

京津风沙源区生态环境时空变化的遥感监测分析

刘 洛¹, 徐新良^{2*}, 段建南¹, 刘晓芳³

(1. 湖南农业大学资源环境学院, 长沙 410128; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;

3. 青岛经济技术开发区致远中学, 青岛 266510)

摘要: 本文利用由遥感影像解译获得的土地利用数据和 MODIS NDVI 产品, 采用空间转移矩阵、最大值合成法、均值法和一元线性回归模拟等方法, 分析了 2000 年以来京津风沙源区生态环境变化的时空特征。结果表明: (1) 2000 - 2005 年京津风沙源区耕地开垦、林草地减少的趋势有所减缓, 但区域气候变化趋于干旱, 水域面积明显减少, 草地退化和未利用土地增加的现象依然存在。 (2) 该区人类活动对生态环境的干扰程度有所减缓, 但居住用地和城乡工矿用地的快速增长给生态环境带来了很大压力。 (3) 2000 - 2005 年京津风沙源区生态环境总体有所好转, 春季最大 NDVI 值呈现明显上升的趋势。本区生态环境的好转表明京津风沙源治理工程的实施已经初显成效。

关键词: 遥感监测; 生态环境; 土地利用与土地覆被变化; NDVI; 京津风沙源区

DOI: 10.3724/SP.J.1047.2011.00819

1 引言

近年来, 以水土流失、土地沙漠化、大面积沙尘暴频发等自然灾害为代表的生态环境退化给中国社会经济的可持续发展构成了严重威胁^[1]。2000 年以来, 中国北方沙尘暴的次数和强度急剧增大, 给我国北方地区的交通运输、大气环境及人民生命财产和健康带来了不利的影响, 特别是对北京及其周边地区生产、生活构成严重的威胁^[2,3-7]。对此, 2000 年国家启动了京津风沙源治理工程, 划定了主要的风沙源治理区。自工程实施以来, 学者们对京津风沙源区的治理和恢复做了大量研究, 如 2004 年韩爱惠等基于 MODIS 数据研究了京津风沙源工程区植被覆盖监测的植被指数的选择及合成方法^[8]; 2005 年袁金国等利用 TM 遥感影像, 对京津风沙源区的森林动态开展调研^[9]; 2005 年, 吴炳方等对包括京津风沙源区生态环境治理工程的效果进行了为期 5 年的遥感动态监测^[1]; 2009 年马琼芳等利用 SPOT 5 高分辨率遥感影像, 针对京津风沙源工程实施情况做了详细的探索研究^[10]。它们主要是注重遥感影像小区域的比较研究, 对大范围的

土地利用/土地覆盖遥感调查、综合监测京津风沙源区生态环境的长期演变规律研究较少。因此, 本研究选取京津风沙源治理工程区, 利用多期土地利用数据、植被指数 (NDVI) 变化数据, 分析了 2000 年以来该区土地利用/土地覆盖变化过程及生态环境变化的时空特征, 以期全面把握该地区生态环境现状和变化趋势, 以及进一步做好风沙源区的生态环境治理提供重要科学依据。

2 研究数据与方法

京津风沙源区西起内蒙古的达茂旗, 东至河北省的平泉县, 南起山西省的代县, 北至内蒙古自治区的东乌珠穆沁旗, 地理坐标为东经 109°30'~119°20', 北纬 38°50'~46°40', 东西横跨近 700km, 南北纵跨近 600km, 范围涉及北京、天津、河北、山西、内蒙古五省(区、直辖市)的 75 个县(旗、市、区), 总国土面积约为 45.8 万 km²。在工程治理区划上分为北部干旱草原沙化治理区、东部浑善达克沙化治理区、西南部农牧交错带沙化治理区、南部燕山丘陵山地水源保护区^[11]。

收稿日期: 2011-06-09; **修回日期:** 2011-09-26.

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2008BAK50B01); 国家“973”计划项目(2010CB950901)。

作者简介: 刘洛(1987-), 男, 湖南益阳人, 硕士生, 主要从事土地资源变化研究。E-mail: liuluo87930@qq.com

* **通讯作者:** 徐新良(1972-), 男, 山东青岛人, 副研究员, 主要从事土地利用/土地覆被变化及其环境生态效应研究。

E-mail: xuxl@lreis.ac.cn

研究区地貌由平原、山地、高原 3 大部分组成,海拔从几十米到超过 2 000m。南部为华北平原北部燕山南麓的冲积平原,其北部为燕山山脉,向北为辽阔的内蒙古高原,包括坝上高原、乌兰察布高原和锡林郭勒高原。锡林郭勒高原上分布有浑善达克沙地,坝上高原以南为旱农耕作区,以北至浑善达克沙地为农牧交错区,浑善达克沙地及其以北地区为草原牧区。

本区气候区划,由南向北,由东向西包含暖温带半湿润大区,温带半湿润大区、温带半干旱大区、温带干旱大区、温带极干旱大区 2 个气候带 5 个气候大区。年平均气温 7.5℃,但差异较大;年降水量平均为 459.5mm,雨季降水量占全年的 60%以上。从总体看,气候干旱,热量偏低,多风,区域气候差异大是本区气候的典型特征。

为了揭示 2000 年以来京津风沙源区生态环境动态变化的时空特征,本研究主要采用的数据:(1)中国科学院资源环境科学数据中心提供的全国范围的 1:10 万土地利用数据^[12]。由 Landsat TM/ETM 卫星影像,人机交互解译完成的。该数据集是依据野外 7 万余公里路线实地随机抽查的 13 300 个图斑的统计结果,1990 年代中期土地利用类型的平均定性精度为 92.9%,5 年变化图斑平均定性准确率为 97.6%^[13]。本研究利用的数据包括 1990 年代中期-2000 年、2000-2005 年 2 期动态变化数据;(2)美国地球资源观测系统(Earth Observation System,EROS)数据中心提供的 16 日合成的空间分辨率为 250m 的 MODIS 植被指数产品(MOD13Q1),研究中主要利用了 2000-2008 年的 NDVI 时间序列数据。

土地利用变化分析主要采用空间统计分析方法,分析 90 年代中期-2000 年、2000-2005 年各土地利用类型的面积变化,以及各种土地利用类型之间的相互转换面积,获得土地利用变化转移矩阵;进而基于 ArcGIS 软件平台,通过空间叠加分析,揭示变化图斑的空间分布特征尤其是变化面积较大的土地利用类型的空间格局特征^[14]。

本文采用最大值合成法 MVC(Maximum Value Composites)获取了研究区 2000-2008 年的年最大 NDVI 和春季最大 NDVI^[15],进而采用均值法,分别统计区域内所有像元的年最大 NDVI 和春季最大 NDVI 的平均值。此外,我们还利用研究区年 NDVI 最大值变化趋势,以揭示 2000 年以来京

津风沙源区植被长势状况的变化规律,同时采用常用的 Mann-Kendall 方法(简称 M-K 法),对年 NDVI 最大值时间序列的长期变化趋势进行显著性检验,当检验值的绝对值大于 1.96 时,变化趋势可达到 95%的信度,被认为存在显著的变化趋势,其中,正值表示增大趋势,反之为减小趋势。NDVI 最大值变化趋势是通过研究区每一个像元对应的年 NDVI 最大值与年份进行线性拟合,其变化率用最小二乘法来计算,如公式(1):

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

其中, b 为年 NDVI 最大值变化率, i 为年份, x 、 y 分别为年份和该年的 NDVI 值, \bar{x} 、 \bar{y} 分别为某年份年 NDVI 最大值的平均值和所有年份 NDVI 的平均值。 b 为负表示植被覆盖度在研究时期内呈下降趋势, b 为正表示植被覆盖度在研究时期内呈上升趋势^[16]。

3 2000 年以来京津风沙源区的土地利用变化监测分析

3.1 土地利用类型面积变化分析

从 2000-2005 年京津风沙源区各土地利用类型面积变化统计结果(表 1)看,耕地、居民地和未利用土地面积增加,林、草地和水域面积减少,其中居民地扩张最突出,面积净增加 449.41km²,增长 7.36%;而水域面积萎缩最明显,面积减少 618.58km²,净减少 10.15%。

表 1 1995-2000 年和 2000-2005 年京津风沙源区土地利用类型面积变化对比

Tab. 1 Comparison of area changes of land use types between 1995-2000 and 2000-2005

土地利用类型	1995-2000 年变化		2000-2005 年变化	
	面积(km ²)	比重(%)	面积(km ²)	比重(%)
耕地	1426.03	1.94	126.93	0.17
林地	-145.1	-0.28	-120.89	-0.23
草地	-1744.46	-0.62	-1317.41	-0.47
水域	520.05	9.33	-618.58	-10.15
居民地	44.19	0.73	449.41	7.36
未利用地	-100.7	-0.29	1480.55	4.32

表 2 2000 - 2005 年京津风沙源区土地利用类型净转换面积统计表(km²)
Tab. 2 Net land area conversion matrix between 2000 and 2005 (km²)

2000 年 土地利用类型	2005 年土地利用类型						合计
	耕地	林地	草地	水域	居民地	未利用地	
耕地	13. 34	322. 47	52. 95	- 320. 88	59. 03	126. 93	
林地	- 13. 34	- 82. 65	5. 44	- 29. 14	- 1. 21	- 120. 9	
草地	- 322. 47	82. 65	72. 36	- 79. 88	- 1070. 05	- 1317. 41	
水域	- 52. 95	- 5. 44	- 72. 36		- 7. 13	- 480. 71	- 618. 58
居民地	320. 88	29. 14	79. 88	7. 13		12. 39	449. 42
未利用地	- 59. 03	1. 21	1070. 05	480. 71	- 12. 39		1480. 54
合计	- 126. 91	120. 9	1317. 39	618. 59	- 449. 42	- 1480. 55	

从 2000 - 2005 年京津风沙源区各土地利用类型间的相互转换面积看(表 2),耕地增加的主要原因是草地开垦,5 年间,京津风沙源区 322. 47 km² 草地被开垦为耕地;此外,有 59. 03 km² 未利用地、52. 95 km² 水域,以及 13. 34 km² 林地被开垦为耕地。草地面积减少主要是由于两方面原因,除上述的草地开垦外,草地退化,转变为未利用土地也是造成草地面积减少的主要原因。2000 - 2005 年,研究区有 1 070. 05 km² 草地退化转变为未利用土地,占草地净减少面积的 81. 22%。林地减少主要是由于部分林地砍伐转变为草地,5 年间有 82. 65km² 林地转变为草地,占林地净减少总面积的 68. 36%。2000 - 2005 年,研究区水域萎缩明显,水域干涸主要转变为未利用地和草地,其中,转变为未利用地的面积占水域净减少总面积的 77. 71%,转变为草地的面积占水域净减少总面积的 11. 70%。居民地扩张主要侵占的是耕地和草地,其中侵占耕地 320. 88km²,占居民地扩张面积的 71. 40%,侵占草地 79. 88km²,占居民地扩张面积的 17. 77%。

研究表明,京津风沙源区 2000 - 2005 年土地利用变化态势具有以下典型特征:(1)从人类活动干扰来看,尽管 2000 - 2005 年草地和林地面积仍然减少,耕地面积增加,但是与前一时期(1995 - 2000 年)比较,草地和林地减少和耕地开垦的速度都在减缓,尤其是耕地的开垦面积减少明显,结合不同类型间的相互转换,可见研究区内开垦林、草地的状况有很大改善,退耕还林、还草效果初现。从居民地的快速扩展看,居住用地和城乡工矿用地的大量增长已经给耕地和林、草地带来了很大压力,应该引起一定的重视。(2)未利用土地的大量增加和水域的大量减少也是 2000 - 2005 年京津风沙源区

的显著特点^[17]。

3. 2 土地利用变化空间格局监测分析

对于 2000 - 2005 年京津风沙源区土地利用空间格局的变化,我们选择变化面积最大的 10 种土地利用转换类型制作了空间分布图(图 1),其转换类型的面积占京津风沙源区土地利用类型转换(不包括土地利用类型内部之间的相互转化,如旱地转水田)总面积的 91%。

林地转变为草地和耕地主要发生在浑善达克沙地治理区东南部,其中,内蒙古赤峰市北部林地砍伐转变为草地的现象比较集中,而东部敖汉期北部林地开垦的现象较多。草地转为林地的现象在研究区内零星分布,而草地退化转变为未利用土地的现象比较集中分布于北部干旱草原区中部和浑善达克沙地治理区西部,其中,正镶白旗、苏尼特右旗北部、苏尼特左旗北部、阿巴嘎旗北部分布更为集中。草地开垦的现象主要发生在浑善达克沙地治理区北部和农牧交错带沙化治理区东北部,其中,巴林左旗、阿鲁科尔沁旗以及康保县分布尤为集中。水域干涸转变为未利用土地的现象主要发生在北部干旱草原治理区北部,其中,乌珠穆沁盆地和乌兰盖戈壁水域干涸的现象最明显。未利用土地植被覆盖增加,转变为草地的现象在区域分布比较零散,克什克腾旗、巴林右旗、翁牛特旗和阿鲁科尔沁旗均有一定的分布。退耕还林还草和居民地扩张的现象主要分布在京津风沙源区南部,其中,北京市北部的昌平、顺义城镇扩张侵占耕地的现象最明显。此外,农牧交错带沙化治理区南部山西大同、怀仁地区城镇扩张侵占耕地的现象也比较显著,北部干旱草原区西南部即四子王旗南部退耕还草的现象最集中。

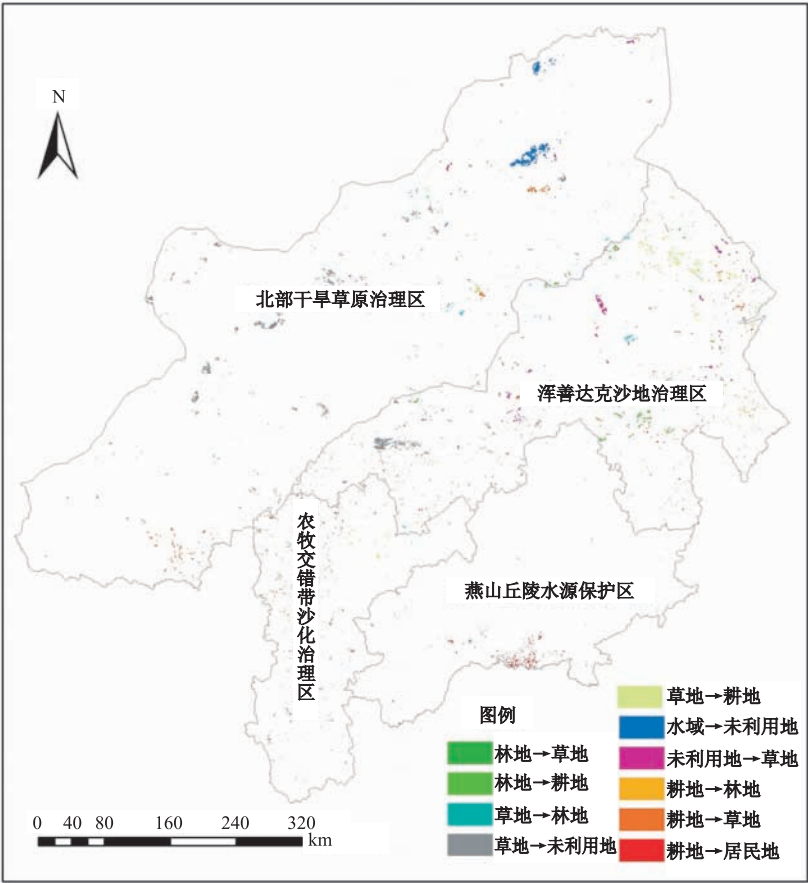


图1 京津风沙源区土地利用类型转换空间格局分布
Fig. 1 Spatial distribution of land use type conversion in the study region

4 2000 年以来京津风沙源区的 NDVI 变化分析

2000 - 2008 年的京津风沙源区年最大 NDVI 值的变化曲线(图 2)显示:2000 年全区最大 NDVI 平均值最低,约为 0.473 1,最大值出现在 2003 年,为 0.5591。2000 年以来的最大 NDVI 总体呈上升的趋

势,但没有通过 M-K 95%的信度检验。可见,2000 - 2008 年京津风沙源区植被覆盖度整体呈现好转的态势并不显著。由于京津风沙源区沙尘暴主要发生春季^[7],因此我们选择每年春季的最大 NDVI 进行分析。春季 NDVI 最大值的最低值出现在 2000 年,为 0.1033,最高值出现在 2008 年,为 0.1968。从春季 NDVI 最大值的年际变化看(图 2),2000 - 2008 年京津风沙源区春季 NDVI 最大值呈现明显的逐步上升

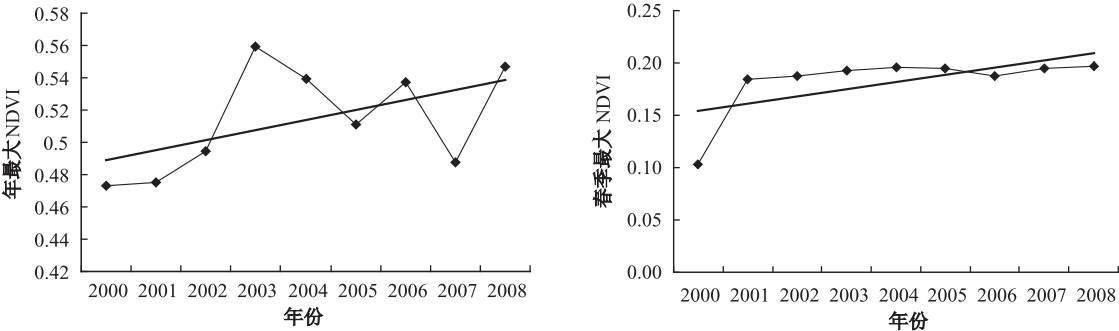


图2 2000 - 2008 年的年最大 NDVI 和春季最大 NDVI 变化
Fig. 2 Changes of annual max NDVI and spring max NDVI during 2000 - 2008

趋势(通过 95% 的信度检验),这表明 2000 - 2008 年京津风沙源大部分地区的生态环境呈现好转的态势,尤其是春季生态环境好转的趋势明显。

为了进一步揭示 2000 - 2008 年京津风沙源区年 NDVI 最大值变化趋势的空间格局,我们计算了年 NDVI 最大值变化率(图 3)。统计发现:2000 年以来,年最大 NDVI 值的变化率平均为 0.0061(大于 0),表明植被覆盖度总体呈逐步上升的趋势。2000 - 2008 年京津风沙源区年最大 NDVI 值的变化率空间分异明显,增长较快的地区主要分布在北部干旱草原治理区的中部和农牧交错带沙化治理区与燕山丘陵水源保护区的交界地带,而降低较为明显的地区则集中于东北部和农牧交错带沙化治理区的西北地区。北方干旱草原治理区 NDVI 变化率为 0.0049,浑善达克沙地治理区为 0.0064,农牧交错带沙化治理区为 0.0061,燕山丘陵水源保护区为 0.0093。4 个研究区的变化率均大于 0,这表明 4 个治理区在 2000 - 2008 年期间的平均植被覆盖状况均呈好转趋势,其中,好转最明显的是燕山丘陵水源保护区,较差的是北方干旱草原治理区,另外两个治理区好转程度较为接近。

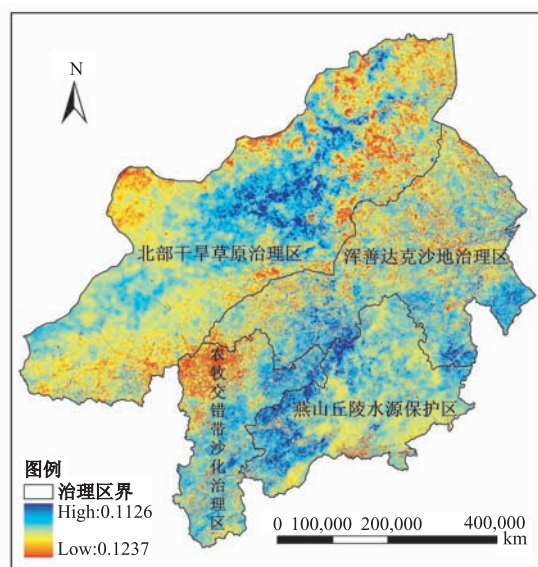


图 3 京津风沙源区年 NDVI 最大值变化趋势分布图

Fig. 3 Spatial distribution of NDVI trend of the study region

5 结论

通过土地利用与 NDVI 变化的遥感监测,2000 年以来,京津风沙源区生态环境变化具有以下特点:

(1)2000 - 2005 年该区耕地开垦、林草地减少的趋势有所遏制,但区域气候变化趋于干旱,水域面积明显减少,草地退化和未利用土地增加的趋势依然存在。

(2)该区人类活动对生态环境的干扰程度有所减缓,但居住用地和城乡工矿用地的快速增长已经给耕地和林、草地带来了很大压力。

(3)2000 - 2005 年京津风沙源区土地利用变化空间差异明显,草地退化转变为未利用土地的现象比较集中分布于北部干旱草原区中部和浑善达克沙地治理区西部,草地开垦的现象主要发生在浑善达克沙地治理区北部和农牧交错带沙化治理区东北部。此外,北京市北部的昌平、顺义城镇扩张侵占耕地的现象最明显。北部干旱草原区西南部即四子王旗南部退耕还草的现象最集中。

(4)2000 - 2008 年京津风沙源区的生态环境有所好转,春季最大 NDVI 值呈现明显上升的趋势。年 NDVI 增长较快的地区位于北部干旱草原治理区的中部和农牧交错带沙化治理区与燕山丘陵水源保护区的交界地带,而年 NDVI 降低较为明显的地区则集中于研究区的东北部和农牧交错带沙化治理区的西北地区。

(5)综合土地利用类型变化和植被覆盖状况变化,本研究认为,2000 年以来京津风沙源区整体的生态环境是趋于好转的。这种改善的结果主要来自各项治理工程的实施,如退耕还草、退耕还林、沙化治理等。但是,由于近期我国北方地区的气候干旱化趋势^[2],以及过去生态环境恶化的滞后影响,再加上全球增暖使春季地表解冻期提前^[18],诸如此类的气候波动导致了本区 2000 年和 2006 年出现较为频繁和大范围的沙尘天气。

参考文献:

- [1] 吴炳方,李苗苗,颜长珍,等. 生态环境典型治理区 5 年期遥感动态监测[J]. 遥感学报, 2005, 9(1): 32 - 38.
- [2] 叶笃正,丑纪范,刘纪远,等. 关于我国华北沙尘天气的成因与治理对策[J]. 地理学报, 2001, 55 (5): 513 - 522.
- [3] 张仁健,徐永福,韩志伟. 北京春季沙尘暴的近地面特征[J]. 气象, 2000, 31(2): 8 - 11.
- [4] 庄国顺,郭敬华,袁惠,等. 2000 年我国沙尘暴的组成、来源、粒径分布及其对全球环境的影响[J]. 科学通报, 2001, 46 (3): 191 - 197.
- [5] 彭继平,李钢铁. 2006 年我国沙尘暴灾害特点及原因分析[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(2): 61 - 64.

- [6] 顾卫, 蔡雪鹏, 谢锋. 植被覆盖与内蒙古沙尘暴日数分布的关系探讨——以内蒙古中西部地区为例[J]. 地球科学进展, 2002, 17(2): 273 - 277.
- [7] 毛睿, 龚道溢, 范一大. 春季天气变率对华北沙尘暴频次的影响[J]. 地理学报, 2005, 60(1): 12 - 20.
- [8] 韩爱惠. 用 MODIS 数据监测京津风沙源工程区植被指数的选择及合成[J]. 国土资源遥感, 2004(3): 54 - 56.
- [9] 袁金国, 王卫. 京津风沙源治理区森林动态遥感监测研究[J]. 安徽农业科学, 2005, 33(3): 479 - 481.
- [10] 马琼芳, 彭道黎. 基于 RS 的京津风沙源工程监测方法研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2009, 29(3): 71 - 74.
- [11] 吴波, 李晓松, 刘文. 京津风沙源工程区沙漠化防治区划与治理对策研究[J]. 林业科学, 2006, 42(10): 65 - 70.
- [12] 刘纪远, 庄大方, 张增祥, 等. 中国土地利用时空数据平台建设及其支持下的相关研究[J]. 地球信息科学, 2002, 4(3): 3 - 7.
- [13] 刘纪远, 刘明亮. 中国近期土地利用变化的空间格局分析[J]. 中国科学(D 辑), 2002, 32(12): 1031 - 1040.
- [14] 董金玮, 徐新良. 典型农牧交错区 LUCC 及农牧交替演化过程分析——以内蒙古赤峰市为例[J]. 地球信息科学学报, 2009, 11(4): 413 - 420.
- [15] 张雪艳, 胡云锋, 庄大方, 等. 蒙古高原 NDVI 的空间格局及空间分异[J]. 地理研究, 2009, 28(1): 10 - 18.
- [16] Michael C R. Is Northern China Winning the Battle against Desertification? ——Satellite Remote Sensing as A Tool to Study Biomass Trends on the Ordos Plateau in Semiarid China. AMBIO, 2000, 29(8): 468 - 476.
- [17] 燕云鹏, 和正民, 李建存, 等. 环北京地区土地利用变化监测与分析[J]. 国土资源遥感, 2008, 1: 64 - 68.
- [18] 钱正安, 宋敏红, 李万元. 近 50 年来中国北方沙尘暴的分布及变化趋势分析[J]. 中国沙漠, 2002, 22(2): 106 - 111.

The Spatial-Temporal Changes Monitoring of Ecological Environment in Source Area of the Sand and Dust Endangering Beijing-Tianjin by Remote Sensing

LIU Luo¹, XU Xinliang², DUAN Jiannan¹, LIU Xiaofang³

(1. College of Resources & Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;

2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

3. Zhiyuan Middle School in Qingdao Economic and Technological Development Zone, Qingdao 266510, China)

Abstract: We investigated the evaluative process of ecological environment of the Beijing - Tianjin sand and dust source region since 2000 based on three periods of land-use data (1995, 2000 and 2005), which were acquired from interpretation of TM images, and NDVI product of MODIS. The spatial conversion matrix method, average value method, MVC(Maximum Value Composites)method and linear regression of one variable method were adopted to analyze the trends of land use and vegetation cover condition. The results show that: (1) the tendency of farmland reclamation has decreased; the rate of grassland and forest reducing has decreased, too; and the area of water bodies reduced, because of the arid climate. The phenomenon of grassland degradation and unused land increasing still exists. (2) The disturbing degree of human activities on ecological environment got slow down; but the rapid growth of residential land and industrial and mining land has brought great pressure to ecological environment of the study region. And (3) the research on the change of maximum value of NDVI shows that the NDVI has increased in the study region. That means the vegetation cover condition becomes better. With the comprehensive analysis on the arid climate, we consider that the trend of ecological environment deterioration in the study region has been restrained. The regulation programs of the Beijing - Tianjin sand and dust source region has showed its effect.

Key words: remote sensing monitoring; ecological environment; LUCC; NDVI; Beijing-Tianjin sand and dust source region