

基于 Markov 模型的植被覆盖动态变化预测研究

玛丽艳姑丽·阿西穆^{1,2}, 塔西甫拉提·特依拜^{1,2}, 买买提·沙吾提^{1,2}, 张飞^{1,2}

(1. 新疆大学 资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046; 2. 新疆大学 绿洲生态教育部重点实验室, 乌鲁木齐 830046)

摘 要:实时监测植被动态变化在干旱区绿洲生态环境研究中具有重要意义。以渭干河—库车河流域的绿洲地区为研究区,利用多期遥感影像数据,定量分析渭干河—库车河流域绿洲植被覆盖度的多年变化,同时利用 Markov 模型进行研究区未来 25 a 内的植被覆盖度动态变化预测。结果表明:近 21 a 来,研究区植被覆盖度总体呈现波动降低趋势,1989—2011 年,高覆盖度植被从 38.038 9 万 hm^2 减少至 27.109 6 万 hm^2 ,低覆盖度植被从 19.002 9 万 hm^2 增加至 19.533 4 万 hm^2 ,极低覆盖度植被从 6.409 6 万 hm^2 增加至 6.666 2 万 hm^2 ,中覆盖度植被面积变化幅度不大;未来 25 a 后的植被覆盖度变化预测结果显示:高覆盖度植被面积呈下降趋势,中覆盖度植被、低覆盖度植被及极低覆盖度植被均呈上升趋势。上述研究结果说明绿洲植被整体呈现退化的趋势。研究结果可以为该区域植被恢复,盐渍化和荒漠化防治提供理论支撑。

关键词:遥感;归一化植被指数(NDVI);植被覆盖度;Markov 预测模型

中图分类号:Q948

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)01-0121-05

Research on Prediction of Dynamic Change in Vegetation Coverage Based on Markov Model

Maryamgul · Axim^{1,2}, Tashpolat · Tiyip^{1,2}, Mamat · Sawut^{1,2}, ZHANG Fei^{1,2}

(1. College of Resources and Environment Sciences, Xinjiang University, Urumqi 830046, China;

2. Key Laboratory of Oasis Ecology of Ministry of Education, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

Abstract: Dynamically monitoring the vegetation change is important in the research of economical environment of the arid area oasis. The delta oasis of Weigan and Kuqa rivers was selected as the research area, and the dynamically change of the vegetation coverage was quantitatively analyzed by using the remote sensing image data. At the same time, the prediction of the dynamically change of the vegetation coverage in the next 25 a of the research area was made by using the Markov Model over the past years. The results show that research area presented a fluctuating decrease trend during the recent 21 years. From the year 1989 to 2001, the area of high coverage vegetation reduced from $3.804 \times 10^5 \text{ hm}^2$ to $2.711 \times 10^5 \text{ hm}^2$, and the very low coverage vegetation increased from $6.410 \times 10^4 \text{ hm}^2$ to $6.666 \times 10^4 \text{ hm}^2$, low coverage vegetation increased from $1.900 \times 10^5 \text{ hm}^2$ to $1.953 \times 10^5 \text{ hm}^2$, mid coverage vegetation changed very little. The result of the prediction of the next 25 years showed mid coverage vegetation, the area and the percentage of high coverage vegetation represented the decrease trend, however the mid coverage vegetation, low coverage vegetation and the very low coverage vegetation presented the increase trend. All these results showed that oasis presented degradation of the overall trend. The research results can provide a theoretical support for vegetation restoration and salinization, desertification of the research area.

Key words: remote sensing; normalized difference vegetation index; vegetation coverage; Markov prediction model

收稿日期:2012-06-03

修回日期:2012-09-03

资助项目:国家自然科学基金项目(40961025,40901163);新疆高校科研计划青年教师科研项目(XJEDU2011S07);资源与环境信息系统国家重点实验室开放课题(2010kf0003sa)

作者简介:玛丽艳姑丽·阿西穆(1986—),女(维吾尔族),硕士研究生,主要从事干旱区资源环境及遥感应用研究。E-mail:maryamgul43@163.com

通信作者:塔西甫拉提·特依拜(1958—),男,工学博士,教授,博士生导师,主要研究方向:遥感应用与 GIS。E-mail:tash@xju.edu.cn

植被是干旱区生态建设中的重要部分,而覆盖度是评判生态环境状况的重要指标。植被覆盖度不仅与区域水土流失、水资源储备有关,还与水环境质量、空气质量等密切相关^[1-3]。植被状况和植被覆盖的变化从一定程度上反映了气候变化的趋势,是生态环境研究的热点之一^[4-5]。遥感技术以其信息量大、观测范围广、精度高、速度快以及实时性和动态性等特点为开展植被监测和评估提供了有效的手段^[6-8]。国内外利用遥感技术,监测植被动态变化并制图及用 Markov 模型预测方面,已作了大量的研究工作^[9-13]。

渭干河—库车河流域生态环境极其脆弱,具有农牧交错带、森林边缘带以及沙漠边缘带等多种生态环境脆弱带特征,是新疆最典型的荒漠绿洲区。近 50 a 来,渭干河—库车河三角洲天然绿洲面积逐年减小,盐生、沙生植被死亡,植被稀疏等问题引起了一系列水文和生态环境变化,这些变化已严重制约了绿洲的可持续发展和人居环境的可持续改善。本文利用 3 期遥感影像数据,定量分析渭干河—库车河流域植被覆盖度的多年变化,并且应用 Markov 模型预测未来 25 a 的植被覆盖度变化情况,揭示渭干河—库车河流域多年来植被覆盖的数量变化和空间变化特征,明确其变化的方向,对正确评价植被变化的发展过程和状态,对绿洲的水土资源管理和可持续利用决策及生态环境保护具有科学指导意义。

1 研究区概况

1.1 研究区概况

渭干河—库车河三角洲(以下简称渭库绿洲)位于天山中部南麓,塔里木盆地北缘,包括库车县,新河县和沙雅县 3 个县区,是一个典型而完整的扇形平原绿洲。研究区内的植被为多汁肉质盐生灌丛和泌盐植物,主要有盐穗木(*Halostachys caspica*),盐节木(*Halocnemum strobilaceum*),盐爪爪(*Kalidium Foliatum*),骆驼刺(*Alagi pseudoalhagi*)、怪柳(*Tamarix chinensis*)及胡杨(*Euphrates Poplar*)。渭库绿洲气候干旱,蒸发强烈,为典型的绿洲农业,农作物生长全靠灌溉^[14-15]。

1.2 研究数据及预处理

本文所采用的数据为 3 个时期的遥感影像,包括 1989 年 9 月 25 日,和 2011 年 9 月 6 日 Landsat 5 的 TM 影像和 2001 年 8 月 1 日 Landsat 7 的 ETM+ 影像,选用的遥感影像质量良好,均摄于农作物、天然植被以及人工植被生长较好的时期,不同时期的植被状况具有可比性,对研究区的植被生长状况具有一定的代表性。利用遥感影像处理软件 ENVI 4.5 将这些影

像的分辨率转换为 30 m 后,进行图像配准、几何校正、大气校正、图像增强等图像预处理操作。另外,实地调查数据为 2007—2011 年间在渭库绿洲进行 6 次相同标准的野外考察的植被类型、植被覆盖度等数据。

2 研究方法

本文利用 3 个时期 Landsat TM/ETM+ 数据定量分析研究区域的植被覆盖度变化情况,最后利用 Markov 模型对研究区未来 25 a 内的植被覆盖度动态变化进行预测。

2.1 Markov 模型原理

Markov 分析是利用某一系统的现在状况及其发展动向,预测该系统未来状况的一种概率预测分析方法与技术^[16]。Markov 过程的基本假定条件为:系统状态转移概率矩阵不随时间变化而变化,状态转移仅受前一状态影响,即无后效性,在 Markov 链中,系统状态的转移可用概率矩阵 P 表示:

$$P = P_{(ij)} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdots & P_{1N} \\ P_{21} & P_{22} & \cdots & P_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{N1} & P_{N2} & \cdots & P_{NN} \end{bmatrix}$$

系统从 t 到 $t+1$ 时刻,状态 E_i 转移为 E_j 的频数 n_{ij} 之比,则为其转移概率:

$$p_{ij} = n_{ij} / \sum_{j=1}^m n_{ij}$$

Markov 预测模型可以根据初始时刻各种状态的概率,通过状态转移概率矩阵,预测以后任一时刻的状态概率^[17]。

2.2 Markov 模型预测植被覆盖度

2.2.1 归一化植被指数 (NDVI) 的计算及其与植被覆盖度的转换 NDVI(normalized difference vegetation index,归一化植被指数)是植物生长、覆盖、生物量和植被种类情况等的综合反映,与植被分布密度呈线性相关^[18-19]。本文利用植被覆盖度计算公式^[20]:

$$V_c = (\text{NDVI} - \text{NDVI}_{\min}) / (\text{NDVI}_{\max} - \text{NDVI}_{\min})$$

式中: V_c ——植被覆盖度; NDVI_{\max} ——归一化植被指数 (NDVI) 最大值; NDVI_{\min} ——归一化植被指数 (NDVI) 最小值。考虑到影像存在噪声,在 NDVI 频率累计表上取频率为 0.5% 的值为 NDVI_{\min} ,取频率为 99.5% 的值为 NDVI_{\max} 。

2.2.2 植被覆盖度分级 参考前人的植被覆盖度分级标准^[9,17,21],结合野外植被调查资料,制定渭库绿洲植被覆盖度标准(表 1)。根据植被覆盖度分级标准,得到覆盖度等级图(图 1),然后计算得到植被覆盖面积及覆盖度转移矩阵(表 2)。

表 1 渭库绿洲植被覆盖度分级

分级	分级标准	覆盖度/%	景观特征
I 级	高覆盖度植被	60~100	胡杨林,农田,果园
II 级	中覆盖度植被	30~60	低郁闭林地,中产草地,林地
III 级	低覆盖度植被	10~30	盐生植被,树林地,荒漠地,属差等植被
IV 级	极低覆盖度植被	<10	强度沙化土地,裸地,水域

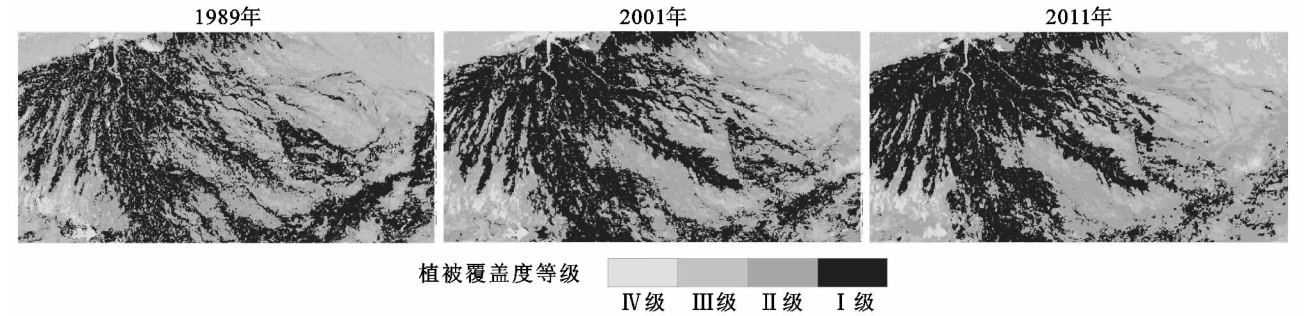


图 1 渭库绿洲植被覆盖度等级

表 2 渭库绿洲在 1989—2001 年间不同覆盖度等级植被的面积变化

年份	植被面积/万 hm ²			
	高覆盖度 植被(I 级)	中覆盖度 植被(II 级)	低覆盖度 植被(III 级)	极低覆盖度 植被(IV 级)
1989 年	38.0389	28.9544	19.0029	6.4096
转入	9.0090	13.6382	8.2351	4.7011
转出	10.0371	13.5670	8.1518	3.8063
2001 年	37.0054	29.0250	19.0670	7.3044
增减	-1.0335	0.0706	0.0641	0.8948
年均增减量	-0.0861	0.0059	0.0053	0.0746

表 2 说明,1989—2001 年 12 a 间,除了高覆盖度植被(I 级)负增加以外,中覆盖度(II 级)、低覆盖度(III 级)、极低覆盖度(IV 级)植被面积均呈现正增加,其增加面积分别为-0.086 万 hm²,0.070 6 万 hm²,0.064 1 万 hm²,0.894 8 万 hm²。从年均增减量来看,高覆盖度植被(I 级)增加面积(负增加)最大,中覆盖度植被(II 级)最小。可见在 1989—2001 年时间段内渭库绿洲植被退化较严重。

表 3 渭库绿洲在 2001—2011 年间不同覆盖度等级植被的面积变化

年份	植被面积/万 hm ²			
	高覆盖度 植被(I 级)	中覆盖度 植被(II 级)	低覆盖度 植被(III 级)	极低覆盖度 植被(IV 级)
2001 年	37.0054	29.0250	19.0670	7.3044
转入	6.9652	10.2333	7.1479	3.2818
转出	6.8611	10.1626	6.6845	3.9199
2011 年	37.1096	29.0956	19.5334	6.6662
增减	0.1042	0.0706	0.4664	-0.6382
年均增减量	0.0104	0.0071	0.0466	-0.0638

由表 3 中可知,2001—2011 年 10 a 间,除了极低覆盖度植被(IV 级)负增加以外,高覆盖度植被

(I 级),中覆盖度植被(II 级),低覆盖度植被(III 级)面积均呈现正增加,其增加面积分别为-0.638 2 万 hm²,0.104 2 万 hm²,0.070 6 万 hm²,0.466 4 万 hm²。从年均增减量来看,极低覆盖度植被(IV 级)增加面积(负增加)最大,中覆盖度(II 级)最小。可见在 2001—2011 年时间段渭库绿洲植被有一定的恢复,说明本地区生态保护措施起了一定的作用。

2.2.3 转移概率的确定及模型检验 选用 2001—2011 年间的转移状况及转移概率,利用 Markov 模型预测 2001 年和 2011 年植被覆盖(表 4),将 2001 年的遥感影像图的分类结果设为初始状态,2011 年的遥感影像图的分类结果设为最终状态,分别计算植被覆盖类型转化的像元数,得到 2001—2011 年间渭库绿洲植被转移频数矩阵(表 5)。根据公式计算出 2001—2011 年间渭库绿洲植被转移状况矩阵,最后将 10 a 间的转移概率进行平均化,得到年均转移概率矩阵(表 6)。根据 Markov 模型的独立假设检验公式,可以计算出-2lnλ=15218789。再根据表 1,将植被覆盖度分为 4 个等级,序列自由度为 λ=9,选择置信水平 σ=0.005 时,查 χ² 分布表得 23.589,显然 15218789>23.589 可以拒绝独立假设,说明不同年份植被覆盖度之间存在相关性,即状态之间有关联。

表 4 2001—2011 年的植被覆盖度统计

年份	覆盖度等级	I 级	II 级	III 级	IV 级
2001	像元数	4111713	3224995	2118892	811598
	面积/万 hm ²	37.0054	29.0250	19.0670	7.3044
	百分比/%	0.4005	0.3141	0.2063	0.0791
2011	像元数	4123285	3232848	2170380	740868
	面积/万 hm ²	37.1096	29.0956	19.5334	6.6662
	百分比/%	0.4016	0.3149	0.2114	0.0721

表 5 2001—2011 年间渭库绿洲植被类型转移频数矩阵				
植被覆盖度类型	I 级	Ⅱ级	Ⅲ级	Ⅳ级
I 级	10310	37808	316523	37045
Ⅱ级	21252	407013	1376169	365946
Ⅲ级	730781	2095814	353226	53027
Ⅳ级	3349370	684360	72974	16850

表 6 2001—2011 年间渭库绿洲植被类型转移概率矩阵				
植被覆盖度类型	I 级	Ⅱ级	Ⅲ级	Ⅳ级
I 级	0.9026	0.0094	0.0788	0.0092
Ⅱ级	0.0010	0.9187	0.0634	0.0169
Ⅲ级	0.0226	0.0648	0.9110	0.0016
Ⅳ级	0.0812	0.0166	0.0018	0.9004

2.3 预测结果与分析

根据预测模型,获得未来 25 a 的植被覆盖度面积(表 7)。预测结果表明:若植被覆盖度平均转移概率保持不变,在未来 25 a 内,在植被覆盖总面积为 92.404 8 万 hm² 情况下高覆盖度植被 2015 年为 28.543 8 万 hm² 占总面积的 30.89%,低覆盖度植被为 28.941 2 万 hm²,占总面积的 31.32%,极低覆盖度植被 7.207 6 万 hm²,占总面积的 7.80%;而到 2030 年为高覆盖度植被面积是 17.593 9 万 hm² 占总面积的 19.04%,低覆盖度植被面积是 36.758 6 万 hm²,占总面积的 39.78%,极低覆盖度植被面积为 7.392 4 万 hm²,占总面积的 8.00%,这期间,变化幅度最大的为高覆盖度植被,减少了 11.86%,次之是低覆盖度植被增加了 8.64%。表明渭库河绿洲的植被覆盖度将有一定的减少趋势,生态环境将会有一定的恶化。造成上述植被覆盖度变化的主要驱动因素为自然因素、人为因素以及经济利益和政策^[21]。

表 7 渭库绿洲植被覆盖度变化预测				
年份	I 级	Ⅱ级	Ⅲ级	Ⅳ级
	面积/比例	面积/比例	面积/比例	面积/比例
2015	2.85438/30.89	27.7122/29.99	28.9412/31.32	7.2076/7.80
2020	2.25930/24.45	28.3683/30.07	34.0696/36.87	7.3739/7.98
2025	1.93865/20.98	29.5880/32.02	36.0388/39.00	7.3831/7.99
2030	1.75939/19.04	30.6599/33.18	36.7586/39.78	7.3924/8.00

注:表中数据面积单位为万 hm²,所占比例单位为%。

3 结论与讨论

本文利用 3 期遥感图像数据,定量分析评价了植被覆盖度的多年变化,并且应用 Markov 模型预测未来 25 a 内渭库绿洲植被覆盖度变化情况。研究显示:在 1989—2001 年 12 a 间,高覆盖度植被(I 级)呈现减小趋势,中覆盖度植被(Ⅱ级)、低覆盖度植被(Ⅲ级)和极低覆盖度植被(Ⅳ级)均呈增加趋势,植被退

化比较严重;而 2001—2011 年的 10 a 间,高覆盖度植被(I 级)从负增长逐渐变为正增长,中覆盖度植被(Ⅱ级)、低覆盖度植被(Ⅲ级)均增加,而极低覆盖度植被(Ⅳ级)从正增长逐渐变为负正增长,在此期间本研究区植被恢复比较好。1989—2011 年的 21 a 间,总体而言,高覆盖度植被(I 级)总体减小,减少面积为 0.929 3 万 hm²,中覆盖度植被(Ⅱ级)、低覆盖度植被(Ⅲ级)、极低覆盖度植被(Ⅳ级)面积均增加,增加面积分别为 0.141 2 万 hm²,0.530 5 万 hm²,0.257 0 万 hm²。

25 a 内高覆盖度植被面积会减少,而中覆盖度植被、低覆盖度植被、极低覆盖度植被面积均有增加趋势,其中低植被覆盖度的增加趋势比较明显。这些变化表明,虽然局部生态环境有一定改善,但整体生态环境仍呈恶化趋势。对于绿洲植被这种变化就暴露出了这样一个问题:当地人民虽然很重视治沙,在过渡带和沙漠的交接处植树造林,提高植被覆盖度^[22],但是没有保护好原有的绿洲,不合理的开发利用导致了植被盖度非常好的绿洲退化,形成了潜在的沙漠化地带,使整个绿洲的环境质量下降,生态环境也进一步恶化,加之对流域开发和水资源利用缺乏统一规划。有资料表明,该地区由于人口和耕地的急剧增长,兼之极不合理的利用水资源,给本已有限的水资源带来了巨大的压力。以塔里木河为例,上中游大量引水,导致水质咸化,河道流程缩短,造成水量极大浪费,1995 年流水河道缩短了 320 km,下游水量锐减甚至断流,以至下游地区湖泊干涸,植被枯死,引起风蚀与流沙的扩展,因此,绿洲地下水过量开采,导致沙漠边缘植被用水无法保证,出现植被生长衰退的现象^[23]。随着社会经济的发展,人们对环境保护,生态建设和可持续发展认识的不断提高,今后本地区应该坚持大搞农田基本建设,开展各种造林活动,使本地区绿洲生态环境得到改良、恢复,呈现新的发展。

参考文献:

[1] 丁建丽,塔西甫拉提·特依拜,刘传胜. 策勒绿洲植被覆盖动态变化遥感研究[J]. 中国沙漠,2003,23(1):79-83.
[2] 张光辉,梁一民. 植被盖度对水土保持功效影响的研究综述[J]. 水土保持研究,1996,3(2):104-110.
[3] Carrol C, Merton L, Burger P. Impact of vegetation cover and slope on runoff erosion and water quality for field plots on a range of soil and spoil materials on central Queenlands coalmines[J]. Aust. J. Soil Res., 2002, 38(2):313-327.
[4] Liu W T, Kogan F. Monitoring Brazilian soybean production using NOAA/AVHRR based vegetation condi-

- tion indices[J]. International Journal of Remote Sensing, 2002, 23(6): 1161-1179.
- [5] 孙小红, 王长耀, 牛铮, 等. 中国地表植被覆盖变化及其与气候因子关系: 基于 NOAA 时间序列数据分析[J]. 遥感学报, 1998, 2(3): 204-209.
- [6] 塔西甫拉提·特依拜, 张飞, 丁建丽, 等. 干旱区绿洲盐渍化土壤空间信息研究[J]. 干旱区地理, 2007, 30(4): 544-551.
- [7] Rao B R M, Dwived R S, Venkataratnam L, et al. Mapping the magnitude of sodicity in part of the Indo-Gangetic plains of Uttar Pradesh, northern India using Landsat-TM data[J]. International Journal of Remote Sensing, 1991, 12(3): 419-425.
- [8] 顾祝军, 曾志远. 遥感植被盖度研究[J]. 水土保持研究, 2005, 12(2): 18-21.
- [9] 曹永翔, 刘小丹, 张克斌, 等. 青海省都兰县察汗乌苏绿洲植被覆盖度变化研究[J]. 中国沙漠, 2011, 31(5): 1267-1272.
- [10] 塔西甫拉提·特依拜, 赵睿, 丁建丽, 等. 干旱区绿洲 LUCC 马尔可夫过程分析: 以新疆于田绿洲为例[J]. 干旱区地理, 2006, 29(4): 548-556.
- [11] Kiira Aaviksoo. Simulating vegetation dynamics and land use in a mire landscape using a Markov model[J]. Landscape and Urban Planning, 31(1995): 129-142.
- [12] 仝川, 郝敦元, 高霞, 等. 利用马尔可夫过程预测锡林河流域草原退化格局的变化[J]. 自然资源学报, 2002, 17(4): 488-493.
- [13] Heiko Balzer. Markov chain models for vegetation dynamics[J]. Ecological Modelling, 2000, 126(2/3): 139-154.
- [14] 丁建丽, 张飞, 江红南, 等. 塔里木盆地北缘绿洲土壤含盐量和电导率空间变异性研究: 以渭干河—库车河三角洲绿洲为例[J]. 干旱区地理, 2008, 31(4): 624-632.
- [15] 塔西甫拉提·特依拜, 张飞, 赵睿. 新疆干旱区土地盐渍化信息提取及实证分析[J]. 土壤通报, 2007, 38(4): 625-630.
- [16] 姜圣阶, 曲格平, 张顺将, 等. 决策学基础[M]. 北京: 科学出版社, 1980.
- [17] 沙晋明, 李小梅, 杨武年, 等. 利用马尔可夫模型预测福州市植被动态变化[J]. 水土保持通报, 2004, 24(5): 5-9.
- [18] 陈云浩, 李晓兵, 陈晋, 等. 1983—1992 年中国陆地植被 NDVI 演变特征的变化矢量分析[J]. 遥感学报, 2002, 6(1): 12-18.
- [19] 李晓兵, 史培. 基于 NOAA/AVHRR 数据的中国主要植被类型的 NDVI 变化规律研究[J]. 植物学报, 1990, 41(3): 314-324.
- [20] 马勇刚, 塔西甫拉提·特依拜, 丁建丽, 等. 塔里木南缘绿洲“冷岛”效应及与植被覆盖相关分析: 以于田绿洲为例[J]. 干旱区地理, 2007, 30(6): 865-870.
- [21] 张飞, 塔西甫拉提·特依拜, 丁建丽, 等. 新疆典型盐渍区植被覆盖度遥感动态监测: 渭干河—库车河三角洲绿洲为例[J]. 林业科学, 2011, 47(7): 27-35.
- [22] 塔西甫拉提·特依拜, 熊黑刚, 丁建丽, 等. 塔里木盆地南缘生态环境演变研究[M]//干旱区环境演变论文集. 乌鲁木齐: 新疆大学出版社, 2001.
- [23] 俎瑞平, 高前兆, 钱翰, 等. 2000 年来塔里木盆地南缘绿洲环境演变[J]. 中国沙漠, 2001, 21(2): 125-127.
- ~~~~~
- (上接第 120 页)
- [4] 安树青. 湿地生态工程[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [5] 杨朝飞. 中国湿地现状及其保护对策[J]. 中国环境科学, 1995, 15(6): 407-412.
- [6] 陆健健, 何文珊, 童春富, 等. 湿地生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [7] 国家林业局, 外交部, 国家发展和改革委员会, 等. 中国湿地保护行动计划[Z]. 北京: 林业出版社, 2000.
- [8] 刘子刚, 马学慧. 中国湿地概览[M]. 北京: 中国林业出版社, 2008.
- [9] 秦伯强. 近百年来亚洲中部内陆湖泊演变及其原因分析[J]. 湖泊科学, 1999, 11(1): 11-16.
- [10] 李颖, 田竹君, 叶宝莹, 等. 嫩江下游沼泽湿地变化的驱动力分析[J]. 地理科学, 2003, 23(6): 686-691.
- [11] 郭跃东, 何艳芬. 松嫩平原湿地动态变化及其驱动力研究[J]. 湿地科学, 2005, 3(1): 54-59.
- [12] 蒋卫国, 李京, 王文杰, 等. 基于遥感与 GIS 的辽河三角洲湿地资源变化及驱动力分析[J]. 国土资源遥感, 2005(3): 62-65.
- [13] 田素娟, 陈为峰, 田素锋. 基于 RS 和 GIS 的黄河口湿地景观变化研究: 以垦利县为例[J]. 草业科学, 2010, 27(4): 57-63.
- [14] 刘及东, 陈艳梅, 陈雅琳, 等. 3 呼伦贝尔草原湿地景观格局对气候变化的响应[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(11): 74-78.
- [15] 刘丽云. 黄河三角洲湿地演化及其驱动力研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2004.
- [16] 蓝岚. 基于 3S 技术的若尔盖高原湿地动态监测及驱动力分析[D]. 成都: 成都理工大学, 2011.
- [17] Houghton J. Global Climate Warming[M]. Beijing: Meteorological Publishing House, 1995.
- [18] 赵广明, 叶思源, 李广雪. 卫星遥感在湿地研究中的应用[J]. 海洋地质动态, 2007, 23(12): 28-33.
- [19] 孙广友. 中国湿地科学的进展与展望[J]. 地球科学进展, 2000, 15(6): 666-672.
- [20] 王效科. 中国西北湿地群干旱之地的湿润[J]. 森林与人类, 2010(8): 12-23.