

文章编号: 1007-4619(2005)01-0093-07

# NDVI- $T_s$ 空间全国土地覆盖分类方法研究

王长耀, 骆成凤, 齐述华, 牛 铮

(中国科学院 遥感应用研究所遥感科学国家重点实验室, 北京 100101)

**摘 要:** 利用 NDVI- $T_s$  空间进行全国土地覆盖分类的方法。该方法利用 1995 年 NOAA 10 天合成的 ch4、ch5 通道亮温, 先计算出陆地表面温度 ( $T_s$ ), 然后用最大值合成法计算每月的最大  $T_s$  和 NDVI, 以每月最大  $T_s$  和 NDVI 建立 NDVI- $T_s$  空间。根据像素点 (NDVI,  $T_s$ ) 在空间中的位置矢量, 求出矢量在空间中的方向角度, 并作归一化处理, 得到温度植被角度 (NTVA)。对 12 个月 NTVA 做主成分变换提取前三个主分量, 辅以全年总 NDVI 和大于 0°C  $T_s$  积温, 用模糊  $K$ -均值法进行全国土地覆盖分类。研究结果表明, 基于 NDVI- $T_s$  空间的 NTVA 与 NDVI、 $T_s$  一起作为分类特征在土地覆盖分类中具有较高的分类精度, 能够取得较好的分类效果。

**关键词:** 土地覆盖分类; NDVI;  $T_s$ ; NTVA

**中图分类号:** TP79/F301.24 **文献标识码:** A

## 1 引 言

土地利用/土地覆盖(LUCC)是自然与人文过程交叉最密切的环节, 土地系统是反映人与自然关系的人地交互系统。全球环境变化直接影响到土地利用/土地覆盖变化, 通过对 LUCC 的研究, 可以反演气候与人类活动驱动因子的影响程度; 同样, 关于土地利用/土地覆盖变化(LUCC)对气候变化的反馈作用研究将有助于提高预测全球变化对陆地生态系统的影响能力。1990 年, 全球变化研究委员会(Committee for Research on Global Change) 和社会科学研究理事会(Social Science Research Council) 成立了“土地利用和土地覆盖组”(Landuse / Cover Group), 并发展了“土地利用和土地覆盖学科研究计划”。地球学科研究办公室-UCAR(US)于 1991 年提出了 LUCC 研究的建议:“土地利用和土地覆盖变化:全球展望”<sup>[1]</sup>。

遥感技术为获取大区域尺度土地覆盖信息提供了便利的数据获取手段。1992 年, IGBP 指定 AVHRR 1km 数据集为全球尺度土地覆盖制图的重要数据源。同年 EPA 和 NOAA 制作出了 1982—1992 全球 NOAA-AVHRR 16km 数据集光盘。继后 1981—1994 年 NOAA-AVHRR 8km 数据集光盘以及 1993 年

NOAA-AVHRR 1km 数据光盘陆续面世。亚洲遥感协会(AARS)的土地覆盖工作组(Land Cover Working Group, LCWG)也建立了为满足研究和利用需要的土地覆盖数据集。

近年来多时相 NOAA-AVHRR 数据在研究低分辨率土地覆盖<sup>[2-4]</sup>和土地覆盖变化分析<sup>[5-7]</sup>等方面引起很多研究者的兴趣。这些工作基本上都是在强调利用植被指数同时, 或者引入其他的遥感观测数据, 如用 AVHRR 第 3 通道数据来定位森林边界<sup>[8]</sup>; 或者引入其它辅助信息, 如年均降水量、年均温度、高程等<sup>[9]</sup>来提高分类精度。由于这些辅助数据一般都是由观测点数据通过空间插值的方法获得, 在观测点稀疏而地形复杂的地区, 这样的辅助数据并不可靠。事实上, 只要合理利用 NOAA 时间序列资料, 不需要观测点数据资料进行土地覆盖分类也能够达到较高的精度, Lambin 和 Strahler 的研究<sup>[10]</sup>表明利用  $T_s$ /NDVI 的时间序列数据进行土地覆盖分类比单独利用 NDVI 或  $T_s$  时间序列数据有更高的精度。

Goward 与 Hope 在 1989 年发现<sup>[11]</sup>当研究区域的植被覆盖范围较大时, 以遥感资料得到的  $T_s$  和 NDVI 为横纵坐标得到的散点图呈三角形; Price 在 1990 年发现<sup>[12]</sup>其呈梯形, 这就是所谓的 NDVI- $T_s$  空间。自从 Price 利用 NDVI- $T_s$  空间研究区域蒸散<sup>[12]</sup>以来, NDVI- $T_s$  空间被广泛用于获取陆地表面过程

收稿日期: 2004-04-06; 修回日期: 2004-05-19  
(c)1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

基金项目: 国家高技术研究发展计划 863-308-13-03(02)、2003AA131020 以及中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1-SW-01-02)。

作者简介: 王长耀(1941—), 男, 研究员。主要从事遥感土地覆盖分类及变化检测研究, 发表论文 50 多篇。Email: wangcy@irsa.irsas.ac.cn

中模拟所需要的参数,如气温<sup>[13]</sup>、叶温和土壤表面温度<sup>[14, 15]</sup>和土壤水分状况<sup>[16]</sup>等。

本文在分析  $NDVI/T_s$  特征空间的基础上,提出适于区分不同土地覆盖类型的归一化温度植被角度 ( $NTVA$ )。利用 NOAA-AVHRR 1km 分辨率  $NDVI$ 、 $T_s$  数据,计算出全国 12 个月份  $NTVA$ , 根据不同土地覆盖类型的  $NTVA$  时间变化特征进行全国土地覆盖分类研究。

## 2 原理

### 2.1 $NDVI-T_s$ 特征空间

图 1 是理想  $NDVI-T_s$  特征空间。如图所示, A 和 B 分别代表干土和湿土;随着植被覆盖度的增加,陆地表面温度降低, C 点代表植被冠层气孔完全处于关闭状态下的连续植被冠层,具有最大的冠层阻力;相反 D 点代表完全无水分胁迫状态下的连续植被冠层,具有最小的冠层阻力; A—C 代表陆表阻力最大条件下的“干边”; B—D 代表无水分胁迫条件下的“湿边”<sup>[11]</sup>。

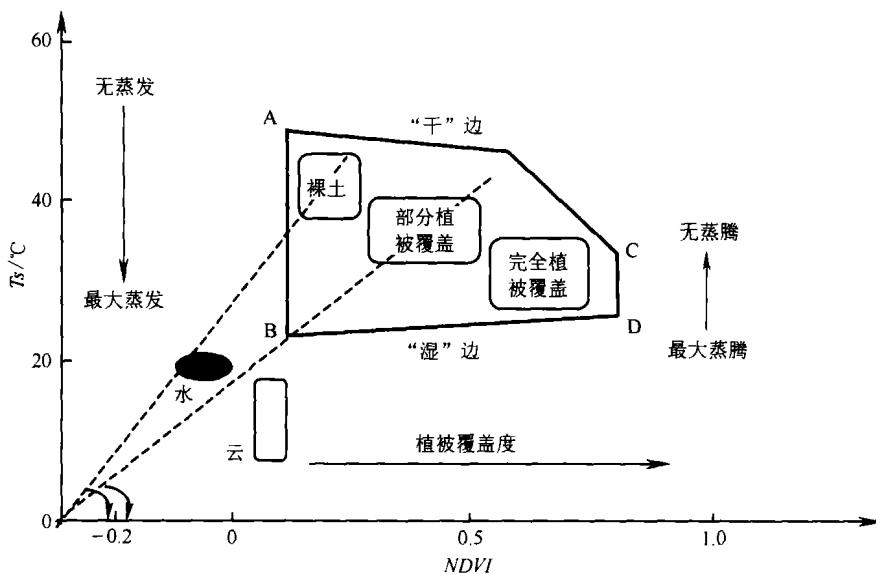


图 1  $NDVI-T_s$  空间(参考 Goward and Hope 1989<sup>[11]</sup>, Nemani *et al.* 1993<sup>[21]</sup>)

Fig. 1  $NDVI-T_s$  Space (Reference from Goward and Hope 1989<sup>[11]</sup>, Nemani *et al.* 1993<sup>[21]</sup>)

### 2.2 归一化温度植被角度 ( $NTVA$ )

由图 1 的  $NDVI-T_s$  空间可以看出,高植被覆盖像素具有较小的  $T_s/NDVI$ ,低植被覆盖像素  $T_s/NDVI$  较大。陈云浩等<sup>[22]</sup>对  $NDVI$  和  $T_s/NDVI$  影像

对  $NDVI-T_s$  关系的准确理解是有效利用  $NDVI-T_s$  空间蕴涵信息的前提。许多研究发现  $NDVI$  与  $T_s$  之间存在显著的负相关关系<sup>[11, 17-19]</sup>。在不同的土地覆盖、气候和土壤水分环境以及地理位置条件下,  $NDVI-T_s$  关系的主要控制机制是不同的,在表层土壤水分不足的条件,蒸腾过程主导着  $NDVI-T_s$  负相关关系<sup>[11]</sup>,而在表层土壤水分充分的条件下植被冠层和表层土壤热属性的差异主导着  $NDVI-T_s$  负相关关系<sup>[20]</sup>。此外在高纬度地区,能量成为植被生长的主要限制因子的时候,植被指数随  $T_s$  的增加而增加,这种情况在秋季植被衰老期和春季植被生长期也会发生,  $NDVI-T_s$  表现为正相关关系。Friedl 和 Davis 发现<sup>[20]</sup>  $NDVI-T_s$  关系在不同的土地覆盖条件下表现是不同的。

利用  $NDVI-T_s$  空间进行土地覆盖分类的关键是将  $NDVI-T_s$  空间中数据点的位置以一定特征值表现出来,将  $NDVI-T_s$  二维空间中数据点的二维特征转化为一维特征。为了增加不同植被类型的可分性,利用一维特征值的时间序列数据进行土地覆盖分类,这样可以有效利用不同植被类型的季相物候特征。

信息熵的研究表明:与  $NDVI$  影像比较,  $T_s/NDVI$  影像包含更丰富的信息,利用  $T_s/NDVI$  可提高土地覆盖分类精度和土地覆盖变化的检测能力。但是  $T_s/NDVI$  具有明显的不足:当  $NDVI$  较小(譬如沙漠、裸地)时,将导致  $T_s/NDVI$  趋于无穷大,不利于图像的

分类处理。为了克服该缺点,本文对  $T_s/NDVI$  取  $\arctg$  函数构建温度植被角度(Temperature-Vegetation Angel Index,  $TVA$ ) 函数。 $\arctg$  函数是单调递增函数,当  $T_s/NDVI$  趋于无穷大时, $\arctg(T_s/NDVI)$  趋于  $\pi/2$ 。温度植被角度在保留  $T_s/NDVI$  的优势的同时,克服了  $T_s/NDVI$  的缺点。

此外,一些在初春、冬季以及常年积雪的像素点,陆地表面温度会出现负值,在  $NDVI-T_s$  空间中会落在直角坐标系中的第 2、3 和 4 象限,为了使数据点全部落在第一象限内,在考察每月  $NDVI/T_s$  空间特征的基础上对  $NDVI$  和  $T_s$  做相应的坐标平移;其次为了使  $NDVI$  和  $T_s$  在相同的数量级下,对  $NDVI$  放大 100 倍,从而得到归一化温度植被角度(Normalized Temperature-Vegetation Angel,  $NTVA$ ):

$$NTVA = \arctg\left[\frac{(T_s + 50 / (100 * NDVI))}{\pi/2}\right] \quad (1)$$

### 3 数据处理

我们采用美国 Land Process Distributed Archive Center<sup>[23]</sup>的 1995 年 NOAA-AVHRR 10 天合成第四、第五波段亮温以及  $NDVI$  数据。据 Becker 和 Li<sup>[24]</sup>提出的陆地表面温度反演算法,用第四、第五波段亮温算出每旬的  $T_s$ ;再用最大值合成法分别得到每月的最大  $NDVI$  和  $T_s$ ;根据(1)式分别计算出 12 个月的  $NTVA$ ;采用  $PCA$  变换将 12 个月份中有用的  $NTVA$

信息中的绝大部分压缩到少量的前几个主分量中,在信息损失最小的前提下,用较少的分量代替原来的高维数据,可以大大减少数据处理的时间;另外  $PCA$  变换也可以部分排除由于数据质量等原因引起的噪声<sup>[2]</sup>。

对 12 个月份的  $NTVA$  做  $PCA$  变换,前三个主分量所含信息分别为:78.87%、8.72%、3.80%,占全部信息的 91.39%。用这三个主分量代表 12 个月份的  $NTVA$  作为主要分类特征参与分类。

如果用矢量来表示像素点( $NDVI, T_s$ )在  $NDVI-T_s$  空间的位置, $NTVA$  为其方向,可以用  $NDVI$  和陆地表面温度表征矢量模的大小。本文用年总  $NDVI$  和大于  $0^\circ\text{C}$  的  $T_s$  积温来表征矢量模,作为另外两个特征参与分类。

由于数据源中,水体在  $ch_4$ 、 $ch_5$  通道的亮温值为 0,所以在计算  $T_s$  值时将我们将水体作为异常值处理。在具体分类过程中,对水体部分作掩膜处理,不参与分类。

## 4 分类体系与分类

### 4.1 分类体系

本文用于分类的参数  $NDVI$  和陆面温度是表征土地覆盖的生物物理参数,为此我们借鉴 IGBP 的全球土地覆盖分类系统<sup>[25]</sup>和 1:4,000,000 中国植被图

表 1 全国土地覆盖分类体系

Table 1 Description of the Land-cover Classification System Used in This Study

代码	名称	定义
1	常绿阔叶林	土地覆盖为阔叶林,郁闭度大于 60%,四季长青的天然和人工林
2	常绿针叶林	土地覆盖为针叶林,郁闭度大于 60%,四季长青的天然和人工林
3	落叶阔叶林	土地覆盖为阔叶林,郁闭度大于 60%,有季节性落叶的天然和人工林
4	落叶针叶林	土地覆盖为针叶林,郁闭度大于 60%,有季节性落叶的天然和人工林
5	混交林	土地覆盖为林,任何一种树种覆盖度不超过 60%的天然和人工林
6	典型草地	土地覆盖为草地、覆盖度大于 60%
7	荒漠草地	土地覆盖为草地、覆盖度小于 60%
8	一年两熟或两年三熟农地	种植农作物的一年两熟或两年三熟的水田、旱地、经济林
9	一年一熟农地	种植农作物的一年一熟的水田、旱地、经济林
10	草甸沼泽	植被覆盖度高的丛生草地以及地势低洼,排水不畅、表面常年积水,表层生长湿生植物(禾本或木本)的土地
11	灌丛	土地覆盖为低于 2m 的灌木,郁闭度大于 60%
12	半灌木荒漠	植被覆盖度小于 5%以下的稀疏植被或无植被区,地表覆盖以岩石、砾石为主
13	沙漠	地表覆盖为沙、植被覆盖度小于 5%
14	城市及建设用地	土地覆盖为建筑物或人工设施,如城镇用地、工矿等
15	水体	天然陆地水域或水利设施如海洋、湖泊、河流水库等

采用的中国植被编码体系,结合遥感数据特点设计了二级土地覆盖分类体系(表 1)。

### 4.2 分类方法

本文使用模糊  $K$ -均值非监督分类法对以上数据进行分类。与  $K$ -均值非监督分类相比较,模糊  $K$ -均值非监督分类法属于一种软划分方法。 $K$ -均值聚类认为每个待识别的对象非此即彼,将它们严格地划分到某个类别中,属于硬划分方法。而模糊  $K$ -均值聚类认为每个待识别的对象是模糊“隶属”某一类别的,按照据隶属函数计算出的隶属度将其聚类到某个类别中。本研究使用的 1km 分辨率数据源,内含大量的混合象元,数据所反映的大多数地物覆盖在形态和类属方面存在着中介性,没有确定

的边界来区分它们,因此需要选择模糊  $K$ -均值非监督分类对其进行软划分,以更好地区分地物的不同类别。

## 5 结果与讨论

### 5.1 分类结果

用 AVHRR 数据分类时,因为 1km 粗空间分辨率影像内难以分出建筑或城市像素,我们利用全国城市范围多边形矢量叠加,根据多边形内和周边像素  $DN$  值确定是否为城市或建筑像素。全国土地覆盖分类结果图如下:

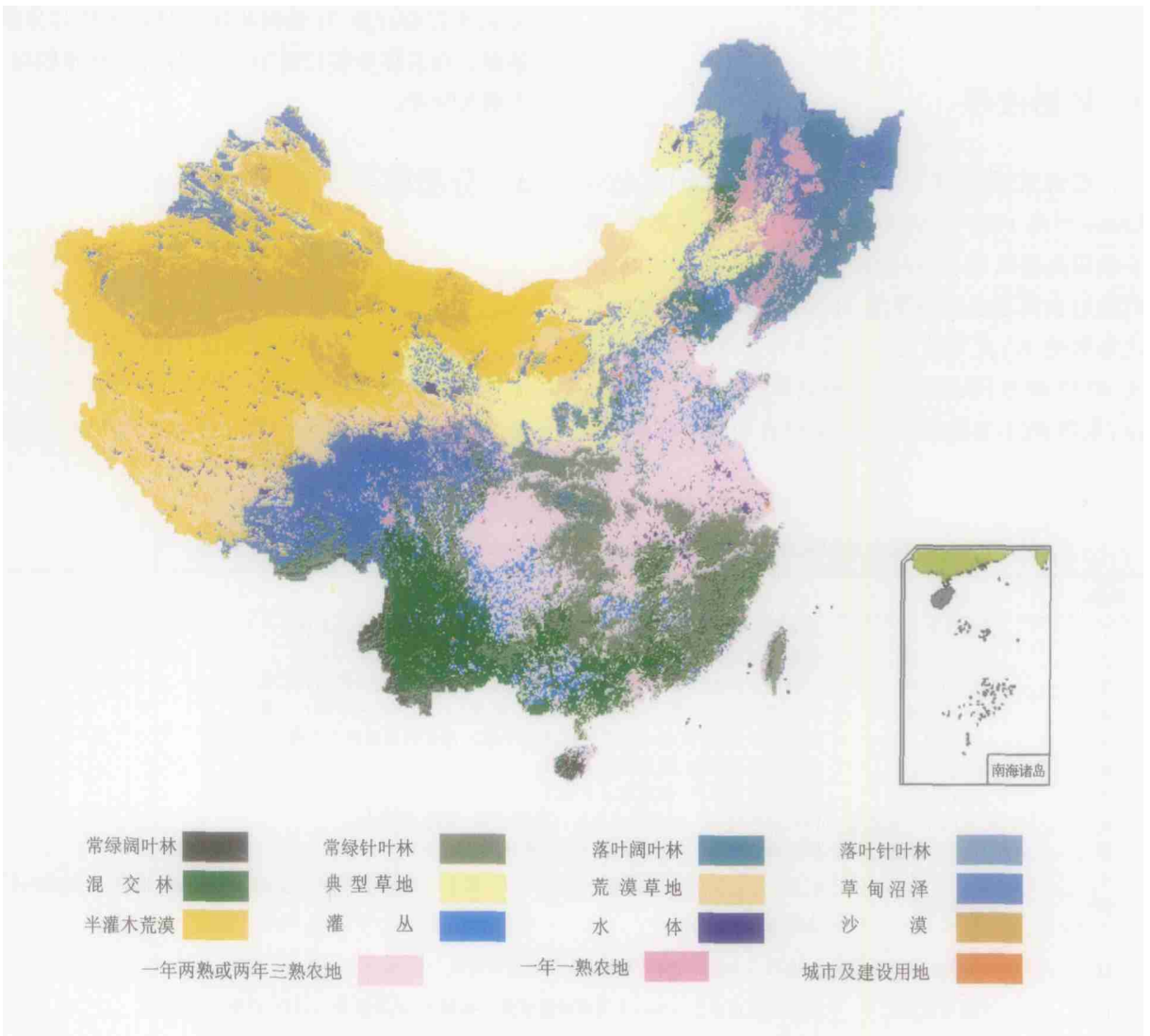


图 2 全国土地覆盖分类结果图

从分类结果图上可以看出,大致以大兴安岭—吕梁山—青藏高原东南缘一线以东的土地覆盖类型的植被覆盖度较高,而该线以西的覆盖类型覆盖度较低。中国的耕地主要分布在东部,尤其是东北平原、四川盆地、长江中下游平原、黄淮海平原等地区,从分类结果图上统计得到我国耕地面积为  $2.119 \times 10^{12} \text{hm}^2$ ,与我国耕地面积<sup>[26]</sup>相差2%左右;林地主要分布在大兴安岭—吕梁山—青藏高原东南缘一线以东的各大山脉,如东北的大、小兴安岭、长白山、西南的横断山地区等;草地主要集中分布在北部和西部地区,大致在大兴安岭—吕梁山—横断山一线以西的地区,由于草地、森林与土地利用类别定义不同,

分类结果数据没有进行比较;西北地区和青藏高原区则集中分布了荒漠、沙漠。从分类结果图中统计出全国沙漠面积为  $7.149 \times 10^7 \text{hm}^2$ ,与中国现有沙漠总面积(约  $7.129 \times 10^7 \text{hm}^2$ )<sup>[27]</sup>比较接近。

## 5.2 精度评价

在分类图上随机选取 385 个样点进行精度评价。使用 1:4000000 比例尺《中国植被图》(1971);1990—1995 年的地面森林抽样清查数据;高精度 TM 图像的土地利用分类数据库(1992—1995)等来标识这些样点的类别。精度评价总精度为 78.701%,  $Kappa$  系数为 0.761。精度评价混淆矩阵如下表:

表 2 分类结果混淆矩阵

Table 2 Accuracy Assessment of Different Land-cover Types

类别	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	用户精度/%	$Kappa$ 系数
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	50.00	0.488
2	3	16	0	1	4	0	0	2	0	1	0	0	0	27	59.26	0.5679
3	0	1	14	2	1	0	0	1	5	0	1	0	0	25	56.00	0.5384
4	0	0	0	7	1	0	0	0	0	0	0	1	0	9	77.78	0.77
5	5	3	0	0	22	0	0	0	0	1	0	0	0	31	70.97	0.6825
6	0	0	0	1	0	21	1	0	0	0	0	1	0	24	87.50	0.8663
7	0	0	0	0	0	1	34	0	0	1	0	2	0	38	89.47	0.879
8	0	2	1	0	2	0	0	42	0	1	0	0	0	48	87.50	0.8585
9	0	0	1	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	14	92.86	0.9251
10	0	0	2	2	0	2	1	0	0	30	0	1	0	38	78.95	0.7684
11	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	8	0	5	11	72.73	0.72
12	0	0	0	0	0	1	13	0	0	0	1	69	26	89	77.53	0.72
13	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	29	89.66	0.8875
总计	9	22	18	13	33	25	50	45	18	35	10	76	31	385		
地表精度/%	11.1	72.7	77.8	53.9	66.7	84	68	93.3	72.2	85.7	80	90.8	83.9			

(类别用 1,2,3... 与分类系统中的代码对应)

从混淆矩阵可以看出常绿阔叶林的几种精度指数都较低,其中地表精度只有 11.1%,同时它只和混交林以及常绿针叶林混合。这可能有两个原因,一方面大尺度像元的混合像元大概率导致;另一方面可能是我们用来确定检验样本的类别所使用的各参照点定义不一致。

## 6 结论及展望

本文运用完全由遥感数据反演得到的  $NDVI$  和  $T_s$ (陆地表面温度)时序资料对全国 1995 年 NOAA-AVHRR 数据进行土地覆盖分类。提出在  $NDVI-T_s$  空间基础上构造的新指数——归一化温度植被角

度。采用 PCA 方法对其 12 个月的时间序列数据做信息增强与压缩处理,提取的主要信息和  $NDVI$  年总和、温度大于  $0^\circ\text{C}$  的年积温一起参与分类。依据 IGBP 分类系统和参照中国植被图的分类体系,提出了一个 15 类的二级分类体系。采用模糊  $K$ -均值非监督分类方法进行分类,得到了 1995 年全国土地覆盖分类图,其验证精度为 78.701%。

基于  $NDVI-T_s$  空间的归一化温度植被角度  $NIVA$  是一个有效的宏观土地覆盖分类参数。用它和表征  $NDVI$  和  $T_s$  的特征的年点  $NDVI$  和大于  $0^\circ\text{C}$  的  $T_s$  年积温作为分类参数,在没有其他非遥感信息参与的前提下,仅利用 AVHRR 自身粗分辨率信息对全国土地覆盖进行宏观分类就可达到较高精度。

本研究用 AVHRR 1km 数据得到的 *NDVI-Ts* 空间进行了全国土地覆盖分类研究, 下一步工作准备利用 MODIS 数据构建 *NDVI-Ts* 空间和 *EVI-Ts* 空间进行全国土地覆盖分类研究; 如何有效地利用 *NDVI-Ts* 空间来检测地表覆盖变化、变化类型是更进一步的工作。

## 参 考 文 献 (References)

- [1] Li X B. A Review of the International Researches on Land Use/Land Cover Change [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1996, **51** (67): 553~557. [李秀彬. 全球环境变化研究核心领域——土地利用/土地覆盖变化的国际研究动向 [J]. 地理学报, 1996, **51** (67): 553—557.]
- [2] Townshend J R, Justice C R, Kalb V. Characterization and classification of south American land cover types using satellite data [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1987, **8**: 1189—1207.
- [3] Lloyd D. A phenological classification of terrestrial vegetation cover using shortwave vegetation index imagery [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1990, **11**: 2269—2279.
- [4] Stone T, Schlesinger P, Houghton T, Woodwell G. A map of the vegetation of South America based on satellite imagery [J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 1994, **60** (5): 541—551.
- [5] Nelson R, Holben B. Identifying deforestation in Brazil using multi-resolution satellite data [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1986, **7**: 429—448.
- [6] Tucker C J, Dregne H E, Newcomb W W. Expansion and contraction of the Sahara desert from 1980 to 1990. [J], *Science*, 1991, **253**: 299—301.
- [7] Lambin E F, Strahler A H. Change vector analysis: a tool to detect and categorize land cover change processes using high temporal-resolution satellite data [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1994, **48**: 231—244.
- [8] Malingreau J P, Tucker C J, Laporte N. AVHRR for monitoring global tropical deforestation [J]. *International Journal of Remote Sensing*. 1989, **10**: 855—867.
- [9] Liu J Y, Zhuang D F, Luo D, Xiao X. Land-cover classification of China: integrated analysis of AVHRR imagery and geophysical data [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2003, **24** (12): 2485—2500.
- [10] Lambin E F, Ehrlich D. Combining vegetation indices and surface temperature for land cover mapping at broad scales [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1995, **16**: 573—579.
- [11] Goward S N, Hope A S. Evaporation from combined reflected solar and emitted terrestrial radiation: Preliminary FIFE results from AVHRR data [J]. *Advances in Space Research*, 1989, **9**: 239—249.
- [12] Price J C. Using spatial context in satellite data to infer regional scale evapotranspiration [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1990, **28**: 940—948.
- [13] Prihodko L, Goward S N. Estimation of air temperature from remotely sensed surface observations [J]. *Remote Sens. Environ.*, 1997, **60** (3): 335—346.
- [14] Boegh E, Soegaard H, Hanan N, Kabat P, Lesch L. A Remote Sensing Study of the *NDVI-Ts* Relationship and the Transpiration from Sparse Vegetation in the Sahel Based on High-Resolution Satellite Data [J]. *Remote Sens. Environ.* 1998, **69**: 224—240.
- [15] Nishida K, Nemani R R, Glassy J M, Running S W. Development of an evapotranspiration index from Aqua/MODIS for monitoring surface moisture status [J]. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 2003, **41** (2): 493—501.
- [16] Goward S N, Xue Y, Czajkowski K P. Evaluating land surface moisture conditions from the remotely sensed temperature/vegetation index measurement: A exploration with the simplified simple biosphere model [J]. *Remote Sens. Environ.*, 2002, **79**: 225—242.
- [17] Goward S N, Cruickshanks G D, Hope A S. Observed relation between thermal emission and reflected radiance of a complex vegetated landscape [J]. *Remote Sensing of Environment*. 1985, **18**: 137—146.
- [18] Nemani R R, Running S W. Estimation of regional surface resistance to evapotranspiration from NDVI and thermal IR AVHRR data [J]. *Journal of Applied Meteorology*. 1989, **7**: 1—11.
- [19] Goward S N, Waring R H, Dye D G, Yang J. Ecological remote sensing at OTTER; satellite macroscale observations [J]. *Ecological applications*. 1994, **4**: 322—343.
- [20] Friedl M A, Davis F W. Source of variation in radiometric surface temperature over a tallgrass prairie [J]. *Remote Sens. Environ.* 1994, **48**: 1—17.
- [21] Nemani, Pierce, Running, Goward. Developing satellite derived estimates of surface moisture status [J]. *Journal of Applied Meteorology*. 1993, **32**: 548—557.
- [22] Chen Y H, Li X P, Shi P J. Research on land cover change based on NDVI&Ts Information [J]. *Quaternary Sciences*, 2003, **23** (3): 343. [陈云浩, 李晓兵, 史培军. 整合陆地表面温度与植被指数信息进行地表覆盖变化研究 [J]. 第四纪研究, 2003, **23** (3): 343].
- [23] <http://edcdaac.usgs.gov/1KM/comp10d.asp>.
- [24] Becker F, Li Z L. Toward a local split window method over land surface [J]. *Int. J. Re. Sens.* 1990, **11** (3): 369—393.
- [25] Belward A S. *et al*. The IGBP-DIS globe 1 km land cover data set (DISCover)-proposal and implementation plans: IGBP-DIS Working Paper No. 13, Toulours, France [R]. 1996.
- [26] Liu J Y. Macro-scale survey and dynamic study of natural resources and environment of China by remote sensing [M]. Beijing: China scientific & Technical Publishers, 1996. [刘纪远主编. 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.]

## A Method of Land Cover Classification for China Based on *NDVI-Ts* Space

WANG Chang-yao, LUO Cheng-feng, QI Shu-hua, NIU Zheng

(The State Key Laboratory of Remote Sensing Sciences, Institute of Remote Sensing Applications,  
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

**Abstract:** In this paper, a method based on *NDVI-Ts* space is proposed for Chinese land cover classification. The ten days composite  $ch_4$  and  $ch_5$  light temperatures for 1995 were used to estimate land surface temperature with split window method. Then the monthly land surface temperature and *NDVI* were produced with the maximum value composite from the 10-day composite  $T_s$  and *NDVI*. With the monthly  $T_s$  and *NDVI*, the monthly *NDVI-Ts* spaces were created. And pixel vector direction in the *NDVI-Ts* space was described with *NIVA* (Normalized Temperature Vegetation Angel). Principal Components Analysis (PCA) was used to compress the 12 monthly *NIVA* images and three Principal Components were extracted. Fuzzy *K*-mean algorithm in clustering was used with the three Principal Components, summation of monthly *NDVI* and accumulated  $>0^\circ\text{C}$   $T_s$  image to produce China land cover classification map. The result revealed that remarkable improvement for land cover classification can be reached with the combination of *NDVI* and land surface temperature.

**Key words:** land cover classification; *NDVI*;  $T_s$ ; *NIVA*