

自然降雨条件下农田地表径流氮素流失特征研究

李英俊¹, 王克勤¹, 宋维峰¹, 郭圣浩¹, 李太兴², 李云蛟³

(1. 西南林学院 环境科学与工程系, 昆明 650224; 2. 云南省玉溪市水利局, 云南 玉溪 653100;
3. 云南省澄江县水利局, 云南 澄江 653102)

摘要:为探讨自然降雨条件下, 农田地表径流及氮素的流失特征, 以澄江尖山河流域典型坡地为研究对象, 采用标准径流小区和微型试验小区的研究方法, 对农田地表径流及径流中氮素流失进行了分析研究。结果表明: 降雨量和降雨强度是产生地表径流的主要原因, 雨季应做好坡地的保护工作; 地表径流中氮素流失的最高浓度可达到 30.72 mg/L; 农田地表径流中可溶态氮素的流失形态主要为硝态氮和铵态氮, 硝态氮流失浓度约占全氮的 4%~28%, 而铵态氮流失浓度约占全氮的 1%~8%; 地表径流中氮素累积流失负荷在 0.45~1.18 kg/hm², 而流失系数仅为 0.10%~0.12%。

关键词:自然降雨; 地表径流; 氮素流失

中图分类号: S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)04-0019-05

Nitrogen Loss in the Farmland Surface Runoff under the Natural Rainfall Conditions

LI Ying-jun¹, WANG Ke-qin¹, SONG Wei-feng¹, GUO Sheng-hao¹, LI Tai-xing², LI Yun-jiao³

(1. Department of Environmental Sciences & Engineering, Southwest Forestry College, Kunming 650224, China;
2. Yuxi Municipal Hydrological Bureau, Yuxi, yunnan 653100; 3. Chengjiang County Hydrological Bureau, Chengjiang, yunnan 653102, China)

Abstract: In the present study, we studied the characteristics of nitrogen loss in the slope farmland surface runoff under the natural rainfall conditions through the standard runoff plots and micro-plot methods in the Jianshan River Basin in Chengjiang county. The results showed that the quantity and intensity of rainfall were the main factors causing surface runoff. Therefore, some precaution measures should be done in rainy seasons. The maximum nitrogen concentration in surface runoff reached to 30.72 mg/L. Nitrate-nitrogen occupied 4%~28% of total nitrogen loss, whereas ammonia-nitrogen accounts only 1%~8% of total nitrogen loss. In conclusion, the accumulative total nitrogen loss in surface runoff was 0.45~1.18 kg/hm², and the loss coefficient was only 0.1%~0.12%.

Key words: natural rainfall; surface runoff; nitrogen loss

农业面源污染是导致水质污染及恶化的主要原因之一。而降雨造成的地表径流带走了农田中颗粒态和水溶态的养分, 不仅降低了土壤肥力和化肥的利用率, 而且会造成水体的富营养化, 引起水质恶化问题^[1-2]。因此, 研究降雨径流中氮素养分的流失规律, 对协调农业生产与水环境保护问题具有重要意义。关于农田生态系统中氮素等养分随地表径流向水体的迁移输送已引起了广泛的重视。国内外关于农业面源 N 污染对水环境的影响研究多集中在地表水体的富营养化^[3-4], 讨论接纳水体的环境容量, 应用模型研究面源

N 污染负荷也有一些报道^[5]。农田面源污染过程中, 影响面源污染程度的有两个方面: 降雨径流过程和径流对氮素的载运能力。降雨过程中, 径流过程曲线以及不同时段所携带氮素流失量的变化特征可以很好反映降雨对农田周围的地下水或湖泊水等造成的面源污染程度。以尖山河小流域为研究对象, 于 2008 年 6—9 月雨季期间对研究区降雨地表径流进行定点监测, 探讨在自然降雨条件下, 农田地表径流泥沙的输出规律及氮素的流失特征, 以期减轻尖山河的水污染负荷, 保护澄江抚仙湖的水质提供参考。

收稿日期: 2010-03-18

资助项目: 国家自然科学基金项目(30660037); 云南省自然科学基金项目(2006D0041M); 云南省科技计划项目(2006SG20); 西南林学院水土保持重点学科

作者简介: 李英俊(1982—), 男, 陕西岐山人, 硕士研究生, 研究方向: 流域治理。E-mail: liyingjun524@163.com

通信作者: 宋维峰(1967—), 男, 甘肃会宁人, 教授, 博士, 主要从事生态环境工程和森林水文等研究工作。E-mail: songwf85@126.com

1 研究区概况

研究区澄江县尖山河小流域,地处云南省玉溪市澄江县西南部,流域总面积 35.42 km²。地理坐标位于北纬 24°32′00″—24°37′38″,东经 102°47′21″—102°52′02″。多年平均降雨量 1 050 mm,雨季为 5 月下旬—10 月上旬,降雨量占全年总降雨量的 75%。多年平均洪峰流量为 36 m³/s,暴雨基本出现在雨季,常出现单点暴雨,如遇特大暴雨时,尖山河下游常遭受洪涝灾害。该流域主要以农业生产为主,农业生产活动所产生的大量污染物质未经处理,降雨时将会在雨水的冲刷作用下随着地表径流排入尖山河中,对尖山河造成严重污染。

2 试验设计与方法

2.1 试验小区设计

试验点地处澄江县尖山河小流域出口附近的大

冲村。选取典型地段在烤烟种植坡地设置水平投影面积 5 m×20 m 的标准径流小区 1 个,小区顺坡设置,小区边界用 24 cm 单砖隔开,小区上方设排水渠,以防上方来水进入小区,小区下方用水泥抹面修筑集流槽,使径流和泥沙通过集流槽汇入集流池,集流池 1 m×1 m×1 m。径流泥沙采用 4 分法观测,3/4 排出径流池外,1/4 在径流池进行径流量算和泥沙取样。

同时在该地块设置 9 个试验小区(1 m×1m),为防止降雨时水分侧向流动,在试验小区四周加设油毡纸边框围埂,底边下端由一塑料管接一个塑料小桶。试验小区呈三组水平排列,分别编号 A 组、B 组、C 组,A 组分别记作 A₁、A₂、A₃,B 组分别记作 B₁、B₂、B₃,C 组分别记作 C₁、C₂、C₃。试验小区均位于坡中下部,坡向为南北向,土壤类型均为红紫壤(土壤理化性质见表 1),平均海拔约为 1 773 m,试验小区内种植烤烟,烤烟品种为 K326。

表 1 农田土壤理化性质

项 目	含水率/ %	容重/ (g·cm ⁻³)	总孔隙度/ %	pH 值	有机质/ %	全氮/ %	水解氮/ (mg·kg ⁻¹)	速效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)
农田坡地	2.71	1.39	52.48	7.69	1.83	0.07	165.3	2394.6	129.9

2.2 施肥方案设计

本试验采用施 N(以 N 计)135 kg/hm²,施 P(以 P 计)67.5 kg/hm²,按每公顷种植 16 500 株,即每株烤烟施 N 量为 8.18 g,施 P 量为 4.09 g。共设 3 个水平(见表 2)。所有肥料在移栽后 25 d 内全部施完。从雨季开始取样,直到雨季结束。降雨产流后取样分析全氮、硝氮和氨氮。

表 2 试验小区施肥方案

小区	水平	面积/ m ²	施 N 量/ g	施 P 量/ g
试验 小区	水平 C(1.0×常量)	1.0	13.50	6.12
	水平 B(1.5×常量)	1.0	20.25	10.13
	水平 A(2.5×常量)	1.0	33.75	16.88

注:A₁、A₂、A₃ 施肥量同水平 A;B₁、B₂、B₃ 施肥量同水平 B;C₁、C₂、C₃ 施肥量同水平 C。

2.3 样品的采集与分析

降雨量采用翻斗式 RG2—M 自记雨量计进行观测,径流量用体积法测定,泥沙含量用置换法测定^[6]。

待试验小区产生地表径流后,在径流收集池中取 1 000 ml 径流样品,4℃ 保存并在 24 h 内测定其中的全氮、硝态氮和氨氮含量。

径流中全氮(参照 GB11894—1989 的碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法),硝态氮(参照 GB7480—87 的酚二磺酸分光光度法),氨氮(参照 GB7479—87 的纳氏试剂比色法)。土壤及泥沙中全氮用凯氏蒸馏法测定。

3 结果与分析

3.1 烤烟种植期间降雨量、降雨强度及产生径流情况

烤烟种植期间降雨量和降雨强度如图 1 所示烤烟生长期间的超过 10 mm 的降雨共有 26 场,总降雨量约为 544.3 mm,占全年降雨量的 58.95%。

降雨强度是影响地表径流和土壤侵蚀的重要因子。随着雨强的增加,雨滴对土壤的击溅能力增加,引起土壤养分流失量增大。降雨强度标准采用我国气象部门的规定:按 12 h 计,小雨≤5 mm,中雨 5~14.9 mm,大雨 15~29.9 mm,暴雨≥30 mm。按照这一标准,本次试验中属于暴雨的有 4 次,大雨 14 次,中雨 8 次。

地表径流是土壤养分输出非常重要的一个因子。降雨冲刷地表,直接导致地表径流的产生,逐渐发展为泥沙流失。本次试验在烤烟种植期间,共收集地表径流 9 次,分别是 6 月 12 日,6 月 27 日,7 月 3 日,7 月 15 日,7 月 20 日,7 月 26 日,8 月 8 日,9 月 4 日,9 月 27 日,其产生径流泥沙情况见表 3。

从表 3 可以看出,在自然降雨条件下地表径流的产生,受降水量、降水强度的影响,导致农田地表径流泥沙的差异,随着降雨强度的增加,产流产沙量也相应地增加。所以,降雨是引起地表径流并造成坡地水土流失的主要原因,在地表径流中夹杂着大量的 N、P 等

营养物质进入水体,对水体造成污染。因此,在强降雨条件下应当做好对坡地的水土保持工作,可采取坡面拦蓄和减少雨季对地表的扰动以减少坡面水土流失

增加坡面入渗。在农田地表中由于农作物的覆盖下,降低了雨强并为入渗赢得时间,分散和滞缓径流,进而防止土壤侵蚀^[7]。

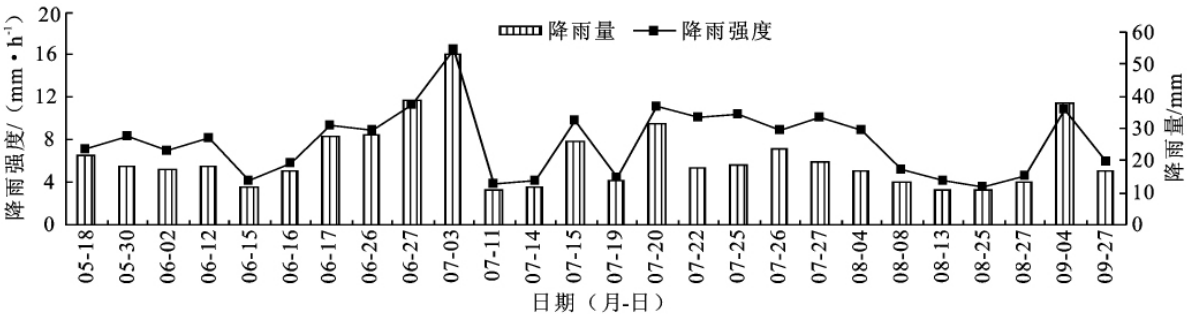


图 1 烤烟种植期间降雨量和降雨强度

表 3 降雨量、降雨强度及产生径流泥沙情况

降雨时间 (年-月-日)	降雨量/ mm	降雨强度/ (mm·h ⁻¹)	雨强类别 (按 12 h 计)	径流量/ mm	泥沙量/ (t·km ⁻²)
2008-06-12	18.4	8.1	大雨	10	92.71
2008-06-27	39.0	11.2	暴雨	168	314.17
2008-07-03	53.2	16.4	暴雨	220	574.86
2008-07-15	26.3	9.7	大雨	136	74.99
2008-07-20	31.5	11.0	暴雨	64	238.21
2008-07-26	23.4	8.9	大雨	34	116.28
2008-08-08	13.2	5.2	中雨	10	31.77
2008-09-04	38.1	10.8	暴雨	50	216.50
2008-09-27	16.6	5.9	中雨	18	27.32

3.2 降雨强度与径流中氮流失浓度分析

对三组 9 个试验小区在降雨产生径流后取样分析,每组试验小区取平均值。结果如下(见图 2、图 3、图 4);在降雨强度相似的情况下,地表径流中总氮、硝态氮的流失浓度随施肥量的增加而增大;在施肥水平相似的条件下地表径流中总氮、硝态氮的浓度变化差异性也较大,产生这一现象的原因主要与降雨强度及降雨历时有较大关系。而铵态氮的流失浓度的变化没有呈现出一定的梯度变化,究其原因可能是由于铵态氮不容易存在地表径流中的原因。因此,在降雨强度相似的情况下,施肥前与施肥后降雨时间的不同是导致地表径流中氮素流失浓度差异的一个重要原因。其中,全氮和硝态氮的流失浓度与降雨强度直接相关。在本次试验所产生的 9 次地表径流中,降雨强度最大的一次发生在 7 月 3 日,降雨强度达到 16.4 mm/h。地表径流中总氮浓度 30.72 mg/L、硝态氮浓度 7.91 mg/L,分别为本次试验的最大值。

3.3 地表径流中氮流失形态分析

地表径流中各形态氮素流失浓度比分析见表 4。在农田地表径流中,氮素的流失大多由于雨水的直接冲刷而引起的,因此泥沙结合态流失的氮素的量是相当可观的,在农田中径流的产生多是由于坡度影响而造成的,加上淋洗、挥发等作用使得农田地表层土壤

本身含氮量偏低,因此径流在农田地表产生径流流出时,氮素的损失由于冲刷等物理侵蚀要强于化学侵蚀。从本试验的结果中也表明,农田中可溶态氮是天然降雨地表径流流失氮素的主要形态,其中硝态氮是农田地表径流中可溶态氮素流失的主要形态,约占全氮的 4%~28%。径流流失中氨态氮流失的浓度较小,仅占全氮的 1%~8%。

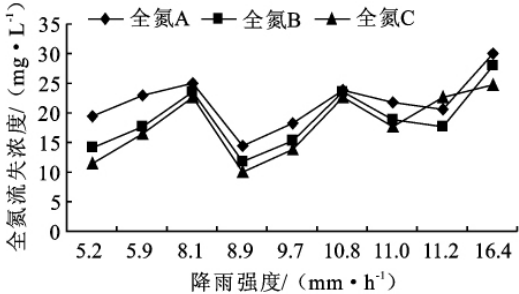


图 2 A、B、C 三组试验小区全氮流失量与雨强之间的关系

3.4 地表径流中氮流失负荷及流失系数分析

9 次自然降雨所产生的地表径流氮素流失负荷状况如图 5 所示。从中可以看出降雨量增大,径流量也相应的增加,农田地表径流中氮素的流失负荷也显著的增加。在这 9 场降雨中形成的暴雨有 4 次,分别是 6 月 27 日 39.0 mm、7 月 3 日 53.2 mm、7 月 20 日 31.5 mm、9 月 4 日 38.1 mm,在这四次暴雨过程中氮素流失负荷有显著的增大趋势,其中 7 月 3 日降雨

量达到最大为 53.2 mm,同时径流量也达到了最大为 22 cm,在施肥量不同的情况下,氮素的流失负荷也呈现出较大的差异,从试验结果来看总氮的流失负荷约为 0.15~0.58 kg/hm²。3 次大雨所引起氮流失负荷有所增加,3 组施氮水平下,全氮的流失负荷约为 0.11~0.32 kg/hm²。2 次中雨所引起的氮流失负荷较小,3 组施氮水平下,全氮的流失负荷仅为 0.1~0.2 kg/hm²。

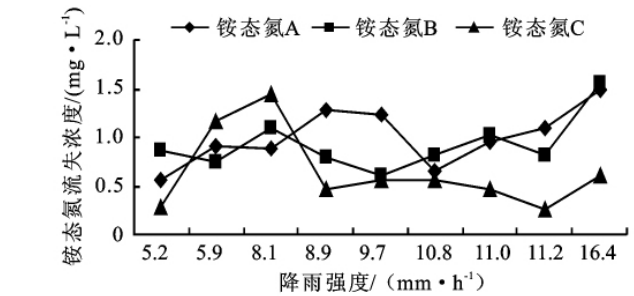


图 4 A、B、C 三组试验小区铵态氮流失量与雨强之间的关系

表 4 地表径流中各形态氮素流失浓度比

产流时期	A	B	C
2008-06-12	0.14(0.03)	0.14(0.05)	0.10(0.07)
2008-06-27	0.20(0.06)	0.23(0.05)	0.17(0.01)
2008-07-03	0.26(0.05)	0.22(0.06)	0.13(0.03)
2008-07-15	0.22(0.06)	0.20(0.03)	0.18(0.03)
2008-07-20	0.18(0.06)	0.19(0.06)	0.17(0.02)
2008-07-26	0.22(0.08)	0.28(0.08)	0.19(0.04)
2008-08-08	0.14(0.04)	0.14(0.06)	0.09(0.02)
2008-09-04	0.12(0.03)	0.08(0.03)	0.04(0.02)
2008-09-27	0.09(0.04)	0.10(0.04)	0.04(0.06)

注:括号外为 NO₃-N/TN;括号内为 NH₄-N/TN。

从表 5 流失系数的数据上看(流失系数=流失负荷/施肥量),9 次降雨事件中 3 组施氮水平的全氮累积流失负荷在 0.45~1.18 kg/hm²,而流失系数仅为 0.10%~0.12%,小于当季施肥量的 1%。这可能与降雨发生时间以及农田土壤本身质地有关。

表 5 降雨径流氮素流失系数

施氮处理/(kg·hm ⁻²)	135	202.5	337.5
流失系数/%	0.11	0.12	0.10

4 结 论

(1)降雨是引起地表径流泥沙的主要原因,同时也促进大量的营养物质进入水体。在较强降雨时应做好对坡地的保护工作,可采取坡面拦蓄和减少雨季对地表的扰动等来减少坡面水土流失,增加坡面入渗。

(2)地表径流中的氮流失随着降雨量、降雨强度及施肥量的增加而增大,在本次试验中农田地表径流

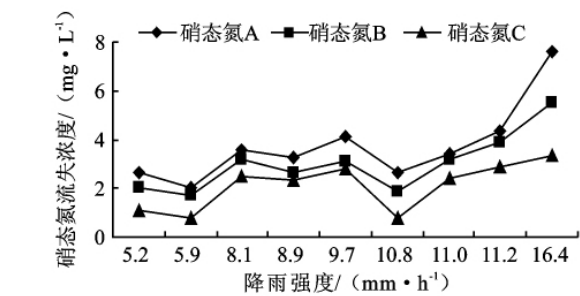


图 3 A、B、C 三组试验小区硝态氮流失量与雨强之间的关系

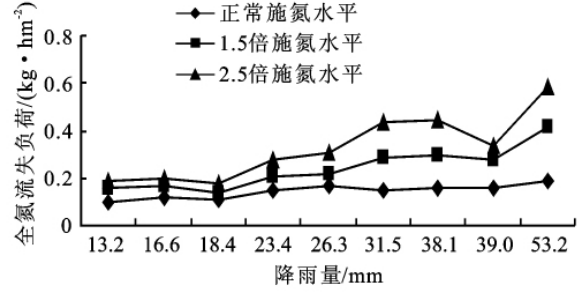


图 5 不同施氮水平下全氮流失负荷

中的氮素流失浓度最大为 30.72 mg/L,超过了 V 类水标准的相关限值,如果对这些地表径流不加以有效的处理直接排入附近的尖山河或抚仙湖,将对尖山河或抚仙湖的水体造成严重污染。

(3)天然降雨条件下地表径流中氮素的流失形态为硝态氮和氨态氮,其中硝态氮是农田地表径流中可溶态氮素的主要流失形态,流失浓度比占到全氮浓度的 4%~28%。而氨态氮的流失浓度较小,流失浓度仅占到全氮浓度的 1%~8%。

(4)农田地表径流中的全氮流失负荷在降雨量和降雨强度的增加下有较为明显的变化,全氮累积流失负荷在 0.45~1.18 kg/hm²,而流失系数仅为 0.10%~0.12%。

参考文献:

[1] Sharpley A N. The environmental impact of agricultural ni-trogen and phosphorus use[J]. J. Agric. Food Chem. , 1987,36:812-817.

[2] 叶闽,杨国胜,张万顺,等. 城市面源污染特性及污染负荷预测模型研究[J]. 环境科学与技术,2006(2):73-75.

[3] 闫俊华,周国逸,申卫军. 用灰色关联法分析森林生态系统植被状况对地表径流系数的影响[J]. 应用与环境生物学报,2000,6(3):197-200.

[4] 宋维峰,王克勤. 面源污染防治研究现状与对策[C]//小流域综合治理与新农村建设论文集. 北京:九州出版社,2008:267-274.

[5] 向治安. 水文测验[M]. 北京:水利水电出版社,1985.

[6] Nkrumah M, Griffith S M, Ahmad N. Lysimeter and field studies on ¹⁵N in a tropical soil. II. Transformation of(NH₂)₂CO-¹⁵N in tropical loam in lysimeter and field

- plots[J]. Plant and Soil, 1989, 114: 13-18.
- [7] 白文忠, 王克勤. 抚仙湖典型小流域烤烟坡地产流产沙及氮磷流失特征[J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(3): 46-51.
- [8] 宋泽芬, 王克勤, 杨云华, 等. 澄江尖山河小流域不同土地利用类型面源污染输出特征[J]. 水土保持学报, 2008, 22(2): 98-101.
- [9] 王克勤, 宋泽芬, 李太兴, 等. 抚仙湖一级支流尖山河小流域的面源污染物贡献特征[J]. 环境科学学报, 2009, 29(6): 1321-1328.
- [10] 司友斌, 王慎强, 陈怀满. 农田氮磷的流失与水体富营养化[J]. 土壤, 2000(4): 188-193.
- [11] 高效江, 胡雪峰, 王少平, 等. 淹水稻田中氮素损失及其对水环境影响的试验研究[J]. 农业环境保护, 2001, 20(4): 196-198.
- [12] 袁东海, 王兆骞, 陈欣, 等. 红壤小流域不同利用方式氮磷流失特征研究[J]. 生态学报, 2003, 23(1): 189-198.
- [13] 李定强, 王继增, 万洪富, 等. 广东省东江流域典型小流域非点源污染物流失规律研究[J]. 水土保持学报, 1998, 12(3): 12-18.
- [14] 刘忠翰, 彭江燕. 化肥氮素在水稻田中迁移与淋失模拟研究[J]. 农村生态环境, 2000, 16(2): 9-13.
- [15] 袁东海, 王兆骞, 陈欣, 等. 红壤小流域不同利用方式氮磷流失特征研究[J]. 生态学报, 2003, 23(1): 189-198.
- [16] 梁新强, 田光明, 李华, 等. 天然降雨条件下水稻田氮磷径流流失特征研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(1): 59-63.
- [17] 郝瑞卿, 孙彦君, 王继红. 自然降雨对黑土地表氮素养分流失的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(5): 59-63.
- [18] 谢云, 刘宝元, 章文波. 侵蚀性降雨标准研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(4): 6-11.
- [19] 魏林宏, 张斌, 程训强. 水文过程对农业小流域氮素迁移的影响[J]. 水利学报, 2007, 38(9): 1145-1150.
- [20] 徐泰平, 朱波, 汪涛, 等. 不同降雨侵蚀力条件下紫色土坡耕地的养分流失[J]. 水土保持研究, 2006, 13(6): 139-144.
- [21] 高扬, 朱波, 王玉宽, 等. 自然和人工模拟降雨条件下紫色土坡地的磷素迁移[J]. 水土保持学报, 2006, 20(5): 34-37.
- [22] 吴希媛, 张丽萍, 张妙仙, 等. 不同雨强下坡地氮流失特征[J]. 生态学报, 2007, 27(11): 4576-4582.

(上接第 18 页)

需采取相关配套措施以期彻底改善区域水土流失状况, 包括修筑梯田、保护退耕还林地防止复耕等, 但根本措施在于发展区域经济, 调整农业生产结构, 减弱贫穷落后区域农民对耕地的过分依赖。此外, 论文只是从水土流失状况角度评价退耕还林对区域水土流失的影响, 有关退耕后水土流失状态是否稳定、区域水土流失的驱动因素及驱动机制等还需要进一步深入探讨。

参考文献:

- [1] 王占礼. 中国土壤侵蚀影响因素及其危害分析[J]. 农业工程学报, 2000, 16(4): 32-36.
- [2] Stednick J D. Monitoring the effect of timber harvest on annual water yield[J]. Hydrology, 1996, 176: 79-95.
- [3] 解培君, 李立新, 陈英智. 牡丹江市水土保持生态环境建设问题浅析[J]. 水土保持情报, 2009(3): 29-31.
- [4] 刘斌, 罗全华, 常文哲, 等. 不同林草植被覆盖度的水土保持效益及适宜植被覆盖度[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(6): 68-73.
- [5] 戚伯华. 调整土地利用结构, 构建“大牡丹江”生态框架[J]. 国土与自然资源, 2009(3): 40-41.
- [6] 刘纪远. 国家资源环境遥感宏观调查与动态监测研究[J]. 遥感学报, 1997, 1(3): 225-230.
- [7] Wischmeier W H. A soil erodibility nomograph farm land and Construction sites[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1971, 26: 189-193.
- [8] Arnoldus H M J. Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet-and rill erosion in Morocco[J]. FAO Soil Bulletin, 1977, 34: 39-51.
- [9] 张宪奎, 许靖华, 卢秀芹, 等. 黑龙江省土壤流失方程的研究[J]. 水土保持通报, 1992, 12(4): 1-10.
- [10] 蔡崇法, 丁树文, 史志华, 等. 应用 USLE 和地理信息系统 IDRISI 预测小流域土壤侵蚀量的研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(2): 19-24.
- [11] McCool D K, Foster G R, Mutchler C K, et al. Revise slope length factor for the universal soil loss equation [J]. Transactions of ASAE, 1989, 32: 1571-1576.
- [12] Liu B Y, Nearing M A, Risse L M. Slope gradient effects on soil loss for steep slopes[J]. Transactions of the ASAE, 1994, 37: 1835-1840.
- [13] 王万忠, 焦菊英. 中国的土壤侵蚀因子定量评价研究[J]. 水土保持通报, 1996, 16(5): 1-20.
- [14] 符素华, 张卫国, 刘宝元. 北京山区小流域土壤侵蚀模型[J]. 水土保持研究, 2001, 8(4): 114-120.
- [15] Moore I D, Wilson J P. Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified method of estimation[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1992, 47: 423-428.
- [16] 黄金良, 洪华生, 张珞平, 等. 基于 GIS 和 USLE 的九龙江流域土壤侵蚀量预测研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(5): 750-79.