基于数码相机、ASTER 和 MODIS 影像综合 测量植被盖度

张云霞^{1,2} 李晓兵^{1*} 张云飞³

(1 北京师范大学环境演变与自然灾害教育部重点实验室 北京师范大学资源学院 北京 100875)

(2 民政部国家减灾中心 北京 100053) (3 上海市科技馆 上海 200127)

摘 要 选择我国北方温带典型草原作为研究对象,基于 Bottom-up 方法,采用地表实测和多尺度遥感综合测量的方法,建立基于地表实测与多尺度遥感数据综合测量的两阶段植被盖度经验模型。此外,还将该模型与常用的亚像元分解模型相比较,结果表明:1)两阶段经验模型可以较好地实现将地面数据扩展到中尺度空间范围,从而完成数据空间尺度的转换,提高大区域草地植被盖度的测量精度;2)MODIS 遥感影像数据,结合地面数据和 ASTER 遥感影像数据可以较好地,在区域范围内对北方典型草原的植被盖度进行估测;3)目前常用的亚像元分解模型,应用于中空间分辨率的 MODIS 影像,估测北方温带典型草原植被盖度的精度不够理想。

关键词 草地植被盖度 地表实测数据 多尺度遥感数据 两阶段植被盖度经验模型

DETERMINING VEGETATION COVER BASED ON FIELD DATA AND MULTI-SCALE REMOTELY SENSED DATA

ZHANG Yun-Xia^{1,2}, LI Xiao-Bing^{1*}, and ZHANG Yun-Fei³

¹College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster of Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875, China, ²National Disaster Reduction Center of China, Beijing 100053, China, and

³Shanghai Science & Technology Museum, Shanghai 200127, China

Abstract Aims There are problems with estimating vegetation cover using remotely sensed data. Many models have been developed by regression of field data and remotely sensed data, but this simple scale transformation often results in large errors. Our objective was to combine field data and multi-scale remotely sensed data to estimate vegetation cover for a typical temperate steppe of North China.

Methods Within our research area, we selected 49 sample fields from areas with high, medium and low vegetation cover and sampled each using 1 m plots nested within larger plots. We vertically photographed each 1 m sample plot with a digital camera positioned at 2 m height. We estimated vegetation cover in each image. Using these data and data obtained through ASTER and MODIS images, we developed a two-stage experiential model of vegetation cover based on the bottom-up method.

Important findings We accurately estimated vegetation cover of typical temperate steppe of North China at a regional scale based on our two-stage model using field data and ASTER and MODIS images. Using a series of MODIS images, it would be possible to estimate vegetation cover of typical steppe across China.

Key words vegetation cover, grassland, field data, multi-scale remotely sensed data, two-stage experiential model

土地利用与覆盖变化(Land use/cover change, LUCC)研究在“国际地圈与生物圈计划”(International geo-biosphere programme, IGBP)和“国际全球环境变化人文计划”(International human dimension programme, IHDP)的推动下正在全面而深入地开展。

随着全球变化研究的深入,土地利用/覆盖变化研究越来越受到重视。它作为全球环境的下垫面影响因子,其变化对全球环境演变带来最直接的影响,并且是产生生态灾害(如水灾、森林火灾和土地退化)最主要的原因(刘慧平和朱启疆,1999)。在 IGBP 和

IHDP报告中将 LUCC 作为其核心研究计划,阐明了进行多空间尺度的土地利用与覆盖变化研究的必要性,并指出未来 LUCC 研究的一个重要方面是将低空间分辨率与高空间分辨率的卫星遥感信息相结合进行全球尺度和区域尺度的研究。

植被盖度是刻画陆地表面植被数量的一个重要参数,也是指示生态系统变化的重要指标。在考察土壤水分蒸发蒸腾损失总量以及光合作用的过程中,植被盖度都是作为一个重要的控制因子而存在。植被盖度也是影响沉积物侵蚀和增长机理的重要因子。而大面积草地植被盖度的测量对于干旱半干旱地区的牲畜饲养及农业和沙漠化的意义也很重大,它是评估草地状况、土地退化和沙漠化的有效指数。在全球和区域变化监测的很多研究中都要用到量化的植被盖度信息(Purevdorj *et al.*, 1998)。

遥感影像以不同的时空分辨率记录了地表的覆盖特征。遥感影像的空间分辨率限定了遥感对地观测的最小单元。地理环境特征监测的基本时空尺度的适宜性对遥感提出了多分辨率的需求,同时,不同的全球变化模型对土地覆盖类型、空间分布特征需求的尺度也不同。因此,作为模型重要参数的土地覆盖特征的多分辨率遥感监测对满足不同模型的需求以及对利用实测数据进行尺度转换研究是非常重要的(Peter & Curran, 1997)。

基于以上的认识,选择我国北方温带典型草原作为研究对象,采用地表实测和多尺度遥感综合测量的方法测量植被盖度,旨在建立基于地表实测数据与多尺度遥感数据综合测量植被盖度的尺度转换模型,以提高大区域草地植被盖度的测量精度。此外,将该模型与目前广泛使用的亚像元分解模型作比较,一方面作为检验两阶段经验模型的参照,同时也检验了亚像元分解模型在中国北方温带典型草原的适用性。

1 研究区

研究区选择在我国北方中温型草原带的典型草原亚带。典型草原分布区的气候具有内陆半干旱气候的典型特征,年均温在 $-2.0 \sim -6.0$ $^{\circ}\text{C}$ 之间,最热月均温为 $18.0 \sim 24.0$ $^{\circ}\text{C}$,最冷月均温为 $-13.0 \sim -29.0$ $^{\circ}\text{C}$, ≥ 10 $^{\circ}\text{C}$ 年积温为 $2\ 000 \sim 3\ 000$ $^{\circ}\text{C}$,无霜期 $100 \sim 130$ d,年降水量为 $250 \sim 450$ mm,年变幅较大,年蒸发量为 $2\ 000 \sim 2\ 200$ mm,湿润度约为 $0.3 \sim 0.6$ 。

研究样区具体位置主要集中在典型草原区的中

段(图 1),行政单元主要为内蒙古自治区锡林郭勒盟锡林浩特市,并略涉及到与之毗邻的阿巴嘎旗、西乌珠穆沁旗的部分地区, $115^{\circ} \sim 117^{\circ}$ E, $43.5^{\circ} \sim 45^{\circ}$ N。植被以蒙古草原植被区系成分占优势,包括羊草(*Leymus chinensis*)丛生禾草草原;羊草、冷蒿(*Artemisia frigida*)草原;大针茅(*Stipa grandis*)草原;克氏针茅(*Stipa krylovii*)草原;冷蒿草原。主要建群种与优势种为大针茅、克氏针茅、羊草、狭叶锦鸡儿(*Caragana senophylla*)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)、冷蒿等。

2 数据来源及处理

2.1 数据来源

2.1.1 地面数据来源

地面取样工作是在不同的样方尺度上进行。原则上讲,采样点的选取应遵循以下 3 条规则:1)地面采样点应能在遥感影像上实现精确定位;2)地面采样点应该最大可能地体现植被和土壤的均质性;3)采样点的植被覆盖度应该处于一定的变化范围内。就本研究而言,采样点的选择具有一定的局限性,因为研究区内范围有限,很难找到足够数量的具有标志性的点满足前两条规则。为了满足采样点的植被盖度的变化范围,采样点的选取最后采用了随机的方式。这无疑会对最后的回归关系的建立带来一定的负面影响。具体研究方法如下:1)样地设置参照地形图,同时借助 GPS 定位,在研究区内分别针对植被盖度是高、中、低的地区进行随机布样地,共计 49 个样地(图 1)。2)在每块样地内采用嵌套的方式作样方,样方尺度有 60、30 和 15 m 3 个尺度,即 60 m 的样方嵌套 30 m 的样方,30 m 的样方嵌套 15 m 的样方。其中,15 m 的样方内作 3 个 1 m 样方;30 m 的样方内作 5 个 1 m 的样方;60 m 的样方内作 10 个 1 m 的样方(图 2)。3)对于每一个 1 m 的样方,采用将数码相机架设在离草本层 2 m 高的位置,垂直对样方进行拍摄并记录影像的方法测量植被盖度。

2.1.2 遥感数据来源

遥感数据是 ASTER 影像和 MODIS 影像,都是 2002 年 7 月 30 日的数字影像,由日本国立环境研究所提供(表 1)。

2.2 数据处理

2.2.1 地面数据处理

从数码影像上获取植被盖度信息是一项非常麻烦的事情。目前常用的是目视解译法,即在一定的 GIS 软件和图像处理软件的支持下,将“植被多边形”

图 1 研究区样地分布
Fig.1 The distribution of sample sites in the study area

图 2 嵌套式样方示意图
Fig.2 The sketch map of nesting sample plot

尽可能准确完全地手工勾画出来 ,然后手工计算代表植被的多边形的面积占总面积的百分比 ,将此值作为目视解译法的植被盖度估测值。尽管目视解译估计植被盖度的精确度较高 ,但是由于其耗时耗力 ,在实践应用中局限性很大。

本研究运用数码影像的 RGB 值将代表绿色植被的像素和代表土壤、枯死植物以及阴影部分的像

素区分开 ,建立植被盖度信息提取模型 ,具体的条件设定如下 :1) $g > r$, $g > b$,其中 g 、 r 、 b 分别代表数码影像上绿、红、蓝组分的数值 ;2) $g > x$,其中 x 是阈值 ,代表被处理的数码影像的绿色组分的数值。在本研究中 x 值的范围是 30 ~ 45。阈值的设定范围取决于相片的亮度。有一点要说明 ,由于相片亮度的不同 ,标准化 x 阈值是非常困难的事情。但在天气情况稳定的情况下 ,在同一天内的一段连续时间内 ,相片的亮度的变化不会太大 ,因此 x 值的变化也不会太大。如果一个像素满足以上两个条件 ,那么该像素就可以被认定为代表绿色植被的像素。通过设定该条件 ,可以生成仅代表植被和非植被两种像素的二值图 ,那么数码影像上的植被盖度就可以通过计算代表植被的像素占总像素的比例而得到。

为了验证信息提取模型的估测精度 ,从所有的数码影像中随机选取 32 张代表不同盖度水平的相片 ,每张相片分别采用目视解译法和植被盖度信息提取模型获取植被盖度信息 ,将植被盖度信息提取模型的结果与目视解译法的结果相比较。目视解译的工作是在 Mapinfo6.0 和 Photoshop6.0 软件支持下进行的。为了估测值的精确性 ,此项工作需要注意以下几点 :1)为了便于区分不同的地物 ,更好地识别出植物 ,需要对照片进行拉伸处理 ,增强各种地物之

表 1 遥感资料清单
Table 1 Remotely sensed data listing

数据 Data	年-月-日 Year-month-day	波段 Band	分辨率 Resolution	图像质量 Imagine quality
MODIS	2002-7-30	1, 2	250 m	较好 Better
ASTER	2002-7-30	1, 2, 3	15 m	一般 Generic

间的色彩与明暗差异,增大不同地物间的对比度,特别是植物与阴影间的对比度。2)必须制定统一的数字化的质量控制标准,由 n 个人独立进行,这样每张相片都有 n 个手工数字化值,取这 n 个值的平均值作为每张相片最后的手工数字化值。这样做可以减少由于人为因素带来的误差;本研究是由 3 个人独立进行,这样每张相片有 3 个目视解译的结果,将 3 个值的均值作为每张相片最后的值。3)目视解译时,相片应放大足够的倍数,以便勾画出的“植被多边形”的面积更精确。

2.2.2 遥感数据处理

首先以 1:5 万的地形图为准,在图像指北旋转后,利用二次多项式和双线性内插法对各 MODIS 和 ASTER 影像进行图像到地图的几何校正,以纠正由于地球曲率和卫星观测角度的变化引起的遥感图像的扭曲现象。经重新选点检验,误差在一个像元内。这些工作均是在 ERDAS、ENVI 及 ARC/INFO 软件支持下进行的。经过几何校正和配准后的各遥感影像,通过与地理边界图的叠加提取出只包含研究区的信息。

由于通过一幅或几幅影像的准同步监测建立的遥感定量模型,应用于其它时段的影像要取得满意结果,需要解决影像间的辐射匹配问题。不同的影像获取日,由于大气状况变化、日照变化和传感器参数变化等的影响,引起影像数据灰度值分布范围非真实的变化。在本研究中采用的是无植被目标法 (Objects void of vegetation, OVV) (Qi et al., 2000)。OVV 方法大体分 3 步。第一步,确定地表无植被目标,其面积至少比所用影像的空间分辨率大两倍。可以选取裸地、飞机场或高速公路作为目标。按照 OVV 的定义,这些目标的植被盖度应该为零,然而,由于大气的影响,这些目标可能不为零,需要进行调整。第二步,计算非零调整因子。第三步,将整幅影像减去调整因子,得到整幅影像的植被盖度图。在本研究中,对于 ASTER 影像,选取柏油马路作为 OVV 目标。柏油马路在 ASTER 影像上可以非常清楚地被观测到。对于 MODIS 影像,我们根据由中国科学院资源与环境信息系统国家重点实验室

(LREIS) 编制的中国资源与环境数据 (1:400 万)——中国沙漠图,选取其中代表严重沙漠化土地和重沙漠化土地的像元,并且结合 GPS 实地测量点,确定 OVV 目标。计算这些目标的植被盖度,然后将整幅植被盖度图减去这些值。

3 研究方法

3.1 植被指数的选取

本研究所用的植被指数有比值植被指数 (Ratio vegetation index, RVI)、归一化植被指数 (Normalized difference vegetation index, NDVI) 和归一化差异绿度指数 (Normalized difference green index, NDGI)。其中, RVI 和 NDVI 是最常被用来定性和定量评价植被覆盖及其生长活力的植被指数。而 NDGI 与以往很多指数不同之处是该指数运用了红光和绿光通道。表 2 详细列出了本研究所用的各种植被指数及其计算公式。

3.2 两阶段植被盖度经验模型的建立

本研究提出建立两阶段植被盖度经验模型,后面简称两阶段模型,是基于 Bottom-up 方法 (Fazakas & Nilsson, 1996) 而形成的。所谓 Bottom-up 方法就是首先利用高空间分辨率的遥感数据估测地表参数,如植被盖度或生物量等,然后在高空间分辨率遥感估测值与低空间分辨率遥感数据之间进行回归分析,建立经验模型,最后基于此模型,利用低空间分辨率的遥感数据估测地表参数。本研究两阶段的含义分别是:第一阶段是基于不同尺度的样地,在地面实测的植被盖度值与 ASTER 数据植被指数值之间进行回归分析,建立基于 ASTER 数据的植被盖度经验模型;第二阶段是在 MODIS 数据植被指数值与 ASTER 数据植被盖度估测值之间进行回归分析,建立基于 MODIS 数据的植被盖度经验模型,然后基于此模型,利用 MODIS 数据在更大的空间尺度上估测植被盖度。

其中,第一阶段模型建立的流程是:1)利用植被盖度信息提取模型计算野外实测的各张数码影像的植被盖度值,在不同的样地尺度上计算各样地的植被盖度;2)计算 ASTER 数据的各种植被指数 (RVI,

$NDVI$ 、 $NDGI$) 3) 将地面样地与相应的 ASTER 影像像元在不同的尺度上相匹配, 匹配方案见表 3。基于某一样地尺度, 计算与地面样地相对应区域内的 ASTER 影像像元植被指数的中值(这样做是为了减少样地定位带来的误差(Yang & Prince, 2000)) 4) 基于该样地尺度, 建立地面实测植被盖度值与 ASTER 数据植被指数值之间的回归模型 5) 对回归模型进行显著性检验。

表 2 植被指数清单
Table 2 Vegetation index listing

植被指数 Vegetation index	计算公式 Calculating formula
归一化植被指数 $NDVI$	$(NIR - R) / (NIR + R)$
归一化差异绿度指数 $NDGI$	$(G - R) / (G + R)$
比值植被指数 RVI	R / NIR

NIR 近红外波段 Near infrared band R 红光波段 Red ray band
 G 绿光波段 Green ray band $NDVI$: Normalized difference vegetation index $NDGI$: Normalized difference green index RVI : Ratio vegetation index

表 3 样方尺寸与 ASTER 影像像元匹配表
Table 3 The matching scheme between the sizes of sample sites and the pixels of ASTER image

样方大小 The size of sample sites (m × m)	ASTER 影像 ASTER images (像元 × 像元 / pixel × pixel)
15 × 15	1 × 1
30 × 30	2 × 2
60 × 60	4 × 4

第二阶段模型建立的流程是: 1) 将第一阶段模型运用到 ASTER 数据估算其植被盖度。2) 对 ASTER 影像植被盖度估测图进行重采样, 这样做的原因是 ASTER 影像在可见光和近红外波段的空间分辨率为 15 m, 而 MODIS 影像在可见光和近红外波段的空间分辨率为 250 m。为了使像元达到匹配的目的, 必须对 ASTER 影像进行重采样, 使其像元的大小为 10 m × 10 m。这样 1 × 1 (像元 × 像元) MODIS 影像覆盖的面积相当于 ASTER 影像 25 × 25 (像元 × 像元) 覆盖的面积。3) 计算 MODIS 数据的植被指数值($NDVI$ 和 RVI)。4) 结合地面采样点, 在 MODIS 和 ASTER 影像上确定进行回归分析的样本点。本阶段中确定样本点数为 20。将样本点处 MODIS 影像 1 × 1 (像元 × 像元) 的植被指数值与相对应 ASTER 影像的 25 × 25 (像元 × 像元) 的植被盖度估测值的平均值之间进行回归分析, 建立第二阶段模型。5) 对回归模型进行显著性检验。

本研究进行回归分析时选用的线性模型表达式为: $y = a + bx$; 非线性模型选取的是二次多项式回归模型, 其表达式为: $y = ax^2 + bx + c$, 其中, y 代表植被盖度; x 代表植被指数; a 、 b 和 c 为参数。对回归模型复相关系数的显著性检验用的是 t 检验。

3.3 亚像元分解模型

像元按其亚像元类型一般可分为“均一像元”和“混合像元”两类。当像元完全被植被覆盖时, 可认为该像元为“均一像元”, 其亚像元结构为植被全覆盖。如植被不能完全覆盖整个像元, 则像元为“混合像元”, 对应的亚像元结构是植被与非植被构成的混合结构。“均一像元”植被盖度的求取最简单, $fg = 1$ 。实际上, 像元的光谱反射率是下垫面地物的综合反映, 因而大多数像元是“混合像元”结构。“混合像元”对应复杂的细部结构, 像元由多种地物构成。Ignatov (1998) 对“混合像元”中植被的亚像元结构类型进行了简化 (Ignatov & Gutman, 1998)。据 Gutman 和 Ignatov (1998) 的研究, 亚像元分解模型应用于中低分辨率的影像, 存在以下关系:

$$fg = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}}$$

(1)

式中: $NDVI_{max}$ 和 $NDVI_{min}$ 为植被整个生长季 $NDVI$ 的最大值和最小值。经计算, 2002 年, 对于研究区的典型草原, 这两个值分别取 0.780 和 0.003。

3.4 评价两阶段植被盖度经验模型的方法

在研究区内选取 20 个样点作为检测点, 在这些点上分别利用第二阶段模型和亚像元分解模型估测植被盖度, 并将估测的结果与地面实测数据进行比较, 计算误差, 从而评估各模型的优劣。特别说明的是这些检验点的选择遵循以下的原则: 1) 均匀分布; 2) 植被盖度在一定的变化范围内。在分析误差时, 用到了以下公式:

$$\text{绝对误差} = |x - \hat{x}|$$

(2)

式中: x 表示地面实测的结果, $\hat{x}$ 表示模型运算的结果。

4 结果分析

4.1 信息提取模型的估测精度

图 3 是针对一张数码影像, 分别利用目视解译法和信息提取模型估测植被盖度的结果。表 4 列出了利用信息提取模型估测上述 32 张数码影像植被盖度的相对误差。此处假设目视解译的结果是植被盖度的真实值。32 张数码影像的最大相对误差是 20.4%, 最小相对误差是 1%, 平均相对误差是

16.4% ,相对误差小于 10% 的相片数占 18.8% ,相对误差小于 20% 的占 46.9%。

所以 ,从整体上来看 ,信息提取模型的估测结果与目视解译法的结果相差不大。

图 3 利用不同的方法估测数码影像植被盖度的结果
Fig.3 Results of estimating vegetation fractional coverage of digital photos by different methods

表 4 信息提取模型的相对误差			
Table 4 The relative error of information extracting model			
相片号	相对误差	相片号	相对误差
Photo number	Relative error (%)	Photo number	Relative error (%)
1	19.9	17	18.7
2	19.8	18	20.0
3	19.9	19	10.5
4	20.0	20	20.0
5	20.0	21	19.9
6	20.4	22	20.0
7	20.0	23	20.0
8	20.2	24	20.0
9	20.0	25	19.9
10	2.8	26	20.0
11	1.9	27	20.0
12	20.0	28	3.4
13	8.2	29	19.9
14	1.0	30	20.0
15	20.0	31	16.7
16	20.0	32	2.1

4.2 两阶段模型的确定

4.2.1 第一阶段模型的确定

表 5 列出了基于不同样方尺度和不同植被指数 ,第一阶段模型的回归系数和复相关系数。整体而言 ,ASTER 影像的各植被指数与地面实测植被盖度之间存在较好的相关关系。除了个别的情况外 ,大多数情况下各植被指数与植被盖度的回归模型的复相关系数均达到了 0.01 甚至 0.005 的显著水平。特别是基于 60 m×60 m 的样方尺度 ,基于 NDVI 的经验模型的复相关系数最大 ,非线性模型为 0.656 ,

线性模型为 0.655。
基于以上分析 ,确定第一阶段模型为
$$fg = -0.076 \text{ } NDVI^2 + 0.516 \text{ } NDVI + 0.171 \quad (3)$$

4.2.2 第二阶段模型的确定
表 6 列出了在建立第二阶段模型的过程中 ,各模型的回归系数和复相关系数。整体来看 ,各植被指数与植被盖度之间均存在较好的相关关系 ,大部分回归模型复相关系数的显著水平均达到了 0.001。另外 ,不论是基于 NDVI 还是基于 RVI ,非线性模型的相关系数都要大于相应的线性模型。

基于上面的分析 ,确定第二阶段模型是：
$$fg = 1.395 \text{ } NDVI^2 + 0.343 \text{ } NDVI + 0.144 \quad (4)$$

或

$$fg = 3.201 \text{ } RVI^2 - 3.503 \text{ } RVI + 1.112 \quad (5)$$

4.3 两阶段模型的精度评估

图 4 是第二阶段模型与亚像元分解模型在 20 个地面检验点上的误差的比较。整体上 ,亚像元分解模型的误差要远远大于第二阶段模型的误差 ,并且误差波动范围也较大。

5 结论与讨论

全球变化以及区域持续发展的研究无不需要全球或区域尺度内的二维空间分布信息。例如 IGBP、国际卫星地面气候计划(International satellite land surface climatology project , ISLSCP) 全球能量和水循环试验(Global energy water cycle experiment , GEWEX) 等等均以遥感信息作为重要的手段 ,将单点或多点的地面观测数据向二维空间扩展(张仁华等 ,1997)。

表 5 第一阶段经验模型($n = 20$)
Table 5 The first stage experiential models($n = 20$)

模型 Model	植被指数 Vegetation index	样地尺度 Sample size (m × m)	a	b	c	R
线性 Linear	NDVI	15 × 15	0.350	0.153	—	0.573 **
		30 × 30	0.412	0.170	—	0.602 ***
		60 × 60	0.480	0.170	—	0.655 ***
非线性 Non linear	NDVI	15 × 15	0.161	0.259	0.151	0.579 **
		30 × 30	0.053	0.387	0.169	0.602 ***
		60 × 60	- 0.076	0.516	0.171	0.656 ***
线性 Linear	NDGI	15 × 15	0.595	0.053	—	0.507 *
		30 × 30	0.818	0.036	—	0.552 *
		60 × 60	0.948	0.011	—	0.608 ***
非线性 Non linear	NDGI	15 × 15	1.161	- 0.206	0.154	0.538 *
		30 × 30	1.607	- 0.121	0.142	0.570 **
		60 × 60	0.233	0.812	0.027	0.608 ***
线性 Linear	RVI	15 × 15	- 1.232	0.086	—	0.506 *
		30 × 30	- 1.727	0.075	—	0.577 **
		60 × 60	- 1.907	0.062	—	0.598 **
非线性 Non linear	RVI	15 × 15	5.924	0.195	0.141	0.541 *
		30 × 30	7.587	- 0.083	0.135	0.596 **
		60 × 60	6.952	- 0.394	0.119	0.612 ***

* : $p = 0.025$ ** : $p = 0.01$ *** : $p = 0.005$ R :复相关系数 Multiple correlation coefficient   NDVI、NDGI、RVI :见表 2 See Table 2

表 6 第二阶段经验模型($n = 20$)
Table 6 The second stage experiential models($n = 20$)

模型 Model	植被指数 Vegetation index	a	b	c	R
线性 Linear	NDVI	0.711	- 0.043	—	0.640 **
非线性 Non linear	NDVI	1.395	- 0.343	0.144	0.656 **
线性 Linear	RVI	- 0.506	0.434	—	0.577 *
非线性 Non linear	RVI	3.201	- 3.503	1.112	0.717 **

R :复相关系数 Multiple correlation coefficient   * : $p = 0.005$ ** : $p = 0.001$ NDVI、NDGI、RVI :见表 2 See Table 2

图 4 基于 MODIS 数据的各模型误差

Fig.4 Errors of different models based on MODIS data
NDVI、RVI :见表 2 See Table 2

然而 ,传统的常规的“点”测量数据缺乏中尺度甚至更大尺度的代表性。即使在 $100\text{ km} \times 100\text{ km}$ 范围布上 100 个观测点 ,一个点要代表的范围竟达

到 100 km^2 ,这就要求在 100 km^2 范围内参数是均匀一致的 ,但事实上这个要求是很难达到的。如何取得具有代表性的数据 ,也就是获得中尺度的数据真值 ,是一个非常棘手的问题(张仁华等 ,1997)。长期以来 ,传统的以点代面的方法或以少数点数据内插等值线的方法一直袭用至今。

本研究的两阶段模型突破了传统的地面数据——中尺度遥感数据的建模流程 ,巧妙地利用高空间分辨率的遥感数据作为联系地面数据与中尺度遥感数据的桥梁 ,较成功地实现了地面数据向中尺度的二维空间的扩展。作为本研究的重要内容 ,我们还较深入地探讨了植被指数、地面样方尺寸的选择对建立植被盖度经验模型的影响。同时 ,我们还对目前广泛使用的亚像元分解模型在中国北方温度典型草原的适用性进行了检验。结果表明 :

1)本研究提出的基于地面实测数据、高空间分辨率的 ASTER 数据、中空间分辨率的 MODIS 数据的两阶段模型 ,可以较为精确地实现对中国北方温带

典型草原植被盖度的估测。如果能够获取覆盖全国范围的一系列 MODIS 影像,利用两阶段模型实现对全中国范围内典型草原植被盖度的估测也是可能的。同时,该方法为在大尺度上利用遥感影像编制专题图提供了范例。

2)地面样方的尺寸选择对于植被盖度经验模型的建立有很大的影响。就中国北方典型草原区来看,在地面做大样方,取其中值的方法在一定程度上可以克服由于地面的测量和遥感测量之间发生空间错配而产生的影响,有利于提高植被指数与植被盖度之间相关系数的显著水平。

3)利用 ASTER 数据估测中国北方温带典型草原的植被盖度,植被盖度与 *NDVI* 之间的相关性好于与 *RVI* 或 *NDGI* 的相关性。而对于 MODIS 数据而言,植被盖度与 *NDVI* 和 *RVI* 之间的相关性差不多。

4)与两阶段模型相比,亚像元分解模型估测中国北方温带典型草原植被盖度的精确度相对较低,稳定性相对较差。

最后,还要强调,如果地面采样点的分布能够更为充分地体现植被和土壤的均质性,如果能够更为精确地实现地面数据与遥感数据之间,不同空间分辨率的遥感数据之间的定位,那么,两阶段模型的估测精度还会有更大的提高。

参 考 文 献

Fazakas Z, Nilsson M (1996). Volume and forest cover estimation

over southern sweden using AVHRR data calibrated with TM data. *International Journal of Remote Sensing*, 17, 1701 – 1709.

Ignatov GGA (1998). The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models. *International Journal of Remote Sensing*, 19, 1533 – 1543.

Liu HP(刘慧平), Zhu QJ(朱启疆) (1999). Studies of methodologies and their development on land-use/cover change detection by using high spatial resolution remote sensing data. *Resources Science(资源科学)*, 21(3), 23 – 27. (in Chinese with English abstract)

Peter MA, Curran PJ (1997). Choosing an appropriate spatial resolution for remote sensing investigations. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 63, 1345 – 1351.

Purevdorj TS, Tateishi R, Ishiyama T, Honda Y (1998). Relationships between percent vegetation cover and vegetation indices. *International Journal of Remote Sensing*, 19, 3519 – 3535.

Qi J, Marsett RC, Moran MS, Goodrich DC, Heilman P, Kerr Y, Dedieu G, Chehbouni A, Zhang Y (2000). Spatial and temporal dynamics of vegetation in the San Pedro River Basin area. *Agricultural and Forest Meteorology*, 105, 55 – 68.

Yang J, Prince SD (2000). Remote sensing of savanna vegetation changes in eastern Zambia 1972 – 1989. *International Journal of Remote Sensing*, 21, 301 – 322.

Zhang RH(张仁华), Sun XM(孙晓敏), Zhu ZL(朱治林) (1997). Scale transformation and realistic quantitative remote sensing in IMGRASS. *Climatic and Environmental Research(气候与环境研究)*, 2, 310 – 315. (in Chinese with English abstract)

责任编辑：周广胜 责任编辑：张丽赫