

中国区域多源土地覆被遥感产品类别精度探索性分析

宋宏利, 张晓楠

(河北工程大学, 河北 邯郸 056038)

摘要:分析了 GLOBCOVER, MODIS COLLECTION5, GLCNMO 和 GLC2000 四种数据在中国区域的类别精度、空间一致性及类别均质性空间分布特征, 结果表明: 四种全球土地覆被遥感数据与参考数据存在一定的混淆现象, 混淆主要发生于林地、草地、灌木和耕地之间, 其中灌木与其他地类的混淆程度最为严重; 四种数据完全空间一致性区域主要位于以林地、耕地、草地为主的光谱特征较为显著区域, 其总面积约占研究区域总面积的 39.03%; 较为一致区域主要分布于完全一致区域周围, 该区域的面积约占研究区总面积的 40.67%, 该区域主要地表类型为草地和裸地以及耕地为主; 不一致区域的面积约占研究区总面积的 18.56%, 该区域地表类型较为复杂, 地表景观呈现明显的破碎现象, 耕地、林地、灌木、草地交错分布; 完全不一致区域约占研究区总面积的 1.74%, 并且集中分布于胡焕庸地理分界线两侧, 成典型的带状分布特征; 四种土地覆被遥感数据的空间均质性谱图整体上趋于一致, 主要分布于中国的华北平原、西北沙漠地区和东南地区。图谱表明, 各地表土地覆被类别在中国西南地区的均质性区域几乎消失, 这主要是因为该区域地表景观过于复杂, 表现出强烈的景观异质性。本文为用户合理利用这些数据提供科学合理的依据, 为多源土地覆被数据融合提供了必要的先验知识。

关键词:土地覆被遥感产品; 误差矩阵; 空间一致性; 空间均质性

中图分类号: S127

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2015)06-0036-06

Exploratory Analysis of Category Accuracy for Multi-Sources Land Cover Products

SONG Hongli, ZHANG Xiaonan

(College of Resources, Hebei University of Engineering, Handan, Hebei 056038, China)

Abstract: We evaluated the category accuracy and confusion characteristic of four kinds of land cover products on national scales, then constructed the spatial agreement and spatial homogeneity map and their quantitative relationships with category accuracy. The results showed that validated products and reference data had some categorical confusion which mainly occurred in forest, grass, shrub and cropland, especially between shrub and other categories, so shrub had the worst category precision; the large homogenous regions of the forest, cropland, grass and bare land showed almost complete agreement, and this areas almost took up 39.03 percent of the whole study area, Areas of high agreement were often adjacent to areas of full agreement and they occupied about 40.67 percent, grassland, bare land and cropland were the dominant land cover categories there; areas of low agreement showed the banded distribution characteristics, which was mainly located in the center of southeast, northwest of Tibet alpine zone and the district of northwest and northeast boundaries, areas of no agreement was mainly located around the Hu Huanyong geographical boundaries, occupied about 1.74 percent of the whole study area; spatial homogeneous maps of four land cover products showed the overall consistency, these regions were mainly located in North China Plain, northwest desert area and southeast area. The map demonstrated that the homogeneous of all categories almost vanished in China's southwest region because of the complexity of these regions and the strong landscape heterogeneity.

Keywords: land cover product; error matrix; spatial consistency; spatial homogeneous

多源土地覆被遥感数据的探索性分析可以深入挖掘每种数据在国家、区域、类别尺度的优点及缺点, 是多

源数据融合的第一步^[1]。当前, 国内外学者对全球及区域土地覆被数据间的比较及验证做了大量工作, 并得出

收稿日期: 2015-01-04

修回日期: 2015-01-21

资助项目: 河北省自然科学基金“大尺度多源遥感信息融合土地覆被制图研究”(D2013402014); 矿山空间信息技术国家测绘地理信息局重点实验室基金“大尺度多源土地覆被遥感产品融合研究”; 邯郸市科学技术研究与发展计划项目(1321103076-4)

第一作者: 宋宏利(1980—), 男, 河北抚宁人, 博士, 副教授, 主要从事多源数据融合及时空建模方向研究。E-mail: songholi2003@163.com

通信作者: 张晓楠(1981—), 女, 河北滦州人, 硕士, 讲师, 主要从事国土资源遥感研究。E-mail: 360217051@qq.com

了许多有价值的结论,但多数研究都是针对早期的 1 km 空间分辨率遥感数据^[2-10]。近年来,随着遥感科学技术的发展,一系列高分辨率的全球尺度土地覆被数据相继问世,这些数据较早期的数据相比,无论在数据源的空间分辨率、信息分类算法、数据验证手段等方面均有了较大提高,因此深入了解与分析这些数据在专题及空间的一致性 & 均质性是当前重要的研究内容。迄今为止,尚未发现有文献记载关于 GLOBCOVER,MODIS COLLECTION5 及 GLCNMO 等最新的高分辨率土地覆被遥感数据在中国区域的比较 & 精度验证研究。为此,本文旨在深入分析 GLOBCOVER,MODIS COLLECTION5, GLCNMO 和 GLC2 000 四种数据在中国区域的类别精度、空间一致性 & 类别均质性空间分布特征,对这些数据精度的定量评价不仅是未来促进土地覆被制图质量提高的前提,而且有助于陆面过程模型及其他应用,最终为用户合理利用这些数据提供科学合理的依据,为多源土地覆被数据融合提供必要的先验知识。

1 研究数据与研究方法

1.1 研究数据

研究所需的 GLOBCOVER,MODIS COLLECTION5, GLCNMO 和 GLC2000 四种全球尺度土地覆被遥感数据均从互联网下载^[11-14]。尽管 GLC2000

和 GLCNMO 分别表示 2000 年和 2003 年的陆表土地覆被分布特征,与 GLOBCOVER 及 MODIS 所代表的 2005 年并不相同,分别有 5 a 和 2 a 的时间差异,但 Martin^[15]等通过对比分析 MODIS2000 和 MODIS2005 两个时间基点的土地覆被类别面积得出,对于全球尺度土地覆被遥感数据而言,由于较小时间尺度差异所导致的土地覆被类别变化比例较小,不影响数据间的比较 & 精度验证,因此本文忽略了数据间的时间尺度差异。

为了定量评价四种全球尺度土地覆被遥感数据的绝对类别精度,本文以中国 2000 年土地利用遥感数据(CHINA2000)作为参考,从国家尺度对上述四种数据的分类精度进行验证。CHINA2000 数据以 30 m 空间分辨率的 Landsat TM/ETM 影像为原始数据源,通过人机交互式图像解译方法生成,该数据经过了野外实地考察验证,其准确度达到了 95%^[16-17],完全可以作为参考数据完成对粗分辨遥感数据的验证。

本文所用数据为中国科学院西北环境与生态科学中心采用最大面积比法对原始数据聚合后获得的 1 km 分辨率数据,在此感谢国家自然科学基金委西部环境与生态科学数据中心(<http://westdc.westgis.ac.cn>)提供参考数据。表 1 列出了上述土地覆被遥感数据的详细参数。

表 1 研究数据参数

数据名称	分辨率	分类方法	传感器	分类体系
GLOBCOVER	300 m(1/360°)	神经网络分类	MERIS	LCCS(22)
MODIS	500 m(1/240°)	决策树分类	Terra	IGBP(17)
GLCNMO	1000 m(1/112°)	监督分类	Terra	LCCS(20)
GLC2000	1000 m(1/112°)	监督分类	SPOT	LCCS(24)

1.2 数据预处理

1.2.1 空间数据框架归一化 本文所研究数据的空间参考信息并不相同,其中 GLOBCOVER 采用 Plate-Carrée 坐标系统,MODIS 采用 Intergrid Sinusoidal Grid 坐标系统,GLC2000 和 GLCNMO 数据则采用 Lat-Lon 坐标系统。为了实现多源数据间的空间叠加,在研究中统一使用它们,综合考虑众多数据的空间参考信息、研究结果与其他相关资料的可比性以及研究结果的共享等因素,最终采用 WGS84 基准面和阿尔伯特等积投影坐标系统作为所有数据的空间框架。

1.2.2 空间分辨率归一化 GLOBCOVER 的空间分辨率为 300 m,MODIS 的空间分辨率为 500 m, GLCNMO 和 GLC2000 的空间分辨率均为 1 000 m。鉴于 GLCNMO 和 GLC2000 均为 1 000 分辨率数据,同时在深入分析已有研究成果的基础上,本文选择

1 000 m 作为基准空间分辨率,采用最优聚合算法将 GLOBCOVER 和 MODIS 两种数据从其原始空间分辨率升尺度转换为基准空间分辨率。在最优聚合过程中,采用 Tchuente^[3]提出的算法,在 IDL 中分别采用 3×3 窗口和 2×2 窗口作为初始搜索窗口,将 GLOBCOVER 和 MODIS 数据重采样到 1/120°,在重采样过程中选择 60% 作为最优聚合阈值,将聚合窗口内占 60% 及以上的地类作为该像元的代表地类,如果在初始搜索窗口内未发现优势地类,则扩大搜索窗口范围,直至该窗口内出现优势地类,最后采用最邻近像元法将数据进行二次重采样,使其最终分辨率为 1/112°。

1.2.3 分类体系归一化 近年来,国际社会在多源数据分类体系的归一化方面做了大量工作,最终认为 LCCS 分类体系可以作为未来土地覆被分类的参考及转换标准,该体系严格说是一种分类器,提供了一种通用的转换语言,可以实现现有分类体系间的转

换^[18]。尽管当前的全球尺度遥感数据的重点都是识别陆表植被类型,但在具体的分类上仍存在较大的差异。例如,GLOBCOVER 将耕地分为洪水灌溉地、沟渠灌溉地和雨水灌溉地 3 种;而 MODIS 仅仅有耕地一个大类,没有进行细分;GLOBCOVER, GLC 2000 和 GLCNMO 虽然都采用 LCCS 分类体系,但仍有些

类别无法直接比较,例如,GLOBCOVER 中存在过多的混合类型,这阻碍了该数据与其他数据的互操作。笔者采用 LCCS 分类描述语言在 8 个分类器基础上将四种数据的土地覆被类别聚合为 8 个大类(表 2),在聚合过程中,严格采用 LCCS 的类别标准和通用的分类阈值。

表 2 归一化的土地覆被分类体系

类别	GLOBCOVER	MODIS	GLC2000	GLCNMO	LCCS 转换描述
1 林地	70,40,90,50,60, 120,110,100,30	1,2,3,4 ,5,8,9	1,2,3,4, 5,6,9,10	1,2,3, 4,5,6	A12—A3, A20, B2, XX, D1, E1 and A12—A3, A10, B2, XX, D1, E1 and A24—A3, A20, B2, XX, D1, E1; A12—A3, A20, B2, XX, D2, E2 and A12—A3, A10, B2, XX, D2, E2; A12—A3, A20, B2, XX, D2, E2 and A12—A3, A10, B2, XX, D2, E2; A12—A3, A20, B2, XX, D1, E2 and A12—A3, A10, B2, XX, D1, E2; A12—A3, A20, B2 and A24—A3, A20, B2
2 灌木	130	6,7	11,12	7	A12—A4, A20, B3
3 草地	140	10	13	8,9	A12—A2, A20, B4
4 耕地	11,14,20	12,14	16,17,18	11,12,13	A11 and A23
5 水域	180,170,160,210	11,17	7,8,15,20	14,15,20	B27—A1 and B28—A1
6 建设用地	190	13	22	18	B15
7 永久冰雪	220	15	21	19	B27—A2, B27—A3, B28—A2, B28—A3
8 裸地	200,150	16	14,19	10,16,17	B16 and A12—A1 A14, A12—A2 A14

1.3 研究方法

1.3.1 误差矩阵分析 研究采用逐像元对比法建立了中国 2000 年土地利用数据和 MODIS, GLOBCOVER, GLC2000 和 GLCNMO 四种数据之间的混淆矩阵,用以评价四种全球尺度土地覆被数据在中国区域的总体和类别精度,并采用 Congalton 和 Green 提出的分类精度检验算法评价了中国多个地理区域多源土地覆被遥感数据间的分类精度优势的显著性^[19]。

1.3.2 多源土地覆被遥感数据空间一致性分析 为了获得多源土地覆被遥感数据类别分布在空间上的一致性分布特征,计算像元尺度四种数据类别的一致性程度,笔者在 ARCGIS 软件中将四种研究数据进行空间叠加,叠加的结果分为 4 个等级,分别为:(1) 完全不一致,四种数据在对应像元呈现出 4 种完全不同的土地覆被类别;(2) 不一致,四种数据在对应像元呈现出 3 种不同的土地覆被类别;(3) 基本一致,四种数据在对应像元呈现出 2 种土地覆被类别;(4) 完全一致,四种数据在对应的像元的土地覆被类别完全相同。

1.3.3 土地覆被类别的均质性分析 国外学者的研究表明景观分布的异质性是影响区域及局部尺度遥感数据土地覆被类别分类精度的关键因子,为了比较 GLOBCOVER, MODIS, GLC2000 以及 GLCNMO 4 种数据均质性面积的差别,本文采用一个 3×3 的像

元空间作为计算窗口,当该窗口内与窗口中心像元不同的像元数目为 8 时,认为该窗口是异质性的;如果该窗口内所有像元值都和窗口中心像元相同,则认为该窗口为均质的。在 IDL 环境中不断滑动该窗口,直至整个区域计算完毕。

2 结果与分析

2.1 多源土地覆被遥感产品与参考数据误差矩阵分析

图 1 表明 GLOBCOVER, MODIS, GLC2000 和 GLCNMO 四种数据类别间的混淆表现出相近的特征,说明四种数据在中国区域具有相似的分类精度,总体精度分别为 47.22%, 56.37%, 54.56% 和 47.10%, 最大差值为 9.27%, 其中 MODIS 和 GLC2000 具有较高的总体精度, GLOBCOVER 和 GLCNMO 的总体精度相对较差。四种全球土地覆被遥感数据与 2000 年中国土地利用数据间的类别混淆主要发生于林地、草地、灌木和耕地之间,这主要因为这四种土地覆被类型具有相似的生命形态特征,导致光谱特征上存在一定的相似性。林地、耕地和裸地在国家尺度均具有较高的分类精度,其生产者精度均达到了 80% 左右;对于灌木,四种数据灌木的分类精度都相对较低,其生产者精度仅为 15% 左右,其中大部分灌木被错误分类为林地、耕地和草地,这说明粗分辨率传感器识别灌木的精度较

低,其准确识别灌木光谱特征能力有待加强;GLC2000 草地的分类精度最高,其生产者精度为 40.75%,GLCNMO 该类别的分类精度最低,仅为 14.79%;四种数据耕地的分类精度相差较小,分别为 64.74%,71.44%,62.96%和 61.76%,这说明四种数据在识

别大面积分布,且物候特征明显的地表土地覆被类型时具有较高的精度;对于建设用地、冰雪和湿地等地表类型,GLC2000 建设用地的分类精度最低,仅为 2.04%,其他三种数据的分类精度较为接近;GLCNMO 冰雪的分类精度最低,仅为 21.85%。

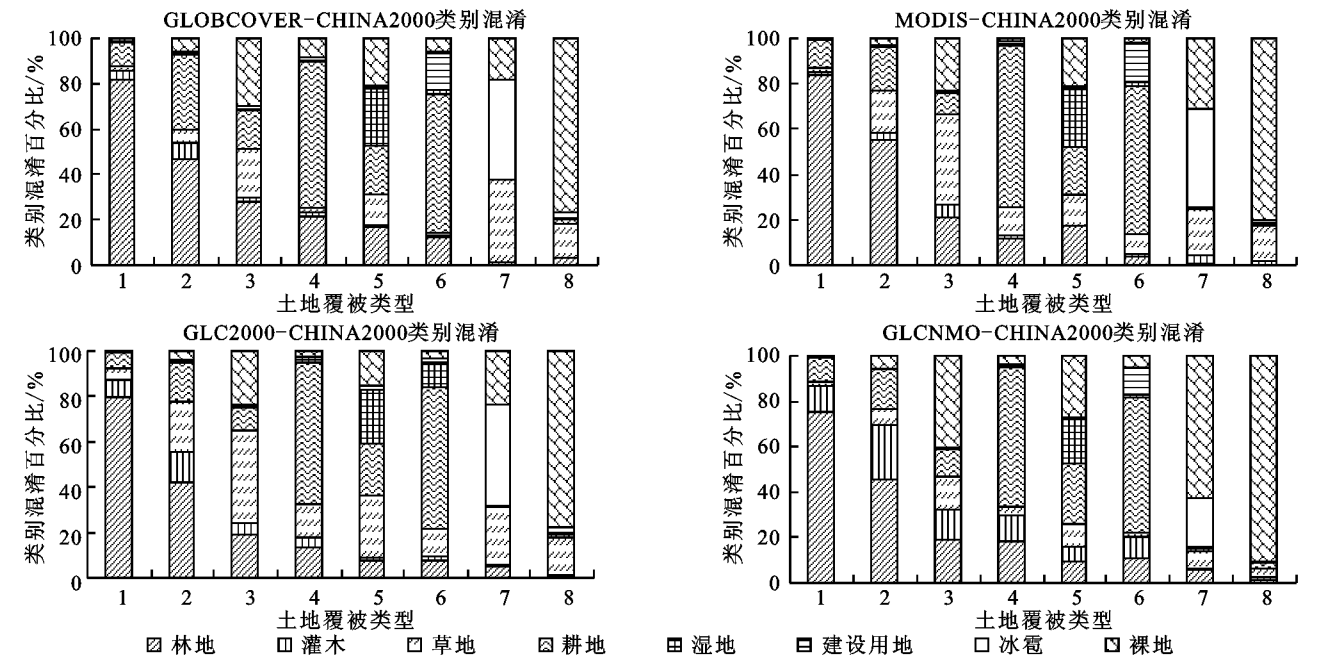


图 1 国家尺度多源土地覆被遥感数据类别混淆

图 2 揭示了在 95%置信水平下计算的 GLOBCOVER,MODIS,GLC2000 和 GLCNMO 四种土地覆被遥感数据在国家及区域尺度的差异显著性检验。结果表明,在国家尺度,GLOBCOVER—GLC2000,GLC2000—GLCNMO 及 GLOBCOVER—GLC2000 之间的统计量值均大于 1.96(图 2 中横线所代表值),差异显著,说明在该尺度,GLOBCOVER 和 GLCNMO 两种数据的类别精度显著低于 MODIS 和 GLC2000;在东北区域,GLOBCOVER—GLC2000,GLOBCOVER—MODIS 以 GLOBCOVER—GLCNMO 之间的差异显著,而 MODIS—GLCNMO,MODIS—GLC2000 以及 GLC2000—GLCNMO 之间的差异并不显著;华北区域只有 MODIS—GLCNMO 之间存在显著差异,其他数据间的差异均不显著;西北区域和四川盆地表现出与东北区域类似的特征;青藏高寒区、东南、西南三个区域的统计值均小于 1.96,说明在该区域,数据的总体分类精度相似,并无显著差异。

2.2 多源土地覆被遥感数据空间一致性分析

图 3 以图谱的形式表达了 GLOBCOVER,MODIS,GLC2000 和 GLCNMO 四种全球土地覆被遥感数据在中国区域的空间一致性。从图中可以看出,完全空间一致性区域主要分布于西北地区的沙漠地带、华北中南部的粮食产区、东北东部地区和东南地区北部,其总面积约占研究区域总面积的 39.03%,在该区域,地表土地覆被类型较为单一,以林地、耕地、草

地为主,光谱特征简单或呈现明显的物候特征;基本一致区域主要分布于完全一致区域周围,表现出土地覆被类型的区域变量特征,该区域的面积约占研究区总面积的 40.67%,具体分布在青藏高寒区、西南区、四川盆地中部、内蒙古北部和西北地区南部,该区域主要地表类型为草地和裸地以及草地和耕地为主;不一致区域的面积约占研究区总面积的 18.56%,主要分布于东南地区中部、青藏高寒区西北部 and 东南部、东北和西北分界线的条带区域,该区域地表类型较为复杂,地表景观呈现明显的破碎现象,耕地、林地、灌木、草地交错分布;完全不一致区域约占研究区总面积的 1.74%,并且集中分布于“胡焕庸地理分界线”两侧,成典型的带状分布特征。

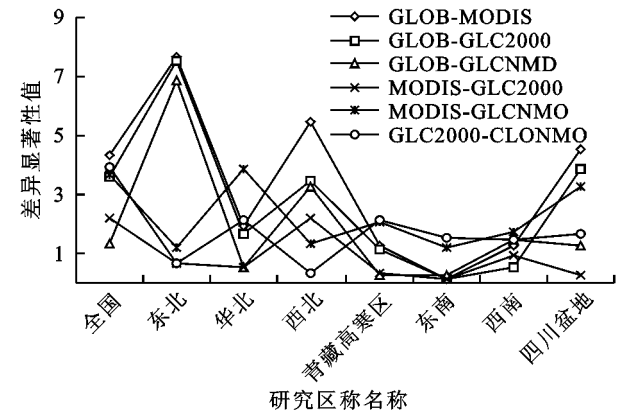


图 2 土地覆被遥感数据类别精度差异显著性构线

以四种土地覆被遥感数据 8 个类别的完全一致性面积百分比及每种类别的平均生产者精度和平均用户精度为数据源,分析了类别一致性比例与类别精度的相关关系(表 3)。结果表明,类别的生产者精度与类别一致性面积百分比存在明显的正相关性,其相关系数 R 等于 0.88($R^2=0.77$),这意味着某种土地覆被类别的一致性区域的面积越多,该类别的生产者精度越高,即该类别的分类精度越高,相反,如果某类别位于一致性区域的面积比例越少,则该类别的分类精度越低。正如 Herold 等^[5]在非洲大陆得出的结论类似,用户精度与类别面积一致性百分比的相关性不是很强,仅为 0.42。

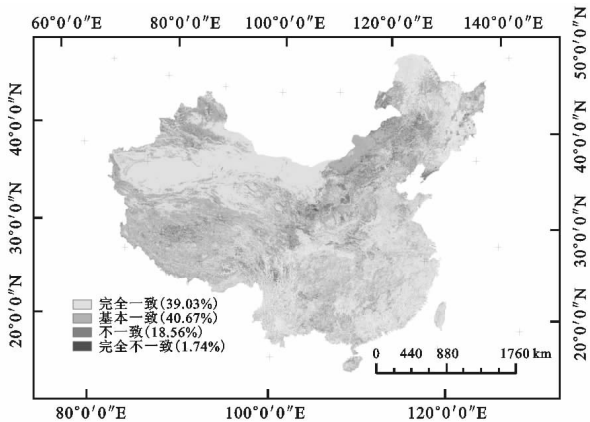


图 3 多源土地覆被遥感数据空间一致性分析

表 3 类别一致性百分比与类别精度的相关关系

土地覆被 类别	一致性面积 百分比/%	平均制图 精度/%	平均用户 精度/%
林地	43.09	80.14	27.20
灌木	0.19	12.03	12.08
草地	19.49	29.24	65.72
耕地	41.8	65.23	60.16
水域	29.97	23.57	56.71
建设用地	19.03	11.93	51.50
冰雪	25.34	38.42	31.71
裸地	62.59	81.24	60.11

3 结 论

(1) GLOBCOVER, MODIS, GLC2000, GLCNMO 四种全球土地覆被遥感数据与中国 2000 年土地利用数据在空间上存在一定的混淆现象。混淆主要发生于林地、草地、灌木和耕地之间,其中灌木与其他地类的混淆程度最为严重,导致四种数据的灌木的类别精度均较低。类别间的混淆存在明显的地理区域特征,例如在东北区域,混淆主要发生于耕地和林地之间;而在青藏高寒区,混淆则主要发生于草地和灌木之间;在东南区,混淆则主要发生于耕地和草地之间。出现上述混淆的主要是因为这几种土地覆被类别具

有相似的光谱特征,生命形态相似,在成像过程中容易形成异物同谱现象,因此在今后的工作中,应该加强叶类土地覆被类别识别算法的改进,特别是灌木和林地之间的类别区分算法的提高。

(2) 通过多源遥感数据的空间一致性及均质性分析,深入掌握了数据可靠程度的空间分布状况,这对于今后全球尺度土地覆被遥感制图如何选择“训练数据”提供了合理的科学依据,同时也为未来数据改善的重点区域提供了指导。研究表明类别一致性分析是类别精度的重要影响因子,特别是对于数据的制图精度,一致性区域的面积起到了决定性作用,使得裸地和林地的制图精度均在 85% 以上,同理,灌木和建设用地的生产者精度均低于 10%,也意味着未来的全球尺度土地覆被制图研究应该加强异质性区域地物信息的提取精度的相关研究。

(3) 研究表明 GLOBCOVER, MODIS, GLC2000 和 GLCNMO 四种数据在不同的区域、不同的类别表现出不同的精度,没有哪种数据的精度在所有区域和类别均高于其他数据,而是呈现出明显的区域和类别特征,这对于充分利用不同数据在不同区域及类别的精度优势,从而融合生成高精度土地覆被遥感数据提供了依据。

参考文献:

[1] Wickham J D, Stehman S V, Fry J A, et al. Thematic accuracy of the NLCD 2001 land cover for the conterminous United States[J]. Remote Sensing of Environment, 2010, 114(6):1286-1296.

[2] Fritz S, See L, Rembold F. Comparison of global and regional land cover maps with statistical information for the agricultural domain in Africa[J]. International Journal of Remote Sensing, 2010, 31(9):2237-2256.

[3] Tchuenté A T K, Roujean J L, De Jong S M. Comparison and relative quality assessment of the GLC2000, GLOBCOVER, MODIS and ECOCLIMAP land cover data sets at the African continental scale[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2011, 13(2):207-219.

[4] Giri C, Zhu Z, Reed B. A comparative analysis of the Global Land Cover 2000 and MODIS land cover data sets [J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 94(1):123-132.

[5] Herold M, Mayaux P, Woodcock C E, et al. Some challenges in global land cover mapping: An assessment of agreement and accuracy in existing 1 km datasets[J]. Remote Sensing of Environment, 2008, 112(5):2538-2556.

[6] Nakaegawa T. Uncertainty in land cover datasets for global land-surface models derived from 1 km global land cover datasets[J]. Hydrological Processes, 2011, 25 (17):

- 2703-2714.
- [7] 冉有华,李新,卢玲. 四种常用的全球 1km 土地覆盖数据中国区域的精度评价[J]. 冰川冻土,2009(3):490-500.
- [8] 吴文斌,杨鹏,张莉,等. 四类全球土地覆盖数据在中国区域的精度评价[J]. 农业工程学报,2009,25(12):167-173.
- [9] Wu W, Shibasaki R, Yang P, et al. Validation and comparison of 1 km global land cover products in China [J]. International Journal of Remote Sensing, 2008, 29(13):3769-3785.
- [10] 宋宏利,张晓楠,王雨,等. 多尺度高分辨率全球土地覆盖遥感数据相对一致性比较[J]. 农业工程学报,2012, 28(15):118-124.
- [11] Arino O, Bicheron P, Achard F, et al. The most detailed portrait of Earth[J]. European Space Agency, 2008,136:25-31.
- [12] Friedl M A, Sulla-Menashe D, Tan B, et al. MODIS Collection 5 global land cover: Algorithm refinements and characterization of new datasets[J]. Remote Sensing of Environment,2010,114(1):168-182.
- [13] Tateishi R, Uriyangqai B, Al-Bilbisi H, et al. Production of global land cover data-GLCNMO[J]. International Journal of Digital Earth,2011,4(1):22-49.
- [14] Bartholomé E, Belward A S. GLC2000: a new approach to global land cover mapping from Earth observation data[J]. International Journal of Remote Sensing,2005,26(9):1959-1977.
- [15] Jung M, Henkel K, Herold M, et al. Exploiting synergies of global land cover products for carbon cycle modeling[J]. Remote Sensing of Environment,2006, 101(4):534-553.
- [16] Liu J, Liu M, Tian H, et al. Spatial and temporal patterns of China's cropland during 1990—2000: An analysis based on Landsat TM data[J]. Remote Sensing of Environment,2005,98(4):442-456.
- [17] 中国资源环境遥感宏观调查与动态研究[M]. 北京:中国科学技术出版社,1996.
- [18] Di Gregorio A. Land cover classification system: classification concepts and user manual: LCCS[M]. Food & Agriculture Org.,2005.
- [19] Congalton R G, Green K. Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices [M]. Boca Raton, FL, USA: CRC Press,2008.

~~~~~

(上接第 35 页)

- [8] 卜崇峰,张朋,叶菁,等. 陕北水蚀风蚀交错区小流域苔藓结皮的空间特征及其影响因子[J]. 自然资源学报, 2014,29(3):490-499.
- [9] 焦雯珺,朱清科,张宇清,等. 陕北黄土区退耕还林地生物结皮分布及其影响因子研究[J]. 北京林业大学学报, 2007,29(1):102-107.
- [10] 桑广书. 黄土高原历史时期植被变化[J]. 干旱区资源与环境,2005,19(4):54-58.
- [11] 李国英. 统一思想全面推进黄河流域水土保持工作[J]. 中国水土保持,2003(12):9-10.
- [12] 卢晓杰,张克斌,李瑞. 北方农牧交错带生物结皮的主要影响因子探讨[J]. 水土保持研究,2007,14(6):1-4.
- [13] 吴玉环,高谦,于兴华. 生物土壤结皮的分布影响因子及其监测[J]. 生态学杂志,2003,22(3):38-42.
- [14] 吕建亮,廖超英,孙长忠,等. 黄土地表藻类结皮分布影响因素研究[J]. 西北林学院学报,2010,25(1):11-14.
- [15] 成向荣,黄明斌,邵明安. 神木水蚀风蚀交错带主要人工植物细根垂直分布研究[J]. 西北植物学报,2007,27(2):321-327.
- [16] 李勉,李占斌,刘普灵,等. 黄土高原水蚀风蚀交错带土壤侵蚀坡向分异特征[J]. 水土保持学报,2004,18(1): 63-65.
- [17] 贾恒义,雍绍萍,王富乾. 神木地区的土壤资源[C]//中国科学院西北水土保持研究所集刊. 西安:陕西科学技术出版社,1993.
- [18] 张琪,丛鹏,彭励. 通径分析在 Excel 和 SPSS 中的实现[J]. 农业网络信息,2007(3):109-110.
- [19] 袁志发,周静芋,郭满才,等. 决策系数—通径分析中的决策指标[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2001,29(5):131-133.
- [20] 孟杰. 黄土高原水蚀交错区生物结皮的时空发育特征研究[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2011.