

昌黎黄金海岸国家级自然保护区 土地利用/覆被变化及驱动力分析

赵晶晶, 张 玮, 高伟明

(河北师范大学 资源与环境科学学院, 石家庄 050024)

摘 要:以新开口南部公路至七里海东侧小路为界,将昌黎黄金海岸国家级自然保护区陆域分为北部研究区和南部研究区,利用 1991 年和 2010 年两期遥感影像数据解译图分别获取昌黎黄金海岸国家级自然保护区南、北两部分土地利用数据,基于 GIS 空间分析与数理统计方法分别对 1991—2010 年南北两部分的土地利用/覆被变化特征进行定量分析,运用区域生态环境质量指数和区域土地利用变化类型生态贡献率,对南北两部分土地利用变化的生态环境效应及导致其生态环境质量变化的土地利用变化类型进行了分析与评价。结果表明:1991—2010 年期间北部研究区和南部研究区的土地利用变化主要表现为草地的减少,耕地、林地、建设用地、水域和未利用地面积增加的态势;1991—2010 年北部研究区和南部研究区的生态环境质量均呈下降趋势,区域生态环境质量指数分别从 0.759 2 下降至 0.585 5 和 0.662 6 下降至 0.529 2;北部研究区的生态环境质量劣于南部研究区,致使北部研究区生态环境质量下降的主要驱动力是建设用地规模的扩大,而引起南部研究区生态环境质量下降的主要驱动力是土地退化。

关键词:土地利用/覆被变化;生态环境效应;驱动力

中图分类号:F301.24

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)06-0211-06

Analysis of Land Use/Land Cover Change and Driving Forces in Changli Gold Coast National Nature Reserve

ZHAO Jing-jing, ZHANG Wei, GAO Wei-ming

(College of Resources and Environmental Sciences, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050024, China)

Abstract:Changli Gold Coast, the national natural reserve, was divided into two study areas—the northern part and the southern part with the border from the southern road of Xinkaikou to the eastern path of Qilihai in this study. The changed data of land use of the two areas were obtained from the remote sensing image interpretation made in the year 1991 and 2010. And a quantitative study on the land use/cover from the year 1991 to 2010 was made in the two study areas of Changli Gold Coast through the GIS spatial analysis and mathematical statistics method. An analysis and assessment were carried out to investigate the eco-environmental effect on land use change and the types of land use change which led to the change of eco-environmental quality in the northern and southern study area based on the regional ecological environmental quality index and regional changes of land use. The results showed that the changes of land use in the northern and southern study area of Changli Gold Coast from the year 1991 to 2010 were manifested by the tendency of the reduction of grassland and the increase of cropland, forest, construction land, water body and unused land. From the 1991 to 2010, the regional ecological environmental quality index of northern study area decreased from 0.759 2 to 0.585 5, and the index in southern area was from 0.662 6 to 0.529 2. The eco-environmental quality in the northern and southern study area both tended to decrease. The eco-environmental quality in the northern area was inferior to that in the southern part. The main factor affecting the decrease of eco-environ-

收稿日期:2012-05-16

修回日期:2012-07-08

资助项目:河北省应用基础研究计划重点基础研究项目“河北省滨海湿地时空演变过程及驱动力研究”(09966719D)

作者简介:赵晶晶(1988—),女,河北邢台人,硕士研究生,主要从事资源评价与可持续利用研究。E-mail:jingjingzhao2002@126.com

通信作者:高伟明(1962—),男,河北滦县人,教授,硕士生导师,主要从事资源评价与可持续利用研究。E-mail:gaowmd@263.net

mental quality in northern area was the expansion of the construction land, while land degeneration was the main reason why the eco-environmental quality decreased in southern area.

Key words: land use/cover change; eco-environmental effect; driving force

土地利用/覆被变化(LUCC)作为自然和人文交叉最为密切的问题,它广泛涉及资源的有效开发利用与合理保护、生态环境的保护与治理、耕地保护与粮食安全、社会经济的可持续发展等一系列重大问题,是全球变化的重要组成部分之一,因而成为国际上全球变化研究的前沿和热点^[1-2]。从研究内容看,许多学者对土地利用变化的驱动机制、变化趋势以及生态环境效应等开展了深入的研究,并取得了一系列成果^[3-9];从研究方法上,定量化的方法越来越成为主导,许多模型得到运用和发展^[10-11]。在典型区域利用遥感图像分析和地理信息系统方法,得到不同时期土地利用的时空变化,是认识区域土地利用变化与资源、环境问题关系的关键,也是协调人地关系保持区域可持续发展的关键^[12-13]。因此,研究土地利用变化对生态环境和系统的影响过程,对于了解区域生态环境变化、维持生态系统平衡及可持续发展具有重要意义。

昌黎黄金海岸国家级自然保护区生态脆弱,受人为因素干扰演化速度较快,土地利用变化对生态环境的影响不可忽视。尤其是在保护区新开口以北区域,包含诸多旅游景区(景点)、渔业生产设施(渔港、育苗室等),开发利用程度相对较高,人类活动频繁,对区内保护对象的影响和干扰显著较强。但目前对昌黎黄金海岸国家级自然保护区的土地利用变化及生态环境影响研究较少,以期为该区域的土地管理决策、生态环境保护以及进一步深入研究奠定基础,为社会和谐和经济可持续发展提供科学的决策依据。

1 研究区概况

昌黎黄金海岸国家自然保护区位于河北省秦皇岛市昌黎县东部沿海,119°11′—119°37′E、39°25′—39°40′N,是1990年国务院批准的五个首批国家级海洋类型自然保护区之一,总面积约30 000 hm²。其中陆域北界为大蒲河,西界经北部沙丘的西缘,向南绕过七里海的西侧,经由侯里、大滩等村至滦河,陆域土地资源面积9 150 hm²,占保护区总面积的30.5%。该区属暖温带半湿润大陆性季风气候,光照充足、四季分明、冬暖夏凉、干湿相宜、雨热同季。年均气温10.1~11.0℃;年均降水量630 mm,较全市略少5%左右,是秦皇岛市降水较少的区域;年降水分布不均,多集中在6—8月;年均蒸发量1 580 mm;年均风速2.9 m/s。保护区主要保护对象为海岸自然景观及所

在海区生态环境和自然资源,包括沙丘、沙堤、潟湖、林带、鸟类、海水、文昌鱼等构成的海岸海洋生态系统。

依据《昌黎黄金海岸国家级自然保护区总体规划(2011—2020)》中的功能分区,以新开口南部公路至七里海东侧小路为界,将保护区陆域分为北部研究区和南部研究区。界线以北为北部研究区,面积2 136 hm²,涵盖保护区陆域赤洋口沙丘林带实验区大部,占陆域土地资源总面积的23.3%,占保护区总面积的7.12%;路以南为南部研究区,面积7 014 hm²,包括保护区陆域和潟湖的两个核心区、陆域南北缓冲区、七里海潟湖和滦河口湿地实验区及赤洋口沙丘林带实验区的一小部分,其面积占陆域土地资源总面积的76.7%,占保护区总面积的23.38%。

2 研究方法

2.1 资料收集与处理

本文以1991年Landsat-5 TM(地面分辨率30 m×30 m)和2010年SPOT-5(地面分辨率3 m×3 m)卫星遥感影像资料为基本信息源。在ERDAS IMAGINE 8.6图像处理软件下完成影像的几何精校正、配准和增强处理。根据保护区土地利用类型影像特征,建立解译标志,将研究区土地利用类型分为耕地、林地、草地、建设用地、水域和未利用地6个一级类型和13个二级类型。其中,耕地包括水田和旱地;林地包括有林地、灌木林地和其他林地;草地包括高覆盖度草地;建设用地包括农村居民点和其他建设用地;水域包括河渠、湖泊和水库坑塘;未利用地包括沙地和盐碱地。利用ArcGIS 9.3形成两期土地利用现状图和相应的土地利用现状属性数据库,利用该软件的空间叠置分析,获得土地利用的动态变化信息。

2.2 土地利用转移类型分析

根据地图代数原理,对任意两期土地利用类型 $A_{i \times j}^k$ 和 $A_{i \times j}^{k+1}$ 的土地利用转移矩阵计算公式如下^[14-15]:

$$C_{i \times j} = 10A_{i \times j}^k + A_{i \times j}^{k+1} \quad (1)$$

式中: $C_{i \times j}$ —— k 时期到 $k+1$ 时期的土地利用变化图; $A_{i \times j}^k$ —— k 时期土地利用类型图; $A_{i \times j}^{k+1}$ —— $k+1$ 时期土地利用类型图; i, j ——不同的土地利用类型,当 i 和 j 取值范围为1~10时,可以采用公式(1)计算土地利用转移矩阵。

2.3 区域生态环境质量指数

因土地利用二级分类系统具有较高分辨率,且体

现了明显的生态差异性, 所以将生态环境变化分析纳入二级分类。引用杨述河等人依据专家征询和层次分析法得出的土地利用分类系统及其生态环境指数赋值表(表 1), 基于研究区土地利用二级分类系统中各土地利用类型面积的大小, 以 EV 定量表征某一区域内生态环境质量的总体状况, EV 值越大, 表示生态环境质量越高。计算公式为^[16-18]:

$$EV_t = \sum_{i=1}^N LU_i \times C_i / TA$$

(2)

式中: EV_t ——区域生态环境质量指数; LU_i, C_i ——该区域内 t 时期第 i 种土地利用类型的面积和生态环境指数; TA ——该区域总面积; N ——区域内土地利用类型数量。

表 1 土地利用分类系统及其生态环境指数赋值

一级分类	二级分类	生态质量指数赋值	一级分类	二级分类	生态质量指数赋值
耕地	水田	0.30	水域	河渠	0.55
	旱地	0.25		湖泊	0.75
林地	有林地	0.95		水库坑塘	0.55
	灌木林	0.65		冰川雪地	0.90
	疏林地	0.45		海涂	0.45
	其他林地	0.40		滩地	0.55
草地	高覆盖度草地	0.75	未利用地	沙地	0.01
	中覆盖度草地	0.45		戈壁	0.01
	低覆盖度草地	0.20		盐碱地	0.05
建设用地	城镇用地	0.20		沼泽地	0.65
	农村居民点	0.20		裸土地	0.05
	其他建设用地	0.15		裸岩石砾地	0.01

2.4 区域土地利用变化类型生态贡献率

土地利用变化类型生态贡献率指某一种土地利用类型变化所导致的区域生态质量的改变。在本文中, 生态贡献率特指二级土地利用类型变化所导致的区域生态质量的改变, 其表达式为^[16,18]:

$$LEI = (LE_{t+1} - LE_t) LA / TA$$

(3)

式中: LEI ——土地利用变化类型生态贡献率; LE_{t+1}, LE_t ——某种土地利用变化类型所反映的变

化初期和末期土地利用类型所具有生态质量指数; LA ——该变化类型的面积; TA ——区域总面积。

3 结果与分析

3.1 土地利用变化分析

根据公式(1), 利用 GIS 的空间分析功能, 分别对南北部研究区 1991 年、2010 年两期数据进行空间叠加分析, 得到 1991—2010 年南北研究区的土地利用类型变化幅度、土地利用类型面积转移矩阵和百分率转移矩阵(表 2—4)。从土地利用类型来看, 南北研究区主要土地利用类型为林地、草地、水域及未利用地。经过 1991—2010 年这 20 a 间的演变, 各主要土地利用类型的面积比重有明显变化, 但主要的土地利用类型仍为林地、草地、水域及未利用地, 其它土地利用类型的比重也有所增加, 如北部研究区的建设用地和南部研究区的耕地。南北研究区的草地面积都明显减少, 分别减少了 632.36 hm^2 和 2 426.55 hm^2 , 其变化量分别占 2010 年其研究区草地面积的 10.9 倍和 12.8 倍。在北部研究区, 林地、建设用地和未利用地是草地的主要转出方向, 转移百分比分别为 26.44%、19.76% 和 13.12%; 而在南部研究区, 林地、水域和未利用地则是草地的主要转出方向, 转移百分比分别为 34.97%、27.58% 和 24.85%。南北研究区的未利用地面积都有所增加, 分别增加了 198.22 hm^2 和 725.65 hm^2 , 其变化量分别占 2010 年其研究区未利用地面积的 86.64% 和 62.23%; 未利用地面积主要靠草地和林地转换而来, 转换百分比分别为 69.52% 和 14.28%, 55.75% 和 12.1%。在北部研究区, 建设用地面积明显增加, 增加了 338.12 hm^2 , 变化量占 2010 年北部研究区建设用地面积的 85.15%。建设用地面积增加主要靠林地和草地转化而来, 转化百分比分别为 17.65% 和 60.28%。可见在 1991—2010 年这 20 a 间, 北部研究区的人类开发活动侵占了大量的林地和草地。在南部研究区, 耕地面积有所增加, 增加了 337.88 hm^2 。

表 2 1991—2010 年昌黎黄金海岸国家级自然保护区土地利用类型变化幅度

土地利用类型	耕地	林地	草地	建设用地	水域	未利用地
北部	1991 年/ hm^2	638.62	1211.33	58.98	196.51	30.56
	2010 年/ hm^2	13.78	664.38	397.10	252.99	228.78
	总幅度/ hm^2	13.78	25.76	-632.36	338.12	198.22
	占 2010 年百分比/%	100.00	3.88	-109.22	85.15	86.64
南部	1991 年/ hm^2	293.90	1379.62	271.91	2012.21	440.40
	2010 年/ hm^2	628.78	2224.74	189.41	327.46	2477.57
	总幅度/ hm^2	334.88	845.12	-2426.55	55.55	465.36
	占 2010 年百分比/%	53.26	37.99	-1281.10	16.96	18.78

表 3 1991—2010 年昌黎黄金海岸国家级自然保护区土地利用类型面积转移矩阵 hm²

土地利用类型		耕地	林地	草地	建设用地	水域	未利用地
耕地	北部						
	南部	208.86	19.13	7.51	9.64	42.02	6.75
林地	北部	1.72	328.65	175.31	70.09	30.21	32.67
	南部	30.59	1108.43	47.99	35.87	15.63	141.10
草地	北部	12.03	320.31	366.15	239.36	114.45	159.04
	南部	181.50	914.77	83.88	64.08	721.61	650.11
建设用地	北部	0.02	13.19	9.96	28.39	2.06	5.37
	南部	37.53	4.49	24.83	204.27	0.79	
水域	北部	0.02	2.45	26.81	58.76	104.42	4.06
	南部	170.30	68.84	0.47	13.60	1697.41	61.56
未利用地	北部		0.16	1.05	0.03	1.55	27.77
	南部		109.08	24.73			306.50

表 4 1991—2010 年昌黎黄金海岸国家级自然保护区土地利用类型百分率转移矩阵 %

土地利用类型			耕地	林地	草地	建设用地	水域	未利用地
耕地	北部	A						
		B		12.48	87.29	0.16	0.12	
	南部	A	71.07	3.04	2.55	3.28	14.30	2.30
		B	33.22	4.87	28.87	5.97	27.08	
林地	北部	A	0.27	51.46	27.45	10.98	4.73	5.12
		B		49.47	48.21	1.98	0.37	0.02
	南部	A	2.22	80.34	3.48	2.60	1.13	10.23
		B	0.86	49.82	41.12	0.20	3.09	4.90
草地	北部	A	0.99	26.44	30.23	19.76	9.45	13.13
		B		30.28	63.24	1.72	4.63	0.18
	南部	A	6.94	34.97	3.21	2.45	27.58	24.85
		B	3.96	25.33	44.28	13.11	0.25	13.06
建设用地	北部	A	0.04	22.36	16.88	48.13	3.49	9.11
		B		17.65	60.28	7.15	14.80	0.01
	南部	A	13.80	1.65	9.13	75.12	0.29	
		B	2.94	10.95	19.57	62.38	4.15	
水域	北部	A	0.01	1.25	13.64	29.9	53.14	2.07
		B		11.94	45.24	0.81	41.27	0.61
	南部	A	8.46	3.42	0.02	0.68	84.36	3.06
		B	1.70	0.63	29.13	0.03	68.51	
未利用地	北部	A		0.52	3.44	0.10	5.06	90.88
		B		14.28	69.52	2.35	1.77	12.14
	南部	A		24.77	5.62			69.60
		B	0.58	12.10	55.75		5.28	26.29

注：A 行表示 1991 年第 i 种土地利用类型转变为 2010 年第 j 种土地利用类型的比例；B 行表示 2010 年第 j 种土地利用类型中由 1991 年的第 i 种土地利用类型转变而来的比例。

1991—2010 年北部研究区面积增加幅度最大的是建设用地和未利用地,面积减少幅度最大的是草地,而南部研究区面积增加幅度最大的是林地和未利用地,面积减少幅度最大的也是草地。北部研究区和南部研究区土地利用类型的不同变化,说明了在北部

研究区,以人类活动加剧,建设用地占用增多和草地减少为主;在南部研究区,以治沙种草造林,土地退化为主。

3.2 生态环境变化与驱动因素分析

根据公式(2),计算得到北部研究区 1991 年和

2010 年的区域生态环境质量指数分别为 0.759 2 和 0.585 5, 年均下降 0.87%; 南部研究区 1991 年和 2010 年的区域生态环境质量指数分别为 0.662 6 和 0.529 2, 年均下降 0.67%。由此可知, 1991—2010 年间, 北部研究区和南部研究区的总体生态环境质量都在下降, 其中北部研究区生态环境质量下降速度比南部研究区快。区域内生态质量往往同时发生着好转和恶化两种相反趋势。生态环境改善和恶化趋势可从分析二级土地利用类型变化得出。表 5 给出了 1991—2010 年 20 a 间, 北部研究区和南部研究区导致生态环境改善和恶化的主要驱动因子的贡献率和占贡献率的比例。

表 5 昌黎黄金海岸国家级自然保护区土地利用转变类型贡献率

驱动因子		贡献率	占贡献率比例/%
生态环境改善	治沙种草与造林	北部 0.0327	97.80
		南部 0.0394	94.23
	建设用地规模扩大	北部 0.0956	45.58
		南部 0.0101	5.62
生态环境恶化	开垦耕地	北部 0.0031	1.48
		南部 0.0211	12.02
	土地退化	北部 0.0689	33.31
		南部 0.0918	52.23
	沼泽湿地减少	北部 0.0109	5.25
		南部 0.0242	13.78

由表 5 可知, 在 1991—2010 年期间致使北部研究区和南部研究区生态环境质量改善的主要土地利用变化的驱动因子主要是治沙种草与造林。其中, 在北部研究区, 治沙种草与造林的转化部分占生态贡献率的 97.80%; 在南部研究区, 治沙种草与造林的转化部分占生态贡献率的 94.23%。可见, 在 1991—2010 年这 20 a 间, 相对而言, 南部研究区生态环境质量要优于北部研究区。

1991—2010 年期间导致北部研究区和南部研究区生态环境质量恶化的主要土地利用变化的驱动因子是建设用地规模的扩大、开垦耕地、土地退化和沼泽湿地减少。其中, 在北部研究区, 建设用地规模的扩大和土地退化是北部研究区生态环境恶化的主要驱动因子, 分别占生态贡献率的 45.58% 和 33.31%。建设用地规模的扩大主要表现为有林地和高覆盖度草地向农村居民点和其他建设用地的转化。在南部研究区, 土地退化、沼泽湿地减少和开垦耕地是保护区陆域南部生态环境恶化的主要驱动因子, 分别占生态贡献率的 52.23%, 13.78%, 12.02%。土地退化主要表现在土地沙化、盐渍化和草地减少。在 1991—2010 年这 20 a 间, 保护区沿海养殖业和水稻种植业

迅猛发展, 侵占了大量的沼泽和湿地, 尤其以七里海潟湖和滦河口区域侵占现象最为严重。

4 结 论

(1) 1991—2010 年间北部研究区和南部研究区土地利用变化主要表现为草地的减少, 耕地、林地、建设用地、水域和未利用地的增加。其中, 在北部研究区, 草地转化为林地、建设用地和未利用地这 3 种变化类型分布最为广泛, 转换率最大。第一种变化类型集中分布于有林地和草地的交错地带, 呈分散分布, 具有一定连续性; 第二种变化类型集中分布于昌黎工业园区、国际滑沙中心和新开口两岸, 说明人类经济发展和旅游活动多集中在北部研究区; 第三种变化类型集中分布于建设用地和海岸线周围, 说明北部研究区这 20 a 来, 人类的开发活动加剧了当地的土地沙化。

在南部研究区, 草地转化为林地、水域和未利用地这 3 种变化类型分布最为广泛, 转换率最大。第一种变化类型集中分布于风成沙丘和沙地的交错地带, 呈分散分布, 且破碎化程度加大; 第二种变化类型集中分布于河渠、湖泊和水库坑塘附近, 说明南部研究区这 20 a 来, 当地居民大规模的围垦活动, 浅海池塘养殖侵占了大量的草地; 第三种变化类型集中分布于风成沙丘和海岸线周围。

(2) 当导致生态环境改善的主要土地利用变化类型的总贡献率抵消导致生态环境质量恶化的主要土地利用变化类型的总贡献率时, 北部研究区和南部研究区生态环境质量总体上还是呈现出不断恶化的趋势。

从研究结果可以发现导致北部研究区生态环境质量变化的主导因素是生态贡献率高的林地和草地与其他生态贡献率低的建设用地和未利用地之间的相互转变。其中建设用地规模的扩大引起的土地退化对北部研究区生态环境产生的影响最为深刻。所以在北部研究区的土地利用, 应在保护区管理机构统一规划和指导下, 有计划地进行适度开发活动; 开展旅游活动必须采取有效措施, 防止损害保护对象。

同时, 导致南部研究区生态环境质量变化的主导因素是生态贡献率高的林地和草地与其他生态贡献率低的未利用地和水域之间的相互转变。其中土地沙化和盐渍化引起的土地退化对南部研究区生态环境产生的影响最为深刻。所以在南部研究区的土地利用, 要加强生态环境重建的力度, 限制或取消那些导致生态环境负向发展的人类活动, 充分利用系统的自我修复功能, 达到恢复和改善生态环境的目标。

参考文献:

- [1] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域: 土地利用/土地覆被变化的国际研究动向[J]. 地理学报, 1996, 51(6): 553-558.
- [2] Turner B, Skole D, Sanderson D. Land-use and Land-Cover Changes: Science/research plan, International Geosphere-Biosphere Program [R]. Stockholm: IGBP Secretariat, 1995.
- [3] 张文忠, 王传胜, 吕昕, 等. 珠江三角洲土地利用变化与工业化和城市化的耦合关系[J]. 地理学报, 2003, 58(5): 677-685.
- [4] 何丹, 刁承泰. 重庆江津市土地利用变化及社会驱动力分析[J]. 水土保持研究, 2006, 13(2): 24-26.
- [5] 蒙吉军, 吴秀芹, 李正国. 河西走廊土地利用/覆被变化的景观生态效应: 以肃州绿洲为例[J]. 生态学报, 2004, 24(11): 2535-2541.
- [6] 杨卓, 李全, 魏斌, 等. 典型东北农牧交错区土地利用/覆被变化分析[J]. 水土保持研究, 2010, 17(4): 212-216.
- [7] 李小雁, 许何也, 马育军, 等. 青海湖流域土地利用/覆被变化研究[J]. 自然资源学报, 2008, 23(2): 285-296.
- [8] 刘建飞, 杨勤科, 梁伟, 等. 近 30 年来陕北黄土高原土地利用动态变化分析[J]. 水土保持研究, 2009, 16(2): 112-116.
- [9] 张怡芳, 邢元志, 濮励杰, 等. 苏州市土地利用变化的生态环境效应研究[J]. 水土保持研究, 2009, 16(5): 98-103.
- [10] 韩超峰, 陈仲新. LUCC 驱动力模型研究综述[J]. 中国农学通报, 2008, 24(4): 365-368.
- [11] 田彦军, 郝晋珉, 韩亮, 等. 县域土地利用程度评估模型构建及应用研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(6): 293-297.
- [12] 谢书明. 土地利用现状图及其数据资源的修测更新[J]. 测绘科技通讯, 1996, 19(1): 21-25.
- [13] 杨立民, 朱智良. 全球区域尺度土地覆盖土地利用遥感研究的现状和展望[J]. 自然资源学报, 1999, 14(4): 340-344.
- [14] 张杨, 刘艳芳, 丁庆, 等. 1996—2006 年武汉市土地利用/覆被变化研究[J]. 生态环境学报, 2010, 19(11): 2534-2539.
- [15] 张杨, 刘艳芳, 顾渐萍, 等. 武汉市土地利用覆被变化与生态环境效应研究[J]. 地理科学, 2011, 31(10): 1280-1285.
- [16] 杨述河, 闫海利, 郭丽英. 北方农牧交错带土地利用变化及其生态环境效应[J]. 地理科学进展, 2004, 23(6): 49-55.
- [17] Liu Y S, Gao J, Yang Y F. A holistic approach towards assessment of severity of land degradation along the great wall in Northern Shaanxi Province, China [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2003, 82(2): 187-202.
- [18] 李晓文, 方创琳, 黄金川, 等. 西北干旱区城市土地利用变化及其区域生态环境效应: 以甘肃省河西地区为例[J]. 第四纪研究, 2003, 23(3): 280-290.

(上接第 210 页)

参考文献:

- [1] 刘钰, Pereira L S. 气象数据缺测条件下参照腾发量的计算方法[J]. 水利学报, 2001(3): 11-17.
- [2] 李荣超. 水稻覆膜旱作节水高产灌溉模式研究[D]. 南京: 河海大学, 2000.
- [3] 王志良, 黄军学. 基于 MATLAB 神经网络工具箱的作物需水量预测[J]. 华北水利水电学院学报, 2009, 30(1): 5-6.
- [4] 徐俊增, 彭世彰. BP 神经网络在农田水利学科的应用[J]. 灌溉排水学报, 2003(专): 41-33.
- [5] 尚虎君, 马孝义, 高建恩, 等. 赵西宁作物需水量计算模型组件研究与应用[J]. 节水灌溉, 2011(8): 66-72.
- [6] 尹京川, 马孝义, 孙永胜, 等. 基于 BP 神经网络与 GIS 可视化的作物需水量预测[J]. 中国农村水利水电, 2012(2): 13-15, 18.
- [7] 苑希民, 李鸿雁. 神经网络和遗传算法在水科学领域的应用[M]. 北京: 水利水电出版社, 2002.
- [8] 王旭, 王宏, 王文辉. 人工神经网络原理与应用[M]. 沈阳: 东北大学出版社, 2002.
- [9] 武开福. 基于灰色关联度与 BP 神经网络模型的日参考作物腾发量预测[J]. 水土保持研究, 2011, 18(2): 237-240.
- [10] 王丽霞, 任志远, 孔金玲. 基于 BP 模型的延河流域社会经济需水预测[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(4): 106-110.
- [11] 余世明. 作物需水量的灰色拓扑预测[J]. 四川水利, 1996(2): 18-21.
- [12] 马黎华, 康绍忠, 粟晓玲, 等. 农作区净灌溉需水量模拟及不确定性分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(8): 11-18.
- [13] 张兵, 袁寿其, 成立, 等. 基于 L—M 优化算法的 BP 神经网络的作物需水量预测模型[J]. 农业工程学报, 2004, 20(6): 73-76.
- [14] 贾德彬, 刘艳伟, 张永平, 等. 内蒙古河套灌区春小麦高效用水灌溉制度研究[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(5): 174-177.