川中丘陵区小流域非点源氮素迁移的季节特征
——以中国科学院盐亭紫色土农业生态试验站小流域为例

况福虹[1,2] ,朱 波[1] ,徐泰平[1,2] , 汪 涛[1,2] ,武永峰[1,3]
(1. 中国科学院成都山地灾害与环境研究所 ,成都 610041 ;
2. 中国科学院研究生院 ,北京 100039 ;3. 西南农业大学资源与环境学院 ,重庆 400716)

摘 要:通过分析川中丘陵区典型小流域主排水沟不同部位氮素浓度随季节变化的特征 ,结果表明 NO_3^- - N 和 NH_4^+ - N 浓度随季节变化特征明显 ,但浓度变化波动大。NH_4^+ - N 浓度春季最高 ,达到 2. 11 mg/ L ,NO_3^- - N 浓度秋季最高 ,达到 7. 12 mg/ L ,与总氮浓度有显著相关关系。TON 浓度随季节变化特征不明显 ,受人类活动影响大 ,TN 浓度随季节变化波动较小 ,从上游到出口处经过河流自净作用能明显降低。

关键词:小流域 ;氮 ;非点源污染
中图分类号:S181 ;S153. 61 **文献标识码**:A **文章编号**:1005-3409(2006)05-0093-03

Seasonal Variation of Non-point Source Nitrogen Movement in Small Watershed in the Hilly Area of the Central Sichuan Basin
——A Case Study in the Watershed of Yanting Agro-ecological Experimental Station of Purple Soil ,CAS

KUANG Fu-hong[1,2] , ZHU Bo[1] ,XU Tai-ping[1,2] ,WANG Tao[1,2] ,WU Yong-feng[1,3]
(1. *Chengdu Institute of Mountain Hazards and Environment , Chinese Academy of Sciences , Chengdu* 610041 , *China;*
2. *Graduate School of Chinese Academy of Sciences , Beijing* 100039 , *China;*
3. *College of Resources and Environment , Southwest Agricultural University , Chongqing* 400716 , *China*)

Abstract :Seasonal variation and movement of nitrogen in different location of main drain were analysed in a typital small watershed in the hilly area of the central Sichuan Basin. Results showed that the concentration of NO_3^- - N and NH_4^+ - N varied with season change ,but it was fluctuated greatly. Concentration of NH_4^+ - N was the highest in spring which was 2. 11 mg/ L. Concentration of NO_3^- - N was the highest in autumn which was 7. 12mg/ L and it was correlated significantly with TN. Variation was not obvious and TON was influenced by human beings. Concentration of TN was relatively stable and could be diluted naturally by self-refine.

Key words :small watershed ;nitrogen ;non-point source pollution

非点源污染是水环境的重要污染源[1] ,也成为威胁饮用水的主要原因 ,其中以湖泊、水库的水质富营养化以及流域水质恶化问题尤为突出。由于非点源污染多随径流发生 ,越来越多研究选取流域作为研究单位 ,这对于解决当今水危机尤其是水质恶化有重要意义[2] 。地处长江上游核心地带的川中紫色土丘陵区是四川盆地的传统农业区 ,长期以来水土流失、耕作制度和肥料管理措施不当造成非点源污染日益严重[3,4] ,不仅造成当地土地退化 ,水环境质量下降 ,而且对长江流域生态系统的可持续发展带来较大压力。加之人多地少 ,垦殖率高 ,更加速了该地区非点源污染发生的频率和强度。川中丘陵区的小流域是该区域的基本地形地貌单元 ,本研究选取典型小流域 ,于 2003～2004 年开展不同形态氮素含量的连续监测 ,初步了解该地区非点源氮素(包括生活污水和农田非点源污染) 迁移的季节特征 ,以确定该区非点源氮素污染特点 ,评价小流域的水环境特征 ,为川中丘陵区环境保护提供科学依据。

1 研究方法与内容

1.1 试验区概况

试验小流域为中国科学院盐亭紫色土农业生态试验站小流域 ,位于四川盆地中北部的盐亭县林山乡截留村 ,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、瑞江的分水岭上 ,海拔 400～600 m ,面积约 0. 35 km²[4] 。该区地形为中深丘 ,因水平砂泥岩互层形成多级梯地 ,沟谷切割较深 ,冲沟发育 ,相对高差 10～200 m ,谷底宽 50～150 m ,两侧山坡较陡 ,平均坡比 1 ∶3～1 ∶10。土地利

* **收稿日期**:2005-11-01
基金项目:中国科学院野外台站基金知识和创新工程项目(KZCX2 - 413) ;四川省青年科技基金资助
作者简介:况福虹(1981 -) ,女 ,四川攀枝花人 ,硕士 ,从事农业生态、环境保护等研究。

用以农地为主,其中旱地比重大;有林地和草地稀少;荒地较多。该区具有四川盆地典型的亚热带湿润季风气候特征,多年平均降雨量 826 mm,且分布不均,春季占 5.9 %,夏季占 65.5 %,秋季占 19.7 %,冬季占 8.9 %,汛期暴涨暴落,四周支沟属雨水补给性溪流。区内土壤为钙质紫色土,质地为中壤,农作物以玉米、小麦、油菜、水稻、甘薯为主。该小流域的农业耕作与管理、农业结构与农村生态环境能很好地代表川中丘陵地区。

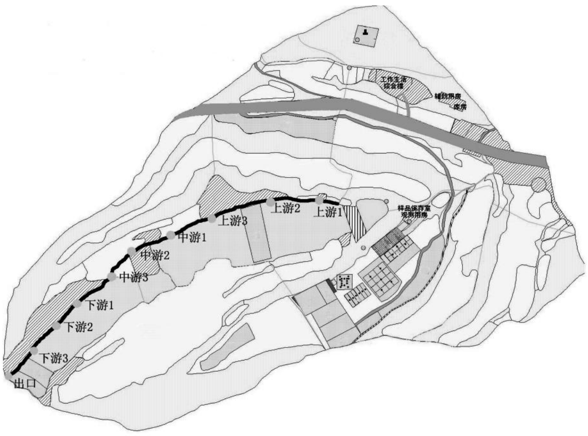

图 1　小流域采样点分布图

1.2　试验设计与方法

主要监测所选小流域主排水沟内氮素及其形态的季节变化特征。主排水沟西北侧主要是当地农户住宅,东南侧主要是两季田、冬水田以及少量旱地,沟内旱季以生活污水为主,雨季除生活污水外还有大量田面水、坡面径流和雨水汇入。本试验在主排水沟上游、中游、下游、出口处(出口截留堰)分别设置采样点(见图 1),每月采常规样一次(枯水期无水点不采),雨季每月除常规样外,雨后(降雨量 > 30 mm,包括累积降雨量)加采一次。

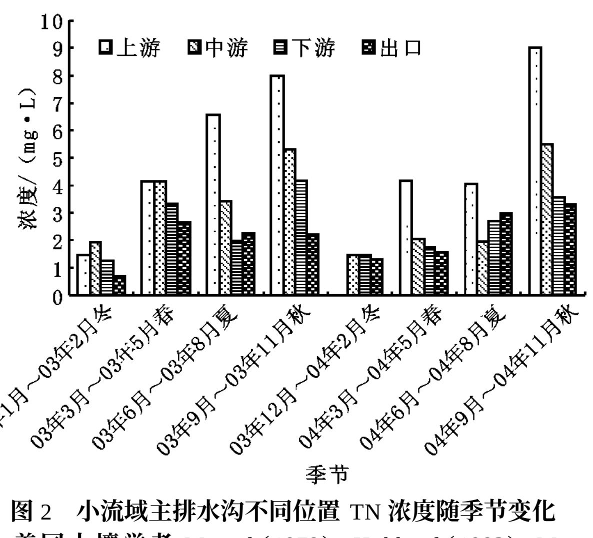

图 2　小流域主排水沟不同位置 TN 浓度随季节变化

美国土壤学者 Menzel (1978)、Hubbard (1983)、Mcdowell (1984) 等在研究美国几个大区域土壤侵蚀时发现地表径流中有 8 %～80 %的氮以溶解态流失[6],图 2、图 3 可见主排水沟各采样点 DN 浓度占 TN 比例较高,主排水沟内氮素主要以溶解态流失,且 DN 的浓度在主排水沟上游最高,往下游有逐渐减少的趋势。

2.1.2　主排水沟不同部位 $NO_3^- - N$ 的迁移特征

$NO_3^- - N$ 和 $NH_4^+ - N$ 是氮素在水体中存在的主要形式,其含量占到 TN 的 95 %以上[3]。图 4 表明小流域主排水

每次采样 0.5 L,采样后立即加入 5～6 滴浓硫酸并放入 4 ℃冰箱保存。室内实验分析主要包括硝态氮,铵态氮,可溶性氮,总氮和总有机氮。硝态氮($NO_3^- - N$)采用紫外分光光度法测定;铵态氮($NH_4^+ - N$)采用钠氏试剂比色法测定;可溶性氮(DN)和总氮(TN)采用碱性过硫酸钾消解 - 紫外分光光度法测定;总有机氮(TON)通过计算得到,公式为:

$$TON = TN - [(NO_3^- - N) + (NH_4^+ - N) + (NO_2^- - N)]。$$

2　结果分析

2.1　主排水沟不同部位氮素随季节变化的迁移特征

2.1.1　主排水沟不同部位 TN 和 DN 的迁移特征

表 1　2003～2004 年盐亭站不同季节降雨总量

季节	降雨总量/ mm
03 年 1 月～03 年 2 月冬	3.9
03 年 3 月～03 年 5 月春	225.5
03 年 6 月～03 年 8 月夏	407.3
03 年 9 月～03 年 11 月秋	172.5
03 年 12 月～04 年 2 月冬	42.4
04 年 3 月～04 年 5 月春	184.9
04 年 6 月～04 年 8 月夏	426.2
04 年 9 月～04 年 11 月秋	208.8

表 1 可见监测期内试验小流域降雨主要集中在夏季,冬季雨量很少。图 2 表明主排水沟各采样点的 TN 浓度随季节变化明显,冬季雨量少,各采样点浓度均很低(注:03 年 12 月～04 年 2 月冬主排水沟上游无水,所有指标均未测定,下同),03 年 01 月～03 年 02 月冬出口处浓度仅为 0.68 mg/L,秋季浓度普遍较高,04 年 09 月～04 年 11 月秋上游达到 9.00 mg/L,并且各个季节上游 TN 浓度均高于其他采样点,这可能与上游居民点集中,人类活动频繁有关。夏季降雨量大但各采样点 TN 浓度在秋季达到较大的值,可能是由于夏季降雨充足,一方面加强冲刷和淋洗,一方面也稀释了污染物,秋季雨量骤减,TN 浓度逐渐上升。

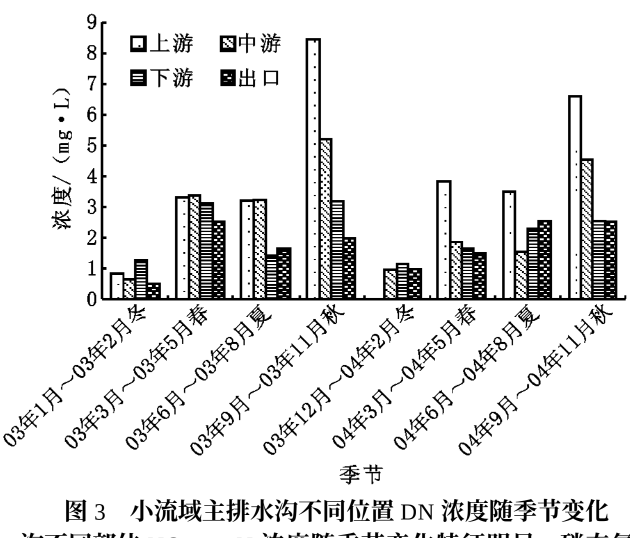

图 3　小流域主排水沟不同位置 DN 浓度随季节变化

沟不同部位 $NO_3^- - N$ 浓度随季节变化特征明显。硝态氮浓度随季节变化的总体趋势是冬季浓度较低,03 年 1 月～03 年 2 月冬上游仅含 0.13 mg/L,开春后逐渐升高,秋季浓度较高,04 年 9 月～04 年 11 月秋上游达到 7.12 mg/L。表 1 显示降雨集中在夏季,而 $NO_3^- - N$ 浓度较高值出现相对滞后,可能是由于夏季虽排放的 $NO_3^- - N$ 污染总量大,但由于雨水充足,径流量大,使得单位体积水体总的 $NO_3^- - N$ 浓度反而较小,入秋后降雨量急剧减少,但田面水仍有部分排放,且 $NO_3^- - N$ 带负电荷,不易被土壤胶体吸附,随径流

流失,使整个主排水沟 NO_3^- - N 浓度较高值滞后出现。

2.1.3　主排水沟不同部位 NH_4^+ - N 的迁移特征

图 5 显示主排水沟中 NH_4^+ - N 浓度随季节变化呈现出一定规律。由于 NH_4^+ - N 排放主要来源于生活污水和厩肥[7],由冬入春,降雨量逐渐增加,将地表和农户院中冬季积累的大量 NH_4^+ - N 冲刷淋洗进主排水沟,因此主排水沟上游、中游、下游的 NH_4^+ - N 浓度均在春季最高,2003 年春分别达到 2.01 mg/L、2.11 mg/L、1.16 mg/L,04 年春分别达到 1.15 mg/L、0.84 mg/L、0.66 mg/L,出口处 NH_4^+ - N 浓度在夏季达到最大,可能是由于 5 月底 6 月初降雨量急剧增加,小春作物收割后施用碳酸氢铵,肥料随径流流失并汇集到出口处,致使 NH_4^+ - N 浓度达到较高值。出口处 NH_4^+ - N 浓度在其他季节变幅较小,仅在 0.37 ±0.11 mg/L 的范围波动,可能是由于 NH_4^+ 离子易被土壤胶体吸附,在不断的吸附解吸过程中 NH_4^+ - N 总量变化不大。

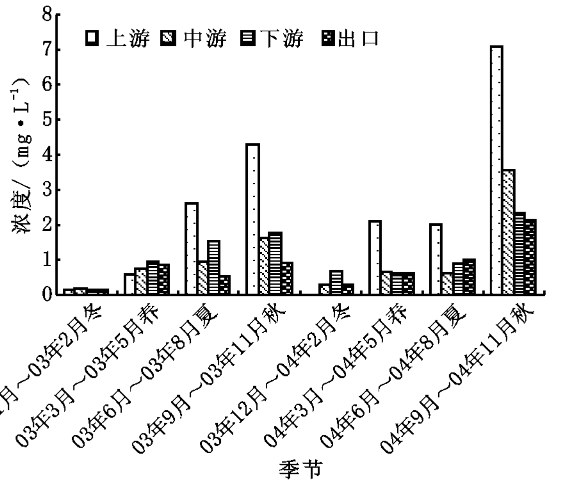

图 4　小流域主排水沟不同位置 NO_3^- - N 浓度随季节变化

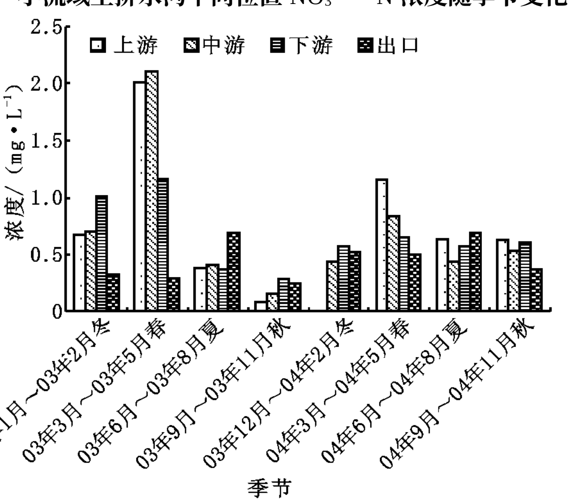

图 5　小流域主排水沟不同位置 NH_4^+ - N 浓度随季节变化

2.1.4　主排水沟不同部位 TON 的迁移特征

图 6 表明主排水沟 TON 浓度随季节变化的规律不十分明显,上游在观测期内 TON 浓度夏季较高,分别达到 3.35 mg/L 和 1.27 mg/L;中游 TON 浓度在 2003 年秋季较高,达到 2.80 mg/L,2004 年虽然在夏季浓度较高,但与 2004 年其他季节浓度相近;主排水沟下游 TON 浓度表现在 2003 年秋季和 2004 年夏季较高,冬季很低;出口截留堰 TON 浓度 2003 年春季和 2004 年夏季达到较高值,分别是 1.36 mg/L 和 1.16 mg/L。TON 浓度变化随季节变化规律不明显可能与主排水沟不同位置土地利用方式不同有关,且受人类活动影响很大。

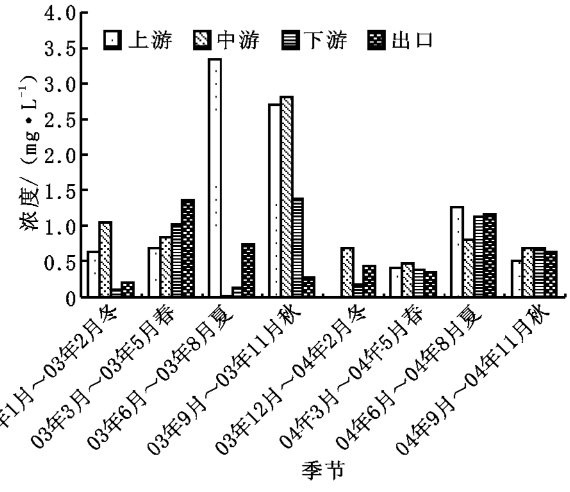

图 6　小流域主排水沟不同位置 TON 浓度随季节变化

2.2　氮素在主排水沟同一部位的形态变化特征

表 2　不同形态氮素在上游的浓度变化

	浓度变化 /(mg·L⁻¹)	占 TN 的百分比/%	与 TN 的相关系数	与 DN 的相关系数
NO_3^- - N	2.69 ±2.38	49.8	0.924**	0.808*
NH_4^+ - N	0.79 ±0.63	14.7	——	——
DN	4.17 ±2.38	77.3	0.902**	——
TON	1.36 ±1.18	25.2	——	——
TN	5.40 ±2.71	——	——	——

注:——表示相关性不显著或同一指标不同。

2.2.1　氮素在主排水沟上游的形态变化特征

表 2 可见主排水沟上游流失的氮素以可溶性氮为主,其中又以 NO_3^- - N 含量最多,平均占 TN 的 49.8%,与总氮含量有极显著的相关关系。NH_4^+ - N 含量相对较小,占 TN 的 14.7%,可能是由于主排水沟上游除居民点外多为旱地,氨挥发较强烈,转化成的硝态氮又易随径流流失。NO_3^- - N 和 NH_4^+ - N 的标准离均差和均值接近,说明 NO_3^- - N 和 NH_4^+ - N 浓度波动大,可能由于铵态氮和硝态氮在一定条件下能够相互转化而出现这种此消彼长的情况。上游居民点较集中,TON 浓度较高,且标准离均差接近平均值,说明 TON 浓度波动较大,受人类活动影响大。

表 3　不同形态氮素在中游的浓度变化

	浓度变化 /(mg·L⁻¹)	占 TN 的百分比/%	与 TN 的相关系数	与 DN 的相关系数
NO_3^- - N	1.06 ±1.10	32.7	0.796*	0.771*
NH_4^+ - N	0.69 ±0.59	21.5	——	——
DN	2.62 ±1.68	81.1	0.955**	——
TON	0.85 ±0.85	26.2	——	——
TN	3.23 ±1.62	——	——	——

2.2.2　氮素在主排水沟中游的形态变化特征

表 3 显示主排水沟中游流失的氮素以可溶性氮为主,NO_3^- - N 占 TN 的比例有所降低,但仍呈现显著相关的关系,NH_4^+ - N 占 TN 的比例有所升高,主要是由于中游是居民点集中,畜禽养殖较多,其排放的粪便产生大量 NH_4^+ - N。同时 NO_3^- - N 和 NH_4^+ - N 的平均浓度较上游低,说明降雨既有淋洗冲刷的作用,也有稀释污染物的作用,NO_3^- - N 和 NH_4^+ - N 的标准离均差仍接近均值,说明 NO_3^- - N 和 NH_4^+ - N 浓度变化在主排水沟中游仍不稳定。

(下转第 98 页)

基础上,建立“滦河治理基金管理组织”。采取向国家争取,向企业政策性提取、利用土地转化、加大财政投入、义务投工、投劳等措施,广集资金、财力、物力。建立长期的非赢利性施工队伍或公司,坚持不懈地作好滦河的综合治理工作。

5 结 语

从水的角度考虑,滦河是迁安的母亲河,是迁安人繁衍、生息、发展的摇蓝;从经济社会发展的角度分析,钢铁及相关企业是迁安的支柱产业,是迁安社会经济发展的重要依托。做为迁安人,它可以选择或放弃一种产业,但却绝对放弃不了滦河。迁安通过钢铁及相关企业的发展,提升了在全国、全省的经济地位和知名度。毫不夸张地说,如果没有80年代中期以来钢铁及相关产业的迅速发展,迁安就不可能有现在这样的地位。

在社会发展经济攀升与生态环境的矛盾中,我们应该采取“两利相权取其重,两害相权取其轻”的作法。既不能以牺牲生态环境为代价,专一地追求经济发展,也不能因为生态环境的要求,放弃经济发展、推动社会进步。

水土保持和环境治理是一项德政工程。迁安市只有在经济发展、社会进步和生态环境治理这个既矛盾又统一的界面上,选准突破口和切入点,在人力、物力、财力的分配上,统筹兼顾,科学规划、协调发展,不偏不废地作好平衡、协调,才能实现经济发展与生态环境的统一和人与自然的和谐相处,只有这样,才是维护生态安全,实现经济、社会可持续发展的战略举措。

搞好滦河迁安段的综合治理,保持水土资源,确保生态安全,增加土地存量,对迁安实现经济可持续发展,具有深远的重要意义。

参考文献:

[1] 水利部滦河水利委员会. 滦河志[M]. 石家庄:河北人民出版社,1994.

[2] 韩兴,王秀茹,郭秀瑞. 滦河迁安段生态防洪工程效益分析[J]. 水土保持研究,2005,12(5):134-137.

[3] 李旭. 内蒙古生态环境恶化对黄河的危害及治理对策[J]. 中国水土保持,2006,(2):12-13.

(上接第95页)

2.2.3 氮素在主排水沟下游的形态变化特征

表4 不同形态氮素在下游的浓度变化

	浓度变化/(mg·L^{-1})	占TN的百分比/%	与TN的相关系数	与DN的相关系数
NO_3^--N	1.10±0.71	43.8	0.747*	—
NH_4^+-N	0.65±0.30	25.9	—	—
DN	2.06±0.83	81.7	0.950**	—
TON	0.62±0.50	24.8	—	—
TN	2.52±1.08	—	—	—

表4可见主排水沟下游流失的氮素仍以可溶性氮为主,占总氮的81.7%,NO_3^--N浓度稍有上升,与总氮含量仍呈显著相关关系,NH_4^+-N浓度稍有降低,但NO_3^--N和NH_4^+-N的标准离均差均值较远,说明二者浓度开始趋于较稳定的状态。TN浓度较上游和中游低,主要是由于被稀释的缘故。下游主要是两季田和冬水田,居民点较上游和中游少,畜禽养殖较少,因而TON浓度较低,且主排水沟下游水量较大,汇水渠道多,可以有效稀释这些污染物。

2.2.4 氮素在截留堰出口处的形态变化特征

表5可见主排水沟截留堰出口处流失的氮素仍以可溶性氮为主,但NO_3^--N和NH_4^+-N浓度继续趋于较稳定的状态,由于截留堰出口处是主排水沟和各处田面汇水的集中出口,流量较大,更能有效稀释各种形态氮素。截留堰出口处TN浓度较前三个采样点更低,平均值仅占上游的39.07%,从上游到出口,虽然氮素迁移的形态及各形态氮素含量不断变化,但TN浓度得到了有效稀释。

表5 不同形态氮素在出口的浓度变化

	浓度变化/(mg·L^{-1})	占TN的百分比/%	与TN的相关系数	与DN的相关系数
NO_3^--N	0.80±0.61	38.1	0.852**	0.771*
NH_4^+-N	0.45±0.18	21.5	—	—
DN	1.75±0.77	83.2	0.962**	—
TON	0.64±0.42	30.4	—	—
TN	2.11±0.89	—	—	—

3 小 结

该小流域主排水沟可溶性氮(主要是NO_3^--N和NH_4^+-N)浓度随季节变化特征明显,NH_4^+-N和NO_3^--N分别在该地区暴雨季节前和暴雨季节后易达到较高值,这两个时间段雨量和水量均较少,污染物从出口排出后容易对下游水体造成污染,因而该地区宜在这两个时间段集中防治农田非点源污染。TON浓度受人为活动干扰较大,NO_3^--N和NH_4^+-N是该地区主排水沟氮素地表迁移的主要形态,也是农田非点源氮污染的主要形态,同其他形态相比,不同采样部位不同季节主排水沟水中NO_3^--N和NH_4^+-N浓度变化是影响TN浓度变化的主导因素,尤其是硝态氮浓度在流域各段与总氮浓度均呈显著相关关系。NO_3^--N、NH_4^+-N和TON浓度变化随季节变化波动大,但TN浓度标准离均差离均值较远,浓度变化波动小,从主排水沟上游向下直到出口TN浓度由于水量增加以及河流的自净作用而稳定减小,可以针对这一特征对其进行有效治理。

参考文献:

[1] 杨爱玲,朱颜明. 地表水环境非点源污染研究[J]. 环境科学进展,1999,7(5):60-67.

[2] 苑韶峰,吕军. 流域农业非点源污染研究概况[J]. 土壤通报,2004,35(4):507-511.

[3] 高美荣,朱波. 紫色土丘陵区典型小流域水体N、P含量及环境特征[J]. 地球科学进展,2004,19 (3):487-490.

[4] 朱波,彭奎,谢红梅. 川中丘陵区典型小流域农业生态系统氮素收支[A]. 见:中国生态系统研究网络科学委员会. 中国生态系统研究网络年度学术交流会论文汇编(养分分册)[C]. 湖南长沙,2004. 141-147.

[5] 黄耀,黄明. 川中丘陵区水土流失综合治理模式[J]. 中国水土保持,1996,(9):55-57.

[6] 卢金伟,李占斌. 土壤侵蚀退化研究进展[J]. 土壤与环境,2001,10(1):72-76.

[7] 钱承梁,鲁如坤. 农田养分再循环研究-粪肥的氨挥发[J]. 土壤,1996,(1):169-174.