

三江源湿地变化驱动因子定量研究

陈永富, 刘 华, 邹文涛, 张怀清

(中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100091)

摘要:利用1990、1997、2007年3期TM遥感影像数据,2008年调查的652块地面样地数据,1990—2007年各年气象和社会经济数据以及地形图、湿地分布图、植被分布图数据,通过偏相关分析,确定各类湿地变化的主导驱动因子,建立湿地变化驱动模型。结果表明:河流和河滩湿地变化的主要驱动因子是年均温度、年蒸发量、年均相对湿度和年奶产量;湖泊湿地变化的主要驱动因子是年蒸发量、年均相对湿度、年人口数量和年奶产量;沼泽和全部湿地变化的主要驱动因子是年降水量、年人口数量和年人均收入。驱动模型的判定系数校正值 R^2 分别为0.8301、0.7572、0.9675、0.8333、0.9679,经 F 检验,在95%可靠性水平下整个模型的自变量对随机变量的影响是显著的。

关键词:三江源;湿地;偏相关分析;驱动机制

中图分类号:S156.8 文献标识码:A

Quantitative Study on the Drive Factors of Wetland Change in Three Rivers' Source Area

CHEN Yong-fu, LIU Hua, ZOU Wen-tao, ZHANG Huai-qing

(Research Institute of Forest Resource and Information Techniques, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: The TM remote sensing data of 1990, 1997 and 2007, 652 sample plots data, climate and social economy data of 1990 to 2007, the wetland distribution map, the vegetation distribution and the topographic maps was used to define the main factors driving wetland type change, so as to establish drive model of wetland change by partial correlation analysis. The results showed that the main drive factors of river and flood land change were annual average temperature, annual evaporation, annual relative humidity and annual milk production; the main drive factors of lake change were annual evaporation, annual relative humidity, annual population and annual milk production; the main drive factors of marsh and total wetland change were annual rainfall, annual population and annual average personal income. The Judge coefficient R^2 of drive model were 0.8301, 0.7572, 0.9675, 0.8333, and 0.9679. Through F examination, the influence of independent variable to random variable was notable.

Key words: Three Rivers' Source Area; wetland; partial correlation analysis; drive mechanism

国内外学者在湿地动态变化及响应方面开展了大量研究,许多研究结果已经表明,湿地是对气候变化最敏感的生态系统^[1-3]。气温升高3~4℃,欧洲南部半干旱地区的湿地面积在5年之内将减少70%~80%^[4]。年平均气温升高3℃,将会导致56%的湿地消失;年平均降水量增加10%,湿地面积将增加11%~12%^[5]。气候变化可能会造成一些湿地

植被的退化甚至物种灭绝或者生态功能发生变化^[6]。

三江源区域位于青藏高原腹地,其气候变化具有明显的高原特征,近40年来气候存在变暖的总趋势,其气候变化具有明显的超前性,是中国乃至全球气候变暖的敏感区^[7-12]。该区域湿地分布密集,是长江、黄河及澜沧江的发源地,对我国甚至亚洲的水

安全有重要的意义。我国研究人员针对气候变化影响下三江源区域高寒湿地的生物多样性、湿地生态系统服务功能、湿地周边草地退化等许多方面做了大量工作^[8-16],这些研究结果都一致认为:全球气候变化是三江源地区生态环境恶化的最根本因素,是源区包括湿地生态系统在内的生态环境发生退化的最重要驱动因子,湿地在各个方面都受到了气候变化过程带来的影响。

随着研究区人口的增加和社会经济的发展,湿地的变化不仅受气候等自然因素的影响,也受到人为活动的影响,为了更好的保护和利用湿地资源与环境,研究湿地变化的自然和社会驱动机制具有重要意义。

1 研究地概况

研究地位于长江、黄河源区之内的青海省索加-曲麻河自然保护区。92°47'~95°00'E,33°34'~35°51'N之间,东西长195 km,南北宽190 km,总面积

2.6万 km²,见图1。属典型的高原大陆性气候。夏季短促,冷季漫长,无绝对无霜期,年平均气温为-2.5℃,年均降水量约400 mm,海拔4 230~5 600 m。区内河流纵横,楚玛尔河、通天河、色吾河、约古宗列曲、巴木曲、牙扎曲等长江、黄河干流支系纵横交错,融汇贯通,湖泊星罗,湿地及水资源极为丰富。

研究区内自然条件空间分异性强,生态环境复杂、地广人稀,分布有大量的野生动、植物资源。主要植被为紫花针茅(*Stipa purpurea* Griseb.)、牛耳凤毛菊(*Saussurea woodiana* Hemsl.)、矮火绒草(*Leontopodium nanum*(Hook. f. et Thoms.) Hand. -Mazz.)等高寒草甸植被,和以藏嵩草(*Kobresia tibetica* Maxim.)、矮嵩草(*Kobresia humilis*(C. A. Mey) Serg.)为主的沼泽植被。还分布有冬虫夏草、知母、贝母、蕨麻、雪莲等名贵药材。主要的野生动物包括藏羚羊、雪豹、白唇鹿、野牦牛、藏原羚、狐狸、岩羊、盘羊、藏野驴、雪鸡、麝、黑颈鹤、金雕等珍稀野生动物。主要土壤类型为高原草原土、高原草甸土和高原沼泽土。



图1 研究区地理位置区位示意图

2 材料与方法

2.1 材料

1990、1997、2007年3期9景TM遥感影像(137-35-19900702、137-36-19900819、136-36-19900625、137-35-19970822、137-36-19970822、136-36-19970913、137-35-20070919、137-36-20070919、136-36-20060808)栅格数据,用于提取湿地现状和动态变化信息。1:10万地形图矢量数据,用于遥

感影像的校正。1:10万湿地分布图(2004年)、1:10万植被图(2004年)矢量数据,用于辅助湿地遥感分类。沱沱河、五道梁、治多和曲麻莱4个气象站记录的从1990年至2007年逐月气象因子数据。具体包括:年均气温、年降水量、年平均相对湿度、年蒸发量。索加-曲麻河自然保护区1990年至2007年的各年末人口数量、奶类产量和农村居民人均纯收入等数据。2008年调查的652个野外样地数据,记录有空间坐标、地类、植被类型、盖度、高度等因子。

2.2 方法

2.2.1 遥感影像预处理 为了消除因气候、地形以及传感器等对遥感影像空间位置准确度和光谱真实性的影响,对遥感影像进行辐射校正、几何校正和正射校正。辐射校正由中国科学院卫星地面接收站完成,几何校正采用二次多项式法,正射校正采用地形高程模型(DEM)法^[17]。

2.2.2 样地调查 在经过预处理的遥感影像基础上,根据光谱特征和纹理特征,以代表性、典型性和全面性为原则,在研究区内设置了652个样地进行野外调查,利用GPS对研究区内分布的各种地物类型进行定位,调查地物类型及植被盖度、高度等。定位时现场通过GPS记录地物地理坐标,在外业图上勾绘出边界标记。

2.2.3 遥感分类

2.2.3.1 分类系统 根据研究区的野外样点调查资料、结合已有相关研究成果^[18]等和《湿地公约》及《全国湿地资源调查与监测技术规程》,将研究区土地覆盖类型分为河流、湖泊、低盖度草地、中盖度草地、高盖度草地、沼泽、河滩、裸岩石砾地、沙地等9类。

2.2.3.2 分类方法 采用决策树分类法进行分类,支撑分类的因子有经缨帽变换的绿色、亮度、湿度和归一化差异水体指数(NDWI),通过对本区域主要地类光谱特征分析及不同地类在特征量上阈值的确定,建立遥感分类决策树模型,运行决策树模型,得到分类结果^[19]。

2.2.4 湿地动态变化响应主导因子筛选 影响湿地动态变化的因子有许多,但每个因子影响的程度是有差异的,有的因子影响程度较弱,甚至在一定条件下可以忽略不计。在不影响模型精度前提下,应尽量减少模型变量,以提高模型的适用性和使用效率。偏相关系数法是一种常用的主导因子筛选方法,在研究变量之间的相互关系时,可以控制其他变量对目标变量产生的影响,单独研究两个要素之间的相互关系或影响程度,通过对比不同自变量对因变量的偏相关系数的大小,判断哪些自变量对因变量具有较大的影响力^[20]。可由下面公式计算偏相关系数。

$$r_{xy,z} = \frac{r_{xy} - r_{xz}r_{yz}}{\sqrt{(1 - r_{xz}^2)(1 - r_{yz}^2)}} \quad (1)$$

在公式里面, $r_{xy,z}$ 是控制了 z 变量的影响条件下, x, y 之间的偏相关系数。 r_{xy} 是变量 x, y 之间的

简单相关系数。对于偏相关分析的检验,利用T检验方法进行。检验的公式如下:

$$t = \frac{\sqrt{n - k - 2} \cdot r}{\sqrt{1 - r^2}} \quad (2)$$

式中 r 是相应的偏相关系数, n 是观测数, k 是控制变量的数目, $n - k - 2$ 是自由度。

2.2.5 驱动模型建立 多元线性回归分析是常用的处理自变量与因变量线性关系的统计学方法,通过建立回归方程来确定变量之间的数量关系,解释不同自变量对因变量变化的影响程度。多元线性回归的拟合方程如下:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n \quad (3)$$

其中 \hat{y} 为根据所有自变量 x 计算出的估计值, b_0 是常数项, b_1, b_2, \dots, b_n 为对应于 x_1, x_2, \dots, x_n 的偏回归系数。

2.2.6 模型精度性检验

拟合优势度检验 指确定回归方程对观测值的拟合程度。可通过样本判定系数 R^2 来解释回归模型中自变量的变异在因变量变异中所占的比率。但在多元回归中,判定系数 R^2 的值会随着进入方程的自变量个数或样本容量大小的增加而变大。当样本个数与自变量个数接近时, R^2 可能会接近于1,其中会包含虚假成分。因此,为降低自变量个数及样本量对判定系数的影响,引入校正的判定系数 Adjusted R^2 。校正 R^2 的公式如下:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y - \hat{y})^2 / (n - m - 1)}{\sum (y - \bar{y})^2 / (n - m)} \quad (4)$$

F检验 指从整体角度上看自变量对随机变量是否有明显的影响。其计算公式如下:

$$F = \frac{MSR}{MSE} \quad (5)$$

$$\text{其中, } MSR = \frac{SSR}{m} \quad MSE = \frac{SSE}{m - n - 1}$$

其中 SSR 为回归平方和,代表因变量的变异中由回归模型中所包含的 m 个自变量所能解释的部分。 SSE 为误差平方和,代表因变量的变异中没有被回归模型中自变量所解释的部分。公式中 m 为自变量的个数, n 为观测量。当 $F > F_{\alpha}(m, n - m - 1)$ 时,可以认为回归方程通过 α 显著性检验。

3 结果与分析

利用1990年、1997年和2007年的TM遥感影像,按照湿地分类系统进行分类,提取各类型的面

积,建立时间与湿地类型面积的关系模型,将时间代人模型,求出每年的各湿地类型的面积,与每年的年均温度、年降水量、年蒸发量、年相对湿度、年人口数

量、年奶产量和年人均收入组成对应的关系数据,见表1。

表1 湿地类型面积及对应驱动因子调查数据

时期 (年)	河流 /hm ²	湖泊 /hm ²	沼泽草甸 /hm ²	河滩 /hm ²	年均温 /℃	年降水 /mm	年蒸发 /mm	年均湿度 /%	人口数 /万人	奶产量 /t	人均收入 /元
1990	96 617.43	14 680.98	208 070.46	41 211.18	-3.18	271.58	1 372.38	54.63	1.925	4.58	377.63
1991	98 184.14	14 378.97	206 771.71	39 789.60	-2.73	334.93	1 517.98	53.17	1.725	5.71	415.24
1992	99 750.84	14 076.95	205 472.96	38 368.03	-3.61	308.33	1 414.38	54.56	1.985	3.81	470.44
1993	101 317.55	13 774.94	204 174.21	36 946.45	-3.14	379.45	1 387.35	56.25	2.005	5.50	568.95
1994	102 884.26	13 472.92	202 875.45	35 524.88	-2.75	276.48	1 623.13	51.54	2.025	5.79	625.35
1995	104 450.97	13 170.91	201 576.70	34 103.30	-3.00	316.13	1 573.03	55.96	1.9	5.74	656.9
1996	106 017.67	12 868.89	200 277.95	32 681.73	-2.77	337.93	1 503.00	54.69	1.9	2.76	675.35
1997	107 584.38	12 566.88	198 979.20	31 260.15	-4.19	299.48	1 323.00	59.17	2.1	2.89	757.67
1998	105 631.91	12 656.74	196 409.87	32 683.94	-2.33	354.03	1 430.50	58.00	2.2	3.58	840
1999	103 679.44	12 746.59	193 840.54	34 107.73	-2.65	380.13	1 506.30	57.40	2.2	3.59	1 100.5
2000	101 726.97	12 836.45	191 271.21	35 531.52	-3.17	338.43	1 407.83	58.02	2.2	4.71	1 367.5
2001	99 774.50	12 926.30	188 701.88	36 955.31	-2.70	353.78	1 456.30	54.63	2.25	3.85	1 539.5
2002	97 822.04	13 016.16	186 132.56	38 379.11	-2.58	354.80	1 484.50	54.71	2.3	5.10	1 645.9
2003	95 869.57	13 106.02	183 563.23	39 802.90	-2.19	328.98	1 553.35	54.46	2.35	4.84	1 779.5
2004	93 917.10	13 195.87	180 993.90	41 226.69	-2.48	373.95	1 468.53	53.17	2.5	4.63	1 539.5
2005	91 964.63	13 285.73	178 424.57	42 650.48	-2.18	441.28	1 318.40	55.56	2.55	5.23	1 367.5
2006	90 012.16	13 375.58	175 855.24	44 074.27	-1.50	335.93	1 540.80	52.44	2.6	8.68	2 305.5
2007	88 059.69	13 465.44	173 285.91	45 498.06	-2.21	393.18	1 465.30	50.56	2.7	6.88	2 476

从表1可见,从1990年至2007年,河流、湖泊、沼泽三类湿地面积呈现减少趋势,其中河流湿地面积减少8.9%,湖泊湿地面积减少8.3%,沼泽湿地面积减少16.7%;河滩湿地面积呈现增加的趋势,增加面积10.4%。湿地总面积呈现减少趋势,共减少面积11.2%。

3.1 湿地变化主导驱动因子

根据表1中各类湿地面积及驱动因子调查数据,分别计算河流、湖泊、沼泽、河滩及湿地总体5种类型面积与年均温度、年降水量、年蒸发量、年相对湿度、年人口数量、年奶产量和年人均收入等7影响因子的偏相关系数,分析结果见表2。

表2 不同湿地类型影响因子的偏相关系数

湿地类型	指标	年均温度	年降水量	年蒸发量	年均湿度	年人口数量	年奶产量	年人均收入
河流	偏相关系数	-1.264 0	0.029 0	3.289 0	4.081 5	0.060 7	-1.876 3	-0.996 1
	不相关概率	0.234 8	0.977 4	0.008 1	0.002 2	0.952 7	0.090 0	0.342 6
湖泊	偏相关系数	0.934 8	-0.803 7	-3.415 2	-4.086 6	-1.502 4	2.239 5	-0.679 9
	不相关概率	0.371 8	0.440 2	0.006 6	0.002 1	0.163 8	0.049 0	0.511 9
沼泽	偏相关系数	-0.642 3	-1.540 3	-0.282 0	-0.048 8	-2.866 4	0.739 6	-3.322 2
	不相关概率	0.535 0	0.154 4	0.783 6	0.962 0	0.016 7	0.476 5	0.007 7
河滩	偏相关系数	1.223 8	-0.186 0	-3.382 9	-4.167 4	-0.353 0	1.988 6	0.678 5
	不相关概率	0.249 1	0.856 1	0.006 9	0.001 9	0.731 3	0.074 7	0.512 8
湿地总体	偏相关系数	-0.666 4	-1.531 2	-0.208 6	0.040 6	-2.849 2	0.694 5	-3.325 6
	不相关概率	0.520 2	0.156 7	0.838 8	0.968 3	0.017 2	0.503 1	0.007 6

从表2可以看出,不同类型湿地变化受年平均气温、年降水量、年蒸发量、年平均相对湿度、年人口数量、年奶产量、年人均收入等因子的影响程度不

同,其中河流与河滩湿地的变化受年均温度、年蒸发量、年均相对湿度、年奶产量影响明显;湖泊湿地的变化受年蒸发量、年相对湿度、年人口数量、年奶产

量影响明显;沼泽与全部湿地变化受年降水量、年人口数量、年人均收入影响明显。

3.2 驱动机制模型拟合及精度检验

将通过偏相关分析确定的湿地变化主要驱动因子为自变量分别与因变量河流、湖泊、沼泽、河滩和全部湿地(前四者之和)面积进行多元线性回归。 Y_1 、 Y_2 、 Y_3 、 Y_4 、 Y_5 分别代表河流、湖泊、沼泽、河滩和全部湿地5种类型湿地的面积(hm^2), X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 、

X_6 、 X_7 分别代表年平均温度($^{\circ}\text{C}$)、年降水量(100 mm)、年蒸发量(100 mm)、年平均相对湿度(%)、年人口数量(万人)、年奶类产量(1 000 t)和年居民人均纯收入(1 000 元)。

利用中国林科院资源信息研究所研制的FORSTAT软件,分别拟合五类型湿地变化驱动模型,并进行自变量显著性T检验和模型总体显著性F检验,各模型参数及检验指标见表3。

表3 驱动机制模型参数

自变量与参数		因变量				
		Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5
X_1	b_0	-415 2.523 7	33 881.448 6	253 422.754 6	145 523.168 1	413 421.326 7
	b_1	-382 7.978 5			1 984.920 4	
	t_1	-3.124 0			2.2385	
	显著性	*			*	
X_2	b_2			-34.455 8		-39.741 7
	t_2			-2.315 1		-2.316 0
	显著性			*		*
X_3	b_3	39.986 2	-4.711 6		-29.450 3	
	t_3	4.971 4	-4.534 1		-5.059 9	
	显著性	*	*		*	
X_4	b_4	1 413.309 4	-196.145 6		-1 164.031 4	
	t_4	4.105 1	-4.540 4		-4.672 5	
	显著性	*	*		*	
X_5	b_5		-1 725.260 0	-17 473.964 7		-20 324.454 5
	t_5		-5.750 3	-3.556 7		-3.588 0
	显著性		*	*		*
X_6	b_6	-1 219.573 6	180.089 6		982.037 7	
	t_6	-2.225 7	2.691 7		2.476 7	
	显著性	*	*		*	
X_7	b_7			-8.937 5		-10.366 1
	t_7			-4.702 2		-4.730 2
	显著性			*		*
标准差	26 936.603 2	3 608.306 0	7 820.613 9	19 491.967 4	9 016.973 5	
确定系数 R^2	0.870 1	0.814 3	0.973 2	0.872 5	0.973 6	
校正 R^2	0.830 1	0.757 2	0.967 5	0.833 3	0.967 9	
F	21.776 6	14.256 6	169.871 6	22.256 1	172.151 6	
A=0.05 显著性	*	*	*	*	*	

“*”表示在可靠性95%前提下各因子对模型影响显著

从表3可知:通过偏相关分析法筛选的各类型湿地变化主导驱动因子的T检验结果都是影响显著的;五类湿地变化驱动模型的精度较高,其模型判定校正系数 R^2 分别为0.830 1、0.757 2、0.967 5、0.833 3、0.967 9,经F检验,在95%的可靠性水平上各类湿地变化驱动模型自变量对因变量的影响是显著的。

4 结论与讨论

4.1 结论

从1990年到2007年的17年间,该区域的河流湿地面积、湖泊湿地面积、沼泽湿地面积均呈现不同程度的减少,河滩湿地面积呈现增加的趋势,总湿地面积呈减少趋势。

三江源地区湿地变化不仅受到年平均温度、年降水量、年蒸发量、年平均相对湿度等自然因素的影响,同时也受到年人口数量、年奶产量、年居民人均纯收入等社会因素的影响。

不同类型的湿地变化驱动因子有所不同,其中河流与河滩湿地变化的主要驱动因子是年均温度、年蒸发量、年均相对湿度和奶产量;湖泊湿地变化的主要驱动因子是年蒸发量、年均相对湿度、年人口数量和年奶产量;沼泽与全部湿地变化的主要驱动因子是年降水量、年人口数量和居民人均纯收入。

驱动因子对湿地变化产生正、负两方面的作用。温度与河流面积呈负相关,与河滩面积呈正相关;降水量与沼泽和全部湿地面积均呈负相关;蒸发量与河流面积呈正相关,与湖泊和河滩面积呈负相关;相对湿度与河流面积呈正相关,与湖泊和河滩面积呈负相关;年人口数量与湖泊、沼泽和全部湿地面积均呈负相关;奶产量与河流面积呈负相关,与湖泊和河滩面积呈正相关;居民人均纯收入与沼泽和全部湿地面积均呈负相关。

各类湿地面积变化驱动模型拟合结果表明:模型精度较高,其模型判定校正系数 R^2 分别为 0.830 1、0.757 2、0.967 5、0.833 3、0.967 9,经 F 检验,在可靠性 95% 水平下,自变量对随机变量的影响是显著的。

4.2 讨论

影响三江源地区湿地变化的因素很多,本次研究限于数据资料,仅选择了年均温度、年降水量、年蒸发量、年均相对湿度、年人口数量、年奶产量和年人均收入作为影响因子,在今后的研究中还可以选择更多的影响因子,如日照时数、工农业总产值等参与分析。

由于气候等自然因素变化与人为活动变化的不稳定性,导致湿地变化的波动性,为了真实反映湿地变化的客观规律,需要采集时间尽可能长支撑数据进行分析。本次研究采集数据的时间跨度仅有 18 年,研究结果有待于将来用更长时间数据资料予以验证。

参考文献:

[1] Vourltis G L, Oechel W C. Landscape-scale CO_2 , H_2O vapor and energy flux of moist-wet coastal tundra ecosystem over two growing sea-

sons [J]. *Journal of Ecology*, 1997, 85: 575 - 590

- [2] Burkee J K. Climate change: potential impacts and interactions in wetlands of the United States, Virginia [J]. *American Water Resources Association*, 2000, 36: 313 - 320
- [3] Lahmer W, Pfuettner B, Becher A. Assessment of land use and climate change impacts on the mesoscale [J]. *Phys Chem Earth (B)*, 2001, 26(7-8): 565 - 575
- [4] Brock T C, Vierrsann W V. Climatic change and hydroptedominated communities in inland wetland ecosystem [J]. *Wetland Ecology and Management*, 1992, 2: 37 - 49
- [5] Larson D L. Effects of climate on numbers of northern prairie wetlands [J]. *Climatic Change*, 1995, 30: 169 - 180
- [6] Rose P M, Scott D A. Waterfowl population estimates [R]. IWRB Puhl. No. 29. International Waterfowl and Wetland Research Bureau, Slimbridge, U K, 1994
- [7] 丁德文, 徐教祖. 试论我国多年冻土平面分布类型的区划指标 [C]. 中国地理学会冰川冻土学术会议论文选集(冻土学). 北京: 科学出版社, 1982: 70 - 73
- [8] 冯松, 汤懋苍, 王冬梅. 青藏高原是我国气候变化启动区的新证据 [J]. *科学通报*, 1998, 43(6): 633 - 636
- [9] 汪青春, 周陆生, 伊海明, 等. 青海高原器测时期以来的气温变化 [J]. *青海气象*, 2000, 1: 17 - 21
- [10] Martin H, Catherine M B. Surface energy fluxes and distribution model soferma frost in European mountain areas; An overview of current developments [J]. *Permafrost and Periglacial Processes*, 2001, 12: 53 - 68
- [11] 蔡英, 李栋梁, 汤懋苍, 等. 青藏高原近 50 年来气温的年代际变化 [J]. *高原气象*, 2003, 22(5): 465 - 470
- [12] 李栋梁, 钟海玲, 吴青柏, 等. 青藏高原地表温度的变化分析 [J]. *高原气象*, 2005, 24(3): 291 - 297
- [13] 宋长春. 湿地生态系统对气候变化的响应 [J]. *湿地科学*, 2003, 1(2): 122 - 125
- [14] 李自珍, 韩晓卓, 李文龙. 高寒湿地植物群落的物种多样性保护及生态恢复对策 [J]. *西北植物学报*, 2004, 24(3): 363 - 369
- [15] 刘敏超, 李迪强, 温琰茂. 三江源区湿地生态系统功能分析及保育 [J]. *生态科学*, 2006, 25(1): 64 - 68
- [16] 赵串串, 杨晓阳, 张凤臣, 等. 气候变化对湿地植被生物量影响分析——以三江源区为例 [J]. *干旱区资源与环境*, 2008, 22(9): 88 - 91
- [17] 邹文涛, 张怀清, 鞠洪波, 等. 三江源自然保护区土地利用遥感分类方法研究 [J]. *林业资源管理*, 2010(6): 90 - 96
- [18] 刘纪远, 张增祥, 庄大方, 等. 中国土地利用变化的遥感时空信息研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2005: 54 - 268
- [19] 邹文涛, 张怀清, 鞠洪波, 等. 基于决策树的高寒湿地类型遥感分类方法研究 [J]. *林业科学研究*, 2011, 24(4): 464 - 469
- [20] 卢纹岱. SPSS 统计分析(第 4 版) [M]. 北京: 电子工业出版社, 2010: 292 - 311