

张学珍, 朱金峰. 2013. 1982~2006 年中国东部植被覆盖度的变化 [J]. 气候与环境研究, 18 (3): 365-374, doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2012.11174.
Zhang Xuezheng, Zhu Jinfeng. 2013. Variations in fractional vegetation coverage over eastern China during 1982-2006 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 18 (3): 365-374.

1982~2006 年中国东部植被覆盖度的变化

张学珍¹ 朱金峰²

1 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101

2 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101

摘要 陆地植被是影响地表水热通量, 乃至气候的重要因素, 植被覆盖度是气候模式 (陆面过程模型) 中的关键参数。为更全面认识中国东部植被覆盖度变化的时空特征, 以便于今后研究陆地植被变化对气候的反馈效应, 利用 NOAA AVHRR-NDVI 数据集, 采用像元二分模型法, 计算了中国东部 (105°E 以东) 1982~2006 年的植被覆盖度, 并对其空间分布特征与时间演变过程进行了分析。结果表明: (1) 研究区多年平均植被覆盖度为 0~84.2%, 呈现南高北低、东高西低的空间分布特征, 南北差异在冬季最大, 夏季最小; (2) 森林、灌丛、农业植被和草原的年平均植被覆盖度依次减小, 分别是 49.9%、44.7%、40.4% 和 31.1%, 并且植被覆盖度的季节变幅也依植被类型而异, 其中森林的季节变幅最大, 达 31.5%, 其次是灌丛, 为 27.7%, 草原的季节变幅最小, 为 15.3%; (3) 1982~2006 年中国东部超过 74% 的地区植被覆盖度呈增加趋势, 其中黄淮海平原、关中地区以及东北平原增幅相对较大, 前两个地区主要表现为春季和冬季增加, 后一地区则主要表现为夏季和秋季增加; 在植被覆盖度降低的区域中, 长三角、珠三角的降低趋势最强。上述结论为进一步研究中国东部地-气相互作用提供了科学基础。

关键词 中国东部 植被覆盖度 归一化差值植被指数 (NDVI)

文章编号 1006-9585 (2013) 03-0365-10

中图分类号 P942

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2012.11174

Variations in Fractional Vegetation Coverage over Eastern China during 1982-2006

ZHANG Xuezheng¹ and ZHU Jinfeng²

1 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101

2 Institute of Remote Sensing Application, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101

Abstract This study calculated the fractional vegetation coverage (FVC) using NOAA AVHRR-NDVI data and the dimidiate pixel model and analyzed the mean FVC spatial pattern and the trends in variations in the FVC across eastern China (east of 105°E) during 1982-2006. The results show: (1) The mean spatial variations in the study area have a range of 0-84.2% and exhibit a pattern featuring high FVC in the south and low FVC in the north; the south-north gradient was higher in winter than in summer; (2) forest, shrub, crops, and grassland have annual mean FVCs of 49.9%, 44.7%, 40.4%, and 31.1%, respectively; among the types of natural vegetation, forest exhibits the largest seasonal differences (as high as 31.5%), shrub has intermediate seasonal differences of about 27.7%, and grasslands have the smallest seasonal differences (about 15.3%); (3) during 1982-2006, more than 74% of the study area exhibited an increasing trend in the Yellow River-Huaihe River-Haihe River (YHH) reaches, in the Guanzhong (GZ) area, and on the Northeast China Plain (NECP). The FVC increases in the YHH and GZ areas occurred mainly in the spring and winter, whereas those in the

收稿日期 2011-11-07 收到, 2012-05-03 收到修定稿

资助项目 国家自然科学基金项目 41001122, 全球变化研究国家重大科学研究计划 2010CB950903、2010CB951801

作者简介 张学珍, 1981 年出生, 男, 博士, 助理研究员, 主要从事地-气相互作用研究。E-mail: xzzhang@igsrr.ac.cn

NECP occurred mainly in summer and autumn. The Yangtze River Delta and Pearl River Delta exhibited significant decreasing trends. These findings are expected to be valuable for investigating land-atmosphere interaction in eastern China.

Keywords Eastern China, Fractional vegetation coverage, Normalized difference vegetation index (NDVI)

1 引言

植被覆盖度(Fractional Vegetation Cover, FVC)是指植被(包括叶、茎、枝)在地面的垂直投影面积占地表总面积的百分比(Gitelson et al., 2002),其变化不仅关系到生物量、叶面积指数、净初级生产力等地表生态学指标的变化(陈效逯和王恒, 2009),而且还通过改变地表反射率、发射率、粗糙度、土壤湿度等地表参数影响区域乃至全球气候(Gutman and Ignatov, 1998; Zeng et al., 2002)。因而植被覆盖度不仅是资源环境评价中的重要指标,而且也是生态、水文和气候模型中的关键参数(Gutman and Ignatov, 1998; Zeng et al., 2002; 满多清等, 2005; 陈效逯和喻蓉, 2007),比如在应用于WRF(Weather Research and Forecast model)气候模式中的Noah陆面模型中,植被覆盖度不仅是计算植被冠层截留降水量的关键参数,而且还控制着其他陆面参数(比如叶面积指数和地表反照率)的物候期(Chen and Dudhia, 2001)。

关于中国近期植被覆盖度的变化,前人已开展了一些研究,如孙红雨等(1998)利用1985~1990年AVHRR的归一化植被指数(NDVI)研究了我国植被覆盖变化及其与气候因子的关系;朴世龙和方精云(2001)利用AVHRR NDVI数据对我国1982~1999年植被覆盖的动态变化进行了分析;孙睿等(2001)利用AVHRR NDVI数据,对黄河流域1982~1999年地表植被覆盖的空间分布及时间变化进行了分析;罗志军等(2008)利用TM数据对三峡库区1999~2004年植被覆盖度进行了分析;吴云等(2010)利用MODIS的NDVI研究了海河流域2000~2007年的植被覆盖度的空间格局与时间演变。然而,对整个中国东部地区自20世纪80年代初期以来植被覆盖度变化的时间和空间特征的认识尚比较薄弱。

中国东部是典型的东亚季风区,气候的年际一年代际变化显著,并且该区域还是中国的经济发达地区,人类活动强度较大。自20世纪80年代以来,

在中国东部,不仅土地利用/覆盖类型发生了显著的变化,而且相同类型的土地利用/覆盖的植被覆盖状况也发生了较大的变化,比如在气候变暖和农业活动加强双重因素的作用下,农业地区的植被活动呈增强趋势,覆盖度呈增加之势(Fang et al., 2004),由此将对区域气候产生深刻影响。为便于利用陆面过程模型研究20世纪80年代以来中国东部地表覆盖变化导致的地表能量和水分平衡变化,进而利用气候模式定量评估气候变暖背景下植被对气候变化的反馈效应(Subin et al., 2011),首先要获取能比较准确反映过去近30年植被覆盖度变化的数据集,并在此基础上全面认识植被覆盖度的空间格局及其20世纪80年代以来的演变过程。

鉴于此,本文拟以NDVI为数据源,利用像元二分模型法计算植被覆盖度,分析1982~2006年中国东部(105°E以东)植被覆盖度的空间分布格局及其时间演变特征,以期为进一步研究中国东部地-气相互作用提供科学数据基础。

2 数据与方法

2.1 数据及处理

本研究所用数据源为1982~2006年的GIMMS(Global Inventory Modeling and Mapping Studies)NDVI数据集,其空间分辨率为8 km,时间分辨率为15 d(Tucker et al., 2005)。GIMMS NDVI基于最大值合成法得到,其所用的原始数据来自6颗卫星,分别是NOAA-7(1982~1985年)、NOAA-9(1986~1988年)、NOAA-11(1989~1993年)、NOAA-14(1995~2000年)、NOAA-16(2001~2003年)和NOAA-17(2004~2006年)。为尽可能的消除非植被因素的干扰,来自卫星的原始数据经过了一系列的预处理,如消除云的影响、消除卫星轨道漂移的影响以及不同卫星数据之间的标定等;并针对1982年和1991年两次大规模的火山喷发进行了专门的矫正(Tucker et al., 2005)。Fang et al. (2004)和Piao et al. (2011)曾分析了GIMMS NDVI数据在中国区域的数据质量,结果表明该数

数据集可用于分析中国区域的植被动态变化。Zhou et al. (2001)、Wang et al. (2011) 和 Piao et al. (2011) 都曾利用 GIMMS NDVI 数据分析地表植被活动变化及其对气候变化的响应。

为分析植被覆盖度与植被类型的关系, 本研究使用了 1:4000000 的中国植被图(中国科学院植物研究所, 1979; 孙世洲, 1981)。该图的编制以 20 世纪 50 至 70 年代的植被调查资料为基础, 采用植物群落分类系统, 共有 4 个级别, 一级类别有 4 个(自然植被、农业植被、无植被地段、湖泊), 二级分类表示植被纲组, 有 13 个, 三级分类表示植被群系纲, 有 50 个, 四级分类表示植被群系组, 有 110 个。为便于统计分析, 本研究对中国植被图中的三级植被分类根据植被气候带、按照森林、灌丛、草原(表示植被群系纲)三大自然植被进行合并简化(武永峰, 2008)。合并后的植被类型空间分布如图 1 所示, 其中, 亚类 1~7 为森林植被, 亚类 8、9 为灌丛植被, 亚类 11、12 为草原植被, 亚类 15~19 为农业植被(本研究不包括无植被地段和湖泊类型)。其中温带、亚热带落叶灌丛、矮林的面积最大(占 14.4%), 主要分布在长白山、河套平原、秦巴山地等地区, 其次是亚热带、热带常绿、落叶灌丛、矮林(占 14.1%), 主要分布在长江以南大部分地区, 再次是温带草原, 主要分布在内蒙古高原中东部地区, 位居第四位的是一年两熟或两年三熟旱作(局部水稻)和暖温带落叶果树园, 经济林, 主要分布在华北平原, 面积最小的是温带、亚热带高寒草甸。

2.2 地表植被覆盖度反演

利用遥感技术测量地表植被覆盖度的方法有多种, 其中直接利用植被指数近似估算植被覆盖度是一种比较好的方法, 并且相对于其他方法更具有普遍意义, 经验验证后的模型可以推广到大范围地区, 形成通用的植被覆盖度计算方法(Gillies et al., 1997; Qi et al., 2000; Jiang et al., 2006; Gu et al., 2009)。

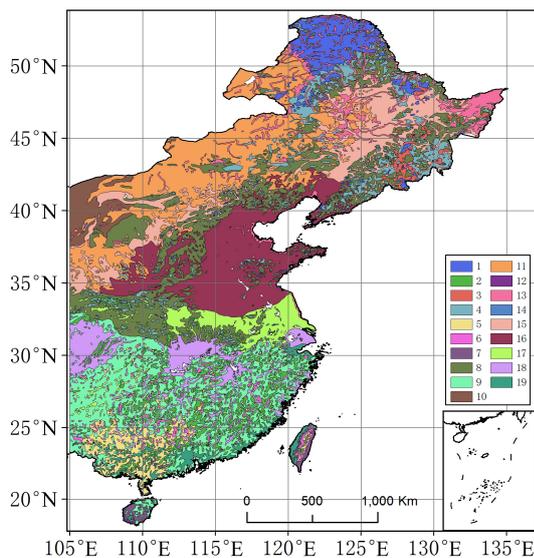
像元二分模型(Leprieur et al., 1994; 陈晋等, 2001; Zribi et al., 2003; Jiang et al., 2006; Jiménez-Muñoz et al., 2009)是一种简单并被广泛应用的遥感估算模型, 它假设一个像元的地表由有植被覆盖区域与无植被覆盖区域组成, 而遥感传感器观测到的光谱信息也由这 2 个组分因子线性加权合成, 各因子的权重是各自的面积在像元中所占的百分比, 其中植被的权重即是植被覆盖度。

利用像元二分模型估算植被覆盖度的公式为:

$$F = \frac{I - I_s}{I_v - I_s}, \quad (1)$$

其中, F 为植被覆盖度, I 为像元的归一化植被指数(NDVI), I_s 为全裸土覆盖像元的 NDVI 值, I_v 为全植被覆盖像元的 NDVI 值。由此看, 计算植被覆盖度的关键是确定 I_s 与 I_v 两个参数。

I_s 对于大多数类型的裸地表面, 理论上应该接近零, 但由于受众多因素影响, I_s 的变化范围一般在 -0.1 至 0.2 之间(Carlson and Ripley, 1997; Rundquist, 2002)。 I_v 代表着全植被覆盖像元的最大值, 由于植被类型的影响, I_v 值也会随着时间和



- 1 寒温带、温带针叶林
- 2 亚热带、热带常绿针叶林
- 3 温带针阔混交林
- 4 温带、亚热带落叶阔叶林
- 5 亚热带常绿落叶阔叶混交林
- 6 亚热带常绿阔叶林
- 7 热带雨林性常绿阔叶林
- 8 温带、亚热带落叶灌丛、矮林
- 9 亚热带、热带常绿、落叶灌丛、矮林;
- 10 温带荒漠
- 11 温带草原
- 12 亚热带、热带稀树草原
- 13 温带草甸
- 14 温带、亚热带高寒草甸
- 15 一年一熟粮作和耐寒经济作物
- 16 一年两熟或两年三熟旱作(局部水稻)和暖温带落叶果树园, 经济林
- 17 一年水旱两熟粮作和亚热带常绿、落叶经济林、果树园
- 18 单(双)季稻连作喜凉旱作或一年三熟旱作和亚热带常绿经济林、果树园
- 19 双季稻或双季稻连作喜温旱作和热带常绿经济林、果树园

图 1 合并简化后的植被类型空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of regrouped vegetation types

空间而改变。因此，计算植被覆盖度时，即使同一区域的影像， I_s 和 I_v 值也不是固定不变的 (Kaufman and Tanre, 1992; Jiménez-Muñoz et al., 2009)。

对于给定区域 A 内的任何两个像元 a_1 与 a_2 ，它们的植被覆盖度已知分别为 F_1 与 F_2 ，对这两个像元应用公式 (1) 可得 (李苗苗等, 2004):

$$F_1 = (I_1 - I_s) / (I_v - I_s), \quad (2)$$

$$F_2 = (I_2 - I_s) / (I_v - I_s). \quad (3)$$

对此方程组中的 I_s 与 I_v 求解得:

$$I_s = (F_2 \times I_1 - F_1 \times I_2) / (F_2 - F_1), \quad (4)$$

$$I_v = [(1 - F_2) \times I_2 - (1 - F_1) \times I_1] / (F_2 - F_1). \quad (5)$$

其中，像元 a_1 可为区域 A 中具有 NDVI 最小值的像元， a_2 可为区域 A 中具有 NDVI 最大值的像元。此时，确定 I_s 与 I_v 两个参数的问题，转化为确定 F_{\max} 、 F_{\min} 、 I_{\max} 与 I_{\min} (下标 max 和 min 分别表示最大值和最小值) 4 个参数的问题。根据植被覆盖度的最大值与最小值的不同取值，有 3 种情况 (李苗苗, 2003):

(1) 当 F_{\max} 可以近似取 100%，且 F_{\min} 可以近似取 0 时。 $I_s = I_{\min}$ ， $I_v = I_{\max}$ 。由于图像中不可避免的存在着噪声，NDVI 的极值并不一定是 I_{\max} 与 I_{\min} ，因此对其取值时，并不是直接取区域 A 中 NDVI 的最大值与最小值，而是取给定置信度区间内的最大值与最小值，置信度的取值主要由图像大小、图像清晰度等情况来决定。

(2) 当 F_{\max} 与 F_{\min} 不能近似取 100% 与 0 时。使用遥感技术监测植被覆盖度，都需要进行实测数据的检验。如果有一定量的实测数据，那么只需取一组实测数据中的植被覆盖度的最大值与最小值，作为 F_{\max} 与 F_{\min} ，并在图像中找到这 2 个实测数据所对应像元的 NDVI 值，分别作为 I_{\max} 与 I_{\min} ，而其余实测数据都可以作为检验值。

(3) 当 F_{\max} 与 F_{\min} 不能近似得取 100% 与 0 且没有实测数据时。一般取 I_{\max} 与 I_{\min} 为图像中给定置信度的置信区间内的最大值与最小值， F_{\max} 与 F_{\min} 则根据经验进行估计。然后将 F_{\max} 、 F_{\min} 、 I_{\max} 与 I_{\min} 4 个参数代入公式 (4) 与公式 (5)，计算 I_s 与 I_v 。

鉴于使用的数据为 1982~2006 年每半月的 8 km NDVI，研究区为整个东部季风区，难以获取研究区内足够的地面测量数据，故本研究采用上述第三种方案，在每景 NDVI 图像的频率累积表上取频率为 0.5% 的 NDVI 为 I_{\min} ，取频率为 99.5% 的 NDVI 值为 I_{\max} ；植被生长期 (3~6 月)、枯萎期 (11~2

月) F_{\max} 近似取 90%， F_{\min} 近似取 0%，旺盛期 (7~10 月) F_{\max} 近似取 100%， F_{\min} 可以近似得取 0。

3 结果与分析

3.1 植被覆盖度空间格局

图 2a 显示了中国东部 1982~2006 年平均植被覆盖度的空间格局，表 1 为年平均与季节平均的高、中、低植被覆盖区域面积百分比。由此看出，研究区年平均植被覆盖度为 0~84.2%，南北具有明显差异，南方高北方低，在 35°N 以北东西差异也比较明显，这与中国东部季风区南方暖湿、北方冷干，并且北方自东向西干燥度逐渐增加的气候格局一致，说明了多年平均植被覆盖度的空间格局基本受制于气候的地带性变化。具体而言，高植被覆盖区 (植被覆盖度 $\geq 60\%$) 面积最小，主要集中在湿润、半湿润地区，包括武夷山、南岭、海南以及大巴山东南局部地区，占整个区域总面积的 4.7%；低植被覆盖区 (植被覆盖度 $< 20\%$) 主要集中在内蒙古高原中部，这些地区降水稀少，为半干旱、干旱地区，包括内蒙古高原中西部的库布齐沙漠、乌兰布和沙漠、毛乌素沙地等地区，在环渤海、长三角、珠三角等经济开发区也有分布，占整个区域总面积的 9.6%；除此之外的大范围地区为中植被覆盖区 ($20\% \leq$ 植被覆盖度 $< 60\%$)，如东北松辽平原、华北黄淮海平原、长江中下游平原以及秦巴山地等地区。

表 1 1982~2006 年中国东部年平均与季节平均高、中、低植被覆盖区域面积百分比

Table 1 Area percentage of regions covered by high, medium, and low vegetation with annual and seasonal mean values in eastern China from 1982 to 2006

盖度等级	覆盖面积百分比				
	25 年平均	春季平均	夏季平均	秋季平均	冬季平均
植被覆盖度 ($\geq 60\%$)	4.7%	4.2%	40.0%	11.8%	1.7%
中植被覆盖度 ($20\% \sim 60\%$)	85.7%	76.3%	54.0%	80.7%	52.1%
低植被覆盖度 ($< 20\%$)	9.6%	19.5%	6.0%	7.5%	46.2%

图 2b、2c 显示了夏、冬季 1982~2006 年平均植被覆盖度的空间格局。由此看出，夏季高植被覆盖度区域面积最大，占研究区总面积的 40%，并且分布范围较广，自南至北皆有分布，主要分布于东部地区的山地 (大、小兴安岭和长白山)、秦巴山区和武夷山地，因此植被覆盖度的南北差异较

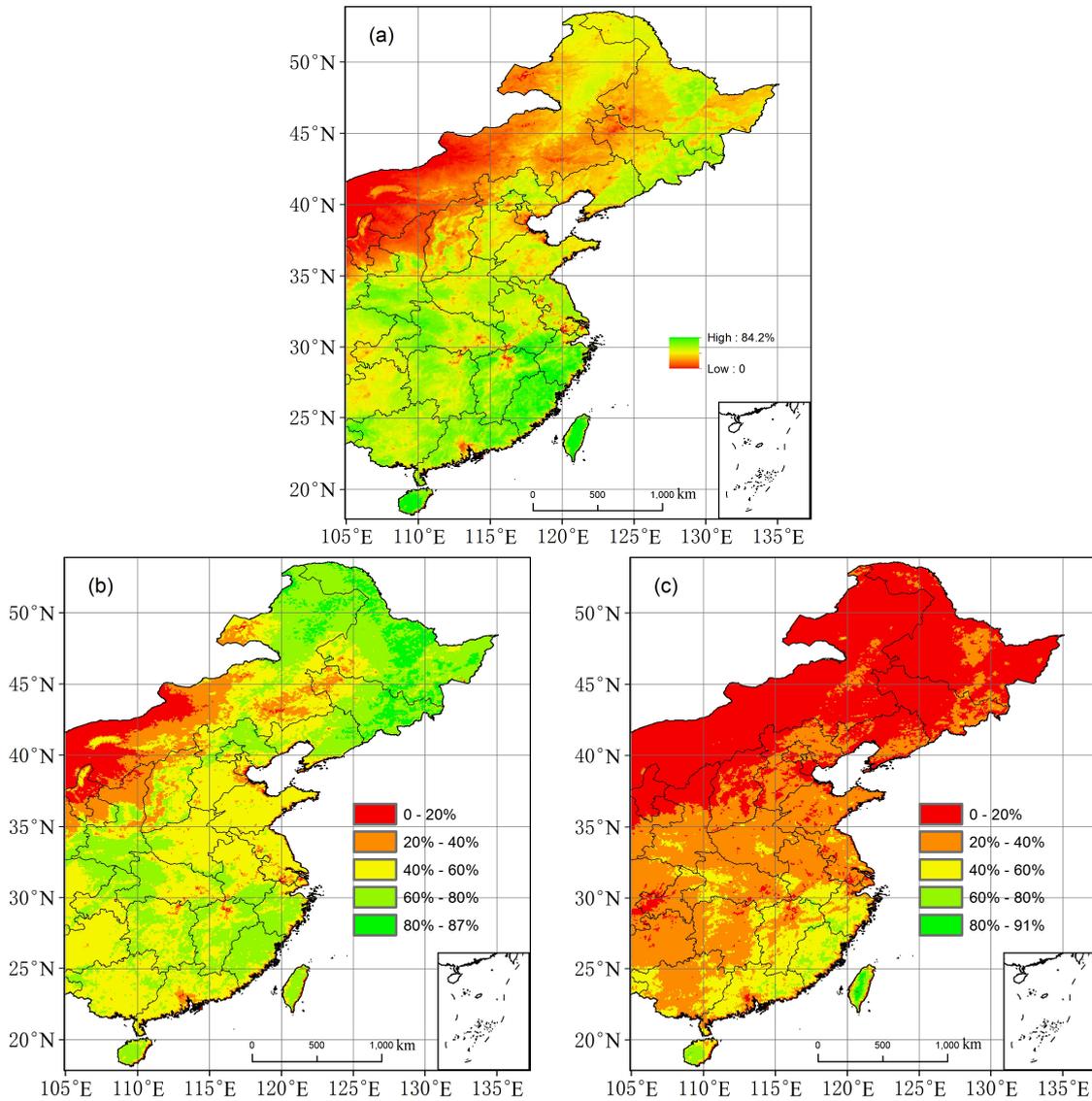


图 2 1982~2006 年中国东部 (a) 多年平均、(b) 夏季平均、和 (c) 冬季平均植被覆盖度的空间格局

Fig. 2 Spatial patterns of the (a) annual, (b) summer, and (c) winter mean fractional vegetation cover and seasonal mean fractional vegetation cover separately in eastern China from 1982 to 2006

小, 这与中国东部夏季气候湿热, 水、热条件南北差异较小有关。冬季低植被覆盖度面积最大, 占研究区总面积的 46.2%, 其分布范围仅限于中国北方自东北至内蒙古高原地区, 自此往南依次分布的是中植被覆盖度区域、高植被覆盖度区域, 因而冬季是植被覆盖度南北差异最大的季节, 这与冬季北方盛行北风, 气候干冷, 且自北至南受盛行北风影响越来越弱, 造成水、热条件南北差异较大有关。春季和秋季的南北差异介于夏季和冬季之间, 这与春季和秋季分别处于自冬至夏、自夏至冬的转换期, 水、热条件的南北差异介于夏季和冬季之间有关。低植被覆盖度主要分布于内蒙古高原的中、西

部, 高植被覆盖度主要分布于东南武夷山及台湾山地, 其中低植被覆盖度的面积是春季大、秋季小, 高植被覆盖度的面积则是春季小、秋季大, 所以整个研究区平均植被覆盖度是春季小于秋季。

3.2 不同植被类型植被覆盖度分布格局

图 3 显示了中国东部 19 种植被 1982~2006 年平均的植被覆盖度。由此看出, 森林的植被覆盖度最高, 为 49.9%, 其中热带雨林性常绿阔叶林最大, 达到了 56.5%, 寒温带、温带针叶林最小, 也达到 40%; 温带、亚热带落叶灌丛、矮林和亚热带、热带常绿、落叶灌丛、矮林 2 种灌丛亚类的植被覆盖度分别为 39.3%、50.2%, 与森林各亚类植被覆盖度

基本相当；农业植被平均植被覆盖度为 40.4%，5 种亚类之间的差异较小，各亚类的平均植被覆盖度均位于 40% 左右；草原的植被覆盖度较低，温带草原，亚热带、热带稀树草原 2 种草原植被亚类的平均植被覆盖度分别为 25.1%、37.1%。

图 4 显示了中国东部 19 种植被 1982~2006 年平均的植被覆盖度季节变化。由此看出，各类植被的覆盖度在夏季达到最大，秋、春季次之，冬季最

小；其中，常绿植被的覆盖度季节变幅较小，寒温带、温带针叶、阔叶以及草原等的覆盖度季节变幅较大，农业植被中一年两熟作物的覆盖度表现出明显的“双峰”变化特点。具体而言，寒温带、温带针叶林、温带针阔混交林和温带、亚热带落叶阔叶林的覆盖度季节变幅较大，如寒温带、温带针叶林植被覆盖度年最小值为 14.8%，出现在 2 月，而最大值为 76.3%，出现在 8 月；亚热带、热带常绿针叶林、亚热带常绿落叶阔叶混交林、亚热带常绿阔叶林和热带雨林性常绿阔叶林的覆盖度季节变幅较小，如热带雨林性常绿阔叶林年最大与最小值之差仅为 12.7%。灌丛春、夏、秋、冬季平均植被覆盖度分别为 41.0%、58.6%、48.5%、30.9%，两种亚类中，温带、亚热带落叶灌丛、矮林的覆盖度季节变幅较大，其中最小值为 21.6%（出现在 1 月），最大值为 61.3%（出现在 8 月）；亚热带、热带常绿、落叶灌丛、矮林的覆盖度季节变幅较小，年最大与最小值之差为 23.5%。草原春、夏、秋、冬季的平均植被覆盖度分别为 27.6%、39.0%、34.0%、23.7%，两种亚类中，温带草原的覆盖度季节变幅较大，最小值为 13.2%（出现在 1 月），最大值为 45.2%（出现在 8 月），亚热带、热带稀树草原的覆盖度季节变幅较小，年最大与最小值之差仅为 10.9%。农业

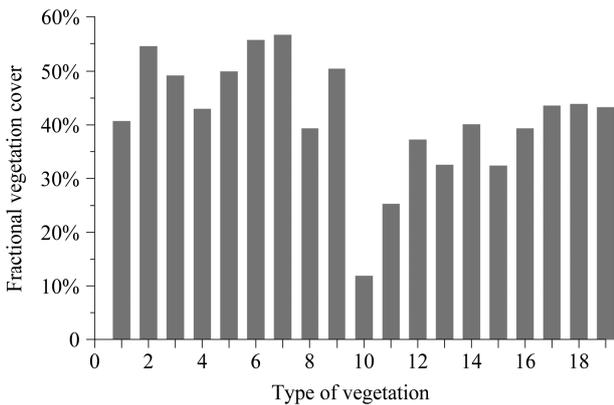


图 3 各类植被 1982~2006 年平均的年平均植被覆盖度 (各编号指代的具体植被类型详见图 1)

Fig. 3 Mean annual fractional vegetation cover for each type of vegetation in eastern China from 1982 to 2006 (see Fig. 1 for the vegetation types referred by the numbers)

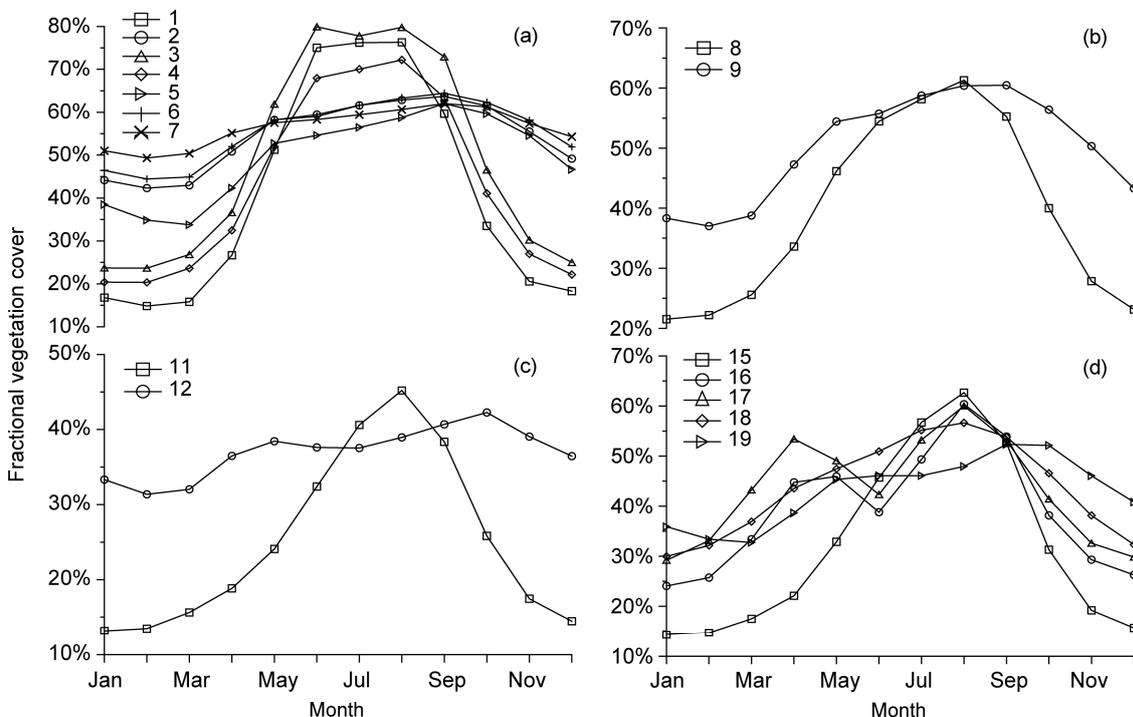


图 4 1982~2006 年 (a) 森林植被、(b) 灌丛植被、(c) 草原植被和 (d) 农业植被平均植被覆盖度季节变化 (各编号指代的具体植被类型详见图 1)
Fig. 4 The mean seasonal cycle of fractional vegetation cover for (a) forests vegetation, (b) shrubs, (c) grassland vegetation, and (d) agricultural vegetation in eastern China (see Fig. 1 for the vegetation types referred by the numbers)

植被春、夏、秋、冬季平均植被覆盖度分别为 39.1%、51.9%、42.8%、27.8%，五种亚类中，一年一熟作物与一年两熟作物的季节变化曲线明显不同，前者为单峰分布，峰值出现在 8 月初的作物生长旺盛期，后者表现为“双峰”变化特点，“双峰”的峰值分别出现在 4 月以及 8 月的作物生长旺盛期，且一年一熟作物覆盖度的年最大最小值差大于一年两熟作物。

3.3 植被覆盖度年际变化趋势

图 5 显示了 1982~2006 年年平均植被覆盖度变化趋势的空间格局。由此看出，1982~2006 年中国东部大部分地区（占研究区总面积的 74.1%，见表 2）植被覆盖度呈增加趋势，其中，华北平原、内蒙古中东部典型草原区、陕西中南部秦巴山地、安徽、江苏北部山地丘陵区、东北平原西部、海南等地区增加趋势明显，特别是冀、鲁、豫、皖北、苏西北和陕西关中等平原地区，植被覆盖度的年增加率高于 0.15%。植被覆盖度出现减小的地区主要分布在长江中下游的湘西北、赣、皖南、浙以及两广、

表 2 1982~2006 年中国东部年平均与季节平均植被覆盖度年际变化趋势

Table 2 Change trends of annual and seasonal mean fractional vegetation cover in eastern China from 1982 to 2006 a^{-1}

趋势	年际变化趋势	季节变化趋势			
		春季	夏季	秋季	冬季
增加	74.1%	75.3%	44.6%	68.0%	71.9%
减小	25.9%	24.7%	55.4%	32.0%	28.1%

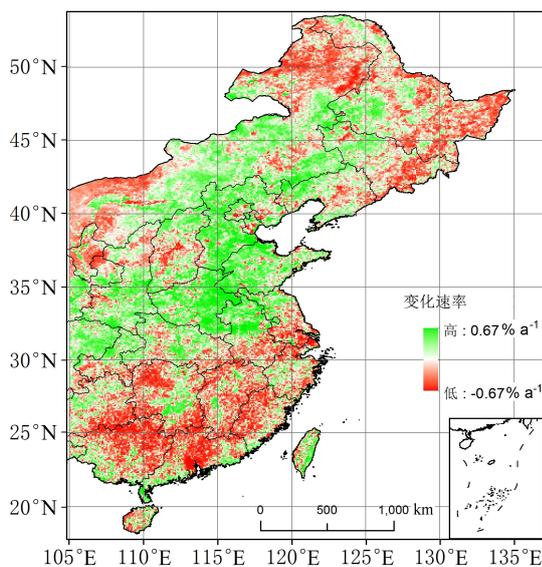


图 5 1982~2006 年植被覆盖度变化趋势的空间分布
Fig. 5 Spatial distribution of trends of variations in annual mean fractional vegetation cover over eastern China from 1982 to 2006

闽等广大地区，特别是在珠江三角洲地区，植被覆盖度减少趋势最明显，年降低率高于 0.34%。

依植被类型看（图 6），1982~2006 年森林、灌丛、草原、农业四大类植被年平均覆盖度均呈现增加趋势，其中农业植被的增加趋势最大，增加速率为 $0.089\% (10 a)^{-1}$ ；森林的增加趋势最小，增加速率为 $0.028\% (10 a)^{-1}$ 。并且，植被覆盖度并非是持续、稳定增加的，而是具有明显的年际波动，在 1982~2006 年，植被覆盖度曾经出现两个明显的峰值，分别是 1983 年和 1990 年，这可能分别与当年冬春季气温较常年明显偏高有关（黄琰等，2011）。

依季节看（图 7），1982~2006 年春、秋、冬季中国东部大部分地区植被覆盖度呈增加趋势，增加区域的面积分别占整个研究区面积的 75.3%、68.0%、71.9%。春季，华北平原、内蒙古高原中东部、秦巴山地、四川盆地东南、云贵高原东部以及武夷山等地区增加趋势明显，长江中下游、内蒙古高原北部以及东北平原绝大部分地区却呈现减小趋势；秋季，华北平原、云贵高原东部、南岭以及武夷山等地区减小趋势明显，呈现出与春季相反的变化趋势；冬季，除了四川盆地东南、云贵高原东部等地区呈减小趋势、长江三角洲呈增加趋势外，其他地区基本与春季的变化趋势相同。夏季中国东部大部分地区植被覆盖度呈减小趋势，减小的部分占整个区域的 55.4%，其中长江下游、南岭、武夷山以及两湖西部等地区减小趋势明显，增加的地区

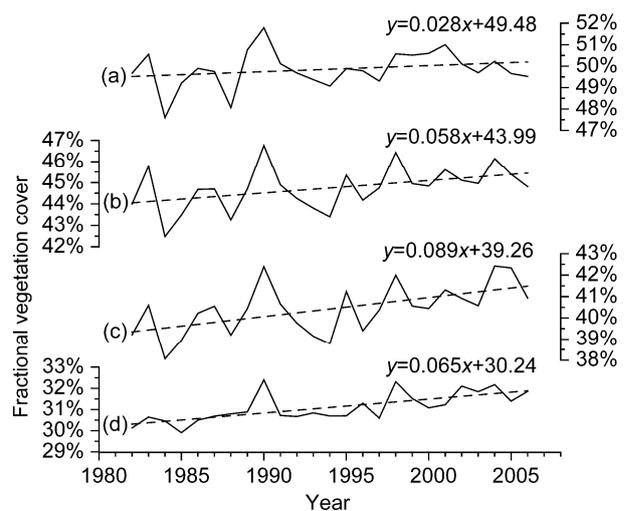


图 6 1982~2006 年 (a) 森林植被、(b) 灌丛植被、(c) 草原植被和 (d) 农业植被的平均植被覆盖度年变化
Fig. 6 The annual variations of fractional vegetation cover of the (a) forest vegetation, (b) shrub vegetation, (c) grassland vegetation, and (d) agricultural vegetation in eastern China from 1982 to 2006

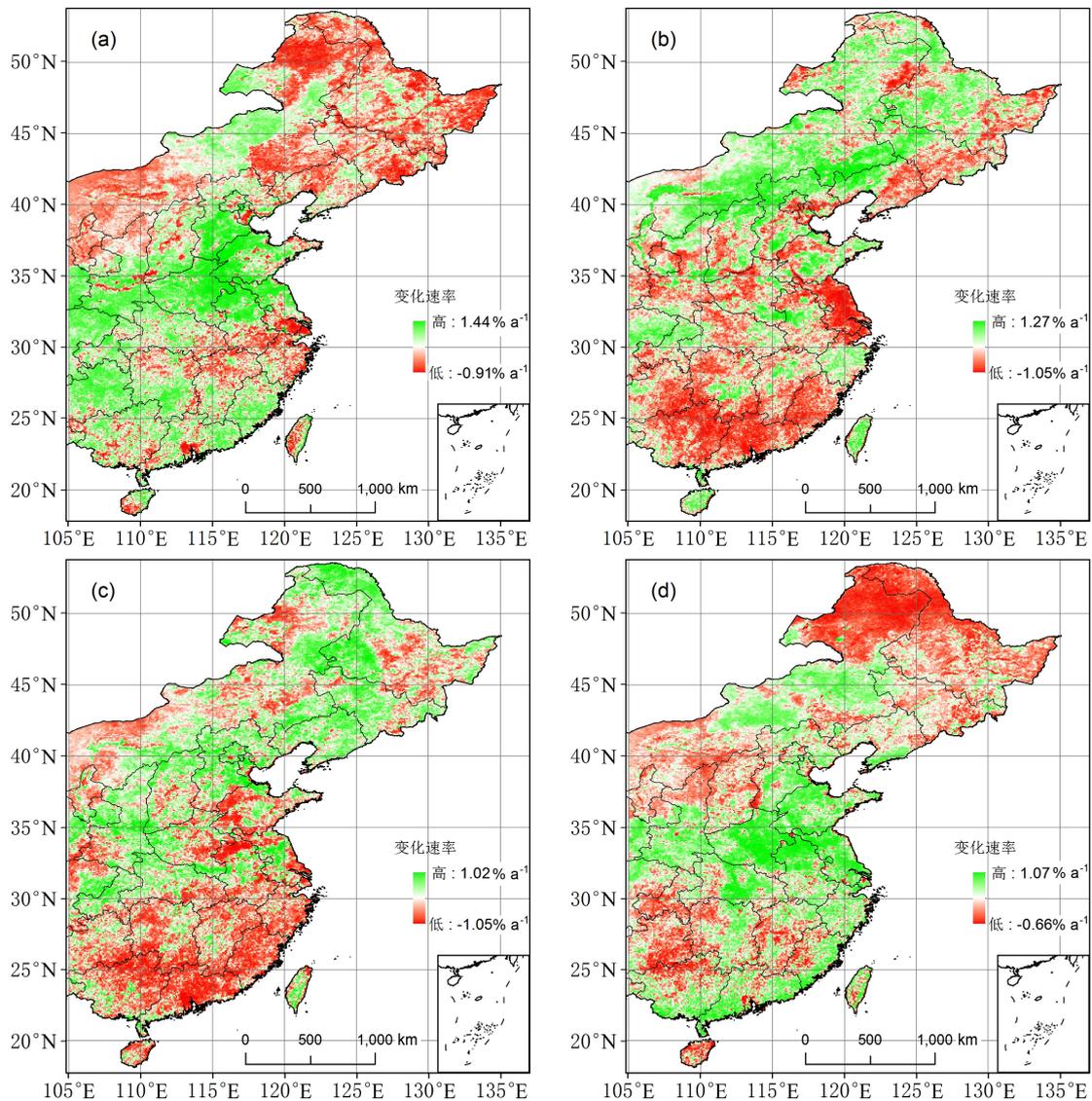


图7 1982~2006年(a)春季、(b)夏季、(c)秋季、(d)冬季植被覆盖度年际变化趋势的空间分布

Fig. 7 Spatial distribution of trends of variations in fractional vegetation cover in (a) spring, (b) summer, (c) autumn, and (d) winter over eastern China from 1982 to 2006

主要分布在内蒙古中东部、松辽平原等北方地区。各季节植被覆盖度年际变化趋势的差异主要受温度、降水年际变化的季节性差异影响(朴世龙和方精云, 2001, 2003), 在农业植被覆盖地区, 这种差异还可能受到种植制度调整和农业管理措施改进的影响, 如华北平原春、冬季节植被覆盖度增加, 部分可以归因于该地区冬小麦种植面积的扩大(徐兴奎等, 2009)。

4 结论与讨论

综合上述分析可知, 中国东部年平均植被覆盖

度为0~84.2%, 呈现出南方高、北方低的空间格局, 由于水分条件的限制, 低值中心出现在内蒙古高原中部, 并且南北差异依季节而变, 夏季南方和北方植被覆盖度普遍较大, 南北差异较小, 冬季南方和北方植被覆盖度普遍较小, 但是北方减少幅度更大, 导致南北差异较大, 春季和秋季的南北差异介于中间, 这与东亚季风区水、热条件南北差异的季节变化有关。依植被类型看, 森林的植被覆盖度最高, 平均为49.9%, 其次是灌丛和农田, 草原的植被覆盖度最低, 为31.1%, 并且森林植被的覆盖度季节变化幅度最大, 为31.5%, 其次是灌丛植被, 为27.7%, 变幅最小的是草原植被, 为15.3%, 一年

两熟农业区植被覆盖度呈现明显的“双峰”特征。依 1982~2006 年的变化趋势看, 研究区内超过 74% 的地区植被覆盖度呈增加趋势, 其中主要是农业区, 并且春季和冬季呈增加趋势的区域面积最大。限于本文篇幅, 我们将另文阐述植被覆盖度变化的机制, 以及 2000 年以后森林植被覆盖度呈下降趋势与中国森林植被持续大幅增加的 inconsistencies 的问题。

本研究揭示了中国东部 1982~2006 年植被覆盖的空间分布和时间演变, 为下一步研究植被覆盖变化的气候效应提供了科学背景, 为利用数值模式模拟植被覆盖变化对地表能量、水分平衡的影响以及对气候的反馈效应提供了基础数据。然而, 本数据集尚有一定的不确定性, 尚待进一步改进, 主要表现为如下三方面: (1) NDVI 数据本身的不确定性, 虽然 NDVI 的物理意义明确, 能较好的指示地表植被动态, 但是 NDVI 比较容易受表层土壤含水量的影响, 并且在植被稠密地区容易饱和 (Gitelson et al., 2002), 为此 Jiménez-Muñoz et al. (2009) 发展了绿色植被指数 (Green Vegetation Index, GVI), 经验证利用 GVI 计算得到的植被覆盖度精度稍高, 不过 GVI 尚待大范围的应用和验证; (2) 像元二分模型的不确定性, 尽管利用像元二分模型已经被广泛应用, 且据此计算的植被覆盖度的精度高于利用线性模型和指数模型得到的计算结果精度 (Xiao and Moody, 2005), 但是像元二分模型将像元地表类型概括为植被和裸地两种, 这与真实像元内部地表类型的高度异质性特征有一定偏差; (3) 裸地和稠密植被 NDVI 阈值的不确定性, 如前所述 NDVI 阈值对植被覆盖度的计算结果有较大影响, Jiménez-Muñoz et al. (2005) 曾专门对此进行了分析, 但是学术界尚未就 NDVI 阈值的选择标准达成共识, 这也是学术界面临的一个重大问题。

参考文献 (References)

- Carlson T N, Ripley D A. 1997. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index [J]. *Remote Sens. Environ.*, 62 (3): 241–252.
- Chen F, Dudhia J. 2001. Coupling an advanced land surface-hydrology Model with the Penn Sate-NCAR MM5 modeling system, Part I: Model implementation and sensitivity [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 129: 569–585.
- 陈晋, 陈云浩, 何春阳, 等. 2001. 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*, 5 (6): 416–422. Chen Jin, Chen Yunhao, He Chunyang, et al. 2001. Sub pixel model for vegetation fraction estimation based on land cover classification [J]. *Journal of Remote Sensing (in Chinese)*, 5 (6): 416–422.
- 陈效述, 喻蓉. 2007. 1982~1999 年我国东部暖温带植被生长季节的时空变化 [J]. *地理学报*, 62 (1): 41–51. Chen Xiaoli, Yu Rong. 2007. Spatial and temporal variations of the vegetation growing season in warm-temperate eastern China during 1982 to 1999 [J]. *Acta Geographica Sinica (in Chinese)*, 62 (1): 41–51.
- 陈效述, 王恒. 2009. 1982~2003 年内蒙古植被带和植被覆盖度的时空变化 [J]. *地理学报*, 64 (1): 84–94. Chen Xiaoli, Wang Heng. 2009. Spatial and temporal variations of vegetation belts and vegetation cover degrees in Inner Mongolia from 1982 to 2003 [J]. *Acta Geographica Sinica (in Chinese)*, 64 (1): 84–94.
- Fang J, Piao S L, He J S, et al. 2004. Increasing terrestrial vegetation activity in China, 1982–1999 [J]. *Science in China (Life Sciences)*, 47 (3): 229–240.
- Gillies R R, Kustas W P, Humes K S. 1997. A verification of the ‘triangle’ method for obtaining surface soil water content and energy fluxes from remote measurements of the Normalized difference vegetation Index (NDVI) and surface radiant temperature [J]. *Int. J. Remote Sens.*, 18: 3145–3166.
- Gitelson A A, Kaufman Y J, Stark R, et al. 2002. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction [J]. *Remote Sens. Environ.*, 80 (1): 76–87.
- Gu Z J, Zeng Z Y, Shi X Z, et al. 2009. Assessing factors influencing vegetation coverage calculation with remote sensing imagery [J]. *Int. J. Remote Sens.*, 30 (10): 2479–2489.
- Gutman G, Ignatov A. 1998. The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models [J]. *Int. J. Remote Sens.*, 19 (8): 1533–1543.
- 黄琰, 封国林, 董文杰. 2011. 近 50 年中国气温、降水极值分区的时空变化特征 [J]. *气象学报*, 69 (1): 125–136. Huang Yan, Feng Guolin, Dong Wenjie. 2011. Temporal changes in the patterns of extreme air temperature and precipitation in the various regions of China in recent 50 years [J]. *Acta Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 69 (1): 125–136.
- Jiang Z Y, Huete A R, Chen J, et al. 2006. Analysis of NDVI and scaled difference vegetation index retrievals of vegetation fraction [J]. *Remote Sens. Environ.*, 101: 366–378.
- Jiménez-Muñoz, J C, Sobrino J A, Guaner L, et al. 2005. Fractional Vegetation Cover Estimation from CHRIS/PROBA Data: Methods, Análisis of Angular Effects and Application to the Land Surface Emissivity Retrieval [C]// Proceedings of the 3rd ESA CHRIS/Proba Workshop, ESA Publications Division, ESTEC, Noordwijk, Holland.
- Jiménez-Muñoz J C, Sobrino J A, Plaza A, et al. 2009. Comparison between fractional vegetation cover retrievals from vegetation indices and spectral mixture analysis: case study of PROBA/CHRIS data over an agricultural area [J]. *Sensors*, 9: 768–793
- Kaufman Y, Tanre D. 1992. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS [J]. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 30 (2): 261–270.
- Leprieux C, Verstraete M M, Pinty B. 1994. Evaluation of the performance of various vegetation indices to retrieve vegetation cover from AVHRR

- data [J]. *Remote Sensing Review*, 10 (4): 265–284.
- 李苗苗. 2003. 植被覆盖度的遥感估算方法研究 [D]. 中国科学院研究生院硕士学位论文, 113pp. Li Miaomiao. 2003. The method of vegetation fraction estimation by remote sensing [D]. M. S. thesis (in Chinese), Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, 113pp.
- 李苗苗, 吴炳方, 颜长珍, 等. 2004. 密云水库上游植被覆盖度的遥感估算 [J]. *资源科学*, 26 (4): 153–159. Li Miaomiao, Wu Bingfang, Yan Changzhen, et al. 2004. Estimation of vegetation fraction in the upper basin of Miyun reservoir by remote sensing [J]. *Resources Science (in Chinese)*, 26 (4): 153–159.
- 罗志军, 赵小敏, 刘耀林. 2008. 基于遥感的三峡库区植被覆盖度动态监测 [J]. *农业工程学报*, 24 (S1): 57–60. Luo Zhijun, Zhao Xiaomin, Liu Yaolin. 2008. Dynamic monitoring of vegetation fraction based on remote sensing in Three Gorge area [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (in Chinese)*, 24 (S1): 57–60.
- 满多清, 吴春荣, 徐先英, 等. 2005. 腾格里沙漠东南缘荒漠植被盖度月变化特征及生态恢复 [J]. *中国沙漠*, 25 (1): 140–144. Man Duoqing, Wu Chunrong, Xu Xianying, et al. 2005. Monthly changing characteristics on desert vegetation coverage and eco-restoration in southeast fringe area of Tengger Desert [J]. *Journal of Desert Research (in Chinese)*, 25 (1): 140–144.
- 朴世龙, 方精云. 2001. 最近 18 年来中国植被覆盖的动态变化 [J]. *第四纪研究*, 21 (4): 294–302. Piao Shilong, Fang Jingyun. 2001. Dynamic vegetation cover change over the last 18 years in China [J]. *Quaternary Sciences (in Chinese)*, 21 (4): 294–302.
- 朴世龙, 方精云. 2003. 1982~1999 年我国陆地植被活动对气候变化响应的季节差异 [J]. *地理学报*, 58 (1): 119–125. Piao Shilong, Fang Jingyun. 2003. Seasonal changes in vegetation activity in response to climate changes in China between 1982 and 1999 [J]. *Acta Geographica Sinica (in Chinese)*, 58 (1): 119–125.
- Piao S L, Wang X H, Ciais P, et al. 2011. Changes in satellite-derived vegetation growth trend in temperate and boreal Eurasia from 1982 to 2006 [J]. *Global Change Biology*, 17 (10): 3228–3239, doi:10.1111/j.1365-2486.2011.02419.x.
- Qi J, Marslett R C, Moran M S, et al. 2000. Spatial and temporal dynamics of vegetation in the San Pedro River basin area [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 105: 55–68.
- Rundquist B C. 2002. The influence of canopy green vegetation fraction on spectral measurements over native tall grass prairie [J]. *Remote Sens. Environ.*, 81 (1): 129–135.
- 孙红雨, 王长耀, 牛铮, 等. 1998. 中国地表植被覆盖变化及其与气候因子关系——基于 NOAA 时间序列数据分析 [J]. *遥感学报*, 1998, 2 (3): 204–210. Sun Hongyu, Wang Changyao, Niu Zheng, et al. 1998. Analysis of the vegetation cover change and the relationship between NDVI and environmental factors by using NOAA time series data [J]. *Journal of Remote Sensing (in Chinese)*, 2 (3): 204–210.
- 孙睿, 刘昌明, 朱启疆. 2001. 黄河流域植被覆盖度动态变化与降水的关系 [J]. *地理学报*, 2001, 56 (6): 667–672. Sun Rui, Liu Changming, Zhu Qijiang. 2001. Relationship between the fractional vegetation cover change and rainfall in the Yellow River Basin [J]. *Acta Geographica Sinica (in Chinese)*, 2001, 56 (6): 667–672.
- 孙世洲. 1981. 《中华人民共和国植被图》(1:4000000) 简介 [J]. *植物生态学报*, 5 (1): 79. Sun Shichou. 1981. Abrien note on *The Vegetation Map of China (1:4000000)* [J]. *Acta Phytocologica Sinica (in Chinese)*, 5 (1): 79.
- Subin Z M, Riley W J, Christianson D S, et al. 2011. Ecosystem feedbacks to climate change in California: development, testing, and analysis using a coupled regional atmosphere and land surface model (WRF3-CLM3.5) [J]. *Earth Interactions*, 15: 1–38, doi:10.1175/2010EI331.1.
- Tucker C J, Pinzon J E, Brown M E, et al. 2005. An extended AVHRR 8-km NDVI dataset compatible with MODIS and SPOT vegetation NDVI data [J]. *Int. J. Remote Sens.*, 26: 4485–4498.
- Wang X H, Piao S L, Ciais P, et al. 2011. Spring temperature change and its implication in the change of vegetation growth in North America from 1982 to 2006 [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108: 1240–1245.
- 吴云, 曾源, 赵炎. 2010. 基于 MODIS 数据的海河流域植被覆盖度估算及动态变化分析 [J]. *资源科学*, 32 (7): 1417–1424. Wu Yun, Zeng Yuan, Zhao Yan. 2010. Monitoring and dynamic analysis of fractional vegetation cover in the Hai River Basin based on MODIS data [J]. *Resources Science (in Chinese)*, 32 (7): 1417–1424.
- 武永峰, 李茂松, 刘布春, 等. 2008. 基于 NOAA NDVI 的中国植被绿度始期变化 [J]. *地理科学进展*, 27 (6): 32–40. Wu Yongfeng, Li Maosong, Liu Buchun, et al. 2008. Changes of Chinese beginning date of vegetation greenness period based on NOAA NDVI [J]. *Progress in Geography (in Chinese)*, 27 (6): 32–40.
- Xiao J, Moody A. 2005. A comparison of methods for estimating fractional green vegetation cover within a desert-to-upland transition zone in central New Mexico, USA [J]. *Remote Sens. Environ.*, 98: 237–250.
- 徐兴奎, 王小桃, 金晓青. 2009. 中国区域 1960~2000 年活动积温年代变化和地表植被的适应性调整 [J]. *生态学报*, 29 (11): 6042–6050. Xu Xingkui, Wang Xiaotao, Jin Xiaoqing. 2009. Vegetation response to active accumulated temperature patterns from 1960–2000 in China [J]. *Acta Ecologica Sinica (in Chinese)*, 29 (11): 6042–6050.
- Zeng X B, Shaikh M, Dai Y J, et al. 2002. Coupling of the common land model to the NCAR Community Climate Model [J]. *J. Climate*, 15: 1832–1854.
- 中国科学院植物研究所. 1979. 中华人民共和国植被图 [M]. 北京: 地图出版社. Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences. 1979. *Vegetation Map of the Peoples Republic of China (in Chinese)* [M]. Beijing: China Map Press.
- Zhou L M, Tucker C J, Kaufmann R K, et al. 2001. Variations in northern vegetation activity inferred from satellite data of vegetation index during 1981 to 1999 [J]. *J. Geophys. Res.*, 106: 20069–20083.
- Zribi M, Le Hégarat-Masclé S, Taconet O, et al. 2003. Derivation of wild vegetation cover density in semi-arid regions: ERS2/SAR evaluation [J]. *Int. J. Remote Sens.*, 24 (6): 1335–1352.