基于 NOAA-AVHRR 数据的中国东部地区 植被遥感分类研究

李俊祥 达良俊 王玉洁 宋永昌

(华东师范大学环境科学系, 上海 200062)

摘要 该文采用 19 幅(时间跨 8 个月)时间序列的 NOAA-AVHRR 的归一化植被指数(*NDVI*)最大值合成影像遥感数据, 经过主分量分析(Principle component analysis, *PCA*)处理后, 用非监督分类方法的 ISODATA 算法, 对中国东部地区的(五省一市)植被进行分类, 结果可以分出 28 种土地覆盖类型, 除了两种类型为水体和城市或裸地外, 其余 26 种类型均为植被类型, 根据中国植被分类系统, 这 26 类可以归并为 6 大植被类型: 1)常绿阔叶林; 2)针叶林; 3)竹林; 4)灌草丛; 5)水生植被; 6)农业植被。用 1:1 000 000 数字化《中国植被图集》的植被类型检验遥感分类结果表明, 针叶林、灌草丛、常绿阔叶林和农业植被的分类具有较高的位置精度和面积精度, 位置精度分别为 79.2%、91.3%、68.2% 和 95.9%, 面积精度分别达到 92.1%、95.9%、63.8% 和 90.5%。这 6 大植被类型在地理空间上的分布规律与中国东部常绿阔叶林区植被的地带性分布基本一致。

关键词 植被分类 遥感 *NDVI* 主分量分析 中国东部

VEGETATION CLASSIFICATION OF EAST CHINA USING MULTI-TEMPORAL NOAA-AVHRR DATA

LI Jun-Xiang DA Liang-Jun WANG Yu-Jie and SONG Yong-Chang

(Department of Environmental Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract East China lies in the subtropical monsoon climatic zone and is dominated by subtropical evergreen broad-leaved forests, a unique vegetation type on earth mainly distributed in East Asia with the largest and most concentrated distribution in China. It is important to be able to monitor and estimate forest biomass and production, regional carbon storage, and global climate change impacts of these important vegetation types. In this paper, we used coarse resolution remote sensing data to identify the vegetation types in East China and develop a map of the spatial distribution of vegetation types in this region.

Nineteen maximum normalized difference vegetation index (*NDVI*) composite images (Acquisition time span 7 months from February through August), which were derived from 10-days of National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA) Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) channel 1 and channel 2 observations, and an unsupervised classification method, the ISODATA algorithm, was employed to identify the vegetation types. The image was processed using principal component analysis (*PCA*) to reduce the dimensions of the dataset resulting in a total of 28 spectral clusters of land cover of which 2 clusters were urban/bare soil and water. The 26 remaining spectral clusters were merged into 6 vegetation types: evergreen broad-leaved forest, coniferous forest, bamboo forest, shrub-grass, aquatic vegetation and agricultural vegetation using the Chinese vegetation taxonomy system. The spatial distribution and areal extent calculated for the coniferous forests, shrub-grass, evergreen broad-leaved forests and agricultural vegetation compared well with the Vegetation Atlas of China at a 1:1 000 000 scale. The spatial accuracy for coniferous forests, shrub-grass, evergreen broad-leaved forests and agricultural vegetation was 79.2%, 91.3%, 68.2% and 95.9%, respectively, and the area accuracy was 92.1%, 95.9%, 63.8% and 90.5%, respectively. The spatial and area accuracy of the bamboo forest was 28.7% and 96.5%, the spatial accuracy of aquatic vegetation was 69.6%, but there is great error in its area accuracy because image acquisition did not cover the full year. Our research demonstrated the feasibility of using NOAA-AVHRR to identify the different vegetation types in the subtropical evergreen broad-leaved forest zone in East China. The spatial location of the 6 identified vegetation

收稿日期: 2004-02-26 接受日期: 2004-10-19

基金项目: 本研究得到国家自然科学基金重点项目(30130060), 国家重点基础研究发展规划项目(2000046801), 上海市生态学重点学科和国家“211”生态学重点学科的资助

E-mail: jxli@des.ecnu.edu.cn

types coincided with the actual geographical distribution of the actual vegetation types in East China.

Key words Vegetation classification, Remote sensing, *NDVI*, Principal component analysis, East China

研究全球气候变化、人类活动对环境的胁迫以及各种尺度上的自然灾害对陆地生态系统的影响,都需要对以植被为主体的陆地生态系统有一个快速、准确地获取相关信息的能力,传统意义上的植被调查显然不能满足这种要求。遥感技术可以满足不同尺度下的植被类型调查的要求,是在宏观上获取植被信息的一种很好的手段。

卫星遥感在可见光波段和热红外波段的观测值可以用来提取土地覆盖特征和生物物理参数,用于支持包括全球变化在内的很多领域的研究(Running *et al.*, 1994)。NOAA-AVHRR 传感器能够提供高时间分辨率(日覆盖可达两次)和适度空间分辨率(星下点为 1.1 km)的数据以支持从区域到全球尺度的研究(Moody & Strahler, 1994; Sellers *et al.*, 1994)。许多大型的国际合作研究项目,如 IGBP(International Geosphere-Biosphere Programme)、IGAC(International Global Atmospheric Chemistry Project)、BAHC(Biospheric Aspects of the Hydrological Cycle)和 GCTE(Global Change and Terrestrial Ecosystems)都把 NOAA-AVHRR 数据作为重要的数据信息源(Ehrlich *et al.*, 1994)。现在,对大面积地区的植被分类信息的获取,已有 NOAA-AVHRR 数据、SPOT-4 卫星的 VEGETATION(VGT)数据(Mayaux *et al.*, 2000; Xiao *et al.*, 2002)、Terra 卫星的 MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)数据可供选择,三者都可以用来获取 1 km 分辨率的地表覆盖数据,但目前用得最多的遥感数据还是 NOAA-AVHRR 资料(DeFries & Townshend, 1994; Eidenshink & Faundeen, 1994; Sellers *et al.*, 1994; Townshend, 1994; Townshend *et al.*, 1994; Cihlar *et al.*, 1996)。

区域尺度乃至全球尺度的植被遥感分类,国内外已有报道(Zhu & Evans, 1994; Achard & Estreguil, 1995; 盛永伟等, 1995; Boyd & Ripple, 1997; 李晓兵和史培军, 1999),这些研究大多数使用源自 NOAA-AVHRR 遥感数据的 *NDVI* 资料或是结合 AVHRR 的其它通道数据。对于亚热带常绿阔叶林区的植被遥感分类研究,由于亚热带常绿阔叶林独特的地理分布(主要分布在东亚,中国是世界上亚热带常绿阔叶林分布面积最大和最集中的地区),以亚热带常绿阔叶林为主要研究对象的植被遥感分类,目前很少见诸报道。本文利用时间序列的 NOAA-

AVHRR 数据,对中国东部亚热带常绿阔叶林区的植被进行遥感分类,目的在于:1)探索 NOAA-AVHRR 遥感资料用于常绿阔叶林区植被分类的可能性;2)为中国东部地区的气候变化、森林生物量和生产力估算、区域碳储量模拟提供植被类型和分布数据。

1 数据处理及分类方法

1.1 数据及其处理

本文的研究范围为华东五省(安徽、江西、江苏、浙江和福建)一市(上海市)的广大地区(图 1),本区的地带性植被为常绿阔叶林和常绿阔叶落叶阔叶混交林。

图 1 研究地区的地理位置

Fig.1 Location of the research area and its coverage

本文对中国东部地区植被的遥感分类,采用的数据是由 AVHRR 的第 1、2 通道推导的时间序列的 *NDVI* 合成影像数据。之所以用 *NDVI* 数据是因为 *NDVI* 与植物的光合作用活性成比例关系(Sellers, 1987),而 *NDVI* 对时间的积分则与植物地上部分的生物量相关(Tucker *et al.*, 1985a, 1985b; Goward & Huemmrich, 1992; Running *et al.*, 1994)。影像的获取时间为 1995 年 2 月~8 月,合成影像的时间间隔为 10 d,其中缺 3 月上旬和 8 月上旬合成影像资料,共计有 19 景最大值 *NDVI* 合成影像。

数据来源是 USGS (U. S. Geological Survey)的 EDC(EROS Data Center, EROS-Earth Resources Observation Systems)。地面接受的 AVHRR 数据的做了如

下处理:1)AVHRR 第 1、2 通道数据的大气校正和辐射校正;2)多时相 *NDVI* 影像的地理配准;3)云污染剔除,采用的方法是最大 *NDVI* 值合成原则(Maximum *NDVI* composite criterion),亦即对 10 d 之内观测到的数据,用每天观测的 AVHRR 数据生成日 *NDVI* 数据,采用星下点无云象元的 *NDVI* 最大值进行合成,得到一景无云的 *NDVI* 最大值合成影像。

所用的华东地区五省一市边界矢量数据和各省市分县数据来源于数字化地形图,数字化边界矢量数据的投影和 *NDVI* 影像几何精校正所用的投影相一致,以确保矢量数据和经几何精校正的 *NDVI* 栅格数据的严格配准。

对于 *NDVI* 最大值合成影像资料,我们首先把单波段的 19 景影像进行多通道合并,然后把研究地区(华东五省一市)从影像上切割下来,对切割的影像进行几何精校正。几何精校正的 29 个地面控制点(Ground control point, GCP)是从 1:50 万地形图上选取 *NDVI* 影像上的同名点。几何精校正采用这三次多项式,像元值重采样采用三次卷积取样,经几何精校正后的合成影像的 RMS(Root mean square)为 0.01~0.03 个像元。在经过几何精校正的影像上叠加华东五省一市的矢量边界,然后把研究地区切割下来用于植被分类。

主成分分析(Principal component analysis, PCA)是减低数据维数的一种很有效的方法,常被用于多时相 *NDVI* 数据处理(Cihlar *et al.*, 1996)。对几何精校正后的 19 个旬的 *NDVI* 合成影像,在用于分类之前作 PCA 分析,取信息载荷大于 99.1%的第一、第二和第三主分量,用于对华东五省一市的植被进行分类。各波段的统计特征和 PCA 分析的各主成分及其信息载荷,参见表 1。

1.2 分类方法

对 19 景 *NDVI* 数据经过 PCA 处理后,取前 3 个主分量作为新的影像,对其实施非监督分类,采用 ISODATA 迭代聚类算法。分类类别数从 15 类开始,一直到 35 类,对各分类结果,对照野外实际调查的样地资料和各省植被图,进行初步分析比较,确定合适的分类类别数,然后再用野外调查资料和植被图件资料详细比较分析,确定具体植被类型,最后对分类后的结果进行精度估算和分类后处理,最终得到植被分类图。

1.3 分类精度评估

在区域尺度上,对粗分辨率(1 km)的植被遥感分类结果进行精度估算是十分困难的。对植被遥感

表 1 19 幅 *NDVI* 最大值合成影像经 PCA 处理后各波段的统计特征
Table 1 Statistical traits of 19 maximum *NDVI* composite images after PCA processing

	协相关特征向量 Correlation eigenvector	累积贡献率 Cumulative contribution	协方差特征向量 Correlation eigenvector	累积贡献率 Cumulative contribution
主成分 1 PC1	18.620	98.000	247 763.44	98.058
主成分 2 PC2	0.151	98.795	1 952.86	98.831
主成分 3 PC3	0.058	99.100	741.93	99.124
主成分 4 PC4	0.034	99.279	434.73	99.296
主成分 5 PC5	0.026	99.416	329.55	99.427
主成分 6 PC6	0.020	99.521	243.69	99.523
主成分 7 PC7	0.014	99.595	191.44	99.599
主成分 8 PC8	0.012	99.658	151.07	99.659
主成分 9 PC9	0.011	99.716	132.53	99.711
主成分 10 PC10	0.009	99.763	123.20	99.760
主成分 11 PC11	0.008	99.805	107.16	99.823
主成分 12 PC12	0.007	99.842	91.18	99.839
主成分 13 PC13	0.006	99.874	85.65	99.873
主成分 14 PC14	0.005	99.900	69.38	99.900
主成分 15 PC15	0.005	99.926	68.20	99.927
主成分 16 PC16	0.004	99.947	57.38	99.950
主成分 17 PC17	0.004	99.968	50.92	99.970
主成分 18 PC18	0.003	99.984	38.43	99.985
主成分 19 PC19	0.003	100.000	37.69	100.000

分类精度的检验,一般采用 3 种方法:1)采用野外实际调查资料,对分类结果进行检验;2)采用已有的图件资料(如植被图、土地利用图等)进行验证;3)采用高分率遥感影像(如 Landsat-TM/ETM+)的分类成果进行验证。对于区域和全球尺度的植被/土地覆盖分类,采用第一种评价方法进行精度检验,无论是工作量,还是取样数量的要求都十分庞大。由于时间和条件的限制,一般很难对研究地区做详细的地面调查工作和取样,因此粗分辨率遥感分类结果精度评价多数采用后两种方法(Achard *et al.*, 2001; Xiao *et al.*, 2002)。本文对分类结果的精度检验采用数字化的 1:1 000 000《中国植被图集》(侯学煜,2000)的数据作为分类精度评估的参照。

2 结果与分析

2.1 分类结果的判定

对华东五省一市地区的植被进行的非监督分类,初始分类类别数从 15 类开始,一直到 35 类,把各分类结果与野外调查的资料和各省植被图件资料(安徽植被编辑委员会,1983;江西森林编辑委员会,1986;林鹏,1990;浙江森林编辑委员会,1993;宋永昌,1999)进行比较分析,确定分为 28 类比较符

合研究地区的实际情况,并对 28 种类型用野外实地调查资料和图件资料确定具体类型。28 种分类类别为:1)水体,2)水生植被,3)水生/沼泽植被,4)沼泽/滩涂植被类型 I,5)沼泽/滩涂植被类型 II,6)常绿阔叶林类型 I,7)常绿阔叶林类型 II,8)针叶林 I (杉木林 *Cunninghamia lanceolata*),9)针叶林 II (马尾松林 *Pinus massoniana*),10)针叶林 III (马尾松占优势),11)针阔叶混交林,12)常绿果树或常绿灌丛,13)针叶林 IV,14)矮灌草丛类型 I,15)矮灌草丛类型 II,16)矮灌草丛类型 III,17)矮灌草丛类型 IV,18)一年两熟旱作农业植被(小麦 *Triticum aestivum* + 玉米 *Zea mays*),19)城市/裸露沙滩,20)一年两熟/三熟(水稻 *Oryza sativa* + 油菜/小麦 *Brassica napus*/*Triticum aestivum*)农业植被,21)竹林,22)一年两熟/三熟(水稻 + 油菜)农业植被,23)一年两熟/三熟(水稻为主)农业植被,24)一年两熟(水稻 + 水稻为主)农业植被,25)一年两熟/三熟(水稻,需灌溉)农业植被,26)落叶灌丛,27)一年两熟(水稻占优势)农业植被,28)山地灌草丛。

在 28 类中,除水体景观和城市景观外,余下的 26 类均为植被类型,依照《中国植被》的分类系统(吴征镒,1980),这 26 类可以归并为 6 大植被类型:1)常绿阔叶林;2)针叶林(针阔叶混交林被合并在此类中);3)竹林;4)灌草丛;5)水生植被;6)农业植被。

从分类结果可以看出(图 2),各植被类型的空间分布非常有规律性,无论是农业植被,还是天然植被,它们的空间分布范围与地带性植被的分布规律相一致,从北向南,依次分布着旱作农业植被带(区)、一年两熟的水旱连作农业植被带(区)、一年两熟的以水稻为主的农业植被带(区)、常绿落叶阔叶混交林带、典型常绿阔叶林带、一年两熟/三熟的以水稻为主的农业植被带(区),界线是比较清楚的。

2.2 分类精度检验

为了检验对常绿阔叶林的分类精度,我们用 1:1 000 000 的《中国植被图集》华东五省一市地区的植被类型作为分类精度检验的参照。把研究范围内的植被图扫描,在地理信息系统中进行地理配准、图幅拼接、数字化,建立中国东部植被类型数据库,用数字化《中国植被图集》的植被类型数据与遥感数据进行叠加分析,检验分类精度。在《中国植被图集》中,华东五省一市共有 78 种植被类型,为了便于和遥感分类结果进行空间叠加分析,把这 78 种类型归并为 8 大植被类型。

分类结果的精度评估从 2 个方面进行,一是类

型精度评估,主要是对遥感分类结果的类型和位置进行评估;二是面积精度评估,主要是对遥感分类结果的面积误差进行评估。

由于《中国植被图集》中所依据的资料主要是 1950~1987 年来在全国各地进行的植被调查研究的数据,成图资料与我们研究所用遥感数据时隔 8~45 年,期间植被类型的时空动态变化目前还无最新数据进行更新,无法获取同时相的(即 1995 年)植被类型验证数据。鉴于此,假设遥感分类的数据与数字化《中国植被图集》的数据只要空间叠加的面积超过 1 km²,即认为遥感分类的类型和地理位置是正确的。在进行精度检验时,用《中国植被图集》的植被类型斑块数量作为检验数据,遥感分类斑块数量数据作为被检验数据,用重合的斑块数量代表分类正确数据。从植被制图的需要出发,在进行精度检验时,对遥感分类的结果首先进行 3×3 的滤波,然后进行栅格-矢量数据转换,所得的各种植被类型的斑块数量用于分类精度检验(表 2)。面积精度的估算,主要是用归并后的《中国植被图集》中各植被类型的面积来检验遥感分类的各植被类型的面积(表 3)。

从表 2 和表 3 可知,遥感分类精度很高的是农业植被、灌草丛和针叶林,类型和位置精度分别达到 95.9%、91.3% 和 79.2%,面积精度则分别达到 90.5%、95.9%、92.1%;常绿阔叶林的类型精度为 68.2%,面积精度只有 63.8%,但是经过 3×3 的滤波和平滑后,面积精度可以达到 91.3%,分类结果还是令人满意的。分类精度检验结果不相一致的有竹林、水生植被,竹林的类型和位置精度只有 28.7%,但是面积精度却有 96.5%,比较遥感分类的竹林与《中国植被图集》的竹林的分布位置,发现在《中国植被图集》中分布于闽北西北武夷山、赣东、赣西(九岭山、武功山、罗霄山一带)的竹林,在遥感分类中没有被分出。水生植被的分类精度虽然达到 69.6%,但是遥感分类的面积是《中国植被图集》类型的 3.2 倍,造成这种误差的可能原因有:遥感分类的水面积与《中国植被图集》中的水面积相差 2.5 倍,两者的基数就相差甚远;遥感数据的获取时间为 2~8 月,正好跨越河流、湖泊的枯水期和丰水期,而造成水面积的差异和滩涂植被面积的差异。而《中国植被图集》中的亚热带常绿阔叶落叶混交林、亚热带落叶阔叶林两种类型遥感分类则没有识别出来。原因可能有二:一是受混交林、落叶林的林冠层的种类组成比例,以及林下植被的光谱对林冠层的光谱的影响,导致植被 *NDVI* 的变化没有完全表现

表 2 中国东部植被遥感分类结果类型精度评估
Table 2 Type accuracy assessment of the classified vegetation types in East China

	针叶林 * NLF	常绿阔叶林 EBLF	竹林 BF	灌草丛 SHG	水生植被 AV	农业植被 CV	落叶阔叶林 DLF	常绿落叶阔 叶混交林 EDMF
遥感分类(3×3 滤波)斑块数 Patches identified(3×3 filtered)	1 654	727	553	1 902	2 143	1 425	—	—
中国植被数字化斑块数 Patches digitalized	3 388	765	453	1 251	69	2 904	109	51
重合的斑块数 Patches overlaid	2 684	522	130	1 142	48	2 786	—	—
分类精度 Accuracy (%)	79.2	68.2	28.7	91.3	69.6	95.9		

* 遥感分类的针叶林类型中合并了针阔叶混交林类型 Needle-leaved broad-leaved mixed forest was merged into needle-leaved forest NLF: Needle-leaved forest EBLF: Evergreen broad-leaved forest BF: Bamboo forest SHG: Shrub-grass AV: Aquatic vegetation CV: Cultivated vegetation DLF: Deciduous broad-leaved forest EDMF: Evergreen broad-leaved deciduous broad-leaved mixed forest

表 3 中国东部植被遥感分类结果面积精度评估
Table 3 Area accuracy assessment of the classified vegetation types in East China

遥感分类类型 Identified vegetation type	遥感分类面积 Area of identified types (km ²)	中国植被图类型 Digitalized vegetation types from Vegetation Atlas of China	数字化中国植被 图类型面积 Area of digitalized types (km ²)	面积误差 Errors of area (km ²)	面积精度 Area accuracy (%)
针叶林 NLF	150 292.0	针叶林 NLF	163 184.5	− 12 892.5	92.1
常绿阔叶林 EBLF	35 427.0	常绿阔叶林 EBLF	26 010.4	9 417.0	63.8
竹林 BF	16 243.0	竹林 BF	16 823.5	− 580.0	96.5
灌草丛 SHG	85 462.0	灌草丛 SHG	89 067.0	− 3 605.0	95.9
水生植被 AV	5 555.0	水生植被 AV	1 713.0	3 842.0	324.3
农业植被 CV	286 328.0	农业植被 CV	316 212.1	− 29 884.0	90.5
水面 * Water	55 005.0	水面 * Water	22 034.4	32 971.0	249.6
城区/裸地 Urban/bare soil	4 288.0				
		亚热带常绿落叶 阔叶混交林 EDMF	1108.9		
		落叶阔叶林 DBF	4563.8		
合计 Total	638 600.0		639 000.0	− 400.0	99.9

* 为非植被类型。但为了便于面积精度统计，仍包括在内。Non-vegetation types. They were listed in the table for area accuracy assessment NLF, EBLF, BF, SHG, AV, CV, EDMF, DBF: 同表 2 See Table 2

←

图 2 中国东部植被分类图

出混交林、落叶林的特征;二是与所用的 *NDVI* 影像的时间段有关系,理论上,区分出落叶林, *NDVI* 的时间序列数据覆盖全年最佳。

3 讨 论

由于 *NDVI* 对植被绿度的反映比较敏感,植被的季节变化,尤其是物候的动态能够在 *NDVI* 中得到明显的反映,所以利用时间序列的 *NDVI* 数据能够实现植被的遥感分类。我们利用时间序列的 *NDVI* 数据对华东五省一市的植被进行分类,结果可以得到 6 大植被类型,这种结果与前人的研究结果相一致(DeFries & Townshend, 1994; Eidenshink & Faundeen, 1994; Sellers *et al.*, 1994; Townshend, 1994; Townshend *et al.*, 1994; Cihlar *et al.*, 1996)。我们的分类结果有较高的分类精度,说明时间序列的 *NDVI* 数据可以用来对大尺度范围的植被进行分类。在 IGBP 计划中,土地覆盖类型中有常绿针叶林、常绿阔叶林、落叶针叶林、落叶阔叶林、混交林、郁闭灌木林(Closed shrubland)、开敞灌木林(Open shrubland)、多树稀树草原(Woody savanna)、稀树草原(Savanna)、草原 10 种植被类型(Scepan, 1999)。在 USGS 的土地利用/土地覆盖类型中,共有常绿针叶林、常绿阔叶林、落叶针叶林、落叶阔叶林、混交林、灌木林、稀树草原、草原 9 种植被类型。简单生物圈模型-2(Simple Biosphere 2 Model)的土地覆盖类型中,有阔叶常绿林、阔叶落叶林、针叶常绿林、针叶落叶林、针阔叶混交林、矮乔木灌木林、有裸地的灌木林、低矮植被/C₄ 草地、农作物/C₃ 草地 9 种植被类型(USGS, 2004),这些分类数据广泛地运用于全球气候变化、大尺度植被生产力估算等研究,因此,我们对华东五省一市地区的植被分类结果也应该可以用于对该地区的气候变化等方面的研究。

由于华东五省一市地区的地形复杂,植被种类组成复杂多样,景观的异质性很高,因此,用粗分辨率(1 km)的遥感数据进行植被分类,对子象元(Sub-pixel)以下的植被类型很难识别出来,这就需要高分辨率(如 Landsat-TM/ETM+, SPOT)的遥感数据才能达到要求。如果要得到群落水平的植被分类,则需要能够识别植被冠层或种类组成的遥感数据(如 1 m 或 4 m 分辨率的 IKONOS 数据,0.61 m 或 2.44 m 分辨率的 Quickbird 数据)才能满足分类要求。

粗分辨率遥感数据的土地覆盖或植被/森林分类的精度检验一直是很困难和棘手的问题。一般可以用大量的野外实地调查的样点数据,小尺度遥感

数据得出的森林或植被/土地覆盖分类数据或分类图,或大尺度范围的森林资源清查数据进行精度检验(Xiao *et al.*, 2002)。由于缺乏足够的野外调查数据,以及覆盖研究地区的中等分辨率的 Landsat-TM/ETM+ 数据,本研究对分类精度的检验采用数字化的 1:1 000 000《中国植被图集》资料来进行验证。在《中国植被图集》中,华东五省一市共有 78 种植被类型,而且各种植被类型都是划分到以优势种为单位。而遥感分类的植被类型只有 26 种,也无法达到优势种的分类水平,为了便于和遥感分类结果进行空间叠加分析,把这 78 种类型归并为 8 大植被类型。此外,《中国植被图集》的成图资料由于时间与遥感数据的时间相隔达 40 年,这期间的植被动态变化也无数据参考,因此,用《中国植被图集》数据来验证分类结果,会造成分类精度的某些不确定性。我们将会在进一步的研究中采用 Landsat-TM/ETM+ 数据或 SPOT 数据来完善分类的结果,提高分类精度。

4 结 论

通过上述研究,我们可以得出 NOAA-AVHRR 时间序列的最大值 *NDVI* 合成影像资料可以用于对华东常绿阔叶林区进行区域尺度的植被分类研究。用最大值 *NDVI* 合成影像多时相数据,我们把常绿阔叶林区的植被分为 26 种类型,并归并成 6 大植被类型。分类所得的 6 大植被类型在地理空间上的分布规律与中国东部常绿阔叶林区植被的地带性分布规律比较一致。6 大植被类型分类的精度检验表明我们的研究结果与《中国植被图集》比较有较高的精度和可靠性,所得的植被类型资料和植被图可以用于区域乃至全球尺度的气候变化、植被生产力估算等方面的研究。

参 考 文 献

- Achard F, Estreguil C (1995). Forest classification of Southeast Asia using NOAA AVHRR data. *Remote Sensing of Environment*, 54, 198 – 208.
- Achard F, Eva H, Mayaux P (2001). Tropical forest mapping from coarse spatial resolution satellite data: production and accuracy assessment issues. *International Journal of Remote Sensing*, 22, 2741 – 2762.
- Boyd DS, Ripple WJ (1997). Potential vegetation indices for determining global forest cover. *International Journal of Remote Sensing*, 18, 1395 – 1401.
- Cihlar J, Ly H, Xiao Q (1996). Land cover classification with AVHRR multichannel composition in Norther environments. *Remote Sensing of Environment*, 58, 36 – 51.
- DeFries R, Townshend JRG (1994). *NDVI*-derived land cover

- classifications on a global scale. *International Journal of Remote Sensing*, 15, 3567 – 3586.
- Editorial Board of The Forest of Jiangxi Province (江西森林编辑委员会) (1986). *The Forest of Jiangxi Province* (江西森林). Jiangxi Science & Technology Press, Nanchang. (in Chinese)
- Editorial Board of Vegetation of Anhui Province (安徽植被编辑委员会) (1983). *Vegetation of Anhui Province* (安徽植被). Anhui Science and Technology Press, Hefei. (in Chinese)
- Ehrlich D, Estes JE, Singh A (1994). Application of NOAA-AVHRR 1 km data for environmental monitoring. *International Journal of Remote Sensing*, 15, 145 – 161.
- Eidsensink JC, Faundeen JL (1994). The 1 km AVHRR global land data set: first stages in implementation. *International Journal of Remote Sensing*, 15, 3443 – 3462.
- Goward SN, Huemmrich KF (1992). Vegetation canopy PAR absorbance and the normalized difference vegetation index: an assessment using the SAIL model. *Remote Sensing of Environment*, 39, 119 – 140.
- Hou XY (侯学煜) (2000). *Vegetation Atlas of China* (中国植被图集). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Li XB (李晓兵), Shi PJ (史培军) (1999). Research on regulation of NDVI Change of Chinese primary vegetation types based on NOAA/AVHRR data. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), 41, 314 – 324. (in Chinese with English abstract)
- Lin P (林鹏) (1990). *Vegetation of Fujian Province* (福建植被). Fujian Science & Technology Press, Fuzhou. (in Chinese)
- Mayaux P, Gond V, Bartholome E (2000). A near-real time forest cover map of Madagascar derived from SPOT – 4 VEGETATION (VGT) data. *International Journal of Remote Sensing*, 21, 3139 – 3144.
- Moody A, Strahler AH (1994). Characteristics of composite AVHRR data and problems in their classification. *International Journal of Remote Sensing*, 15, 3473 – 3491.
- Running SW, Hunt ER, Nemani R, Glassy J (1994). MODIS LAI (leaf area index) and FPAR (fraction photosynthetically active radiation). MODIS algorithm document. NASA, 19.
- Scepan J (1999). Thematic validation of high-resolution global land-cover data sets. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 65, 1051 – 1060.
- Sellers P J (1987). Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration II. The role of biophysics in the linearity of their interdependence. *Remote Sensing of Environment*, 21, 143 – 183.
- Sellers PJ, Turker CJ, Collatz GJ, Los SO, Justice CO, Dazlich DA, Randall DA (1994). A global 1° by 1° NDVI data set for climate studies. Part 2, The generation of global fields of terrestrial biophysical parameters from the NDVI. *International Journal of Remote Sensing*, 15, 3519 – 3545.
- Sheng YW (盛永伟), Chen WY (陈维英), Xiao QG (肖乾广), Guo L (郭亮) (1995). Chinese vegetation classification with meteorological satellite vegetation index data. *Chinese Science Bulletin* (科学通报), 40, 68 – 71. (in Chinese)
- Song YC (宋永昌) (1999). Perspective of the vegetation zonation of forest region in eastern China. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), 41, 541 – 552. (in Chinese with English abstract)
- The Forest of Zhejiang Province Compilation Committee Edition (浙江森林编辑委员会) (1993). *The Forest of Zhejiang Province* (浙江森林). China Forestry Publishing House, Beijing. (in Chinese)
- Townshend JRG (1994). Global data sets for land application from Advanced Very High Resolution Radiometer: an introduction. *International Journal of Remote Sensing*, 15, 3319 – 3332.
- Townshend JRG, Justice CO, Skole D, Malingreau JP, Cihlar J, Teillet P, Sadowski F, Ruttenberg S (1994). The 1 km resolution global data set: needs of The International Geosphere Biosphere Programme. *International Journal of Remote Sensing*, 15, 3417 – 3441.
- Tucker CJ, Townshend JRG, Goff TE (1985a). Africa land-cover classification using satellite data. *Science*, 227, 369 – 375.
- Tucker CJ, Vanpraet CL, Sharman MJ, van Ittersum G (1985b). Satellite remote sensing of total herbaceous biomass production in the Senegalese Sahel: 1980 – 1984. *Remote Sensing of Environment*, 17, 233 – 249.
- USGS (2004). Global land cover characteristics data set. [Http://edcdaac.usgs.gov/glcc/globdoc2-0.html](http://edcdaac.usgs.gov/glcc/globdoc2-0.html). Cited 21 October 2004.
- Wu ZY (吴征镒) (1980). *Vegetation of China* (中国植被). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Xiao X, Boles S, Liu J, Zhuang D, Liu M (2002). Characterization of forest types in Northeastern China, using multi-temporal SPOT-4 VEGETATION sensor data. *Remote Sensing of Environment*, 82, 335 – 348.
- Zhu Z, Evans DL (1994). U.S. forest types and predicted percent forest cover from AVHRR data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 60, 525 – 531.