

基于 Landsat TM/ETM⁺ 的西安市城市热岛效应时空演变

苏雅丽, 张艳芳

(陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

摘要: 为了对西安市城市热岛时空演变特征进行研究,以 1990,2002,2007 年三景 Landsat TM/ETM⁺ 遥感影像为数据基础,分别反演出 1990,2002,2007 年西安市亮度温度,并对其进行极值归一化处理。将处理结果分为 6 个等级,对比分析西安市 3 个时期的城市热岛比例指数(URI)。通过分析归一化植被指数(NDVI)与城市热岛效应的关系进一步研究了植被覆盖对城市热岛效应的影响。结果表明:(1)1990—2007 年,西安市城市热岛比例指数不断上升,西安市城市热岛效应逐年增强;(2)1990—2007 年,西安市城市热岛效应呈现出散点状—片状—连片状的空间形态变化特征,并由莲湖区、新城、雁塔区、碑林区向未央区、灞桥区扩散;(3)NDVI 与城市热岛效应呈负相关性,适当增加城市绿地对于缓解城市热岛效应具有积极作用。

关键词: 亮度温度;城市热岛比例指数;城市热岛效应;西安市

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)05-0230-05

中图分类号: X16

Spatio-temporal Characteristics of Urban Heat Island Effect of Xi'an City Based on Landsat TM/ETM⁺

SU Ya-li, ZHANG Yan-fang

(College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China)

Abstract: To study spatio-temporal characteristics of urban heat island effect of Xi'an City, the study inverted brightness temperatures of three time periods based on three Landsat TM/ETM⁺ images of 1990, 2002 and 2007, which were then normalized and scaled into six grades to calculate urban-heat-island ratio index (URI). The impacts of vegetation on urban heat island were further discussed through the relationship between NDVI values and urban heat islands. The results show that URI increased and the effects of urban heat island were strengthened in Xi'an City from 1990 to 2007. During this period, the urban heat islands evolved from scattered spots to flakes, and then to connected flakes, and the distribution of urban heat island approached from the districts of Lianhu, Xincheng, Yanta, Beilin to the districts of Weiyang and Baqiao. The NDVI values were negatively correlated with urban heat island. Appropriately increasing urban green areas might be able to reduce significantly the urban heat island effect.

Keywords: brightness temperature; urban-heat-island ratio index(URI); urban heat island; Xi'an City

城市热岛效应是城市化的结果,是指城市发展到一定规模,由于城市下垫面性质的改变、大气污染以及人工废热的排放等导致热量在城市空间范围内聚集,使得城区气温明显高于周围郊区气温,在城市热岛分布图上显示出城区好像一个温暖岛屿的现象^[1],

成为城市不同于其以外地域气候最明显的特征之一^[2]。近年来,大规模城市化对于城市局部气候的影响日益增强,因此对城市热岛效应的研究已成为诸多学者研究的热点问题。在研究内容上,目前利用 Landsat TM/ETM⁺ 数据研究城市热岛主要集中在

收稿日期:2010-11-15

修回日期:2011-01-29

资助项目:国家自然科学基金项目“西北黄土高原台塬区土地资源开发利用与生态安全动态分析”(41071057);陕西省社会科学基金项目“陕西土地利用的低碳效应与低碳经济发展模式研究”(10E126);教育部人文社会科学研究规划基金项目“区域土地利用的低碳效应与低碳经济发展模式研究:以西安市为例”(10XJA790011)

作者简介:苏雅丽(1987—),女(汉族),山西省临汾市人,硕士研究生,主要从事水土资源评价与规划研究。E-mail:suyali014@sina.com。

通讯作者:张艳芳(1969—),女(汉族),陕西省榆林市人,博士,副教授,主要从事水土资源评价、生态安全与 GIS 研究。E-mail:zhangyf@snnu.edu.cn。

城市热岛的形成机制、形态结构及时空变化特征 3 个方面^[3-4]。形成城市热岛效应的主要驱动因素是城市下垫面性质的改变和大量人为热排放,此外,风速、大气稳定度等外部因素也对城市热岛效应的强度有重要影响^[5-9]。有研究已证明植被覆盖与城市热岛效应的关系呈现出负相关性的特点^[10-12]。一些学者对南京、兰州、江苏等地的城市热岛效应进行的分析研究表明市区存在比较明显的城市热岛效应,并且城市热岛效应都有增强的趋势^[13-15]。在研究方法上,早期的城市热岛遥感研究主要是利用美国气象卫星 NOAA/AVHRR 进行城市热岛分布特征及动态变化分析,Landsat TM/ETM⁺基本是在 20 世纪 90 年代后的热岛研究中得到广泛应用的^[4]。对西安热岛效应的研究表明,作为西北地区最大的中心城市,西安因城市热岛效应平均气温上升了 1.07 °C^[16]。一些学者对西安城市热岛效应做了研究^[17-19],但从方法来看,主要是基于气象资料的整理分析,这种方法通过选取空间上离散的点信息计算城市热岛,存在空间尺度转换的问题,较难全面地掌握城市热岛效应的空间分布情况。本文则主要是以 Landsat TM/ETM⁺ 遥感影像为基础,通过对不同时期的遥感影像进行对比分析,研究西安市城市热岛效应的时空演变特征。

1 研究区概况

西安市位于黄河流域中部的关中平原,地理坐标为 107°40′—109°49′E 和 33°39′—34°45′N,北临渭河,南依秦岭,东西长约 204 km,南北宽约 116 km,平均海拔 424 m,面积 9 983 km²。西安属暖温带半湿润大陆性季风气候,年平均气温 13.6 °C,年平均降雨量 553.3 mm。辖区范围包括莲湖区、新城区、碑林区、雁塔区、未央区、灞桥区、阎良区、临潼区、长安区 9 区和蓝田县、周至县、户县、高陵县 4 县。近年来随着西部大开发的推进,西安市经济快速发展,城镇建设急剧扩大,由于城市周围地理环境、下垫面因素以及人为因素的影响,热岛效应十分明显^[20]。

西安市的莲湖区、新城区、碑林区、雁塔区、未央区、灞桥区 6 区,是西安市经济最为发达和人口最为稠密的地区,因此,本文以城 6 区为研究重点区域,分析西安市城市热岛强度和空间分布特征。

2 数据来源和预处理

2.1 数据来源

本研究采用了三景 Landsat TM/ETM⁺ 遥感数据,第 6 波段空间分辨率为 120 m,其余 6 个多光谱波段空间分辨率为 30 m,成像时间分别为 1990 年 8 月 23 日,2002 年 6 月 2 日,2007 年 8 月 12 日。

2.2 土地覆盖分类

根据研究区的实际情况,采用监督分类将 1990, 2002 年和 2007 年西安市土地覆盖类型分为 6 类:水体、耕地、林地、草地、建设用地和未利用地,得到 3 个时期的土地覆盖类型情况。

3 研究方法

3.1 亮度温度反演

在研究城市热岛效应时,许多学者利用单窗算法或单通道算法反演地表温度的方法来研究城市热岛效应。虽然亮度温度和地表温度在数值上并不相等,但二者具有很强的相关性,亮度温度的空间分布可以很好地拟合地表温度在空间上的分布^[10]。本研究的目的是获得城市热岛的相对强度和空间分布格局,因此可以不反演出地表的真实温度,只需要反演出和地表真实温度具有同一强弱趋势变化的亮度温度。

在求算亮度温度的过程中,首先要将 Landsat TM/ETM⁺ 数据第 6 波段的灰度值(DN 值)转化为相应的热辐射亮度值,其次,再将热辐射亮度值转换成亮度温度。公式如下:

$$L = G_{\text{ain}} \cdot \text{DN} + B_{\text{ias}} \quad (1)$$

式中: L ——辐射亮度; DN ——像元灰度值; G_{ain} ——增益; B_{ias} ——偏移值,计算得到的辐射亮度 $[W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)]$ 。求得热辐射亮度 L 后,再利用如下公式将其转化为亮度温度:

$$T_B = K_2 / \ln(1 + K_1 / L) \quad (2)$$

式中: T_B ——亮度温度; K_1, K_2 ——亮度反演常量。计算得到的亮度温度单位为 K。

将式(1)和式(2)合并,得到亮度温度的计算公式:

$$T_B = K_2 / \ln[1 + K_1 / (G_{\text{ain}} \cdot \text{DN} + B_{\text{ias}})] \quad (3)$$

Landsat TM/ETM⁺ 的相关参数见表 1。

表 1 Landsat TM/ETM⁺ 热红外波段相关参数值

项目	Landsat 5/TM	Landsat 7/ETM ⁺
$K_1/(W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1})$	60.776	666.090
K_2/K	1 260.560	1 282.710
增益 G_{ain}	0.006	0.037
偏移值 B_{ias}	0.124	3.200

注: K_1, K_2 为亮度反演常量。

3.2 城市热岛比例指数

由于客观条件的限制,难以获得一个地区不同时期的同时相遥感影像图,为了减少不同时期遥感影像图之间的差异,引入城市热岛比例指数(URI)^[21]。城市热岛比例指数是通过计算城市热岛面积与建成

区面积的比例,并赋予权重来表征热岛在城市建成区的发育程度。公式如下:

$$URI = \frac{1}{100m} \sum_{i=1}^n W_i P_i \quad (4)$$

式中:URI——城市热岛比例指数; m ——正规化等级指数; i ——城区高于郊区的温度等级; n ——城区高于郊区的温度等级数; W ——权重值,取第 i 级的级值; P ——第 i 级的百分比。城市热岛比例指数值越大,热岛现象越严重。

3.3 归一化植被指数

植被通过光合作用、蒸腾和蒸散作用降低温度,增加湿度,调节城市温度^[11]。归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)是反映土地覆盖植被状况的一种遥感指标,主要用于检测植被生长状态和植被覆盖度。

$$NDVI = \frac{B_4 - B_3}{B_4 + B_3} \quad (5)$$

式中: B_4, B_3 ——第 4 波段和第 3 波段的像元灰度值(DN 值)。

4 结果与分析

4.1 城市热岛效应时间演变特征

为了定量分析西安市城市热岛效应,根据式(3)分别反演出 1990, 2002 和 2007 年西安市的亮度温度。由于 3 期的遥感影像不是同一季的,为了提高研究的可比性,对这 3 期的亮度温度进行极值归一化处理,并对归一化后的亮温进行等级分类,将亮温划分为 6 个等级(图 1),并统计出各个等级的比例(表 2)。从图 1 中可以看出,城区中心主要是 4—6 级,而外围区域的亮温主要位于 1—3 级,所以,本研究将 4—6 级确定为城市热岛范围。通过式(4)计算得到 1990, 2002, 2007 年西安市城市热岛比例指数分别为: 0.007, 0.201, 0.572。从城市热岛比例指数的逐年变化看出,1990 年至今,西安市城市热岛效应逐年增加。这主要是由于自改革开放,城市中土地利用结构和能源消耗结构发生了变化,城市下垫面除少量绿地和水体外,绝大多数为人工铺砌的导热率和热容量较大的道路和建筑物,再加上人类活动所产生的热量,使得西安市城市热岛效应在 1990—2007 年呈增加趋势。其中,又因自 2000 年西部大开发战略的实施,西安作为西北地区最大的中心城市,经济进入快速发展时期,特别是从 2001 年开始,西安市生产总值连续 8 a 保持了 13% 以上的速度^[22],城市化进程加快,所以在经济快速发展下城市热岛效应也较以前有大幅增加,表现在 2002—2007 年仅 5 a 的城市热岛比例指

数就增加了 0.371,增幅远远大于 1990—2002 年的增幅 0.194。

表 2 1990—2007 年西安市城市热岛强度等级比例 %

年份	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级	6 级
1990	1.65	67.88	29.49	0.98	0.01	0
2002	0.03	2.03	68.08	29.15	0.62	0.10
2007	0.04	0.48	15.62	75.60	7.94	0.33

4.2 城市热岛效应空间演变特征

分析西安市热岛强度空间分布图(图 1)可知: 1990—2007 年西安市热岛效应逐年增强,且呈现出由中央向四周扩散的现象。具体来说,1990 年西安市城市热岛效应呈散点状分布在莲湖区和新城区,且范围很小,仅占到 0.99%。这与这一时期计划经济下经济发展缓慢有很大关系。2002 年西安市热岛效应凸现,热岛效应范围由散点分布变为片状分布,主要集中在莲湖区、新城区、碑林区和雁塔区,且分布范围也开始由莲湖区、新城区、碑林区和雁塔区向未央区、灞桥区蔓延。到 2007 年,热岛效应已基本呈连片状覆盖西安城区,热岛效应占到城区总面积的 83.87%,并且 5,6 级的热岛效应分布范围较 2002 年有大幅增加。这主要是由于实施西部大开发战略后,西安市土地利用类型发生了很大的变化,1990—2007 年建设用地面积逐渐扩大,耕地和未利用地逐渐减少。其中 2000—2007 年,耕地减少 2 599.8 hm²,未利用地减少 2 016.0 hm²,建设用地增加 3 410.0 hm²^[23],大量以砖石、水泥和沥青等材料为主的高热容量,高导热率,低保水性的下垫层的出现,以及城市天穹减少,人类活动增加带来的大量人为热,造成了城市热岛效应的加剧。其中,又以未央区和灞桥区的热岛效应变化最为显著,5,6 级热岛效应主要分布于此。究其原因是未央区和灞桥区自“十一五”开始,大量农业用地转变为非农用地,加之一些工业重点项目的引入,人为热大幅增加,加剧了热岛效应。比较 3 个时期的土地覆盖类型情况和图 1 还可以看出热岛效应呈现出与城市建设用地相同的变化态势。

土地利用类型的变化导致土地覆被的变化,从而导致诸如植被覆盖、生物物种量等物理特性的变化,而植被通过光合作用、蒸腾和蒸散调节城市温度。通过比较 1990, 2002 和 2007 年 3 a 的 NDVI 分布图(图 2)和热岛强度空间分布图(图 1)可知,NDVI 值较低的区域,城市热岛强度往往高,诸如莲湖区、新城区、碑林林区,相反,NDVI 值高的区域,城市热岛强度反而低,例如未央区。但有一例外,灞桥区虽然有较高的 NDVI 值,但其城市热岛强度也较高,二者之

间并没有呈现较好的负相关关系,这主要有两方面的原因。一方面,灞桥区是西安集纺织、印染、航天、航空、农副生产为一体的近郊区,有西北地区最大的纺织工业基地,此外,灞桥热电厂、西安市硅酸盐厂等多家大中型企业也位于灞桥区。另一方面,城市热岛效

应与 NDVI 相关性的显著程度呈现由中心向边缘递减的格局。此外,城市热岛效应与 DNVl 的相关性还受到下垫面复杂性的影响,下垫面土地结构越复杂,剖面上亮度温度与 NDVI 的相关性越显著,植被对温度的调节作用越强^[10]。

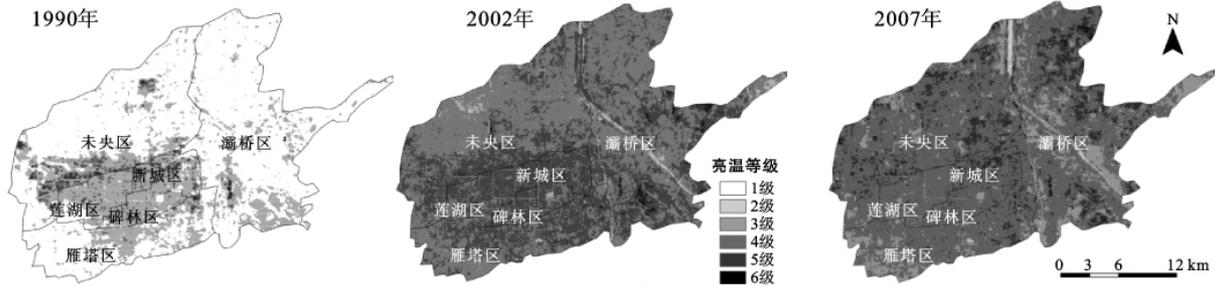


图1 西安市城6区热岛强度空间分布

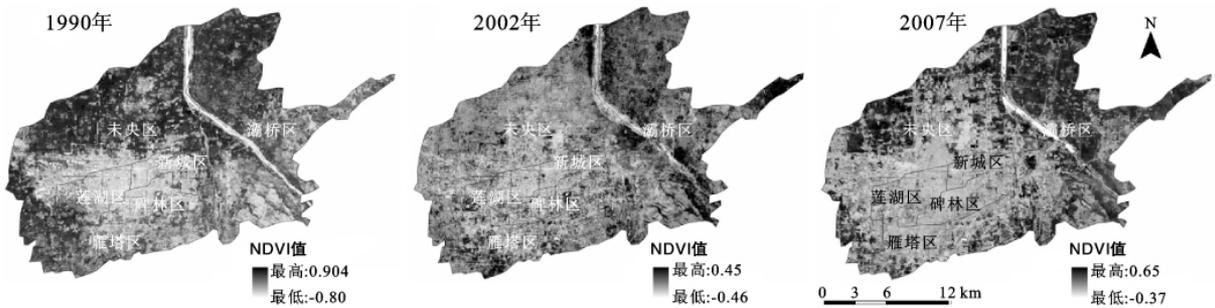


图2 西安市城6区NDVI分布图

为了定量说明 NDVI 与城市热岛效应的相关性,以 1990 年为例,将西安市 NDVI 分布图与西安市亮温分布图进行空间相关性分析,得到相关系数 -0.65440 ,可见西安市 NDVI 与亮温有显著负相关,即 NDVI 与城市热岛效应有显著负相关。增加植被覆盖对于减少城市热岛效应具有一定的积极作用。

5 结论

本文利用 3 个时期的 Landsat TM/ETM⁺ 数据,对西安市 1990—2007 年城市热岛效应的时空演变进行了分析。

(1) 引入城市热岛比例指数 (URI) 定量分析近 20 a 西安市城市热岛效应的强度变化。研究表明,自 1990 年,西安市城市热岛比例指数不断上升,2007 年的城市热岛比例指数较 1990 年提高了 0.565,西安市存在显著的城市热岛效应。

(2) 1990—2007 年,西安市城市热岛效应呈现出散点状—片状—连片状的空间形态变化特征,并呈现出由莲湖区、新城、雁塔区、碑林区向未央区、灞桥区扩散的空间演变趋势。

(3) 通过比较分析 3 个时期西安市 NDVI 分布

图与热岛效应分布图,以及对 1990 年西安市 NDVI 分布图与亮温分布图进行空间相关性分析后得出二者呈显著负相关性,所以,适当增加城市绿地对于缓解城市热岛效应具有积极作用。

[参考文献]

- [1] 彭少麟,周凯,叶有华,等.城市热岛效应研究进展[J].生态环境,2005,14(4):574-579.
- [2] 邓莲堂,束炯,李朝颐.上海城市热岛的变化特征分析[J].热带气象学报,2001,17(3):273-280.
- [3] 杨英宝,苏伟忠,江南.基于遥感的城市热岛效应研究[J].地理与地理信息科学,2006,22(5):36-40.
- [4] 李福建,马安青,丁东原,等.基于 Landsat 数据的城市热岛效应研究[J].遥感技术与应用,2009,24(4):553-558.
- [5] 周淑贞.上海市气候中的“五岛”效应[J].中国科学: B 辑,1988,11:1226-1234.
- [6] 胡张保,俞炳丰,秦临香.西安夏季和冬季城市热岛的多时间尺度变化特征[J].土木建筑与环境工程,2010,32(1):111-115.
- [7] 陈云浩,宫阿都,李京.基于地表辐射亮温标准化的城市热环境遥感研究[J].中国矿业大学学报,2006,35(4):462-467.
- [8] 肖荣波,欧阳志云,李伟峰,等.城市热岛时空特征及其

- 影响因素[J]. 气象科学, 2007, 27(2): 230-236.
- [9] 桑建国. 热岛环流的动力学分析[J]. 气象学报, 2000, 58: 321-327.
- [10] 武鹏飞, 王茂军, 张学霞. 北京市植被绿度与城市热岛效应关系研究[J]. 北京林业大学学报, 2009, 31(5): 54-60.
- [11] 王修信, 胡玉梅, 刘馨, 等. 城市草地的小气候调节作用初步研究[J]. 广西师范大学学报: 自然科学版, 2007, 25(3): 23-27.
- [12] 夏俊士, 杜培军, 张海荣, 等. 基于遥感数据的城市地表温度与土地覆盖定量研究[J]. 遥感技术与应用, 2010, 25(1): 15-23.
- [13] 江志红, 叶丽梅. 近十年南京城市热岛演变的遥感研究[J]. 南京信息工程大学学报: 自然科学版, 2010, 2(2): 148-154.
- [14] 马玉霞, 王式功, 魏海茹. 兰州市近 50 年城市热岛强度变化特征[J]. 气象科计, 2009, 37(6): 660-664.
- [15] 朱焱, 朱莲芳, 徐永明, 等. 基于 Landsat 卫星资料的苏州城市热岛效应遥感分析[J]. 高原气象, 2010, 29(1): 244-250.
- [16] 田武文. 西安市气候变暖与城市热岛效应问题研究[J]. 应用气象学报, 2006, 17(4): 438-443.
- [17] 卢新卫, 陈鹏. 西安城市化进程与环境生态问题研究[J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(1): 7-12.
- [18] 李星敏, 白爱娟. 西安市气候变化与城市发展[J]. 陕西气象, 1998(5): 25-28.
- [19] 任春艳, 吴殿廷, 董锁成. 西北地区城市化对城市气候环境的影响[J]. 地理研究, 2006, 25(2): 233-241.
- [20] 解修平, 周杰, 张海龙, 等. 基于 Landsat TM 的西安市城市热岛效应研究[J]. 河北师范大学学报: 自然科学版, 2007, 31(3): 397-399.
- [21] 徐涵秋, 陈本清. 不同时相的遥感热红外图像在研究城市热岛变化中的处理方法[J]. 遥感技术与应用, 2003, 18(3): 129-133.
- [22] 佟怡. 西部大开发历经了 10 年发展西安经济翻两番 [EB/OL]. (2010-08-02) [2010-11-10]. http://www.dzw-ww.com/rollnews/news/201008/t20100802_6457892.htm.
- [23] 郭斌, 任志远. 西安城区土地利用/覆被变化及生态效应测评研究[J]. 遥感技术与应用, 2009, 24(4): 484-489.

(上接第 157 页)

[参 考 文 献]

- [1] 雷国平. 黑龙江省耕地总量动态平衡研究[J]. 农业经济问题, 2000, 21(1): 40-43.
- [2] 朱会义, 李秀彬, 辛良杰. 现阶段我国耕地利用集约度变化及其政策启示[J]. 自然资源学报, 2007, 22(6): 907-915.
- [3] 雷国平, 宋戈. 城镇土地集约利用的潜力计算与宏观评价[J]. 学习与探索, 2006, 167(6): 184-187.
- [4] 王业桥. 节约集约用地评价指标体系研究[J]. 中国土地科学, 2006, 20(3): 24-30.
- [5] 张琳, 张凤荣, 安萍莉, 等. 不同经济发展水平下的耕地利用集约度及其变化规律比较研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(1): 108-112.
- [6] 费罗成, 程久苗, 王秉建, 等. 耕地集约利用研究进展与展望[J]. 土壤, 2009, 41(5): 696-702.
- [7] 刘成刚, 孙翠兰. 当前我国农村土地集约利用存在的问题和对策[J]. 河南国土资源, 2005, 1(4): 10-11.
- [8] 刘成武, 李秀彬. 基于生产成本的中国农地利用集约度的变化特征[J]. 自然资源学报, 2006, 21(1): 9-15.
- [9] 祝小迁, 程久苗. 安徽省耕地集约利用及其驱动力分析[J]. 中国土地科学, 2009, 23(2): 11-17.
- [10] 董秀茹, 王秋兵. 农用地集约利用内涵的界定[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(23): 7257-7259.
- [11] 郭显光. 熵值法及其在综合评价中的应用[J]. 财贸研究, 1994, 20(6): 56-60.

(上接第 185 页)

致谢: 本论文完成过程中, 贵州省安顺市镇宁县募役乡林业站工作人员及张友元, 张学燕, 罗杜鹃等人给予了很多帮助, 在此表示感谢!

[参 考 文 献]

- [1] 胡建忠, 张伟华, 李文忠, 等. 北方流域退耕地植物群落土壤抗蚀性研究[J]. 土壤学报, 2004, 41(6): 854-863.
- [2] 王佑民, 刘秉正, 廖超英, 等. 刺槐林地土壤抗蚀性的研究[J]. 林业实用技术, 1984, 5(5): 9-13.
- [3] 王米力, 石大兴. 退耕还林、绿山富民的优良树种: 香椿[J]. 四川林业科技, 2001, 22(2): 42-43.
- [4] 李秀信, 张院民, 杨秀萍. 浅谈香椿资源的开发利用[J]. 陕西林业科技, 2001(2): 38-40.
- [5] 祁振声, 袁凌云, 刘景会. 香椿的栽培与开发利用概况[J]. 河北林学院学报, 1995, 10(3): 253-268.
- [6] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科技出版社, 1978: 10-300.
- [7] 邱仁辉, 杨玉胜, 俞新妥. 不同栽植代数杉木林土壤结构特性研究[J]. 北京林业大学学报, 1998, 20(4): 6-11.
- [8] 沈慧, 姜凤歧, 杜晓军, 等. 水土保持林土壤抗蚀性能评价研究[J]. 应用生态学报, 2000, 11(3): 345-348.
- [9] 史东梅, 吕刚, 蒋光毅, 等. 马尾松林地土壤物理性质变化及抗蚀性研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(6): 35-39.
- [10] 赵洋毅, 周运超, 段旭, 等. 黔中喀斯特地区不同植被土壤抗蚀性研究[J]. 农业现代化研究, 2007, 28(5): 633-636.