

柴河水库流域主要种植类型非点源污染试验研究

杨武志¹, 苏保林¹, 袁军营¹, 周莹², 吕兴娜²

(1. 北京师范大学水科学研究院, 水沙科学教育部重点实验室, 北京 100875;

2. 铁岭市环境保护科学研究院, 辽宁 铁岭 112000)

摘要: 为研究水稻田、玉米地和苗木地三种重要耕作类型的非点源污染产生规律, 分别选取了柴河水库流域内地理位置相近、土壤特性相似的三块试验田进行了非点源污染类型源试验, 分析了不同试验田的产污特征及其影响因素。结果表明, 在相同降雨条件下三种耕作类型试验田的污染物输出特征各不相同; 相同试验田在不同降雨条件下的产污规律也会发生相应变化; 耕作类型、降雨特征和施肥状况都是影响农田非点源污染的重要因子。

关键词: 非点源试验; 农田径流; 次降雨平均浓度(EMC); 柴河水库流域

中图分类号: X502 文献标识码: A 文章编号: 1672-1683(2013)03-0027-04

Experimental Study on Non-point Source Pollution of Main Farmlands in the Chaihe Reservoir Watershed

YANG Wuzhi¹, SU Baolin¹, YUAN Junying¹, ZHOU Ying², LV Xingna²

(1. College of Water Sciences, Key Laboratory for Water and Sediment Sciences of

Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2. Tieling Research Institute of Environmental Sciences, Tieling City, Liaoning 112000, China)

Abstract: In order to investigate the characteristics of non-point source pollution from three kinds of farmlands, including rice field, corn field, and seedlings field, a series of rainfall runoff experiments were conducted in the three experimental fields of the Chaihe Reservoir Watershed with close location and similar soil type. The yield characteristics and impact factors of non-point source pollution from these fields were analyzed using the rainfall and runoff data from the monitoring rainfall events. The results showed that the event mean concentrations (EMCs) of different land use fields vary under the same rainfall conditions, and the EMCs of the same land use field can also be quite different under different rainfall conditions. Land use type, precipitation characteristics, and fertilizer application play important roles in affecting the non-point source pollution.

Key words: non-point source experiment; agricultural runoff; event mean concentrations (EMCs); Chaihe Reservoir Watershed

随着点源污染逐渐得到重视和控制, 非点源污染已逐渐成为影响河流和湖泊水环境质量的重要污染源^[1-3]。发达国家对非点源污染的研究开始于20世纪60年代, 经过大量的试验和长期的研究已积累了丰富的实测资料, 对非点源污染产生的机理有了较深入的认识^[4-5]。我国对非点源污染的研究开始于20世纪70年代^[6], 且多借鉴于国外的经验和方法^[7-8]。由于地理状况、耕作方式等条件与北美地区存在较大的差异, 有必要在充分的试验和研究基础上, 了解我国北方地区非点源污染产生规律, 对国外先进经验和方法作改进和吸收, 使之与我国国情相适应。

本文选取了柴河水库流域内水稻田、玉米地和苗木地等三块不同耕作类型的试验田进行降雨径流类型源试验, 拟分

析不同试验田的产污特征及其影响因素, 揭示了三种耕作类型的非点源污染产生规律。

1 研究区域概况

柴河水库位于辽宁省铁岭市, 是辽河中游左侧支流柴河上的一座多年调节大型水利枢纽工程。该水库为饮用水源水库, 总库容6.36亿m³, 控制面积1355 km², 流域多年平均降水量737 mm。水库流域内主要土壤类型为棕壤, 地形多山坡地, 农业种植用地1.6万hm², 其中旱地面积约8000 hm², 水田面积4700多hm², 苗木花卉种植面积1400多hm²。流域内主要农业种植类型为粮食作物、油料作物及林木, 包括水稻、大豆、玉米等。区域内大型工业企业较少, 主

收稿日期: 2012-11-21 修回日期: 2013-02-25 网络出版时间: 2013-05-18

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20130518.1016.011.html>

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07526-005); 中央高校基本科研业务费专项

作者简介: 杨武志(1987-), 男, 广东梅州人, 硕士研究生, 主要从事非点源污染方面研究。E-mail: imwuzhiyang@163.com

通讯作者: 苏保林(1965-), 男, 云南安宁人, 副教授, 博士, 从事环境系统分析、非点源污染研究。E-mail: subl@bnu.edu.cn

要污染源为农村生活、畜禽养殖和农田非点源污染。

2 数据与方法

2.1 研究方案

根据地理位置相近、土壤特性相似、种植作物单一和降雨径流出口唯一等原则选择了库区上游靠山镇柴河林场附近三块农田为类型源小区。区内主要种植类型为水稻、玉米和苗木,田块面积分别为 0 133 hm²、0 037 hm² 和 0 133 hm²。水稻田蓄水开始时间是 2010 年 6 月 8 日,插秧时间是 6 月 9 日,同日进行第一次施肥,追肥两次,施肥种类为复合肥和碳铵。玉米地在 4 月 20 日播种,第一次施肥时间为 6 月 3 日,追肥一次,施肥种类为复合肥和碳铵。苗木地中种植苗木为红瑞和水蜡,为二年生,2010 年未施肥。

2010 年完成三种试验田均有产流的降雨径流观测 6 次,观测场次降雨特征见表 1。现场进行流量测量和水样样品采集,水样采集后 24 h 内送实验室进行分析测试。

2.2 分析方法

产流量采用巴歇尔槽明渠流量计测量,通过自动记录装置记录通过流量计的流量。流量计水平安装在试验田块唯一的排水出口处,且流量计底部高程与试验田排水出口最低处起平,并保持流量计出口通畅不会产生壅水,以保证试验田块降雨径流流出量可通过测量巴氏槽喉口处的水深并通过水深与流量的相关关系换算得到。由于水稻田有蓄水,流量计安装的最低出水口选在试验水稻田最低田埂高度处,该高度由实际耕作者在日常的田间管理中自然形成,在安装流量计时不做人为的改变,以反映自然的产流规律。水质分析项目包括 SS、总氮(TN)、总磷(TP)、COD_{Cr}、BOD₅ 等五项,其中,TN 和 TP 采用过硫酸钾氧化紫外分光光度法测定,COD_{Cr}采用重铬酸钾法测定,SS 采用重量法测定,BOD₅ 采用标准稀释测定法^[9]。

表 1 研究区降雨特征

Table 1 Rainfall characteristics in the study area

降雨场次	降雨时间	降雨历时/h	降雨量/mm	平均降雨强度/(mm·h ⁻¹)
1	2010/7/19	6.58	28.8	4.38
2	2010/7/20	6.08	10.4	1.71
3	2010/7/26	7.33	30.7	4.19
4	2010/8/5	5.00	57.8	11.56
5	2010/8/8	2.33	22.4	9.60
6	2010/8/19	1.33	56.4	42.41

3 结果与分析

2010 年完成了 6 场完整的降雨径流过程观测,获得了较为充分的水量水质分析数据。现以三种试验田水量水质输出过程均较完整的 8 月 5 日实测数据为例,分析柴河水库流域不同类型源区的径流污染特征。

3.1 降雨径流特征

如图 1 所示,不同种植类型的试验田中径流过程存在较大的差异。从产流时间上看,苗木地和玉米地较早产流,水稻田由于受田埂蓄水的影响,降雨初期不产流,田面水蓄满

后才开始产流,产流时间远远落后于苗木地和玉米地。从产流总量上看,水稻田水量峰值明显滞后,且产流量低于玉米地和苗木地;玉米地和苗木地水量起涨过程基本一致,但是苗木地产流量小于玉米地。

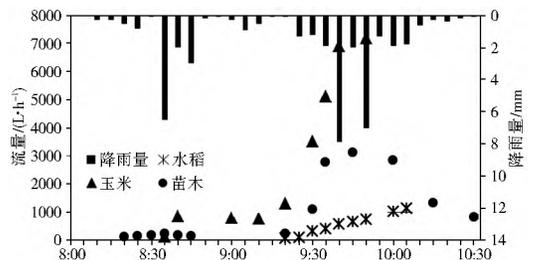


图 1 2010 年 8 月 5 日三种试验田降雨径流过程

Fig. 1 Rainfall-runoff processes in the three experimental fields on August 5th, 2010

3.2 污染物输出特征

图 2-图 4 为试验测得 8 月 5 日三块试验田总氮、总磷和 COD_{Cr} 的浓度过程。由图 2 可知,三块试验田污染负荷中总氮的浓度随着时间的变化均有逐渐减小的趋势,说明随着总氮的流失,表层土壤或田面水中含氮量逐渐减小,排放量总氮浓度逐渐降低。此外,三块试验田中产流前期水稻田排水的总氮浓度较高,玉米地和苗木地总氮浓度相当。

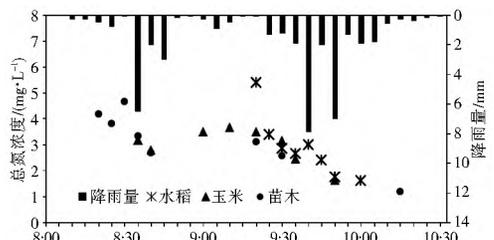


图 2 2010 年 8 月 5 日三种试验田总氮输出过程

Fig. 2 Exporting processes of TN in the three experimental fields on August 5th, 2010

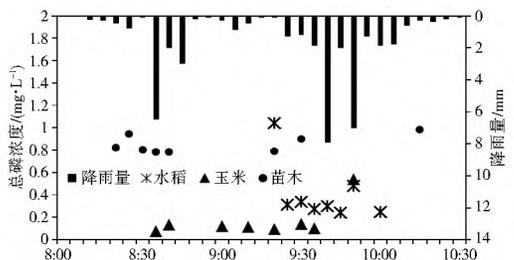


图 3 2010 年 8 月 5 日三种试验田总磷输出过程

Fig. 3 Exporting processes of TP in the three experimental fields on August 5th, 2010

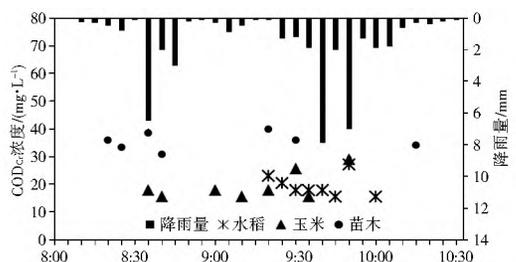


图 4 2010 年 8 月 5 日三种试验田 COD_{Cr} 输出过程

Fig. 4 Exporting processes of COD_{Cr} in the three experimental fields on August 5th, 2010

相比总氮输出过程,图3中三块试验田总磷的输出浓度较为稳定,产流前后期没有太大变化。这主要是因为土壤中的磷主要是以吸附态的形式存在,随泥沙等悬浮颗粒流失,受前期径流淋溶、迁移和稀释的作用较小。不同种植类型试验田中,苗木地总磷浓度最高,其次是水稻田,玉米地最小。

如图4所示,COD_{Cr}的输出过程与总磷相似,产流前后期COD_{Cr}浓度没有太大变化,同样是受悬浮颗粒影响较大的原因造成的。各试验田中,苗木地的COD_{Cr}浓度最高,水稻田和玉米地的COD_{Cr}输出浓度较接近。

3.3 次降雨平均浓度

把不同场次降雨量按12h降雨量方法^[10]划分为不同的雨量等级,并用次降雨平均浓度EMC(Event Mean Concentrations)^[11]表征各场次径流水质污染程度,其中EMC计算表达式为:

$$EMC = \frac{M}{V} = \frac{\sum C_i Q_i}{\sum Q_i}$$

式中:M为径流全过程某一污染物的总量;V为径流全过程某一污染物的径流总体积;C_i为随径流时间变化的某污染物浓度;Q_i为随径流时间变化的径流流量。

不同雨型条件下各耕作类型试验田的EMC值计算结果见表2,其中包括3场暴雨,2场大雨和1场中雨。

表2 不同雨型条件下试验田EMC值
Table 2 EMCs of the three experimental fields under different rainfall conditions

耕作类型	雨型	Q (L·h ⁻¹)	EMC值/(mg·L ⁻¹)				
			SS	总氮	总磷	COD _{Cr}	BOD
水稻田	暴雨	1698.26	535.77	2.96	0.23	19.00	3.92
	大雨	582.61	202.88	2.61	0.12	10.75	1.48
	中雨	1000.00	0.00	0.18	0.03	10.60	1.08
	均值	1093.62	246.22	1.92	0.13	13.45	2.16
玉米地	暴雨	5794.01	508.73	4.42	0.24	18.07	4.66
	大雨	1012.86	393.14	12.05	0.16	24.55	7.22
	中雨	133.40	365.42	14.77	0.14	45.20	13.73
	均值	2313.42	422.43	10.41	0.18	29.27	8.54
苗木地	暴雨	949.48	1173.77	3.29	0.80	22.73	2.96
	大雨	524.03	1151.66	4.66	0.99	45.55	10.44
	中雨	491.83	1144.19	6.14	0.85	39.40	17.10
	均值	655.11	1156.54	4.69	0.88	35.89	10.17

对比三种类型试验田EMC平均值可知,在相同降雨条件下玉米地的平均流量最大,其次是水稻田,苗木地最小;但是SS浓度值最大的试验田类型为苗木地,其次是玉米地,水稻田最小。与之相应,易溶于水的氮素输出平均浓度最大的为玉米地,其次是苗木地,水稻田最小;而径流污染中总磷、COD_{Cr}和BOD浓度最大的耕作类型为苗木地,其次是玉米地和水稻田,与SS输出规律相同。

在不同降雨条件下,不同种植类型试验田EMC值产生规律各不相同。

水稻田产流量和SS浓度随雨强的大小变化较大,暴雨情景下流量、SS浓度值和总氮、总磷、COD_{Cr}浓度值均远大于大雨情景。其中,唯一一场中雨产生于7月20日下午,离上一场大雨较近,田面水已蓄满,受前期雨量影响,中雨情景下

水稻田产流量大,但是SS浓度为0,总氮和总磷浓度均较小。

玉米地产流量和SS浓度值随雨强的大小统一发生较大的变化,但是总氮、COD_{Cr}和BOD₅平均浓度值却与雨强大小成反比。说明虽然雨强增大产生的地表冲刷作用增强,但是污染负荷受水量稀释作用更显著,EMC值反而降低;

苗木地产流量随雨强的增大而增大,SS和总磷的输出受雨强和流量的影响均很小,EMC值变化较小。总氮、COD_{Cr}和BOD的输出与玉米地类似,受径流量稀释作用显著,EMC随着雨强和径流量的增大而减小。

3.4 非点源污染产生的影响因素

(1) 耕作类型的影响。上述分析结果表明,在相同降雨条件下,不同的耕作类型非点源污染输出过程存在较大的差别。一方面,不同的植被类型可能导致不同的水量截留、滞蓄和土壤侵蚀作用。如相对于玉米,红瑞、水蜡等苗木对水量的滞蓄作用较大,产流量小;另一方面,作物不同的耕作方法也可能影响非点源污染的产生规律。如水稻大部分生长期处于蓄水状态,产流受田埂出水口和田面水高差控制,产流晚,持续时间短,但次降雨浓度输出过程较为均匀,与玉米地和苗木地产流产污过程存在较大差异。因此,耕作类型是影响非点源污染产生的重要因素。

(2) 降雨特征的影响。同一种耕作类型的试验田在不同的降雨条件下非点源污染的产生规律也存在较大的差异。研究中随着降雨量和雨强的增加,三种试验田的产流量、SS和总磷浓度均增大,但是总氮、COD_{Cr}和BOD₅等污染负荷受水量的稀释作用显著,其EMC值与雨强大小成反比。

此外,由于水稻田产流特征受出水口和田面水高差控制,前期雨量较大时可能使得田面水蓄满,导致产流提前,污染负荷增大。因此,前期雨量对其非点源污染产生过程的影响较大。

(3) 施肥的影响。化肥和农药的使用,是农田径流污染的源强输入。在生长和耕作条件类似的玉米地和苗木地中,玉米地产生总氮的EMC远大于苗木地,与玉米地有施肥而苗木地未添加肥料的实际情况相符合。说明施肥量会对非点源污染的输出产生影响。

同时,虽然受田面水降解影响,水稻田总氮的EMC值较小,但是图2中8月5日场次降雨中水稻田产生的总氮浓度大于玉米地和苗木地,这主要是稻田7月下旬追肥,田面水中含氮量较高的缘故。说明施肥与发生降雨的时间间隔也是影响农田非点源污染产生的重要因子。

4 结论

通过水稻田、玉米地和苗木地三种不同耕作类型非点源污染产生规律的分析,得出如下结论。

(1) 次降雨径流过程中,水量中水稻田产流时间和流量峰值明显滞后于苗木地和玉米地;产流初期总氮的浓度较大,后期浓度逐渐减小;总磷和COD_{Cr}的输出过程受悬浮颗粒影响较大,产流前后期浓度没有太大变化。

(2) 在相同降雨条件下次降雨平均浓度中,玉米地输出总氮浓度最大,其次是苗木地和水稻田;而SS、总磷、COD_{Cr}和BOD的EMC值最大的耕作类型为苗木地,其次是玉米

地,水稻田最小。

(3) 在不同降雨条件下,水稻田产流量和各污染物 *EMC* 值随雨强的大小变化一致;玉米地产流量和 *SS* 浓度值随雨强的大小统一发生较大的变化,但是总氮、*COD_{Cr}* 和 *BOD₅* 平均浓度值却与雨强大小成反比;苗木地产流量随雨强的增大而增大,*SS* 和总磷的输出受雨强和流量的影响均很小,*EMC* 值变化较小,总氮、*COD_{Cr}* 和 *BOD₅* 的 *EMC* 值与玉米地类似,受径流量稀释作用显著,随着雨强和径流量的增大而减小。

(4) 由于不同的作物特性和耕作方式,耕作类型对非点源污染产生影响较大,降雨特征会通过雨强、雨量和降雨时间间隔影响非点源污染的产生,而施肥作为源强输入,其施肥总量、施肥与发生降雨的时间间隔也是影响非点源污染产生的重要因素。

参考文献(References):

- [1] Lee S. NonPoint source pollution[J]. Fisheries, 1979(2): 50-52.
- [2] Epa. Nonpoint Source Pollution: The Nation's Largest Water Quality Problem[Z]. 2011: 2012.
- [3] 黄国如,姚锡良,胡海英. 农业非点源污染负荷核算方法研究[J]. 水电能源科学, 2011, 29(11): 28-32. (HUANG Guorū, YAO Xiliang, HU Haiying. Research on Methods of Agricultural Nonpoint Source Pollution Load Calculation[J]. Water Resources and Power, 2011, 29(11): 28-32. (in Chinese))
- [4] Kronvang B., Graebøll P., et al. Diffuse nutrient losses in Denmark[J]. Water Science and Technology, 1996, 33(4): 81-88.
- [5] Boers P. Nutrient Emission from Agriculture in the Netherlands: Causes and Remedies[J]. Water Science And Technology, 1996, 33(45): 183-189.
- [6] 鲍全盛,王华东. 我国水环境非点源污染研究与展望[J]. 地理科学, 1996, 16(1): 66-72. (BAO Quar sheng, WANG Hurdong. The Research and Prospect on Nonpoint Source Pollution of Water Environment in China[J]. Scientia Geographica Sinica, 1996, 16(1): 66-72. (in Chinese))
- [7] Ongley E D, Zhang X L, Yu T. Current Status of Agricultural and Rural Nonpoint Source Pollution Assessment in China[J]. Environmental Pollution, 2010, 158(5): 1159-1168.
- [8] 于涛,孟伟, Ongley Edwin, 等. 我国非点源负荷研究中的问题探讨[J]. 环境科学学报, 2008, 28(3): 401-407. (YU Tao, MENG Wei, Ongley Edwin, et al. Problems and Recommendations for Nonpoint Source Pollution Identification in China[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2008, 28(3): 401-407. (in Chinese))
- [9] 国家环保总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法(4版)[M]. 北京: 环境科学出版社, 2002. (Ministry of Environmental Protection, Water and Wastewater Monitoring and Analysis Methods Editorial board. Water and Wastewater Monitoring and Analysis Methods(Version 4)[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2002. (in Chinese))
- [10] 詹道江,叶守泽. 工程水文学(3版)[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007. (ZHAN Daojiang, YE Shouze. Hydrologic Engineering(Third edition)[M]. Beijing: China WaterPower Press, 2007. (in Chinese))
- [11] 李贺,张秋菊,李田. 屋面径流污染物的出流类型与水质特性研究[J]. 中国给水排水, 2009, 25(9): 90-93. (LI He, ZHANG Qiurju, LI Tian. Study on Outflow Types of Pollutants in Roof Runoff and Quality Characteristics[J]. China Water & Wastewater, 2009, 25(9): 90-93. (in Chinese))

· 书讯 ·

《邢台百泉生态系统恢复研究与探索》新书内容介绍

由张登杰、乔光建等主编的《邢台百泉生态系统恢复研究与探索》一书,已由河北科学技术出版社出版发行。该书收集了近年来邢台市水文系统科技工作者对恢复百泉生态系统的研究成果。邢台市邱文双副市长为该书作序,并指出:该书的出版发行,为邢台百泉的恢复和治理提供了科学依据,对促进和加快邢台市生态环境的改善将发挥重要作用。

《邢台百泉生态系统恢复研究与探索》一书,从不同方面、不同角度,以大量的资料,翔实地记载了邢台百泉演变过程、治理措施和方法,全书分为邢台百泉生态系统恢复研究、邢台百泉生态系统水环境评价、百泉流域水土保持治理措施研究、邢台市区水环境治理措施、百泉流域雨水利用技术研究等五部分内容。该书科学地分析了邢台百泉恢复的科学性和可行性,为邢台市水环境改善提供了科学依据。

本书可作为水生态恢复、城市生态治理与规划、流域恢复与保护等方面的科技工作者参考用书,也可供高等院校、科研机构的相关专业技术人员阅读使用。