

黄河源区玛曲县植被覆盖度及其气候变化研究

王兮之¹, 梁钊雄¹, 周显辉², 王 军¹

(1. 佛山大学 资源环境系, 广东 佛山 528000; 2. 兰州大学 生命科学学院, 兰州 730000)

摘 要:以 MODIS—NDVI 遥感数据为基础, 利用像元二分模型对玛曲县 2000—2010 年的植被覆盖度进行估算, 对植被覆盖度的时空变化特征进行分析, 并探讨了植被覆盖度与降水量和气温之间的响应关系。结果表明:近 10 a 来玛曲县植被覆盖度变化呈明显波动起伏且总体略有增加趋势, 高植被覆盖度和较高植被覆盖度的数量变化剧烈, 中植被覆盖度、较低植被覆盖度和低植被覆盖度分布相对稳定; 不同等级植被覆盖度在各乡范围及基于地形特征的空间分布差异十分显著; 在年际与生长季的变化水平上, 气温与降水量都对植被覆盖度有影响, 其中气温比降水量的影响更加显著。

关键词:玛曲县; MODIS—NDVI 数据; 植被覆盖度; 气候变化

中图分类号:P461.7

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)02-0057-05

Vegetation Coverage and Climate Change of Maqu County in Source Region of Yellow River

WANG Xi-zhi¹, LIANG Zhao-xiong¹, ZHOU Xian-hui², WANG Jun¹

(1. Department of Resources and Environment, Foshan University, Foshan, Guangdong 528000, China; 2. College of Life Science, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The characteristics dynamic changes of vegetation cover were analyzed by using dimidiated pixel model and terrain data, as well as combining with climate changes of Maqu County of Yellow river based on MODIS-NDVI data from 2001 to 2010. The results indicated that vegetation cover was obviously fluctuated and a little increase trend in recent 10 years, and the high coverage and comparatively high coverage area undulated sharply, but the medium and comparatively low and low vegetation coverage areas kept stable. There were larger spatial variations of different vegetation cover types in terrain characteristic of each town. There were some influences of the temperature and the precipitation on the vegetation cover in growing season and year scale, but influence of temperature was much more significant than precipitation.

Key words: Maqu County; MODIS—NDVI data; vegetation coverage; climate change

在全球气候变化和人类活动的影响下,黄河源区的生态环境也发生了显著变化。植被覆盖度变化作为衡量地表植被状况的重要指标,分析其与气候因子之间的关系是黄河水源涵养区保护和高寒草甸草地生态系统评价的核心内容。随着遥感技术的发展及数据精度的提高,大范围的植被覆盖度估算以及与其它相关因子的分析得到了广泛应用^[1-3]。许多学者利用 NOVA/AVHRR 和 MODIS 的植被指数 NDVI 分析了长江—黄河源区的植被变化及其气候变化之间的关系,取得了较多的研究成果^[4-6]。由于 MODIS 数据在时间分辨率上好于 TM 数据(16 d),而空间分

辨率上高于 NOVA/AVHRR(1 km),MODIS 数据时间与空间分辨率可较好地地进行区域植被覆盖度变化研究。本文利用 MODIS—NDVI 数据估算植被覆盖度,对玛曲县植被覆盖时空变化与气候响应进行分析,研究结果将有助于了解该地区近 10 a 来的植被覆盖度动态及生态环境变化,为黄河上游玛曲县的生态环境评价以及黄河源区的草地资源的综合利用提供决策依据。

1 研究区概况

玛曲县位于甘肃省甘南藏族自治州的西南部,地

处青藏高原东缘,甘肃、四川、青海三省交界处,范围为 $33^{\circ}06'30''$ — $34^{\circ}30'15''$ N, $100^{\circ}45'45''$ — $102^{\circ}29'00''$ E。全县总面积为 $9\,463\text{ km}^2$,海拔 $3\,315\sim 4\,779\text{ m}$,地形类型主要是包括阿尼玛卿山、西倾山两大山系主脉形成的西部高山区,中部阿尼玛卿山东南端和西倾山前山地丘陵带,黄河两岸阶地三种地形地貌格局^[7]。该区是黄河上游地区主要的水源涵养区,黄河干流由南、东、北环绕县境而过,流程约 433 km 。玛曲是青藏高原高寒草地的重要组成部分,土壤以亚高山草甸土为主。植被类型主要有典型草甸、高寒草甸、沼泽化草甸和盐生草甸 4 种,西北部以高寒灌丛草甸为主,中部以亚高山草甸为主体,东部以沼泽和沼泽化草甸为主,分布面积大且相对集中^[4]。气候类型属典型的高原大陆性气候,冷季漫长而暖季短暂,年平均气温为 1.1°C ,年均降水量约为 615 mm ^[8-9]。

2 研究方法

2.1 数据来源

遥感数据采用美国 LPDAAC (Land Process Distributed Active Archive Center) 提供的 MODIS 植被指数产品 MOS13Q1,该数据为 250 m 分辨率的 16 d 合成植被指数 (NDVI)。本研究选取 2001—2010 年 7 月下旬植被生长状态最好的共计 10 个时相 NDVI 数据。同时也选定 2010 年 4—10 月共计 7 个时相的生长季数据,通过对植被覆盖度的分析来更好地了解生长季植被的动态变化。

基于地形数据 (SRTM 分辨率为 90 m) 将研究区划分为西部高山区 (海拔在 $3\,800\text{ m}$ 以上),中南部的山前丘陵区 (海拔 $3\,500\sim 3\,800\text{ m}$),东部黄河两岸阶地区 (海拔在 $3\,500\text{ m}$ 以下)^[10]。气象数据是来自中国气象局气象科学数据共享网,下载包括月降水和月温度等玛曲站 1951—2010 年的免费数据。

2.2 植被覆盖度估算

基于 NDVI 的像元二分模型法反演植被覆盖度估计,即假定每个像元所对应的地表单元上仅存在两种覆盖类型,分别是植被和背景裸地,每个像元的归一化植被指数 NDVI 是植被和裸地所对应的 NDVI 值的加权和,而其权值即为这两种覆盖类型在像元内的面积百分比。由此得出植被覆盖度的计算公式^[11]:

$$F_c = (\text{NDVI} - \text{NDVI}_{\min}) / (\text{NDVI}_{\max} - \text{NDVI}_{\min}) \quad (1)$$

式中: F_c ——所求的植被覆盖度; NDVI——像元的归一化植被指数。 NDVI_{\min} ——纯裸地覆盖像元的最小值,理论上应该接近于零; NDVI_{\max} ——纯植被覆盖像元的最大值,理论上应该接近于 1。实际应用中 NDVI_{\min} 和 NDVI_{\max} 都是从 MODIS 数据获取的,

式(1)中的 NDVI_{\min} 和 NDVI_{\max} 分别取研究区内 NDVI 的最小值和最大值。

将计算得到的植被覆盖度数值按照以下标准重新分级:低植被覆盖度 $0\sim 20\%$,较低植被覆盖度 $20\%\sim 40\%$,中植被覆盖度 $40\%\sim 60\%$,较高植被覆盖度 $60\%\sim 80\%$,高植被覆盖度 $80\%\sim 100\%$ 进行分级处理,获得玛曲县的植被覆盖度分级图,并依据县、乡级边界以及地形特征分别统计与分析区域内植被覆盖度时空变化情况。

3 结果与分析

3.1 植被覆盖度动态

玛曲县 2001—2010 年的平均植被覆盖度为 78.97% ,总体呈明显的波动起伏变化过程,其中 2006 年为 81.57% ,是 10 a 来的最高值,2002 年和 2008 年较低分别为 76.72% 和 75.02% 。从图 1 所示可知,近 10 a 来各乡的植被平均覆盖度分布情况反映了玛曲植被总体变化波动趋势且略有增加,2002—2006 年各乡的植被覆盖度都在增加,而 2006—2008 年下降明显且达到近 10 a 的最低值,玛曲西北部的 4 个乡 (欧拉秀玛、欧拉、尼玛和木西合) 植被覆盖度较低,2008—2010 年却又显著增加且达到近 10 a 的最高值,主要是玛曲南部的 4 个乡 (齐哈玛、采日玛、畜牧试验场和曼日玛) 植被覆盖度较高。

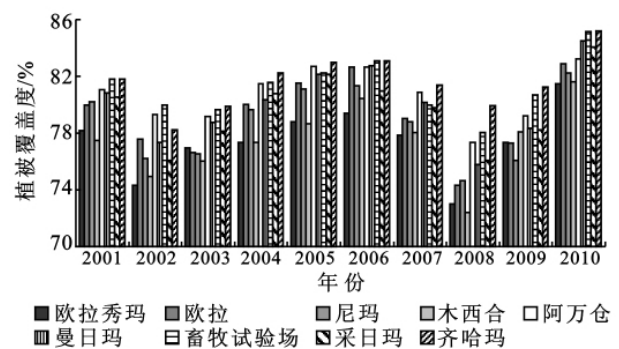


图 1 2001—2010 年玛曲县各乡植被覆盖度变化

玛曲县的高山区、山前丘陵区和黄河两岸阶地区分别占全县总面积的 39.27% , 33.44% , 27.29% ; 近 10 a 的平均植被覆盖度分别为 76.43% , 82.23% , 79.45% 。由表 1 可知,山前丘陵区的植被覆盖度明显高于黄河两岸阶地区,而高山区的植被覆盖度在 3 个分区中最低,充分反映了在不同海拔等地形和自然条件下植被覆盖分布的差异。

根据杨建平^[12]在江河源区高寒植被变化的研究结果,本文也确定将 4—10 月作为研究区的植被生长期。玛曲县及其各乡 2010 年生长季植被覆盖度变化情况如表 2 所示,2010 年 4—10 月各乡的植被覆盖度都大于 40% ,表明玛曲地区的植被较好;植被在

7—8 月份最好,这 2 个月的植被覆盖度基本接近且都超过 80%;生长期总体变化是 4—6 月缓慢增长,6—7 月是快速增长,而 8—10 月植被覆盖度则是下

降较快。生长季植被覆盖度变化与陈世强等^[10]利用 NDVI 研究结果基本一致。其它年份的生长季植被覆盖度变化基本类似,在此不做赘述。

表 1 玛曲县不同地形条件下的植被覆盖度变化统计 %

地区	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年
高山区	76.94	73.52	75.06	76.21	78.19	79.59	76.89	71.30	76.03	80.61
丘陵区	82.60	80.21	80.51	83.01	84.06	84.31	81.86	79.19	81.05	85.52
阶地区	80.56	77.21	77.81	80.49	81.5	81.10	79.77	75.47	77.63	82.99

表 2 玛曲县及各乡 2010 年 4—10 月的植被覆盖度变化统计 %

地区	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月
欧拉秀玛	44.54	56.88	55.03	81.46	80.40	68.15	48.02
欧 拉	44.46	56.38	63.13	82.90	81.64	69.99	49.76
尼 玛	44.94	61.25	62.20	82.25	81.00	72.22	52.72
木西合	44.13	53.98	58.15	81.61	80.82	68.87	48.73
阿万仓	46.21	57.91	64.91	83.21	82.06	72.83	54.42
曼日玛	46.82	66.13	73.20	84.48	80.65	73.77	54.91
畜牧试验场	47.02	63.12	69.54	85.15	82.09	74.58	56.32
采日玛	47.98	68.63	69.29	84.07	79.23	72.39	54.87
齐哈玛	49.30	70.38	72.37	85.20	83.18	75.55	57.59
玛 曲	45.61	59.85	63.56	82.90	81.11	71.26	51.97

3.2 不同等级植被覆盖度变化

不同等级植被覆盖度的变化能更好地反映近 10 a 来玛曲的植被覆盖特征,下面具体从玛曲县及其不同地形条件和生长季来分析植被覆盖度的动态变化。由图 2 可知,2001—2010 年玛曲每年 7 月底都是以高和较高植被平均覆盖度为主,分别达到 56.94%和 38.45%,其余 3 个等级植被平均覆盖度总和仅占 5% 以下且变化波动较小。因此,高植被覆盖度与较高植被覆盖度之间变化转换是玛曲植被覆盖度变化的关键。2002 年与 2008 年高植被覆盖度明显低于较高植被覆盖度,这两年也是玛曲总体植被覆盖近 10 a 来的低值期,而 2005 年、2006 年和 2010 年高植被覆盖度明显高于较高植被覆盖度,同时也是玛曲总体植被覆盖高值期。

由图 3 可知,玛曲县 2010 年 4—10 月的平均植被覆盖度变化主要表现为高、较高和中植被覆盖度之间的快速转换,而较低和低植被覆盖度处于相对较稳定状态。中植被覆盖度的分布特征是呈高一低一高的过程,其 4 月份植被覆盖度约为 93%,到 7 月、8 月急剧下降为 3%左右,10 月又快速剧增为 85%以上;较高植被覆盖度的分布特征是由低—高一较低—高一低的过程;而高植被覆盖度的分布特征是由低—高一低的过程,其中 4 月和 10 月份高植被覆盖度都为 0,到 7 月份急剧增到 80%以上。

由表 3 可知,玛曲县的高山区以较高和高植被覆盖度为主,10 a 的平均植被覆盖度分别为 46.18%和

45.44%,而中、较低和低植被覆盖度共占 8.38%;山前丘陵区以高和较高植被覆盖度为主,10 a 的平均植被覆盖度分别为 73.35%和 25.98%,中、较低和低植被覆盖度总共仅占 0.67%;黄河阶地两岸区以较高和高植被覆盖度为主,10 a 的平均植被覆盖度分别为 58.25%和 38.02%,中、较低和地植被覆盖度共占 3.73%。

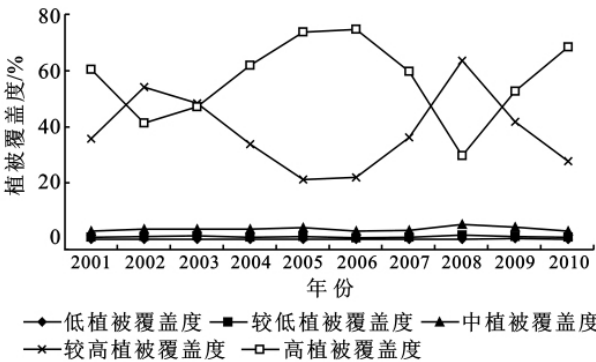


图 2 2001—2010 年玛曲县不同等级植被覆盖度变化

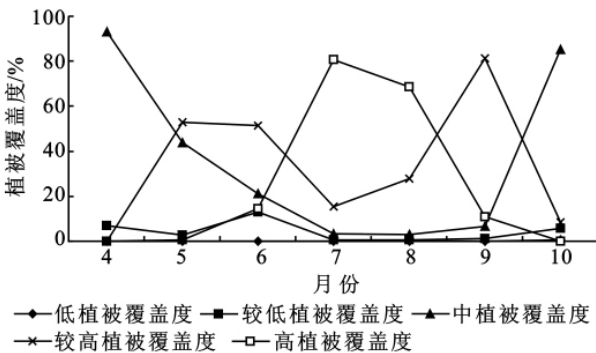


图 3 2010 年 4—10 月玛曲县生长季不同等级植被覆盖度变化

表 3 玛曲县不同地形条件下的不同等级植被覆盖度变化统计

%

覆盖情况	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年
高山区	低植被覆盖度	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	较低植被覆盖度	1.38	2.07	2.14	1.19	1.73	0.46	1.18	2.75	1.34
	中植被覆盖度	5.54	7.29	6.79	7.33	7.41	4.90	6.32	9.71	7.86
	较高植被覆盖度	46.68	65.91	56.17	47.99	28.45	27.29	45.87	74.14	47.45
	高植被覆盖度	46.39	24.73	34.90	43.48	62.42	67.36	46.63	13.40	43.36
丘陵区	低植被覆盖度	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02
	较低植被覆盖度	0.04	0.03	0.06	0.05	0.15	0.14	0.07	0.06	0.14
	中植被覆盖度	0.30	0.50	0.43	0.32	0.98	0.58	0.40	0.59	1.07
	较高植被覆盖度	24.08	40.19	37.06	18.11	12.47	11.38	24.89	52.06	32.48
	高植被覆盖度	75.58	59.28	62.44	81.52	86.40	87.89	74.64	47.29	66.30
黄河阶地	低植被覆盖度	0.10	0.03	0.13	0.10	0.03	0.16	0.15	0.13	0.44
	较低植被覆盖度	0.78	0.43	0.69	0.64	0.85	1.13	0.82	0.97	1.05
	中植被覆盖度	2.29	2.35	2.57	2.12	3.04	2.57	2.08	4.96	3.08
	较高植被覆盖度	34.27	53.84	50.47	32.68	21.21	27.25	36.54	62.20	45.24
	高植被覆盖度	62.56	43.35	46.13	64.45	74.87	68.89	60.41	31.74	50.19

3.3 植被覆盖度时空变化

利用 2001 年与 2010 年植被覆盖度等级数据进行差值运算,对差值数据重新划分为稳定区(植被覆盖度可能发生变化但等级没有改变)、增加或减少区(植被覆盖度发生变化,等级也转换为相邻近级别)、剧烈增加或剧烈减少区(植被覆盖度发生很大变化,等级跨越式转换为不相邻的级别)5 种变化类型区。

统计结果表明稳定区占整个玛曲县面积的 71.55%,减少区为 9.84%,增加区为 18.30%,剧烈减少区为 0.21%,剧烈增加区为 0.10%。由表 4 可知,10 a 间高山区、丘陵区 and 黄河阶地的稳定区分别为 64.85%,73.76%和 78.46%,黄河阶地和丘陵区植被覆盖度的稳定性明显好于高山区,但高山区的增加区明显高于丘陵区与黄河阶地区。同时 9 个乡的植被覆盖度空间变化差异显著,其中曼日玛的稳定区达到了 82.58%且增加区与减少区的面积基本一致;而木西合植被覆盖度的稳定区仅为 56.43%,且增加区明显大于减少区;采日玛植被覆盖度的稳定区为 66.81%且增加区明显小于减少区。其余各乡的具体变化详见表 4。因为植被覆盖度只是 2001 年与 2010 年的变化叠加,仅分析了两个时期的空间差异对比,因此植被覆盖度增减区不能表示 10 a 来空间变化过程的反映。总之,2001 年与 2010 年比较,植被覆盖度在整个研究区增加十分显著。

整个玛曲县的植被覆盖度明显增加且分布范围相对集中,连片的稳定区主要分布在研究区中部与沿黄河两岸的丘陵区 and 阶地区;玛曲县的高山区植被覆盖度增加比较显著,尤其是西南部木西合乡和阿万仓乡的中部和东南部连片分布有增加区;研究区的植被

覆盖度减少区分布的范围也较广,尤其是采日玛乡西北部连片分布有减少区;玛曲植被覆盖度的剧烈增加区和减少区面积所占比例很小且分布零散。

表 4 玛曲县 2001—2010 年植被覆盖度变化统计 %

区域	剧烈减少区	减少区	稳定区	增加区	剧烈增加区
欧拉秀玛	0.10	5.00	78.19	16.62	0.09
欧拉	0.11	8.49	77.95	13.34	0.11
尼玛	0.65	11.58	73.21	14.36	0.20
木西合	0.13	7.42	56.43	35.91	0.11
阿万仓	0.20	10.60	70.25	18.92	0.03
曼日玛	0.22	8.48	82.58	8.59	0.13
畜牧试验场	0.35	13.94	69.79	15.83	0.09
采日玛	0.25	23.03	66.81	9.84	0.07
齐哈玛	0.10	11.81	66.51	21.54	0.04
玛曲县	0.21	9.84	71.55	18.30	0.10
高山区	0.18	10.36	64.85	24.50	0.11
丘陵区	0.21	9.52	73.76	16.48	0.03
黄河阶地	0.27	9.47	78.46	11.62	0.18

3.4 植被覆盖度与气候变化特征

植被覆盖变化不仅受到人类活动的影响,而且气候的变化起到至关重要的作用。利用 2001—2010 年 7 月下旬以及 2010 年生长季 4—10 月的植被覆盖度与同期气象因子,对玛曲植被覆盖度与降水量和平均气温进行相关分析。

由图 4—5 可以看出,玛曲年际间植被覆盖度与降水量、平均气温的相关性都比较显著。气温与植被覆盖度的相关性明显优于降水量与植被覆盖度的关系,其中气温与植被覆盖度相关系数 $R^2 = 0.571$,降水量的相关系数 $R^2 = 0.1795$ 。该结果与陈世强等^[10]

2007年研究NDVI与气温和降水量的相关性结论一致。

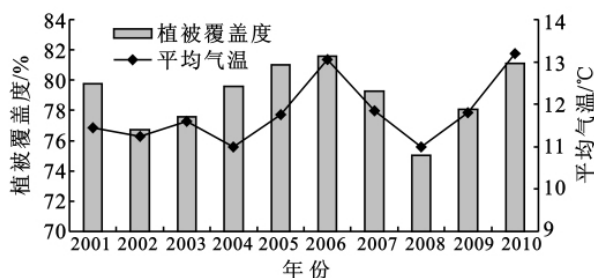


图4 2001—2010年玛曲植被覆盖度与温度的年际变化

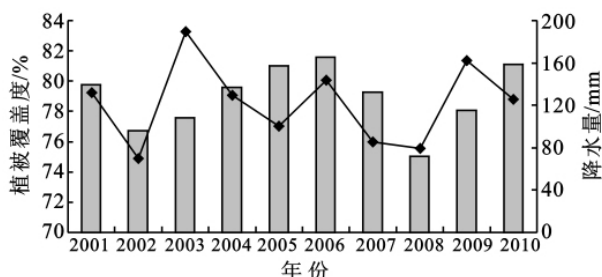


图5 2001—2010年玛曲植被覆盖度与降水量的年际变化

由图6—7可以得出,玛曲生长季植被覆盖度与平均气温的相关性更加显著。平均气温与植被覆盖度的相关性在生长季明显优于降水量与植被覆盖度的关系,其中植被覆盖度与平均气温相关系数达到 $R^2=0.9319$,与降水量的相关系数为 $R^2=0.4515$ 。

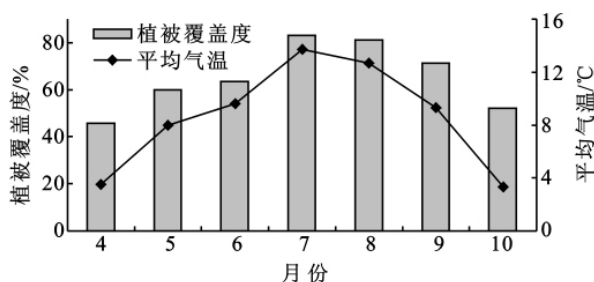


图6 2010年4—10月玛曲植被覆盖度与温度的生长季变化

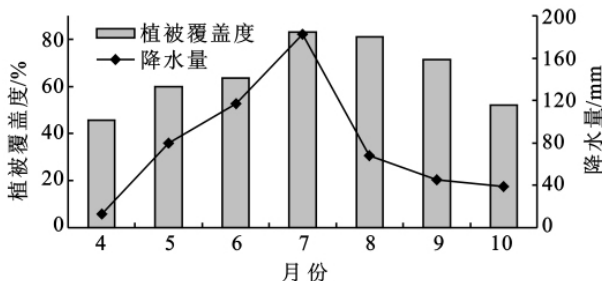


图7 2010年4—10月玛曲植被覆盖度与降水量的年际变化

4 讨论与结论

(1) 近10 a来玛曲县植被覆盖度呈波动起伏且总体略有增加的变化特点十分显著,其中2002年与2008年是明显波谷即低值期,尤其是通过各乡的植被覆盖度的差异更为清晰地展示了其动态变化规律。

研究区每年植被最好时期都是以高和较高植被平均覆盖度为主,其余等级植被平均覆盖度总和很小且相对稳定,高植被覆盖度与较高植被覆盖度之间转换是玛曲植被覆盖度高低的關鍵。

(2) 基于地形特征的玛曲县高山区以较高和高植被覆盖度为主,山前丘陵区以高和较高植被覆盖度为主,黄河阶地两岸区以较高和高植被覆盖度为主;近10 a来黄河阶地和丘陵区植被覆盖度的稳定性明显好于高山区,而高山区的增加区明显高于丘陵区与黄河阶地区;9个乡的植被覆盖度空间变化差异十分显著,其中曼日玛植被覆盖度的稳定区面积最大,而木西合植被覆盖度的稳定区面积最小且增加区明显大于减少区。

(3) 气候变化对植被覆盖度年际与生长季的影响差异明显。玛曲年际间与生长季植被覆盖度与平均气温的相关性都比较显著,而与降水量的相关性都较低;研究区平均气温与植被覆盖度的相关性都明显优于降水量与植被覆盖度的关系。

对于黄河源区玛曲植被覆盖变化研究涉及到各类遥感数据,MODIS—NDVI数据是研究区域尺度上植被覆盖度变化很好的数据源,具有覆盖范围大、时间分辨率高、获取途径方便等优点,唯一的局限是该数据从2001年才有,随着数据的不断积累,其研究价值会越来越来大;本文估算的植被覆盖度只是反映了地表覆被状况,由于分辨率的限制无法分析到植被类型,就玛曲高寒草地来讲对于草地质量和退化程度等只是初步分析;研究区植被覆盖度与气象要素的变化分析相对简单,在该区域国家级气象站只有玛曲站,如果能够获取空间上分布更多的气象水文数据以及社会经济资料,将可以深入分析区域更多年际、年内不同季节和地形条件下的植被覆盖变化过程。

参考文献:

- [1] 陈效速,王恒. 1982—2003年内蒙古植被带和植被覆盖度的时空变化[J]. 地理学报,2009,64(1):84-94.
- [2] 杨元合,朴世龙. 青藏高原草地植被覆盖变化及其与气候因子的关系[J]. 植物生态学报,2006,30(1):1-8.
- [3] 王兮之,甘春英,梁钊雄,等. 粤北岩溶山区连江流域植被覆盖度动态变化研究[J]. 中国岩溶,2010,29(4):425-433.
- [4] 王小平,郭妮,杨嘉. 黄河上游玛曲县气候变化对植被的影响研究[J]. 西北植物学报,2007,27(4):776-783.
- [5] 李霞,李晓兵,陈云浩,等. 中国北方草原植被对气象因子的时滞响应[J]. 植物生态学报,2007,31(6):1054-1062.

(下转第65页)

现代工业体系,是国际性电子、电脑、电器及周边设备加工制造业基地之一,经济实力位居全市前列。

5 结论与讨论

本文利用 Landsat/TM 资料,采用覃志豪单窗算法进行 LST 反演,利用各镇区边界矢量提取各镇区平均 LST,结合东莞市数字高程模型数据,进行东莞市 LST 的地理分区。东莞市的 LST 可划分为山地低温区、河网次低温区、丘陵—近河网次高温区、平原高温区 4 个区间。由此可见,地势地貌对地表温度影响显著,究其原因,主要表现在以下三个方面:首先,山地、丘陵区的海拔较高,空气中温室气体浓度低,空气的保温作用弱,这样的地表更容易向外辐射能量,使得该区的地表温度低;同时,山地、丘陵区通常生态环境好、植被覆盖度高,植被的蒸腾、蒸发需要消耗热量,因此其温度相对较低;其次,在河网区,河流、湖泊、滩涂、坑塘密集,水体的比热容大、增温率小,使得其表面的温度较低,同时,河流形成的低温廊道,将周围的热力斑块、基底连接、贯通,使得能量较好地流通,可以达到降低区域温度的作用;第三,城市化进程通常会“因地制宜”,在山区、水域地带开发程度相对较低,平原区因其地利优势,而优先发展成为人口密集、建筑密集、经济繁荣的地区,大量的人工不透水地面代替了原始自然地表,透水性降低、增温率变大,加上人类活动排放废热、造成污染,使得平原区成了相对的高温区。

参考文献:

- [1] 徐希孺,柳钦火,陈家宜. 遥感陆面温度[J]. 北京大学学报:自然科学版,1998,34(2/3):248-253.
 - [2] 郭广猛,杨青生. 利用 MODIS 数据反演地表温度的研究[J]. 遥感技术与应用,2004,19(1):34-36.
 - [3] 黄秒芬,邢旭峰,王培娟,等. 利用 Landsat/TM 热红外通道反演地表温度的三种方法比较[J]. 干旱区地理,2006,29(1):132-137.
 - [4] Carnahan W H, Larson R C. An analysis of an urban heat sink[J]. Remote Sensing of Environment,1990,33:65-71.
 - [5] Nichol J E. A GIS-based approach to microclimate monitoring in Singapore's high-rise housing estates[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,1994,60(10):1225-1232.
 - [6] 覃志豪,Zhang Minghua,Arnon Karnieli 等. 用陆地卫星 TM6 数据演算地表温度的单窗算法[J]. 地理学报,2001,56(4):456-466.
 - [7] 陈云浩,史培军,李晓兵,等. 城市空间热环境的遥感研究:热场结构及其演变的分形测量[J]. 测绘学报,2002,31(4):322-326.
 - [8] 张穗,何报寅,杜耘. 武汉市城区热岛效应的遥感研究[J]. 长江流域资源与环境,2003,12(5):445-449.
 - [9] Kato S, Yamaguchi Y. Analysis of urban heat-island effect using ASTER and ETM⁺ Data; Separation of anthropogenic heat discharge and natural heat radiation from sensible heat flux[J]. Remote Sensing of Environment,2005,99(1/2):44-54.
 - [10] Xian G, Crane M. An analysis of urban thermal characteristic and associated land cover in Tampa Bay and Las Vegas using Landsat satellite data[J]. Remote Sensing of Environment,2006,104(2):147-156.
 - [11] 刘宇,匡耀求,吴志峰,等. 不同土地利用类型对城市地表温度的影响:以广东东莞为例[J]. 地理科学,2006,26(5):597-601.
 - [12] 邓玉娇,匡耀求,黄宁生,等. 温室效应增强背景下城市热环境变化的遥感分析:以广东省东莞市为例[J]. 地理科学,2008,28(6):814-819.
 - [13] Zhang Jinqiu, Wang Yunpeng, Li Yan. AC⁺⁺ Program for Retrieving Land Surface Temperature from the Data of Landsat TM/ETM⁺ Band6[J]. Computers and Geosciences,2006,32(10):1796-1805.
 - [14] 匡耀求,黄宁生,胡振宇. 环境污染对东莞市地域经济发展的影响[J]. 地理科学,2004,24(4):419-425.
- ~~~~~
- (上接第 61 页)
- [6] 杨建平,丁永建,沈永平,等. 近 40 年来江河源区生态环境变化的气候特征分析[J]. 冰川冻土,2004,26(1):7-16.
 - [7] 袁宏波. 黄河源区玛曲县草地沙化动态监测及区域景观结构分析研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2006.
 - [8] 郭妮,韩天虎,王静,等. 玛曲退牧还草工程生态效果的遥感监测[J]. 中国沙漠,2010,30(1):154-160.
 - [9] 胡光印,董治宝,王文丽,等. 近 30 年来玛曲县土地利用/覆盖变化监测[J]. 中国沙漠,2009,29(3):457-462.
 - [10] 陈世强,文丽娟,吕世华,等. 黄河上游玛曲县植被指数与气候变化研究[J]. 冰川冻土,2007,29(1):131-136.
 - [11] 李苗苗,吴炳方,顾长珍,等. 密云水库上游植被覆盖度的遥感估算[J]. 资源科学,2004,26(4):153-159.
 - [12] 杨建平,丁永建,陈仁升. 长江黄河源区高寒植被变化的 NDVI 记录[J]. 地理学报,2005,60(3):467-478.