

基于 RS 的北京山前平原区土地沙化研究

刘克^{1,2,3}, 赵文吉^{1,2,3}, 胡德勇^{1,2,3}

(1. 首都师范大学 资源环境与旅游学院, 北京 100048; 2. 三维信息获取与应用教育部重点实验室, 北京 100048; 3. 资源环境与地理信息系统北京市重点实验室, 北京 100048)

摘要:土地沙化是北京市最主要的生态环境问题之一, 是制约其城市发展的重要因素, 研究北京土地沙化的动态变化趋势及成因对保障北京市的生态安全和改善其环境质量有重要意义。利用 2007 年 4 月 SPOT5 卫星的多光谱和全色影像, 结合植被覆盖度, 土壤类型和土地利用类型这 3 种辅助数据, 进行沙化信息提取。根据所提取的信息, 分析北京山前平原区土地沙化现状和动态变化特征, 并结合气象、水文等多元信息资料的统计分析数据对其沙化成因进行探讨。研究结果表明: 在各种自然和人为因素的影响下, 研究区的沙化土地主要分布在永定河、潮白河、温榆河 3 条河流沿岸, 康庄、南口地区以及怀柔、密云大沙河地区; 沙地类型主要是固定沙地, 以轻度和中度沙化为主; 2007 年与 1999 年、2004 年北京沙化土地数据相比, 沙化土地总面积呈减少趋势, 表明北京市防沙治沙工作卓有成效, 前景乐观, 但局部依然存在边治理边破坏的现象, 防沙治沙工作依然任重而道远。

关键词:沙化; RS; 变化趋势; 成因

中图分类号:TP39; S157.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-6622(2009)01-0095-06

Research on Land Desertification of Beijing Piedmont Plain Area Based on Remote Sensing Technology

LIU Ke, ZHAO Wenji, HU Deyong

(1. College of Resources Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100048, China; 2. Laboratory of 3D Information Acquisition and Application, MOST, Beijing 100048, China; 3. Beijing Municipal Key Laboratory of Resources Environment and GIS, Beijing 100048, China)

Abstract: Land desertification, which is also the key factor restricting the development of Beijing, has become one of the most serious ecological environmental problems in the capital. As a result, it is urgent to study the transformation trends and formation causes of the land desertification for guaranteeing the ecological security and improving the ecological environment quality in Beijing. SPOT5 data (including panchromatic and multi bands) of Beijing area in April 2007 were acquired. The land desertification in the piedmont plain of Beijing was recognized and extracted with three types of data (vegetation coverage, soil type and land use) from above remote sensing data. According to the extracted information, the desertification status and dynamic characteristics were analyzed and evaluated with the support of RS technology. Then the formation causes of desertification were discussed combined with multiple statistical data such as meteorological information, hydrological information and so on. The result shows that with the double effects of nature and human beings, Yongding River, Chaobai River, Dasha River, Kangzhuang, Nankou and their surrounding areas are the principal distributing areas of the desertification land in Beijing. They are all fixed sand areas that mainly contain mild and moderate desertification. By comparing the result data of the land desertification among the years of 1999, 2004 and 2007, it is found that the total area of the desertification land has the trend of decrease. The area of the desertification land in each county in the suburb is reduced except Yanqing. It proves that the action of preventing and controlling the land desertification has obtained prominent effect. However, the phenomenon of destroying at the same time of improving still exists in some areas. Combating the land desertification still has a long way to go.

Key words: land desertification, remote sensing, transformation trends, formation causes

收稿日期:2008-09-29;修回日期:2008-10-29

基金项目:国家科技支撑计划“环北京区域地表环境遥感动态监测与评价技术研究”(2007BAH15B02)

作者简介:刘克(1984-),女,河北保定人,在读研究生,研究方向为遥感和地理信息系统应用。

土地沙化,是指因气候变化和人类不合理活动所导致的天然沙漠扩张和沙质土壤上植被破坏、沙土裸露的过程^①。沙化土地,包括已经沙化的土地和具有明显沙化趋势的土地。

北京市位于华北平原的西北边缘,地理坐标北纬 $39^{\circ}28' \sim 41^{\circ}05'$,东经 $115^{\circ}25' \sim 117^{\circ}35'$,总面积 1.67 万 km^2 ,山地约占总面积 62%,平原约占 38%,属于暖温带半湿润大陆季风性气候。北京地势西北高、东南低,西部、北部、东北部三面环山,中部及东南部是坦荡平原,由大大小小的扇形地和洪冲积平原连接而成。西部和北部的山间盆地和沟谷是北京的风口,冬春季容易就地扬沙起尘,形成风沙天气,所以土地沙化已成为北京最主要的生态环境问题之一。北京的生态环境承载力是制约北京城市发展的重要因素,首都的防沙治沙工作是北京市生态环境建设的重要组成部分。因此,研究北京土地沙化的动态变化趋势及成因,对保障北京市的生态安全和改善其环境质量起着很重要的作用。

20世纪 80 年代以来,沙质荒漠化遥感监测与评价随着理论的成熟、技术的进步和方法的完善,逐步从定性走向定量,从主观走向客观^[1]。本研究基于 2007 年 SPOT5 卫星影像,在 RS 技术支持下对北京山前平原区沙化现状和动态特征进行分析评价,并结合气象、水文等多元信息资料的统计分析数据对其沙化成因进行探讨,为沙化土地的恢复和合理利用提供有利的科学依据。

1 数据与技术路线

1.1 基础数据

在土地沙化监测研究中,卫星影像的季相选择非常关键。冬季由于植被生长状况不好,降水又少,地物色调比较单调;夏季沙化地区植被最为茂盛,茂密的农作物耕地易与林地混淆,也不利于根据植被覆盖度对土地沙化程度分级^[2]。结合北京市风沙危害以 3—5 月份为多发期这一特点,选择 2007 年 4 月的 SPOT5 卫星的 10m 多光谱和 2.5m 全色影像,有利于瞬时状态下使用图像较明显的反应地表信

息。另外,选择地形图(纸质)、土壤类型图(矢量)、土地利用类型图(矢量,2007 年)、其它相关资料及统计年鉴等作为辅助数据。

1.2 技术路线

在对 SPOT5 卫星影像进行预处理基础上,通过实地考察和参考其它相关资料,建立土地沙化的评价指标和解译标志,然后提取研究区沙化信息,结合野外验证数据生成 2007 年研究区沙化现状专题图,并分析沙化现状、动态变化及沙化成因,具体技术流程见图 1。

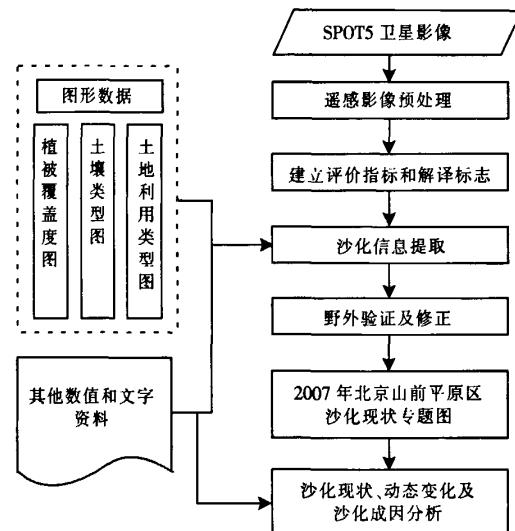


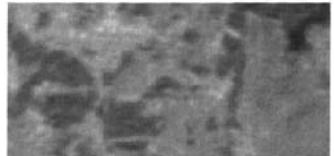
图 1 北京山前平原区沙化调查与分析技术路线

2 沙化信息提取

根据 SPOT5 的 4 个波段的分辨率、波长以及研究区中解译对象的特点,选择波段 2、波段 1、波段 3 组合的图像进行研究。波段 2、波段 1、波段 3 组合的图像能够较好地反映植被覆盖状况。经过图像增强合成处理后,基于光谱图库图像的色彩和纹理清晰,便于解译。通过对遥感影像判读解译,结合野外实地考察,依据 1998 年国家林业局制定的《全国荒漠化监测主要技术规定》,将研究区土地沙化程度分为轻、中两个级别,制定了研究区沙化等级解译标志(表 1)。

① 国家林业局.全国荒漠化监测主要技术规定.1998.

表 1 北京山前平原区沙化解译标志

沙化等级	植被盖度	土壤质地	纹理	颜色	影像
轻度沙化	50%以上	砂壤土	不规则块状,植被分布不均匀	植被绿色与浅紫红色相间,深绿色占据主要部分	
中度沙化	10%~49%	粉砂土、砂土	不规则斑块,植被零散分布	主要为浅红色调,偏白色,有少量绿色调	

根据表 1 中构建的解译标志,结合植被覆盖度、土壤类型和土地利用类型^[3~4],在 ArcGIS 软件支持下进行沙化信息提取,得到 2007 年北京山前平原区沙化现状专题图(图 2)。

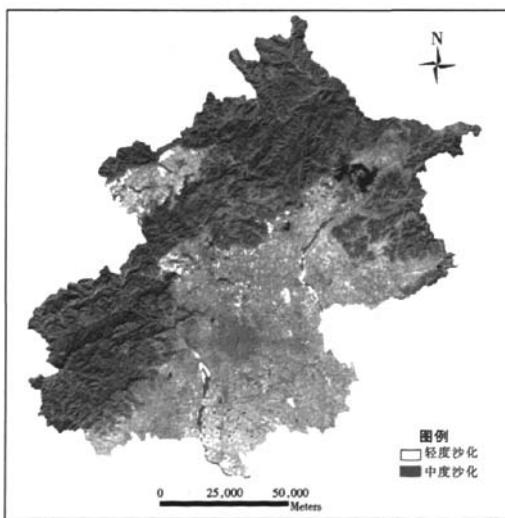


图 2 2007 年北京山前平原区沙化现状专题图

3 结果分析

3.1 沙化现状分析

北京山前平原区沙化土地集中分布在永定河、潮白河、温榆河 3 条河流沿岸,康庄、南口地区以及怀柔、密云大沙河地区,在北京北山的山前洪积扇群

处分布有呈串珠状的沙化土地。永定河流域沙化面积最大,约占沙化土地总面积的 65%,集中在永定河古河道和泛滥区。永定河决口泛滥形成一种堤外沙质堆积物,由北向南沙带有序排列,并向东南延伸,带间地区沉积颗粒大小混杂,从山前向平原渐细。潮白河北段除西田各庄附近白河与雁西河之间有较大面积的沙和沙砾石地外,以下基本局限于河床附近,约占沙化土地总面积的 20%。温榆河的沙土则主要拘囿于河床两侧。

北京山前平原区沙化土地总面积为 506.35km²,在北京 18 个区(县)中,11 个区(县)有沙化土地分布,占总数的 61.11%。各区(县)沙化面积分布不均(图 3),最大的为大兴区,占沙化土地总面积的 32.14%,占大兴区面积的 15.54%;其次是延庆县 109.14 km²,占沙化土地总面积的 21.55%,占延庆县面积的 5.48%;再次是昌平区 73.69km²,占沙化土地总面积的 14.55%,占昌平区面积的 5.44%。

从沙地类型上看,全部为固定沙地,沙化程度主要是轻度沙化和中度沙化,其中又以轻度沙化为主。轻度沙化土地占沙化土地总面积的 78.95%,中度沙化土地占沙化土地总面积的 21.05%。各区(县)沙化强度差异明显,轻度沙化土地主要分布在大兴区和延庆县,两区(县)轻度沙化面积之和占轻度沙化土地总面积的 54.63%,中度沙化土地主要分布在大兴区,占中度沙化土地总面积的 37.26%。

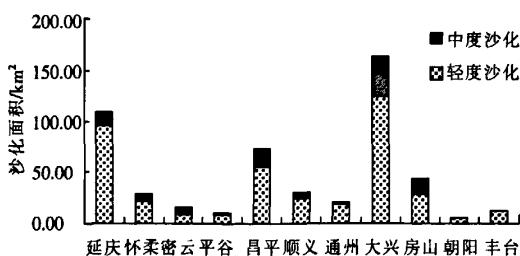


图 3 2007 年北京山前平原区沙化土地面积统计

3.2 1999—2007 年北京山前平原区沙化土地变化分析

1999—2007 年北京山前平原区沙化土地面积呈递减趋势:由 1999 年的 562.34 km^2 减少到 2004 年的 546.21 km^2 再减少到 2007 年的 506.35 km^2 。9 年间共减少了 55.99 km^2 , 减少幅度达 9.96%。1999—2004 年 6 年间, 平均每年以 0.48% 的速度减少, 2004—2007 年 4 年间, 平均每年以 1.88% 的速度减少。绝大部分区(县)沙化土地面积都在减少(图 4), 其中平谷、顺义和大兴减少幅度最大, 分别减少了 24.49 km^2 、 10.71 km^2 和 10.56 km^2 。近年来, 北京市采取了一系列重大举措, 大力开展以植树造林、增加林草植被覆盖为主要内容的防沙治沙工

作, 取得了显著成效: 永定河、潮白河等风沙危害区已得到有效治理(图 5), 共营造防风固沙林约 733.34 km^2 , 实施沙地播草覆盖约 100 km^2 ; 全市森林覆盖率由 20 世纪 50 年代初的 1.3% 提高到 35.5%, 林木绿化率达到 51%; 城市、平原、山区三道绿色生态屏障基本形成; 在沙地和潜在沙化土地上栽植果园和片林约 1333.34 km^2 , 完成退耕造林 366.67 km^2 , 郊区农民依靠果品生产及深加工, 年均增收 20 亿元, 沙化面积基本得到控制^[5]。但是仍然应该看到局部地段沙化情况恶化, 1999—2007 年延庆县沙化面积增加了 20.5 km^2 , 防沙治沙过程中存在边治理边破坏的情况。

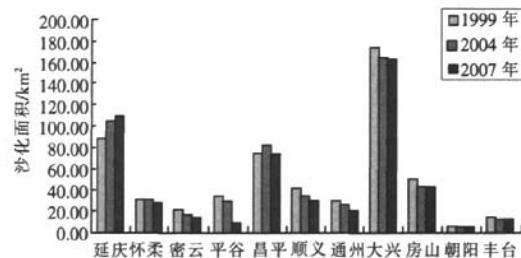


图 4 1999—2007 年北京各区(县)土地沙化面积统计

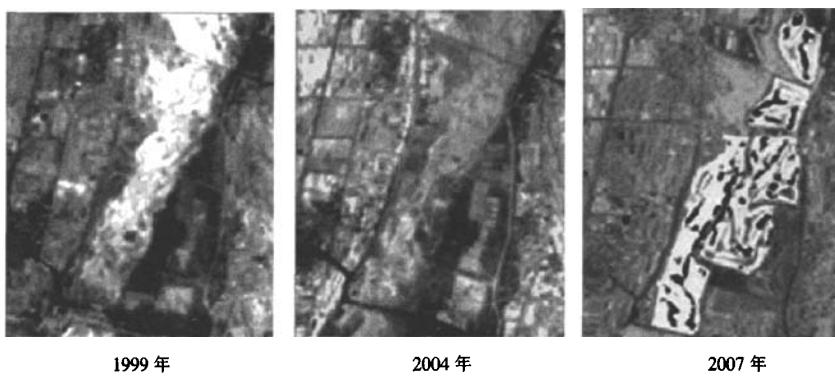


图 5 1999—2007 年永定河下游河道治理变化遥感影像

4 沙化成因分析

在荒漠化演化过程中, 自然作用占主导地位, 气候变化是关键因素, 地质作用控制的水文条件、地表风化作用和地形地貌, 是控制大规模荒漠化的重要

因素, 而人类活动只是有限加速或缓解荒漠化演化的局部因素^[2]。我国土地荒漠化主要原因是恶劣的自然条件(干旱、大风及地表丰富的沙物质)、气候变异(全球变化)和人类不合理的经营行为所致^[6]。因

此,本研究从自然因素和人为因素两个方面来探讨北京山前平原区土地沙化的成因^[7]。

4.1 自然因素

4.1.1 地质条件

疏松的土壤是土地沙化的物质基础。北京平原北靠燕山,西接西山,除西山山前有较宽阔的黄土台地外,其余为永定河、潮白河、温榆河及其支流的冲积平原。成土母质以河流冲积亚粘土、亚砂土和粗细砂为主,仅局部地区有质地较粘的重壤土和粘土类土。物理性沙粒含量为主的沙质土壤或沉积物大量分布,使地表具有易蚀性,从而为风沙活动提供了物质基础^[8]。

4.1.2 河道变迁

北京平原由永定河、潮白河、温榆河、泃河、拒马河等河流冲积而成。全新世时,受构造运动和外力堆积作用,这些河流曾发生多次改道,在沉积物上表现为冲积砂砾石堆积^[9]。这些成为重要的沙源。

4.1.3 气象条件

1) 风旱同步

北京属于季风气候,冬季盛行偏北风,夏季盛行偏南风。每年3—5月间,冷暖空气频繁交替活动,产生大风。气象部门规定,瞬时风速等于或大于17m/s(7级)的风称为大风,这一天不论大风持续时间长短,均记为大风日。北京年均大风日数在11~36d之间。延庆、昌平、古北口、怀柔、通州区为大风区,年均在25d以上,其中延庆更达36.5d之多。北京地区受地形影响有3个风口,形成3条风廊:①自延庆县康庄、八达岭昌平区关沟(居庸关、南口),顺温榆河河谷而下;②由密云县古北口入境,然后分为两支,一支经潮白河、小中河在顺义区与关沟来的风廊汇合,一支经错河河谷,在平谷区中部形成风廊;③顺永定河河谷形成风廊。风廊中最大风速达20~30m/s(9级)。春季既是大风季节,也是一年中降水较少的季节,这种风旱时间上的同步性,加重了土地沙化营力的危害性^[10];而且这个时期农地、果园和草场的植被覆盖较低,裸露的土壤变得更为干燥、疏松,极易被风蚀。

2) 气温

受“温室效应”的影响,近年来,全球普遍出现了气温增高的趋势。“暖春”使北京地区地表层解冻,土壤水分蒸发大,土质疏松,加剧了土壤退化。

4.1.4 自然灾害

1) 水土流失

山区水土流失可以导致河流的泥沙量增多,当河系进入平原后,所携带的泥沙迅速堆积,为沙化提供了充足的沙源^[2]。北京地区处于黄土高原以东和内蒙古高原以南,由高原向平原过渡的地带,物理风化强烈,土质疏松;植被破坏严重,覆盖率低;在季风作用下,降水集中在夏季,且以暴雨形式出现。由于上述原因,北京河流含沙量大于我国东部其他地区。永定河官厅和三家店的多年平均含沙量都超过40kg/m³,最大含沙量达到450kg/m³左右;白河最大含沙量大于80kg/m³。侵蚀模数如表2所示。北京地区的河流侵蚀模数偏大,永定河侵蚀模数最大537.5t/(km²·a),其次是白河和拒马河,分别为258.8t/(km²·a)和202.0t/(km²·a)。

2) 旱涝灾害

旱涝灾害交替发生破坏土壤的物理、化学及生物等水土保持条件,在风蚀作用下,致使大面积地表植被覆盖度减少,最终导致土地沙化。涝灾发生时,河流中形成很高的洪水位,易造成河流泛滥,河水夹带泥沙在低洼地区沉积,形成最基本的沙源^[1]。以永定河和潮白河为例,据史料记载,永定河历史上共发生I级洪水7次(洪峰量6 500m³/s以上),II级洪水10次(洪峰量4 500~6 500m³/s),公元1115—1949年间,永定河发生决口81次,漫溢59次;潮白河1368—1948年的581年间,共发生过49次较大洪水灾害,1949—1995的47年间,发生的大小洪涝灾害年份有31年,较大洪涝灾害有15次。旱灾发生时,由于蒸发量大,地表土壤干燥,表层土质疏松、粘力差,再加上春季多大风,易形成风沙化土地^[11],北京地区历史上旱灾频繁,1949年以前的580年间较大的旱灾发生过407次;1949—1990年42年间,

^① 北京市林业局.北京市第三次土地荒漠化和沙化监测报告.2005.

旱年有 18 年,占 49.2%。其中有 5 个较大旱灾年; 1999—2007 年连续 9 年干旱^[12]。

表 2 北京主要河流侵蚀模数统计^①

水系名称	河流名称	测站名称	流域面积/km ²	多年平均		
				输沙率数/(kg/s)	输沙量/t	侵蚀模/(t/(km ² ·a))
大清河	大石河	漫水河	660	1.81	57100	86.5
	拒马河	张坊	4810	30.7	970000	202.0
永定河	永定河	官厅—三家店	1600	27.3	860900	537.5
	清水河	青白口	557	1.19	37600	67.5
潮白河	白河	张家坟	8712	71.5	2584800	258.8
	潮河	辛店	5730	32.9	1037500	181.0
温榆北运河	北运河	通州	2650	11.67	368000	138.9
蓟运河	泃河	泥河—新集	1911	4.41	139000	72.7

4.2 人为因素

4.2.1 水资源利用不合理

1) 开发地表水

北京官厅、密云水库的修建虽然一定程度上缓解了北京市用水困难,但同时使永定河、潮白河流域地表水大幅减少,进而导致河道周边植被衰退,土地沙化加剧。

2) 超采地下水

由于连续干旱年,地表供水不足,为满足人民生产生活用水,需长期超量开采地下水,从而引起地下水大幅度下降,继而造成漏斗区。2005 年末北京市地下水埋深为 20.21m,与 1980 年末比较,地下水水位下降 12.97m,储量减少 70.5 亿 m³;与 1960 年比较,地下水水位下降 17.02m,储量减少 87.1m³^②。因地下水位大幅度下降,使河流水位大大高于地下水水位,造成河水大量补给地下水,加速河流的干涸,使河床及两岸的土地沙化,形成新的沙源。伴随河水下渗与河流干涸,地表植被因缺水而干枯致死,从而加速了土地沙化进程^[13]。

4.2.2 滥垦

北京山前平原区沙化土地限于土壤条件,主要种植块根、块茎和花生等经济作物。四、五月播种、栽植,九、十月收获,然后将这些固定沙丘(沙地)表面覆盖的薄土壤彻底翻松,至来年春天再播种、栽

植。沙土缺少粘粒和腐殖质等胶结物质,秋季收获时的刨、挖将土壤天然结构破坏,常见单粒结构或结合不紧密的小团块、土块结构^[8],而且从收获到再次种植这半年多的时间土壤完全呈疏松裸露状态,表土水分条件又差,是风季产生风沙的最主要土壤。

4.3.3 非法采砂

由于经济利益的驱动,近年来北京河道内外的非法采砂现象愈演愈烈。据北京矿业协会不完全统计,目前北京市和周边地区取得采矿证的各种砂石生产企业共 100 多家,年产砂石约 7000 万 t,但非法采砂点的数量远远高于合法采砂企业,仅北京地区就有非法采砂点 200 处以上,年产砂石量达 2000 多万 t。很多河床已被挖得千疮百孔,沙坑星罗棋布,毁坏了地表植被,破坏了土壤结构,直接造成沙化土地面积的扩大。

5 结论

本研究基于 RS 技术,针对北京山前平原区沙化的情况,利用 SPOT5 卫星遥感图像,结合植被覆盖度、土壤类型、土地利用类型这 3 种辅助数据,对研究区的沙化程度进行了遥感图像解译,并对其沙化现状、动态变化及沙化成因进行了初步分析(下转第 113 页)

① 北京市水利局.北京市地表水资源.1985.

② 北京市水务局.2005 年北京市水资源公报.2005.

[3] Zhang Y. Optimisation of building detection satellite images by combining multispectral classification and texture filtering [J]. *PE&RS*, 1999, 54: 50-60.

[4] 黄慧萍,吴炳方,李苗苗.高分辨率影像城市绿地快速提取技术与应用[J].遥感学报,2004,8(1):68-74.

[5] Vapnik V N. The nature of statistical learning theory [M]. New York:Springer-Verlag, 1995.

[6] Burges C J C. A tutorial on support vector machines for pattern recognition [J]. *Knowledge Discovery and Data Mining*, 1998, 2 (2).

[7] Cortes C, Vapnik V. Support vector networks [J]. *Machine Learning*, 1995; 20 (3):273-297.

[8] Scholkopf B, Platt J C, Shawe Taylor J, et al. Estimating the support of a high-dimensional distribution [J]. *Neural Computation*, 2001, 13(7):1443-1471.

[9] Seidel K, Schroder M, Schwarz G, et al. Query by image content from remote sensing archives [J]. *Proc IEEE IGARSS*, 1997, 97 (1):616-618.

[10] Manjunath B S, Ma W Y. Browning large satellite and aerial photography [J]. *IEEE Int Conf on Image Processing*, 1996, 2: 765-768.

[11] 刘江华,程君实,陈佳品.支持向量机训练算法综述[J].信息与控制,2002,31 (1):45-50.

[12] 张锦水,何春阳,潘耀忠,等.基于SVM的多源信息复合的高空间分辨率遥感数据分类研究[J].遥感学报,2006(1):49-57.

[13] Strang G. *Introduction to applied mathematics* [M]. Wellesley, MA: Wellesley-Cambridge Press, 1986.

[14] 刘江华,程君实,陈佳品.支持向量机训练算法综述[J].信息与控制,2002,31(1):45-50.

[15] Gong P, Howarth P J. The use of structural information for improving land-cover classification accuracies at the ruralurban fringe [J]. 1990, 56(1):67-731.

[16] Chang C C, Lin C J. LIBSVM: a library for Support Vector Machines [EB/OL]. <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm/>. [2008-09-28]. 2004.

[17] Kerrthi S S, Lin C J. Asymptotic behaviors of Support Vector Machines with Gaussian Kernel [J]. *Neural Computation*, 2003, 15 (7):1667-1689.

[18] Joachims T. *Making Large-Scale SVM Learning Practical* [C]//. Scholkopf B, Burges C, Smola A. *Advances in Kernel Methods-Support Vector Learning*. Boston: MIT Press, 1999.

[19] Jiang H, Liu S R, Sun P S, et al. The influence of vegetation type on the hydrological process in landscape scale [J]. *Canadian Journal of Remote Sensing* 2004, 30:743-763.

[20] Jiang H, Strittholt J R, Frost P A, et al. The classification of late serial forests in the Pacific northwest, USA using Landsat ETM+ imagery [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 91: 320-331.

[21] Kwang I, Keechul J, Hang J. Support Vector Machines for texture classification [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2002, 24(11):256-264.

(上接第100页)

和探讨。结果显示研究区的沙化土地主要分布在永定河、潮白河、温榆河3条河流沿岸,康庄、南口地区以及怀柔、密云大沙河地区;沙地类型主要是固定沙地,以轻度和中度沙化为主;2007年与1999年、2004年北京沙化土地数据相比,沙化土地总面积呈减少趋势,但局部治理与破坏相持。沙化是自然和人为双重作用下的结果。研究成果可为北京地区的土地沙化防治和生态环境改善提供依据。

参考文献:

[1] 曾永年,冯兆东.沙质荒漠化遥感监测与环境影响研究进展[J].*山地学报*,2005,23(2):218-227.

[2] 陈建平,王功文,丁火平,等.北京荒漠化演化模拟与评价[M].北京:地质出版社,2004:1-85.

[3] 陈浩,周金星,陆中臣,等.荒漠化地区生态安全评价——以首都圈怀来县为例[J].*水土保持学报*,2003,17(1):58-62.

[4] 齐善忠,罗芳,肖洪浪.干旱内卢河流域土地利用变化及其对环境的影响——以西北地区黑河流域为例[J].*生态环境*,2006,15 (4):757-760.

[5] 李金海,史亚军.科学治沙的理论与实践——北京京津风沙源治理工程实例[M].北京:中国农业大学出版社,2007:1-44.

[6] Zhang Kebin, Yang Xiaohui. Desertification assessment indicator system in China [J]. *Forestry Studies in China*, 2002, 4(1):44-48.

[7] 丁建丽,塔西甫拉提·特依拜,熊黑钢,等.塔里木盆地南缘绿洲荒漠化动态变化遥感研究——以策勒县为例[J].*遥感学报*,2002,6(1):56-62.

[8] 陈广庭.北京平原土壤机械组成和抗风蚀能力的分析[J].*干旱区资源与环境*,1991,5(1):103-113.

[9] 李华章.北京地区第四纪古地理研究[M].北京:地质出版社,1995:28-40.

[10] 贺大良,陈广庭.北京地区风沙活动的现状[J].*地理研究*,1991,10(4):59-67.

[11] 岳德鹏,黄月艳,刘永兵,等.北京市永定河河滩流动沙地风沙活动分析[J].*水土保持研究*,2006,13(2):102-104.

[12] 北京市潮白河管理处.潮白河水旱灾害[M].北京:中国水利水电出版社,2004:1-209.

[13] 王建,李文君,宋冬梅,等.近30年来民勤土地荒漠化变化遥感分析[J].*遥感学报*,2004,8(3):282-288.