第28卷 第1期 自 然 资 源 学 报 Vol. 28 No. 1
2013年1月 JOURNAL OF NATURAL RESOURCES Jan.,2013

1982—2006年中国东部秋季植被覆盖变化过程的区域差异

张学珍，郑景云，何凡能，戴君虎
（中国科学院 地理科学与资源研究所，北京 100101）

摘要： 为进一步认识1982—2006年中国东部秋季植被覆盖变化过程及其区域差异，论文分析了1982—2006年9—10月归一化差值植被指数（NDVI）的多年平均状况和年际变化，并通过聚类分析辨识了NDVI变化过程的主要模态，进而探讨了它们与温度和降水变化的相关关系。结果表明：（1）中国东部秋季森林的覆盖度最高，农田次之，草原最低，并表现出1998年之前趋于增加、此后趋于锐减的变化特征；（2）不同区域植被覆盖变化过程不尽相同，整个研究区植被覆盖变化过程可以分为6种模态，其中①东北地区呈波动上升趋势，②内蒙古高原东北部1982—1998年波动上升、1998年后陡然降低，③华北北部—东北南部呈现跃迁式上升，跃迁年份为1994年，④华北南部表现为先降低后略微增加，趋势转折出现在2000年，⑤江淮地区呈现为1982—1992年波动增加、1992—2006年波动降低，⑥长江及其以南地区表现为陡然下降，突变始于2000年；（3）除了内蒙古高原东北部降水变化能够解释植被覆盖度年际变率的66%以外，华北北部—东北南部的植被覆盖与降水具有正相关关系，秦岭—大巴山—长江中下游及以南地区的植被覆盖与同期温度呈显著正相关，但是降水或温度仅能够解释植被覆盖年际变率的21%，其余地区植被覆盖与气候变化没有显著的相关关系。

关 键 词： 中国东部；秋季；植被覆盖；区域差异
中图分类号： Q948 **文献标志码：** A **文章编号：** 1000－3037（2013）01－0028－10

植被是气候系统中的活跃成员，它不仅受水、热等气候因素影响[1]，而且对区域气候具有反馈效应[2-3]，因而深入理解植被变化对于深入认识地-气相互作用过程有着重要的意义。在地-气相互作用的研究中，一般从植被类型和植被数量两个方面描述植被的变化[4]，其中植被数量包括水平方向的植被覆盖面积（植被覆盖度）和垂直方向的植被叶面积两个要素。相对而言，植被覆盖面积更易于观测，且对地表其他参数（比如反照率、反射率、粗糙度等）有较大影响。在大尺度的研究中，植被覆盖度一般被认为与归一化差值植被指数（NDVI）呈正比例关系[5-8]；已有研究结果也表明：利用由NDVI经过线性换算得到的植被覆盖度替换（美国）国家环境预测中心（National Centers for Environmental Prediction，NCEP）的Eta模式中人为设定的经验数值能够显著提高模拟精度[5]。

中国东部气候类型多样，区域水、热条件的年际和年代际变率大，且人类活动强度高。因此，该区域植被覆盖度在气候变化和人类活动的双重影响下，变化显著。NDVI变化的研究表明，自1980年代初至2000年代初，中国大部分地区春季植被覆盖呈明显增加趋势，其

收稿日期： 2012－04－11；**修订日期：** 2012－07－09。
基金项目： 全球变化研究国家重大科学研究计划（2010CB951801，2010CB950903）；国家自然科学基金项目（41001122，41030101）。
第一作者简介： 张学珍（1981－），男，博士，助理研究员，主要从事地-气相互作用研究。

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

中东部地区增速最大,因此生长季提前被认为是中国植被响应全球气候变化的主要方式之一[9]。其他多项研究也支持这一观点,比如关于 1982—1999 年 NDVI 变化的研究表明,我国大多数地区的 NDVI 都呈现不同程度增加的趋势,其中春季和夏季增加显著[10];关于黄淮海地区的研究指出 1982—2003 年春季 NDVI 呈现快速增加的趋势[11];关于呼伦贝尔草原的研究发现 1982—2006 年间春、夏和秋季 NDVI 均呈增加趋势,其中春季增加速率最大,主要由 4—5 月 NDVI 快速增加所致[12]。

另有研究表明,植被对全球气候变化的响应还表现为秋季生长季结束时间的推迟[13]。来自中国物候观测网的数据表明,1962—2008 年中国东部木本植物秋季叶全变色期变化总体表现为推迟的趋势,其中 20 世纪 80 年代后推迟趋势明显,并且推迟日数与气候增暖幅度呈显著正相关[14]。内蒙古 17 个站点小白杨的物候观测表明,受气候变暖的影响,1982—2006 年小白杨秋季落叶期呈延后趋势[15]。生长季结束日期的变化可能意味着秋季植被覆盖也发生了变化。然而,有关大尺度秋季植被覆盖变化过程及其区域差异的认知目前还非常有限。

本文拟利用遥感观测的归一化差值植被指数(NDVI),通过聚类分析方法,揭示中国东部秋季(9—10 月)大尺度植被覆盖变化的过程及其区域差异,为深刻认识中国东部植被-大气相互作用机制提供科学基础。鉴于如何获取纯植被和纯裸地的 NDVI 数值计算 NDVI 与植被覆盖度之间的比例系数尚存争议[7-8],本文基于学术界的广泛共识: NDVI 与植被覆盖度之间存在正比例关系[5-8],以 NDVI 作为植被覆盖度的指标,分析植被覆盖度变化特征。在时段选择上,据地面物候观测,中国东部木本植物的叶全变色期始于 9 月底,大多出现在 10 月和 11 月; 鉴于 11 月东北地区已经出现积雪覆盖,这将影响 NDVI 的数据质量,故本文未取天文学意义上的秋季(即 9—11 月),而是以 9—10 月为研究时段。

1　数据与方法

本研究采用了 Global Inventory Modeling and Mapping Studies (GIMMS) 提供的 1982—2006 年的 NDVI 数据集①,其空间分辨率为 8 km,时间分辨率为 15 d[16-17]。该数据基于最大合成法得到,所用原始数据来自 6 颗卫星,分别是 NOAA-7(1982—1985 年)、NOAA-9(1986—1988 年)、NOAA-11(1989—1994 年)、NOAA-14(1995—2000 年)、NOAA-16(2001—2003 年)和 NOAA-17(2004—2006 年)。原始数据经过了消除云污染、卫星轨道漂移的影响以及不同卫星数据之间的标定等预处理,并针对 1982 年和 1991 年两次大规模火山喷发进行了矫正[18],以尽可能消除非植被因素的干扰。该数据集在中国区域的数据质量已经得到验证[10,19],并已广泛用于分析植被活动的变化及其对气候变化的响应[19-21]。

本研究采用的温度数据为网格化的观测气温,是利用全国 751 个地面气象站的观测温度,采用空间内插方法得到[22]。该数据集的空间分辨率为 0.5°(经纬度),时间分辨率为月。降水数据是利用全国 700 余个地面气象站和大约 1 000 个水文站雨量桶测量的降水量,通过空间内插方法插值得到[23]。该数据集的空间分辨率也是 0.5°(经纬度),时间分辨率为月。

本研究包括三部分: ①分析 1982—2006 年中国东部(110°E 以东的中国陆地区域) 9—10 月平均 NDVI 的空间分布和区域平均的变化过程; ②对 1982—2006 年 9—10 月平均 ND-

① 下载自 http: //www. landcover. org/data/gimms/。

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

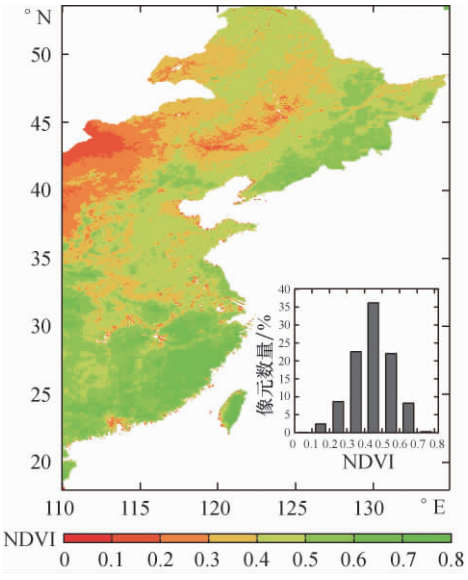
VI 进行聚类分析，辨识植被覆盖变化过程的主要模态及其空间分布；③分析各个 NDVI 变化模态与同期和前期平均温度和总降水量变化的相关关系，诊断分析气候变化对秋季植被覆盖度变化的影响。

具体而言，文中采用了系统聚类法[24]，以样本（像元）之间的相关系数表示样本之间的相似性，以类与类之间的最短距离表示类型间的差异性。需要说明的是，为减小聚类分析过程中的计算量，在聚类分析之前，本研究对 NDVI 数据进行了空间重采样，每 5 个 8 km 分辨率的像元合并成一个像元（利用平均值法进行合并）；鉴于本文旨在分析大尺度植被覆盖变化过程及其区域差异，文中依据聚类树的结构，并且兼顾空间分布的连续性原则，将由聚类分析直接得到的 26 种模态重组为 6 大类模态。最后，在分析 NDVI 变化与气候变化的相关关系时，本文计算了各模态分布范围内的平均 NDVI 与平均温度和平均降水距平百分率的相关系数，其中包括区域平均 NDVI 与温度、降水量原始序列之间的相关系数和它们一阶差序列之间的相关系数。一阶差序列的计算公式为 $d_i = v_{i+1} - v_i$，式中 v_i 为原始时间序列，d_i 为一阶差时间序列，$i = 1, 2, \cdots, 24$ 表示时间序号，分别表示 1982、1983、…、2005 年。

2 结果分析

2.1 秋季植被覆盖度多年平均状况与年际变化

从多年平均状况看，中国东部秋季的植被覆盖度具有明显的地理差异。如图 1 所示，植被覆盖最高的是天目山—武夷山和台湾山地森林地区，NDVI 大多超过 0.7，约占研究区总面积的 9%；其次是武当山—巫山、大别山和九岭山，以及东北地区小兴安岭东缘和长白山森林地区，NDVI 为 0.6～0.7，约占研究区面积的 22%；再次是东北大兴安岭、小兴安岭森林地区和东北平原东部、黄淮海平原农业植被区，NDVI 为 0.5～0.6，约占研究区面积的 36%，



注：右下角直方图显示了各个级别的 NDVI 像元的相对数量。

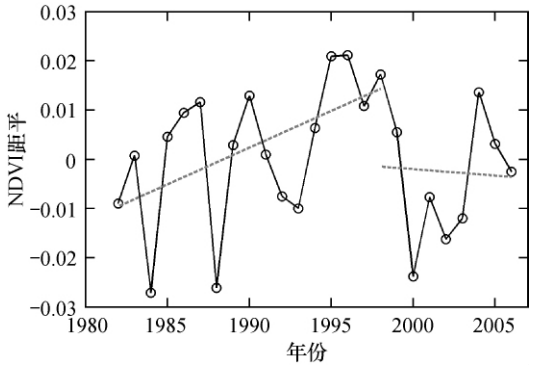
图 1 中国东部（110°E 以东的中国陆地区域）1982—2006 年平均的秋季（9—10 月）NDVI 空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of mean NDVI of autumn (September-October) during 1982-2006 over eastern China (east of 110°E)

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

是分布范围最广的一类; 然后是东北平原中西部和内蒙古高原东部的典型草原区,NDVI 为 0.4～0.5,约占研究区面积的 22%; 稍低的是内蒙古高原中部荒漠草原区,NDVI 为 0.3～0.4,约占研究区面积的 9%; 最低的是内蒙古高原中北部的灌木、半灌木荒漠区,NDVI 低于 0.3,大约占研究区总面积的 2%。

中国东部区域平均植被覆盖度在 1982—2006 年具有明显的阶段性变化特征和年际变率。从低频的角度看,1982—2006 年区域平均 NDVI 的变化大致以 1998 年为分界点,此前 NDVI 呈现显著增加趋势,增速为 0.015/10 a,其后增加趋势终止,NDVI 降至一个较低的水平(图 2)。从高频的角度看,1984、1988 和 2000 年是 3 个极端低覆盖年份,区域平均 NDVI 距平(相对于 1982—2006 年平均,下同)分别为 -0.027、-0.026 和 -0.024; 1995 和 1996 年是两个极端高覆盖度年份,区域平均 NDVI 距平皆为 0.021。依极端年份距平的分布格局看(图 3),植被覆盖异常程度具有明显的区域性。1984 年异常低覆盖区主要出现在北方,1988 年异常低覆盖区南北并存,2000 年异常低覆盖区主要出现在南方; 而 1995 年异常高覆



注: 虚线为趋势线。

图 2　1982—2006 年中国东部(110°E 以东的中国陆地区域)区域平均秋季 NDVI 距平(相对于 1982—2006 年的平均)的年际变化

Fig. 2　Inter-annual variations in anomaly (reference to mean of 1982-2006) of regional mean autumn NDVI over eastern China (east of 110°E) during 1982-2006

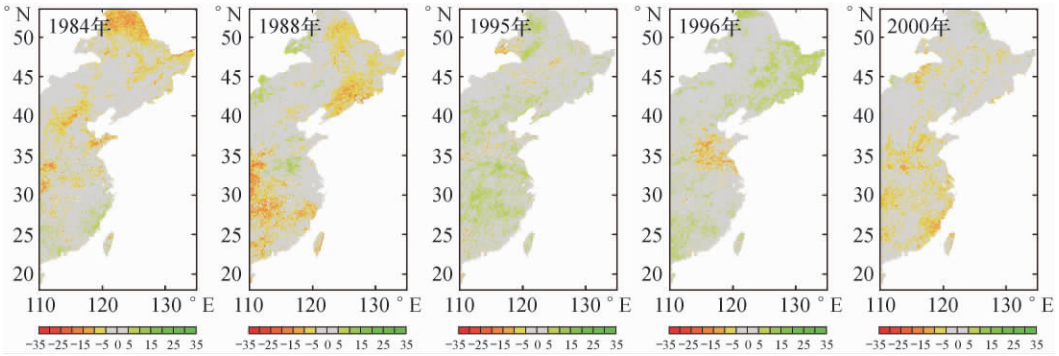


图 3　1982—2006 年中国东部(110°E 以东的中国陆地区域)秋季植被覆盖异常偏低年(1984、1988 和 2000 年)和异常偏高年(1995 和 1996 年) NDVI 距平(单位: 0.01; 相对于 1982—2006 年平均)的空间格局

Fig. 3　Spatial pattern of anomalies of NDVI (unit: 0.01; reference to mean of 1982-2006) in regional positive anomaly years (1984, 1988 and 2000) and in regional negative anomaly years (1995 and 1996) over eastern China (east of 110°E)

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

盖则以南方为主，主要出现在江淮和江南丘陵地区，1996 年不同于上述各极端年份，异常偏高和偏低覆盖区域并存，异常偏高区域南北并存，包括三江平原及其周边的小兴安岭、长白山，以及南岭，异常偏低区域主要出现在华北平原。

2.2 秋季植被覆盖度变化的主要模态

从 1982—2006 年 NDVI 变化过程的聚类分析结果（图 4）可以看出，中国东部秋季植被覆盖变化过程可以归纳为 6 种主要模态，其差异具有一定的层次性。在第一层次上，表现为南北差异，大致以秦岭—淮河为界，南方有模态 Ⅰ（以淮河流域为主）和模态 Ⅱ（主要包括秦岭—大巴山和长江中下游及其以南等地区），北方有其余的 4 个模态。在第二层次上，南方地区表现为上述两个模态的差异，北方地区主要表现为内蒙古草原（模态 Ⅲ）与东北和华北的差异。第三层次上，表现为东北以森林为主的地区（模态 Ⅵ）与华北—东北南部的差异。第四层次上，表现为华北南部（模态 Ⅳ）与华北北部—东北南部（模态 Ⅴ）的差异。在第五及更低的层次上，各类之间的差异主要表现为年际变率之间的差异。

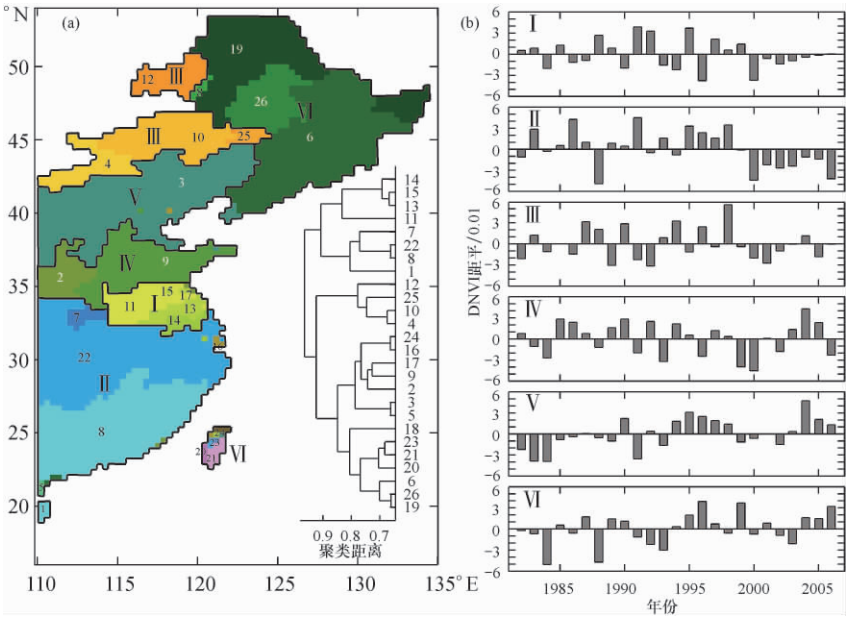


图 4 1982—2006 年秋季（9—10 月）NDVI 变化的主要模态：（a）各模态的空间分布及各模态的聚类谱系图（以黑色线条为多边形的区域为重组后的模态的空间范围）；（b）各模态的变化过程

Fig. 4 Variations models of autumn NDVI during 1982-2006: (a) spatial distributions of models and their hierarchical clustering dendrogram (polygons contoured by black solid line represent the spatial domain of regrouped models); (b) temporal variations of models

具体来说，以淮河流域为主的模态 Ⅰ，在 1982—2006 年间，植被覆盖表现为先增加后减少的变化趋势，其转折点大致出现在 1992 年；1982—1992 年和 1992—2006 年 NDVI 的年变化速率分别为 0.026/10 a 和 −0.01/10 a，并且 1990 年代的年际变率明显大于 1980 年代和 2000 年以后；最大和最小植被覆盖皆出现在 1990 年代，最大植被覆盖出现在 1991 年和 1995 年，区域平均 NDVI 较 1982—2006 年平均值（下同）偏高 0.04，最小植被覆盖出现在 1996 年和 2000 年，区域平均 NDVI 偏低 −0.04。占据秦岭—大巴山—长江中下游及其以南地区的模态 Ⅱ，在 1982—2006 年间，植被覆盖表现为突变式降低，突变大致出现在 1999 年，

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

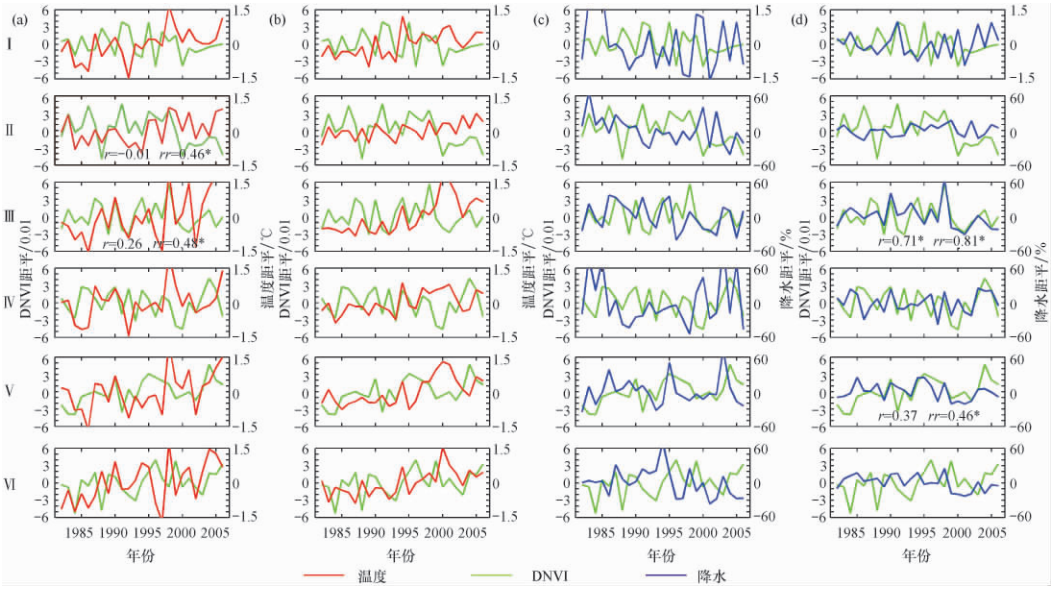
此前绝大多数年份的植被覆盖均为正距平，自 2000 年后全部为负距平; 在 1982—1998 年的 17 a 间，有 12 a 为正距平，最大植被覆盖出现在 1991 年，区域平均 NDVI 偏高 0. 04; 而 1999 年之后，植被覆盖降至一个较低的水平，在 2000—2006 年的 7 a 间，皆为负距平，最低植被覆盖出现在 2000 年，区域平均 NDVI 偏低 - 0. 05。以内蒙古高原东北部草地为主的模态Ⅲ，植被覆盖表现为先增后陡然降低的变化特征，转折点大致出现在 1998 年; 1982—1998 年 NDVI 以 0. 002/10 a 的速率升高，最高植被覆盖出现在 1998 年，区域平均 NDVI 偏高 0. 06，最低植被覆盖出现在 1992，区域平均 NDVI 偏低 - 0. 03; 1998 年以后增加趋势中断，被连续多年的负距平所取代，1999—2006 年区域平均 NDVI 偏低 - 0. 01。占据华北南部的模态 IV，呈现出先降低后略微增加的变化特征，转折年份大致为 2000 年; 在 1982—2000 年间，NDVI 以 - 0. 01/10 a 的速率减少，最低植被覆盖出现在 2000 年，区域平均 NDVI 偏低 - 0. 046; 2001—2006 年植被覆盖重新跃迁至一个较高的水平，6 a 中有 4 a 为正距平，并且 2004 年出现了最高植被覆盖，区域平均 NDVI 偏高 0. 023。分布于华北北部和东北南部的模态 V，呈现平均值跃迁式上升的特征，跃迁出现在 1994 年; 1982—1993 年区域平均 NDVI 仅有两年为正距平，NDVI 平均偏低 - 0. 013，最低植被覆盖出现在 1983 和 1984 年，NDVI 偏低 - 0. 04; 1994—2006 年区域平均 NDVI 有 10 a 为正距平，NDVI 平均偏高 0. 01，最高植被覆盖出现在 2004 年，区域平均 NDVI 偏高 0. 05，由此导致该区域呈现持续增加的变化特征，NDVI 的增加速率为 0. 017/10 a。占据东北地区所有山区以及松嫩平原北部的模态 VI，呈现波动增加的特征; 1982—2006 年 NDVI 以 0. 012/10 a 的速率上升，最低植被覆盖出现在 1984 年，最高植被覆盖出现在 1996 年，区域平均 NDVI 分别偏低 - 0. 05、偏高 0. 04。

2. 3　NDVI 变化与区域气候变化的相关关系

图 5 显示了 1982—2006 年秋季 NDVI 变化与同期及 5—9 月温度和降水变化的相关关系。其中，模态Ⅲ的 NDVI 变化与 5—9 月降水变化呈显著正相关，相关系数为 0. 71($P < 0.001$) ，年际尺度上二者的相关系数更是高达 0. 81($P < 0.001$) ，表明降水变化能够解释超过 50% 的 NDVI 的变率。同时，年际尺度上 NDVI 变化与同期温度变化也呈显著正相关，相关系数为 0. 48($P < 0.05$) ，但是此相关关系主要出现在降水相对比较丰沛的 2000 年之前，而 2000 年之后降水相对减少，NDVI 也进入了低值期，NDVI 与温度不再同步变化。这说明降水对植被年际变化的影响程度大于温度。模态 V 的 NDVI 变化与 5—9 月降水变化也呈现显著正相关，但是此相关关系仅仅出现在年际尺度上，并且相关系数为 0. 46($P < 0.05$) ，表明降水变化仅能够解释 21% 的 NDVI 的变率。由此可见，模态Ⅲ与模态Ⅴ中 NDVI 均受降水的显著影响，其中尤以模态Ⅲ为甚，这与模态Ⅲ和模态Ⅴ均属于半干旱区，且模态Ⅲ的干旱指数较高的研究结果[23]是一致的。

模态Ⅱ的 NDVI 变化与同期温度呈显著正相关关系，这表明高(低) 植被覆盖度往往出现在偏暖(偏凉) 气候条件之下，不过此相关关系仅表现在年际尺度上，相关系数为 0. 46($P < 0.05$) ，意味着温度的年际波动仅能够解释 21% 的 NDVI 的年际变率。模态 VI 中 NDVI 与温度和降水的年际波动之间不存在显著的相关关系，但是 NDVI 与生长季温度的趋势性变化基本一致，二者均表现为平衡态跃迁式变化，该跃迁大致出现在 1993—1994 年。除此以外，模态 I 和模态 IV 的 NDVI 变化与气候变化的相关关系较弱，尚未达到 95% 的显著性水平。

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



注: *r* 和 *rr* 分别表示原始序列和一阶差序列的相关系数,* 表示相关系数达到 95% 的显著性水平。

图 5 1982—2006 年秋季(9—10 月) NDVI 变化模态与其区域平均的(a) 同期温度、(c) 降水和(b) 5—9 月温度、(d) 降水关系

Fig. 5 Variations in autumn NDVI (September to October) for each model and the variations in regional (a) contemporary temperature, (c) precipitation, (b) growing season (May to September) temperature and (d) precipitation

3 结论与讨论

上述分析表明,1982—2006 年中国东部秋季植被覆盖变化具有明显的年际波动,最低和最高的年份分别是 1984、1988、2000 年和 1995、1996 年,并且呈现出 1998 年之前趋于增加、此后陡然降低的变化趋势。但是,各地区植被覆盖变化的过程并非一致,中国东部植被覆盖的变化过程可以归纳为 6 种主要模态,就其空间分布而言,它们与自然地理单元基本对应,依次为东北地区、内蒙古高原东北部、华北北部—东北南部、华北南部、江淮地区、秦岭—大巴山—长江中下游及其以南地区。其中,只有位于北方半湿润-半干旱气候区的东北地区和华北北部—东北南部的植被覆盖呈现持续增加趋势。

相关分析表明,植被覆盖与气候变化的关系因地而异。其中,华北南部和江淮地区植被覆盖与气候变化没有显著的相关关系;东北地区植被覆盖的年际波动与气候变化关系甚微;秦岭—大巴山—长江中下游及以南地区的植被覆盖的年际变化与同期温度呈显著正相关,华北北部—东北南部的植被覆盖与 5—9 月降水量呈显著正相关,但是温度或降水仅能够解释植被覆盖 21% 的年际变率;内蒙古高原东北部的植被覆盖与 5—9 月降水量显著正相关,降水变化能够解释植被覆盖 66% 的年际变率。

需要说明的是,NDVI 的饱和值很低,当 LAI 超过 2~3 时,NDVI 将不再增加;另一方面,当植被过于稀疏时,NDVI 受土壤辐射亮度(比如由于土壤含水量的变化引起的反射率变化) 的影响较大[26]。其次,本文仅分析了大尺度植被覆盖变化的区域分异,某些局地尺度的植被覆盖变化有可能与大尺度植被覆盖变化特征不一致,其原因有多种,比如局地尺度的气候(水、热条件) 与大尺度气候变化过程不一致,局地的植被类型与大尺度的主导植被类型

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

不同,局地尺度上火灾、虫害、渍涝等灾害对植被的影响,等等。最后,本研究仅分析了平均温度和降水量变化与植被覆盖变化的相关关系,这尚不足以解释所有区域植被活动的变化,因为影响植被活动变化的因素有多种,除平均温度和降水量以外,植被活动还受日最高温、日最低温、降水量的时间分布特征、太阳辐射(云量)等因素的影响,这有待进一步的研究。

参考文献(References):

[1] Fischlin A, Midgley G F, Price J T, *et al*. Ecosystems, their properties, goods, and services [M] // Parry M L, Canziani O F, Palutikof J P, *et al*. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 211-272.

[2] Foley J A, Levis S, Costa M H, *et al*. Incorporating dynamic vegetation cover within global climate models [J]. *Ecological Applications*, 2000, 10: 1620-1632.

[3] Mahmood R, Pielke R A, Hubbard K G, *et al*. Impacts of land use/land cover change on climate and future research priorities [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2010, 91(1): 37-46.

[4] Avissar R, Verstraete M M. The representation of continental surface processes in atmospheric models [J]. *Reviews of Geophysics*, 1990, 28: 35-52.

[5] Gutman G, Ignatov A. The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1998, 19(8): 1533-1543.

[6] Zeng X, Dickinson R E, Walker A, *et al*. Derivation and evaluation of global 1-km fractional vegetation cover data for land modeling [J]. *Journal of Applied Meteorology*, 2000, 39: 826-839.

[7] Xiao J, Aaron Moody. A comparison of methods for estimating fractional green vegetation cover within a desert-to-upland transition zone in central New Mexico, USA [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 98: 237-250.

[8] Jiménez-Muñoz J C, Sobrino J A, Plaza A, *et al*. 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*, 2009, 9: 768-793.

[9] **朴世龙, 方精云**. 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**, 2003, 58(1): 119-125. [PIAO Shi-long, FANG Jing-yun. Seasonal changes in vegetation activity in response to climate changes in China between 1982 and 1999. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(1): 119-125.]

[10] Fang J Y, Piao S L, He J S, *et al*. Increasing terrestrial vegetation activity in China, 1982-1999 [J]. *Science in China Series C—Life Sciences*, 2004, 47(3): 229-240.

[11] **陈怀亮, 徐祥德, 杜子璇, 等**. **黄淮海地区植被活动对气候变化的响应特征** [J]. **应用气象学报**, 2009, 20(5): 513-520. [CHEN Huai-liang, XU Xiang-de, DU Zi-xuan, *et al*. Vegetation activity responses to climate change in Huang-Huai-Hai area based on GIMMS NDVI dataset. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2009, 20(5): 513-520.]

[12] **张戈丽, 徐兴良, 周才平, 等**. **近** 30 **年来呼伦贝尔地区草地植被变化对气候变化的响应** [J]. **地理学报**, 2011, 66(1): 47-58. [ZHANG Ge-li, XU Xin-liang, ZHOU Cai-ping, *et al*. Responses of vegetation changes to climatic variations in Hulun Buir Grassland in past 30 years. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(1): 47-58.]

[13] Piao S L, Fang J Y, Zhou L M, *et al*. Variations in satellite-derived phenology in China's temperate vegetation [J]. *Global Change Biology*, 2006, 12(4): 672-685.

[14] **仲舒颖, 郑景云, 葛全胜**. **近** 40 **年中国东部木本植物秋季叶全变色期变化** [J]. **中国农业气象**, 2010, 31(1): 1-4. [ZHONG Shu-ying, ZHENG Jing-yun, GE Quan-sheng. Change of autumnal leaf coloring of woody plants in eastern China for the last 40 years. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2010, 31(1): 1-4.]

[15] **吴瑞芬, 沈建国, 闫伟兄, 等**. **气候变暖对内蒙古地区小白杨物候的影响** [J]. **应用生态学报**, 2009, 20(4): 785-790. [WU Rui-fen, SHEN Jian-guo, YAN Wei-xiong, *et al*. Impact of climate warming on phenophase of Populus Tomentosa in Inner Mongolia. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(4): 785-790.]

[16] Tucker C J, Slayback D A, Pinzon J E, *et al*. Higher northern latitude normalized difference vegetation index and growing

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

season trends from 1982 to 1999 [J]. *International Journal of Biometeorology*, 2001, 45: 184–190.

[17] Zhou L, Tucker C J, Kaufmann R K, *et al*. Variations in northern vegetation activity inferred from satellite data of vegetation index during 1981 to 1999 [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2001, 106: 20069–20083.

[18] Tucker C J, Pinzon J E, Brown M E, *et al*. An extended AVHRR 8-km NDVI data set compatible with MODIS and SPOT vegetation NDVI data [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2005, 26: 4485–4498.

[19] Piao S L, Wang X H, Ciais P, *et al*. Changes in satellite-derived vegetation growth trend in temperate and boreal Eurasia from 1982 to 2006 [J]. *Global Change Biology*, 2011, doi: 10.1111/j.1365–2486.2011.02419.x.

[20] Zhou L, Kaufmann R K, Tian Y, *et al*. Relation between interannual variations in satellite measures of northern forest greenness and climate between 1982 and 1999 [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2003, 108(D1), 4004, doi: 10.1029/2002JD002510.

[21] Wang X H, Piao S L, Ciais P, *et al*. 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 USA*, 2011, 108(4): 1240–1245. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1014425108.

[22] Xu Y, Gao X J, Shen Y, *et al*. A daily temperature dataset over China and its application in validating a RCM simulation [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2009, 26(4): 763–772. doi: 10.1007/s00376-009-9029-z.

[23] Xie P, Chen M, Yatagai A, *et al*. A gauge based analysis of daily precipitation over East Asia [J]. *Journal of Hydrometeorology*, 2007, 8: 607–626.

[24] Johnson R A, Wichern D W. **实用多元统计分析** [M]. **陆璇, 译. 北京: 清华大学出版社**, 2001: 553-563. [Johnson R A, Wichern D W. Applied Multivariate Statistical Analysis. Translated by LU Xuan. Beijing: Qsinghua University Press, 2001: 553–563.]

[25] **吴绍洪, 尹云鹤, 郑度, 等. 近** 30 **年中国陆地表层干湿状况研究** [J]. **中国科学** D **辑**, 2005, 35(3): 276–283. [WU Shao-hong, YIN Yun-he, ZHENG Du, *et al*. Aridity/humidity status of land surface in China during the last three decades. *Sciences in China Series D*, 2005, 48(9): 1510–1518.]

[26] **徐希孺. 遥感物理** [M]. **北京: 北京大学出版社**, 2005: 533. [XU Xi-ru. Remote Senescing Physics. Beijing: Peking University Press, 2005: 533.]

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Spatial Differences of Variations in Autumn Fractional Vegetation Coverage in Eastern China during 1982-2006

ZHANG Xue-zhen, ZHENG Jing-yun, HE Fan-neng, DAI Jun-hu
(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: To understand the variations in fractional vegetation coverage (FVC) over eastern China in autumn during 1982-2006 deeply, we analyzed the mean spatial pattern of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in autumn, discriminated the models of variations in autumn NDVI during 1982-2006 by cluster analysis and studied the correlations between variations in autumn NDVI and temperature and precipitation. The results show that: 1) The mean FVC over eastern China in autumn decreased spatially in the order of forest, farmland and grassland, and it is obvious that the regional mean FVC increased before 1998 while decreased thereafter. 2) During 1982-2006, different regional FVC changes were marked by large differences. The variations in FVC within the study area could be summarized as 6 models, which consist of a rising trend with fluctuations in Northeast China, a rising trend with fluctuations before 1998 and a sharp drop thereafter in the northeast of Inner Mongolia Plateau, a sharp transition from mean lower FVC to higher FVC in 1994 in the north of North China and the south of Northeast China, a conversion from a decreasing trend during 1982-2000 to slight rising trend after 2000 in the south of North China, a conversion from a rising trend with inter-annual fluctuation before 1992 to a decreasing trend with inter-annual fluctuation thereafter in Jiang-Huai area, a sharp transition from mean higher FVC to lower FVC in 2000 in the Yangtze River and areas south of it. 3) Excepting for the northeast of Inner Mongolia Plateau where FVC was significantly correlated with precipitation and 66% of inter-annual variation in FVC could be explained by precipitation, a positive significant correlation between FVC and precipitation could be found in northes of the North China and the south of Northeast China and a positive significant correlation between FVC and temperature could be found in areas along Qinling-Daba Mountains-middle reaches of the Yangtze River, however, temperature or precipitation could only explain 21% of inter-annual variation in FVC; in addition, no significant correlation between FVC and temperature/precipitation could be found in the others regions.

Key words: east of China; autumn; fractional vegetation coverage; spatial differences

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net