

郭梦媚,郭胜利,周佳雯,等. 江西省植被 NDVI 变化及其对气候变化的响应[J]. 江苏农业科学,2015,43(11):421-426.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.11.132

江西省植被 NDVI 变化及其对气候变化的响应

郭梦媚¹, 郭胜利¹, 周佳雯¹, 曹念文²

(1. 南京信息工程大学应用气象学院, 江苏南京 210044; 2. 南京信息工程大学大气物理学院, 江苏南京 210044)

摘要:利用 MODIS 数据插补 GIMMS NDVI 数据, 基于 S-G 滤波法重构长时间序列的 NDVI 数据集, 反演了江西省 1982—2013 年植被动态变化特征, 并结合研究区及其周边 25 个气象站点的气温、降水、日照时数和相对湿度数据, 分别从年际变化和月变化出发, 分析植被 NDVI 动态变化及其与气候因子之间的关系。结果表明: 江西省植被 NDVI 年际变化整体呈缓慢波动上升趋势, 从空间尺度分析, 得出 21 世纪初植被覆盖率 > 20 世纪 90 年代植被覆盖率 > 20 世纪 80 年代植被覆盖率, 3 个年代 NDVI 变化呈增加趋势, 这与江西省近 30 年平均气温逐年上升、降水量和相对湿度逐年缓慢下降, 整体呈暖干化的气候条件密不可分; 日照时数及气温对江西植被 NDVI 年变化起着决定性作用。进一步分析植被与气候要素年变化相关性发现, NDVI 与日照时数、气温的关系较之与降水、相对湿度的关系更为密切; 植被与气候因子月变化分析表明日照时数对 NDVI 响应最为显著, 气温次之, 且两者皆有 1 个月、3 个月的滞后效应。降水量与相对湿度对 NDVI 的响应相对不显著, 且无滞后性。

关键词: 植被; NDVI; 气候变化

中图分类号: S181; S127 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)11-0421-06

植被作为地表状况的重要表征, 是陆地地表生态系统的核心部分, 研究植物与气候之间的相互关系、植物对气候变化的响应与适应对策, 对了解植物演化、预测植物在未来气候变化条件下的变化特征具有重要意义^[1-3]。植被不仅与气温、降水、相对湿度等主要气候因子相互适应, 还受地质地貌以及人类活动等影响, 同时植被覆盖也对地理环境产生很高的依

赖性, 对全球能量平衡、水循环、生物化学循环起着重要的调控作用^[4]。遥感以其覆盖范围广、信息量大、能连续观测等特点, 在植被动态监测中有着广阔的应用前景。归一化植被指数 NDVI 是植被生长状态和植被的指示因子^[4-5]。近年来, 国内外许多学者尝试利用不同精度的遥感数据在不同时空尺度上分析植被动态变化和 NDVI 之间的关系。孙红雨等利用 1985—1990 年连续 69 个月的 NDVI 时间序列数据和同时期的月平均气温、降水数据对中国植被动态变化与气候因子相关性进行分析, 结果表明, 中国植被指数沿经线有明显的季相推移^[6]。李晓兵等分析了 1983—1992 年中国北方几种典型植被 NDVI 与降水年际变化、季节变化之间关系以及降水的空间差异对植被的影响^[7]。王宏等综合利用 Kriging 插值方法对降水、气温数据插值生成中国东北地区二维气象因

收稿日期: 2014-11-22

基金项目: 国家重大科学研究计划“973”项目(编号: 2012CB955200); 国家自然科学基金(编号: 41375044)。

作者简介: 郭梦媚(1990—), 女, 江苏南京人, 硕士研究生, 研究方向为生态遥感。E-mail: gmm414@sina.com。

通信作者: 郭胜利, 教授, 博士生导师, 研究方向为生态遥感。E-mail: shlguo@nuist.edu.cn。

从图 4 中可以看出, 采用复相乳液法所制备微胶囊的平均粒径为 4.75 μm , 主要分布在 4~6 μm 之间, 分布较窄, 能够满足肥料缓释要求。

3 结论

以自制的聚乳酸-聚乙二醇共聚物(分子量 3.0×10^3) 为壁材、尿素为模型芯材, 采用复相乳液技术制备微胶囊肥料适宜工艺条件为共聚物浓度为 60 g/L, 乳化剂 Tween-60 用量为 3.0%, PVA 用量为 0.6%, 搅拌速率为 1 000 r/min, 油水相体积比为 1:2, 且通过工艺条件可调控微胶囊粒径以及乳液稳定性, 为开发微胶囊肥料提供理论依据。

参考文献:

- [1] 林书乐, 王坤, 程江, 等. 微胶囊技术新进展[J]. 高分子材料科学与工程, 2012, 28(5): 179-182.
- [2] 吴晓, 王珺, 霍乃蕊. 微胶囊技术及其在食品工业中的应用

- [J]. 食品工程, 2011(1): 3-6, 20.
- [3] 朱雪晶, 李雪莲, 欧阳玲花, 等. 微胶囊技术在植物源杀虫剂中的应用研究进展[J]. 生物灾害科学, 2014, 37(2): 151-154.
- [4] 于建香, 刘太奇, 王茜. 微胶囊自调温相变涂料的制备及表征[J]. 北京石油化工学院学报, 2013, 21(1): 5-7.
- [5] 姚俊杰, 王亭杰, 潘健平, 等. 用聚合物乳液为包膜剂制备缓释尿素[J]. 化工进展, 2005, 24(6): 666-670.
- [6] Shaviv A, Raban S, Zaidel E. Modeling controlled nutrient release from polymer coated fertilizers: diffusion release from single granules[J]. Environmental Science & Technology, 2003, 37(10): 2251-2256.
- [7] 王国喜, 李青山, 茹铁军, 等. 聚氨酯缓/控释肥制备与膜层表征[J]. 聚氨酯工业, 2010, 25(3): 16-18, 41.
- [8] 卓莉, 王碧, 何倩. 羧甲基纤维素肥料包膜材料的研究[J]. 四川师范大学学报: 自然科学版, 2013, 36(3): 424-429.
- [9] 马晓妍, 石淑先, 夏宇正, 等. 聚乳酸及其共聚物的制备和降解性能[J]. 北京化工大学学报: 自然科学版, 2004, 31(1): 51-56.

子影像,再与之相对应的 NDVI 数据进行相关性分析^[8]。王宗明等结合 1982—2003 年 GIMMS - NDVI 数据集和 GIS 技术,应用于基于像元的相关分析方法,分析了东北地区植被 NDVI 对气候变化的响应^[9]。白淑英等利用 1982—2006 年 GIMMS NDVI 数据和气象站点资料,结合中国地形的三大阶梯分布,分析长江流域植被 NDVI 时空变化特征及其对气候变化响应的时滞效应^[10]。虽然目前有不同时间、空间分辨率的遥感数据类型可利用,但单一遥感数据源在时间序列上有一定的局限性,如 AVHRR - GIMMS 数据时间序列为 1981—2006 年,MODIS 数据为 2000 年至今,2 个数据集不一致。近年来,国内已有学者通过融合不同遥感数据源,延长 NDVI 时间序列,研究植被动态变化与气候因子间的关系。李运刚等利用红河流域 1981—2006 年 GIMMS 数据、2006 年 SPOT - VEGETATION 数据以及 1981—2001 年逐日气象数据,使用 GIS 方法和地统计学方法,探讨河谷和山脉地形的通道 - 阻隔作用下红河流域 NDVI 时空变化及与气候因子的关系^[11]。韩桔兴等利用 1982—2010 年 GIMMS、MODIS 2 种遥感数据集的 NDVI 数据,分析了松花江流域植被 NDVI 时空特征及其与气候因子的关系^[12]。何月等利用 GIMMS、MODIS 2 种 NDVI 资料研究 1982—2010 年浙江省植被覆盖状况,结合同期气温、降水、湿润指数等气候指标,分析了该地区植被年际变化、月际变化及其对气候要素的响应特征^[13]。毛德华等基于逐像元一元线性回归模型,应用 MODIS NDVI 数据对 GIMMS NDVI 进行时间序列拓展,拓展序列通过一致性检验,基于 1982—2009 年植被年最大 NDVI 数据集,在 GIS 平台上进行了植被 NDVI 变化和 NDVI 与年平均气温、年降水量之间的相关分析^[14]。本研究利用 MODIS 数据对 GIMMS NDVI 数据进行插补,构成长时间序列的 NDVI 数据集,对江西省 1982—2013 年植被动态变化特征进行分析,并结合研究区及其周边 25 个气象站点的气温、降水、日照时数、相对湿度数据,分别从年际变化和月变化出发,分析植被 NDVI 动态变化及其与气候因子之间的关系,旨在为研究植物对气候变化适应对策提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

江西省地处中国东南、长江中下游以南,位于 24°29' ~ 30°04'N、113°34' ~ 118°28'E 之间。省境东、南、西三面环山,中南部丘陵绵延起伏,盆地谷地相间,北部为鄱阳湖及滨湖平原。全省面积 16.69 × 10⁴ km²,其中山地面积约占全省面积的 36%,丘陵占 42%。属于中亚热带湿润季风气候区,气候温暖,雨量充沛,适宜植物生长,植被覆盖率高。

1.2 数据源与预处理

1.2.1 NDVI 数据 本研究使用 AVHRR - GIMMS、MODIS 2 种数据集的 NDVI 遥感数据。其中,1982—2006 年 GIMMS NDVI 数据来自于中国西部环境与生态科学数据中心。GIMMS NDVI 数据是美国航空航天局(NASA)全球监测与模型研究组(global inventory monitoring and modeling studies)提供的 NOAA/AVHRR - NDVI 数据集,投影格式为 ALBERS 等面积投影,时间分辨率为 15 d,空间分辨率为 8 km。该数据集消除了火山爆发、太阳高度角、传感器灵敏度随时间变化等影响,误差小、精度高。采用国际通用的最大化合成法 MVC

(maximum value composites)获得月最大 NDVI,以减少云、大气、太阳高度角等因素的影响。MODIS 数据采用 NASA 提供的 MOD13A 3 植被指数产品集,时间分辨率为 1 个月,空间分辨率为 1 km,时间序列为 2000 年 2 月至 2013 年 12 月。用 MRT (MODIS reprojection tools) 软件对所获产品数据批处理进行影像拼接、裁剪、投影、坐标系转换,将其统一转换成 ALBERS 等面积投影和 WPS - 84 坐标系。

1.2.2 气象数据 同期气象数据来源于中国气象科学数据共享服务网,中国地面气候资料月值数据集。用 Excel 软件筛选出江西省及其周边 25 个气象站点 1982—2013 年逐月平均气温、降水、相对湿度、日照时数等气象要素数据。气象站点分布如图 1 所示。江西省行政区划图包括江西省边界、省内县边界、周边省份的矢量图。

1.3 研究方法

1.3.1 NDVI 时间序列数据插补 2 类数据集虽然都经过几何精确校正、辐射校正、大气校正等预处理,但仍不可避免存在云、气溶胶的噪音影响,所以分别对 2 类数据集进行 Savitzky - Golay 滤波^[15],该算法基于 TIMESAT 软件,能够有效平滑降噪的同时,保持时间序列 NDVI 变化趋势。

1.3.2 植被与气候因子变化趋势分析 本研究采用一元线性回归和多项式拟合江西省多年年均 NDVI、气候因子随时间变化的趋势。一元线性回归方程为:

$$y_i = b_i t + a。$$

式中: i 为年份, a 为回归常数, b 为线性趋势斜率, y_i 为待分析变量。 $b > 0$ (< 0) 表示变量在时间 t 内呈上升(下降)趋势。同理分析气温、降水、日照、相对湿度的变化趋势, $b \times 10$ 则为气候倾向率^[16-17]。

1.3.3 NDVI 对气候变化的响应特征分析 采用相关分析和偏相关分析法进行植被变化与气候因子之间关系研究,通过计算年均 NDVI 与年均气温、年降水、年均日照时数、年均相对湿度之间的相关系数和偏相关系数表征全区整体植被 NDVI 动态变化对气候因子的年际响应。通过计算 NDVI 月值和月平均气温、月降水量、月平均日照时数、月平均相对湿度的相关系数和二项式线性拟合来分析植被与气温、降水、日照时数、相对湿度的年内关系。

2 结果与分析

2.1 NDVI 时间序列数据的插补延长

由于 GIMMS、MODIS 数据集所用传感器不同,波段范围存在差异,在延长时间序列分析 NDVI 动态变化前,需对 2 种数据进行一致性检验。首先将 MODIS NDVI 的 1 km 分辨率数据重采样至 8 km,并统一投影格式为 Albers 等面积投影和 WPS - 84 坐标系,使两者空间上相匹配。在重构 NDVI 长时间序列分析动态变化前,有必要对重叠的 7 年数据分别从全区域大尺度进行一致性检验。首先利用 2000—2006 年每月最大值数据的全区平均值进行相关分析,建立回归模型,两者相关系数为 0.985 ($P < 0.001, n = 83$),建立线性回归方程:

$$NDVI_{GIMMS} = 0.8195 \times NDVI_{MODIS} + 0.2206。$$

利用 MODIS 插补 GIMMS 数据在全区域大尺度可以实现,再基于拟合的线性回归方程对 GIMMS NDVI 缺失的 2007—2013 年的数据进行插补,从而达到延长 NDVI 时间序

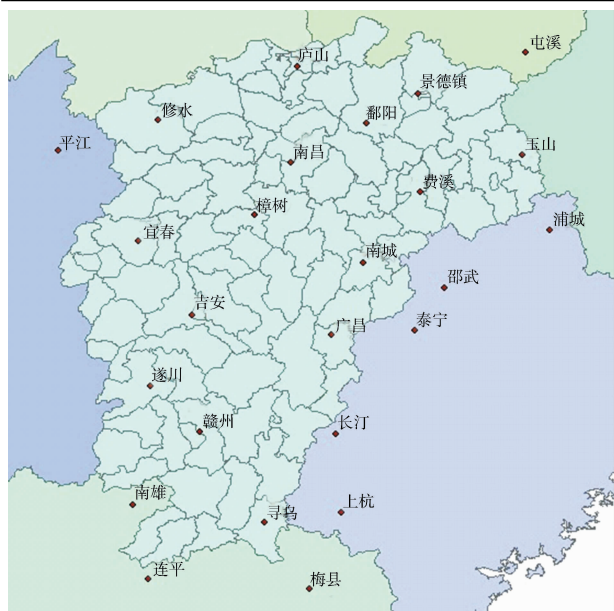


图1 江西省及其周边 25 个气象站点分布

列的目的(图2)。

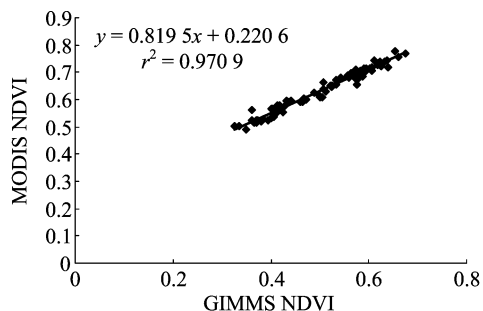


图2 S-G 滤波后 GIMMS 和 MODIS 数据相关性

2.1.1 植被的时空变化分析 用年平均 NDVI 值代表全区植被覆盖状况,进行年际变化趋势分析。由图3可见,1982—2013 年间江西省植被 NDVI 整体呈缓慢波动上升趋势。过去 32 年平均 NDVI 值在 0.492~0.535 之间浮动,总体线性变化趋势不明显,大致分 3 个阶段:1982—1990 年植被覆盖在波

动中缓慢增加,1990 年达到高峰 0.531,随后缓慢下降;1993—2002 年波动下降,2005 年达到低谷 0.493 后开始波动上升,2007 年出现 NDVI 最大值 0.535。根据 NDVI 年均变化曲线及政府对生态文明建设的重视程度,未来几年内江西省植被覆盖变化趋势会继续上升。

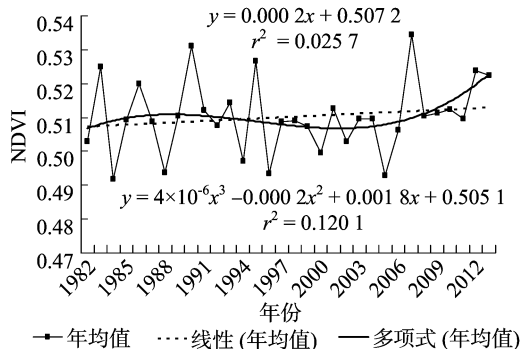


图3 1982—2013 年江西省 NDVI 年际变化趋势

为从空间尺度探讨 32 年间江西省植被 NDVI 动态变化情况,将 32 年分为 3 个时期:1982—1990 年,以 9 年年均 NDVI 值代表 80 年代江西省植被 NDVI 状况;1991—2000 年,以 10 年年均 NDVI 值代表 20 世纪 90 年代江西省植被 NDVI 状况;2001—2013 年,以 13 年年均 NDVI 值代表 21 世纪初江西省植被 NDVI 状况。ARCGIS 软件中,分别对 3 个阶段的 NDVI 数据进行栅格计算,得出 20 世纪 80 年代、90 年代和 21 世纪初植被 NDVI 年代际的动态变化情况。1982—1990 年,NDVI 在 0.08~0.30 间的像元占 1.3%,0.30~0.41 间的像元占 6%,0.41~0.47 间的占 8%,0.47~0.53 间和 0.53~0.58 间的各占 15%,0.58~0.67 间的占 10%;1991—2000 年,NDVI 在 0.07~0.31 间的像元占 1.30%,0.31~0.42 间的占 6%,0.42~0.48 间的占 11%,0.48~0.54 间的占 16%,0.54~0.58 间的占 12%,0.58~0.66 间的占 9%;2001—2013 年,NDVI 在 0.17~0.35 间的像元占 4.8%,0.35~0.44 间的占 9.4%,0.44~0.52 间的占 13.0%,0.52~0.59 间的占 15%,0.59~0.69 间的占 12%。可以明显看出 21 世纪初植被覆盖率>20 世纪 90 年代植被覆盖率>20 世纪 80 年代植被覆盖率(图4)。

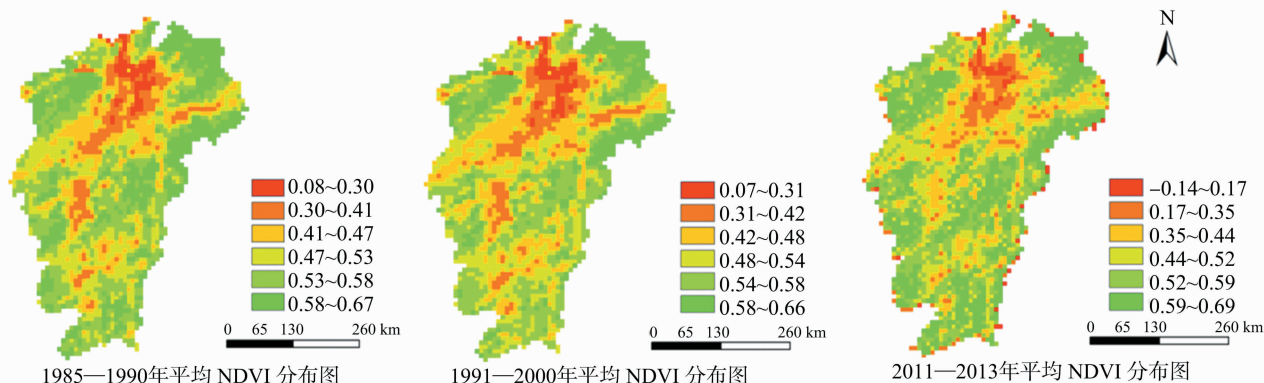


图4 1982—2013 年江西省年平均 NDVI 空间分布

2.1.2 气候因子的动态变化 对江西省及其周边 25 个气象站点过去 32 年的年均气温、降水量、年均日照时数、年均湿度统计可知,1982—2013 年江西省 32 年年均温为 18.22℃,最

高值为 19.03℃(1998 年),最低值为 17.18℃,升温趋势明显,增暖幅度(气候倾向率)达 0.35℃/10 年。年累积降水量在 32 年间平均值达 1 676.73 mm,最高值为 2 144.86 mm(2012

年),最低值为 1 285.51 mm(2011 年),整体 32 年降水量呈波动性下降趋势,但变化不显著。年均日照时数最长日照年份在 2003 年,最短在 1997 年,总体 32 年内下降趋势不明显。过去

32 年年均相对湿度平均值为 77.93%,最高值为 81.04%(1997 年),最低值为 73.34%(2004 年),整体以 1.59%/10 年的下降速率波动变化(图 5)。

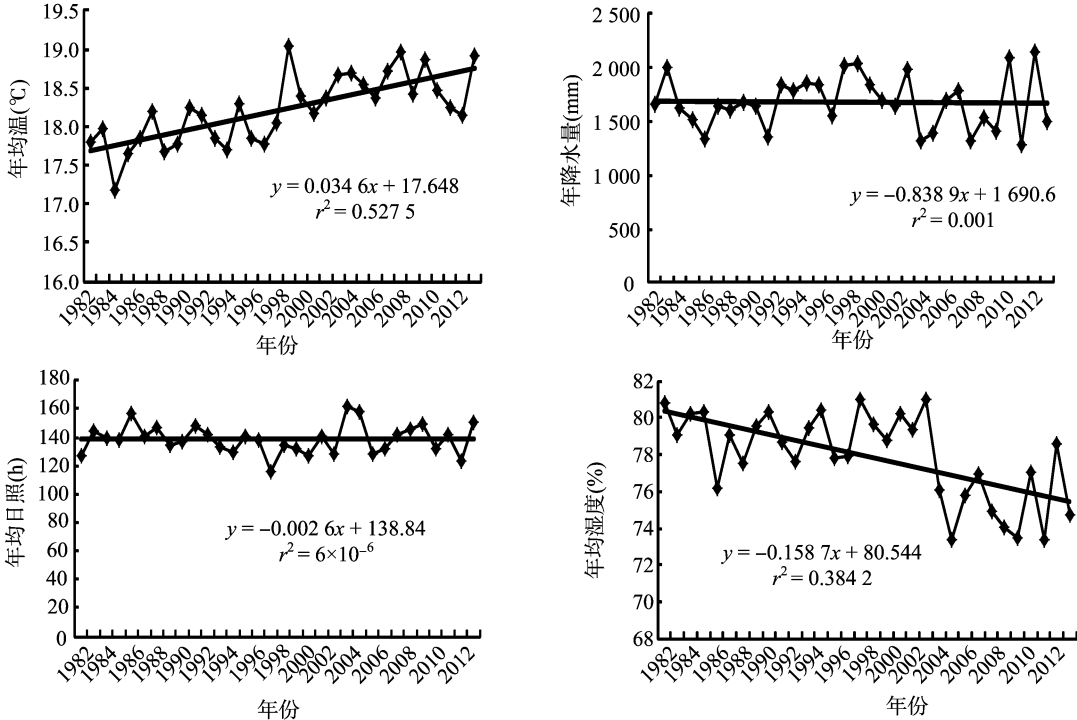


图5 1982—2013年江西省气温、降水量、日照时数、相对湿度年变化趋势

2.2 NDVI 对气候因子年变化的响应

为了从全区域角度定量分析植被对气候因子年变化的响应特征,对 1982—2013 年 NDVI 与各气候因子作了相关、偏相关分析,如表 1 所示,NDVI 与气温和日照变化的相关性

偏相关性在 0.250 左右,NDVI 与降水量和相对湿度的相关性呈负相关,偏相关性在 0.1 左右,说明从全区角度分析,NDVI 均值和气候因子的相关性不显著。

表 1 1982—2013 年江西省 NDVI 与气候因子的相关系数

NDVI - T		NDVI - P		NDVI - S		NDVI - H	
r_{NDVI-T}	$r_{NDVI-T/PSH}$	r_{NDVI-P}	$r_{NDVI-P/TSH}$	r_{NDVI-S}	$r_{NDVI-S/TPH}$	r_{NDVI-H}	$r_{NDVI-H/TPS}$
0.283	0.237	-0.042	0.141	0.212	0.228	-0.187	0.021

注:T代表气温;P代表降水;S代表日照时数;H代表相对湿度; r_{NDVI-T} 、 $r_{NDVI-T/PSH}$ 分别表示 NDVI 与气温的相关系数和偏相关系数,依此类推。

2.2.1 植被的月变化 由图 6 可以看出,3—8 月江西省植被 NDVI 值逐渐增加,因为 3 月份各种植物开始生长,到 8 月 NDVI 达到一年中的顶峰,各类植被均处于生长旺盛阶段,9 月份植被减少不明显,这与植被 NDVI 对气候变化的响应具有“时滞效应”密不可分。10 月 NDVI 开始迅速下降,植被渐渐停止生长,枯萎落叶,植被覆盖率降低,NDVI 减少,至次年 1 月降到全年最低值。

2.2.2 气候因子的月变化 不同月份的气候因子变化会对植被全年各个生长阶段有不同的贡献特征,通过计算 32 年各月份的月 NDVI 值与年份的相关系数,得出 1982—2013 年江西省气温、降水、日照时数、相对湿度的月变化率。如图 7 所示,各气象因子不同月份的环比年变化趋势不同。除了 1 月份,全年各月均呈环比增温趋势,2、3、7—9 月均通过 0.05 水平的置信度检验,这与全年温度变化趋势基本一致。从降水量 32 年环比变化来看,2—4 月、7、9、10 月均呈减少趋势。32 年日照时数环比变化则与降水量呈完全相反趋势,2—4 月、

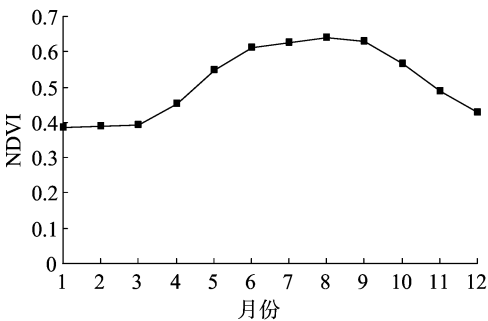
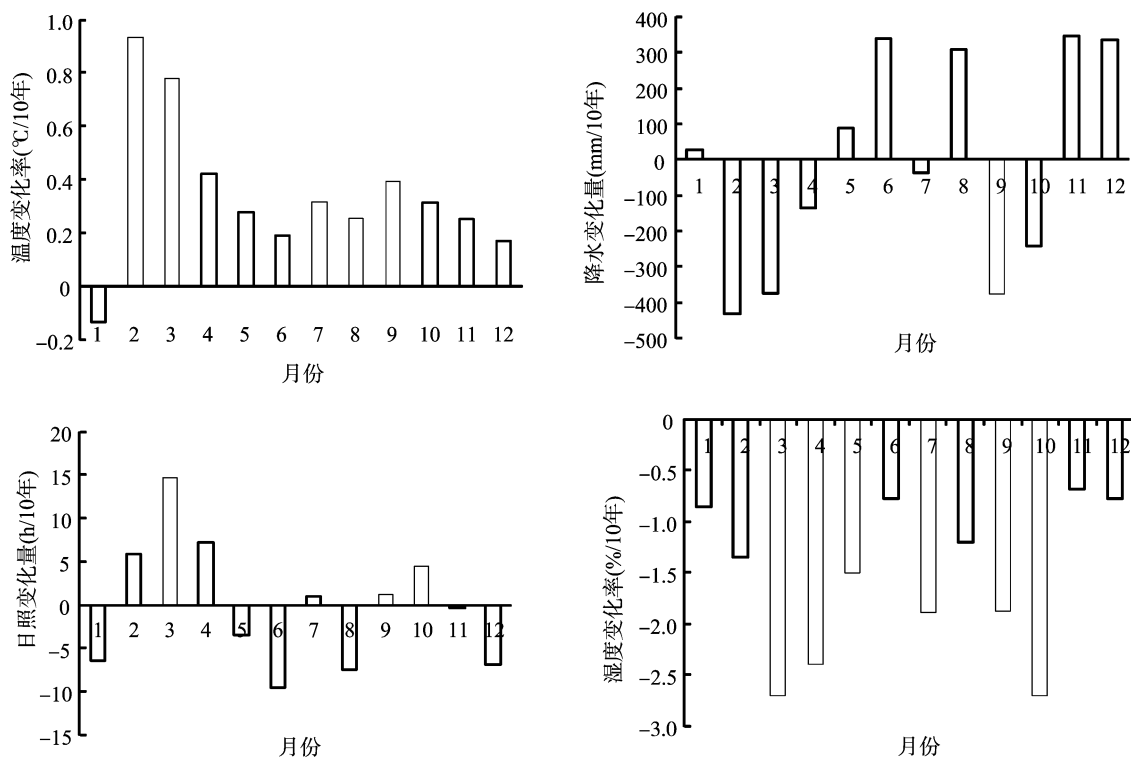


图6 1982—2013年江西省植被NDVI月变化趋势

7、9、10 月均呈增加趋势,其中 3、9、10 月的增加率通过了 0.05 水平的置信度检验。全年的相对湿度均呈下降趋势,3、4、9、10 月通过 0.01 水平的置信度检验,表现为极显著减少,5、7 月通过 0.05 水平的置信度检验,下降明显。

2.2.3 NDVI 对气候因子月变化的响应 如表 2 所示,从气



空白柱形为月变化不显著($P < 0.05$); 阴影柱形为月变化显著($P \leq 0.05$)

图7 1982—2013 年江西省气温、降水量、日照时数和相对湿度的环比月变化率

表2 江西省植被逐月 NDVI 与前 0—3 月气温、降水量、日照时数和相对湿度的相关系数

气候因子	与 NDVI 的相关系数											
	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
T0	0.245	0.273	0.429 *	0.274	0.385 *	0.024	0.306	0.203	0.204	-0.309	-0.152	-0.188
T1	-0.316	-0.064	0.405 *	0.147	0.386 *	-0.093	0.145	0.122	0.082	0.192	0.143	0.141
T2	-0.130	-0.072	0.123	0.336	0.236	-0.330	-0.100	0.061	-0.101	0.088	-0.235	0.203
T3	-0.023	-0.195	-0.115	0.054	0.418 *	-0.302	-0.286	0.040	-0.019	0.139	-0.267	0.101
P0	-0.368 *	-0.135	-0.28	-0.262	-0.177	-0.028	-0.382 *	-0.132	-0.193	-0.149	0.093	-0.515
P1	-0.155	0.108	-0.056	0.033	-0.048	-0.154	-0.175	0.041	0.080	-0.104	0.156	-0.068
P2	0.290	0.033	0.023	0.248	0.011	0.081	-0.198	0.098	0.228	-0.114	-0.053	-0.111
P3	0.024	0.090	0.179	-0.089	0.132	0.284	0.176	-0.136	0.042	-0.098	0.231	0.142
S0	0.489 **	0.278	0.433 *	0.422 *	0.271	0.235	0.600 **	0.167	0.173	0.475 **	0.076	0.452 **
S1	0.209	-0.024	0.179	-0.069	0.052	-0.004	0.457 **	0.049	0.048	-0.038	-0.052	-0.069
S2	-0.063	0.039	0.069	-0.128	0.078	-0.263	0.007	-0.086	-0.244	0.118	-0.016	0.004
S3	0.006	0.433 *	-0.055	-0.050	0.105	-0.293	-0.228	0.102	-0.414 *	0.060	-0.113	0.045
H0	-0.215	-0.249	-0.305	-0.473 **	-0.202	0.125	-0.314	-0.143	-0.225	-0.277	-0.064	0.103
H1	0.061	-0.037	-0.092	0.001	0.020	0.039	-0.096	0.001	-0.128	-0.020	0.277	-0.064
H2	0.212	-0.187	-0.120	0.051	0.023	0.267	-0.013	0.166	0.078	-0.091	0.022	0.033
H3	0.128	-0.146	-0.111	-0.154	-0.103	0.230	0.295	-0.034	0.245	-0.142	0.260	0.023

注: T0、T1、T2、T3 分别表示当月气温、前 1 月、前 2 月、前 3 月气温, 降水、日照时数、相对湿度依此类推, “*” 表示差异显著 ($P \leq 0.05$), “**” 表示差异极显著 ($P \leq 0.01$)。

温因子变化分析,除了 10—12 月,其他月份植被与当月温度成正相关,3、5 月份尤为显著,相关性达到 0.05 显著性水平检验。这是因为植被生长主要集中在春季,受温度影响较大,温度的上升促进了植物的生长。反之,冬季温度下降对植物生长起到抑制作用。3 月份植被 NDVI 与前 1 月温度,5 月份植被 NDVI 与前 1 月、前 3 月温度相关性均达到 0.05 显著性

水平检验,说明 2、4 月份温度虽然与当月 NDVI 相关性不显著,但对后 1~3 个月植被生长状况具有促进作用,因为 2 月的气温偏高会引起暖春,植物生长偏早。从降水量因子变化分析,除了 11 月份,其他月份植被与当月降水量成负相关性,1、7 月份与当月降水量相关性达到 0.05 显著性水平检验,无滞后性,这主要因为江西省全年降水量丰富,季节性变化大,7

月正值雨季降水量顶峰,暴雨内涝,抑制植物生长;1 月正值冬季枯水期,水源不足,都对植被生长造成抑制作用。从日照时数变化分析,1、7、10、12 月与当月日照相关性达到 0.01 显著性水平检验,3、4 月与当月日照相关性达到 0.05 显著性水平检验,其中 7 月与 6 月日照相关性也达到 0.01 显著性水平检验,受日照影响最为明显。2、9 月与前 3 个月日照相关性均达到 0.05 显著性水平检验,说明 6 月、12 月份日照时数对后 3 个月植被生长有滞后影响,这可能是植物生长接受光合作用需要时间的表现。日照时数对植被生长影响明显主要是由于江西省地形以丘陵山地为主,大大增加了植被冠层对入射光有效辐射的吸收系数(FPAR)、最大光能利用率,使得陆地植被最大有效化地进行光合作用。从相对湿度变化分析,除了 6、12 月,其他月份植被与当月相对湿度都成负相关,4 月比其他月更为显著,负相关性通过 0.01 显著性水平检验,无滞后性,这可能是因为相对湿度影响蒸腾作用,相对湿度大,导致植物蒸腾作用弱,植物运输矿物质营养和调节叶片温度的能力下降,叶片就有可能被重力向下拖拽。此外,相对湿度过大或过小都会导致气孔关闭,植物气孔关闭,CO₂ 不能进入叶肉细胞,光合作用减慢甚至停止,这些都是抑制植被生长的重要因素。

3 结论与讨论

本研究以江西省为研究区,利用 GIMMS NDVI 和 MODIS NDVI 数据分析了 1982—2013 年期间江西省植被动态变化特征及其对气温、降水、日照时数和相对湿度变化的响应,结果表明,1982—2013 年间江西省植被 NDVI 年际变化整体呈缓慢波动上升趋势。每年的 3—8 月植被 NDVI 值逐渐增加,8 月达到顶峰,9 月份植被减少不明显,10 月 NDVI 开始迅速下降,至次年 1 月降到全年最低值。从空间尺度分析,21 世纪初植被覆盖率 > 20 世纪 90 年代植被覆盖率 > 20 世纪 80 年代植被覆盖率,3 个年代 NDVI 变化呈增加趋势,一方面是由于江西省近 30 年平均气温逐年上升、降水量和相对湿度逐年缓慢下降,整体呈暖干化的气候条件对植被生长起到正反馈作用;另一方面也与政府重视生态文明建设、人们环境保护意识增强有关。从时间变化趋势上分析,江西省 32 年间年际升温趋势明显,增暖幅度(气候倾向率)达 0.35 °C/10 年,除 1 月份,全年各月均呈增温趋势。年累积降水量整体环比呈波动性下降趋势,但变化不显著。年均日照时数总体 32 年内下降趋势不明显,月变化与降水量呈完全相反的趋势。年均相对湿度整体以 10 年 1.59% 的下降速率波动变化,每年的 3、4、9、10 月表现为极显著减少,5、7 月下降明显。从年际尺度分析表明,气温和日照时数对 NDVI 均值的响应比降水量和相对湿度明显,从月际尺度分析,日照时数对植被生长起主导作用,气温次之,且两者皆有 1 个月、3 个月的滞后效应,表明江西省的丘陵山地地形大大增加了植被冠层对入射光有效辐射

的吸收系数(FPAR)和最大光能利用率,使陆地植被有效进行光合作用,加大了植物的生长势,有助于植物能量储备,产生累积效应,从而有滞后性。降水量与相对湿度对 NDVI 的响应相对不显著,无滞后性。

参考文献:

- [1] Wright I J, Reich P B, Westoby M, et al. The worldwide leaf economics spectrum[J]. *Nature*, 2004, 428: 821–827.
- [2] Wright I J, Reich P B, Cornelissen J H, et al. Assessing the generality of global leaf trait relationships[J]. *The New Phytologist*, 2005, 166(2): 485–496.
- [3] 张井勇, 董文杰, 叶笃正, 等. 中国植被覆盖对夏季气候影响的新证据[J]. *科学通报*, 2003, 48(1): 91–95.
- [4] 孔次芬. 金沙江流域(云南段)植被覆盖变化与气候因子相关性研究[D]. 重庆: 重庆师范大学, 2012.
- [5] 纪迪. 青藏高原气候变化及其 NDVI 的响应[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2012.
- [6] 孙红雨, 王长耀, 牛铮, 等. 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.
- [7] 李晓兵, 史培军. 中国典型植被类型 NDVI 动态变化与气温、降水变化的敏感性分析[J]. *植物生态学报*, 2000, 24(3): 379–382.
- [8] 王宏, 李霞, 李晓兵, 等. 中国东北森林气象因子与 NDVI 的相关关系[J]. *北京师范大学学报: 自然科学版*, 2005, 41(4): 425–430.
- [9] 王宗明, 国志兴, 宋开山, 等. 中国东北地区植被 NDVI 对气候变化的响应[J]. *生态学杂志*, 2009, 28(6): 1041–1048.
- [10] 白淑英, 王莉, 史建桥. 长江流域 NDVI 对气候变化响应的时滞效应[J]. *中国农业气象*, 2012, 33(4): 579–586.
- [11] 李运刚, 何大明. 红河流域 NDVI 时空变化及其与气候因子的关系[J]. *山地学报*, 2009, 27(3): 333–340.
- [12] 韩信兴, 王宗明, 毛德华, 等. 1982—2010 年松花江流域植被动态变化及其与气候因子的相关分析[J]. *中国农业气象*, 2011, 32(3): 430–436.
- [13] 何月, 樊高峰, 张小伟, 等. 浙江省植被 NDVI 动态及其对气候的响应[J]. *生态学报*, 2012, 32(14): 4352–4362.
- [14] 毛德华, 王宗明, 罗玲, 等. 基于 MODIS 和 AVHRR 数据源的东北地区植被 NDVI 变化及其与气温和降水间的相关分析[J]. *遥感技术与应用*, 2012, 27(1): 77–85.
- [15] Jönsson P, Eklundh L. Seasonality extraction by function fitting to time-series of satellite sensor data[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2002, 40(8): 1824–1832.
- [16] 李英年, 赵新全, 周华坤, 等. 长江黄河源区气候变化及植被生产力特征[J]. *山地学报*, 2008, 26(6): 678–683.
- [17] 高祺, 缪启龙, 岳艳霞. 河北省木本植物物候变化特征及其对气候变暖的响应[J]. *中国农业气象*, 2011, 32(1): 17–22.