

廖建华, 李丹勋, 王兴奎, 等. 2009 长江上游植被覆盖的时空分异季节变化及其驱动因子研究 [J]. 环境科学学报, 29(5): 1103–1112

Liao JH, Li D X, Wang X K, *et al*. 2009 The spatial-temporal distribution of seasonal vegetation changes and their driving forces in the upper reaches of the Yangtze River [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 29(5): 1103–1112

长江上游植被覆盖的时空分异季节变化及其驱动因子研究

廖建华^{1,3*}, 李丹勋¹, 王兴奎¹, 阎云霞²

¹ 清华大学水利水电工程系, 水沙科学与水利水电工程国家重点实验室, 北京 100084

² 中国科学院地理科学与资源研究所, 中国科学院陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101

³ 华中农业大学资源与环境学院, 武汉 430070

收稿日期: 2008-08-15 修回日期: 2008-11-15 录用日期: 2009-03-24

摘要: 以 G MMS /NDVI 为基础, 结合气候与人类活动数据, 研究了 1982~2003 年间长江上游植被覆盖季节变化的空间分布. 结果表明, 近 22 年来, 长江上游春季、夏季植被覆盖呈增加趋势, 以春季最显著; 秋季、冬季植被覆盖呈降低趋势, 以秋季降低最显著. 春季、夏季降雨与气温的同步增加, 致使植被覆盖增加; 秋季降雨减少, 以及气温的增加导致植被覆盖降低; 另外, 作物播种面积的增加是春季、夏季植被覆盖增加, 秋季、冬季植被覆盖减少的重要原因. 春季→夏季→秋季→冬季 NDVI 增加的区域在空间上大致呈现低纬度向高纬度转移的趋势. 春季、夏季所有植被类型的 NDVI 均有增加趋势; 而秋季所有植被类型的 NDVI 均降低; 冬季植被除针叶林的 NDVI 略有增长外, 其余植被类型的 NDVI 均降低.

关键词: 植被覆盖; 时空分异; 驱动因子

文章编号: 0253-2468(2009)05-1103-10 中图分类号: X171 文献标识码: A

The spatial-temporal distribution of seasonal vegetation changes and their driving forces in the upper reaches of the Yangtze River

LIAO Jianhua^{1,3*}, LIDanxun¹, WANG Xingku¹, YAN Yunxia²

¹ State Key Laboratory of Hydrosience and Engineering Department of Hydraulic Engineering Tsinghua University Beijing 100084

² Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research Chinese Academy of Sciences Beijing 100101

³ College of Resources and Environment Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070

Received 15 August 2008; received in revised form 15 November 2008; accepted 24 March 2009

Abstract Based on G MMS /NDVI (Global Inventory Modelling and Mapping Studies / Normalized Difference Vegetation Index) data from 1982 to 2003, the seasonal changes of vegetation and their spatial patterns were explored. The results show that during the past 22 years the NDVI in the upper Yangtze River drainage basin increased in spring and summer especially in spring but decreased in autumn and winter especially in autumn. It was found that the temperature and precipitation increased synchronously in spring and summer which resulted in an increase in the average spring and summer NDVI. The decrease of the average autumn NDVI can be explained by the decreased precipitation and temperature. Increased crop area was an important factor for the increased NDVI in spring and summer. When the crops were harvested, the NDVI decreased in autumn and winter. The areas with an increased NDVI shifted from low latitudes to high latitudes from spring to winter. The NDVI of all the vegetation types increased in spring and summer and decreased in autumn. In winter, the NDVI of all the vegetation types except coniferous forest decreased.

Keywords vegetation cover; spatial-temporal distribution; driving force

1 引言 (Introduction)

全球环境变化及其对人类社会可持续发展的影响日益为各国政府及学者所瞩目. 植被作为大气

圈、土壤圈、生物圈物质和能量的重要“纽带”是全球环境变化研究的重要指标 (孙红雨等, 1998), 它影响着能量平衡、气候、水文和生化循环, 是气候和人文因素对环境影响的敏感指标. 因此, 植被覆盖

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目 (No. 2007CB407202); 国家科技支撑计划项目 (No. 2006BAB05B00); 国家自然科学基金 (No. 40701018)

Supported by the National Basic Research and Development Program of China (No. 2007CB407202) and the Technology Plan Project of China (No. 2006BAB05B00) and the National Natural Science Foundation of China (No. 40701018)

作者简介: 廖建华 (1975—), 男, 博士; * 通讯作者 (责任作者), E-mail: ljljapoison@163.com

Biography: LIAO Jianhua (1975—), male, Ph.D.; * Corresponding author, E-mail: ljljapoison@163.com

的变化是生态环境变化的体现,同时也在一定程度上反映了区域气候的变化。

标准归一化植被指数 (NDVI) 是反映植被状况的重要指标,它与植被覆盖度及叶面积指数密切相关,能较为精确地反映植被的绿色及光合作用,其计算式可表示为: $NDVI = (NR - R) / (NR + R)$, 其中 NR 为近红外波段反射率, R 为可见光红波段反射率。NDVI 具有高时间分辨率的特点,能比较准确地反映区域植被的年内变化及年际变化,在一定程度上反映出植被的演化信息;同时 NDVI 还削减了因照明、地面坡度 (杜子涛等, 2008) 以及天顶角不稳定带来的误差 (Tucker *et al.*, 2005; Kaufmann *et al.*, 2000), 因而被广泛应用于不同空间、时间尺度的植被变化研究。Nemani 等 (2003) 的研究结果表明,受气候变化影响,全球植被活动呈增加趋势,1982~1999 年期间全球陆地 NPP 约增加 6%。随着春季气温的逐渐增加,北半球中高纬度地区植被活动显著增强 (Myneni *et al.*, 1997), 其中 $45^{\circ}N \sim 70^{\circ}N$ 增加最为显著 (Myneni *et al.*, 1997), 南半球干旱半干旱区植被活动则因降水量减少而降低 (Kawabata *et al.* 2001)。由于全球气候变化,植被春季生长期提前,而秋季、冬季物候推迟,植被生长期呈现增加趋势 (陈效速等, 2007)。在中国有研究表明,近 20 年来中国大部分区域植被覆盖呈现增加趋势,主要集中于东北平原、华北平原以及四川盆地,而长江三角洲、珠江三角洲地区的 NDVI 有减少的趋势 (方精云等, 2003); 1982~1999 年间,中国西部干旱区、青藏高原、塔里木盆地、柴达木盆地内蒙古西部等区域的 NDVI 下降趋势明显 (朴世龙等, 2001)。且不同季节植被增长趋势不一致,春、夏两季植被增长趋势显著大于秋、冬季节 (朴世龙等, 2003)。不同时期植被覆盖存在不同的变化趋势,研究表明,中国西北地区 20 世纪 80 年代初期至 1994 年前后植被呈增加趋势,而 1994~2000 年植被有退化趋势 (徐兴奎等, 2007); 青藏高原地区植被也呈现出相近的变化规律,即 1982~1991 年间植被呈现增加趋势,1992~2002 年则呈现退化趋势 (梁四海等, 2007)。关于长江流域植被变化的研究也有少量报道。相关研究结果表明,1982~1999 年间,长江流域植被净初级生产力 (NPP) 整体上呈增加趋势,其中常绿阔叶林、矮灌丛增加最为显著 (柯金虎等, 2003); 而在长江源区的曲麻莱、治多、青藏公路两侧、格拉丹东局部区域的 NDVI 显著降低 (杨建平, 2005)。

自三峡水利枢纽工程修建以来,长江上游生态

环境问题一直为中国政府及科学界所关注,尤其是上游区域植被覆盖的变化,直接影响着三峡库区来水、来沙的变化。然而,到目前为止,除少量研究外,直接针对长江上游植被变化的研究较少,而且以往研究对气候因素考虑较多,对人类活动的驱动作用分析较少。植被变化不仅存在年际变化,而且存在季节变化的差异。国内外学者在分析植被变化时,较多考虑的是植被全年的平均状况,从而掩盖了植被变化的季节性差异。鉴于前期研究的不足之处,本研究中利用 GMM S/NDVI 数据及相应区域的气候、土地利用数据,研究 1982~2003 年间长江上游植被时空变化,并对植被变化的驱动因子进行探讨,以深化长江上游产水、产沙机理的认识,为水土保持工作提供一定的理论依据。

2 研究区域、数据来源与研究方法 (The study area, datum and the study method)

长江上游指宜昌以上流域区,面积为 $1.005 \times 10^6 \text{ km}^2$, 占全流域总面积的 58.9%; 全区涉及青、藏、云、贵、川、渝、陕、甘、鄂等 9 省、市、自治区,主要包括金沙江流域、岷江流域、沱江流域、嘉陵江流域、乌江流域以及长江上游干流区 (图 1)。主要植被类型为:亚热带常绿阔叶林,亚热带常绿落叶阔叶混交林,亚热带落叶阔叶林,亚热带竹林及竹丛,亚热带针叶林、针阔叶混交林,温带落叶阔叶林,寒温带和温带山地针叶林,温带针叶林,灌丛、草甸、草原以及沼泽植被。长江上游流域受多种季风的影响,气候复杂多变,旱涝灾害频繁,加之人类活动的影响,植被覆盖时空变化纷繁复杂。

为了反映长江上游近年来植被覆盖演变情况,本次研究使用了 GMM S 数据源。GMM S 数据由 NASA 戈达德航天中心全球监测与模型研究组合成 (Los *et al.*, 1994; Pinzon 2002), 时间分辨率为 15d, 空间分辨率为 8km, 数据时间序列为 1981 年 7 月~2003 年 12 月。

气象数据来自中国气象局,包括长江上游区 81 个气象站,1982~2003 年间的月平均降雨量、月平均温度。植被类型数据来自中国科学院地理科学与资源研究所地球系统科学数据共享网,数据空间分辨率为 1:4000000。

从 GMM S 数据源可以直接得到各个像元的 NDVI 值,每像元每年有 24 个 NDVI 值,分别对应于各月上半月和下半月。参照中国的 24 节气,同时考虑到长江上游大部分区域处于亚热带,故四季划分标准定为:春季 (2 月~4 月)、夏季 (5 月~7 月)、秋

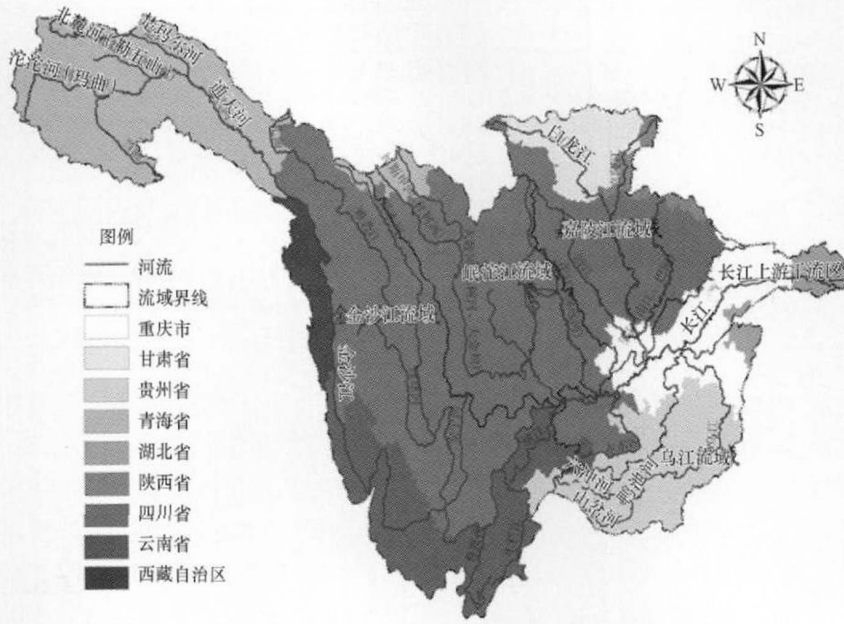


图 1 长江上游流域及省区示意图

Fig. 1 Map of provinces and sub-basins in the upper reaches of the yangtze River

季(8月~10月)、冬季(11月~来年1月)。通过算术平均,可以求出各像元每年各季度的NDVI值,像元年度NDVI值取为该年4个季度NDVI值的平均值。以时间为因变量,对每个像元1982~2003年共22年的季度NDVI值进行线性回归,可以得出NDVI值在春季、夏季、秋季、冬季的总体变化趋势。每个像元的NDVI时间拟合直线的斜率反映了植被状况的变化特点:若斜率为正值,NDVI在研究的时段内呈增加趋势,表明植被覆盖状况改善,斜率值的大小表示植被覆盖的增加程度;反之,若斜率为负值,NDVI呈降低趋势,则表明植被覆盖状况恶化,斜率值的大小表示植被覆盖的恶化程度。

气象数据包括气温与降水量,在ARCGIS9.0平

台上将气象数据转为与NDVI数据相同投影和空间分辨率的栅格数据。利用空间分析模块(Spatial Analyst tools)提取植被变化、气候变化信息。

3 长江上游 1982~2003年 NDVI 季节变化趋势分析 (The trend of the NDVI seasonal change from 1982 to 2003)

3.1 植被季节变化时空分布特征

长江上游区 1982~2003年春(图2a)、夏(图2b)、秋(图2c)、冬(图2d)NDVI的平均变化趋势空间分布见图2。各季NDVI分区域和不同植物类型的变化特性归纳如表1所示。

表 1 长江上游 1982~2003年 NDVI 季节变化特征

Table 1 The NDVI seasonal changes from 1982 to 2003 in the upper reaches of the Yangtze River

季节	分区变化趋势	不同植物类型变化趋势
春	全区 99.8% NDVI 增加。金沙江上游 NDVI 增加,金南部、岷中部、嘉中部、乌江中部及长江上游干流部分区域 NDVI 显著增加。	金沙江中下游亚热带、热带山地常绿针叶林亚热带落叶阔叶灌丛区,岷江中下游亚热带常绿阔叶林、少量灌丛林区,嘉陵江中下游及干下部单(双)季稻连作小麦(油菜)或杂粮耕作区,乌江中部亚热带、热带常绿、落叶阔叶灌丛区 NDVI 显著增加;疏林区(沱江、乌江上游),林草区(嘉陵江上游、金沙江中部);高山稀疏植被区、高山草原、草甸区 NDVI 增加。
夏	全区约 62.9% NDVI 增加, 32.5% NDVI 下降。嘉陵江、沱江、长江上游干流下部,金沙江中部 NDVI 显著增加;金沙江下游、乌江中下游、大渡河上游、官庙河、长江上游干流上部、通天河上游南岸 NDVI 下降。	单(双)季稻连作小麦(油菜、花生、绿肥)或甘薯等杂粮耕作区(嘉陵江、长江上游干流区下部),或棉花、亚麻、桑等经济作物耕作区(沱江下游),金沙江中部温带、亚热带高寒草甸区 NDVI 显著增加。长江上游干流上部、金沙江下游、乌江中下游亚热带、热带石灰岩区藤本常绿、落叶灌丛、矮林分布区,大渡河上游松杉林-高山栎林稀疏植被结合区等 NDVI 下降。

续表 1

季节	分区变化趋势	不同植物类型变化趋势
秋	全区约 99.9% NDVI 下降。金沙江中下游、乌江流域、长江上游干流区下部、嘉陵江上、中游、岷江上中游围合的环状区 NDVI 显著下降；金沙江上游及环状区中心 NDVI 下降。	长江上游干流上部、金沙江下游、乌江亚热带、热带常绿、落叶阔叶灌丛、矮林和草甸结合区、嘉陵江上游温带亚热带落叶灌丛矮林、岷江上中游亚热带、热带常绿针叶林区 NDVI 显著下降。针叶林疏林区、单(双)季稻连作小麦(油菜)或花生、甘薯等杂粮耕作区(环状锐减带中心)以及点地梅垫状植被与高山稀疏植被区 NDVI 下降。
冬	全区约 94.4% NDVI 下降, 4% NDVI 增加。金沙江下游、岷沱江中游-涪江上游、白龙江-嘉陵江源区-乌江北岸沿线等区域所形成的环形区 NDVI 显著下降。金沙江上游、西汉水流域、牛栏江流域等区域 NDVI 略有增长。	长江上游干流区上部、金沙江下游乌江流域亚热带、热带常绿、落叶阔叶灌丛、矮林和草甸结合区、岷沱江中游、嘉陵江源区、白龙江流域亚热带、热带山地常绿阔叶林区 NDVI 显著下降。金沙江上游点地梅植被-高山稀疏植被结合区、西汉水流域亚热带针叶林灌丛区、作物种植区(如马铃薯、甜菜、小麦种植地)、云南松林灌丛结合区 NDVI 增加。

综合分析长江上游 NDVI 变化的空间分布特征(图 2)可知,春季→夏季→秋季→冬季 NDVI 增加区域大致呈现从低纬度向高纬度的转移变化。春季各区域都呈增加趋势,而最南端金沙江下游区域增加趋势最为显著;夏季 NDVI 增加最为显著区则北移至金沙江中上游、岷江上游、嘉陵江上、中游以及上游干流区上、中部;冬季金沙江上游区为 NDVI 增加最显著区。

3.2 不同流域植被 NDVI 季节变化趋势分析

植被季节变化空间分布特征(图 2)表明,不同流域植被变化存在一定差异,其变化趋势如图 3 与图 4 所示。不同季节各流域 NDVI 值存在差异,在生长期(春季、夏季、秋季)不同流域 NDVI 值差异较大,长江上游干流区、嘉陵江流域 NDVI 值最大,其次为岷江、乌江流域,而金沙江流域 NDVI 值最小。冬季各流域 NDVI 值差异较小。

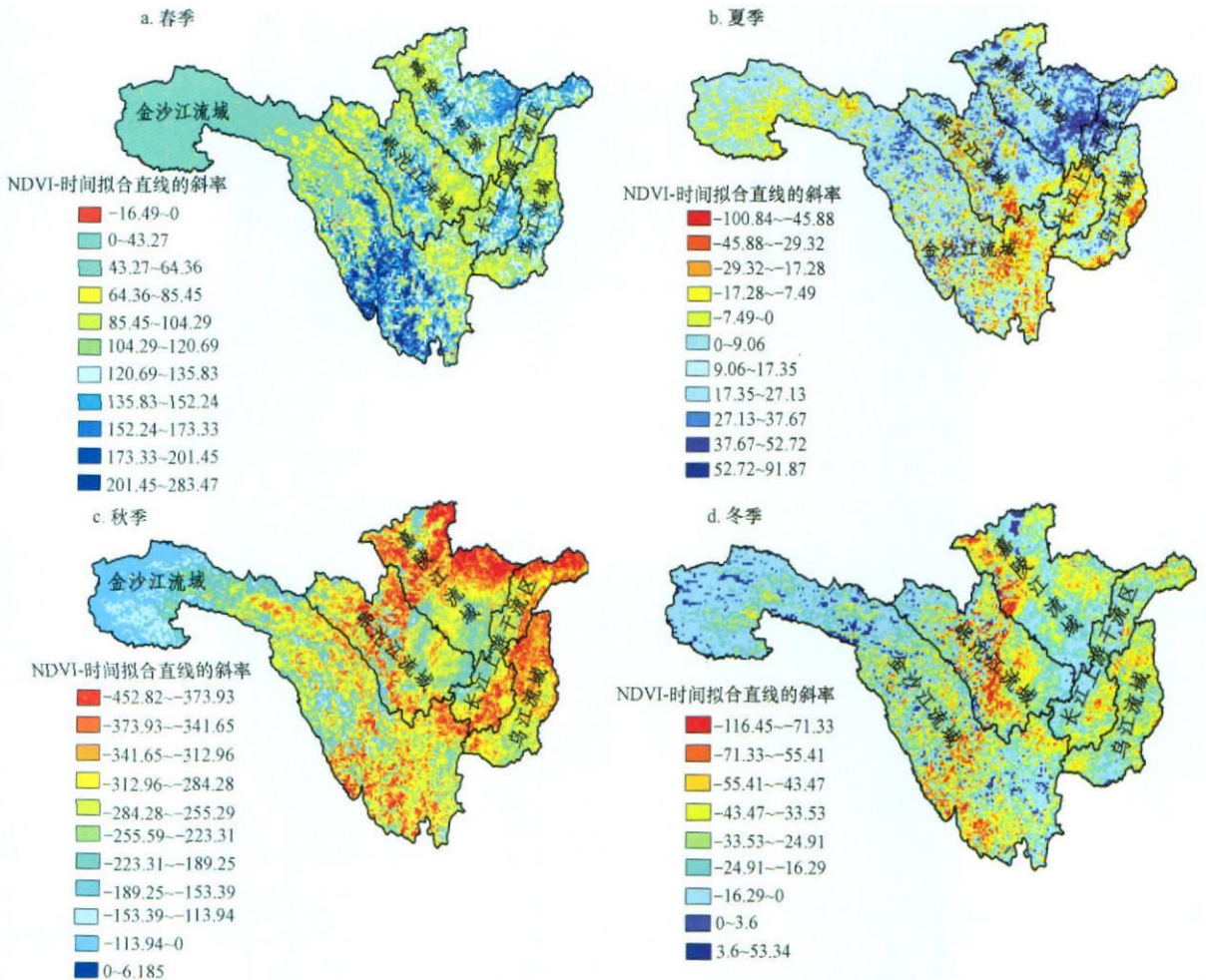


图 2 长江上游植被变化空间分布

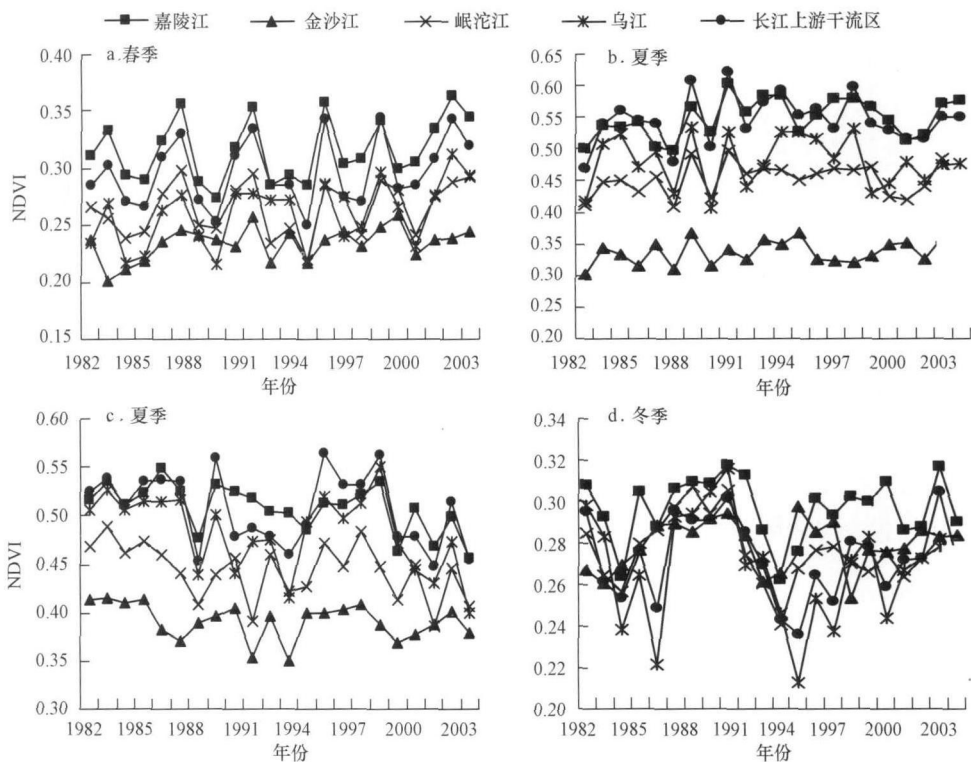


图 3 各流域植被 NDVI 的变化

Fig 3 NDVI seasonal changes in sub basins (a spring b summer c autumn d winter)

各流域不同季节 NDVI 峰值、低值的变化大致相同, 但季节变化趋势不一致。据图 4 可知, 春季各流域 NDVI 均为增加趋势, 乌江流域、长江上游干流区、嘉陵江流域增加最显著, 金沙江、岷沱江流域 NDVI 增加较缓慢; 夏季除乌江流域 NDVI 略有降低外, 其他流域 NDVI 都呈增加趋势, 其中嘉陵江流域增加最显著, 岷沱江流域、长江上游干流区、金沙江流域 NDVI 略有增加; 秋季所有流域 NDVI 均呈降低趋势, 以乌江流域、嘉陵江流域降低最为显著, 其次为长江上游干流区、岷沱江流域, 金沙江流域降低

趋势最弱; 冬季 NDVI 除金沙江流域、嘉陵江流域略有增加外, 其他流域 NDVI 均有减少趋势, 其减少趋势强弱排序为: 乌江流域、嘉陵江流域、长江上游干流区。

3.3 不同植被类型 NDVI 季节变化趋势分析

为分析不同植被类型 NDVI 的变化趋势, 将植被分为针叶林、阔叶林、灌丛、草地、耕地 5 种类型。图 5 显示, 在生长期各种植被类型 (草地除外) NDVI 值差异较小, 而冬季不同类型的植被 NDVI 值差异较大; 针叶林、阔叶林 NDVI 值最高, 其次是灌丛、耕地, 草地 NDVI 值最小。针叶林、阔叶林、灌丛、耕地 NDVI 峰值与低值的季节变化具有显著的一致性。

根据图 6 可知, 春季、夏季所有植被类型 NDVI 均为增加趋势, 其中春季的 NDVI 增加最为显著, 春季各种植被 NDVI 增加趋势排序依次为: 阔叶林 > 灌丛、耕地 > 针叶林 > 草地。秋季各种类型植被 NDVI 显著降低, 其降低程度排序为: 阔叶林、耕地 > 灌丛 > 针叶林 > 草地。冬季植被除针叶林 NDVI 略有增长趋势外, 其余植被类型 NDVI 均为降低趋势。

不同植被类型春、秋 2 季 NDVI 变幅排序依次为: 阔叶林 > 耕地 > 灌丛 > 针叶林 > 草地; 这表明,

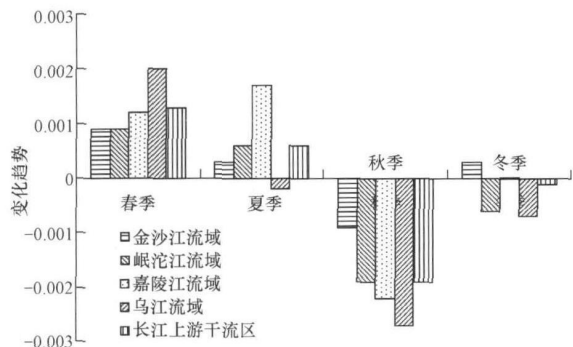


图 4 长江上游 1982-2003 年各流域 NDVI 季节变化趋势

Fig 4 Trends of the NDVI seasonal changes in sub basins from

1982 to 2003

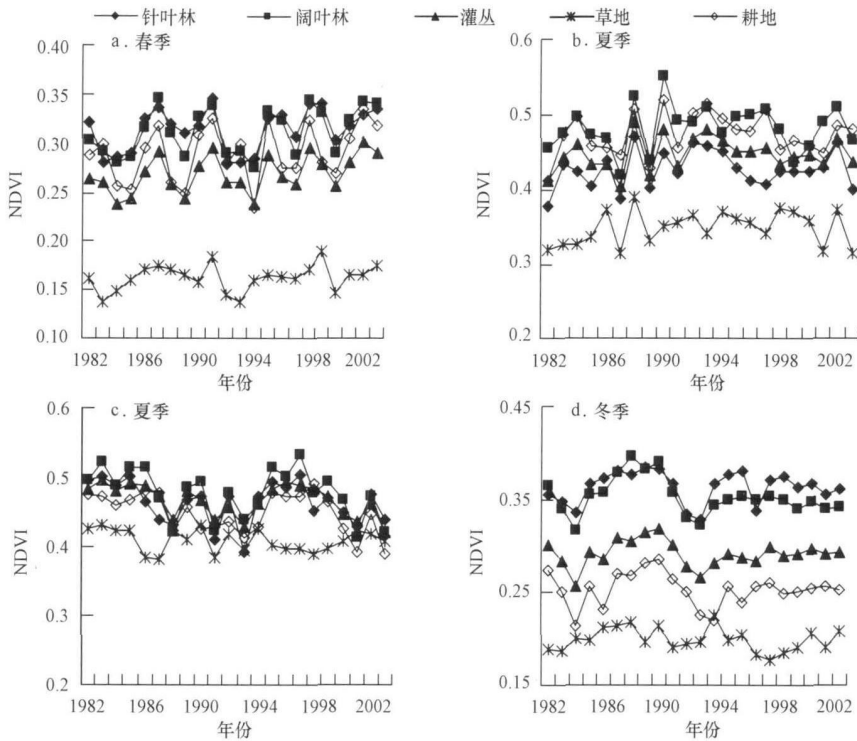


图 5 不同植被类型 NDVI 季节变化

Fig 5 NDVI seasonal changes of all kinds of vegetation (a spring b summer c autumn d winter)

不同植被类型 NDVI 变化存在“极端化”现象,即春季增长趋势越显著的植被类型,秋季 NDVI 降低趋势也越显著.春季阔叶林 NDVI 增长趋势最强,秋季 NDVI 降低趋势也最强,草地 NDVI 春季增长趋势最弱,秋季 NDVI 降低趋势也最弱.

加最为显著;而秋季、冬季植被覆盖呈下降趋势,以秋季降低最为显著.图 2 显示, NDVI 在不同季节的变化与植物的生长和落叶趋势基本一致,这说明 NDVI 变化与植被季相变化有一定关系;但因图 2 为春季、夏季、秋季、冬季植被在不同年份的变化趋势(相同的季节在不同时期 NDVI 的变化),因此认为植物的生长和落叶趋势不是 NDVI 季节变化的主要原因.植被覆盖变化驱动因子主要包括内部因子(土壤母质、土壤类型等)、外部因子(如气候、人类活动等).由于土壤母质、土壤类型变化极缓慢,所以在短时间尺度内,外部因子就成为植被覆盖变化的决定因素.气候因素主要包括降雨、气温,在一定程度下气候变化是植被覆盖变化的主要驱动力,然而随着经济技术的发展,人类对环境的影响日益显著,人类活动也成为改变植被覆盖的重要作用力.初步分析认为,长江上游近年来植被覆盖变化的季节差异主要受人类活动和气候变化的影响.

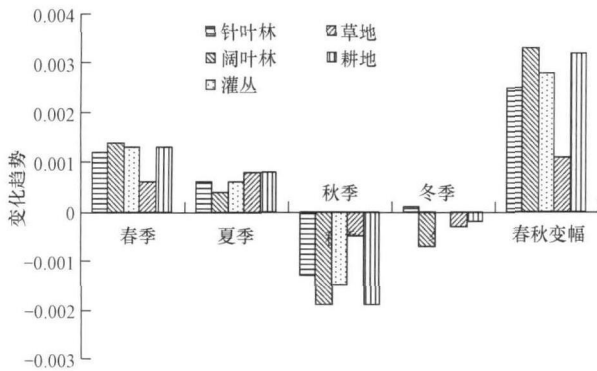


图 6 长江上游 1982~ 2003 年不同植被类型 NDVI 季节变化趋势

Fig 6 The trend of the NDVI seasonal changes of all kinds of vegetation from 1982 to 2003

4 植被变化驱动因子分析 (The analysis of driving forces to the vegetation change)

NDVI 的季节变化特点表明, 1982~ 2003 年长江上游春季、夏季植被覆盖呈增加趋势, 以春季增

4.1 气温、降雨对 NDVI 的影响

温度对植物生长的影响主要表现在提高光合作用效率和水分利用率, 同时也提高地面水分蒸发和植物的蒸腾作用以致引起干旱, 进而抑制植被生长; 因此, 升温对植被的作用还与水分充足与否有关, 即温度和降雨对植被的作用是密切关联的. 为

研究植被变化的机理, 本文收集并分析了长江上游 1982~2003 年各季度的气温和降雨资料. 图 7 给出了 22 年来长江上游 NDVI 气温和降雨的季节变化曲线. NDVI 变化曲线 (图 7a) 表明: 近 22 年中长江上游春季 NDVI 增加趋势较为明显 ($p = 0.064$)、夏季 ($p = 0.329$) NDVI 虽有增加, 但趋势并不明显; 秋季、冬季 NDVI 整体上呈下降趋势, 秋季 NDVI ($p = 0.043$) 下降最为明显, 而冬季 NDVI 降低趋势不明显. 1982~2003 年长江上游气温在所有季节都呈现上升趋势 (图 7b), 春季 ($p = 0.003$)、冬季 ($p = 0.021$) 和秋季 ($p = 0.038$) 气温上升趋势最为明显, 而夏季 ($p = 0.12$) 增温趋势相对较弱. 虽然 1982~2003 年长江上游降雨量总体上有所增加, 但增加趋势并不明显, 且存在一定的季节差异, 其中春季

($p = 0.711$)、夏季 ($p = 0.819$)、冬季 ($p = 0.777$) 降雨量呈现增加趋势 (图 7c), 而秋季 ($p = 0.622$) 降雨量则呈现减少的趋势 (图 7c). 综合分析气温和降雨的变化趋势可以发现, 在所研究的时段内, 春季、夏季及年平均降雨量增加与气温升高同步, 有利于提高植被的光合作用效率和水分利用率, 进而使 NDVI 呈现增加趋势, 而秋季气温升高却伴随降雨量下降, 地面水分蒸发和植物的蒸腾作用加剧, 干旱程度加剧, 植被生长受抑制, 因而 NDVI 降低趋势十分显著. 冬季为植被非生长季节, 因此, 冬季 NDVI 分布受秋季 NDVI 分布格局影响较大, 同时冬季气温与降雨量的增加将对耐寒植被生长产生一定的影响; 另外, 冬季植被覆盖变化还受人类活动的影响, 而人类活动最主要的形式是土地耕作.

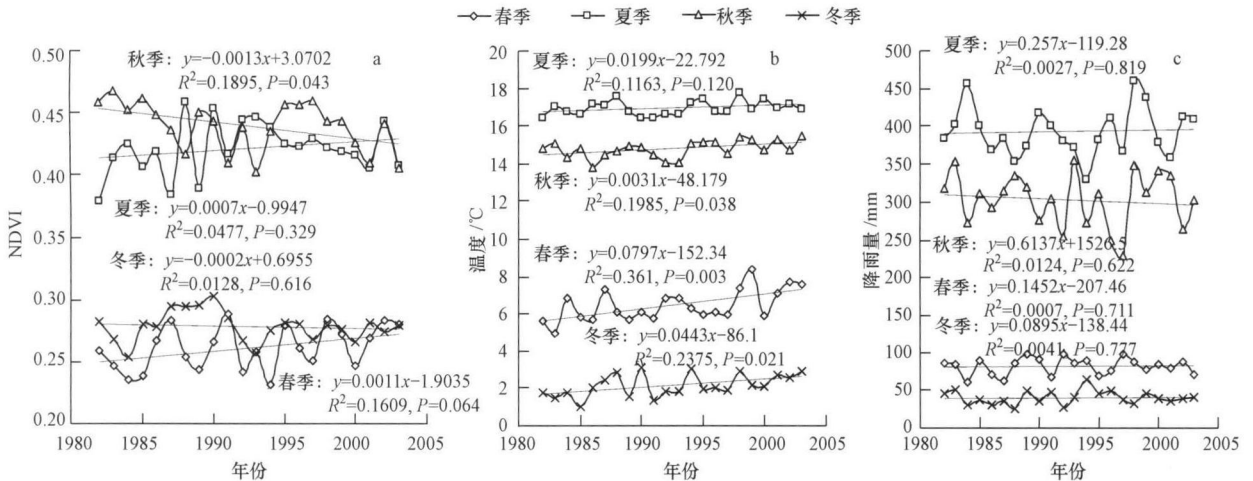


图 7 长江上游 1982~2003 年 NDVI (a)、气温 (b)、降雨 (c) 季节变化

Fig. 7 Seasonal change of NDVI (a), temperature (b), and precipitation (c) from 1982 to 2003 in the upper reaches of the Yangtze River

4.2 耕作面积对 NDVI 的影响

土地耕作是联系人类活动与自然环境的纽带, 可以直接反映人类活动对植被覆盖的影响. 播种区地面为农作物所覆盖, NDVI 变化受人类活动控制. 春季、夏季为作物播种、生长季节, 地面覆盖率随粮食或庄稼的生长而增加, 加之农作物种植密度较大, 因而 NDVI 值较之一般植被覆盖区有所增加. 随播种面积的增加春季、夏季植被覆盖面积也随之增加, 因而 NDVI 也增加. 秋季、冬季因农作物收获, 植被覆盖率急剧下降, NDVI 也随之降低, 因而播种面积越大, 植被覆盖减少越剧烈. 为简化研究, 本文选择播种总面积这一单一指标, 分析植被覆盖季节变

化与区域播种总面积变化之间的关系. 考虑到四川省、重庆市 2 个行政区约占长江上游区域 60% 的面积, 作为初步分析, 本文采用这 2 个行政区播种总面积来代表整个长江上游地区. 研究所用数据分别来自《2004 年四川统计年鉴》《2005 年重庆统计年鉴》

图 8 给出了四川省 (图 8a) 和重庆市 (图 8b) 2 个行政区播种总面积的年际变化图. 自 20 世纪 80 年代以来, 2 个行政区域内播种总面积都有较快的增长, 农作物覆盖面积的增加使长江上游春季、夏季 NDVI 呈现增加趋势; 秋季、冬季农作物收获后, 地面植被覆盖急剧降低导致 NDVI 呈现降低趋势.

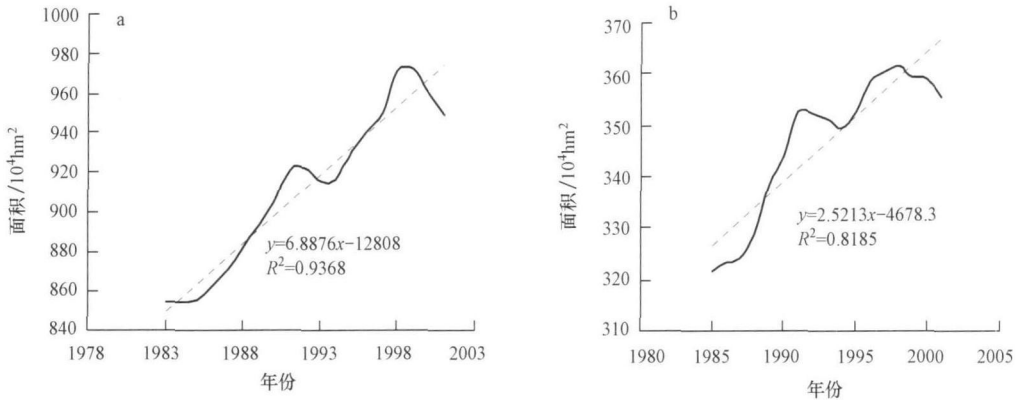


图 8 四川省 (a)、重庆市 (b) 播种总面积变化

Fig. 8 Crop area changes in Sichuan province (a) and Chongqing city (b)

4.3 长江上游 NDVI 季节变化时空分异原因分析

前人研究表明, NDVI 变化与气候的关系密切 (徐兴奎等, 2007; 朴世龙等, 2003; 孙红雨等, 1998)。春季期间气温上升, 伴随着降雨量的增加, 这种水、热同步结果促进了植被的迅速生长, 使长江上游 NDVI 呈现整体增加的趋势。同时不同植被类型对气温、降水响应程度的差异, 使区域植被增长速度并不一致, 故 NDVI 的增长又形成一定的空间分异特征。首先在岷江中下游、乌江中部以及金沙江中下游的热带山地、亚热带落叶阔叶林及少量灌丛区, 喜温及需水量较大的植被呈现快速生长的势态, 其 NDVI 显著增加; 另外在耕作区, 春季回暖加之人类的播种活动, NDVI 增加也比较显著; 而在疏林区、林草区和草原区一方面自然条件不如阔叶林区, 同时对增温及增水响应也不如前者, 其 NDVI 增长速度较缓慢。

夏季长江上游区气温普遍较高, 尤其是纬度较低的区域, 如长江上游干流上部、金沙江下游、乌江中下游等区域, 均达到很高的气温, 在一些河谷区常常形成焚风 (如金沙江下游部分区域)。夏季降雨量虽然有增加, 但增加趋势并不明显, 这对于需水量较大的植被如阔叶林、热带藤本植物、落叶灌丛等植被来说, 仍不够补偿水分蒸腾, 其生长受较强的抑制。叶面积较大的植被如阔叶林、藤本植物甚至白天关闭气孔, 停止光合作用以减少水分损失, 这可能使区域 NDVI 显著下降。而在金沙江中部温带、亚热带高寒草甸等区域, 温度比上述低纬度区低, 夏季温度的上升则促使区域植被迅速生长。尤其是在耕作区, 如嘉陵江、长江上游干流区下部, 在人类的护理作用下, 区域增温则为作物生长提供了

充足的热量, 这使作物生长更茂盛, 地面 NDVI 显著提高。

1982~2003 年气温 (图 7b)、降雨 (图 7c) 季节变化曲线表明, 长江上游秋季气温增加趋势十分明显 ($p=0.038$), 同时降雨则呈现减少的趋势, 这种水、热状况的反向变化, 极大地抑制了植被的生长, 使长江上游 99% 以上区域秋季 NDVI 降低。同时这种变化对不同植被类型的影响是不同的, 在森林分布区域尤其是阔叶林区, 如长江上游干流上部、金沙江下游、岷江上中游、嘉陵江上游、乌江亚热带、热带常绿、落叶阔叶灌丛、矮林植被区。因植被蒸腾作用大, 秋季增温减水作用易造成植被生理性干旱, 进而抑制植被生长; 加之秋季为植物生长末期, 这种水、热反向变化使诸多林木提前落叶, 导致金沙江中下游, 乌江流域, 长江上游干流区下部, 嘉陵江上、中游, 岷江上中游区所在的环形区域 NDVI 显著下降。而在针叶林疏林区、点地梅垫状植被与高山稀疏植被区, 属于需水量较少的植物类型, 受水、热反向变化的影响较前者小, 因此, NDVI 降低较为缓慢。秋季耕作区的作物除了受气候变化影响外, 更重要的是人类的收获季节, 使 NDVI 下降; 同时因长江上游区域热量比较高, 许多区域实施连作耕作制度, 秋收以后许多耕地被重新种上作物, 因此, NDVI 的下降不如阔叶林区明显。

对比 1982~2003 年冬季、秋季长江上游 NDVI 变化的空间分布图 (图 2a、图 2d) 可知, 2 个季节的 NDVI 空间分布格局略有相似, 两者都大致在金沙江中下游、乌江流域、长江上游干流区下部、嘉陵江上中游、岷江上中游区形成一个环形的 NDVI 锐减区。不同的是冬季的环形锐减区面积有所减少, 且

大致在秋季为 NDVI 降低较小的区域如金沙江上游、西汉水流域(嘉陵江源区支流)、牛栏江流域(金沙江下游支流), 冬季转为 NDVI 增加区。这是因为因冬季为植被非生长期, NDVI 分布有较多秋季分布格局的继承, 因此冬季 NDVI 变化的空间分布与秋季略有相似; 同时长江上游冬季气温 ($p = 0.021$)、降雨 ($p = 0.777$) 呈同步增长趋势, 部分耐寒植被如针叶林、点地梅的生长期会有所增长, NDVI 呈现增加的趋势; 另外, 耕作区的越冬作物在气温、降雨增加条件下 NDVI 也可能有所增加。

5 结论 (Conclusions)

1) 近 22 年来, 长江上游春季、夏季 NDVI 有增加趋势, 其中春季增加最显著; 秋季、冬季 NDVI 呈降低趋势, 其中秋季降低最显著。

2) 春季、夏季气温、降雨同步增加, 使春季、夏季 NDVI 增加; 秋季气温、降雨的反向变化, 使秋季 NDVI 降低; 受秋季 NDVI 分布格局的影响, 冬季 NDVI 整体上有降低趋势, 同时冬季气温与降雨同步增加、人类活动使部分区域 NDVI 增加; 1982~2001 年间, 长江上游大部分区域作物播种面积增加, 使春季、夏季 NDVI 增加, 秋季 NDVI 减少。

3) 春季、夏季所有植被类型 NDVI 均增加, 而秋季所有植被类型 NDVI 均降低, 冬季植被除针叶林 NDVI 略有增加外, 其余植被类型 NDVI 均降低。另外, 不同植被类型 NDVI 变化存在“极端化”现象, 即春季 NDVI 增长越显著的植被类型, 在秋季 NDVI 降低越显著。

4) 在生长期(春季、夏季、秋季)不同流域 NDVI 差异较大, 冬季 NDVI 差异较小, 春季→夏季→秋季→冬季, NDVI 增加区域呈现低纬度向高纬度区转移的趋势。

责任作者简介: 廖建华 (1975—), 男, 博士后, 主要从事流域环境与流域地貌研究。

参考文献 (References):

陈效速, 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 X Q, Yu R. 2007. Spatial and temporal variations of the vegetation growing season in warm-temperate eastern China during 1982 to 1999 [J]. Acta Geographica Sinica, 62(1): 41—51 (in Chinese)
 杜子涛, 占玉林, 王长耀. 2008. 基于 NDVI 序列影像的植被覆盖变化研究 [J]. 遥感技术与应用, 23(1): 47—50
 Du Z T, Zhan Y L, Wang C Y. 2008. Study on vegetation cover changes

based on NDVI serial images [J]. Remote Sensing Technology and Application, 23(1): 47—50 (in Chinese)
 方精云, 朴世龙, 贺金生, 等. 2003. 近 20 年来中国植被活动在增强 [J]. 中国科学 (C 辑: 生命科学), 33(6): 554—565
 Fang J Y, Piao S L, He J S, et al. 2004. Increasing terrestrial vegetation activity in China, 1982—1999 [J]. Science in China Ser C (Life Sciences), 47(3): 229—240 (in Chinese)
 Kaufmann K, Zhou L, Shabanov V, et al. 2000. Effect of orbital drift and sensor changes on the time series of AVHRR vegetation index data [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 38(6): 2584—2597
 Kavabata A, Ichii K, Yanaguchi Y. 2001. Global monitoring of the inter-annual changes in vegetation activities using NDVI and its relationships to temperature and precipitation [J]. International Journal of Remote Sensing, 22(7): 1377—1382
 柯金虎, 朴世龙, 方精云. 2003. 长江流域植被净第一性生产力及其时空格局研究 [J]. 植物生态学报, 27(6): 764—770
 Ke J H, Piao S L, Fang J Y. 2003. NPP and its spatio-temporal patterns in the Yangtze River watershed [J]. Acta Phytocologica Sinica, 27(6): 764—770 (in Chinese)
 梁四海, 陈江, 金晓娟, 等. 2007. 近 21 年青藏高原植被覆盖变化规律 [J]. 地球科学进展, 22(1): 33—40
 Liang S H, Chen J, Jin X M, et al. 2007. Regularity of vegetation coverage changes in the Tibetan Plateau over the last 21 years [J]. Advances in Earth Science, 22(1): 33—40 (in Chinese)
 Los S, Justice C, Tucker C. 1994. A global 1 degree by 1 degree NDVI data set for climate studies derived from the GMMSS continental NDVI [J]. International Journal of Remote Sensing, 15(17): 3493—3518
 Myneni R B, Keeling C D, Tucker C J, et al. 1997. Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1999 [J]. Nature, 386: 698—702
 Myneni R B, Tucker C J, Asar G, et al. 1998. Interannual variations in satellite-sensed vegetation index data from 1981 to 1991 [J]. J Geophys Res, 103(6): 6145—6160
 Nemani R, Keeling C, Hashimoto H, et al. 2003. Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999 [J]. Science, 300: 1560—1563
 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 S L, Fang J Y. 2001. Dynamic vegetation cover change over the last 18 years in China [J]. Quaternary Sciences, 21(4): 294—302 (in Chinese)
 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 S L, Fang J Y. 2003. Seasonal changes in vegetation activity in response to climate changes in China between 1982 and 1999 [J]. Acta Geographica Sinica, 58(1): 119—125 (in Chinese)
 Pinzon J. 2002. Using HHT to successfully uncouple seasonal and inter-annual components in remotely sensed data [A]. SCI Conference Proceedings July [C]. 14—18 Orlando, Florida
 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 时间系列数据分析 [J]. 遥感学报, 2 (3): 204—210
- Sun H Y, Wang C Y, Niu Z, *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* 2(3): 204—210 (in Chinese)
- 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]. *International Journal of Remote Sensing* 26(20): 4485—4498
- 徐兴奎, 陈红, 张凤. 2007. 中国西北地区地表植被覆盖特征的时空变化及其影响因子分析 [J]. *环境科学*, 28(1): 41—47
- Xu X K, Chen H, Zhang F. 2007. Temporal and spatial change of vegetation cover in the northwest of China and factors analysis influencing on vegetations variation [J]. *Environmental Science* 28 (1): 41—47 (in Chinese)
- 杨建平, 丁永建, 陈仁生. 2005. 长江黄河源区高寒植被变化的 NDVI 纪录 [J]. *地理学报*, 60(3): 467—478
- Yang J P, Ding Y J, Chen R S. 2005. NDVI reflection of alpine vegetation changes in the source regions of the Yangtze and Yellow Rivers [J]. *Acta Geographica Sinica* 60(3): 467—478 (in Chinese)