

孙智辉,雷延鹏,任继帮,等. 退耕前后吴起地区土地利用变化对温度的影响[J]. 气象,2010,36(12):109-115.

退耕前后吴起地区土地利用变化对温度的影响^{*1}

孙智辉¹ 雷延鹏¹ 任继帮² 曹雪梅¹ 刘志超¹

¹ 陕西省延安市气象局, 延安 716000

² 甘肃省庆阳市气象局, 庆阳 745000

提 要: 利用 TM 遥感影像解译土地利用状况、植被覆盖度, 研究退耕还林前后的土地利用、植被覆盖度的变化, 揭示陕西省吴起县退耕还林生态建设工程所取得的实效; 利用吴起与周边 6 个气象站 37 年的气温和地温资料, 分析吴起土地覆盖变化后对温度的影响。结果表明, 随着退耕还林工程的实施, 吴起县域版图在遥感影像逐渐显现、越来越清晰, 植被覆盖增加极为显著, 高覆盖植被面积在逐年增加, 低覆盖植被面积在逐年减少, 植被恢复情况明显好于周围区域。与 1997 年相比, 到 2007 年吴起县有 75.15% 耕地不再耕种, 退出的耕地主要变为草地、林地和果园; 林草覆盖率增加显著, 由 1997 年的 37.06% 提高到 2007 年的 80.60%。植被覆盖变化后, 对地温和气温均产生了影响, 变暖趋势得到下降, 对夏季的影响大于冬季, 夜间的影晌大于白天。

关键词: 土地利用, 温度, 植被覆盖度

The Impact of Land-Use Change on Temperature as Revealed by Satellite Images of Wuqi, Shaanxi Province

SUN Zhihui¹ LEI Yanpeng¹ REN Jibang² CAO Xuemei¹ LIU Zhichao¹

¹ Yan'an Meteorological Office of Shaanxi Province, Yan'an 716000

² Qingyang Meteorological Office of Gansu Province, Qingyang 745000

Abstract: To study changes of land use status and vegetation coverage pre- and post returning farmland to forest, the TM remote sensing images were interpreted, revealing the practical effectiveness for ecological construction project of Wuqi County, Shaanxi Province by returning farmland to forestry. Based on the air temperature and soil temperature 37-year data at 6 meteorological stations surrounding Wuqi County, the effects of the land cover change on temperature in this area have been analyzed. The results showed that Wuqi County layout appears gradually, and has become increasingly clear with the implementation of the project of returning farmland to forest. Meanwhile, the vegetation coverage increases significantly, the high vegetation coverage area is increasing year by year, the low vegetation coverage area is just decreasing, and the vegetation restoration is significantly better than the surrounding area. Compared with 1997, the 75.15% of arable land is no longer farmed by 2007, the withdrawal of the main arable land turns into grassland, woodland and orchards; and the vegetation coverage has increased significantly, from 37.06% in 1997 to 80.60% in 2007. There has an impact on the air temperature and soil temperature after vegetation cover changes, warming trend is declining, the impact of the summer is greater than in winter, and the night time than during the day.

Key words: land use, temperature, vegetation coverage

* 延安市科学技术研究发展计划项目(2007Z-10)资助

2009 年 8 月 20 日收稿; 2010 年 2 月 10 日收修定稿

第一作者: 孙智辉, 主要从事遥感及应用气象研究工作. Email: yasz@163.com

引 言

黄土高原严重恶化的生态环境已经成为当地社会经济可持续发展的极大障碍,日趋严重的沙漠化、水土流失以及水资源短缺等问题,使土地生产力不断降低,甚至使土地资源遭到彻底破坏。造成这种结果的主要原因除了自然因素外,人类活动是主要因素,其影响方式主要是不合理的土地利用,特别是陡坡地开垦^[1]。20 世纪 90 年代末,国家相继提出退耕还林等生态恢复六大工程,而退耕还林工程是中国迄今政策性最强、实施范围最广、投资量最大的生态建设工程。围绕工程的监测、评估及其产生的经济、社会和生态效益越来越广泛地受到政府、科技界,乃至平民的密切关注,已经发表了大量研究成果^[2-10]。退耕还林后土地利用改变对气候产生什么影响,程度如何,是目前研究的一个重点和难点。通过数值模拟表明土地利用变化对中国区域降水、温度有明显的影 响。植被覆盖变化对当地气温的影响比对降水的影响更为显著,植被退化可使当地气温除冬季外表现出明显升高,相反大面积植树造林则有利于当地及周围地区冬季偏暖、夏季偏凉,使温度变化趋于缓和^[11-13]。姜艳等^[14-15]在中国科学院安塞野外站人工植被区,选取相同坡向、坡度的三种林草配置的人工植被为研究对象,共设四个观测点对温度、湿度、日照等气象要素进行短时间的观测,得出退耕还林不同植被恢复模式下小气候明显不同。以混交林地生态环境最好,灌木林次之,这是因为林、灌树冠的存在起到屏障的保护作用,充分利用了小气候条件,改善了气候,形成良好的生态环境。草丛在各种功能上较林木大为逊色,表现出较差的小气候条件。但由于场地、设施等限制,观测时间短,研究结果不够系统,有一定的局限性。目前还未见利用气象站长期观测资料分析退耕还林后植被覆盖增加引起的气候变化。本文以全国退耕还林典型县吴起为例,利用 TM 遥感影像解译土地利用状况、植被覆盖度的变化。利用吴起及周边 5 个气象站资料较细致地揭示吴起县退耕还林生态建设工程对该县温度变化的影响。

1 研究区域概况

吴起县位于延安市西北部(36°33′33″~37°24′

27″N、107°38′57″~108°32′49″E),北与榆林市的定边、靖边县毗邻,东南与志丹县相连,南与甘肃省的华池接壤,海拔高度 1233~1809 m,总面积 3791.5 km²。境内地势为山川峁梁多,川塬涧地少,黄土梁状丘陵面积占全县总土地面积的 85%,属于典型的黄土高原梁状丘陵沟壑区。气候属半干旱温带大陆性季风气候,年平均气温 8.0 ℃,平均日照时数为 2400 h,平均降雨量 483.4 mm,无霜期 152 d,干旱、冰雹、大风、暴雨以及霜冻等自然灾害频繁。境内以白于山为界,东北部地处内蒙古毛乌素沙漠南缘,属无定河流域,约占全县总面积的 15%;白于山以南属洛河流域,约占全县总面积的 85%^[16-17]。土壤以黄土性土壤黄绵土为主。植被间于森林草原和蒙古草原之间,为典型草原。地带性植被以灌木和草本为主^[18]。过去这里曾是林茂草丰之地,随着人口与社会经济发展状况的变化,林草植被出现了“破坏—恢复—破坏—恢复(重建)”的过程,水土流失最严重时其水土流失面积为 3677.7 km²,占 97%^[19]。生态环境日趋恶化,严重制约了该县域社会经济的发展。从 1998 年,吴起县就把治理水土流失、改善生态环境、振兴农业和农村经济、实现可持续发展作为农村经济发展的总目标,以封山禁牧为突破口,解决林牧矛盾,调整农业产业结构,确立了“封山退耕、植树种草、舍饲养畜、林牧主导、强农富民”的开发战略,率先启动了退耕还林工程,一次性退耕 103666.7 hm²。截至 2004 年底,吴起县完成国家退耕还林计划任务 158193.4 hm²^[20]。

利用 1999—2007 年 SPOT VEGETATION NDVI 资料分析^[21],近 9 年来该县植被覆盖在起伏波动中逐年增加,其线性增加趋势极其显著($P < 0.001$),NDVI 的增长率高达为 37.9%。低覆盖率植被面积在减少,高覆盖率植被面积在增加,植被覆盖状况明显转好。退耕还林后植物群落达到了稳定阶段,能够有效地遏制水土流失的发生^[22-24]。

2 资料和方法

2.1 资料

TM 影像为 LANDSAT 全波段遥感数据,共 4 景影像,其空间分辨率为 30 m,2 景影像(12834、12835)时相为 1997 年 8 月 23 日,另 2 景影像 12834、12835 时相分别为 2007 年 8 月 3 日和 9 月 20 日。基础地理信息数据包括 1:25 万吴起县全

要素数字地图、1:5 万数字高程模型,这些辅助数据主要用于图像精校正、辅助分类、综合制图和地学分析。地面调查资料用于监督分类训练样本和精度验证。1998 年、2003 年 AVHRR 遥感影像和 2007 年的 MODIS 遥感影像取自国家卫星气象中心遥感数据服务网,未做过大气校正,所以用作定性分析。

地面气象资料为 1971 年 1 月至 2007 年 12 月逐月最高、最低和平均气温、地面温度和浅层土壤温度,分别由陕西省气象档案馆和庆阳市气象局提供。

2.2 方法

2.2.1 TM 影像的解译和分析方法

地表植被空间演变规律及土地利用动态变化研究所采用的技术流程是:遥感图像预处理和几何精校正、野外调查、训练样区建立及分类模板评价筛选、计算机监督分类、精度验证、三维分析、土壤侵蚀分析、制图及数据统计等,这些过程是在 ERDAS IMAGINE 8.7 遥感图像处理 and ARCMAP 9.2 地理信息系统软件的支持下实现的。

(1) 土地利用类型解译

综合考虑国家土地利用分类标准并结合实际使用情况,先将图像解译出 13 个二级类,然后将 13 个二级类合并成 7 个一级类,即水体、林地(有林地、灌木、针叶林)、草地、未利用地(沙地、盐碱地、裸岩)、耕地(旱地、水田、菜地)、居民地和工矿用地、果园。

(2) 植被覆盖度计算方法

植被覆盖度指植被冠层的垂直投影面积与土壤总面积之比,即植土比。可以用下式计算^[25]:

$$f = (NDVI - NDVI_{\min}) / (NDVI_{\max} - NDVI_{\min}) \quad (1)$$

式中,NDVI 为所求像元的植被指数,NDVI_{max} 和 NDVI_{min} 分别为纯植被和纯土壤的植被指数。在研究区域,既有风沙滩地,又有桥山、黄龙山等天然林区,植被生长茂盛,符合裸地和纯植被的要求。可以通过计算监测区 NDVI 的最大和最小近似值作为 NDVI_{max} 和 NDVI_{min}。通过计算得到了 1997 年、2007 年吴起县的植被覆盖度图。

2.2.2 温度变化分析方法

利用线性倾向估计对温度变化进行趋势分析,采用相关系数的统计检验方法进行显著性检验。温度随时间变化可以看作是时间的一元线性回归,线性倾向值用最小二乘法估计。如果回归方程的相关系数的显著性水平($P < 0.05$, $P < 0.001$)为 0.05 或 0.001,则分别认为温度变化显著。

计算 2001—2007 年温度平均值与气候值的距平,分析土地覆盖变化后对温度的影响。

3 结果与分析

3.1 遥感影像分析

图 1 是 1998、2001、2003 年 NOAA/AVHRR4、2、1 通道和 2007 年 EOS/MODIS7、2、1 通道经过 RGB 合成的假彩色图像。从图像上可以看出,退耕还林前的遥感影像吴起县与周围区域无差异,县域版图于 2001 年清晰出现,这就是吴起县通过实施退耕还林留在大地上的绿色印记。

3.2 土地利用类型变化

20 世纪 70 年代到 90 年代前期,为了增加粮食生产,吴起县开发扩大耕地面积。近年来,通过实施退耕还林还草的生态环境建设工程,减少作物播种面积,大力种植人工苜蓿,营造沙棘林和山杏,发展设施养殖和林果产业,使土地利用发生了很大的变化。表 1 是吴起县退耕前后不同土地利用类型面积占国土面积百分比的变化情况。从表 1 可以看出,吴起县 1997 年耕地面积占国土面积的 61.42%,到 2007 年减少到 15.26%,原有耕地的 75.15%不再进行耕种。退出的耕地主要变为草地、林地和果园,这 3 种地类所占比例 2007 年分别比 1997 年增长了 300.49%、35.71%和 4017.04%。

表 2 是吴起县退耕前后不同类型植被覆盖率的变化情况。表中森林覆盖率为有林地面积占国土面积的百分比,林木覆盖率为有林地和灌木林面积占国土面积的百分比,林草覆盖率为有林地、灌木林和草地面积占国土面积的百分比。由表 2 可以看出,吴起县森林覆盖率由 1997 年的 0.95%提高到 2007 年的 34.76%,增长了 33.81 个百分点;林木覆盖率由 1997 年的 25.62%提高到 2007 年的 34.76%,增长了 9.15 个百分点;林草覆盖率增加最为显著,由 1997 年的 37.06%提高到 2007 年的 80.60%,增长了 43.54 个百分点。这主要是由于吴起县的自然环境适宜草类生长,该县大力推广牧草种植,使牧草种植面积得到大幅度的扩展。

3.3 植被覆盖度变化

表 3 是吴起县退耕前后不同等级植被覆盖度面积占国土面积百分比的变化情况。由表 3 可以看出,

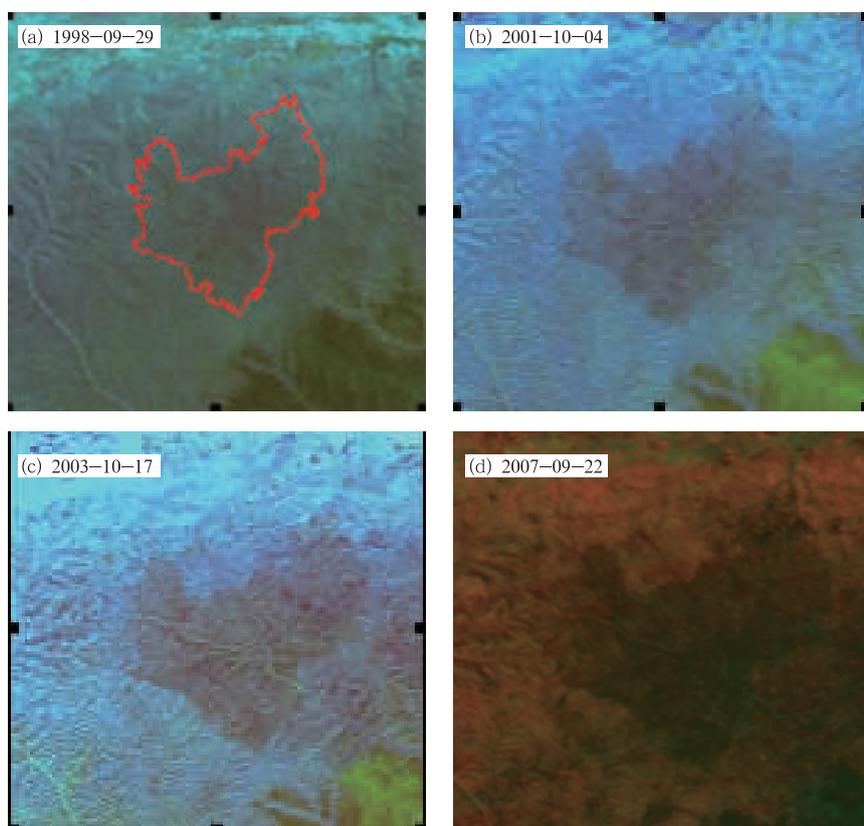


图 1 吴起县及周边遥感影像图

(a) 1998 年 9 月 29 日, (b) 2001 年 10 月 4 日, (c) 2003 年 10 月 17 日, (d) 2007 年 9 月 22 日
Fig. 1 Wuqi County and the surrounding remote sensing images at different times
(a) September 29, 1998, (b) October 4, 2001, (c) October 17, 2003, and (d) September 22, 2007

表 1 陕北吴起县不同土地利用类型面积占国土面积百分率

Table 1 Percentage of the area of different land use patterns to the total area of Wuqi County in northern Shaanxi Province

土地利用类型	水体	林地	草地	未利用土地	耕地	居民地	果园
2007 年	0.70	34.76	45.84	0.03	15.26	0.25	3.15
1997 年	0.25	25.62	11.45	1.06	61.42	0.13	0.08
变化	0.45	9.15	34.39	-1.03	-46.16	0.12	3.08
变化百分率/%	180.98	35.71	300.49	-97.10	-75.15	89.01	4017.04

表 2 陕北吴起县不同类型覆盖率变化

Table 2 Coverage rate changes of different vegetation types in Wuqi County in northern Shaanxi Province

覆盖率类型	森林覆盖率/%	林木覆盖率/%	林草覆盖率/%
2007 年	34.76	34.76	80.6
1997 年	0.95	25.62	37.06
变化	33.81	9.15	43.54

与退耕前的 1997 年相比,低植被覆盖度的土地面积在大幅度减少,相反高植被覆盖度的土地面积在大幅度增加;植被覆盖度 10%~30%的面积所占比例由 1997 年的 66.67%减少到 2007 年的 32.25%,减少幅度达 51.62%;植被覆盖度 30%~50%的面积所占比例由 1997 年的 11.06%增加到 2007 年的 44.07%,增加幅度达 298.28%。

表 3 陕北吴起县各等级植被覆盖度面积占国土面积百分比变化

Table 3 Percentage of the area of different vegetation coverages to the total area in Wuqi County in northern Shaanxi Province

植被覆盖度	<10%	10%~30%	30%~50%	50%~70%	>70%
2007 年	3.18	32.25	44.07	16.79	3.71
1997 年	21.17	66.67	11.06	1.08	0.02
年变化	-17.98	-34.42	33.01	15.71	3.69
变化百分率/%	-84.96	-51.62	298.28	1485.31	19162.56

3.4 对温度的影响

3.4.1 对地温的影响

地温包括地面温度、浅层地下温度(包括 5、10、15、20 cm)和深层地下温度(40、80、160、320 cm)。

多数气象站不观测深层地温,而地表温度的观测由于对温度表感应球部的埋放要求严格,人为因素较大,因此只对浅层地温进行分析。图 2 可看出,6 站 10 cm 地温曲线均呈上升趋势,线性回归得到的趋势线斜率为正,吴起趋势线斜率为 0.0041,其他站线性斜率在 0.021~0.0575 之间,是吴起的 5~14 倍,相关系数其他县显著性水平平均达到 0.01,而吴起未通过 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验。用 2001—2007 年平均地温与 30 年气候值比较,吴起 5~20 cm 地温在 7—10 月差值均为负,而其他县全为正值(图 3,表 4)。4—10 月平均地温差值吴起明显小于其他县。计算吴起县植被指数与 4—10 月不同层次平均地温的相关系数,9 月 NDVI 与 5、10、15、20 cm 地温相关系数分别为 -0.3364、-0.4534、-0.4490、-0.3425,5 cm、20 cm 地温通过 $\alpha=0.1$ 显著性检验,10 和 15 cm 地温通过 0.01 显著性水平检验。9 月 NDVI 代表一年植被生长茂盛程度,植被对地温有影响,植被越茂盛地温越低。

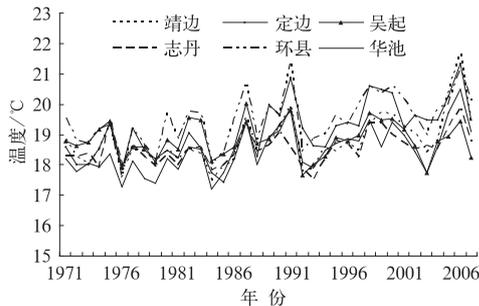


图 2 吴起及周边县 10 cm 地温变化曲线
Fig. 2 The 10 cm soil temperature curve of Wuqi and its surrounding counties

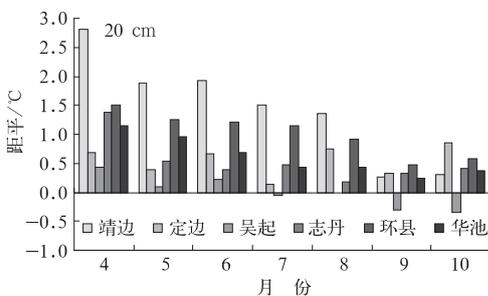


图 3 吴起及周边县 4—10 月 20 cm 地温 2001—2007 年平均与 30 年气候值差值
Fig. 3 The 20 cm soil temperature difference (mean of year 2001—2007 minus 30-year climatology) of Wuqi and its surrounding counties form April to October

表 4 吴起及周边县不同层次 2001—2007 年 4—10 月平均地温与 30 年气候值差值/℃

Table 4 The mean soil temperature difference of Wuqi and its surrounding counties form May to October during 2001—2007

深度/cm	吴起	志丹	环县	华池	靖边	定边
5	-0.05	0.46	0.9	0.8	1.33	0.88
10	0.03	0.67	0.89	0.91	1.52	1
15	0.01	0.53	1.01	0.48	1.41	0.56
20	0.01	0.53	1.01	0.61	1.44	0.54

3.4.2 对气温的影响

在全球气候变暖的大环境下,吴起及周边县属于全国增温明显的地区,气温变化曲线呈上升趋势(表 5),年平均温度与时间的线性回归方程斜率为正,并通过 0.01 的显著性水平检验。将年平均气温曲线按两个阶段分析,2000 年前,吴起的年平均气温线性趋势与其他县相同,斜率值还大于华池和志丹,2000 年后,6 个县的平均气温线性趋势仍为正,吴起周边 5 个县气温上升斜率值大于前 30 年,说明后 7 年温度升高更加明显;但周边县斜率是吴起的 5~11 倍,吴起的斜率也远远小于前 30 年的上升斜率,说明 2001 年以来,吴起气温上升趋势明显低于周边县,上升势头得到明显减缓。分析年平均气温最大值出现年份,吴起最大值出现在 1998 年,为 9.2℃,周边县年平均气温最大值出现在 2006 年,与 1998 年气温比较,平均高出 0.34℃;吴起 2006 年气温为 8.9℃,与 1998 年相比,降低 0.3℃。通过年气温最大值出现时间及对比差值分析,更加明确说明 2001 年以来,植被改善,吴起冷岛效应显现。

表 5 吴起及周边县年平均气温与年份的回归方程斜率

Table 5 The annual mean temperature and regression equation slope of Wuqi and its surrounding counties form April to October

时间	吴起	志丹	环县	华池	靖边	定边
1971—2007	0.033	0.0413	0.0412	0.0362	0.0638	0.0565
1971—2000	0.0334	0.0311	0.035	0.0325	0.0495	0.0522
2001—2007	0.008	0.0786	0.1132	0.0504	0.0881	0.042

按照当地气候特点,将一年划分为冬季和夏季,冬季为当年 11 月至翌年 3 月,夏季为 4—10 月。在冬季植被处于落叶期,生长停止,而夏季植被经过返青生长枯黄完成一年的生命周期。植被生长季节,吸收热量,消耗水分,改变了地表反照率、土壤湿度、地表粗糙度等地表属性,对气候产生一定的影响。

吴起及其周边县温度变化受大的环流背景影响,趋势一致,各县温度序列的相关系数冬季在 0.92~0.99 之间,夏季在 0.86~0.96 之间。用 M-K 法进行突变分析,1997 年出现突变,以后进入一个相对温暖时段。相应地在 1997 年以后,吴起也开始实行大规模的生态恢复工程,用 1997 年以后的气温演变能说明土地利用变化造成的差异。

吴起及周边县 1997 年以后的冬季温度变化趋势一致,均为弱的下降趋势,没有通过显著性水平检验。夏季温度只有吴起为弱的下降趋势,但周边县为弱的上升趋势,也未能通过显著性水平检验。但在夏季温度变化曲线中,1998 年与 2006 年出现两个峰值点,用 2006 年温度减去 1998 年温度,吴起差值为 $-0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,而周边县差值在 $0.2\sim 1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$,平均为 $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。一正一负形成的反差对比可以说明增加植被覆盖使夏季温度偏凉,这与众多数值模拟的结果是一致的。也与人工绿州的温度变化分析结果是一致的^[26]。

对吴起及周边县夏季平均最高温度和平均最低温度的变化分别进行分析。平均最高温度 2006 年与 1998 年的差值吴起为 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,周边县在 $0.2\sim 0.9$ 之间,平均为 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,吴起与周边县有差异,但不明显。夏季平均最低温度,2006 年与 1998 年的差值吴起为 $-0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,呈下降趋势,周边县环县为 $-0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,其他县在 $0.3\sim 1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间,平均为 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,呈上升趋势,吴起与周边县差异比较明显。植被覆盖增加对夜间温度影响大于白天,这是山地气候的显著特点,与一些研究成果是一致的^[27-28]。主要是因为山区林草地逆温时间持续时间延长,尤其是夏季持续时间要长得多。

4 结 论

1998—2007 年 NOAA/AVHRR 和 EOS/MODIS 遥感监测显示,吴起县植被状况正在逐年改善,而且植被恢复情况明显好于周围区域,县域版图在遥感影像上明显凸现。

从 1997 年和 2007 年 TM 影像解译得到土地利用类型和植被覆盖率等两个方面的数据变化来看,吴起县近年来退耕还林(草)的成绩是显著的,生态环境有了明显的改善。与 1997 年相比,到 2007 年吴起县有 75.15% 耕地不再耕种,退出的耕地主要

变为草地、林地和果园;林草覆盖率增加显著,由 1997 年的 37.06% 提高到 2007 年的 80.60%;高坡度耕地绝大部分实现退耕, $>25^{\circ}$ 的坡耕地 80%~90% 实现了退耕;低植被覆盖度的土地面积在大幅度减少,相反高植被覆盖度的土地面积在大幅度增加。

吴起土地利用改变后,对气温和地温产生了明显影响。浅层地温 2001—2007 年平均值与 30 年气候均值比较,吴起保持不变,周边县 5 cm、10 cm、15 cm、20 cm 平均升高了 $0.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。吴起植被覆盖变化后起到了降低地温的作用,降温幅度在 $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。1971—2000 年平均气温线性回归方程斜率,吴起与周边县基本相同,而 2001 年以后的气温线性回归方程斜率,周边县的数值是吴起的 5~11 倍,吴起的升温趋势明显缓和。吴起植被覆盖变化,对温度变化已产生影响。

土地利用变化对冬季的温度影响较小,对夏季的温度影响明显,夏季温度偏凉,与数值模拟结果相同。对夏季最低温度的影响大于最高温度,这是由山地地形气候造成的。

参考文献

- [1] 唐克丽,张科利.黄土高原人为加速侵蚀与全球变化[J].水土保持学报,1992,6(2):88-96.
- [2] 周洪建,王静爱,李睿.基于 SPOT VEG NDVI 和降水序列的退耕还林(草)效果分析[J].水土保持学报,2008,22(4):70-74.
- [3] 甄计国,陈亚伟.植被指数与退耕还林(草)初期的遥感监测应用[J].遥感技术与应用,2006,21(1):41-48.
- [4] 张学艺,张晓煜,卫建国,等.基于 MODIS 资料的宁夏 LST 反演方法新探索[J].气象,2009,35(5):61-65.
- [5] 刘勇洪,吴春艳,李慧君,等.基于卫星数据的北京市生态质量气象评价方法研究[J].气象,2007,33(2):42-48.
- [6] 钱栓,毛留喜,侯英雨,等.北方草地生态气象综合监测预测技术及其应用[J].气象,2008,34(11):62-68.
- [7] 曾光,杨勤科,张信宝.黄土丘陵沟壑区退耕地植被自然恢复过程[J].中国水土保持科学,2008,6(6):48-52.
- [8] 何全军,曹静,张月维.基于 MODIS 的广东省植被指数序列构建与应用[J].气象,2008,34(3):37-41.
- [9] 曹广真,侯鹏,毛显强.北京市城市化对地表温度时空特征的影响[J].气象,2010,36(3):19-26.
- [10] 侯英雨,张佳华,延昊,等.利用卫星遥感资料估算区域尺度空气温度[J].气象,2010,36(4):75-79.
- [11] 孙智辉,罗琳,苏锋,等.陕北植被变化遥感监测及对径流的影响[J].气象科技,2007,35(2):282-285.

- [12] 李巧萍,丁一汇. 区域气候模式对东亚季风和中国降水的多年模拟与性能检验[J]. 气象学报, 2004, 62(2): 140-153.
- [13] 吕世华,陈玉春. 西北植被覆盖对我国区域气候变化影响的数值模拟[J]. 高原气象, 1999, 8(3): 416-424.
- [14] 郑益群,钱永甫,苗曼倩,等. 植被变化对中国区域气候的影响 I: 初步模拟结果[J]. 气象学报, 2002, 60(1): 1-16.
- [15] 徐丽萍,杨改河,姜艳,等. 黄土高原人工植被小气候生态效应研究[J]. 水土保持学报, 2008, 22(1): 163-173.
- [16] 姜艳,徐丽萍,杨改河,等. 不同退耕模式林草初夏小气候效应[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(2): 162-174.
- [17] 薛占海. 退耕还林与毁林复耕问题研究——以陕西吴起为例[J]. 西北大学学报(哲学社会科学版), 2006, 36(4): 56-60.
- [18] 贾海娟,马俊杰,王俊,等. 农业生态环境恢复重建的模式与对策——以陕北吴旗县为例[J]. 水土保持通报, 2005, 25(4): 38-41.
- [19] 任洪玉,温仲明,杨勤科. 黄土沟壑区植被恢复及其物种多样性的变化[J]. 干旱区农业研究, 2003, 21(2): 154-158.
- [20] 王继军. 退耕还林还草下生态农业发展模式初探[J]. 水土保持学报, 2004, 18(1): 135-136.
- [21] 周万亩,李佩成,李莉,等. 黄土丘陵沟壑区退耕还林工程现状研究[J]. 地下水, 2007, 29(3): 117-121.
- [22] 李登科,卓静,孙智辉. 基于 RS 和 GIS 的退耕还林生态建设工程成效监测[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 120-126.
- [23] 赖亚飞,朱清科,张宇清,等. 吴旗县退耕还林生态效益价值评估[J]. 水土保持学报, 2006, 20(3): 83-87.
- [24] 罗国占,赵廷宁,王贤,等. 吴旗县覆沙黄土区退耕还林结合封禁的植被恢复效果研究[J]. 水土保持研究, 2006, 13(3): 80-82.
- [25] 牛宝茹,刘俊蓉,王政伟. 干旱区植被覆盖度建立[J]. 地理信息科学, 2005, 7(1): 84-86.
- [26] 杨青,雷加强,魏文寿,等. 人工绿洲对夏季气候变化趋势的影响[J]. 生态学报, 2004, 24(12): 2728-2734.
- [27] 王连喜,闵庆文,李凤霞,等. 宁夏南部山区不同下垫面的小气候特征分析[J]. 资源科学, 2005, 27(4): 18-21.
- [28] 翁笃鸣,罗哲贤. 山区地形气候[M]. 北京: 气象出版社, 1990.