

# 基于像元二分模型的沙漠化地区植被覆盖度提取 ——以毛乌素沙地为例

刘广峰<sup>1</sup>, 吴 波<sup>2</sup>, 范文义<sup>1</sup>, 李晓松<sup>3</sup>, 范楠楠<sup>1</sup>

(1. 东北林业大学林学院, 哈尔滨 150040;

2. 中国林业科学研究院林业研究所, 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091;

3. 中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100091)

**摘 要:**以 ETM+ 为数据源, 基于植被指数 (NDVI) 建立像元二分模型, 对毛乌素沙地进行了植被覆盖度提取, 然后根据实地调查数据对提取结果进行了精度验证, 二者线性相关系数达到了 0.92, 平均精度为 79.4%。研究结果表明, 基于 NDVI 的像元二分模型适合于沙漠化地区的植被覆盖度提取。

**关键词:**像元二分模型; 植被覆盖度; 植被指数 (NDVI); 毛乌素沙地

**中图分类号:** X171.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409 (2007) 02-0268-04

## Extraction of Vegetation Coverage in Desertification Regions Based on the Dimidiate Pixel Model ——A Case Study in Maowusu Sandland

LIU Guang-feng<sup>1</sup>, WU Bo<sup>2</sup>, FAN Wen-yi<sup>1</sup>, LI Xiao-song<sup>3</sup>, FAN Nan-nan<sup>1</sup>

(1. College of Forest, Northeast Forest University, Harbin 150040, China;

2. Research Institute of Forestry, CAF, Key Laboratory of Tree

Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Beijing 100091, China;

3. Research Institute of Forest Resource Information, CAF, Beijing 100091, China)

**Abstract:** With the ETM+ as data source, the Dimidiate pixel model was established based on vegetation index (NDVI) to extract vegetation coverage in Maowusu sandland. Precision validation of the extraction results was conducted by employing field survey data, the correlation coefficient between field survey data and extracted values from the vegetation coverage imagery was 0.92, and the mean precision was 79.4%. The results show that the dimidiate pixel model based on NDVI can be used in the extraction of vegetation coverage in desertified region.

**Key words:** dimidiate pixel model; vegetation coverage; NDVI; Maowusu sandland

植被覆盖度是指植被 (包括叶、茎、枝) 在地面的垂直投影面积占统计区总面积的百分比<sup>[1]</sup>, 它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。在考察地表植被蒸腾、土壤水分蒸发损失总量和光合作用过程时, 植被覆盖度都被作为一个重要的控制因子, 它也是影响沉积物侵蚀和增长机理的重要因子。植被覆盖度可作为评价土地退化和沙漠化程度的参考指标, 不同程度退化土地可以通过地表植被覆盖程度来划分。植被覆盖度测量方法通常有地表实测和遥感测量两种。

地表实测是测量草地植被盖度的传统方法, 按原理可将地表实测的方法分为 3 类, 即采样法、仪器法和目视估测法<sup>[2]</sup>。在遥感技术应用以前, 大区域的植被覆盖度监测只能依靠野外实地调查完成, 需要消耗大量的人力物力, 同时, 野外调研过程中人为确定植被覆盖度也存在着诸多不确定因素, 影响测量结果的准确度, 已不能满足大范围植被调查的需要。

遥感技术的发展, 为植被覆盖度测量提供了一个新的发

展方向, 尤其是为大范围的植被覆盖度监测提供了可能。利用遥感技术进行植被覆盖度测量主要分为经验模型法和光谱混合分析法。经验模型法<sup>[3~5]</sup>是利用某单一波段、波段组合或计算得到的植被指数与实测植被覆盖度建立回归模型, 然后求取较大区域的植被覆盖度。回归模型在局部区域具有较高的精度, 但具有局限性, 即只适用于特定的区域与特定的植被类型, 不具有普遍意义。光谱混合分析技术可以确定像元内植被的丰度, 通过建立光谱混合模拟模型将像元进一步分解为各组分的组合。光谱混合分析模型一般包括以下 5 种类型: 线性模型、概率模型、几何光学模型、随机几何模型和模糊分析模型<sup>[6]</sup>。线性模型假定像元的反射率为它的各端元组分 (endmember) 的反射率以其占像元面积比例为权重系数的线性组合<sup>[7]</sup>, 该模型应用最广, 研究也最深入。像元二分模型被认为是最简单的线性光谱混合分析模型, 它假定像元内地物仅由植被和裸地组成, 即一个像元的光谱特性是由这两种成分的光谱特性组合而成。Gutman 从像元中可能的植被分布特征入手, 提出均一亚像元模型和混合亚像

\* 收稿日期: 2006-10-17





基金项目: 国家自然科学基金项目 (30571528); 国家“十五”科技攻关项目 (2005BA517A07); 科技部国际科技合作重点项目 (2003DFB00009)

作者简介: 刘广峰 (1981 - ), 男, 内蒙古赤峰市人, 在读硕士, 主要从事遥感应用研究。

元模型。均一亚像元模型即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,适用于混合亚像元模型。混合亚像元模型可概括为高密度、低密度和混合密度 3 种类型(表 1)。

表 1 植被亚像元模型<sup>[2]</sup>

像元类型	植被的亚像元结构	图 示	定 义	植被盖度模型
均一像元	全覆盖		指像元完全被一定厚度的植被覆盖	$f_g = 1$
混合像元	高密度		像元中植被类型较为单一且垂直密度足够高	$f_g = (NDVI - NVDI_0) / (NDVI_g - NDVI_0)$
	低密度		像元中植被类型较为单一且垂直密度较小	$f_g = (NDVI - NVDI_0) / (NDVI_g - NDVI_0)$
	混合密度		像元中植被含有多种类型,并且它们的垂直密度多种多样	$f_i = (NDVI - NVDI_0) / (NDVI_{gi} - NDVI_0)$

注:  $f_g$  代表植被覆盖度,  $NDVI_0$  和  $NDVI$  对应于裸土( $LAI = 0$ )和高垂直密度植被( $LAI = 1$ )的  $NDVI$  值  $NDVI$ : Normalized Diference Vegetation Index, 归一化差分植被指数

高密度模型假设像元中植被类型较为单一且植被垂直密度足够高,即  $LAI = 1$ 。低密度模型假设像元中植被类型较为单一且植被垂直密度较低,即  $LAI < 1$ 。从以上两种模型可以看出,高密度模型和低密度模型都是一些特殊情况,实际上,一个像元中往往含有多种植被类型,而且植被的垂直密度(可以用叶面指数  $LAI$  表示)也不是均一的,所以混合密度模型比较符合实际情况。低密度模型和混合密度模型都需要确定消光系数和叶面积指数,应用受到一定限制。高密度模型应用最广泛,陈晋等<sup>[8]</sup>利用  $NDVI$  代入像元二分模型,并针对不同植被类型分别利用了高密度模型和低密度模型,对北京市海淀区进行了植被覆盖度提取,取得了较好效果。高志海<sup>[9]</sup>以甘肃民勤绿洲为研究区,首先比较了各种植被指数并确定了  $NDVI$  最适合于荒漠化地区植被信息提取,然后把  $NDVI$  代入高密度模型求算了植被覆盖度。乔锋等<sup>[10]</sup>利用高密度模型对宁夏盐池进行了植被覆盖度提取。 $Qi\ j$ <sup>[11]</sup>等使用  $NDVI$  代入高密度模型,研究了美国西南部 San Pedro 盆地的植被时空变化。

在沙丘广泛分布的沙漠化地区,沙丘的迎风坡、背风坡和丘间地植被覆盖往往差异较大,空间异质性非常强烈,因此,混合像元大量存在,以像元为分析单元的传统分析方法在沙漠化信息提取中有很大的局限性。混合像元分析技术使遥感应用由像元级达到亚像元级,使遥感信息得到了更充分的利用,对于沙漠化地区植被覆盖度的提取以及沙漠化监测与评价具有重要的实践意义。

毛乌素沙地位于我国北方农牧交错区,是我国荒漠化研究的热点地区之一。农牧交错区人类活动具有规模小、分散、随机的特点,与脆弱的生态系统相互作用,使该地区具有非常显著的景观异质性,即不同类型、不同退化程度的荒漠化土地在空间上组合在一起,构成镶嵌体。由于沙丘分布广泛,打乱了地带性植被和土壤的分布格局,增加了地表景观的破碎程度,使沙地的主要景观要素类型在结构上具有复合性<sup>[12~14]</sup>。本文以毛乌素沙地为例,基于  $NDVI$  建立了像元二分模型,然后采用高密度模型对毛乌素沙地进行了植被覆盖度提取的尝试,并通过实地调查进行了精度验证。期望本研究有助于改进沙漠化地区的植被覆盖度遥感提取方法,对进一步提高植被覆盖度提取精度有所裨益。

1 研究区概况

毛乌素沙地位于内蒙古、陕西、宁夏的交界地带,地理位置为 37°27'30"~39°22'30"N, 107°20'~111°30'E,面积约 4×10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>,处在鄂尔多斯高原与黄土高原之间的过渡地区。毛乌素沙地位于我国东部季风的尾间地区,属典型大陆性半干旱气候,年降水量 250~440 mm。典型草原群落目前仅在

少数梁地和局部高滩地有些残存,零星分布,面积较小。荒漠草原只零星分布在西部。由于沙丘的广泛分布,沙生植被所占面积最大,其中油蒿群系是固定、半固定沙丘上的主要群落类型。滩地主要分布草甸植被,面积仅次于沙生植被。盐生植被主要见于盐碱湖滨的盐渍化土壤上<sup>[12]</sup>。

2 研究方法

2.1 数据预处理

为了覆盖整个毛乌素沙地,本研究采用四景 ETM 影像,图幅分别为 127/33、127/34、128/33、128/34。拍摄时间为 2002 年 8 月下旬,质量较好。采用 1:50 000 地形图在 ERDAS 8.6 下对影像进行了几何校正,误差小于一个像元。由于缺乏卫星过境时的详细的大气资料,无法采用 Modtron 等比较复杂的模型进行辐射校正,本研究采用 ENV4.1 提供的 FLAASH 模块对影像进行了辐射校正,将像元亮度值转换成地面反射率值。并收集当地的土壤、植被专题图等作为参考。

2.2 模型构建

2.2.1 适宜植被指数的选取

近 30 年来,科学家已经提出了 40 多个植被指数(VI)<sup>[15]</sup>。VI 主要有两种类型:一类以斜率为基础,如垂直植被指数(PVI);另一类以距离为基础,如归一化植被指数(NDVI)。PVI 涉及复杂的土壤斜率测定,使用时限制较大;NDVI 计算简单,不涉及复杂的参数确定,应用最广泛,研究也最深入。为了减小土壤背景对植被信息提取的影响,科学家提出了土壤调节植被指数(SAVI)和修正后的土壤调节植被指数(MSAVI)等。高志海<sup>[10]</sup>综合比较了 NDVI、SAVI、MSAVI 和 DEMI(全球环境指数)四种 VI 在荒漠化地区提取植被信息的能力,认为 NDVI 优于其他几种 VI。本研究采用 NDVI 建立像元二分模型。

2.2.2 像元二分模型

假设一个像元的信息可分为植被与裸土两部分,通过传感器观测到的信息  $S$  就可以表达为植被组分贡献的信息  $S_V$  和土壤组分贡献的信息  $S_S$  两部分:

$$S = S_S + S_V \tag{1}$$

对于一个混合像元,像元中植被覆盖的面积比例为该像元的植被覆盖度  $f_c$ ,而土壤覆盖的面积比例为  $(1 - f_c)$ 。设全植被覆盖像元的遥感信息为  $S_{veg}$ ,无植被覆盖的裸土像元的遥感信息为  $S_{soil}$ ,则像元中植被成分所贡献的信息  $S_V$  可以表示为:

$$S_V = S_{veg} \times f_c \tag{2}$$

同理,土壤成分所贡献的信息  $S_S$  可以表示为:

$$S_S = S_{soil} \times (1 - f_c) \tag{3}$$

将式(2)与式(3)代入式(1)式得到:

$$S = S_{veg} \times f_c + S_{soil} \times (1 - f_c)$$

(4)

将  $NDVI$  代入 (4) 式进行变换,可以得到:

$$NDVI = NDVI_{veg} \times f_c + NDVI_{soil} \times (1 - f_c)$$

(5)

$NDVI_{veg}$  为全植被覆盖像元的  $NDVI$  值,  $NDVI_{soil}$  为无植被覆盖的裸土像元的  $NDVI$  值。

由 (5) 可得:

$$f_c = (NDVI - NDVI_{soil}) / (NDVI_{veg} - NDVI_{soil})$$

(6)

可见,只要确定了  $NDVI_{soil}$  和  $NDVI_{veg}$  的值,植被覆盖度便可求算出来。

在荒漠化地区,受遥感影像空间分辨率的影响 (ETM 多光谱影像分辨率  $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ ),很难找到全植被覆盖的像元,可以采用计算的方法确定  $NDVI_{veg}$ 。假设影像上有两个像元 A 和 B ( $f_A$ 、 $f_B$ 、 $NDVI_A$ 、 $NDVI_B$  已知),将这两个像元代入 (6) 式,可得:

$$f_A = (NDVI_A - NDVI_{soil}) / (NDVI_{veg} - NDVI_{soil})$$

(7)

$$f_B = (NDVI_B - NDVI_{soil}) / (NDVI_{veg} - NDVI_{soil})$$

(8)

对 (7)、(8) 中的  $NDVI_{soil}$ 、 $NDVI_{veg}$  求解可得:

$$NDVI_{soil} = (f_B \times NDVI_A - f_A \times NDVI_B) / (f_B - f_A)$$

(9)

$$NDVI_{veg} = [(1 - f_B) \times NDVI_B - (1 - f_A) \times NDVI_A] / (f_B - f_A)$$

(10)

理想状况下,假设  $f_B = 1$ 、 $f_A = 0$ ,则  $NDVI_A = NDVI_{soil}$ ,  $NDVI_B = NDVI_{veg}$ 。但实际上,  $f_B$  总是小于 1,  $f_A$  总是大于 0,但  $f_B - f_A$  值越大所得结果越精确。在野外调查中,选取了一块面积较大的农田,并实测农田的植被覆盖度为  $f_B = 0.9$ ,在影像上找到农田所对应像元的值为  $NDVI_B = 0.683$ 。 $NDVI_{soil}$  应该是不随时间改变的,理论上无植被覆盖的裸地像元的  $NDVI_{soil}$  应该接近零。但是受大气状况、地表粗糙度、地表水分状况等的影响,  $NDVI_{soil}$  随空间、时间而变化,所以  $NDVI_{soil}$  值不是固定不变的,应该根据不同研究区的具体情况来确定  $NDVI_{soil}$  的值。本研究采用在图像上选取典型像元的方法,首先在图像上选定一块面积较大的流沙斑块,其内部包含植被覆盖度为零的像元并且没有水体分布,然后在斑块内查找  $NDVI$  值最小的像元,并将该值作为  $NDVI_{soil}$ 。对影像做  $NDVI - NDVI_{soil}$  运算,检查运算结果,如果结果中所有像元的取值没有负值出现,则表明所选  $NDVI_{soil}$  值符合要求。经过反复试验,确定  $NDVI_{soil}$  值为 0.063。

将  $f_A = 0$ ,  $NDVI_{soil} = 0.063$ ,  $f_B = 0.9$ ,  $NDVI_B = 0.683$  代入 (10) 式得到  $NDVI_{veg} = 0.76$ 。

将  $NDVI_{soil} = 0.063$ ,  $NDVI_{veg} = 0.76$  代入 (6) 式得到:

$$f_c = (NDVI - 0.063) / (0.697)$$

(11)

利用 (11) 式逐像元计算植被覆盖度。

### 2.3 精度验证

为了定量分析上述植被覆盖度估算模型的准确性,2002、2004 年 8 月下旬对研究区植被覆盖度进行了野外测定。野外植被覆盖度测定采用样线法,按低盖度区 ( $0 < f_c < 10\%$ , 样方  $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ )、中盖度区 ( $10\% < f_c < 30\%$ , 样方  $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ )、高盖度区 ( $30\% < f_c < 100\%$ , 样方  $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ ) 分别布设样地,其中低盖度区样地 11 块、中盖度区样地 43 块、高盖度区样地 57 块,每块样地都通过手持 GPS 进行精确定位。应用 ARCGIS 9.1 的 Zonal Statistic 功能,根据样方中心坐标在植被覆盖度图像上提取对应像元的植被覆盖度,分别以野外实测数据和影像提取数据为坐标轴绘制散点图 (图 1),由图中可见,实测值与提取值之间不存在系统的偏差,差异最大不超过 18%,两组数据的  $R^2$  为 0.844 2,即线性相关系数  $R$  为 0.92。根据误差 = (提取值 - 实测值) / (实测值) 计算提取值相对于实测值的误差,得到提取值的误差分布 (图 2),由图中趋势线可知,当实测值较小时多为正向误差且误差较大,当实测值较大时多为负向误差且误差较

小。对各地提取值误差取绝对值后进行统计,低盖度区平均误差为 40.8%,中盖度区平均误差为 20.7%,高盖度区平均误差为 16.4%,三者加权的平均误差为 20.6%,即平均精度为 79.4% (表 2)。本模型在低盖度区应用时计算值偏大且误差较大,这主要是因为,植被覆盖度越低,土壤背景的影响越明显;当植被覆盖度较大时计算值偏小且增加缓慢,这可能与  $NDVI$  饱和点低有关。

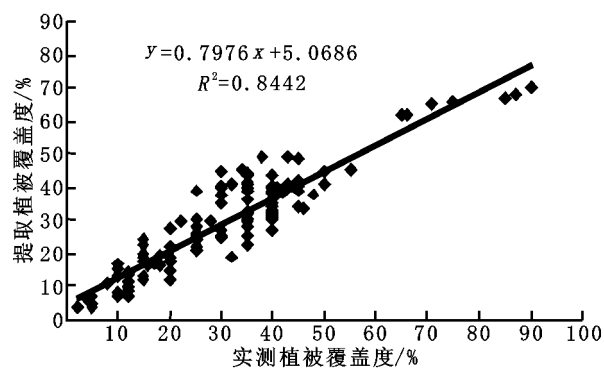


图 1 实测数据与提取数据散点图

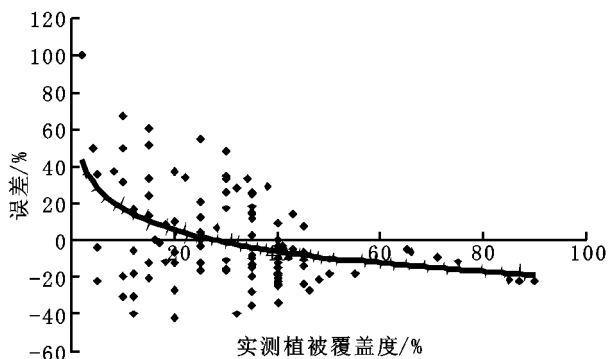


图 2 误差分布

表 2 不同盖度区精度

盖度区	样地数量	平均误差/ %	三类样地类型的加权平均误差/ %
低盖度区	11	40.8	20.6
中盖度区	43	20.7	
高盖度区	57	16.6	

### 2.4 模型应用

沙化土地植被覆盖度等级的划分多依据植被防风固沙效果,一般地,按植被覆盖度的大小可以把沙地划分为流动沙地 (盖度  $0\% \sim 10\%$ )、半固定沙地 (盖度  $10\% \sim 30\%$ ) 和固定沙地 (盖度  $30\% \sim 100\%$ ) 3 种类型<sup>[7]</sup>。这种划分比较准确地概括了沙漠化过程中植被的量变和质变规律,本文的植被覆盖度等级划分也采用该标准。由于本研究采用的像元二分模型在盖度较低地区容易高估盖度,当实测盖度为 10% 时误差在 30% 左右,并多为高估,所以在利用求算的盖度进行荒漠化程度分级时对估算数据做一定的调整是必要的,调整如下:流动沙地 ( $0 < f_c < 13\%$ ),半固定沙地 ( $13\% < f_c < 30\%$ ),固定沙地 ( $30\% < f_c < 100\%$ )。在 ERDAS 8.6 下对分级图像进行 Clump 和 Eliminate 处理,将小于 3 个像元的斑块合并到临近的多像元斑块,这样在评价时不仅考虑了单像元的信息,同时还考虑到了临近像元的信息,从而避免出现严重的逻辑错误。图 3 是分级后得到的毛乌素沙地沙漠化土地分布图,图中无数据区为水体。根据水体的光谱特性,水体在红光波段的反射率为  $2\% \sim 3\%$ ,对近红外波段的入射光几乎完全吸收,所以通常情况下,水体像元的  $TM_4 - TM_3$ ,即水体像元的  $NDVI$  值为负值,小于裸沙像元的  $NDVI$  值,所以水体所对应像元的

植被覆盖度也一定是负值。在毛乌素沙地,由于水体面积较小,在沙漠化监测与评价的研究中水体不是我们最关注的,因此将水体予以掩膜,不参与计算。经计算,毛乌素沙地流动沙地约占 22.54%,半固定沙地约占 49.74%,固定沙地约占 27.72%。研究表明,毛乌素沙地的沙漠化程度还是比较严重的,沙漠化由东南向西北呈加重趋势,具体表现为流动沙地面积增加,固定沙地面积减少。

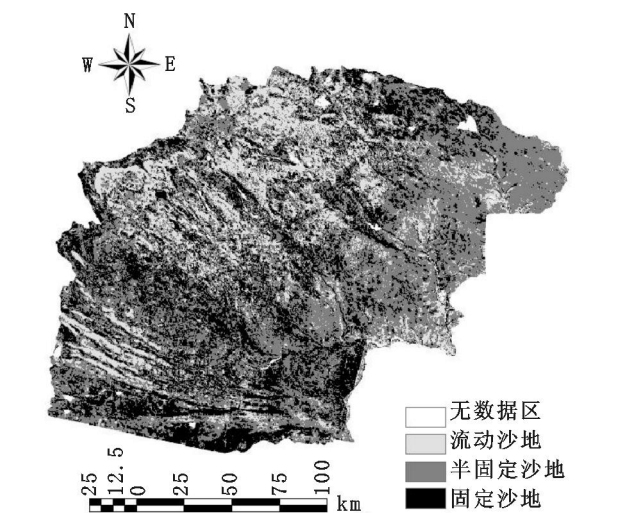


图 3 毛乌素沙地沙漠化土地分布图

3 结论与讨论

本研究利用像元二分模型提取了毛乌素沙地植被覆盖度,经验证平均精度为 79.4%,实测数据与影像提取数据的

参考文献:

[1] 章文波,符素华,刘宝元. 目估法测量植被覆盖度的精度分析[J]. 北京师范大学学报(自然科学版),2001,37(3):402-408.

[2] 张云霞,李晓冰,等. 草地植被盖度的多尺度遥感与实地测量方法综述[J]. 地球科学进展,2003,18(1):85-93.

[3] 范文义,徐程扬,叶荣华,等. 高光谱遥感在荒漠化监测中的应用[J]. 东北林业大学学报,2000,28(5):139-141.

[4] 王晓慧,等. 沙化土地信息提取研究[J]. 林业科学,2005,41(3):82-87.

[5] Toby N. On the Relation between NDVI, Fractional Vegetation Cover, and Leaf Area Index[J]. Remote Sensing of Environment,1997,62:241-252.

[6] Charlesi, Arvon I. A Review of Mixture Modeling Techniques for Subpixel Land Cover Estimation[J]. Remote Sensing Reviews,1995,13:161-186.

[7] 李晓松,吴波,等. 基于光谱混合分析的荒漠化信息提取 - 以毛乌素沙地为例[J]. 林业科学研究,2006,19(2):192-198.

[8] 陈晋,陈云浩,何春阳,等. 基于土地覆盖分类的植被覆盖率估算亚像元模型与应用[J]. 遥感学报,2001,5(6):416-422.

[9] 高志海. 基于 RS 和 GIS 的绿洲植被与荒漠化动态研究[D]. 北京林业大学博士论文,2003.

[10] 乔锋,张克斌,张生英,等. 农牧交错区植被覆盖度动态变化遥感监测 - 以宁夏盐池为例[J]. 干旱区研究,2006,23(2):283-288.

[11] Qi j, R C. Marsett. Spatial and temporal dynamics of vegetation in the San Pedro river basin area[A]. Agricultural and Forest Meteorology,2000,105:55-68.

[12] 北京大学地理系等. 毛乌素沙区自然条件及其改良利用[M]. 北京:科学出版社,1983.

[13] 李孝芳. 荒漠化、沙漠化和干旱化名词释义及其在我国的应用[A]. 见:李孝芳. 中国干旱地区自然资源研究[C]. 北京:科学出版社,1988.

[14] 吴波. 沙质荒漠化土地景观分类与制图 - 以毛乌素沙地为例[J]. 植物生态学报,2000,24,(1):52-57.

[15] 田庆久. 植被指数研究进展[J]. 地球科学进展,1998,13(4):327-333.

[16] Kaufman, Y J, Tanre, D. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS - MODIS[J]. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 1992,30:261-270.

[17] Liu, H Q, A R. Huete. A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise[J]. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens,1995,33:481-486.

[18] Nemani, R, L Pierce, S Running, L. Band. Forest Ecosystem Processes at the Watershed Scale:Sensitivity to Remotely Sensed Leaf Area Index Estimates[J]. Intl. J. Remote Sens,1993,14, 2519-2534.

[19] Brown, L J, J M Chen, S G Leblanc, et al. Short Wave Infrared Correction to the Simple Ratio: An Image and Model Analysis[J]. Remote Sensing of Environment, . 2000,71:16-25.

[20] 唐世浩,朱启疆,等. 三波段梯度差植被指数的理论基础及其应用[J]. 中国科学,D 辑,2003,(11) 33:1094-1102.

相关系数为 0.92。研究表明,该方法为沙区大范围植被覆盖度估算提供了一种有效途径,基本能够满足生态及气候模型研究的需要。从毛乌素沙地的特点来看,混合密度模型可能更符合实际情况,但需要确定消光系数和叶面积指数,本研究没有采用,希望能在今后的研究有所涉及。

$NDVI_{soil}$  和  $NDVI_{veg}$  的取值是采用像元二分模型需要解决的关键问题,由于研究区流沙广泛存在,所以采用影像上提取的方法确定  $NDVI_{soil}$ 。受图像分辨率的影响,在沙漠化地区很难找到全植被覆盖像元,本文采用计算的方法确定  $NDVI_{veg}$ ,实践证明是可行的。通过野外考察发现,毛乌素沙地的植被组成较复杂,由于不同植物叶绿素含量是不同的,即不同植物的光谱特性不同,所以理想的情况是首先区分出不同的植被类型的分布范围,再分别根据不同模型求算植被覆盖度,这应该是以后探索的一个方向。

本研究采用的模型在低盖度区提取值误差较大,这与低盖度区土壤背景影响较大有关;当植被盖度较高时提取值偏低,这可能与  $NDVI$  饱和点低有关。这些问题是由  $NDVI$  定义本身和植被的光谱响应特点决定的,从一定意义上说是无法克服的。针对两波段植被指数的缺陷,国外学者研究了三波段植被指数,如  $ARVI^{[16]}$ 、 $SARVI^{[17]}$ 、 $MNDVI^{[18]}$ 、 $RSR^{[19]}$ ,其中  $ARVI$ 、 $SARVI$  可以降低大气的影响, $MNDVI$ 、 $RSR$  可以降低土壤背景的影响。国内学者也进行了这方面的探索,如唐世浩等<sup>[20]</sup>提出了  $TGDVI$ ,理论分析和模型模拟研究表明,  $TGDVI$  具有高饱和点和一定的背景影响消除能力,并可以和植被覆盖度、叶面积指数建立比较明确的函数关系,此外,  $TGDVI$  也有一定的去除薄云影响的能力。三波段植被指数是否适用于沙漠化地区植被信息提取以及需要做哪些改进,还需要做进一步的探讨。