

# 珠穆朗玛峰自然保护区沼泽湿地提取及其退化风险评价

马飞<sup>1</sup>, 阚媛珂<sup>2\*</sup>, 李景吉<sup>3,2</sup>, 管磊<sup>4</sup>, 陈晓琴<sup>3</sup>

(1. 四川空间信息产业发展有限公司, 成都 610041; 2. 西藏自治区科技信息研究所, 拉萨 850001;

3. 成都理工大学地球科学学院, 成都 610059; 4. 成都理工大学地球探测与信息技术教育部重点实验室, 成都 610059)

**摘要:** 以珠穆朗玛峰自然保护区为研究区域, 选取 2009 年 23 幅 MODIS NDVI 影像, 采用傅里叶变换的 HANTS 算法去除云干扰, 并重构 NDVI 时间序列图像。(1) 根据研究区沼泽湿地与其他地物类型物候特征的差异, 利用光谱角制图方法 (SAM) 获取了研究区 2009 年沼泽湿地的分布图。研究区沼泽湿地共有 2 481.13 km<sup>2</sup>, 占全区面积的 6.88%; 其中定日县分布最多, 占沼泽湿地总面积的 36.85%; 其次为定结县、聂拉木县和吉隆县, 分别占 25.79%、24.5% 和 12.86%; (2) 选用年平均气温的线性变化趋势为自然风险因子, 居民点和道路影响为人为风险因子, 对研究区沼泽湿地进行退化风险评价, 划分为低风险、较低风险、一般风险、较高风险、高风险 5 个级别, 各风险级别沼泽湿地面积占沼泽湿地总面积的比例分别为 7.39%、13.61%、24.72%、31.43%、22.84%。

**关键词:** 珠穆朗玛峰自然保护区; 沼泽湿地; 光谱角制图; 距离衰减; 退化风险评价

**DOI:** 10.3724/SP.J.1047.2011.00594

## 1 引言

湿地在青藏高原的生态系统中占有重要的地位<sup>[1,2]</sup>。现有高寒湿地的综合研究仅集中在青藏高原东北部的三江源和若尔盖地区, 以及拉萨河流域<sup>[3-5]</sup>, 经湿地普查和相关研究表明, 青藏高原各个地区的湿地都发生了明显的退化<sup>[6-8]</sup>。珠穆朗玛峰自然保护区北翼高原湖盆区约占保护区总面积的 85.8%<sup>[9]</sup>, 由于喜马拉雅山脉阻碍, 输入的水汽较少, 气候比较干旱<sup>[10]</sup>, 植被退化现象明显<sup>[9]</sup>, 沼泽湿地的生态蓄水、水源补给、气候调节等重要的生态功能<sup>[2]</sup>, 以及产草能力对以农业、牧业为主的北翼显得尤其重要。目前, 只有李国庆等<sup>[11-12]</sup>利用 EVI 对于珠穆朗玛峰自然保护区湿地的分布和退化做了相关研究。本文采用 2009 年的 MODIS NDVI 时间序列, 建立了沼泽湿地光谱特征曲线, 利用光谱角制图法 (SAM, Spectral Angle Mapper) 对其进行识别, 结合自然因素和人为因素的影响对保护区沼泽湿地进行退化潜在风险评价, 为快速、动态地

提取沼泽湿地和风险评价, 提供一种新的方法, 并为研究区沼泽湿地的管理及保护提供决策依据。

珠穆朗玛峰自然保护区位于东经 84°27′~88°, 北纬 27°48′~29°19′之间, 海拔 1 448~8 844 m, 包括西藏自治区吉隆、聂拉木、定日和定结 4 个完整的县级行政单元, 全区面积约 3.4×10<sup>4</sup> km<sup>2</sup> (图 1)。2009 年 8-9 月对研究区开展的湿地调查共做样地 66 个, 采集标本 2000 余份。据调查资料, 本区湿地植被类型主要有白尖苔草 *Carex oxyleuca*、青藏苔草 *C. moocroftii*、浮叶眼子菜 *Potamogeton natans*、海韭菜 *Triglochin maritima*、管花马先蒿 *Pedicularis siphonantha*、斑唇马先蒿 *P. longiflora*、蕨麻委陵菜 *Potentilla anserina*、三裂碱毛茛 *Halerpestes tricuspis* 等。沼泽湿地的涵义, 目前没有统一的概念, 本文研究的沼泽湿地是指地表常年积水或土壤处于饱和状态, 生长有湿生植物的地表, 和地表季节性积水或土壤经常处于饱和状态, 并长有湿生植物的地表<sup>[13]</sup>。

**收稿日期:** 2011-03-09; **修回日期:** 2011-09-21.

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (41161067); 国际科技合作项目 (2008DFA11020); 国家科技支撑计划课题 (2009BAH50B02)。

**作者简介:** 马飞 (1986-), 陕西扶风人, 助理工程师, 主要从事 3S 集成应用工作。E-mail: mafei0701@163.com

\* **通讯作者:** 阚媛珂 (1980-), 博士后, 从事遥感与地理信息技术研究。E-mail: kanaike@gmail.com

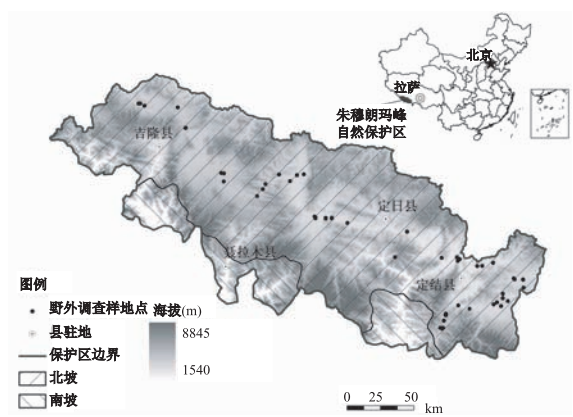


图 1 研究区位置与示意图  
Fig. 1 Location of the study area

2 研究区数据源分析

2.1 数据的选择及预处理

本文使用的遥感数据是由搭载于 EOS/Terra 卫星上的中等分辨率成像光谱 (MODIS) 获取的 250m 分辨率的归一化植被指数 (NDVI) 16d 合成的数据 (MOD13Q1), 由美国国家宇航局 (NASA) 的 EOS 数据中心免费提供。所使用的 MODIS 产品数据是 2009 年全年 23 幅 NDVI 影像数据。利用 MODIS Reprojection Tool 软件将影像投影到阿尔伯斯系统 (Albers), 并用 ArcGIS 9.3 软件完成研究区影像的裁剪。

同时用傅里叶变换的时间序列的谐波分析 (HANTS) 来实现云干扰的去除, 并重构 NDVI 时间序列图像。该方法的基本思想是: 针对每个像元点, 利用傅里叶分量来模拟它的时间序列, 检验出偏离时间序列拟合曲线较远的数据, 将它们去掉, 而后用傅里叶特征分量计算出的时间插值去填充。具体的原理及参数设置参见参考文献 [14]。

图 2 为处理前后研究区的全年 23 幅 NDVI 影像平均值的时间序列图像直方图, 由此可见, 去云重构之后的时间序列图像顶端拟合成了一条光滑的曲线。

2.2 沼泽湿地退化风险评价数据的选取分析

全球气候变化是导致青藏高原湿地退化的重要气候背景, 而关键气象要素在中小尺度上时空分配状态的变化和局地气候特征的改变则可能是湿地退化的更直接的原因和动力 [15], 例如降水量的变化和气温的变化可能打破湿地的水分平衡, 从而对湿地生态系统产生重要影响。近 30 年, 珠峰地区降水量变化的显著性水平不高; 但气温呈现出明显的上升趋势, 位于研究区北翼的定日气象站年平均气温升幅最高 [16]。本文基于像元进行年平均气温的线性趋势分析, 以此作为自然风险因子。

若尔盖和拉鲁湿地严重退化的结果表明, 在气候变化的湿地退化过程中, 人为影响因子起着加速器和倍增器的作用 [8, 17]。人口增长过快、超载过牧, 已成为青藏高原湿地保护中所面临的最大问题。研究区人口的增长加剧了该区域的人类活动, 势必会导致牧业的过快发展, 因此, 本文中 选择研究区居民点分布和道路分布作为人为风险因子。

2.3 气候数据的空间化处理

关于气温数据栅格化的方法, “多元回归+内插残差”的方法明显好于“气温数据直接内插”的方法 [19]。该方法是以气象站的气温值为因变量, 以气象站的经度、纬度和海拔高度为自变量进行多元回归分析, 同时利用每个气象站的实际气温值减去通过回归方程计算得到的气温值得到每个气象站的

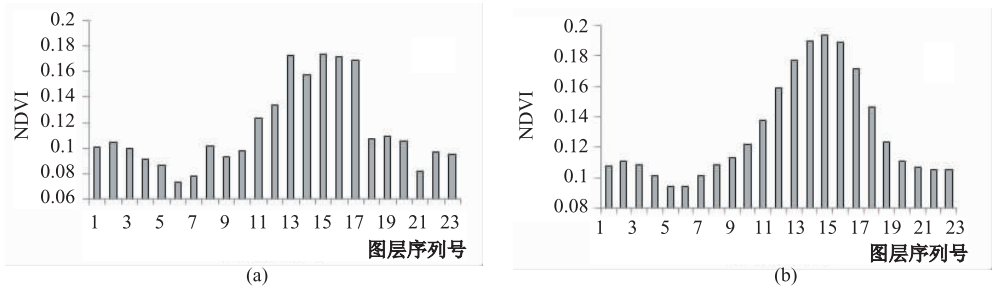


图 2 研究区 2009 年原始 NDVI 时间序列图像直方图 (a) 和重构 NDVI 时间序列图像直方图 (b)  
Fig. 2 The original NDVI time series histogram (a) and the reconstructed NDVI time series histogram (b) of the study area

气温残差。已有文献证明,从气温数据栅格化的实际出发,克里格插值法效果最优<sup>[20]</sup>,将气温残差进行克里格插值后再加上回归方程的计算结果即得到栅格化的气温数据。由于研究区内只有两个气象站,本文只采用西藏自治区 38 个气象台站(琼结气象站 2000-2005 年没有观测数据,删去)的经、纬度、海拔和 2000-2009 年的实际气温观测值,生成西藏自治区 2000-2009 年每一年的年平均气温分布图后进行裁剪,得到研究区 2000-2009 年的年平均气温分布图。回归方程的建立 SPSS 软件中完成,空间数据的运算和处理在 ArcGIS 9.3 中完成。

另外,研究区 2000-2007 年的 30m 分辨率 TM/ETM+ 遥感影像,较 MODIS 数据早,但考虑到近几年研究区沼泽湿地和其他土地利用类型变化不大,仍选择 TM/ETM+ 影像作为辅助数据。此外,还选有 SRTM90m 分辨率的数字高程模型(DEM)、2000 年 1:25 万土地利用图、2009 年研究区的湿地调查资料等。

3 沼泽湿地的遥感提取及其退化分析评价方法

(1) 光谱角制图方法(SAM, Spectral Angle Mapper)

SAM 是一种光谱匹配技术,它通过计算像元光谱  $x$  与参考光谱  $y$  之间的角度  $\theta$  来确定两者之间的相似性, $\theta$  的值域为  $0 \sim \pi/2$ ,夹角越小说明越相似,其光谱角的数学表达式为:

$$\theta = \arccos \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n y_i^2}}, \theta \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right]$$

(2) 线性趋势分析

利用气温的年际线性变化趋势进行年平均气温变化性质和强度的判断,采用丁明军等介绍的方法<sup>[21]</sup>,在每个像元的基础上,对 10 年的年平均温度进行线性拟合,趋势斜率用最小二乘法来计算,公式如下:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

式中, $b$  为趋势斜率, $x, y$  分别为年份及该年的气温

值, $\bar{x}, \bar{y}$  分别为年份平均值及 2000-2009 年的气温均值。斜率为正值表示气温上升,数值越大表明气温上升的趋势越明显;斜率为负值表示气温下降,数值越小说明气温下降的趋势越明显。

(3) 距离衰减函数

距离衰减是指形式或过程随距离减弱,至今仍受地理学者关注<sup>[22-23]</sup>。目前,在旅游地市场研究<sup>[24]</sup>、人口密度模拟<sup>[25]</sup>、土地利用演变模拟<sup>[26]</sup>等方面得到了广泛的应用。一个潜在风险源对周围沼泽湿地等的影响也随距离增大而减少,这也是一种距离衰减现象。

居民点对沼泽湿地的影响主要有:(1)农业的迅速发展导致对沼泽湿地的盲目开垦;(2)沼泽湿地植被上的过度放牧现象,使湿地植被不断退化,进而导致湿地的退化。这两种影响都是以居民点为中心向外扩展的。

道路会产生特殊的边缘生境,如温度升高、土壤水分减少、灰尘浓度增大和地表径流发生改变等<sup>[27-28]</sup>。道路运营也会产生空气和水等污染,从而抑制植物的光合作用和呼吸作用等新陈代谢过程,对湿地植物的正常生长和发育产生极大的综合性危害<sup>[29]</sup>。

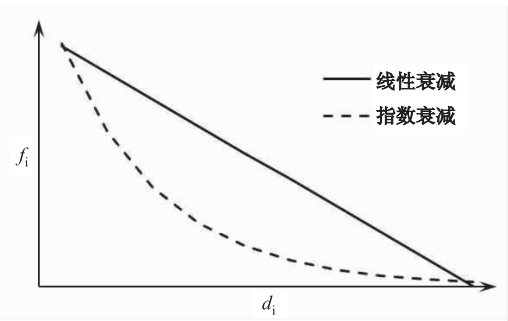


图 3 线性衰减、指数衰减图

Fig. 3 The graphical representation of linear decay and exponential decay

本文尝试选用线性衰减和指数衰减作为居民点和道路的距离衰减模式(线性衰减是指影响随着距离的增大呈直线型下降,下降速度均匀;指数衰减是指影响随着距离的增大按指数规律减少)。图 3 中  $f_i$  为风险因子作用分值, $d_i$  为像元到风险源的距离。

$$f_i = a - b \cdot \frac{d_i}{d_{\max}}, (i = 0, 1, 2, \dots, n) \tag{1}$$

$$f_i = e^{-b \cdot \frac{d_i}{d_{\max}}}, (i = 0, 1, 2, \dots, n) \tag{2}$$

式(1)和式(2)分别为本文中用到的线性衰减函数和指数衰减函数。两式中  $f_i$  为风险因子作用分值,  $a$ 、 $b$  为系数,  $d_i$  为像元到风险源的距离,  $d_{\max}$  为该风险源的最大影响距离。本文中的风险源的影响采用相对影响, 参数的设置如下: 式(1)中  $a=1$ ,  $b=1$ ; 式(2)中  $a=0$ ,  $b=3$ ; 居民点的最大影响距离设置为 10km, 道路的最大影响距离设置为 5km。

4 沼泽湿地的光谱角制图与分析

4.1 基于 MODIS NDVI 时间序列的沼泽湿地提取

从研究区 2000 年 1:25 万土地利用图的林地、草地、旱地、裸岩石砾地、沙地、湖泊和常年积雪 7 个类型中随机选取若干样点, 参考 TM/ETM+ 图像去除异常点后确定 10 个点作为该用地类型的参考像元, 用参考像元的 NDVI 平均值代表每种用地类型的物候特征; 结合研究区 2009 年湿地调查样地资料和 TM/ETM+ 遥感图像, 选取 20 个典型样点作为沼泽湿地的参考像元, 并用其 NDVI 平均值代表沼泽湿地的物候特征, 绘制时间序列曲线(图 4)。可以看出, 沼泽湿地的物候特征与其他用地类型的物候特征存在较明显的差异, 体现在 NDVI 平均值水平、NDVI 全年变化曲线和生长季持续时间等方面上。

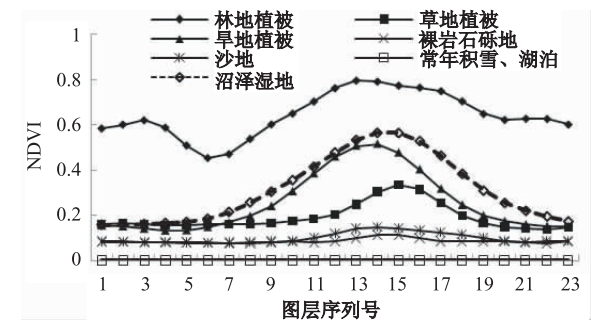


图 4 参考像元的 NDVI 波形特征  
Fig. 4 Characteristics of NDVI cycles of reference pixel

将该时间序列谱线作为沼泽湿地分类的参考光谱曲线, 利用 ENVI 软件中的 Spectral Angle Mapper 工具进行 SAM 分类, 得到光谱波形相似度图像。经反复试验, 对不同光谱角阈值分类结果进行对比, 最后选择 0.2 作为光谱角分类的阈值, 获得光谱角制图的结果。参考牛振国<sup>[31]</sup>等的研究成果, 选取坡度 5° 作为沼泽湿地分布的上限, 利用 SRTM DEM 对光谱角制图结果进行修正, 得到研

究区 2009 年沼泽湿地分布图(图 5)。

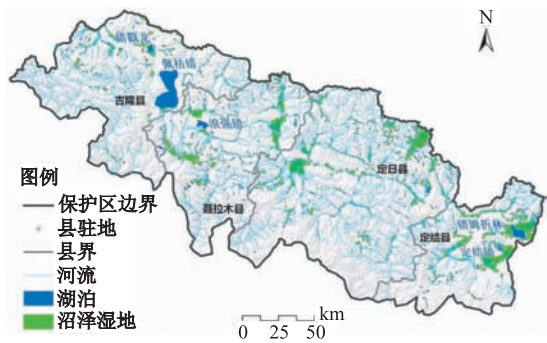


图 5 研究区 2009 年沼泽湿地分布图  
Fig. 5 The distribution of marsh wetland in the study area in 2009

4.2 沼泽湿地提取精度评价

本文采用实地调查数据和 TM/ETM+ 假彩色合成影像对沼泽湿地提取结果进行精度评价。首先, 将野外湿地调查样地点与沼泽湿地提取结果叠加, 66 个样地点中, 提取正确 49 个, 精度达到 74.24%, 造成误差的主要原因为实地调查和遥感提取的尺度不同。由于样地点都位于交通较便利的地方, 空间上存在很大的局限性, 因此, 对沼泽湿地提取结果均匀选择了 200 个采样点, 然后将这些采样点与 TM/ETM+ 假彩色合成影像中同一位置(点)的目视判读结果进行一一对照, 提取精度达到 81%。造成误差的主要原因为沼泽湿地与草地的时间序列谱线存在混淆现象。

虽然与其他高分辨率遥感影像分类的精度相比, 本文的分类精度并未达到最优, 但其分类精度完全能满足大尺度下沼泽湿地实时、快速监测的要求, 加上 MODIS 影像具有时间分辨率高、容易获取的优点, 更显示出本方法经济实用的优势。

4.3 研究区沼泽湿地分布的统计分析

从图 5 中可以看出, 研究区沼泽湿地主要分布在河流流经处周围和湖泊周围、地势平坦的区域, 这些区域多滞水场所, 有利于沼泽湿地的发育, 河网密度越高的区域沼泽湿地分布越广, 例如聂拉木县和定日县四处面积较大的沼泽湿地, 以及定结县错姆折林、定结错的入湖河流和出湖河流周围产生的大面积的沼泽湿地。湖泊周围浅水区和潮湿区也有部分沼泽湿地分布, 例如错戳龙、佩枯错和浪强错周围没有河流经过的部分沼泽湿地。



研究区的沼泽湿地主要分布在北翼,南翼零星分布有一些河水浅滩或滞流处发生沼泽化过程而形成的小范围沼泽湿地,这和赵魁义等<sup>[32]</sup>的研究成果相一致。经统计,研究区沼泽湿地面积共有 2 481.13km<sup>2</sup>,占全区面积的 6.88%,其中,定日县分布最多,占沼泽湿地总面积的 36.85%;其次为定结县、聂拉木县和吉隆县,分别占 25.79%、24.5%和 12.86%。

将研究区 DEM 与研究区沼泽湿地提取结果相叠加,分析沼泽湿地分布与海拔之间的关系。对叠加了沼泽湿地提取数据的 DEM 进行高程分析,统计出不同海拔范围内沼泽湿地所占的面积比例。表 1 可以看出,沼泽湿地主要分布在海拔 4000~5500m 范围内,占沼泽湿地总面积的 97%,跨北翼两个自然分带:4000~5000m,高原寒冷半干旱草原带;5000~5500m,高山寒冻草甸垫状植被带<sup>[10]</sup>。

表 1 研究区不同海拔区间上沼泽湿地的面积比

Tab. 1 Area percentage of marsh wetland in different altitude ranges in the study area

海拔 (m)	<3000	3000 至 3500	3500 至 4000	4000 至 4500	4500 至 5000	5000 至 5500	5500 至 6000	>6000
沼泽湿地 面积比(%)	0.18	0.16	0.89	44.95	26.00	26.05	1.77	0

5 沼泽湿地退化风险评价分析

首先,利用 ArcGIS 9.3 完成气温的年际线性趋势分析,并将其标准化到(0,1)范围内,得到自然风险图层(图 6(a));然后,利用距离衰减函数,生成居民点风险图层和道路风险图层,将二者叠加后的结果标准化到(0,1)范围内,得到人为风险图层(图 6(b))。将自然风险图层和人为风险图层进行叠加得到风险指数后利用自然分界法(Jenks Natural Breaks)对叠加结果进行分级,这是一种基于原数据而没有人为了干扰的分级方法。基本原理是将所

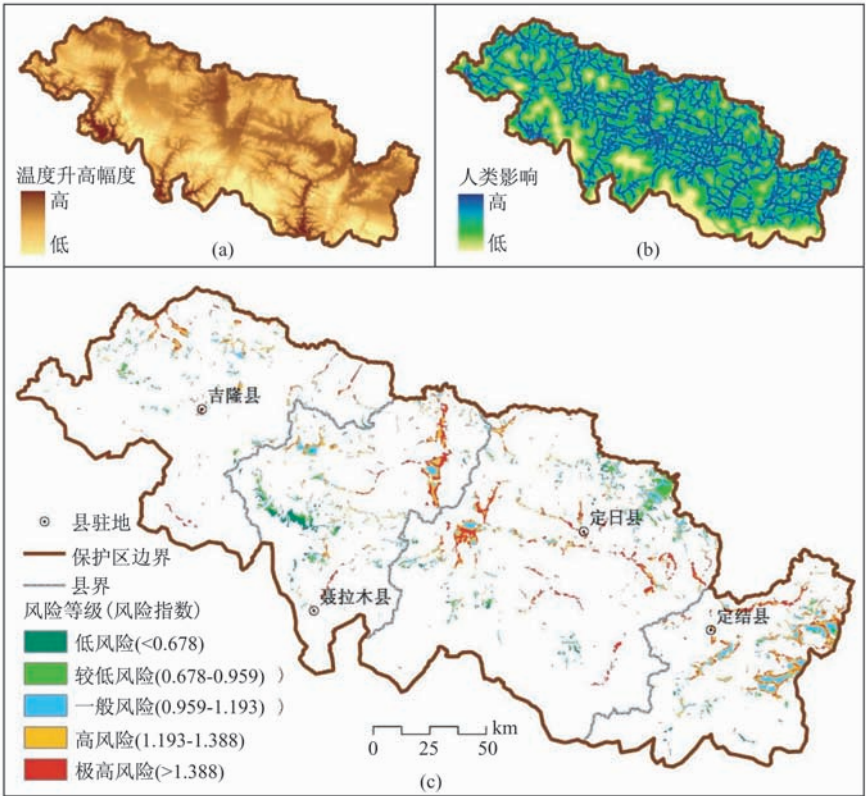


图 6 研究区沼泽湿地退化潜在风险综合评价分级  
(a: 自然风险图层; b: 人为风险图层; c: 综合评价结果)

Fig. 6 Integrated evaluated ranking of marsh wetland in the study area  
(a: natural risk layer; b: artificial risk layer; c: integrated evaluated result)

有的样本数据排序,借助统计学方法寻找样本的自然“断层”或“间断点”(breaks),并通过对比类别内部和类与类之间的误差来优化分类,达到科学分类的目的。将结果分为低风险、较低风险、一般风险、高风险、极高风险 5 个级别,生成最终的研究区沼泽湿地退化潜在风险评价图(图 6(c))。5 个级别的面积分别为 183.44km<sup>2</sup>、337.69km<sup>2</sup>、613.31km<sup>2</sup>、779.88km<sup>2</sup>、566.63km<sup>2</sup>,占研究区沼泽湿地总面积的比例分别为 7.39%、13.61%、24.72%、31.43%、22.84%。表 2 为各风险等级中风险因子的具体特征。

表 2 不同风险等级风险因子的具体特征  
Tab. 2 Specific characteristics of risk factors of different risk levels

风险等级	气温升高率 (℃/10a)	距居民点平均 距离(m)	距道路平均距离 (m)
低风险	0.15	3975	2193
较低风险	0.21	2779	1349
一般风险	0.3	2086	826
高风险	0.38	1510	386
极高风险	0.44	972	124

研究区沼泽湿地存在较大的潜在风险,极高风险和高风险区域占了一半以上的比例,主要分布在研究区北翼中部海拔相对较低、地势较平坦区域,这些区域人类活动密集,而且气温增长幅度较大,在聂拉木县东北部和定日县西部有两处较明显的极高风险和高风险区域。河谷地带的高风险区域较多,主要因为这些区域道路分布较多,受人类的影响较大,而且气温增长幅度较大。低风险和较低风险区域主要分布在保护区周围海拔较高、人类活动较少、气温增长幅度不明显的高原地区,如定日县北部和聂拉木县西北部。

6 结论

(1)珠峰自然保护区沼泽湿地资源丰富,共有 2481.13km<sup>2</sup>,占全区面积的 6.88%;主要分布在海拔 4000~5500m 范围内,在定日县、定结县、聂拉木县和吉隆县分布的面积比例分别为 36.85%、25.79%、24.5%和 12.86%。

(2)通过线性趋势分析和距离衰减理论研究表明,在自然因素、人类活动相互作用下,研究区沼泽湿地存在较大的潜在风险,低风险、较低风险、一般

风险、高风险、极高风险区域占研究区沼泽湿地总面积的比例,分别为 7.39%、13.61%、24.72%、31.43%、22.84%,高风险以上区域占了一半以上的比例。

(3)2010 年 5 月,西藏自治区启动了第二次全区湿地资源调查;2011 年 3 月,自治区政府开始实施“西藏自治区湿地保护条例”,湿地的科学保护已经成为西藏高原国家生态安全屏障建设面临的重点问题之一。故此,珠峰自然保护区今后应加强湿地分布、发生、演化规律和湿地生态系统结构与功能等研究,并通过加强湿地保护立法,重建沼泽湿地植被带、强化湿地管理等重点措施,确保保护区湿地环境安全和湿地资源的可持续利用。

参考文献:

[1] 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.

[2] 白军红, 欧阳华, 徐惠凤, 等. 青藏高原湿地研究进展[J]. 地理科学进展, 2004, 23(4): 1-9.

[3] 许辉熙, 何政伟, 但尚铭, 等. 基于 EOS/MODIS 的若尔盖高原湿地定量遥感研究[J]. 冰川冻土, 2007, 29(3): 450-455.

[4] 王根绪, 李元寿, 王一博, 等. 近 40 年来青藏高原典型高寒湿地系统的动态变化[J]. 地理学报, 2007, 62(5): 481-491.

[5] 王春连, 张镱锂, 王兆锋, 等. 拉萨河流域湿地系统景观格局多尺度分析[J]. 自然资源学报, 2010, 32(9): 1634-1642.

[6] 陈桂琛, 黄志伟, 卢学锋, 等. 青海高原湿地特征及其保护[J]. 湿地科学, 2003, 1(2): 122-127.

[7] 王根绪, 丁永健, 王建, 等. 近 15 年来长江黄河源区的土地覆被变化[J]. 地理学报, 2004, 59(2): 163-173.

[8] 张镱锂, 李秀彬, 傅小锋, 等. 拉萨城市用地变化分析[J]. 地理学报, 2000, 55(4): 395-406.

[9] 马飞, 李景吉, 彭培好, 等. 珠穆朗玛峰自然保护区南北坡植被覆盖变化研究[J]. 地理科学进展, 2010, 29(11): 1427-1432.

[10] 珠穆朗玛峰地区科学考察报告 1966~1968(自然地理)[M]. 北京: 科学出版社, 1975, 1-3, 172-182.

[11] 李国庆, 阚媛珂, 王绪本, 等. 珠穆朗玛峰生物圈保护区湿地空间分布及变化研究[J]. 湿地科学, 2009, 7(4): 289-298.

[12] 李国庆, 阚媛珂, 王绪本, 等. 珠穆朗玛峰国家级自然保护区退化湿地分布及影响因素研究[J]. 湿地科学, 2010, 8(2): 110-114.

- [13] 裘善文, 孙广友, 夏玉梅. 三江平原中东部沼泽湿地形成及其演化趋势的探讨[J]. 湿地科学, 2008, 6(2): 148-159.
- [14] 王丹, 姜小光, 唐伶俐, 等. 利用时间序列傅立叶分析重构无云 NDVI 图像[J]. 国土资源遥感, 2005, 2: 29-32.
- [15] 罗磊, 青藏高原湿地退化的气候背景分析[J]. 湿地科学, 2005, 3(3): 190-199.
- [16] 杨续超, 张懿铨, 张玮, 等. 珠穆朗玛峰地区近 34 年来气候变化[J]. 地理学报, 2006, 61(7): 687-696.
- [17] 王长科, 王跃思, 张安定, 等. 若尔盖高原湿地资源及其保护对策[J]. 水土保持通报, 2001, 21(5): 20-40.
- [18] 次旦伦珠. 珠穆朗玛峰自然保护区概况[J]. 中国藏学, 1997, 1: 3-22.
- [19] 廖顺宝, 李泽辉. 气温数据栅格化中的几个具体问题[J]. 气象科技, 2004, 32(5): 352-356.
- [20] 廖顺宝, 李泽辉, 游松财. 气温数据栅格化的方法及其比较[J]. 资源科学, 2003, 25(6): 75-80.
- [21] 丁明军, 沈振西, 张懿铨, 等. 青藏公路与铁路沿途 1981-2001 年植被覆盖变化[J]. 资源科学, 2005, 27(5): 128-133.
- [22] Gregory D. Distance Decay[M]. //: Johnston R J, Gregory D, Smith D M (Ed.). The Dictionary of Human Geography (2nd Ed.). Oxford: Blackwell, 1988: 110-111.
- [23] Eldridge J D, Jones J P. Warpedspace: A Geography of Distance Decay[J]. Professional Geographer, 1991, 43: 500-511.
- [24] 张捷, 都金康, 周寅康, 等. 自然观光旅游地客源市场的空间结构研究——以九寨沟及比较风景区为例[J]. 地理学报, 1999, 54(4): 357-364.
- [25] 王雪梅, 李新, 马明国. 干旱区内陆河流域人口统计数据的空间化——以黑河流域为例[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(6): 39-47.
- [26] 刘小平, 黎夏, 叶嘉安. 基于多智能体系统的空间决策行为及土地利用格局演变的模拟[J]. 中国科学 D 辑地球科学, 2006, 36(11): 1027-1036.
- [27] 李月辉, 胡远满, 李秀珍, 等. 道路生态研究进展[J]. 应用生态学报, 2003, 14(3): 447-452.
- [28] 章家恩, 徐琪. 道路的生态学影响及其生态建设[J]. 生态学杂志, 1995, 14(6): 74-77.
- [29] 吴群, 温修春, 唐焱, 等. 模型法在农用地基准地价评估中的应用——以江苏省泰兴市为例[J]. 资源科学, 2004, 26(5): 68-73.
- [30] 吴晋峰, 包浩生. 旅游流距离衰减现象演绎研究[J]. 人文地理, 2005, 2: 62-65.
- [31] 牛振国, 宫鹏, 程晓, 等. 中国湿地初步遥感制图及相关地理特征分析[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2009, 39: 188-203.
- [32] 赵魁义, 王德斌, 宋海远. 西藏沼泽的初步研究[J]. 见: 陈宜瑜主编. 中国沼泽研究, 1988, 227-235.

## Distribution and Potential Degradation Risk Evaluation of Marsh Wetland in the Mt. Qomolangma National Nature Reserve

MA Fei<sup>1</sup>, KAN Aike<sup>2</sup>, LI Jingji<sup>3, 2</sup>, GUAN Lei<sup>4</sup>, CHEN Xiaoqin<sup>3</sup>

(1. Sichuan Spatial Information Industry Development Co. Ltd, Chengdu 610041, China;

2. Tibet Autonomous Region Science & Information Technology Institute, Lhasa 850001, China;

3. College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

4. Key Lab. of Geo-detection & Information Techniques of Ministry of Education, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** The Mt. Qomolangma National Nature Reserve was established on 18 March, 1989. In March 2005, it was listed in the global biosphere protected area network, for the marsh wetland there is very important to the environment of this region. In this paper, we took the Mt. Qomolangma National Nature Reserve as the study area, selected all 23 MODIS NDVI images of 2009, used the HANTS algorithm based on Fourier transform to remove the interference of the cloud and reconstruct NDVI time series images. The spectral angle mapper (SAM) was used to extract marsh wetland of the study area according to

(下转第 610 页)

correspond to the districts with rapid expansion of urban construction land. From the first two periods, the number of districts with rapid development of road density is bigger than the number of districts with rapid expansion of urban construction land. Compared with the development of road, the expansion of urban construction land has a slight delay. The expansion of urban construction land is stimulated by road development. During the last period, urban construction land expanded rapidly. The number of districts with rapid expansion of urban construction land is bigger than the number of districts with rapid development of road density. The expansion of urban construction land stimulates road development.

**Key words:** road network; urban construction land; correlation analysis; Guangzhou-Foshan metropolitan area

---

(上接第 600 页)

the different phenological characters between marsh wetland and other surface features. The area of marsh wetland is 2481.13km<sup>2</sup>, which account for 6.88% of the total study area. Its distribution in Tingri County was the most abundant, which account for 36.85% of the total marsh wetland area; followed by Dingjie, Nyalam and Gyirong counties, the proportions are 25.79%, 24.5% and 12.86% respectively. According to the characteristics of the study area, we evaluated the potential degradation risk of marsh wetland in the study area by selecting annual mean temperature linear trend as natural risk factor, influences of settlements and roads as artificial risk factors which are based on distance decay theory. This paper divided general risk assessed results mainly into five grades, that is, the lowest risk, lower risk, moderate risk, higher risk, and the highest risk. The proportions of the total marsh wetland area in the study area are 7.39%, 13.61%, 24.72%, 31.43% and 22.84% respectively.

**Key words:** The Mt. Qomolangma Nature Reserve; marsh wetland; spectral angle mapper; distance decay; potential degradation risk evaluation