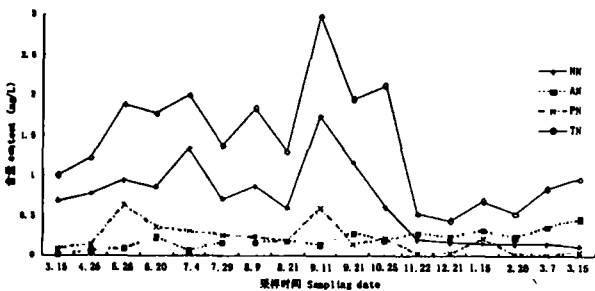


图7 小流域出口处氮素含量的季节变化

Fig. 7 Seasonal patterns of nitrogen at the watershed outlet

$24.78 \text{ kg/hm}^2$ 、 $10.08 \text{ kg/hm}^2$ ,5 种土地利用地类的氮素流失量顺序为:居民点>坡耕地>草地≈林地>裸地。坡耕地、居民点是紫色丘陵区典型小流域非点源氮素的主要贡献者。

2. 小流域地表水氮素含量较高,TN 平均  $2.58 \text{ mg/L}$ ,已远超过水体富营养化发生的氮素营养水平,地表水非点源氮污染特征明显;地下水硝态氮含量较高,55% 以上的测点超过 WHO 饮用水标准,地下水硝酸盐污染严重。

3. 小流域氮素随径流、泥沙迁移,雨季偏高。氮素迁移呈现明显的尺度效应,坡地氮素流失以颗粒态为主,小流域氮素迁移以硝态氮为主。颗粒态氮经过紫色丘陵小流域自然径流过程的沉淀、拦蓄,到沟谷低洼地带其含量明显降低,而硝酸盐易溶于水,不易为泥沙所吸附,可随径流长程迁移,这种迁移特点可能导致非点源污染的异地效应。

4. 紫色土丘陵区小流域非点源氮素污染严重,已对地表水、地下水构成巨大压力,长江上游紫色土分布广泛,农业发达,小城镇、村落发展很快,农村面源污染呈加速发展之势,紫色土区的非点源氮污染可能加剧长江上游水体特别是三峡库区富营养化趋势,未来应重视紫色土区的非点源污染的源头控制。

参考文献(References)

[1] Zhu Z L, Wen Q X. Nitrogen in Soils of China [M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press. 1994. 37 ~ 59 [朱兆良,文启孝. 中国土壤氮素[M]. 南京:江苏科学技术出版社,1994. 37 ~ 59]  
[2] Giles, J. Nitrogen study fertilizes fears of pollution[J]. Nature, 2005, 433: 791  
[3] Zhu Z. L., Chen D. L. Nitrogen fertilizer use in China-Contribution to food production, impacts on the environment and best management strategies[J]. Nutrient Cycling in Agro-ecosystems. 2002, 63(2-3): 117 ~ 127  
[4] Shen Shanmin. Contribution of nitrogen fertilizers to the development of agriculture and its loss[J]. Acta Pedologica Sinica, 2002, 19 (suppl.): 12 ~ 25 [沈善敏. 氮肥在中国农业发展中的贡献和农业中氮的损失[J]. 土壤学报, 2002, 19(增刊): 12 ~ 25]  
[5] Lin Bao. Prospectives of status and requirements of chemical fertilizer utilization in China [A]. In: Symposiums on fertilizer strategy in Chinese agricultural development[C]. Beijing, 1995. 12 ~ 16 [林葆. 中国化肥的使用现状与需求展望[A]. 见: 中国农业发展中肥料战略研讨会[C]. 北京, 1995. 12 ~ 16]  
[6] Li Zhongming, et al. Purple Soils in China (1) [M]. Beijing: Science Press, 1991. 1 ~ 11 [李仲明,等. 中国紫色土(上篇)[M]. 北京:科学出版社,1991. 1 ~ 11]  
[7] Zhu B, Chen S, You X, et al. Soil fertility restoration on degraded upland of purple soil [J]. Acta Pedologica Sinica, 2002, 39(5):

- 743 ~ 749 [朱波, 陈实, 游祥, 等. 紫色土退化旱地的肥力恢复与重建[J]. 土壤学报, 2002, 39(5): 743 ~ 749]
- [8] Zhang X C, Shao M A. Soil N loss by erosion as affected by vegetation cover and comprehensive managements in Zhifanggou catchment of Hilly Loess Plateau [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(5): 617 ~ 626 [张兴昌, 邵明安. 黄土丘陵区小流域土壤氮素流失规律[J]. 地理学报, 2000, 55(5): 617 ~ 626]
- [9] Zhang X C, Shao M A, Huang Z B. An experimental research on soil erosion and nitrogen loss under different vegetation cover [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(6): 1038 ~ 1044 [张兴昌, 邵明安, 黄占斌. 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]
- [10] Wang X X, Zhang T L, Zhang. Nutrient cycling and balance of sloping upland ecosystem on red soil [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(1): 335 ~ 341 [王兴祥, 张桃林, 张斌. 红壤旱坡地农田生态系统养分循环和平衡[J]. 生态学报, 1999, 19(1): 335 ~ 341]
- [11] Huang L, Ding S W, Dong Z, et al. Study on nutrient losses of purple soil in Three Gorges Reservoir region [J]. *J. of Soil Erosion and Soil and Water Conservation*, 1998, 4(1): 8 ~ 13 [黄丽, 丁树文, 董舟, 等. 三峡库区紫色土养分流失的试验研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(1): 8 ~ 13]
- [12] Fu T, Ni J P, Wei C F, et al. Research on the nutrient loss from purple soil under different rainfall intensities and slopes [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Sciences*, 2003, 9(1): 71 ~ 74. [傅涛, 倪九派, 魏朝富, 等. 2003. 不同雨强和坡度条件下紫色土养分流失规律研究[J]. 植物营养与肥料学报. 2003, 9(1): 71 ~ 74]
- [13] Xie X Q, Wang L J. Standard methods on observation and analysis in the Chinese Ecosystem Research Network—Observation and analysis on water environment [M]. Beijing: China Standard Press, 1998. 104 ~ 279 [谢贤群, 王立军. 中国生态系统研究网络观测与分析标准方法——水环境要素观测与分析[M]. 北京: 中国标准出版社, 1998. 104 ~ 279]
- [14] Zhu B, Peng K, Gao MR, et al. Land use change and effects on eco-environment in hilly area of central Sichuan Basin [J]. *J. of Mountain Science*, 2001, 19(Suppl.): 14 ~ 19 [朱波, 彭奎, 高美容, 等. 川中丘陵区土地利用变化的生态环境效应[J]. 山地学报, 2001, 19(增刊): 14 ~ 19]
- [15] Zhu B, Peng K, Xie H M. Nitrogen balance of agro-ecosystem in a typical watershed in the hilly area of central Sichuan Basin [J]. *Chinese Journal of Eco-agriculture*, 2006, 14(1): 108 ~ 111 [朱波, 彭奎, 谢红梅. 川中丘陵区典型小流域农田生态系统氮素收支[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(1): 108 ~ 111]
- [16] Jin X C. Control and Management Techniques on Lake Eutrophication [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2001. 1 ~ 6 [金相灿. 湖泊富营养化控制与管理技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001. 1 ~ 6]
- [17] Zhang X B, Zhu B, Zhang J H, et al. Underground plastic sheet wall—a new water saving agricultural technique [J]. *Journal of Mountain Science*, 1999, 17(2): 115 ~ 118 [张信宝, 朱波, 张建辉, 等. 地下膜截水墙——一种新的农业节水技术[J]. 山地学报, 1999, 17(2): 115 ~ 118]

## Non-point-source Nitrogen Movement and Its Environmental Effects in a Small Watershed in Hilly Area of Purple Soil

ZHU Bo, WANG Tao, XU Taiping, KUANG Fuhong, LUO Zhuanxi, GAO Yang

(Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China)

**Abstract:** A typical small watershed in hilly area of purple soil in the central Sichuan Basin was selected for monitoring of nitrogen movement. Continuous orientation-observations had been conducted from 2002 through 2004 to monitor nitrogen distribution in runoff, sediment, surface and ground water. Furthermore, we could know nitrogen forms and loads in different moving passes so as to find out characteristics of non-point-source nitrogen pollution and impacts on water environment. Results showed, nitrogen loads from slope cropland and residence accounted for 52.4% and 25.7% of total nitrogen loads in the watershed, indicated slope cropland, residence were main contributors for non-point-source nitrogen in the watershed. Total nitrogen of surface water in this watershed averaged to 2.58 mg/L showed obvious eutrophication. Nitrate nitrogen of the ground water reached to 10.55 mg/L averagely which could not be used as drinking water based on WHO threshold (10.0 mg/L). Scale effects of monitoring showed evidently resulted in contents of nitrogen forms especially particulate and nitrate nitrogen changed a lot from runoff plots to outlet of the watershed.

Our research suggests that non-point-source nitrogen pollution is very serious in the hilly area of purple soil and brings to great pressure to local water environment. However, non-point-source nitrogen maybe imposes to water environment of Yangtze River and Three Gorges Reservoir through long distance travel of soluble nitrate.

**Key words:** Non-point-source nitrogen pollution; purple soil; watershed