

文章编号: 1007-4619 (2003) 03-0214-07

SPOT4-VEGETATION 中国西北地区 土地覆盖制图与验证

卢玲¹, 李新², 董庆罕³, Else Swinnen³, Frank Veroustraete³, 王建华², 王一谋²

(1. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所冻土工程国家重点实验室, 兰州 730000;

2. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000; 3. 比利时 VITO 研究所)

摘要: 利用 SPOT4-VEGETATION 的遥感数据产品生成的 $NDVI$ 与 $NDWI$ 植被指数时间序列图像集, 通过 ISODATA 非监督分类方法, 编制中国西北地区土地覆盖图。以 TM 影像人工解译结果作为真实值, 通过对西北五省共计 47 个均匀分布且异质性强的 $25\text{km} \times 25\text{km}$ 样本区内的土地覆盖类型及其面积进行统计分析, 修正了 SPOT4-VEGETATION 的土地覆盖分类系统, 建立了各省验证结果的样本统计直方图并计算其回归系数。结果表明 SPOT4-VEGETATION 中国西北地区土地覆盖图在总体上具有较高的准确性。影响遥感数据自动分类精度, 造成土地覆盖误判的原因主要来源于两个方面: 即异物同谱和混合像元问题。对于前者通过叠加各种辅助数据如 DEM 等可以降低误判的机率; 对于后者运用混合像元分解的各种算法可以提高分类精度。

关键词: 土地覆盖制图; SPOT4-VEGETATION 数据集; ISODATA 分类方法; 遥感分类验证; 中国西北地区

中图分类号: TP302.4/TP79 文献标识码: A

1 引言

土地覆盖是研究各种生物圈过程模型和陆地生态系统动态变化的最基本变量之一。因此全球和区域尺度上的土地覆盖制图精度将首先影响这些过程模型的计算结果。传统的土地覆盖编图方法显然早已不能满足这种大范围、实时更新和数字化的制图需要。近几十年来, 随着各种遥感技术对地观测资料的积累, 充分利用这些遥感数据编制不同时空尺度上的高精度土地覆盖图已成为可能^[1]。因为遥感数据覆盖范围广, 重复周期高, 它对地物进行多光谱、多时相和多角度的观测, 并由此建立了一系列多波段组合指数, 如 $NDVI$ (归一化植被指数) 和 PVI (土壤植被指数) 等, 为我们的土地覆盖制图提供了极为丰富的信息和分类依据。Townshend 等曾系统的评述了利用 $NDVI$ 编制全球土地覆盖图的技术与方法^[1,2], 指出将时间序列与空间光谱信息结合起来, 将有可能提高对土地覆盖进行大尺度制图的精度。在 SPOT4-VEGETATION 传感器发射之前, 全球 1km 至 8km 分辨率的 NOAA/AVHRR 数据及其多时

相 $NDVI$ 数据集是编制和研究洲际和区域尺度上的土地覆盖及其变化的主要资料^[3-8]。自 1998 年 3 月由 SPOT4 搭载升空的 VEGETATION 传感器接收数据以来, 它提供的较 NOAA/AVHRR 更高质量的 1km 分辨率图像产品, 受到各方面用户和遥感研究者的积极关注与使用。2000 年 4 月在意大利召开的 VEGETATION-2000 的国际会议上, 发表了不少利用 SPOT4-VEGETATION 数据产品获得的研究成果及论文^[9]。如陈镜明和 Josef Cihlar^[10] 利用 SPOT-VEGETATION 的 1km 10 天最大化 $NDVI$ 合成数据集输出加拿大 1998 年土地覆盖图及反演北方生态系统各种生物物理参数如 LAI (叶面积指数)、 NPP (净初级生产力) 等, 对该数据产品给予了很高的评价。

使用 1km 空间分辨率的遥感数据 (如 SPOT-VEGETATION 和 NOAA-AVHRR) 来编制区域尺度上的土地覆盖图, 数据的优势来自于时间序列上的高分辨率, 特别是其 $NDVI$ 合成数据能很好地反映地表植被的季候特征与变化。它的缺点就是 1km 的像元空间分辨率必然带来土地覆盖分类上的误判, 也就是混合像元的问题。一般有两种情况难以判别与归类^[11,12]: 一是亚像元尺度上的面积小的覆盖类

收稿日期: 2002-04-26; 修订日期: 2002-08-20

基金项目: 本研究得到中科院寒区旱区环境与工程研究所知识创新工程项目 (CACX210101, CACX210018) 和中科院西部项目 (KZCX1-10-06) 的资助。

作者简介: 卢玲 (1970—), 女, 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所博士生, 主要从事生态遥感与地理信息系统方面的研究, 已发表论文 10 篇。E-mail: luling@iss.zib.ac.cn

型难以区分,如干旱地区的小面积沼泽地;二是带有显著混合光谱信息的边缘像元难以归并,如位于两种不同地表覆盖类型过渡带的区域。目前常用的验证与评估区域土地覆盖分类制图精度的方法主要有三种:野外实地验证,高分辨率遥感图像验证以及两者验证方法的结合。大范围的野外实地验证显然耗资巨大,特别是在地形复杂自然条件恶劣的中国西北地区,实地验证更加难以组织。因此,采用高分辨率遥感图像如 10m 和 20m 分辨率的 SPOT, 30m 分辨率的 Landsat TM/ETM 以及新发射的 Terra 卫星上搭载的 ASTER 数据等,对 1km 分辨率土地覆盖分类制图进行亚像元尺度上的验证更加可行。因为高空间分辨率遥感数据包含了对地表覆盖高分辨率的空间结构和异质性信息,使得我们可以在亚像元尺度上对 1km 像元进行混合像元分解以获取每个像元中混合类型的组合及其面积百分比,从而验证并提高 1km 像元上的土地覆盖分类精度^[13, 14]。长时间的 Landsat 科学研究及其应用早已表明高空间分辨率遥感数据与高时间分辨率遥感数据的结合是提高区域土地覆盖制图精度的最佳方法^[3]。

本文介绍了编制 SPOT4-VEGETATION 中国西北土地覆盖图的技术方法,论述了利用高分辨率 Landsat TM 解译的 1:10 万的土地利用图来验证该土地覆盖图的过程及结果。该工作是在我国科技部与比利时弗来芒区科技合作项目“利用植被辐射传输模型从 SPOT/VEGETATION 资料中反演生物地球物理参数”的支持下进行的。验证结果将是我们下一步工作中反演叶面积指数(LAI)、光合作用有效能(Fpar)、反照率(Albedo)、光谱反射比(Spectra-reflectance)、双向反射率分布函数(BRDF)等关键的陆地表面生物物理参数的基础。

2 数据与方法

2.1 SPOT4-VEGETATION 传感器及其数据产品

VEGETATION 传感器于 1998 年 3 月由 SPOT-4 搭载升空。它拥有十分完善和高效的图像地面处理机构体系。VEGETATION 数据主要由瑞典的 Kiruna 地面站负责接收,由位于法国 Toulouse 的图像质量监控中心负责图像质量并提供相关参数(如定标系数),最终由位于比利时的 VITO 研究所的图像处理与存档中心负责全球 VEGETATION 数据存档与用户定单。VEGETATION 传感器的主要特性参数(表 1)。

是为有利于全球尺度的植被监测而优化设计的。尽管 VEGETATION 传感器与 AVHRR 有不少相似之处,但前者有三个基本特征比后者设计更优化:首先,VEGETATION 传感器使用的是推帚式扫描仪系统,在信噪比上优于 AVHRR 上使用的光机扫描仪;其次是它的四个光谱通道设计十分理想:蓝光通道有利于大气纠正,红光通道是叶绿素的吸收峰,近红外通道反映植被光谱的反射率最大值,特别是它的短波红外波段通道十分有利于对植被水分含量及其结构的研究;第三,分工协作的地面处理机构体系能够对 VEGETATION 图像进行每天实时的获取、处理和存档,为全球用户提供经过高精度的几何纠正与辐射纠正、多时空分辨率的数据产品。

VEGETATION 数据产品依据全球的现有科研计划和用户潜在需求分为两大类^[15]:

表 1 SPOT4-VEGETATION 传感器特性参数
Table 1 SPOT4-VEGETATION instrument characteristics

视场角	101°
地面刈幅宽度	2250km
轨道高度	830km
轨道倾角	98.72°
瞬时视场	星下点为 1.15km 偏离星下点 50°为 1.3km
绝对位置像元分辨率	1350m
像元几何重叠	< 0.5km
蓝光通道	0.43—0.47 μ m
红光通道	0.61—0.68 μ m
近红外通道	0.78—0.89 μ m
短波红外通道	1.58—1.75 μ m
绝对定标	< 5%

VGT-P(prototype) 数据产品主要为科研人员提供高质量的物理量原型数据以便于他们研建算法和应用模型。数据经过严格的系统误差订正并重采样为经纬网投影,像元分辨率 1km,像元亮度值是地物在大气顶层的反射率。除提供四个波段原始数据外,还根据用户需要提供相关辅助参数,如大气状况、系统信息(太阳的天底角、方位角,视场角和接收时间)和地形数据等。

VGT-S(synthesis) 产品提供经过大气纠正的地表反射率数据,并运用多波段合成技术来获得 1km 分辨率的归一化植被指数(NDVI)数据集。VGI-S 产品包括每天合成的四个波段的光谱反射率及 NDVI 数

据集(S1),每10天合成的四个波段的光谱反射率及10天最大化NDVI数据集(S10)以减少云及BRDF的影响,同时S10还被重采样成4km分辨率(S10.4)和8km分辨率(S10.8)数据集。VGT-S产品以其高时间分辨率而被广泛使用。

2.2 SPOT4-VEGETATION 中国西北地区土地覆盖制图

SPOT4-VEGETATION 中国西北土地覆盖制图基于1km分辨率的VGT-S10数据产品。制图范围为东经 73° — 112° ,北纬 31° — 49° 之间,涵盖中国西北五省区(新疆,青海,甘肃,宁夏和陕西),总面积约3,100,000km²。比利时VITO研究所的Else Swinnen和董庆罕博士完成了图像的几何纠正以及对本区域土地覆盖分类系统的确立。分类方法主要采用了以下两种遥感技术手段:

2.2.1 归一化植被指数NDVI与归一化植被液态水含量指数NDWI

归一化植被指数NDVI定义为, $NDVI = (R_n - R_r) / (R_n + R_r)$,其中, R_n 为近红外通道反射率, R_r 为红光区通道反射率。许多研究结果表明NDVI能够很好地反映植被的生长状况,因而被广泛运用到土地覆盖分类/动态监测的制图,但存在当叶面积指数超过1时NDVI易饱和的问题。

归一化植被液态水含量指数NDWI(Normalized Difference Water Index)^[16]定义为, $NDWI = (R_n - R_s) / (R_n + R_s)$,其中, R_n 为近红外通道反射率, R_s 为短波红外通道反射率。由于短波红外波段区(1.580—1.750 μ m)正好位于大气水汽吸收窗口,因而该指数对植被细胞内的液态水含量变化十分敏感,而且NDWI还能克服NDVI易饱和问题以及具有几乎不受汽溶胶影响的优点。

由于将NDVI和NDWI两个植被指数相结合,能显著提高遥感自动分类对同一区域绿色植被,干枯植被与土壤的辨别能力,我们使用1999年3月至10月(植被生长季)的VGT-S10数据集及其短波红外通道反射率数据集,按月分别合成了中国西北地区8幅NDVI和8幅NDWI的时间序列图像。这16幅图像明显地反映出不同植被类型不但具有不同的光谱响应特征更有十分不一致的生长季相特征,因而为本区域的遥感土地覆盖分类提供了更多依据。

2.2.2 ISODATA非监督分类方法

ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis

Technique)称为“迭代自组织数据分析技术”,是一种标准的遥感非监督分类算法,目前许多遥感图像处理软件如ENVI等都带有该模块。该算法首先要求输入一系列有关的迭代限值参数,再经过聚类、集群的分裂和集群的合并等处理过程,最终输出一组最理想的分类结果。

我们采用该方法在ENVI软件平台下对上述16幅图像进行遥感图像的自动分类,将本区域的土地覆盖聚类为51种类型。然后再参照本区域的1:100万地形图和1:400万土地覆盖图等辅助数据,将51类归并为32类,确定了中国西北土地覆盖分类系统,并在ENVI软件下编制了SPOT4-VEGETATION中国西北地区土地覆盖图。该图选择的地图投影为地理坐标投影(geographical projection),像元空间分辨率为 0.008929° ,相当于1km。由于粗分辨率像元导致的混合像元问题,使得该图的土地覆盖分类系统中出现大量的混合类型。

2.3 验证方法及数据处理

为验证SPOT4-VEGETATION中国西北土地覆盖图的解译精度,提高该图土地覆盖分类系统的准确性,我们使用30m分辨率的Landsat TM影像数据的解译信息进行验证。验证数据来源于中国西北地区1:10万土地利用图,该图由2000年夏季的Landsat TM影像数据人工解译而来,经过严格的图像几何配准使制图精度控制在0.5—1个像元内,地图投影选择Albers等积圆锥投影。该图是由对本区域具有丰富的实地考察经历并有长期遥感判读经验的专家完成。根据实地验证,并结合同一工作的前期成果,可以认定该图的判读结果能够反映该区域的土地覆盖真实状况,这一假设是我们验证的前提。

具体方法是:(1)从中国西北地区1:10万土地利用图中挑选了12个样本县,其中新疆、青海和宁夏各2个县,甘肃和陕西各3个县。挑选原则是样本县面积较大、尽可能均匀分布并具有区域异质性以涵盖所有的土地覆盖类型。(2)将这12个样本县的1:10土地利用图转为地理坐标投影后叠加在SPOT4-VEGETATION中国西北土地覆盖图上。(3)通过样本区内SPOT4-VEGETATION图像与TM图像间的目视比较,我们首先修正了SPOT4-VEGETATION中国西北土地覆盖分类系统,使总的类型从原来的32类合并为23类,并增加了一种新类型——裸岩。修正后的土地覆盖分类系统(表2)与TM的1:10万土地利用图的分类系统具有可比性。

图 1(图版 I)是利用修正的土地覆盖分类系统重新编制的 SPOT4-VEGETATION 中国西北土地覆盖图。(4)在 ENVI 软件下随机选取不重叠的多个 25km×25km 样本,统计图版 I 图 1 中每个样本区间内所有的土地覆盖类型及其所占的面积和面积百分比。其中,新疆为 11 个样本,青海为 12 个样本,宁夏为 6 个样本,甘肃为 10 个样本,陕西为 8 个样本,样本总面积近 3 万平方公里。(5)将这 47 个样本的边界作为一个图层,在 ARC/INFO 下切割 1:10 万土地利用图,统计每个样本中存在的土地利用类型及其所占的面积和面积百分比。(6)以 1:10 万土地利用样本中的地表类型面积百分比为真实值,以修正的 SPOT4-VEGETATION 分类结果为估计值,建立直方图直观地比较两者各种类型的分类准确性,分别以估计值和真实值为自变量和应变量,建立回归方程,比较两者的差异。

表 2 修正的 SPOT4-VEGETATION 中国西北土地覆盖分类系统

Table 2 Modified landcover classification system for SPOT4-VEGETATION

编码	土地覆盖类型
0	永久冰川/水体
1	季节冰川/积雪
2	寒漠
3	裸岩
4	盐碱地
5	裸土
6	戈壁
7	沙丘/混合的沙地
8	稻田
9	灌耕地
10	旱耕地
11	旱耕地/人工草地
12	低郁蔽度草地
13	中等郁蔽度草地
14	中等郁蔽度草地/耕地
15	高郁蔽度草地
16	高寒草地(草甸)/灌丛
17	灌丛
18	中等郁蔽度森林/灌丛
19	中等郁蔽度森林
20	沼泽
21	河流/湖泊
22	建筑物/工业区

3 验证结果

为利于体现各省不同的土地覆盖特征,我们将属于同一个省的样本合并统计,获得以下验证结果:

图 2 是由新疆的 11 个样本区土地覆盖类型合并建立的统计直方图,可以看到估计值与真实值之间的回归系数不是很高,大约为 0.4997。误差主要来自于两个方面:一是沙丘/混合沙地类和盐碱地类面积明显高估,应该归于新类裸岩。高估的区域主要出现在塔克拉玛甘沙漠以南的大片高山地区,这里海拔高,发育着许多永久性冰川与积雪,其下一般分布为裸岩,而盐碱地或沙丘一般分布于低海拔,平坦地区。二是高郁蔽度草地和高郁蔽度森林被低估,而农田类(包括灌耕地,旱耕地以及稀疏禾本科植被)被高估。这些都很可能是由于异物同谱造成的误判。如果我们将新疆的数字高程数据叠加上去,就可以大大提高该自治区土地覆盖的分类精度。

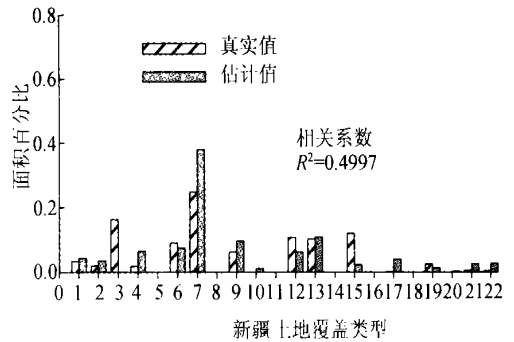


图 2 新疆样本区土地覆盖类型验证结果统计直方图

Fig. 2 Histogram of the validation result in Xinjiang

图 3 是由青海省的 12 个样本区土地覆盖类型合并建立的统计直方图,显示出 SPOT4-VEGETATION 土地覆盖图在青海省的分类结果有很高的准确性,与真实值的相关系数达到 0.9839,特别是作为

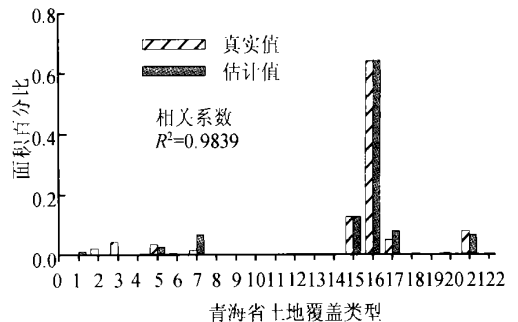


图 3 青海样本区土地覆盖类型验证结果统计直方图

Fig. 3 Histogram of the validation result in Qinghai

青海典型地表覆盖类型的草地类验证结果相当好。误判出现在冰川/积雪类,沙丘/混合沙地类以及盐碱地类面积偏高,而寒漠类与裸岩类面积偏低。误判的原因可能来自于青藏高原高山区复杂的地形对地表反射率的影响。

图 4 是由宁夏回族自治区的 6 个样本区土地覆盖类型合并建立的统计直方图,回归系数仅为 0.2646,说明样本区的 SPOT4-VEGETATION 土地分类结果与真实值有较大差别,主要是因为沙丘/混合沙地类与戈壁类被显著高估,而中等郁蔽度草地类与旱耕地被显著低估。误判的原因是由于 2000 年 TM 影像数据与 1999 年 SPOT4-VEGETATION 影像数据存在时相差别。据查证,1999 年的宁夏地区较 2000 年是一个相对干旱年,因此 1999 年地表裸露面积较 2000 年相对多,那些靠降水才能生长的自然植被与旱耕地较 2000 年相对少。而不靠降水生长的稻田/灌耕地类验证结果相当好。

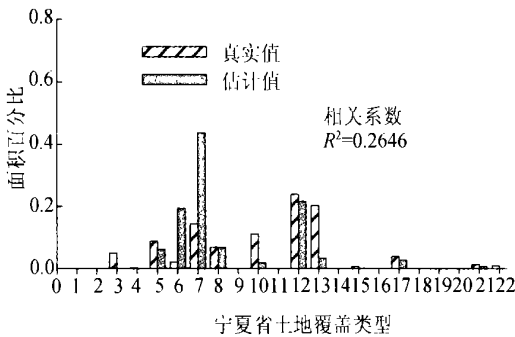


图 4 宁夏样本区土地覆盖类型验证结果统计直方图
Fig. 4 Histogram of the validation result in Ningxia

图 5 是由甘肃省的 10 个样本区土地覆盖类型合并建立的统计直方图,回归系数数值达到 0.6739,反映出分类结果较好;而且从直方图可以看出,作为甘肃东部典型土地覆盖类型的旱耕地/人工草地的混合类准确率很高。误判主要表现在对沙丘/混合沙地类明显高估,而对戈壁和裸岩类明显低估,该现象尤其是在甘肃西部广大的北阿拉善高原戈壁区表现最为显著。从图 5 还可以看到灌耕地面积被高估,高郁蔽度草地与灌丛被低估。对比 TM 影像图与 SPOT4-VEGETATION 影像,发现这是由于影像空间分辨率的不同造成的。黄土高原的灌耕地多生长在灌溉条件好的狭窄的沟谷地带,30m 分辨率的 TM 影像能够将狭窄的沟谷地形勾勒出来,但 1km 分辨率的 SPOT4-VEGETATION 影像却不能区分如此细致的地形,因而将生长在沟谷周围的草地与灌丛也归于灌耕地了。

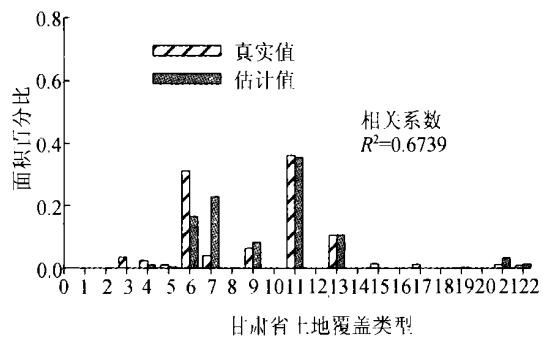


图 5 甘肃样本区土地覆盖类型验证结果统计直方图
Fig. 5 Histogram of the validation result in Gansu

图 6 是由陕西省的 8 个样本区土地覆盖类型合并建立的统计直方图,回归系数仅为 0.0972,反映出 SPOT4-VEGETATION 土地覆盖图在陕西省的土地分为精度相当低。主要原因是对中等郁蔽度森林/灌丛类显著高估,而对中等郁蔽度草地/耕地(包括灌耕地和旱耕地)显著低估,同时对水稻田高估。陕西省由于有渭河平原和秦岭且降水相对多,是较西北其它省份更为富饶的地区。由于它的土地覆盖类型以耕地、草地、森林与灌丛等植被类为主,它们在可见光谱波段易出现异物同谱的问题,这是带来误判的原因之一。另一方面由于使用不同时相的高分辨率遥感影像进行验证,也会因不同时期土地利用的改变而造成“真实值”的不正确,如由于农田轮作和森林轮伐引起的同一地区的土地覆盖在年季上的差异。

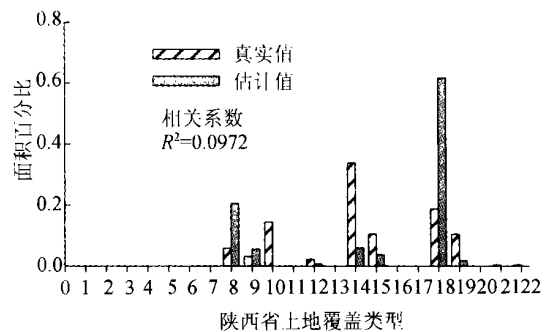


图 6 陕西样本区土地覆盖类型验证结果统计直方图
Fig. 6 Histogram of the validation result in Shanxi

4 结论与讨论

通过对西北五省 47 个样本区土地覆盖类型的验证,我们认为利用 SPOT4-VEGETATION 数据分类得到的 1km 分辨率的 SPOT4-VEGETATION 中国西北

地区土地覆盖图在总体上具有较高的准确性。由于 SPOT4-VEGETATION 有较 NOAA AVHRR 更为优化的波段设计, 使我们可以获得更高质量的光谱合成时间序列产品如 *NDVI* 和 *NDWI* 数据集等。利用这些高时间分辨率多种指数合成的数据集编制的区域土地覆盖图显然可以获得更细致的土地分类结果, 这无疑有助于提高我们在区域尺度上反演各种陆面生物物理参数的精度。

总结验证过程中发现的影响分类精度和造成土地覆盖误判的原因, 主要来源于两个方面:

(1) 异物同谱, 即不同的土地覆盖类型在可见光和近红外波段表现出相同或极为近似的光谱反射特征。这也是造成遥感自动分类的精度一直不易显著提高的主要原因。在对 SPOT4-VEGETATION 中国西北地区土地覆盖图的验证过程中, 我们发现除陕西省外的其它四省都出现了沙丘/混合沙地类面积被明显高估, 而戈壁或裸岩类被低估的现象。作为西北干旱区典型的裸露地表类型, 这三种土地覆盖在光谱反射特征上具有相似性, 因而容易混淆。降低由异物同谱带来的误判的有效方法是利用各种辅助数据, 如数字高程数据等。因此我们下一步的工作是试验将 1km 分辨率的 DEM 数据叠加在 SPOT4-VEGETATION 中国西北地区土地覆盖图上, 根据高程差异, 尤其是针对青藏高原外围地区如帕米尔高原、新疆南部山区和祁连山区, 我们应该可以将大部分未被区分的裸岩类从盐碱地或沙丘中划分出来, 从而降低由异物同谱带来的误判, 提高土地覆盖分类及制图精度。

(2) 混合像元, 即一个像元中出现了多种土地覆盖类型, 因此该像元的光谱反射值反映的是这些类型在光谱上的混合特征。对于 1km 的像元分辨率, 在 SPOT4-VEGETATION 中国西北地区土地覆盖图的分类系统中存在大量的混合地表覆盖类型是不可避免的。混合像元影响分类精度的原因在于我们很难对每一种混合类型的组分 (endmember) 及其空间结构作出准确的定量描述。已有不少遥感文献介绍了有关混合像元分解和亚像元尺度上土地覆盖制图的研究成果^[17-21], 尤其是 Jan Verhoeye 提出的基于空间自相关理论和线性优化算法的模糊分类法, 被运用在亚像元尺度土地覆盖制图上达到了 89% 的准确度^[22]。因此我们将尝试该方法, 利用与 SPOT4-VEGETATION 具有相同光谱通道的 20m 空间分辨率 SPOT-XI 图像, 在亚像元尺度上对 SPOT4-VEGETATION 像元进行混合像元分解以提取 1km×1km 像元中混合类型的线

性组合, 获取各组分 (end member) 在该像元中的面积百分比及其空间结构, 从而进一步提高 SPOT4-VEGETATION 的土地覆盖分类和制图精度。

参考文献 (References)

- [1] Shi P, Gong P, Li X, *et al.* Methods and Applications on Land-cover/Land-use Research[M]. Beijing: Science Press, 2000. [史培军, 宫鹏, 李晓兵等著. 土地利用/覆盖变化研究的方法与实践. 北京: 科学出版社, 2000.]
- [2] Townshend J R G, Justice C, Li W, Gurney C and McManus J. Global Land Cover Classification by Remote Sensing: Present Capabilities and Future Possibilities[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1991, **35**: 234-255.
- [3] Eidershink J C and Faundeen J L. The 1-km AVHRR Global Land Data Set: First Stages in Implementation[R]. <http://edcwww.cr.usgs.gov/landdaac/1KM/paper.html#proc2>, 1998.
- [4] Eidershink J C. The 1990 Continental U. S. AVHRR data set[J]. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 1992, **58**: 809-813.
- [5] Skole D. and C Tucker. Tropical Deforestation and Habitat Fragmentation in the Amazon: Satellite Data from 1978-1988[J]. *Science*, 1993, **260**: 1905-1910.
- [6] Loveland T R, J W Merchant, J F Brown, D O Ohlen, B C Reed, P Olson and J Hutchinson. Seasonal Land Cover Regions of the United States[J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 1995, **85** (2): 1453-1463.
- [7] Nemani R, S W Running, R A Pielke and T N Chase. Global Vegetation Cover Changes from Coarse Resolution Satellite Data[J]. *J. Geophys. Res.*, 1996, **101**(D3): 7157-7162.
- [8] Loveland T R and Belward A S. The IGBP-DIS Global 1km Land Cover Data Set, Discover First Results[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1997, **18**: 3289-3295.
- [9] Vegetation-2000[C]. <http://vegetation.cnes.fr/>, 2000.
- [10] Chen J M and J Cihlar. Vegetation/SPOT for Northern Applications: Assessment of Utility and Examples of Products[C]. <http://vegetation.cnes.fr/>, 2000.
- [11] Fisher P. The Pixel: A Snare and a Delusion[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1997, **18**(3): 679-685.
- [12] Cracknell A P. Synergy in Remote Sensing-What's in a Pixel[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1998, **19**(11): 2025-2047.
- [13] Kerdiles H and Grondona M O. NOAA-AVHRR NDVI Decomposition and Sub-pixel Classification Using Linear Mixing in the Argentinean Pampa[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1996, **16**(7): 1303-1325.
- [14] Schneider W. Land Use Mapping with Sub-pixel Accuracy from LANDSAT-TM Image Data[C]. Proceedings of 25th International Symposium. *Remote Sensing and Global Environmental Change*, Graz, Austria, 4-8 April 1993.
- [15] VEGETATION Users Guide[R]. <http://www.spotimage.fr/data/images/vege/VEGETAT/look1/e.frame.htm>, 1999.
- [16] Gao B. NDWI-A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water from Space[J]. *Remote Sensing of En-*

- vironment*, 1996, **58**: 257—266.
- [17] Kanellopoulos I, Varfis A, Wilkinson G G and Megier J. Landcover Discrimination in SPOT HRV Imagery using an Artificial Neural Network: a 20 Class Experiment [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1992, **13**(5): 917—924.
- [18] Kerdiles H and Grondona, M. O. NOAA-AVHRR NDVI Decomposition and Sub-pixel Classification Using Linear Mixing in the Argentinean Pampas [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1996, **16**(7): 1303—1325.
- [19] Foody G. M and Cox D P. Sub-Pixel Land Cover Composition Estimation Using a Linear Mixture Model and Fuzzy Membership Functions [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1994, **15**(3): 619—631.
- [20] Foody G M. Sharpening Fuzzy Classification Output to Refine the Representation of Sub-pixel Land Cover Distribution [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1998, **19**(13): 2593—2599.
- [21] Gross H N. and Schott J R. Application of Spectral Mixture Analysis and Image Fusion Techniques for Image Sharpening [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1998, **63**: 85—94.
- [22] Jan Verhoeve and Robert Dewulf. Land Cover Mapping at Sub-pixel Scales Using Linear Optimization Techniques [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, **79**: 96—104.

The Mapping and Validation of Land Cover in Northwest China from SPOT4-VEGETATION

LU Ling¹, LI Xin², DONG Qing-han³, Else Swinnen³, Frank Veroustraete³, WANG Jian-hua², WANG Yi-mou²

(1. State Key Laboratory of Frozen Soil Engineering, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;

2. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;

3. VITO Institute, Belgium)

Abstract: This paper introduces the methods of compiling the land-cover map of Northwest China (with an area of approximately 3, 100, 000 km²) using SPOT4-VEGETATION data sets and the validation techniques using high spatial resolution TM images. Based on the spectral reflectance, *NDVI* (Normalized difference Vegetation Index) and *NDWI* (Normalized Difference Water Index) time series data sets from SPOT4-VEGETATION, the land-cover map of Northwest China is compiled by applying the ISODATA unsupervised classification method. In order to evaluate this land-cover map's accuracy, 47 sampling units are selected from the whole mapping region. Each sample has a 25km×25km unit and evenness distribution as well as high heterogeneity. With the assumption of the TM interpretation in the 47 sampling units as the true land cover condition, we calculated every land cover type and its area percentage existing in every sampling unit in the SPOT4-VEGETATION map and the TM interpreted map, respectively. According to the statistical results, the land-cover classification system of the SPOT4-VEGETATION is modified, the sampling statistical histogram of the validation results in every province is established and the regression coefficient value is also calculated respectively. The validation results show that the land cover mapping of Northwest China using SPOT4-VEGETATION data sets and the ISODATA method can get an improving accuracy attributing to the high quality of SPOT4-VEGETATION data products and the effective method of spectral index combination of *NDVI* and *NDWI*. The reasons that reduce or impact the landcover classification accuracy mainly derive from two aspects; one is attributed to different landcover classes with same spectral characteristics, and the other is due to the mixed pixel problem. TO the former, adding some auxiliary information data such as DEM can reduce the possibility of misjudgment; to the later, the methods of mixed pixel decomposition and sub-pixel mapping may be good ways to increase the land cover classification and mapping accuracy.

Key words: land cover mapping; SPOT4-VEGETATION data set; ISODATA method; validation on remote sensing classification; Northwest China

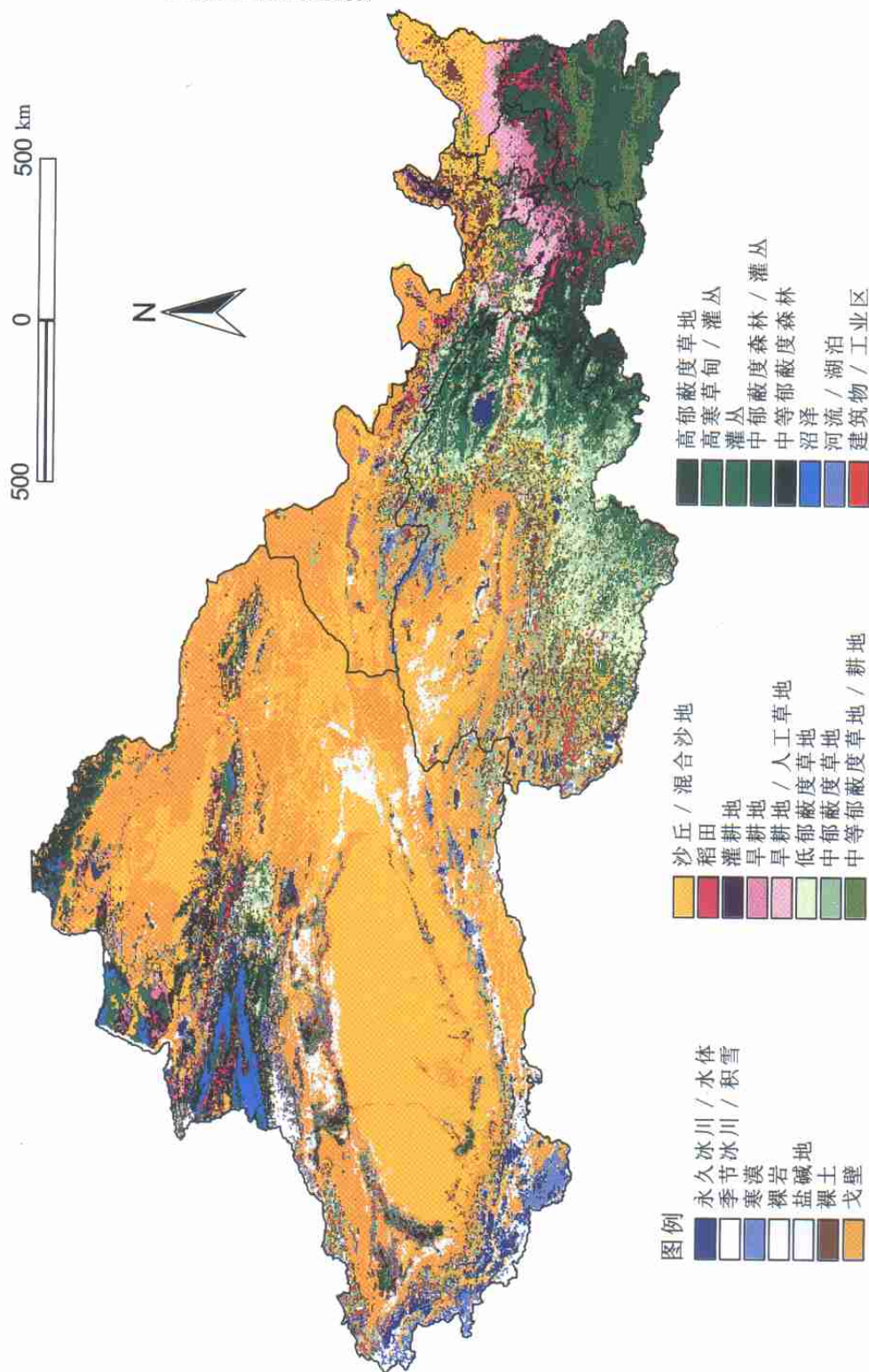


图 1 修正的 SPOT4-VEGETATION 中国西北土地覆盖图