

基于 IKONOS 数据的植被制图与植被空间格局 ——以五分地沟试验区为例

张翠萍^{1,2}, 牛建明^{1*}, 董建军¹, 李 旻³

(1. 内蒙古大学生命科学学院生态与环境科学系, 呼和浩特 010021; 2. 海南省环境科学研究院, 海口市 570206;
3. 内蒙古水利水电勘测设计院环境移民处, 呼和浩特 010020)

摘要:以五分地沟试验区为例, 利用 IKONOS 卫星遥感图像, 结合 DEM, 对地形复杂的黄土丘陵地区制作植被图, 并进行三维显示, 直观地表达了研究区域植被的空间分布。使用景观指数, 分析了植被空间格局的特点。结果表明, 试验区整体格局较破碎, 但斑块稳定性较好, 分维数为 1.25。人工植被占主导地位, 人工乔木林和农田成为基质, 天然植被、水体等类型以小斑块的形式镶嵌其中。经过综合治理, 当前的植被结构和空间布局能有利于控制试验区的水土流失。研究表明, 高空间分辨率数据对于地形复杂的沟壑丘陵地区制作植被图及进行综合分析具有明显的优势。

关键词: IKONOS; DEM; 植被制图; 三维显示; 植被分析

文章编号: 1000-0933(2006)02-0449-08 **中图分类号:** Q149, Q948.15 **文献标识码:** A

Vegetation mapping and spatial pattern analysis using IKONOS data: a case study in the Wufendigou area

ZHANG Cui-Ping^{1,2}, NIU Jian-Ming^{1*}, DONG Jian-Jun¹, LI Min³ (1. Department of Ecology and Environmental science, Inner Mongolia University, Inner Mongolia, Hohhot, 010021, China; 2. Academy of Environmental Science of Hainan Province, Haikou 570206, China; 3. Department of Environmental Emigration, Water and Electricity Surveying & Designing Institute, Inner Mongolia, Hohhot, 010020, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26 (2): 449 ~ 456.

Abstract: The paper demonstrates the use of IKONOS satellite imagery and a Digital Elevation Model (DEM) for vegetation mapping of the topographically complex loess hills in the Wufendigou area. A 3-dimensional view, overlaying the vegetation map on the DEM, was produced to facilitate visual interpretation. The spatial pattern of vegetation in the area was analyzed with different landscape indices.

Three kinds of data were used in the study, remotely sensed digital imagery, topographic maps, and vegetation samples. The IKONOS data, captured on July 23rd, 2002, included 4 bands (blue, green, red, and near infrared with a ground resolution of 4m) and 1 panchromatic band (ground resolution 1m). Four sheets of topographic maps with the scale of 1:10,000 were used. Vegetation samples from quadrates were observed during a field survey from June 24th to July 1st, 2004. Sixty four quadrates were used, including records of herbaceous plants, shrubs, and trees. During the field survey, doubtful and difficult areas encountered in the pre-interpretation process were checked, so was the accuracy assessment of the vegetation pre-interpretation.

Data processes were digital image processing and DEM creation, including the production of slope and aspect data sets.

基金项目: 国家 973 资助项目 (G2000018604); 教育部留学回国人员科研启动基金资助项目 ([2003]406); 内蒙古自然科学基金资助项目 (200308020507); 内蒙古高等学校科研资助项目 (NJ02008); 省部共建国家重点实验室培育基地“内蒙古草地生态学重点实验室”资助项目

收稿日期: 2004-12-12; **修订日期:** 2005-09-12

作者简介: 张翠萍 (1970~), 女, 广东省高州市人, 硕士, 主要从事草地生态学研究. E-mail: ping-zc@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: jnniu@public.hh.nm.cn

Foundation item: The project was supported by National 973 Project of China (No. G2000018604), National Ministry of Education foundation for Returnee (No. [2003]406), Natural Science Foundation of Inner Mongolia (No. 200308020507), University Scientific Research Program of Inner Mongolia (No. NJ02008), Sponsored by Inner Mongolia Key Laboratory of Grassland Ecology

Received date: 2004-12-12; **Accepted date:** 2005-09-12

Biography: ZHANG Cui-Ping, Master, mainly engaged in grassland ecology. E-mail: ping-zc@163.com

Using PCI, the IKONOS imagery was fused, orthorectified, and geometrically corrected. The Gauss-Kruger projection was used. Topographic maps were scanned, contour lines and other features were vectorized and corrected with Titan ScanIn. A GRID model DEM was produced and reprojected by use of ArcGIS. Finally, the slope and aspect data was extracted.

The vegetation classification system and corresponding visual interpretation keys were established according to the preliminary interpretation results, field observations, and image characteristics. Visual interpretation in ERDAS IMAGINE was used to produce a vegetation map with the scale of 1:5000. For the sake of publishing, another vegetation map (1:25000) was generated as well.

The vegetation map was then overlaid on the DEM, to produce a 3-dimensional view of vegetation in the area. Compared with remotely sensed data of moderate spatial resolution, IKONOS imagery may show detailed objects on the ground, which may improve the accuracy of vegetation interpretation greatly. Using the described methodology, artificial woodland could be defined to species level, and grassland could be defined to association level. A total of 26 surface cover types was recognized, including 8 for natural vegetation, 12 for artificial vegetation, and 6 other types. The 3-dimensional view facilitated interpretation of the spatial distribution of each vegetation type.

Combining slope and aspect data with a vegetation map, this article quantitatively examined the characteristics of vegetation spatial patterns using the landscape indices of dominance, fragmentation and fractal dimension. The results showed that the general vegetation pattern was fragmented. The total area of the study region was 9.02km², containing 2462 patches, giving a fragmentation of 273 patches/km². The fractal dimension was 1.25, which suggested that the shape of vegetation patches was more or less simple and stable. Moreover, it effectively illustrated the vegetation recovery since 1979 reported by Jin Zheng-ping.

Artificial vegetation dominates the Wufendigou area, with natural vegetation dispersed as small patches. Artificial vegetation accounted for 59.60% of the total area. The dominance index for artificial vegetation was 38.01, which was much greater than 16.57, the value for natural vegetation. The planted woodland accounted for 29.28% of the total area. Adding the seedlings of *Pinus tabulaeformis*, this figure increased to 31.32%. The large area of planted woodland showed the efforts to control soil erosion and consequently improve the local ecological environment.

In addition, the area of steep gully walls accounted for 6.94% of the total area. Most of them, accounted for 4.40% of the total area, were bare. It is therefore suggested that soil erosion should not be overlooked in the region.

Key words: IKONOS; DEM; vegetation mapping; three-dimensional perspective view; vegetation spatial pattern

植被图是以植物群落为主要对象的专题地图,是一个地区植被研究成果的具体表现和全面概括,常被作为国家和地区的基础资源数据^[1]。自 1854 年第 1 张植被图诞生以来,被广泛应用于植被资源调查、植被与环境关系研究、植被动态监测、土地利用规划、森林管理、农业管理等领域^[2]。

我国的植被制图工作始于 20 世纪 50 年代,侯学煜、吴征镒和陈昌笃、张新时等制作了小比例尺植被图^[3-5]。20 世纪 80 年代以来,随着遥感技术在宏观调查中的成功应用,李博、雍世鹏、崔海亭等将遥感制图技术运用于该领域,取得了大量成果^[6-8]。另外,利用植被图开展植被分析,也有不少报道^[9-11]。2001 年,《1:1000000 中国植被图集》纸印和数字化版的出版发行,标志着我国植被制图研究进入了数字化时代。

进入 21 世纪,IKONOS、QuickBird 等卫星分发的高空间分辨率数据投入市场,开始应用于军事、测绘、管理等领域^[12]。就植被研究而言,侧重于树种识别、叶面积指数等信息的提取^[13-17],但尚未见关于植被制图的报导。本文以五分地沟试验区为例,利用 IKONOS 卫星遥感数据,结合数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM),研究植被图的制作和三维显示,分析该区域植被的空间分布格局。

1 研究区域

五分地沟试验区(简称试验区)位于内蒙古自治区鄂尔多斯市准格尔旗,在皇甫川的支流长川中游东岸,由五分地沟小流域和饭铺沟小流域北岸流域组成,东经 111°06'31.74"E ~ 111°09'16.33"E,北纬 39°44'01.88"N ~ 39°46'25.85"N,面积为 9.02km²。

试验区平均海拔 1140m,为小流域沟壑丘陵地貌,沟壑密度大,地形十分破碎。气候为典型的半干旱气

候,年平均气温 6.2°C ,年平均降水量 389mm ,6~9 月降水量占 80%,蒸发量为降水量的 5.2 倍。土壤类型有栗钙土、黄绵土、风沙土和洪淤土。试验区的天然植被为暖温型典型草原,建群种有本氏针茅(*Stipa bungeana*)、百里香(*Thymus serpyllum*)、达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica*)等。人工植被中农田面积大,兼有少量人工草地。人工乔木林、灌木林有大面积分布,主要种类包括油松(*Pinus tabulaeformis*)、杨树(*Populus sp.*)、柳树(*Salix sp.*)、柠条(*Caragana intermedia*)和沙棘(*Hippophae rhamnoides*)^[18]。

2 材料与方法

2.1 数据和取样

本研究采用了 3 类数据:遥感数据、地形图和样方。

遥感数据为 IKONOS 卫星遥感数字图像,包含 4 个多光谱波段(空间分辨率 4m)和 1 个全色波段(空间分辨率 1m),成像时间为 2002 年 7 月 23 日。

地形图 4 张,比例尺 1:10,000,等高距 5m 。

样方数据源于 2004 年 6 月 24 日至 7 月 1 日的野外调查,有草本、灌丛和乔木 3 类。草本样方用于确定群落类型及植被分析,取样大小为 $1 \times 1\text{m}^2$,记录植物的种类、盖度、密度、高度、频度和鲜重。鲜重材料经室内烘干处理后,获得干重数据。灌丛样方和乔木样方主要用于调查人工柠条、人工油松林和人工杨树林,样方大小分别为 $5 \times 5\text{m}^2$ 和 $20 \times 20\text{m}^2$,调查内容包括种类、行距、株距、每行株数、树龄、林下植物等。

2.2 研究方法

(1)IKONOS 图像处理 利用遥感图像处理软件 PCI,首先进行数据融合,然后对融合图像做正射处理。接着使用 1:10,000 地形图进行几何配准。共选择了 20 个地面控制点,精度为 0.48 个像元。最后,定义投影类型为高斯—克吕格投影,并用五分地沟边界矢量数据挖取子图。

(2)建立 DEM 将所需的地形图扫描,用 Titan ScanIn 软件进行交互式跟踪,将所需地图要素矢量化。建立的图层文件有等高线层、高程点层、道路层、水系层和湖泊层。结果数据用 DXF 格式输出,同时根据控制点完成坐标变换。然后,使用地理信息系统软件 ArcGIS,转换数据类型,定义投影为高斯—克吕格投影,再进行矢量编辑和拼接。最后,依据上述数据层,建立格网(Grid)模型支持的 DEM。

(3)植被专题解译 2003 年,曾对皇甫川流域进行过实地调查,开展了 ETM+ 卫星遥感图像的植被专题解译工作。以此为基础,针对 IKONOS 数据的特点,结合文献资料,初步建立了植被分类系统和解译标志,进行预解译。

2004 年野外调查时,重点解决预解译过程中遇到的疑点和难点,如图像中色调较暗、纹理模糊的区域。同时,对于已经解译的类型,进行了解译精度的实地检验。

最后,确定植被分类系统和相应的解译标志,在室内完成植被专题解译。具体的解译工作是在遥感图像处理软件 ERDAS 的支持下,结合 DEM 和野外调查资料目视进行的。

(4)精度检验 通过实地的逐一对比,完成精度的检验。由于进行了预解译,加之试验区面积小,因此,在野外调查期间,逐条沟、逐类型地实施了精度验证。

(5)制图 植被制图工作是基于 ArcGIS 完成的。将植被解译数据建立拓扑关系后,进行整饰,输出植被图,其基本比例尺为 1:5000。该植被图与 DEM 叠加后,用于三维显示。

考虑到发表的便利,通过必要的综合,还制作了 1:25,000 植被图。具体地,首先是图例综合,然后根据最小制图单元($2 \times 2\text{mm}^2$),并利用 ArcGIS 的功能,自动实现了图斑的合并。经过整饰后,完成制图。

(6)提取坡度和坡向数据 利用表面分析,获取试验区坡度、坡向数据。坡度划分为 6 级:0 级表示平地,1 级 $0^{\circ} \sim 5^{\circ}$,2 级 $5^{\circ} \sim 15^{\circ}$,3 级 $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$,4 级 $25^{\circ} \sim 35^{\circ}$,5 级 $35^{\circ} \sim 71^{\circ}$ 。坡向分 8 个方向,0 表示平地,无坡向;1 东北坡;2 东坡;3 东南坡;4 南坡;5 西南坡;6 西坡;7 西北坡;8 北坡。

植被图分别与坡度和坡向叠加,提取各植被类型的坡度和坡向,分析地形与植被分布的关系。

(7)植被空间格局分析 参考有关文献^[19-21],结合试验区特点,选用优势度(dominance)、破碎度

(fragmentation)和分维数(fractal dimension)景观指数对植被空间格局进行定量描述,利用 Fragstats3.3 软件做具体计算。

2.3 流程

工作流程见图 1。

3 研究结果

3.1 植被图及三维显示

3.1.1 植被图 根据图像的色调、纹理、图案、阴影、位置等特点,结合样方数据和 DEM,确定植被分类系统,并建立解译标志。其中,草原的基本分类单位为群丛。

试验区分布着天然植被、人工植被、水体和其它四大类别(图 2)。天然植被包含 8 个类型,主要为含人工柠条的百里香+达乌里胡枝子+糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)群落、本氏针茅+百里香群落、低湿地假苇拂子茅(*Calamagrostis pseudophragmites*)群落^①、香蒲+芦苇+蔗草(*Typha orientalis*+*Phragmites communis*+*Scirpus trigueter*)沼泽^①。陡壁蒿类灌丛的建群种主要为茭蒿(*Artemisia giraldii*),1 年生植物群聚以黄蒿(*Artemisia acoparia*)为主。人工柠条灌丛郁闭度小于 40% 的地段也归入此大类。此外,还分布有戈壁针茅(*Stipa gobica*) + 短花针茅(*Stipa breviflora*) + 达乌里胡枝子群落片段。

人工植被有 12 个类型,为人工林、农田和人工草地。人工林依树种和用途分 7 类,人工油松林、人工侧柏林(*Platycladus orientalis*)等类型为纯林。农田依据耕作制度分 3 类,人工草地按照牧草种类分 2 类。

水体包括长川及沟坝积蓄的水。居民点、裸陡壁、沟坝等归入其它类别。

各类型面积详见表 1。

由于 IKONOS 数据分辨率达到 1m,在图像上能清晰分辨出散生立木,所以,在人工林和含人工柠条灌丛以外的区域,用点状符号表示它们,以丰富图面信息。

3.1.2 植被图的三维显示 将植被图与试验区 DEM 叠加,实现植被图的三维显示(图 2)。该图直观地展示了各植被类型分布的空间位置。

如前所述,试验区是沟壑丘陵地貌,侵蚀强烈,地形十分破碎。从 1980 开始,开展了小流域综合治理^[18]。将一级川台地开发为基本农田,在黄土覆盖较厚的二级台地和梁峁坡地修筑梯田,对砒砂岩裸露的坡梁地,实施了水平沟、鱼鳞坑等配合造林的坡面工程。为了有效地治理水土流失,在各级支沟修筑了沟坝^[22]。本文制作的三维植被图,形象地展示了小流域综合治理的成果(图 3、图 4、图 5)。

3.2 植被空间格局特点

试验区植被整体格局较破碎。试验区总面积为 9.02km²,斑块总数是 2462 块,破碎度为 273 块/km²。经过 20 多年的治理,该区域人工植被占主导地位,农田和人工乔木林成为基质,天然植被、水体等类型以小斑块的形式镶嵌其中。

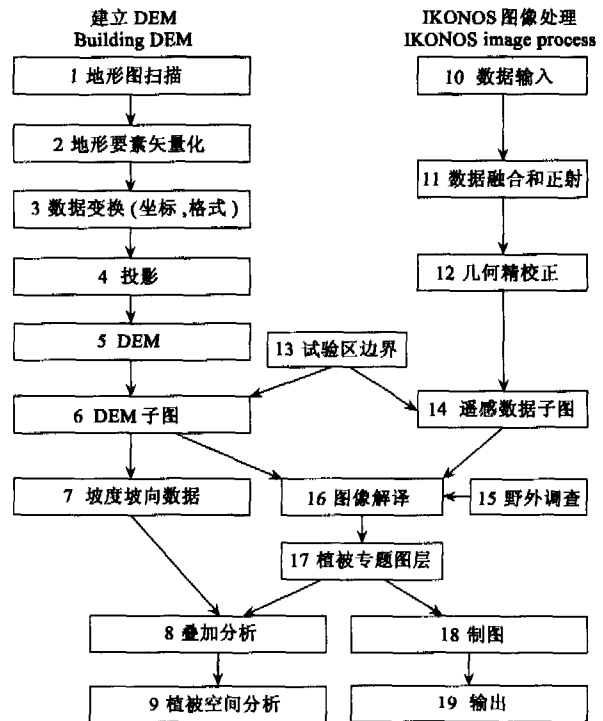


图 1 工艺流程图

Fig. 1 The flowchart of the case study

1. Topographic map scanning; 2. Vectorization; 3. Data transformation;
4. Projecting; 5. Digital Elevation Model; 6. DEM Subsetting; 7. Slope and aspect data; 8. Overlaying; 9. Vegetation spatial analysis; 10. Data input;
11. Data fusing; 12. Registration; 13. Area boundary; 14. IKONOS subset;
15. Field survey; 16. Interpretation; 17. Vegetation; 18. Mapping; 19. Output

① 赵利清,皇甫川流域植物及沟壑植被的调查

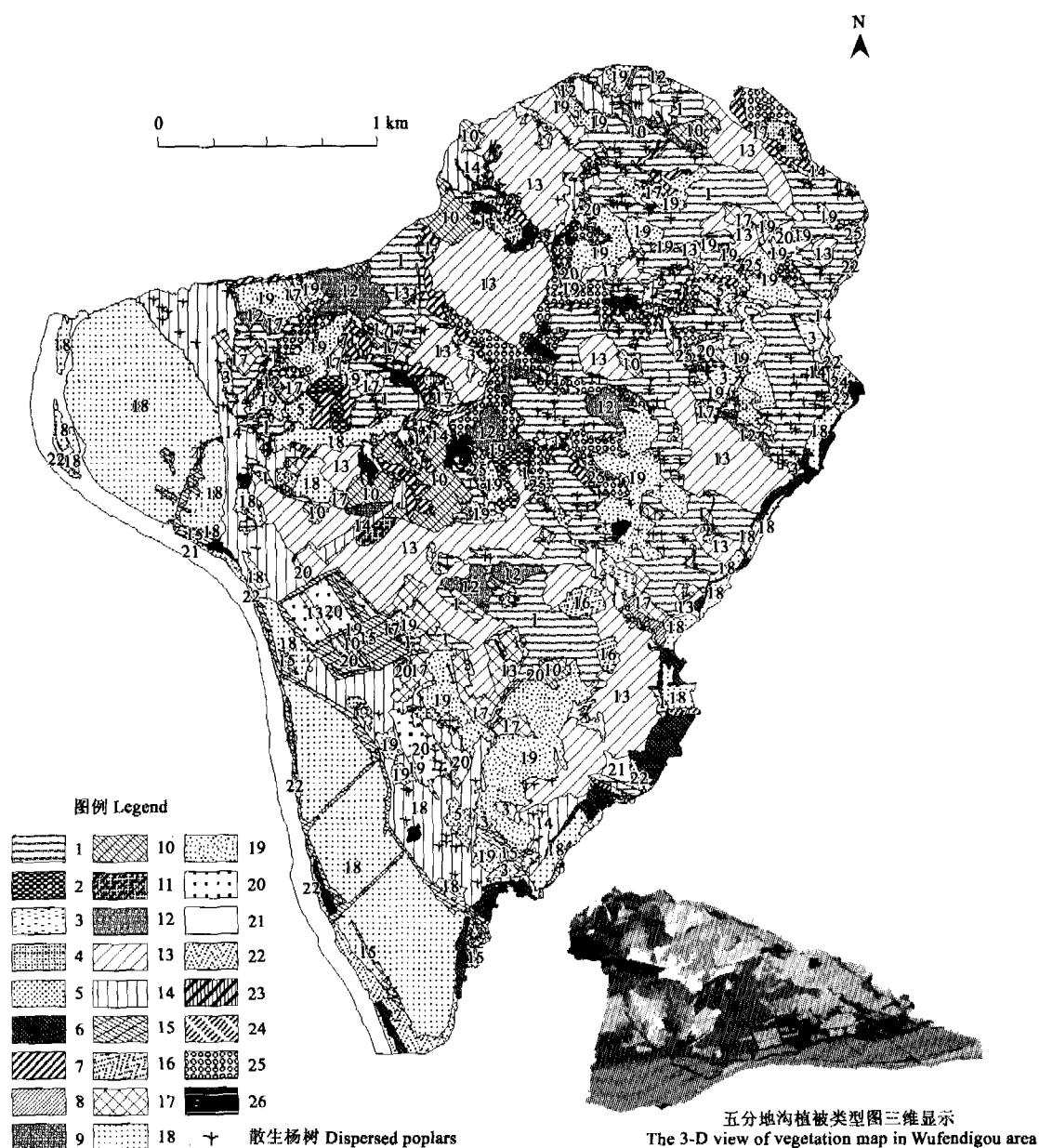


图 2 五分地沟实验区植被类型图

Fig. 2 Vegetation map of Wufendigou area

1. 百里香 + 达乌里胡枝子 + 糙隐子草 (含人工柠条) *Thymus serpyllum* + *Lsepedeza davurica* (including planted *Caragana intermedia*); 2. 本氏针茅 + 百里香 (含人工柠条) *Stipa grandis* + *Thymus serpyllum*; 3. 百里香 + 达乌里胡枝子 + 糙隐子草 *Thymus serpyllum* + *Lsepedeza davurica* + *Cleistogenes squarrosa*; 4. 戈壁针茅 + 短花针茅 *Stipa gobica* + *Stipa breviflora*; 5. 本氏针茅 + 短花针茅 + 达乌里胡枝子 *Stipa bungeana* + *Stipa breviflora* + *Lsepedeza davurica*; 6. 假苇拂子茅 *Calamagrostis pseudophragmites*; 7. 陡壁蒿类灌丛、1 年生植物群聚 *Artemisia* shrub and annual weeds on cliff; 8. 香蒲 + 芦苇 + 蘆草 *Typha orientalis* + *Phragmites communis* + *Scirpus trigueter*; 9. 人工侧柏林 *Platyclusus orientalis* artificial woodland; 10. 人工油松林 + 人工柠条 *Pinus tabulaeformis* artificial woodland with *Caragana intermedia*; 11. 人工油松 + 杨树林 *Pinus tabulaeformis* + *Populus* sp. artificial woodland; 12. 人工油松幼林 *Pinus tabulaeformis* artificial seedlings; 13. 人工杨树林 + 人工柠条 *Populus* sp. artificial woodland with *Caragana intermedia*; 14. 人工杨树 + 柳树林 *Populus* sp. + *Salix* sp. artificial woodland; 15. 防护林 Belt-forests; 16. 人工羊柴 + 早熟禾 Planted *Hedysarum laeve* + *Poa annua*; 17. 人工沙打旺、草木樨 *Astragrus adsurgens* Pall. 'Shadawang' or *Melilotus albus* forage land; 18. 水浇地 Irrigable cropland; 19. 坡耕地 Cropland on slope; 20. 撂荒地 fallow land; 21. 水体 Waters; 22. 裸河床 Bare riverbed; 23. 干沟 Dry gully; 24. 沟坝 Dam; 25. 裸陡壁 Cliffs; 26. 居民点 Rural settlement area

天然植被占试验区总面积的 26.6%，植被类型有 8 种，但斑块总数却占总体的 34.4%，破碎度为 358 块/ km^2 ，比平均破碎度要大，说明斑块较分散。分维数为 1.18，远离 1.50，表明该类型形状简单，格局稳定。这些残余的天然植被类型大多分布在砾石质化严重的坡顶及坡面上，坡度集中在 $0 \sim 15^\circ$ ，在 25° 以上坡面也有分布。

表 1 试验区植被类型面积统计表(hm^2)

Table 1 Statistics of vegetation types in the study area

类型 Type	面积 Area(%)	类型 Type	面积 Area(%)	类型 Type	面积 Area(%)	类型 Type	面积 Area(%)	类型 Type	面积 Area(%)	类型 Type	面积 Area(%)
1	150.40(16.7)	6	25.88(2.9)	11	1.25(0.1)	16	6.45(0.7)	21	36.53(4.1)	26	10.91(1.2)
2	1.77(0.2)	7	22.90(2.5)	12	18.43(2.0)	17	26.70(3.0)	22	12.81(1.4)	a	0.60(0.1)
3	22.47(2.5)	8	1.79(0.2)	13	139.52(15.5)	18	127.98(14.2)	23	3.08(0.3)	b	1.23(0.1)
4	2.05(0.2)	9	0.79(0.1)	14	75.85(8.4)	19	93.04(10.3)	24	2.43(0.3)		
5	12.99(1.4)	10	21.44(2.4)	15	25.23(2.8)	20	17.87(2.0)	25	39.67(4.4)		

a. 人工玫瑰 Planted *Rosa*; b. 人工沙棘(由于分布面积太小,类型 a 和 b 并没有表示在图面上 *Hippophae rhamnoides* artificial shrub land (Type a and b were not shown on the map due to their much smaller distributed areas

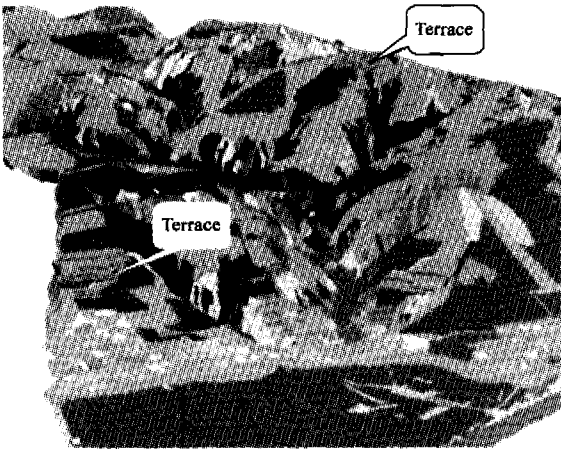


图 3 梯田
Fig.3 Terraces

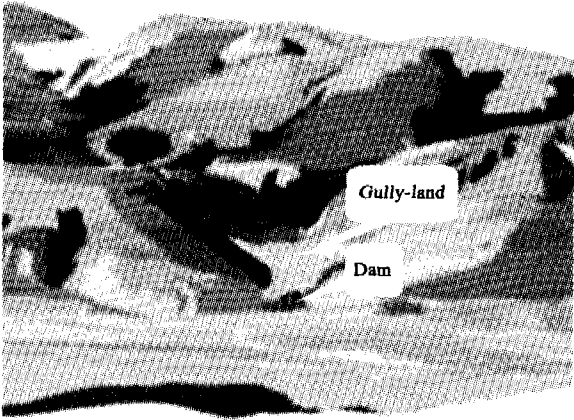


图 4 沟坝和沟坝地
Fig.4 A dam and gully-land

人工植被(人工乔木林、农田、人工草地等)占总面积的 59.60%。该类别斑块面积较大,分布连续。人工植被优势度 38.01,远高于天然草地的 16.57。其中,人工乔木林和农田的优势度分别为 19.90 和 19.03,已经成为试验区的优势植被类型。

人工乔木林占试验区总面积的 29.28%,加上人工油松幼林,可达 31.32%。可见,人工乔木林已形成一定的规模,有助于改善当地的生态环境。油松林分布在砭砂岩裸露、侵蚀强烈的地段(图 5),有效地遏止了水土流失。杨树与柳树混交林分布在覆沙缓坡、缓沟壁和小块沟坝地,坡向多为西南和西,既可防风固沙、控制水蚀,又是用材来源。

农田占试验区总面积的 26.48%,仅次于人工乔木

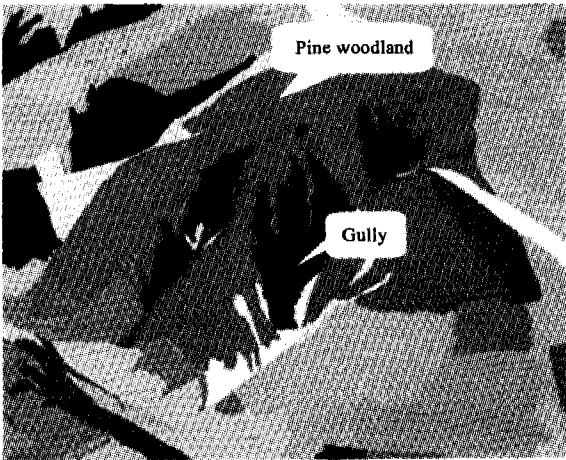


图 5 油松林
Fig.5 Pine woodland

林。其中水浇地分布在一级川台地和沟坝地等有灌溉条件的地块,成为当地的基本农田。坡耕地和撂荒地分布在黄土覆盖较厚的二级台地、梁峁坡地和缓坡地。95.41%的农田分布在坡度 15° 以下,还有1.34%分布在 25° 以上的坡面,坡向多为西和西南。据资料记载,当年的农田治理措施之一是草田轮作、带状间作。因此,就现状而言,上述类型表现出坡耕地、撂荒地和人工草地交错分布、大多呈梯田状格局的特点。

人工柠条占试验区总面积的16.87%,分布在风沙土和覆沙黄土上,绝大多数在坡度 15° 以下。灌丛间百里香群落生长旺盛,在控制水蚀和风蚀的同时,提高了草地生产力。人工柠条类型的分维数为1.17,破碎度37块/ km^2 ,表明其格局稳定,斑块较团聚。

人工草地占总面积的3.68%,主要分布在缓坡(15° 以下),与坡耕地和撂荒地交错出现。牧草种类有沙打旺、羊柴和草木樨等。

另外,试验区侵蚀强烈,沟壁占总面积的6.94%,包括裸陡壁(4.40%)和有植被覆盖的沟壁(2.54%)。生长在较缓沟壁的植物主要有柠条、本氏针茅等,较陡的沟坡以黄蒿等1年生植物群聚为主。裸陡壁的面积较大,说明试验区的水土流失仍然不容忽视。

4 结论与讨论

(1) 本项研究利用 IKONOS 卫星遥感数据,结合 DEM,对地形复杂的黄土丘陵地区制作植被图,并进行了三维显示。植被图和三维显示图直观地表达了试验区植被分布的空间格局特点。

(2) 将植被图和坡度、坡向数据叠加,进行植被的空间格局分析。结果表明,试验区整体格局较破碎,但分维数指标(1.25)表明斑块稳定性较好。人工植被占主导地位,人工乔木林和农田成为基质,天然植被、水体等类型以小斑块的形式镶嵌其中。经过综合治理,当前的植被结构和空间布局,有利于控制试验区的水土流失。

(3) 与传统的中分辨率遥感数据相比较,IKONOS 图像纹理细致,大大地提高了植被的可解译能力。结合 DEM,根据生境、地形等因素,能够将乔木、人工牧草分类到种,天然草原分类到群丛组。研究表明,高空间分辨率数据对于地形复杂的沟壑丘陵地区制作植被图及进行综合分析具有明显的优势。

(4) 基于高空间分辨率遥感图像制作的大比例尺植被图,详细地描绘了研究区域的植被类型和分布,对于指导当地的生态建设,合理利用和开发土地资源,也具有一定的参考价值。在对皇甫川流域的综合治理过程中,曾经大规模营造沙棘林,仅准格尔旗就种植3.3万 hm^2 ,但目前已经大面积枯死^[22]。五分地沟试验区也不例外,如今只留下1.23 hm^2 。残余的沙棘呈条状分布在坡脚弃耕地的田埂上,水分条件较好,周围有防护林分布。由大比例尺植被图上所获得的这些详细的生境信息,对于分析沙棘的死亡和存活,提供了更多的数据支持。另外,大比例尺植被图还显示了人工种植食用玫瑰的分布情况。该类型植被生长良好,虽然面积仅为0.6 hm^2 ,但盖度相当高。它们均种植在丘坡上,不但提高植被覆盖率,促进水土保持,而且还有助于增加居民的经济收入。对于当地而言,不失为一种新的、生态和经济效益兼顾的资源植物。

(5) 由于是在图像上按流域划定边界,所以试验区总面积为与文献记录略有出入。本项研究为9.02 km^2 ,比金争平^[18]提出的7.7 km^2 要大一些。

References:

- [1] TIAN L S. Vegetation mapping. Xi'an: Xi'an Atlas Press, 1993. 1~3, 4~16.
- [2] Kitchler A W and Zonneveld I S. Vegetation Mapping. Kluwer Academic Publishers, 1988. 1~2.
- [3] Vegetation Map of China Editing Committee. 1:10 000 000 Vegetation Map of China. In: WU Z Y ed. Vegetation of China. Beijing: Science Press, 1980. Plate.
- [4] WU Z Y, CHEN C D. 1:8 000 000 Vegetation Map of China. In: Atlas of People's Republic of China. Beijing: Atlas Press, 1957.
- [5] Sinkiang Synthesis Survey Team of Chinese Academy of Science. Vegetation and Vegetation Using of Sinkiang. Beijing: Science Press, 1957.
- [6] Li B, Yong S P, Zeng S D, et al. The principle, method, and application of ecological regionalization map of the Inner Mongolia autonomous region. Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica, 1990, 14(1): 55~61.
- [7] Yong S P, Zhu Z Y. A preliminary analysis on the diversity of the filifolium sibiricum mountain steppe on the east and west sides of greater Xingan mountain. Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica, 1982, 6(2): 87~93.

- [8] Wang F, Yong P, Liu L. Characteristics of the vegetation zone in Inner Mongolia Autonomous region. *Acta Botanica Sinica*, 1979, 21 (3): 274 ~ 283.
- [9] Sun F, Zhang W, Yong P. A remote sensing image analysis of the vegetation structure of the Xilin Gol Stepe in Inner Mongolia. *Acta Phytoecologica et Geobotanica Sinica*, 1990, 14 (3): 249 ~ 257.
- [10] He G, Wang P. On the compilation of vegetation map of Guangxi (1:2500000) with reference to its illustration. *Acta Phytoecologica et Geobotanica Sinica*, 1981, 5(4): 282 ~ 289.
- [11] ZHU C, ZHANG Z. Vegetation map of Jiling (1:2500000) and its illustration. *Acta Phytoecologica et Geobotanica Sinica*, 1984, (2): 146 ~ 155.
- [12] LI L, QIN Y. A review and prospective about high resolution satellite image. *Aerial Survey of Railroad*, 2001, (1), 1 ~ 4.
- [13] Johnson L J, Roczen D E, Youkhana S K, *et al.* Mapping vineyard leaf area with multispectral satellite imagery. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2003, (38): 33 ~ 34.
- [14] Roberto Colombo, Dario Bellingeri, Dante Fasolini, *et al.* Retrieval of leaf area index in different vegetation types using high resolution satellite data. *Remote Sensing of Environment* 2003, (86): 120 ~ 131.
- [15] Prasad S, Thenkabail, Jefferson Hall, *et al.* Detecting floristic structure and pattern across topographic and moisture gradients in a mixed species Central African forest using IKONOS and Landsat-7 ETM+ images. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2003, (4): 255 ~ 270.
- [16] Trisalyn Nelson K, Olaf Niemann, Michael A. Wulder. Spatial statistical techniques for aggregating point objects extracted from high spatial resolution remotely sensed imagery. *Journal of Geographical System*, 2002, (4): 423 ~ 433.
- [17] YAN C, ZHANG J, BAO S. Deriving bamboos from IKONOS image by texture information. *Remote Sensing Information Application*, 2004, (2): 31 ~ 34.
- [18] MIAO Y. The synthesis treatment on loess plateau, synthesis treatment about Huangfuchuan river basin, balanceable development in agriculture, forest and grazing. *Agriculture Technology of China Press*, 1992, 10: 1 ~ 10.
- [19] Monica G Turner, Robert H Gardner, Robert V. O'Neill. *Landscape ecology in theory and practice, pattern and process*. Springer-Verlag, New York, 2001. 93 ~ 131.
- [20] Robert C. Frohn. *Remote sensing for landscape Ecology, new metric indicators for monitoring, modeling, and assessment of ecosystem*. Lewis Publishers, New York, 1998. 10 ~ 33.
- [21] Xu J H, Fang C L, Yue W Z. An analysis of the mosaic structure of regional landscape using GIS and remote sensing. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(2): 365 ~ 375.
- [22] JING Z P. Study on water and soil reservation and agriculture & animal husbandry development in Sandstone region. Zhengzhou: Water Conservancy of Yellow River Press, 2003(3): 146 ~ 148, 65.

参考文献:

- [1] 田连恕编著. 植被制图. 西安: 西安地图出版社, 1993. 1 ~ 3, 4 ~ 16.
- [3] 中国植被编辑委员会编制. 1:1000 万“中国植被图”. 见: 吴征镒主编. 中国植被. 北京: 科学出版社, 1980.
- [4] 吴征镒, 陈昌笃. 1:800 万“中国植被图”. 见: 中华人民共和国地图集. 北京: 地图出版社, 1957.
- [5] 中国科学院新疆综合考察队. 新疆植被及其利用. 北京: 科学出版社, 1978.
- [6] 李博, 雍世鹏, 曾四弟, 等. 生态分区的原则、方法与应用——内蒙古自治区生态分区图说明. *植物生态学与地植物学学报*, 1990, 14(1): 55 ~ 61.
- [7] 雍世鹏, 朱宗元. 大兴安岭东西两侧山地线叶菊草原分异现象的初步分析. *植物生态学与地植物学丛刊*, 1982, 6(2): 87 ~ 93.
- [8] 王义凤, 雍世鹏, 刘钟龄. 内蒙古自治区的植被地带性. *植物学报*, 1979, 21(3): 274 ~ 283.
- [9] 孙雪峰, 张振万, 雍世鹏. 内蒙古锡林郭勒草原植被结构的遥感图象分析. *植物生态学与地植物学学报*, 1990, 14 (3): 249 ~ 257.
- [10] 何妙光, 王献溥. 广西 1:2500000 植被图的编制及其说明. *植物生态学与地植物学丛刊*, 1981, 5 (4): 282 ~ 289.
- [11] 祝廷成, 张文仲. 吉林省 1:2500000 植被图及其说明. *植物生态学与地植物学丛刊*, 1984, (2): 146 ~ 155.
- [12] 李志林, 岑敏仪. 高分辨率卫星图像的回顾和展望. *铁路航测*, 2001, (1), 1 ~ 4.
- [17] 颜梅春, 张友静, 鲍艳松, 等. 基于灰度共生矩阵法的 IKONOS 影像中竹林信息提取. *遥感信息 应用技术*, 2004, (2): 31 ~ 34.
- [18] 苗宗义, 等. 黄土高原综合治理皇甫川流域水土流失综合治理农林牧全面发展试验研究文集. 北京: 中国农业科技出版社, 1992, 10: 1 ~ 10.
- [21] 徐建华, 方创琳, 岳文泽. 基于 RS 与 GIS 的区域景观镶嵌结构研究. *生态学报*, 2003, 23(2): 365 ~ 375.
- [22] 金争平, 等. 砒砂岩区水土保持与农牧业发展研究. 郑州: 黄河水利出版社, 2003(3): 146 ~ 148, 65.