

河溪生境因子对土地利用变化的响应研究

冯泽深^{1,2}, 顾岚², 陈琼², 高甲荣²

(1. 北京木联能软件技术有限公司, 北京 100096; 2. 北京林业大学 教育部水土保持与荒漠化防治重点实验室, 北京 100083)

摘要: 为明确河溪生境因子对河岸土地利用方式变化的响应程度, 在北京市郊区选取 3 条典型河溪中的 50 个河段, 进行不同河岸土地利用方式下生境指标的差异性检验和主成分分析。经过因子旋转, 最终确定 4 个综合生境因子来反映不同河岸土地利用方式对河溪生态系统的影响, 并通过 PLOT 过程在二维平面上用散点图表示。结果表明, 研究区旅游用地对河溪中底栖动物多样性和磷酸盐浓度有突出影响; 公路也能促进底栖动物多样性的增加以及磷酸盐浓度的增大, 但影响不及旅游用地; 居民用地对氨氮浓度的影响最大, 农地对浮游植物多样性及 pH 值和溶解氧含量影响最大。维持合理的河岸土地利用方式, 是促进北京郊区河溪生态系统自我修复的重要途径。

关键词: 土地利用; 河溪生态; 水资源保护; 主成分分析

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)01-0039-05

中图分类号: X826

Responses of Stream Habitat Factors to Land Use Change

FENG Ze-shen^{1,2}, GU Lan², CHEN Qiong², GAO Jia-rong²

(1. Beijing Millennium Engineering Software Co., Ltd., Beijing 100096, China; 2. Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating of the Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: To clarify the responses of stream habitat factors to riparian land use change, 50 reaches of 3 typical streams in the suburb of Beijing City are selected for the discrepancy test and principal component analysis of habitat indicators under different riparian land uses. By factorial rotation, four integrated indicators are confirmed to reflect the impacts of different riparian land uses on stream ecosystem, which are shown in plots. Results show that the land for tourism has greater effect on benthic macroinvertebrates species and the concentration of phosphorus in stream than the land for transportation; the land for inhabitancy increases the concentration of nitrogen in stream; and farmland affects phytoplankton species, pH value and the concentration of dissolved oxygen. Maintaining rational land use is a basic approach to stream ecological restoration in the suburb of Beijing City.

Keywords: land use; stream ecology; water conservation; principal component analysis

河岸土地利用/覆被变化(LUCC)能通过改变河岸带生态系统的结构和功能,对河溪生态系统的物质循环和能量流动起着关键性影响。由 LUCC 引起的河溪水质变化和水生生物数量的变化可以作为反映河溪退化程度的重要指标。不当的河岸土地利用方式能减少河岸植被覆盖,削弱河岸植物根系的固土作用,从而导致河岸带结构不稳定,进而影响河溪的生态环境。George 等^[1]研究了不同的河岸土地利用方式对河溪中磷浓度的影响,并按其影响大小对土地利用方式进行了排序;Daniel 等^[2]解释了放牧这种河岸土地利用方式对河溪水生生物数量的影响,Belsky 等^[3]认为过度放牧这种土地利用方式能极度降低河岸的

稳定性,影响沉积物中氮磷的含量,从而影响河溪的水质。虽然该种土地利用方式在北京地区的河溪比较少见,而旅游用地及农地这两种河岸土地利用方式在北京郊区也较为普遍,但是均能够加剧面源污染,影响水质及水生生物的数量。因此,研究河溪的生境因子对河岸土地利用方式变化的响应具有重要的意义。目前,国内专家研究了土地利用变化对流域生态需水的影响^[4],探讨了土地利用变化对长江上游生态系统服务价值的影响^[5],阐释了其河溪廊道功能的削弱作用^[6],分析了土地利用方式的变化对河岸植被的影响^[7],但针对北京郊区河溪的河岸土地利用方式对河溪生境因子的影响却鲜有报道。由于人类对河

收稿日期:2012-03-27

修回日期:2012-04-15

资助项目:国际科技合作项目“土壤生物工程措施在北京市怀柔区河道生态治理中的应用”(2009DFA32490)

作者简介:冯泽深(1985—),女(汉族),重庆人,博士研究生,研究方向为水土保持与流域管理。E-mail: fengweiabc@126.com。

通信作者:高甲荣(1963—),男(汉族),陕西省韩城县人,博士,教授,研究方向为流域管理及河流生态修复。E-mail: jiaronggao@sohu.com。

溪的持续干预,使北京郊区季节性淹没区减少,天然湿地丧失,各种生物适宜的生态环境和栖息地被大量压缩,河溪生境面临着生物多样性丧失、水质恶化及河岸带退化的危险,流域的可持续发展受到了严重威胁。本文以北京郊区 3 条具有代表性的河溪作为研究对象,探讨了北京周边土地利用方式对河溪生境因子的影响,以期为北京郊区合理的河岸规划与生态修复工作提供参考。

1 研究区概况

选取位于北京市密云、怀柔、房山 3 个郊区县区的 3 条典型河溪安达木河、雁栖河、拒马河为研究对象。这 3 条河溪受人为干扰程度不同,河岸土地利用方式具有明显差异,且分别处于北京市的北部、中部和南部,也很具有研究代表性。

安达木河位于北京市的东北部,发源于河北省滦平县涝洼村北山区和承德县乱石洞子,分别由北岭和黑关入密云县境,在曹家路村东汇合后称安达木河。研究区位于密云县境内,北岭至遥桥峪水库入库口段,地理坐标为 $40^{\circ}40' - 40^{\circ}38' N$, $117^{\circ}26' - 117^{\circ}22' E$,河段长 26.8 km,受人为干扰较小,河岸利用方式以农地和未利用地为主。雁栖河位于北京市中部怀柔县境内,发源于八道河乡对石、西栅子等处山洪沟,经柏崖厂注入北台上水库,沿河民俗旅游业发达,受人为干扰较为严重。研究区为神堂峪风景区至北台上水库入库口段($40^{\circ}26' - 40^{\circ}24' N$, $116^{\circ}37' - 116^{\circ}39' E$),河段长 20.2 km。河岸土地利用方式以旅游用地和居民用地为主。拒马河发源于河北省涞源县西北太行山麓,在北京市南部房山区十渡镇入市界,流经十渡风景区,旅游业发达,受人为干扰较大。研究区为房山区大沙地村至张坊镇河段($39^{\circ}39' - 39^{\circ}33' N$, $115^{\circ}29' - 115^{\circ}41' E$),河段长 28.4 km,河岸土地利用方式以旅游用地为主。

2 研究方法

研究河段选择。研究河段的选择基于以下标准^[8]:(1)两岸同一种土地利用方式长度需要超过 300 m;(2)河岸必须有一种占主导地位的土地利用方式;(3)所有研究河段的流域面积均小于 50 km^2 。2007—2009 年每年 7—8 月对研究区进行河溪生境野外调查(这时水位经春汛后已经基本稳定),沿河每 1 km 布设 1 调查点,在 3 条河溪共 76 个河段中最终选择了 50 个河段作为研究对象(表 1)。

河岸土地利用方式调查。根据北京市郊区土地利用现状和土地资源的特点,结合同期土地利用详查

资料和野外实地调查,将京郊地区河岸土地利用方式分为农地、旅游用地、公路、居民用地与未利用地 5 种,记录各个研究河段的河岸土地利用方式种类。

表 1 不同河岸土地利用方式的研究河段综合特性

区域名	河溪名称	河岸土地利用方式	河段数	平均河岸宽度/m	河岸土壤质地
密云县	安达木河	农地	6	45.91	砂壤质
		公路	2	0.55	砂壤质
		居民用地	3	5.56	中壤质
		旅游用地	2	40.82	砂壤质
		未利用	4	80.97	砂壤质
怀柔县	雁栖河	居民点	4	30.4	砂质土
		旅游用地	4	26.58	砂质土、裸岩
		农地	3	100.53	砂质土
		公路	3	6.34	砂质土
房山区	拒马河	未利用地	1	3.76	砂质土
		旅游用地	6	22.38	中壤质
		公路	3	2.67	砂壤质
		居民用地	2	36.52	中壤质
		农地	3	25.7	砂壤质
		未利用	4	4.10	砂壤质
合计			50		

生物指数调查。在每个采样点水域内,采样面积为 5 m^2 ,用小于 0.5 mm 的筛网,收集含有大型无脊椎底栖动物的碎屑,将底栖动物逐个挑选出来,放入 75%酒精中固定,以便室内进行显微镜检、分类、计数^[9]。同样采用该筛网由底至表垂直拖拽采集浮游植物,所获标本用 5%甲醛现场固定,室内进行分类和统计。

水质因子调查。pH 值、溶解氧、氨氮和磷酸盐的含量采用北京中西仪器厂出品的 BD80 系列野外便携式试剂盒滴定测量。流速采用浮标法测定,测量距离为 5~10 m;每个采样点取样 3 次,取平均值^[10]。

数据分析:各调查数据的差异显著性检验、主成分分析与二维平面上的散点图用 SAS 9.0 完成。

3 结果与分析

3.1 不同土地利用方式河段生境指标的差异显著性分析

为研究河岸土地利用方式不同的各河段水生境指标的差异显著性,应用 SAS 9.0 对不同河岸土地利用方式的河段的底栖动物多样性、浮游植物多样性、流速、pH 值、氨氮、磷酸盐和溶解氧 7 项生境指标进行不平衡方差分析与相应的 Duncan 差异显著性检验^[11](如表 2 所示)。

表 2 河岸土地利用方式不同的各河段生境指标差异显著性检验

土地利用方式	底栖动物多样性指数	浮游植物多样性指数	流速/ ($m \cdot s^{-1}$)	pH 值	氨氮/ ($mg \cdot L^{-1}$)	磷酸盐/ ($mg \cdot L^{-1}$)	溶解氧/ ($mg \cdot L^{-1}$)
公路	1.952a	2.363a	0.376a	6.580a	0.210a	0.040a	8.200a
居民区	0.767b	1.725a	0.148ab	6.725a	0.288a	0.035a	5.825b
旅游区	1.568ab	1.270a	0.043b	6.730a	0.275a	0.037a	7.190ab
农地	1.215ab	1.846a	0.296a	7.169a	0.192a	0.025b	6.562ab
未利用地	1.043b	2.092a	0.164ab	7.033a	0.173a	0.026b	6.592ab

注:同列内数值后有相同小写字母的表示用 Duncan 检验在 0.05 显著水平下无显著差异。

GLM(general linear model, GLM) 方差分析结果表明,河岸土地利用方式不同的各河段底栖动物多样性、浮游植物多样性、pH 值及氨氮差异不显著($p > 0.05$),而流速和溶解氧差异显著($p < 0.05$),磷酸盐差异极显著($p < 0.01$)。说明各河溪生境因子对不同的河岸土地利用方式的响应程度有明显不同。

3.2 不同土地利用方式的河段生境指标的主成分分析

为进一步研究不同土地利用方式对河溪生境因子的具体影响,应用 SAS 9.0 对不同土地利用方式的各河段的 7 个生境指标进行主成分分析,得到因子载荷阵,并且建立了因子分析线性模型。为了通过模型对不同土地利用方式与各指标变量的密切关系做出更明确的解释,用极大方差法对得到的因子载荷阵进行因子旋转。

如表 3 所示,在因子分析中,前 5 个因子(主成分)的累积方差贡献率才超过 85%。通过分别对前 5

个与前 4 个因子构成的因子载荷阵进行因子旋转后发现,用前 4 个主成分的因子载荷阵进行因子旋转得到的各因子的综合指标意义比较明显,并且该 4 个因子的累积方差贡献率已达 80.73%,基本可以反映研究区的指标变异信息,因此用前 4 个因子构成的因子载荷阵进行因子旋转和因子分析(表 4)。

表 3 不同土地利用方式的各河段的特征值与各主成分的贡献率

主成分序号	特征根	方差贡献率	累积方差贡献率
1	1.840 809 18	0.263 0	0.263 0
2	1.621 157 92	0.231 6	0.494 6
3	1.262 467 83	0.180 4	0.674 9
4	0.926 662 69	0.132 4	0.807 3
5	0.601 415 43	0.085 9	0.893 2
6	0.445 085 68	0.063 6	0.956 8
7	0.302 401 27	0.043 2	1.000 0

表 4 因子旋转前后不同土地利用方式的各河段 4 个因子的因子载荷阵

生境因子	因子旋转前				因子旋转后			
	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4
底栖动物多样性	0.039	0.889	0.101	-0.072	0.074	0.667	0.406	-0.438
浮游植物多样性	0.627	0.385	0.350	0.254	-0.394	0.304	0.677	0.149
流速	-0.140	-0.027	0.875	-0.077	0.505	-0.274	0.665	0.140
pH 值	0.890	-0.056	-0.102	-0.025	-0.846	-0.103	0.281	0.016
氨氮/ $(mg \cdot L^{-1})$	0.003	0.020	-0.068	0.963	-0.066	0.516	-0.108	0.807
磷酸盐/ $(mg \cdot L^{-1})$	-0.216	0.677	-0.479	0.287	0.024	0.840	-0.281	-0.175
溶解氧/ $(mg \cdot L^{-1})$	-0.692	0.199	0.483	0.133	0.839	0.162	0.164	0.108

从表 4 可以看出,进行因子旋转以前,每个因子中各指标的载荷分布相对均匀且比较混乱,各因子所反映的综合指标意义不明显。因子旋转可以使每个变量(指标)仅在一个公共因子上有较大载荷,而在其余公共因子上载荷较小,从而使因子载荷阵的结构得到简化^[12]。

因子旋转以后,因子 1 中水体 pH 值、溶解氧与浮游植物多样性载荷较大,因此因子 1 是反映 pH 值、溶解氧与浮游植物多样性的综合因子。因子 2 中底栖动物多样性与磷酸盐载荷较大,为反映这 2 个指

标的综合因子。因子 3 中流速载荷较大,反映流速因子。因子 4 中氨氮载荷较大,反映氨氮因子。

3.3 4 个综合因子对不同河岸土地利用方式的响应

研究区的 3 条河溪其河岸土地利用方式主要有农地、公路、居民用地、旅游用地和未利用土地 5 种,不同的土地利用方式均会对河溪生境造成一定的影响,从而导致河溪生态系统各项功能的退化。根据建立的因子模型计算各研究河段的 4 个综合因子的得分,并用 SAS 9.0 中的 PLOT 过程分别做出旋转后的每 2 个因子得分在二维平面上的散点图(图 1)。

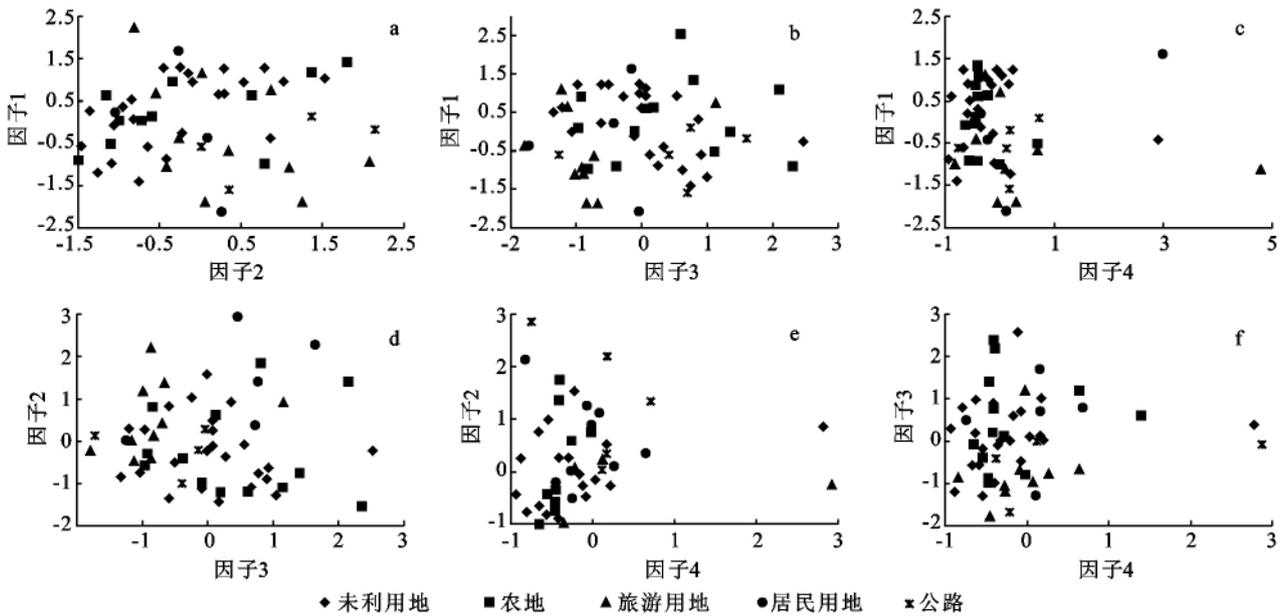


图 1 不同河岸土地利用方式下 4 个综合因子的相互影响

图 1a, 1d, 1e 说明因子 2 对旅游用地得分较高, 即旅游用地主要影响附近河溪中磷的浓度与底栖动物的多样性; 雁栖河和拒马河的研究河段中河岸的主导土地利用方式为旅游用地, 河岸的度假村所排放的生活污水导致了河溪中磷酸盐含量的增加; 同时部分旅游风景区会采取一定程度的环境保护措施, 因而河中底栖动物的多样性偏高, 而底栖动物能搅动底泥, 加快底泥中磷的逆向解吸, 重新释放进入上覆水体^[13], 因而更促进了磷含量的增加。公路用地的散点也较偏向因子 2, 但各河段的因子 2 加权平均得分比旅游用地少 42.5%, 说明其对底栖动物多样性和磷酸盐浓度的影响不及旅游用地。图 1c, 1e, 1f 这三个图表明因子 4 对居民用地得分较高, 说明居民用地对水中氨氮浓度有较大影响。雁栖河边居民点较多, 而且很多居民都发展民俗旅游业, 常有废水排放入河中, 且河边时常有建筑废料和生活垃圾堆放, 造成河中氨氮浓度偏高。相比第 2 因子和第 4 因子得分, 第 1 因子对农地的得分较高, 说明农地对河段中 pH 值、溶解氧浓度及浮游植物的种类有突出的影响; 有研究表明, 浮游植物的分布格局与 pH 值和溶解氧呈正相关^[14], 水体中藻类的光合作用能引起 pH 值的升高^[15], 而溶解氧主要来源于藻类的光合作用, 因而溶解氧浓度也较大; 第 3 因子对未利用土地的得分较高, 说明水流速度较快的河段河岸较少被人为干扰。

4 结论

本文研究了北京郊区 3 条典型河溪的水生境因

子对不同河岸土地利用方式的响应。通过对生境因子进行不平衡方差分析与相应的 Duncan 差异显著性检验, 发现河岸土地利用方式的不同会造成各项生境指标具有明显的差异; 进一步对各项指标进行因子分析, 确定用因子 1 (pH 值、浮游植物多样性与溶解氧的综合因子)、因子 2 (底栖动物多样性与磷酸盐综合因子)、因子 3 (流速因子) 及因子 4 (氨氮因子) 来研究其对不同的河岸土地利用方式的响应情况。

研究区旅游用地对河溪中磷的浓度以及底栖动物多样性有较大影响, 公路也能促进底栖动物多样性的增加以及磷酸盐浓度的增大, 但影响不及旅游用地; 居民用地对氨氮浓度起主要影响, 可能人为的倾倒垃圾废料能导致河溪中氨氮浓度的升高, 造成水体污染; 农地是造成浮游植物的多样性增加、pH 值和溶解氧的含量升高的主要土地利用方式; 水流速度较快的河段河岸较少被人为干扰。

本研究是在夏季对河溪的各项生境因子进行的综合调查, 而在不同的季节, 水体浮游植物和底栖动物的组成和数量会有一些变化^[16], 因而本次调查结果只能是这种动态变化中的一个剖面, 要掌握水体生境因子对土地利用方式的响应的动态变化, 还需要做更为长期的系统调查。另外, 不同的河岸土地利用方式也会因为改变河溪内沉积物、污染物和营养物的径流路径和分布从而影响河溪的水质及水生生物的数量, 因此, 为了确保北京郊区河溪生态系统的完整性和动态平衡, 除了减少人为干扰和控制水体污染外, 维持合理的河岸带土地利用方式尤为重要。

[参 考 文 献]

- [1] George N, Zaimes, Richard C, Schultz, et al. Stream-bank soil and phosphorus losses under different riparian land-use in IOWA[J]. Journal of the American Water Resources Association, 2008, 44(4): 935-946.
- [2] Daniel A S. Riparian livestock enclosure research in the western United States: A critique and some recommendations[J]. Environmental Management, 2002, 30(4): 516-526.
- [3] Belsky A J, Matzke A, Uselman S. Survey of livestock influences on stream and riparian ecosystems in the western United States[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1999, 54(1): 419-431.
- [4] 丰华丽, 王超, 朱光灿. 土地利用变化对流域生态需水的影响分析[J]. 水科学进展, 2002, 13(6): 757-761.
- [5] 伍星, 沈珍瑶, 刘瑞民, 等. 土地利用变化对长江上游生态系统服务价值的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(8): 236-240.
- [6] 陈婷, 杨凯. 城市河岸土地利用方式对河流廊道功能影响初探[J]. 世界地理研究, 2006, 15(3): 82-86.
- [7] 艾尼瓦尔·买买提, 买合木提·巴拉提, 麦麦提吐尔逊·艾则孜, 等. 土地利用变化对塔里木河中游胡杨林的影响研究[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(12): 156-160.
- [8] Hrodey J P, Sutton T M. Land-use impacts on watershed health and integrity in Indiana warmwater streams[J]. The American Midland Naturalist, 2009, 61(1): 76-95.
- [9] 王兆印, 程东升, 段雪花, 等. 东江河流生态评价及其修复方略[J]. 水利学报, 2007, 38(10): 1228-1235.
- [10] 高阳, 高甲荣, 冯泽深, 等. 北京北部山区小水体生态评价指标筛选[J]. 北京林业大学学报, 2009, 31(1): 100-105.
- [11] 高阳, 高甲荣, 李付杰, 等. 基于河道—湿地—缓冲带符合指标体系的京郊河溪生态评价体系[J]. 生态学报, 2008, 28(10): 5150-5160.
- [12] 于秀林, 周静芋. 多元统计分析[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 207-215.
- [13] 王宇庭, 曲晓, 张月辉, 等. 黄河三角洲平原型水库大型底栖动物对磷的积累效应[J]. 湖泊科学, 2006, 18(2): 173-178.
- [14] 梁喜珍, 李畅游, 李兴, 等. 乌梁素海富营养化水体 pH 值与其他指标的相关性初探[J]. 中国农村水利水电, 2009(12): 1-6.
- [15] 薄芳芳, 杨虹, 左倬, 等. 上海公园水体夏季浮游植物群落与环境因子的关系[J]. 生态学杂志, 2009, 28(7): 1259-1265.
- [16] 王寿兵, 孙娜, 陈建军. 上海城市公园人工湖泊浮游植物调查及其富营养化评价[J]. 复旦学报: 自然科学版, 2004, 43(6): 972-975.

(上接第 38 页)

- [2] 胥彦玲, 刘康, 秦耀民, 等. 秦岭地区近 20 年来土地利用/土地覆盖变化及分析[J]. 水土保持学报, 2006, 20(2): 144-148.
- [3] Lambin E F, Turner B L, Geist H J, et al. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths[J]. Global Environmental Change, 2001, 11(11): 261-269.
- [4] 陈海, 王涛, 梁小英, 等. 基于 MAS 的农户土地利用模型构建与模拟: 以陕西省米脂县孟岔村为例[J]. 地理学报, 2009, 64(12): 1448-1456.
- [5] 史培军, 陈晋, 潘耀忠. 深圳市土地利用变化机制分析[J]. 地理学报, 2000, 55(2): 151-160.
- [6] Jansen L J M, Bagnoli M, Focacci M. Analysis of land-cover/use dynamics in Manica Province in Mozambique in a period of transition(1990—2004)[J]. Forest Ecology and Management, 2008, 255(2): 308-326.
- [7] 王晓峰, 任志远. 近 14 年榆林北六县土地利用变化及驱动力分析[J]. 水土保持研究, 2006, 13(6): 201-207.
- [8] 王涛, 陈海, 白红英, 等. 退耕还林还草政策影响下米脂县银州镇土地利用变化研究[J]. 水土保持通报, 2009, 29(5): 230-233.
- [9] 赵哈林, 赵学勇, 张铜会, 等. 北方农牧交错带的地理界定及其生态问题[J]. 地球科学进展, 2002, 17(5): 739-747.
- [10] 刘军会, 高吉喜. 气候和土地利用变化对中国北方农牧交错带植被覆盖变化的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(9): 2016-2022.
- [11] 贾科利, 常庆瑞, 张俊华. 陕北农牧交错带土地利用变化及驱动机制分析[J]. 资源科学, 2008, 30(7): 1053-1060.
- [12] 史纪安, 陈利顶, 史俊统, 等. 榆林地区土地利用/覆被变化区域特征及其驱动机制分析[J]. 地理科学, 2003, 23(4): 493-498.
- [13] 李晓文, 方精云, 朴世龙. 近 10 年来长江下游地区土地利用变化及其生态环境效应[J]. 地理学报, 2003, 58(5): 659-667.