

DOI: 10.5846/stxb201408191645

刘方正, 张建亮, 王亮, 杨增武, 崔国发. 甘肃安西极旱荒漠国家级自然保护区南片植被长势与保护成效. 生态学报, 2016, 36(6): - .

Liu F Z, Zhang J L, Wang L, Yang Z W, Cui G F. Vegetation Growth and Conservation Efficacy Assessment in the Southern Part of the Gansu Anxi National Nature Reserve in Hyper-Arid Desert. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(6): - .

甘肃安西极旱荒漠国家级自然保护区南片植被长势与保护成效

刘方正^{1,2}, 张建亮^{1,2}, 王 亮³, 杨增武³, 崔国发^{1,*}

1 北京林业大学自然保护区学院, 北京 100083

2 环境保护部南京环境科学研究所, 南京 210042

3 甘肃安西极旱荒漠国家级自然保护区管理局, 酒泉 736100

摘要:以甘肃安西极旱荒漠国家级自然保护区南片为研究案例, 借助高分辨率遥感影像和 GIS 技术, 结合具体的植被类型和功能区划, 分析了 2000 年到 2010 年间自然保护区内植被长势趋势的变化。结果发现: (1) 11 年来各植被类型, 尤其是以骆驼刺、芦苇、芨芨草为主的天然草地植被表现出了较好的长势和增长的趋势; (2) 核心区和缓冲区内不存在退化的植被类型, 表明自然保护区基本实现了保护目的; (3) 退化的植被位于实验区的布隆吉村、桥子村和双塔村, 面积为 1319 hm², 占比为 0.31%。由此可见甘肃安西极旱荒漠国家级自然保护区南片植被保护成效明显。将植被长势趋势分析同自然保护区功能区划及植被类型相结合, 有助于识别保护要点, 以便为植被保护成效评价提供参考。

关键词: 安西自然保护区; 南片; 植被; 保护成效

Vegetation Growth and Conservation Efficacy Assessment in the Southern Part of the Gansu Anxi National Nature Reserve in Hyper-Arid Desert

LIU Fangzheng^{1,2}, ZHANG Jianliang^{1,2}, WANG Liang³, YANG Zengwu³, CUI Guofa^{1,*}

1 College of Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

2 Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Nanjing 210042, China

3 Administration of Gansu Anxi National Nature Reserve in Hyper-Arid Desert, Jiuquan 736100, China

Abstract: Deserts are vulnerable ecosystems formed under severe environmental conditions, and climatic anomalies and human disturbance can have irreversible impacts on wild animals, plants, and the natural environment of these ecosystems. Desert ecosystems perform irreplaceable eco-service functions, providing protection against wind, stabilizing sand, acting as biogeographic barriers, and promoting the conservation of biodiversity. Moreover, vegetation plays a crucial role in the assessment of ecological changes. Accordingly, by analyzing changes in vegetation, ecological threats can be identified and their severity quantified, thus helping to assess conservation efficacy in nature reserves. China is one of several countries worldwide suffering from severe desertification over vast areas, that is both extensive and complex. Accordingly, it is critical to understand conservation efficacy in the desert ecosystems of China's nature reserves. The Gansu Anxi National Nature Reserve in Hyper-Arid Desert (GANNR) is the only reserve in China established to protect hyper-arid desert ecosystems and their biodiversity; it is located in Guazhou County in the western part of the Hexi Corridor, Gansu Province. GANNR covers approximately 8000 km², and thus accounts for one third of the total area of Guazhou County. The reserve separates

基金项目: 林业公益性行业科研专项 (201104029)

收稿日期: 2014-08-19; 网络出版日期: 2015- -

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fa6716@163.com

the Kumutage and Badain Jaran deserts, sheltering the Hexi Corridor oasis and preventing sandstorms. Accordingly, it plays a critical role in biodiversity conservation and regional eco-safety. GANNR is divided into two parts: the northern and southern reserves. As the Chinese government has implemented its western development strategy, some key national projects have extended across the northern part of GANNR, including infrastructure for west-east natural gas transmission, west-east power transmission, and the Lan-Xin railway. In this study, we selected the southern part of GANNR as our study area for several reasons: (1) the vegetation cover and species richness are higher here than in the north; (2) typical temperate desert vegetation such as *Reaumuria soongorica*, *Salsola passerina*, *Sympegma regelii*, and *Ephedra przewalskii* can be found and assessed in the south; and (3) some villages are located in the southern part of our study zone. We analyzed trends in vegetative growth from 2000 to 2010, using RS and GIS by combining vegetation type and functional zoning maps. The vegetation type map was created using a high-resolution remote sensing image, which was acquired from the ZY-1-02C satellite in August 2012. This image had a spatial resolution of 2.36 m, after processing in ENVI 5.0 using orthorectification and the Gram-Schmidt method. Regression analysis of NDVI and elapsed time revealed the vegetation growth trend for each vegetation type in different functional zones. The results show the following: (1) each vegetation type exhibited increased growth over time, with an increasing trend during the 11-year period. This was particularly true for the natural grassland, which included *Alhagi sparsifolia*, *Phragmites australis*, and *Achnatherum splendens*; (2) no degraded vegetation types were found in either the core zone or the buffer zone, indicating that the GANNR administration achieved their protection goal; and (3) degraded vegetation types were found in the Bulongji, Qiaozi, and Shuangta villages, covering an area of 1319 hm²; this corresponds to just 0.31% of the study area. Although we have clearly demonstrated the vegetation conservation efficacy in GANNR, we also make the following suggestions: (1) adjust the functional zoning, such that the area containing *Ephedra przewalskii* is incorporated into the buffer or core zones; and (2) strengthen supervision around the villages to maintain the grassland conservation results achieved previously by constructing a fence to return grazing land to grass. We hope that this study will be beneficial to the GANNR administration, and will act as a reference for future vegetation conservation efficacy assessments.

Key Words: Anxi nature reserve; protected area; vegetation; conservation efficacy

建立自然保护区是当前各国保护生物多样性采取的重要手段^[1-2],截止到2014年,全球范围内的保护区数量超过20万个,相当于3.4个中国国土面积^[3]。评估建成的自然保护区保护成效是当前研究的热点和重点^[4]。以往的研究多是侧重于管理有效性,关注保护区的制度、人员、装备、社区关系和资金保障等,不少研究成果已经获得了成功的应用^[5-9]。近年来,对于保护区景观、天然植被和珍稀濒危物种的保护成效评估研究日益受到关注^[10-12]。

荒漠生态系统是在恶劣环境下发展起来的脆弱系统,气候异常和人类干扰对于荒漠中的动植物和自然环境都可能造成不可逆转的影响^[13-14]。同时,荒漠生态系统又在防风固沙、地理屏障和生物多样性保护等发挥了不可替代的生态服务功能^[15-16]。自1977年联合国荒漠化大会以来,荒漠化问题就开始越来越多地为世人所关注^[17]。中国是世界上荒漠化面积大、分布广、类型复杂、危害重的国家之一^[18],研究荒漠生态系统类型自然保护区的保护成效意义重大。

植被很大程度上代表了区域生态环境的总体状况,是评价生态变化的重要层面^[19-20],因此分析自然保护区植被变化情况既可以识别植被的受威胁程度,又能结合区域经济发展的实际发现植被保护的威胁来源,对于评价自然保护区的保护成效具有实际意义。归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)及其时间序列数据因能较好的反映植被覆盖度和生物量等生物学特征而被广泛地用于植被评价中^[21-26],是作为荒漠地区的环境监测和评价的首选指标^[27-28]。

甘肃安西极旱荒漠国家级自然保护区(Gansu Anxi National Nature Reserve in Hyper-Arid Desert, GANNR)

地处甘肃河西走廊西段,是丝绸之路连接东西的交通要道。保护区分为南北两片,是分隔库木塔格沙漠和巴丹吉林沙漠的重要生态屏障,保护了西北沙尘通道下游区域以及河西走廊绿洲,在屏蔽风沙、物种保存和区域生态安全格局上具有重要地位。近年来西气东输、西电东送、兰新铁路等西部大开发重大工程穿越了保护区的实验区,产生的生态环境影响也值得关注和研究。因此,探明当前自然保护区植被保护成效显得尤为重要和紧迫。

本文以甘肃安西极旱荒漠国家级自然保护区南片为典型研究区,以 RS 和 GIS 技术为支撑,采用 2000 年到 2010 年 11 年间的每日 NDVI 数据,从植被类型及其所在功能区入手,分析了 11 年来自然保护区南片内的植被长势趋势,划定趋势等级,为评价其植被保护成效提供支持和参考。

1 研究区概况

甘肃安西极旱荒漠国家级自然保护区位于甘肃省酒泉市瓜州县(图 1)(注:2006 年经国务院批准,安西县更名为瓜州县,保护区名称目前没有变更),总面积 80 余万公顷,占瓜州县国土面积的 1/3,分为南北两片,其荒漠植被、动物种类在整个古地中海区域具有一定的典型性和代表性^[29],是目前我国唯一以极旱荒漠生态系统及其生物多样性为主要保护对象的自然保护区。

本文选取自然保护区的南片作为研究区。保护区南片较北片具有更高的生物多样性和植被覆盖度,分布有红砂(*Reaumuria soongorica*)、珍珠(*Salsola passerina*)、黑柴(*Sympegma regelii*)和膜果麻黄(*Ephedra przewalskii*)等典型温带荒漠植被。年平均气温 9.68℃,年降水量在 50 mm 左右,蒸发量却高达 2477 mm^[30],是降水量的近 50 倍^[31]。实验区中存在一些村镇,具有较现实的研究意义。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

文中使用的遥感影像购买自中国资源卫星应用中心,影像采自资源一号 02C 卫星 2012 年 8 月。经裁剪和正射处理后,使用 ENVI 5.0 软件的 Gram-Schmidt^[32]方式,将 P/MS 全色多光谱相机影像和 HR 全色高分辨率相机影像^[33]进行融合,获得 2.36 m 空间分辨率的融合影像。

本研究还使用到来源于中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据镜像网站(<http://www.gscloud.cn>)提供的 2000—2010 年 11 年的 MODIS 中国 NDVI 产品(MODND1D),空间分辨率为 250 m,时间分辨率为 1 d。NDVI 数据产品每月 30 景,获取 6—8 月 3 个生长月,11 年共计 990 景数据。

2.2 研究方法

2.2.1 遥感影像解译

将资源一号 02C 卫星的融合影像,结合地面采集的 247 个调查点,参考《中华人民共和国植被图 1:1000000》和《甘肃安西极旱荒漠国家级自然保护区二期综合科学考察》等资料,使用 ENVI 5.0 面向对象分类方式(Feature Extraction),选用基于样本的方法(Example-Based)^[34-35],经过多次试验后,确定分割尺度(Segment Settings)为 15,合并尺度(Merge Settings)为 99.5 为最佳,通过目视监督分类的方式,完成植被分类和制图(附图 1)。遥感影像的解译总体精度大于 90%,Kappa 系数大于 0.87。

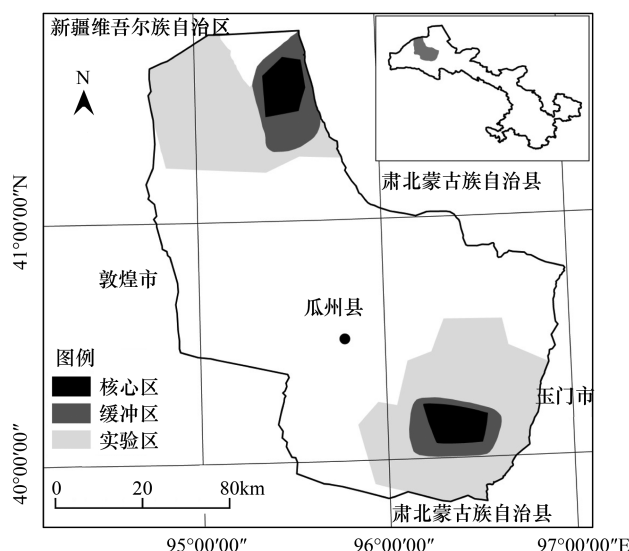


图 1 甘肃安西极旱荒漠国家级自然保护区位置

Fig. 1 Location of Gansu Anxi National Nature Reserve in Hyper-Arid Desert

2.2.2 研究区年均 NDVI 影像合成

为获得研究区年均 NDVI 合成影像,国际上目前通用的是采用最大值和平均值合成法^[36]进行处理,从而有效地消除太阳高度角、云层、大气等干扰^[37]。首先按公式(1)对某一年某一生长月的 30 景日 NDVI 进行最大值合成:

$$M_{NDVI,ij} = \max(M_{NDVI,ijd}) \quad (1)$$

式中, $M_{NDVI,ij}$ 为第 i 年合成的研究区第 j 生长月的 NDVI, $M_{NDVI,ijd}$ 为第 i 年的第 j 个生长月第 d 天日 NDVI。然后按照公式(2)对某一年 3 个生长月的 NDVI 进行平均值合成:

$$M_{NDVI,i} = \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 M_{NDVI,ij} \quad (2)$$

式中, $M_{NDVI,i}$ 为第 i 年的年均 NDVI。

2.2.3 植被长势趋势分析

植被长势趋势分析选用年均 NDVI 和时间拟合后的回归方程的斜率表示^[38-40]。回归方程斜率(slope)的数值表征植被长势的变化趋势。slope > 0 表明植被趋于改善,值越大改善效果越明显,反之则为退化。计算按公式(3):

$$\text{slope} = \frac{n \times \sum_{i=1}^n i \times \sum_{i=1}^n M_{NDVI,i} - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n M_{NDVI,i}}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad (3)$$

式中,slope 为回归方程斜率, n 为研究年数, i 为年份序号, $M_{NDVI,i}$ 为第 i 年的年均 NDVI。

将植被长势趋势分析获得的结果同自然保护区功能区划图以及植被分类图在 ArcMap 10.0 软件中进行叠加处理和分区统计,识别出植被长势变化的具体植被类型和所在功能区,并统计面积和占比。

3 结果与分析

3.1 植被长势趋势等级划分

年均 NDVI 和时间拟合后的回归方程斜率 slope 可以划分为不同级别,用于描述研究区植被长势的趋势。然而不同研究者在划分 slope 的等级时界值各不相同,没有统一标准^[21, 37, 41-43]。本文在对所有像元的 slope 值经统计软件 SPSS 20 的频数分布分析后,划定 5 级植被长势等级,具体的 slope 界值和等级见表 1。图 2 则是近 11 年来自然保护区南片的植被长势趋势空间分布图。

由表 1 和图 2 可见,整个研究区中的植被长势趋势主要为基本不变,比例占到了 85.04%。退化的面积共有 1319 hm²,占比为 0.31%。同时,植被长势趋势从空间分布上也可以看出,核心区 and 缓冲区中以基本不变为主,退化的植被仅在实验区中小片分散分布,位于布隆吉村、桥子村和双塔村。

3.2 各植被类型年均 NDVI 的年际变化

绘制各植被类型 2000 年至 2010 年的年均 NDVI 年际变化图,结果如图 3 所示。各植被类型在 11 年内基本上都呈现出了稳定的并有所改善的趋势,所有植被类型的 2010 年的 NDVI 值都不同程度的高于 2000 年。

表 1 研究区植被长势趋势分级和面积统计表
Table 1 Vegetation growth trend degree and area

slope 范围 Range of slope	变化程度 Change degree	面积/hm ² Area	占比/% Ratio
2 < slope	明显改善 Significantly improved	27822	6.47%
1 < slope ≤ 2	轻微改善 Slightly improved	35227	8.19%
-1 < slope ≤ 1	基本不变 Generally unchanged	365782	85.04%
-2 < slope ≤ -1	轻度退化 Slightly degraded	1054	0.25%
slope ≤ -2	严重退化 Seriously degraded	265	0.06%

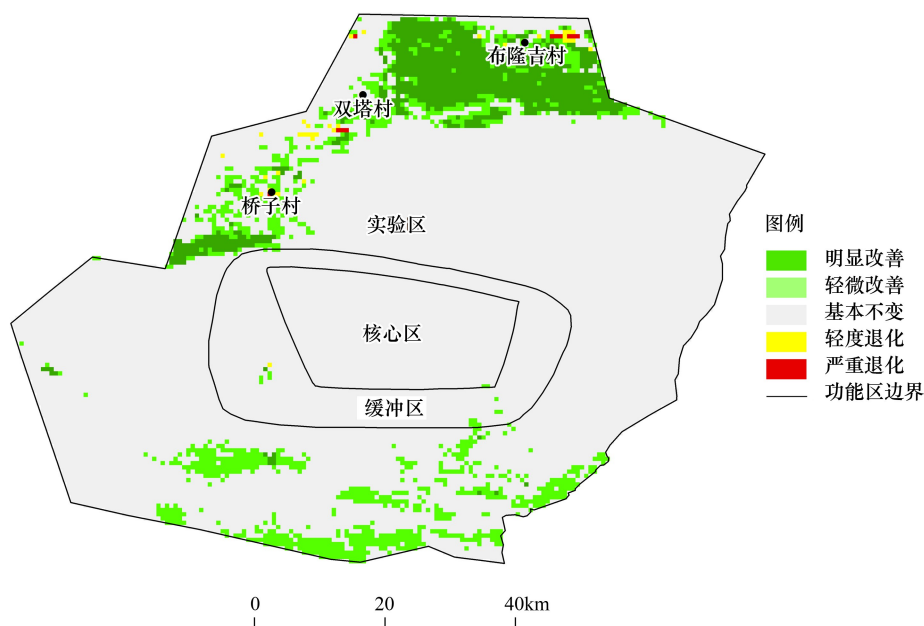


图2 研究区植被长势趋势等级空间分布图

Fig. 2 Vegetation growth trend degree spatial distribution map

黑柴、红砂和膜果麻黄的年均 NDVI 值和变动幅度最小。珍珠的年均 NDVI 在 2006 年达到最大,并且在 2001 年、2004 年和 2009 年出现过三次低谷。针茅草(*Stipa glareosa*)的 NDVI 年际变化波动最大,同样也是在 2001 年、2004 年和 2009 年出现三次低谷,11 年来总体看,针茅草的年均 NDVI 值在 0.10—0.18 之间。骆驼刺(*Alhagi sparsifolia*)的变化情况基本稳定在 0.21—0.25 之间。芦苇(*Phragmites australis*)和农田表现出了明显的上升趋势,其增长的幅度也是显而易见的。芨芨草(*Achnatherum splendens*)和白杨(*Populus gansuensis*)是研究区内年均 NDVI 最大的两种植被类型,11 年来也表现出了较强的增长趋势。

骆驼刺、芦苇、芨芨草作为目前自然保护区内的天然优质草地,表现出了较好的长势和增长的趋势。典型荒漠植被类型中,黑柴、红砂、膜果麻黄和珍珠受限于自身的覆盖率,在图 3 中呈现出较低的年均 NDVI 值。同时珍珠和针茅草的海拔分布较高,通常在 2000—3000 m 之间,年均 NDVI 的波动可能是受降水和气温的影响。

3.3 各功能区中植被长势趋势变化

图 3 表明了甘肃安西极旱荒漠国家级自然保护区南片的植被长势总体趋势是基本不变并趋于改善的,表 2 在植被类型的基础上,进一步落实到功能区中进行分析。

核心区内不存在退化的植被类型,有 48 hm²的珍珠发生了轻微改善,红砂植被长势基本不变。缓冲区中则有 33 hm²的红砂出现明显改善,珍珠亦有较大面积的轻微改善。实验区中植被类型和植被长势趋势都出现了多样化。首先对于同一物种,往往在实验区内具有多种长势趋势等级;其次,占有 5 个长势趋势等级的植被类型如:骆驼刺、芦苇、芨芨草和农田的改善面积都大于退化的面积。退化植被的位置分布在布隆吉村、桥子村和双塔村(图 2)。

除农田外,具有较大面积上明显改善的植被类型主要有芦苇、芨芨草、骆驼刺、珍珠、红砂等;轻微改善的植被类型有芦苇、针茅草、珍珠、骆驼刺、芨芨草、膜果麻黄、红砂等。

植被改善的原因应该与近几年安西自然保护区内开展的草地围栏建设有关^[44]。退化植被类型中,白杨、农田可能是由于人为管理的措施影响造成的^[45]。骆驼刺、芦苇和芨芨草的质量退化除和水分因素外^[46],还有可能与牧草收割有关。总结来看,南片保护区植被保护成效较好,具体植被类型的保护成效排序为芦苇、针茅草、珍珠、骆驼刺、芨芨草。

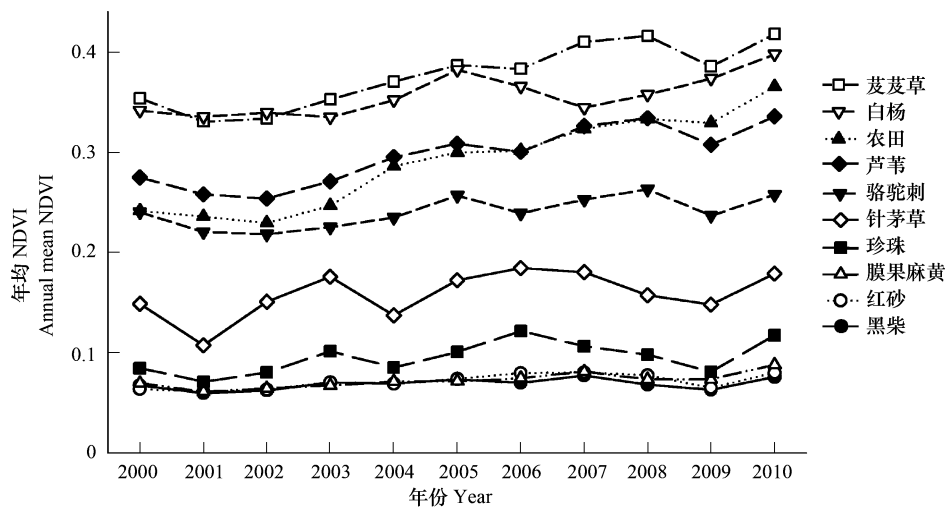


图3 各植被类型年均NDVI的年际变化图
Fig. 3 The variation of annual mean NDVI of each vegetation type

表2 各植被类型在各功能区中的长势趋势的面积和占比统计表

Table 2 Area and percentage of vegetation growth trend in different types and zones

功能区 Function zone	植被类型 Vegetation type	明显改善 Significantly improved		轻微改善 Slightly improved		基本不变 Generally unchanged		轻度退化 Slightly degraded		严重退化 Seriously degraded	
核心区 Core zone	红砂					31833	93.28%				
	黑柴					408	1.20%				
	珍珠			48	100.00%	1884	5.52%				
缓冲区 Buffer zone	红砂	33	100.00%	5	1.16%	23553	44.96%				
	黑柴					4970	9.49%				
	珍珠			426	98.84%	23860	45.55%				
实验区 Experimental zone	骆驼刺					3	0.01%				
	白杨			60	0.17%	31	0.01%	14	1.33%	7	2.64%
	红砂	142	0.51%	203	0.58%	56235	20.14%				
	黑柴	6	0.02%	31	0.09%	100078	35.84%				
	膜果麻黄	89	0.32%	484	1.39%	19327	6.92%				
	珍珠	231	0.83%	6022	17.33%	51716	18.52%				
	骆驼刺	1011	3.64%	2558	7.36%	6837	2.45%	367	34.82%	30	11.32%
	芦苇	12821	46.14%	7766	22.35%	9398	3.37%	179	16.98%	54	20.38%
	芨芨草	2475	8.91%	645	1.86%	2047	0.73%	75	7.12%	2	0.75%
	针茅草	99	0.36%	14451	41.59%	31253	11.19%				
	农田	10915	39.28%	2528	7.28%	2349	0.84%	419	39.75%	172	64.91%

表中数字为植被面积,单位 hm^2 , 百分数为该植被面积在功能区内的长势趋势等级下的占比。

4 结论和讨论

4.1 结论

(1) 11年来各植被类型在自然保护区内都呈现出了稳定的并有所改善的趋势。所有植被类型的2010年均NDVI值都高于2000年的,黑柴、红砂、膜果麻黄的NDVI年际变化最小最稳定。自然保护区内的天然优质草地表现出了较好的长势和增长的趋势。

(2) 核心区和缓冲区中不存在退化的植被类型,表明自然保护区基本实现了保护目的。实验区中的退化

植被类型面积也远远不及其改善的面积。除农田外,芦苇、芨芨草、骆驼刺、珍珠等植被类型都具有较大面积的改善。

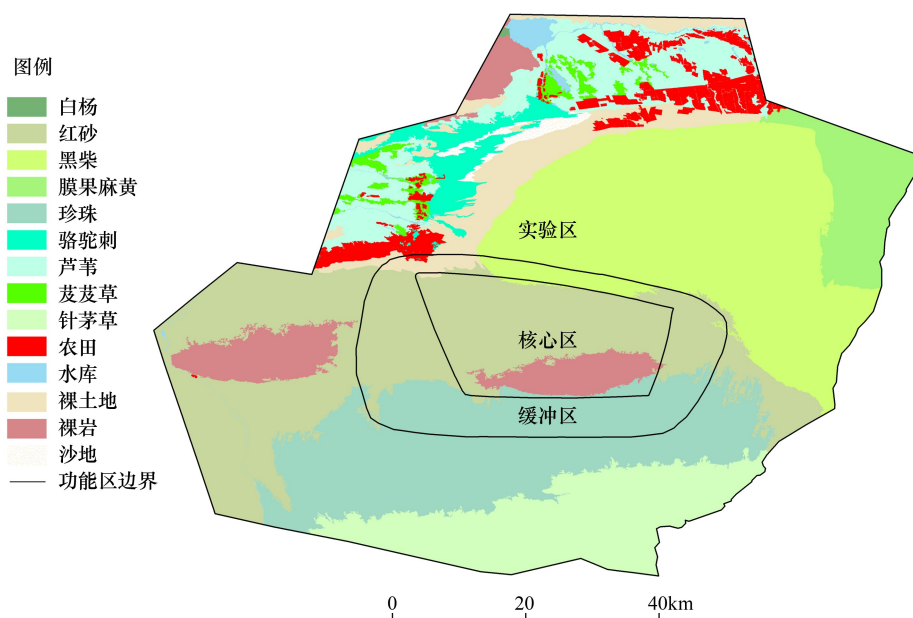
4.2 讨论与建议

(1)本文使用了遥感影像处理软件 ENVI 5.0 提供的面向对象的分类方式,这种基于样本的机器学习的半监督分类方式,在目前的高分辨率遥感影像的解译处理中日益普及。配合国产资源一号 02C 卫星的 2.36 m 分辨率影像和 247 个地面调查点,使得植被分类达到了较高的精度。

(2)甘肃省作为国家首批开展退耕还草工程的省份,2003 年开始在瓜州县布设草场围栏,建成禁牧、休牧围栏 138 个,总长度达 465 千米,围栏封育面积达 340 万亩^[47]。根据赵鸿^[48]、张凯^[44]等人的研究,退耕还草工程围栏内的草地在高度、盖度和产量等各方面都优于围栏外,遥感监测的结果也说明围栏取得了较好的成效。

(3)值得注意的一点是,从植被类型的保护上,安西自然保护区的核心区和缓冲区中并未包含膜果麻黄这一典型植被类型。实地调查中发现,膜果麻黄群落是重点保护植物裸果木(*Gymnocarpus przewalskii*)的重要生境,因此从珍稀濒危物种和典型植被两个方面上考虑,应将膜果麻黄植被划入缓冲区或核心区内,提高管护强度。

(4)建议进行功能区划调整。甘肃安西极旱荒漠国家级自然保护区面积在国家级保护区中位列第十^[49],占瓜州县面积的 1/3。功能区划调整可以将膜果麻黄群落划入缓冲区内,将地下泉眼、天然草地、典型植被类型的主要分布区等划为重点保护区域,同时释放部分土地资源,缓解管护压力。



附图 1 甘肃安西极旱荒漠国家级自然保护区植被类型图

Att.Fig.1 The map of vegetation type in GANNR

参考文献 (References):

- [1] Howard P C, Davenport T R B, Kigenyi F W, Viskanic P, Baltzer M C, Dickinson C J, Lwanga J, Matthews R A, Mupada E. Protected area planning in the tropics: uganda's national system of forest nature reserves. *Conservation Biology*, 2000, 14(3): 858-875.
- [2] 环境保护部. 中国生物多样性保护战略与行动计划. 北京: 中国环境科学出版社, 2011: 5-14.
- [3] 2014 United Nations List of Protected Areas. (2014) [2015-02-27]. http://wdpa.s3.amazonaws.com/WPC2014/2014_UN_LIST_REPORT_EN.pdf
- [4] 陈瑜, 崔国发, 谷建才, 胡金贵, 李焱. 内蒙古汗马国家级自然保护区森林资源动态变化. *东北林业大学学报*, 2013, 41(3): 26-29.

- [5] Leverington F, Hockings M, Pavese H, Costa K L, Courrau J. Management Effectiveness Evaluation in Protected Areas—A Global Study. Supplementary Report NO. 1: Overview of approaches and methodologies. UK and Switzerland: IUCN, 2008: 2-3.
- [6] 李忠, 唐小平, 李云, 安丽丹, 王志臣, 黑紫强, 翁国庆, 苗鸿, 徐卫华, 姜立军. LY/T1726-2008 自然保护区有效管理评价技术规范. 北京: 国家林业局, 2008.
- [7] 权佳, 欧阳志云, 徐卫华. 自然保护区管理快速评价和优先性确定方法及应用. 生态学报, 2009, 28(6): 1206-1212.
- [8] 王双玲, 李霞, 罗阳, 张明海. 自然保护区管理评价方法——保护地区管理有效性跟踪工具介绍. 野生动物杂志, 2005, 26(2): 54-56.
- [9] 刘方正, 崔国发. 国内外保护区管理有效性评价方法比较. 世界林业研究, 2013, 26(6): 33-38.
- [10] 郑姚闽, 张海英, 牛振国, 宫鹏. 中国国家级湿地自然保护区保护成效初步评估. 科学通报, 2012, 57(4): 207-230.
- [11] 关博, 崔国发, 朴正吉. 自然保护区野生动物保护成效评价研究综述. 世界林业研究, 2012, 25(6): 40-45.
- [12] 蒋明康, 王智, 秦卫华, 贺昭和. 我国自然保护区内国家重点保护物种保护成效评价. 生态与农村环境学报, 2006, 22(4): 35-38.
- [13] 张杰, 潘晓玲, 高志强, 师庆东, 吕光辉, 艾里西尔·库尔班, 张琳. 基于遥感—生态过程的绿洲—荒漠生态系统净初级生产力估算. 干旱区地理, 2006, 29(2): 255-261.
- [14] 方精云, 刘国华, 徐嵩龄. 我国森林植被的生物量和净生产量. 生态学报, 1996, 16(5): 497-508.
- [15] 傅伯杰, 周国逸, 白永飞, 宋长春, 刘纪远, 张惠远, 吕一河, 郑华, 谢高地. 中国主要陆地生态系统服务功能与生态安全. 地球科学进展, 2009, 24(6): 571-576.
- [16] 黄青, 孙洪波, 王让会, 张慧芝. 干旱区典型山地—绿洲—荒漠系统中绿洲土地利用/覆盖变化对生态系统服务价值的影响. 中国沙漠, 2007, 27(1): 76-81.
- [17] 杨晓晖, 慈龙骏. 基于遥感技术的荒漠化评价研究进展. 世界林业研究, 2006, 19(6): 11-17.
- [18] 《联合国防治荒漠化公约》中国执委会秘书处. 中国履行《联合国防治荒漠化公约》国家报告. 2006, 4-9.
- [19] 王让会, 张慧芝, 赵振勇, 黄俊芳, 孙洪波. MODS 耦合关系的界面过程及其特征. 干旱区地理, 2004, 27(3): 388-392.
- [20] Raich J W, Schilesinger W H. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. Tellus B, 1992, 44(2): 81-99.
- [21] 刘爽, 宫鹏. 2000—2010 年中国地表植被绿度变化. 科学通报, 2012, 57(16): 1423-1434.
- [22] Meng M, Ni J, Zong M J. Impacts of changes in climate variability on regional vegetation in china: ndvi—based analysis from 1982 to 2000. Ecological Research, 2011, 26(2): 421-428.
- [23] 郅妍飞, 颜长珍, 宋翔, 段翰晨. 近 30a 黄河源地区荒漠遥感动态监测. 中国沙漠, 2008, 28(3): 405-409.
- [24] Rodríguez N, Armenteras D, Retana J. Effectiveness of protected areas in the Colombian Andes: deforestation, fire and land-use changes. Regional Environmental Change, 2013, 13(2): 423-435.
- [25] 侯鹏, 王桥, 房志, 王昌佐, 魏彦昌. 国家生态保护重要区域植被长势遥感监测评估. 生态学报, 2013, 33(3): 780-788.
- [26] 黄方, 王平, 刘权. 松嫩平原西部植被覆盖动态变化研究. 东北师大学报: 自然科学版, 2008, (4): 115-120.
- [27] 王正兴, 刘闯, 赵冰茹. AVHRR 草地分类的潜力和局限: 以锡林郭勒草原为例. 自然资源学报, 2003, 18(6): 704-711.
- [28] 徐斌, 陶伟国, 杨秀春, 覃志豪, 高懋芳. 我国退牧还草工程重点县草原植被长势遥感监测. 草业学报, 2007, 16(5): 13-21.
- [29] 刘迺发, 宁瑞栋. 甘肃安西极旱荒漠国家级自然保护区. 北京: 中国林业出版社, 1998: 1-6.
- [30] 刘迺发, 杨增武. 甘肃安西极旱荒漠国家级自然保护区二期综合科学考察. 兰州: 兰州大学出版社, 2006: 1-5.
- [31] 陈昌笃, 张立运. 中国的极旱荒漠. 干旱区研究, 1986, (2): 6-7.
- [32] Laben C A, Brower B V. Process for Enhancing the Spatial Resolution of Multispectral Imagery Using Pan—sharpening: United States Patent. (2000) [2013-10-02]. <http://www.freepatentsonline.com/6011875.html>.
- [33] 中国资源卫星应用中心. 资源一号 02C 卫星. (2012) [2014-02-01]. <http://www.cresda.com/n16/n1130/n175275/175577.html>.
- [34] Roerdink J B T M, Meijster A. The watershed transform: definitions, algorithms and parallelization strategies. Fundamenta Informaticae, 2000, 41(1/2): 187-228.
- [35] Vincent L, Soille P. Watersheds in digital spaces: an efficient algorithm based on immersion simulations. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1991, 13(6): 583-598.
- [36] Stow D, Pertersen A, Hope A, Engstrom R, Coulter L. Greenness trends of arctic tundra vegetation in the 1990s: comparison of two ndvi datasets from NOAA AVHRR systems. International Journal of Remote Sensing, 2007, 28(21): 4807-4822.
- [37] 王强, 张勃, 戴声佩, 邹悦, 马中华, 张亚宁. 基于 GIMMS AVHRR NDVI 数据的三北防护林工程区植被覆盖动态变化. 资源科学, 2011, 33(8): 1613-1620.
- [38] Stow D, Daeschner S, Hope A, Douglas D, Petersen A, Myneni R, Zhou L, Oechel W. Variability of the seasonally integrated normalized difference vegetation index across the north slope of Alaska in the 1990s. International Journal of Remote Sensing, 2003, 24(5): 1111-1117.
- [39] 马明国, 王建, 王雪梅. 基于遥感的植被年际变化及其与气候关系研究进展. 遥感学报, 2006, 10(3): 421-431.

- [40] 韩贵锋, 赵珂, 徐建华. 基于时间序列遥感的长三角地区植被时空格局演变. 中国园林, 2009, 25(2): 60-64.
- [41] 李芳, 蒋志荣. 张掖地区植被覆盖变化及其预测研究. 水土保持通报, 2011, 31(5): 220-224.
- [42] 张月丛, 赵志强, 李双成, 孟宪锋. 基于 SPOT NDVI 的华北北部地表植被覆盖变化趋势. 地理研究, 2008, 27(4): 745-754.
- [43] 臧润国, 井学辉, 刘华, 刘贵峰, 丁易, 成克武, 张军, 吴晓成, 张新平, 刘萍, 张志东, 王计平. 北疆森林植被生态特征. 北京: 现代教育出版社, 2011: 410-413.
- [44] 张凯, 郭锐, 王润元, 王小平, 王静. 甘肃省天然草地退牧还草工程效益遥感监测研究——以安西县荒漠草地为例. 草业科学, 2008, 25(7): 29-35.
- [45] 张远东, 徐应涛, 顾峰雪, 潘晓玲. 荒漠绿洲 NDVI 与气候、水文因子的相关分析. 植物生态学报, 2003, 27(6): 816-821.
- [46] 张远东, 张笑鹤, 刘世荣. 西南地区不同植被类型归一化植被指数与气候因子的相关分析. 应用生态学报, 2011, 22(2): 323-330.
- [47] 瓜州县政府办. 瓜州县草原生态保护治理见成效. (2010) [2013-3-23]. <http://www.jiuquan.gov.cn/ReadNews.asp?NewsID=8127>.
- [48] 赵鸿, 王润元, 郭锐, 刘宏谊, 张凯, 王鹤龄. 退牧对安西荒漠化草原植被的生态效应. 草业科学, 2007, 24(5): 83-88.
- [49] 中华人民共和国环境保护部. 全国自然保护区名录. (2011) [2015-3-4]. [http://datacenter.mep.gov.cn/main/template-view.action?templateId_ = 8ae5e48d2670761801267088e590000b&dataSource = \\$ {dataSource}](http://datacenter.mep.gov.cn/main/template-view.action?templateId_ = 8ae5e48d2670761801267088e590000b&dataSource = $ {dataSource}).