

太子河小流域氮素输出特征研究

杜立宇¹, 刘艳茹¹, 董淑萍², 吴岩¹, 梁成华¹

(1. 沈阳农业大学 土地与环境学院, 辽宁 沈阳 110866; 2. 辽宁省农业环境保护监测站, 辽宁 沈阳 110000)

摘要: 通过定点监测,对太子河源头小流域降雨量和河流系统中总氮、硝态氮和亚硝态氮的质量浓度及其变化规律进行了研究。结果表明:(1) 2011 年 5—9 月,太子河小流域降雨量占全年降雨总量的 81.8%,是非点源氮输出的主要时期;(2) 研究时段内,各断面总氮的变化趋势呈波浪式,总氮平均浓度表现为:鸡场>村庄>旱田>林地,与土壤背景值具有一致性;(3) 5 月 7 日至 6 月 10 日,长期干旱后的初期降雨使得旱田、村庄和鸡场断面总氮浓度较雨季期间高,6 月 10 日至 9 月 30 日,随降雨量和降雨次数的增加,浸提作用与稀释作用交互进行,各断面总氮浓度出现先增加后降低的现象;(4) 林地、旱田、村庄和鸡场断面硝态氮和亚硝态氮输出浓度与降雨量呈显著正相关,硝态氮是总氮的主要输出形态,分别占总氮的 69.2%,63.4%,61.4%和 63.8%。植被覆盖虽能有效地减少土壤侵蚀和总氮的流失,却增加了土壤可溶性氮的流失。

关键词: 小流域; 不同土地利用类型; 河流系统; 氮素输出

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)01-0268-05

中图分类号: X522

Characteristics of Nitrogen Output in Taizi River Watershed

DU Li-yu¹, LIU Yan-ru¹, DONG Shu-ping², WU Yan¹, LIANG Cheng-hua¹

(1. *Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110866, China;*

2. Liaoning Provincial Environmental Monitoring Station of Agriculture, Shenyang, Liaoning 110000, China)

Abstract: Rainfall and the concentrations and variations of total nitrogen(TN), nitrate, nitrite and N transformation in the headwater area of Taizi River watershed were studied by filed monitoring. Results showed that: (1) Rainfall from May to September in the watershed accounted for 81.8% of the total annual rainfall, which is the principal period for non-point source nitrogen output. (2) The mean concentration of TN had a waving trend in different monitoring sites. The landuse types, in order of decreasing TN content, were chicken farm, village, dry land and woodland, which was consistent with the soil background value. (3) From May 7th to June 10th, the early rainfall after a long term drought increased the TN content in dry land, village and chicken farm in comparison with rainy season. From June 10th to September 30th, TN content firstly decreased and then increased due to the increases in rainfall amount and frequency. In addition, the interaction of extraction and dilution caused by rainfall also increased the TN content. (4) The concentrations of nitrate and nitrite nitrogen in each site had a significant positive correlation with rainfall amount ($p < 0.05$). Nitrate was the main form of total nitrogen output and accounted for about 69.2%, 63.4%, 61.4% and 63.8% of TN for woodland, dry land, village and chicken farm, respectively. Although vegetation cover had benefits in reducing soil erosion and the loss of TN, it increased the loss of soil soluble nitrogen.

Keywords: small watershed; different landuse types; river system; nitrogen output

目前,面源污染日益严重,其中农业流域输出的氮、磷已经成为淡水生态系统富营养化控制和治理的关键。受土地利用方式、降雨条件、人们活动的影响,面源污染物的流失具有广泛性、不确定性、随机性、隐蔽性和难以监测性。国外学者对小流域内面源污染物氮、磷流失规律^[1]及流失负荷进行了大量的试验研

究^[2-3]。中国学者在三峡库区流域^[4]、长江上游流域^[5]、南方红壤小流域^[6]等地区开展了非点源污染特征研究,结果表明,氮素是导致水体富营养化的重要因素^[7],控制小流域氮素输出成为防止水体富营养化的关键^[8-10]。

观音阁水库是太子河上游以城市和工农业供水,防洪,发电为主的大型综合水利工程,它对解决太子

收稿日期:2013-01-16

修回日期:2013-04-02

资助项目:辽宁省农业厅横向合作项目“辽宁省农业面源污染贡献率研究”(20091202)

作者简介:杜立宇(1974—),女(汉族),辽宁省葫芦岛市人,博士,副教授,从事污染土壤修复与利用研究。E-mail:duliyu74@163.com。

通信作者:梁成华(1958—),男(汉族),辽宁省铁岭市人,博士,教授,主要从事污染土壤修复与利用研究。E-mail:liang110161@sina.com。

河流域内的工农业供水和防洪安全问题起着极为重要的作用,保护好观音阁水库对本溪、辽阳、鞍山市至关重要。1995 年观音阁水库在太子河源头段蓄水,致使库区水流流速变慢,水库富营养化趋势凸显^[11],掌握水库面源污染负荷的来源及特征具有重要的现实意义。目前虽有学者对建库前后营养物质状况进行了分析^[12],但有关上游入库河流的污染状况却鲜有报道。本研究以观音阁水库上游太子河源头河流系统为研究对象,在不同土地类型对应河流处各设置相应监测点,对各监测点氮的质量浓度进行监测。在 5—9 月主要降雨时期通过试验分析不同土地利用类型对应河流系统中氮素的输出特征及形态变化,以期为防止库区及其上游面源污染,预防水体富营养化提供理论依据。

1 研究区概况

试验地点位于辽宁省观音阁水库上游太子河流域源头,大地森林公园至小东沟村,呈狭长的沟谷地形,山高坡陡,仅有一条河流作为所有降雨径流向下游运移的通道,自河流源地起依次贯穿林地、旱田、村庄。鸡场独立存在,位于河流边缘。试验区附近及上游无工厂,仅受自然条件、农业生产和农民生活的影响,因此,可以更好地了解不同土地利用类型及农村日常生活面源污染物的输出特征。

试验区主要地貌特征为山地丘陵,其中山地占 80%。森林资源丰富,森林覆盖率达 81%,流域内的森林为以针叶、阔叶为主的水源涵养林;耕地占 12.5%,主要作物为玉米;水域占 1.8%,主要为河流和水库;其余占 4.7%。属中温带气候区,夏季降水多,冬季降水少,多年平均降雨量 808.6 mm,降雨多集中在 5—9 月,占全年降雨量的 73%。土壤主要为棕壤。采样点概况见表 1。

表 1 采样地点概况

地类	海拔/ m	土壤基本化学性质			
		总氮/ ($g \cdot kg^{-1}$)	速效氮/ ($mg \cdot kg^{-1}$)	总磷/ ($g \cdot kg^{-1}$)	速效磷/ ($mg \cdot kg^{-1}$)
林地	579	1.84	171.52	0.34	3.56
旱田	537	3.09	219.44	0.53	50.74
村庄	517	4.78	392.85	0.45	7.95
鸡场	380	4.37	411.14	1.36	301.78

2 材料与方法

2.1 样品采集与分析

河流样品采集。5—9 月是太子河流域降雨及农业活动的频繁时期,因此选择该时段进行试验。采样

历时 5 个月,分为平时采样和降雨采样。

平时采样。在试验期间每周在各采点采集河水样一次,分析河流系统中氮的变化趋势。

降雨采样。试验区具有一次降雨持续时间短的特点,因此当出现较大降雨时在降雨结束后进行采样,分析降雨条件对河流系统中氮流失的影响。

每次取 1 000 ml 河流样品,硫酸酸化,使 $pH < 2.4$ °C 保存,以供测定总氮、硝态氮、亚硝态氮质量浓度。测定方法按照《水和废水监测分析方法》进行。总氮用过硫酸钾氧化—紫外分光光度法;硝态氮,水样经 $0.45 \mu m$ 滤膜过滤后,用紫外分光光度法测定;亚硝态氮,水样经过 $0.45 \mu m$ 滤膜过滤后, N—(1—萘基)—乙二胺光度法测定。

在小流域内设置一个自计雨量器,记录流域的日降雨量。

2.2 数据处理

采用 Microsoft Excel 2007, SPSS 软件进行图表制作和数据处理分析。

3 结果与讨论

试验地点降雨比较集中,7、8 月是降雨量最多的月份,雨强也较大,暴雨多发生在此时期。试验年度 7 月降雨 137.0 mm,8 月降雨达 275.2 mm,6 月降雨量稍小为 106.7 mm。5—9 月的总降雨量为 598.7 mm,占全年降雨量的 76.4%。

3.1 河流系统总氮输出特征及其影响因素

根据小流域监测期间的植被生长状况、农事活动规律和降雨情况,将监测时段分为 3 个阶段,第 1 阶段(5 月 7 日至 6 月 10 日),植被覆盖度较低,玉米处于苗期,降雨量少;第 2 阶段(6 月 10 日至 8 月 29 日),植被覆盖度高,玉米处于生长中期,暴雨发生时期;第 3 阶段(8 月 29 日至 9 月 30 日),植被覆盖度高,玉米进入成熟期,无明显降雨。采样期间各断面总氮浓度变化如图 1 所示。

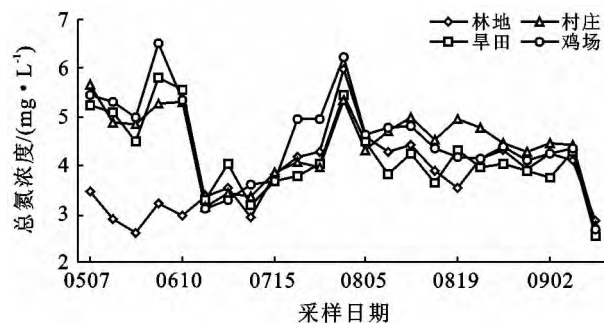


图 1 采样期间不同监测点总氮浓度变化

在第 1 阶段,4 个监测断面总氮浓度大小顺序为 鸡场 > 旱田 > 村庄 > 林地,前 3 个断面总氮分别是林

地断面的 1.81, 1.72 和 1.70 倍。林地断面总氮浓度最低, 是因为林地常年无人为干扰, 地表覆盖层枯枝落叶阻止了雨水对土壤的击溅作用, 减少了氮素的流失, 而且林地土壤背景值也最低。旱田断面总氮浓度较高可能是因为玉米地覆盖度低, 同时, 也正值除草、施药和施肥的主要时期, 土壤疏松, 氮素易随地表径流进入河流系统。村庄断面总氮浓度较高可能因为村庄环境较为复杂, 自留蔬菜地的多次翻耕和大量施肥、散养家禽和大型牲畜排泄的尿液和粪便随意搁置、人类的生产生活的垃圾和污水肆意排放以及完全裸露的道路, 造成大量氮素进入河流系统。鸡场土壤背景值较高, 且裸露在外的鸡粪更易随地表径流进入水体, 致使鸡场断面总氮浓度最高。

第 2 阶段中, 全年温度最高、降雨量最大, 暴雨主要出现在此阶段, 4 个断面的总氮浓度与第 1 阶段明显不同, 表现为: 鸡场 > 村庄 > 林地 > 旱田。鸡场总氮浓度最高, 因为在适宜的温度和湿度条件下鸡粪发酵分解, 可溶性氮增加, 随降雨进入水体。村庄断面的总氮浓度高于林地和旱田断面, 仅次于鸡场断面, 与上一阶段的原因基本相同, 此阶段降雨量增大, 加剧了村庄内氮素向河流系统的输入。旱田覆盖度比林地低, 且旱田土壤较林地土壤疏松, 遇到强降雨时, 易发生水土流失, 污染负荷贡献率高于林地^[13]。但本研究与相关研究的规律并不一致, 这很可能是因为随温度和湿度持续升高, 林地中枯枝落叶加速腐烂分解, 增加了土壤表层氮素含量, 在强降雨的冲刷下进入水体。同时也与研究区域内地貌特征密切相关。林地为主要土地类型, 且位于较陡的山坡上, 在暴雨发生时期, 易发生山体滑坡, 造成水体氮素含量增加。旱田占地面积较小, 位于相对平坦的谷底, 横坡种植, 有效缓解了氮素的流失。同时此时期是植物生长最旺盛时期, 对肥料的需求量大, 土壤中氮含量减少, 因此旱田断面总氮浓度低于林地。

第 3 阶段中, 河流系统中的总氮浓度表现为: 村庄 > 鸡场 > 林地 > 旱田。与前两个阶段相比, 总氮浓度明显降低, 这是因为此时期无明显降雨事件发生, 缺少了氮素流失的动力因素; 植被覆盖度较高, 枝叶和新枯枝落叶层阻止了降雨对地表的冲刷作用; 无明显的农事活动发生。

在 5—9 月期间, 各断面总氮平均浓度大小关系依次是: 鸡场 > 村庄 > 旱田 > 林地, 与土壤背景值中速效氮含量大小关系一致, 因为土壤中可溶性氮较易随地表径流流失。除林地断面外, 其他 3 个断面总氮浓度呈逐渐下降趋势, 即: 第 1 阶段 > 第 2 阶段 > 第 3 阶段, 因为随降雨的不断发生, 土壤中氮素含量逐

渐下降。由此可见, 控制径流流失是控制土壤氮素流失的关键。在整个采样期间村庄和鸡场断面总氮浓度一直较高, 但不能确定其就是主要的非点源, 还与各断面径流量的大小有关。综上所述, 因地制宜地采取措施是减少氮素输出最有效的办法, 合理布置村庄格局和加强村庄内的绿化度、合理处置生活垃圾和生活污水、集中处理家禽及牲畜粪便、加强山体护坡工作、减少降雨期间农用地的翻耕等都是防止研究区内非点源污染的有效措施。

3.2 降雨条件下氮素迁移转化规律

3.2.1 降雨条件下河流系统中总氮的输出特征

氮素主要在降雨条件下随地表径流流失, 以可溶态氮流失为主^[14]。土地类型、植被覆盖度和农业生产生活活动是导致氮素流失的本质因素, 降雨则是导致氮素流失的动力因素。4 个断面的总氮浓度随日降雨量变化特征如图 2 所示。

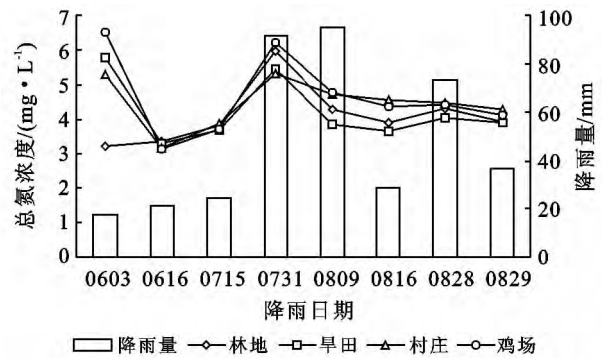


图 2 降雨条件下不同断面总氮浓度的变化情况

除林地断面外, 降雨初期旱田、村庄和鸡场断面总氮浓度均较后期高, 这与许其功等^[15]的研究结果一致, 长期干旱后的初期降雨径流中氮的浓度明显高于雨季径流中的浓度。6 月 16 日至 7 月 31 日各断面总氮浓度呈逐渐上升的趋势, 这与降雨量的持续增大有关, 强降雨使土壤表面受到严重冲刷, 营养物质大量流失, 同时浸提作用增强, 使河流中总氮浓度升高。7 月 31 日发生首次暴雨事件, 4 个断面的总氮浓度出现峰值, 分别达到 5.97, 5.44, 5.33 和 6.22 mg/L。在 7 月 31 日至 8 月 29 日期间内, 林地、旱田、村庄和鸡场断面总氮浓度先降低, 后趋于平稳, 分别下降了 34.0%, 28.3%, 19.8% 和 33.5%, 这是因为长期的强降雨, 土壤中氮含量下降, 且径流量持续增大, 河水的稀释作用起主导作用, 从而导致氮浓度的降低, 之后浸提作用和稀释作用交互进行, 总氮浓度便趋于平稳。

3.2.2 降雨条件下河流系统中硝态氮的输出特征

一般土壤胶体带负电, 硝态氮也带负电, 不易被土壤

吸附,且硝态氮属可溶态氮,有降雨时硝态氮容易淋溶和流失^[16-17]。林地、旱田、村庄和鸡场断面硝态氮的输出特征如图 3 所示,变化范围分别为 2.02~4.47,1.53~4.24,1.47~4.18 和 2.09~4.13 mg/L。各断面输出的硝态氮浓度与总氮呈显著正相关。6 月所采的两次河流样品中硝态氮浓度除鸡场断面较高外,林地、旱田和村庄断面并无明显差异。7 月所采的两次河流样品中,4 个断面硝态氮的浓度明显升高,这是因为随温度的升高硝化作用增强。林地断面最高,因为随着植被的生长及林地地表的枯枝烂叶在微生物的作用下加速分解,硝化作用不断增强^[17],也与此总氮的流失浓度最大有关。在 7 月 31 日到 8 月 29 日期间,硝态氮浓度大幅度下降,各断面分别下降 54.7%,56.2%,54.3%和 46.0%,其原因与总氮浓度下降的原因相同。

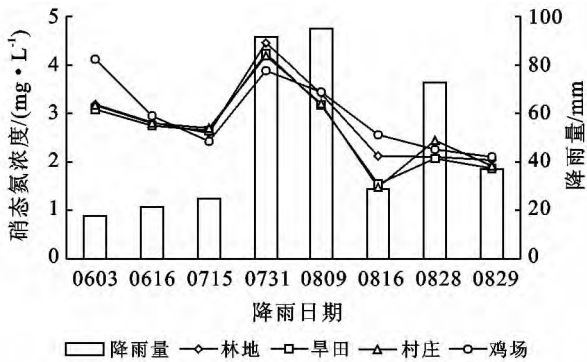


图 3 降雨条件下不同断面硝态氮浓度的变化情况

3.2.3 降雨条件下河流系统中亚硝态氮的输出特征

图 4 是各断面亚硝态氮浓度随时间的变化特征,采样期间各断面亚硝态氮浓度变化分别是 0.01~0.03,0.01~0.02,0.01~0.02 和 0.01~0.03 mg/L,从总体上看,亚硝态氮浓度随降雨量呈先升高后下降趋势,与总氮和硝态氮变化一致。在 7 月 31 日至 8 月 29 日下降的最为明显,各断面分别下降 72.3%,53.3%,44.8%和 57.1%,这可能是由于持续的强降雨使稀释起主导作用。自 6 月 3 日到 8 月 29 日 8 次降雨中,鸡场断面亚硝态氮平均浓度最大,这是由鸡场土壤背景值较大和鸡粪中含氮量较高所致。

由图 4 可知,林地、旱田、村庄和鸡场断面输出的硝态氮浓度分别占总氮的 69.2%,63.4%,61.4%和 63.8%,可见,较高的植被覆盖虽能有效地减少土壤侵蚀和总氮的流失,却增加了土壤可溶性氮的流失^[18]。亚硝态氮仅占总氮的 0.4%,说明研究区域地表径流输出的可溶态氮主要以硝态氮为主。各断面硝态氮和亚硝态氮的浓度变化与降雨量呈显著相关

($p < 0.05$)。在输出过程中,硝态氮和亚硝态氮的浓度变化与总氮相似,呈现先增大后降低的趋势,原因是在降雨初期,浸提作用占主导地位,从而浓度逐渐升高,随降雨次数和降雨量的增加,稀释作用取代浸提作用占主导地位,从而浓度降低,之后,径流中氮素含量便处于稳定趋势。

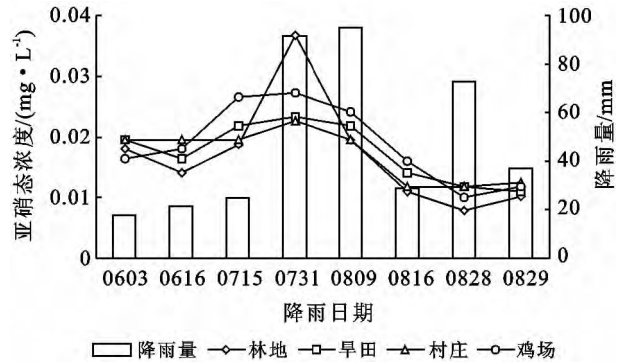


图 4 降雨条件下不同断面亚硝态氮浓度的变化情况

4 结论

(1) 2011 年 5—9 月是太子河小流域降雨的主要时期,也是非点源氮输出的主要时期;降雨量占全年降雨总量的 81.8%,此时是预防水土流失和非点源污染发生的主要时期。

(2) 在研究时段内,受降雨条件、土地利用类型、植被覆盖度和人为活动等因素的影响,4 个断面总氮的变化趋势呈波浪式,河流系统中总氮平均浓度表现为鸡场>村庄>旱田>林地。各断面总氮的输出与土壤背景值具有一致性。

(3) 5 月 7 日至 6 月 10 日,植被覆盖度低,农田的翻耕和肥料的大量施用以及长期干旱后的初期降雨使得旱田、村庄和鸡场断面总氮浓度较雨季期间高。6 月 10 日至 9 月 30 日,随降雨量和降雨次数的增加,浸提作用与稀释作用交互进行,各断面总氮浓度出现先增加后降低的现象。

(4) 林地、旱田、村庄和鸡场断面硝态氮和亚硝态氮输出浓度与降雨量呈显著正相关($p < 0.05$),并且输出特征与总氮基本保持一致,硝态氮是总氮的主要输出形态,分别占总氮的 69.2%,63.4%,61.4%和 63.8%。植被覆盖虽能有效地减少土壤侵蚀和总氮的流失,却增加了土壤可溶性氮的流失。

[参 考 文 献]

[1] Pionke H B, Gburek W J, Sharpley A N. Critical source area controls on water quality in an agricultural watershed located in the Chesapeake Basin[J]. Ecological Engineering, 2000,14(4):325-335.

- [2] Edwards A C, Withers P J A. Transport and delivery of suspended solids, nitrogen and phosphorus from various sources to freshwaters in the UK[J]. *Journal of Hydrology*, 2008, 350(3/4):144-153.
- [3] Goolsby D A, Battaglin W A, Aulenbach B T, et al. Nitrogen flux and sources in the Mississippi River Basin[J]. *The Science of the Total Environment*, 2000, 248(2):75-86.
- [4] 张少源,冯明磊,林杉,等. 三峡库区小流域河流可溶性硅、无机氮和磷的研究[J]. *环境科学*, 2008, 29(10):2716-2722.
- [5] 曹杰君,高扬,黄海波,等. 长三角典型村域次降雨条件下氮素非点源输出特征[J]. *环境科学*, 2010, 31(11):2587-2593.
- [6] 王晓龙,李辉信,胡锋,等. 红壤小流域不同土地利用方式下土壤 N、P 流失特征研究[J]. *水土保持学报*, 2005, 19(5):31-34.
- [7] Holliger E, Comish P S, Baginska B, et al. Farm-scale storm water losses of sediment and nutrients from a market garden near Sydney Australia[J]. *Agricultural water Management*, 2001, 47(3):227-241.
- [8] Gburek W J, Sharply L, Healthwaite L, et al. Phosphorus management at the watershed scale modification of the phosphorus index[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2000, 29(1):130-144.
- [9] Lepisto A, Kenttamies K, Rekolainen S. Modeling combined effects of forestry, agriculture and deposition on nitrogen export in a northern river basin in Finland[J]. *AMBIO*, 2001, 30(6):338-348.
- [10] Arhonditsis G, Tsirsis G, Angelidis M O, et al. Quantification of the effect of nonpoint nutrient sources to coastal marine eutrophication: Application to a semi-enclosed gulf in the Mediterranean Sea[J]. *Ecological Modelling*, 2000, 129(2):209-227.
- [11] 孟凡青. 观音阁水库水体中氮、磷污染现状及其防治对策[J]. *辽宁城乡环境科技*, 2006, 26(4):13-15.
- [12] 高旭,赵宏富,侯错. 基于观音阁水库水环境问题的分析与对策[J]. *黑龙江水利科技*, 2009, 3(37):137-138.
- [13] 宋泽芬,王克勤,孙孝龙,等. 澄江尖山河小流域不同土地利用类型地表径流氮、磷的流失特征[J]. *环境科学研究*, 2008, 21(4):109-113.
- [14] 黄云凤,张珞平,洪华生,等. 不同土地利用对流域土壤侵蚀和氮、磷流失的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2004, 23(4):735-739.
- [15] 许其功,刘鸿亮,沈珍瑶,等. 三峡库区典型小流域氮磷流失特征[J]. *环境科学学报*, 2007, 27(2):326-331.
- [16] 房孝铎,王晓燕,窦培谦. 密云水库上游流域氮流失规律研究[J]. *农业环境科学学报*, 2007, 26(3):852-856.
- [17] 张瑞国,王克勤,陈奇伯,等. 昆明市水源区不同利用类型坡地径流氮和磷的输出特征[J]. *环境科学研究*, 2009, 22(5):607-611.
- [18] 张兴昌,刘国彬,付会芳. 不同植被覆盖度对流域氮素径流流失的影响[J]. *环境科学*, 2000, 21(6):16-19.
- [19] 水土保持研究, 2012, 19(2):165-170.
- [21] 宫继萍,石培基,杨雪梅. 黑河中游土地生态价值及生态风险动态研究:以甘肃省民乐县为例[J]. *土壤*, 2012, 44(5):846-852.
- [22] 王雪梅,柴仲平,塔西甫拉提·特依拜. 渭干河—库车河三角洲绿洲生态系统服务功能及敏感性分析[J]. *干旱地区农业研究*, 2010, 28(3):202-206.
- [23] 王宗明,张柏,张树清. 吉林省生态系统服务价值变化研究[J]. *自然资源学报*, 2004, 19(1):55-61.
- [24] 韦仕川,吴次芳,杨杨,等. 基于 RS 和 GIS 的黄河三角洲土地利用变化及生态安全研究:以东营市为例[J]. *水土保持学报*, 2008, 22(1):185-189.
- [25] 臧淑英,梁欣,张思冲. 基于 GIS 的大庆市土地利用生态风险分析[J]. *自然灾害学报*, 2005, 14(4):141-145.
- [26] 岳书平,张树文,闫业超. 东北样带土地利用变化对生态服务价值的影响[J]. *地理学报*, 2007, 62(8):879-886.

(上接第 257 页)

- [15] 朱磊,罗格平,许文强,等. 干旱区绿洲城市土地利用变化及其生态环境效应分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2008, 22(3):15-18.
- [16] 冯异星,罗格平,鲁蕾,等. 土地利用变化对干旱区典型流域生态系统服务价值的影响[J]. *水土保持学报*, 2009, 23(6):247-251.
- [17] 许英勤,吴世新,刘朝霞,等. 塔里木河下游垦区绿洲生态系统服务的价值[J]. *干旱区地理*, 2003, 26(3):208-216.
- [18] 程国栋,张志强,李锐,等. 西部地区生态环境建设的若干问题与政策建议[J]. *地理科学*, 2000, 20(6):503-510.
- [19] 王新华,张志强. 黑河流域土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J]. *生态环境*, 2004, 13(4):608-611.
- [20] 谢余初,巩杰,赵彩霞,等. 干旱区绿洲土地利用变化的生态系统服务价值响应:以甘肃省金塔县为例[J]. *水*