

闽江赣江上游流域长时间序列 NPP 变化分析

陈珂¹, 杨胜天¹, 侯鹏², 吴琳娜^{1,3}, 管亚兵¹, 刘晓林¹

(1. 北京师范大学 地理学与遥感科学学院 遥感科学国家重点实验室 北京市环境遥感与数字城市重点实验室, 北京 100875; 2. 环境保护部 卫星环境应用中心, 北京 100094; 3. 贵州大学 资源与环境工程学院, 贵阳 550025)

摘 要: 闽江和赣江上游流域是闽赣水系的主要水源涵养区, 其生态环境好坏直接关系到区域水资源可持续利用; 而植被净初级生产力(NPP)对生态变化具有重要指示作用, 因此有必要分析流域长时间序列 NPP 变化趋势及原因。通过对闽江和赣江上游流域 NPP 自 1990 年以来 6 期数据的模拟计算, 结合 DEM 和实地考察, 发现: (1) 两流域 NPP 总体上都经历了一个快速增长期, 且增长最快阶段均为 1995—2000 年, 既得益于当地良好的水热条件, 也与政策驱动有关; (2) NPP 增长较快地带主要位于对自然破坏相对较少的高海拔山区和欠发达偏远地区; (3) 闽江上游流域各期 NPP 值均高于赣江上游流域, 且全流域普遍增长趋势较赣江上游流域明显, 得益于其更丰沛的降水和更少的植被破坏; (4) 闽江上游流域 NPP 增长相对持续稳定, 赣江上游流域则经历了两次波动, 应与城镇化等经济开发有关。

关键词: 闽江; 赣江; NPP; 生态; 遥感

中图分类号: X87; X171

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2016)01-0155-05

Long Series Analysis on NPP Variation in the Upper Minjiang River Basin and the Upper Ganjiang River Basin

CHEN Ke¹, YANG Shengtian¹, HOU Peng², WU Linna^{1,3}, GUAN Yabing¹, LIU Xiaolin¹

(1. *State Key Laboratory of Remote Sensing Science, School of Geography, Beijing Normal University, Beijing Key Laboratory for Remote Sensing of Environment and Digital Cities, Beijing 100875, China;*

2. Satellite Environment Center, Ministry of Environmental Protection, Beijing 100094, China;

3. College of Resources and Environment Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: The upper Minjiang River basin and the upper Ganjiang River basin are the important source water conservation districts of the Minjiang River and the Ganjiang River. The qualities of their ecological environments are directly related to the sustainable utilization of local water resources. The vegetation net primary productivity (NPP) has an important indicative function for ecological change. Thus, it's necessary to analyze NPP's long series change trends and reasons. It's found through 6 phases of simulated NPP in the two basins since 1990 and by comparative analysis combined with DEM and fieldwork that: (1) in general, NPP in the two basins had experienced a period of rapid growth and the period from 1995 to 2000 was the fastest growth phase, which benefited from local good hydrothermal conditions and the driving force from policy as well; (2) the zones that NPP grows quickly are mainly located at higher elevations in the mountains and the underdeveloped wild areas, which is mainly due to the relatively little anthropogenic interference; (3) the NPP value for each phase in the upper Minjiang River basin was higher than that in the upper Ganjiang River basin and the former's general growth trend was also more obvious than the latter, which was mainly due to more abundant rainfall and less damage to vegetation in the upper Minjiang River basin; (4) the NPP growth in the upper Minjiang River basin is relatively steady, while it experienced two swings in the upper Ganjiang River basin, which should be attributed to local urbanization and other economic development.

Keywords: Minjiang River; Ganjiang River; NPP; ecology; remote sensing

植被作为区域生态环境的重要组成部分^[1],其变化能够直观地反映生态环境质量的好坏^[2],植被变化的长时间序列监测对于及时掌握研究区生态变化情况^[3]、评价生态环境功能^[4]、分析生态演变趋势^[5],进而制定合理的生态发展政策都具有十分重要的意义。鉴于闽江和赣江上游流域植被变化对于两江水源涵养的重要性^[6],并考虑到两流域相似的自然地理条件,有必要在长时间尺度下对流域植被变化主要指标进行监测与对比分析,揭示两流域植被变化及其差异的原因。通常对植被变化的监测和评价指标有叶面积指数、植被覆盖度、植被净初级生产力等^[7]。以往受数据获取的制约或囿于模型构建不足,对闽江和赣江流域植被变化的研究并不多,李慧^[8]采用 CASA 模型基于 2005 年 MODIS 数据对福建省森林生态系统 NPP 进行了模拟计算;谢晓华等^[9]对闽江流域植被覆盖度变化进行了专门研究,但研究仅基于 1986 年和 2003 年两期 TM 数据;丁庆福等^[10]以气候响应作为切入点,对江西省植被 NPP 进行了研究,但所用数据的时间跨度也仅为 2000—2006 年,不能反映 NPP 长期变化趋势。近年来,随着遥感技术的发展,使得大空间范围多指标综合反演植被变化成为可能^[11],大大促进了对流域生态环境变化的研究^[12]。考虑到对植被长势的变化分析,需要相对长时间观测数据的支撑^[13],而植被净初级生产力(NPP)是表征植被活动的关键变量^[14],对植被长势和生态系统质量具有重要的指示作用^[15],以及主要卫星产品数据获取的时效限制与原始数据质量制约,本文选用了 1990—2013 年共 6 期 TM 遥感影像数据,基于 EcoHAT 生态水文模型系统对闽江和赣江上游流域植被 NPP 进行了流域尺度的计算分析。

1 研究区概况

研究区包括闽江上游流域和赣江上游流域。

闽江上游流域地处福建省西北部,地理位置为 $116^{\circ}23'—119^{\circ}35'E$, $25^{\circ}23'—28^{\circ}16'N$,面积约 4.3 万 km^2 ,地形大致呈扇形展开,海拔最高处超过 1 600 m,为全省地势最高地带,除河谷外,几乎全为山地、丘陵。流域内溪流众多,主要包括沙溪、富屯溪和建溪 3 大支流,水量丰富。上游山区因距海岸较远,属大陆性气候,年平均气温为 $16\sim 19^{\circ}\text{C}$,无霜期达 $8\sim 9$ 个月,全年雨日超过 180 d,多年平均降水量为 1710 mm,降雨主要集中在 3—9 月,水热条件较好。土壤以红壤、灰棕壤为主,土层深厚,腐殖质含量高,极利于林木生长;主要植被类型为常绿阔叶林、针叶阔叶混交林、针叶林、竹林等。

赣江上游流域位于江西省南部,地理位置为 $113^{\circ}54'—116^{\circ}38'E$, $24^{\circ}29'—27^{\circ}09'N$,为我国东南沿

海地区向中部内陆延伸的过渡地带。赣江上游流域研究区域面积约 3.57 万 km^2 ,境内河网密布,主要支流有湘水、章水、琴江、梅江、平江、桃江和上犹江等;该区地形复杂多样,地貌以丘陵、山地为主,地势四周高,中间低;四周山地多黄壤和黄棕壤,其余丘陵岗地均以第四纪红壤为主,兼有少量紫色土,红黄壤土层深厚;区内属亚热带气候,年平均气温 18.9°C ,多年平均降水量 1 626.8 mm,降水主要集中在 5—10 月。区内水力、森林、生物和矿产资源丰富;植被以常绿阔叶林为主,边缘山区植被良好,中部丘陵较差,为水土流失的主要地区。

2 数据获取

(1) 遥感数据。通过 USGS (<http://glovis.usgs.gov/>) 获取 Landsat5 TM 数据(1990 年、1995 年、2000 年、2005 年、2010 年)、Landsat8 OLI_TIRS 数据(2013 年),经校正、裁剪和拼接后,用于叶面积指数和植被盖度计算。

通过中国资源卫星应用中心 (<http://www.cresda.com/n16/index.html>),获取 2010 年 30 m 影像数据,用作几何校正基准影像。

(2) DEM 数据。通过地理空间数据云 (<http://www.gscloud.cn/>),获取研究区 30 m DEM 数据,用于植被净初级生产力计算。

(3) 气象数据。通过中国气象科学数据共享服务网 (<http://cdc.cma.gov.cn/home.do>),获取日照百分率、平均水汽压、降水量、温度等属性数据,用于植被净初级生产力计算。

3 研究方法

采用 EcoHAT 生态水文模型系统结合 TM 遥感影像数据,对研究区植被信息进行提取和计算,并对计算结果在野外实地考察和模型验证基础上进行修正分析。

3.1 EcoHAT 模型简介

EcoHAT 模型是由北京师范大学遥感科学国家重点实验室开发的一个完全分布式的生态水文过程综合模拟模型,其构建主要基于国内外具有物理化学机制的生态水文过程模型,通过对模型调整,采用适合中国自然条件的参数,建立本地化的数据库。EcoHAT 模型通过区域空间网格参数的输入,实现基于象元的模拟运算。

EcoHAT 模型由水分循环、营养元素循环和植物生长 3 大部分组成,其中植物生长过程包括对植被营养元素吸收、归一化植被指数(NDVI)、叶面积指数(LAI)、植被覆盖度、植被净初级生产力(NPP)、生产力

分配和凋落物等的模拟计算。EcoHAT 模型集成了参数管理工具、遥感参数反演工具、模型定制工具、GIS 分析工具,通过耦合遥感空间信息反演和参数管理的生态水文过程模型,构建生态水文分析系统。

3.2 遥感参数反演

EcoHAT 模型系统所采用的 CASA 模型是目前国内使用较多的光能利用率模型,综合考虑了气温、降水、土壤蒸发等因素。模型中 NPP 的估算由植物光合有效辐射(APAR)和实际光能利用率(ϵ ,单位:g/MJ,以 C 计算 g)两个因子来实现,具体估算公式为:

$$NPP=\epsilon\times APAR \tag{1}$$

APAR 的值由植被吸收的太阳有效辐射和植被对入射光合有效辐射的吸收比例来确定:

$$APAR(x,t)=SOL(x,t)\times FPAR(x,t)\times 0.5 \tag{2}$$

式中:APAR(x,t)——像元 x 在 t 月吸收的光合有效辐射[MJ/(m²·月)];SOL(x,t)—— t 月在像元 x 处的太阳总辐射量[MJ/(m²·月)];FPAR(x,t)——植被层对入射光合有效辐射的吸收比例,常数 0.5 表示植被所能利用的太阳有效辐射(波长为 0.4~0.7 μ m)占太阳总辐射的比例。

太阳总辐射可通过最大晴天总辐射量和日照百分率的经验公式估算^[16]:

$$Q=Q_0[a_0+b_0(n/N)] \tag{3}$$

式中:Q——太阳总辐射量(MJ/m²);Q₀——最大晴天总辐射量(MJ/m²); n/N ——日照百分率(可登陆中国

气象数据共享网下载); n ——实照时数; N ——可照时数; $a_0=0.207$, $b_0=0.725$,为常数系数,随地区不同而有所变化,依据侯光良等^[17]的研究成果进行选取。

侯光良等通过对最大晴天总辐射量进行分析,发现其与地理纬度、海拔高度和地面绝对湿度(反映大气透明状况的影响)有着紧密关系,推算得出计算逐月最大晴天总辐射量 Q_{0i} (MJ/m²)的多元一次线性回归方程:

$$Q_{0i}=C_{0i}+C_{1i}\times Lat+C_{2i}H+C_{3i}e_d \tag{4}$$

式中:Lat——地理纬度(度); H ——海拔高度(m); e_d ——平均绝对湿度(hPa); C_{0i} , C_{1i} , C_{2i} , C_{3i} ——随季节变化的系数。

3.3 模型验证

首先,结合 2013 年 TM 影像解译图对研究区进行了实地考察,两流域共选择主观测样本点 43 个,辅助观测样本点 64 个,除了 5 个主观测样本点因土地利用变化需要调整外,其他样本点与解译结果一致,解译精度达到 95%以上,有效支撑其他年份影像解译精度。

鉴于模型模拟值时间跨度较长,对计算结果采用与相关学者的已有研究成果进行参考验证的方式。验证值中 1990 年参考朱文泉等^[15]的研究成果,1995—2005 年闽江上游流域参考李慧^[8]对福建省森林生态系统 NPP 的研究成果,1995 年赣江上游流域参考孙睿等^[14]的研究成果,2000 年和 2005 年赣江上游流域参考丁庆福等^[10]研究成果,2010 年和 2013 年暂缺验证参考值,具体数值参见表 1。

表 1 研究区 NPP 模拟值与验证参考值对照表 g C/m²

项目	1990 年	1995 年	2000 年	2005 年	2010 年	2013 年
闽江上游 NPP 模拟值	712.54	820.02	1050.63	1185.71	1354.05	1464.27
闽江上游 NPP 验证参考值	550~850	790.22	887.33	818.59	—	—
赣江上游 NPP 模拟值	596.99	576.50	878.67	1003.89	946.61	1214.63
赣江上游 NPP 验证参考值	550~700	500~750	701~1100	701~1100	—	—

由表 1 可见,2000—2005 年闽江上游流域模拟值高于验证参考值 100~200 g C/m²,主要是因为参考值代表的是全省森林的平均值,而闽江上游流域为福建省 NPP 最高的区域;其他有值年份模拟值基本均在验证参考值取值范围内且接近于参考值域区间均值。将模型模拟值与验证参考值(对值域区间的数值取平均值)进行相关性拟合发现,模拟值与验证参考值之间具有很好的线性相关度(图 1),模型计算结果可以接受。

4 结果与分析

4.1 NPP 随时间变化趋势

如图 2 所示,闽江和赣江上游流域 1990—2013 年植被净初级生产力(NPP)总体均呈上升趋势。

1990—2013 年赣江上游流域各期 NPP 均低于闽江上游流域,而且两流域 NPP 变化趋势线斜率相差不大,反映出两者 1990—2013 年总体保持了大致相同的增长幅度和趋势,但闽江上游流域 NPP 增速略快于赣江上游流域。

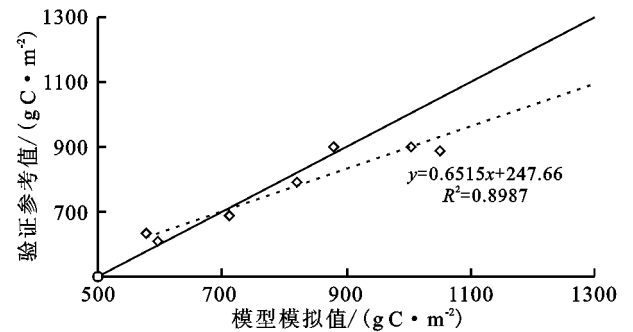


图 1 模型模拟值与验证参考值相关性

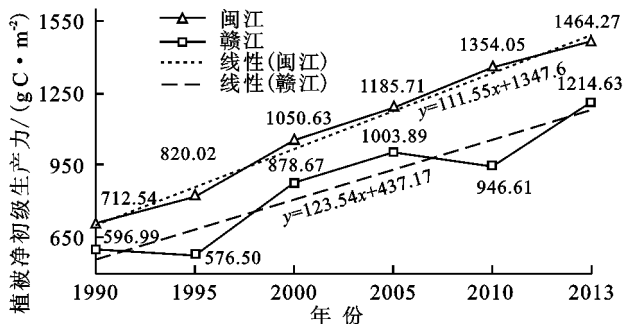


图2 闽江赣江上游流域 NPP 变化趋势

赣江上游流域 NPP 在计算期间出现两次下降, 分别是 1995 年比 1990 年降低 20.49 g C/m^2 , 2010 年比 2005 年降低 57.28 g C/m^2 ; 其他年份数据增幅为 $125.22 \sim 302.17 \text{ g C/m}^2$, 1995—2000 年增幅最大; 闽江上游流域 NPP 增长趋势则相对平稳和持续。

4.2 NPP 空间变化情况

4.2.1 闽江上游流域 NPP 空间变化情况 通过对闽江上游流域 1990—2013 年 6 期 TM 影像, 结合 DEM 数据与实地考察分析, 发现期间流域 NPP 变化(附图 10)在空间上呈现以下特点:

(1) 1990—2013 年研究区植被 NPP 在空间分布上逐渐扩展, 1995—2000 年增加面积较大, 整个流域呈现出整体普遍增加趋势, 并且 1995—2000 年也是各期 NPP 增幅最大的区间。NPP 增加较快的区域主要分布在流域海拔大于 800 m 的北部, 海拔大于 500 m 的西北部及中部。

(2) 各期流域范围内各县市 NPP 均有增加, 在流域西北部相对偏远的地区如光泽县、邵武市、建宁县、泰宁县和将乐县北部多分布海拔高于 800 m 以上的高山陡坡, 增长尤为明显。

(3) 主要城镇如三明、沙县、永安、清流、宁化、建宁、明溪、泰宁、邵武、光泽、顺昌等的周边地区 NPP 也呈逐年增长的趋势。

4.2.2 赣江上游流域 NPP 空间变化情况 通过对赣江上游流域 1990—2013 年 6 期 TM 影像, 结合 DEM 数据与实地考察分析, 发现期间流域植被 NPP 变化(附图 11)在空间分布上逐渐扩展。主要表现为:

(1) 1990—2013 年流域中部至南部从于都、赣州到信丰一线植被 NPP 承载面积增加较为明显; 而流域周边各县则主要表现为在原有承载区基础上 NPP 数值增加明显。

(2) 1995—2000 年 NPP 增幅在各期中最快, 表现为全流域普遍增长; 2000—2005 年 NPP 增加的区域主要分布在流域西部、南部和东部的山区; 而 2010 年相对于 2005 年 NPP 略有降低, 主要分布于流域中

部赣州市、南康市和偏南部的信丰县城周边地区。

(3) 在西部靠近井冈山及湖南的地区, NPP 增长相对持续稳定。

(4) 中部以赣州为核心的相对平缓区域, 2000 年以后到 2010 年期间, NPP 显著减少, 而在 2010 年后, 得到较快恢复。

4.3 闽江和赣江上游流域 NPP 变化比较分析

4.3.1 闽江和赣江上游流域 NPP 变化比较 1990—2013 年两流域植被 NPP 变化相似之处主要有以下几方面: (1) 1990—2013 年闽江上游流域和赣江上游流域植被 NPP 总体上都经历了一个快速增长的时期, 各自从 1990 年的 $712.54, 596.99 \text{ g/m}^2$ 增长到 2013 年的 $1464.27, 1214.63 \text{ g/m}^2$; (2) 总体而言, 两流域具有大致相同的增长幅度和趋势, 且增长幅度最快的区间均在 1995—2000 年; (3) NPP 增长较快的地带均主要位于海拔较高的山区和经济相对落后的地区(如闽江上游流域的西北地区 and 赣江上游流域西部靠近井冈山及湖南的地区)。

1990—2013 年两流域植被 NPP 变化不同之处主要有以下几方面: (1) 闽江上游流域 NPP 值每期均高于赣江上游流域; (2) 闽江上游流域 NPP 增长总体略快于赣江上游流域; (3) 闽江上游流域 NPP 增长趋势较平稳, 没有明显的波动。赣江上游流域则于 1995 年和 2010 年各出现过一次下降, 幅度为 3.43% 和 5.7% ; (4) 闽江上游流域 NPP 全流域普遍增长的趋势较赣江上游流域更为明显, 其覆盖了中心城镇的周边。

4.3.2 闽江和赣江上游流域 NPP 变化共同点分析

(1) 从空间变化来看, 闽江上游流域 NPP 总量自 1990 年以来呈现持续增长的特点, 而且 NPP 高值区主要分布于闽西高山偏远地区, 与李慧^[8]的计算和调研结果一致。1989 年整个流域开始实施防治水土流失工程, 20 世纪 90 年代福建省成为全国第二个消灭荒山的省份^[18], 2003 年又成为第一批推行集体林权制度改革的试点省^[19], 直到 2010 年全省开展有效增加植被覆盖面积的“四绿”工程和“大造林”活动^[20], 这一系列政策对植被增长发挥了极为重要的驱动作用。

(2) 自 20 世纪 80 年代以来, 江西省实施的“山江湖库工程”对流域生态健康的回馈效应^[21]是推动赣江流域植被 NPP 增长的长期有利因素。

(3) 两流域在 1995—2000 年期间 NPP 增幅均为各期最大, 应与 1998 年国家倡导的退耕还林政策影响有关^[22]。

(4) 赣江流域西部靠近井冈山及湖南的地区, 属于传统的农业耕作地带, 生态受破坏较少, NPP 一直处于良好的稳定增长状态, 与李鑫等^[23]的研究结论相吻合。

4.3.3 闽江和赣江上游流域 NPP 变化不同点分析

(1) 闽江上游流域靠近沿海,高程从接近海平面急遽抬升到 500~1 600 m,降水相对于武夷山分水岭另一侧同属亚热带的赣江上游流域更为频繁丰富,闽江流域多年平均降水量为 1 710 mm,且上游流域降水量最小值高达 1 686 mm^[24],而赣江流域多年平均降水量仅为 1 626.8 mm^[25],在土壤质地相似的条件下^[26],闽江上游流域更有利于林木生长,NPP 增长也更快、范围更广、总量更大。

(2) 赣江上游流域 1995 年相对于 1990 年经历了一个小幅的 NPP 减少过程,从空间上看,主要分布于兴国、赣州、南康等城镇周边,应与当地经济结构调整和城镇扩展有关,1995 年之前几年,为“呼应大京九、建设新赣州”,规划建设了 12 km² 章江新城,仅新增道路就达 7 万 m²^[27];而流域中部以赣州为核心的新兴工商业城市在 2000 年以后,尤其是 2005—2010 年期间经历了一个快速的城市扩张过程^[28],恰好与模拟的植被 NPP 空间变化情况相一致。

(3) 在 2010 年后,随着江西全省推动大规模植树造林的“一大四小”工程,全流域植被得到较快恢复^[29],NPP 也相应增长较快。

(4) 两流域自然条件及相关政策的差异,是导致闽江上游流域与赣江上游流域植被 NPP 增长速度、范围和总量不同的重要因素。

5 结论

(1) 闽江上游流域和赣江上游流域植被 NPP 总体上都经历了一个快速增长的时期,且增长最快时期均为 1995—2000 年;主要原因一方面归结于当地良好的水热条件,另一方面也与政策驱动有关。

(2) 从空间变化上看,两流域 NPP 增长较快的地带主要位于生态破坏相对较少的高海拔山区和欠发达偏远地区(如闽江上游流域的西北地区和赣江上游流域西部靠近井冈山及湖南的地区)。

(3) 闽江上游流域 NPP 各期值均高于赣江上游流域,且呈现全流域普遍增长的特点,得益于闽江流域降水更为丰沛、也更注重对植被的保护与恢复。

(4) 闽江上游流域 NPP 增长相对持续稳定,而赣江上游流域则经历了两次下降;主要原因在于闽江上游流域地势多高山陡坡,加上政策的因素,有利于生态保护和恢复,赣江上游流域地形相对平缓,城镇扩张等经济开发力度较大。

闽江及赣江上游流域是我国境内植被覆盖较高、增长较快的地区,通过对 1990—2013 年 6 期 TM 影

像的模拟分析,结合 DEM 数据和实地考察,发现两大流域植被 NPP 在过去 20 多年尽管由于各自自然条件及政策原因,表现出不同的变化特点,但总体都得到较快较大增长,综合反映了闽江及赣江上游流域生态环境质量总体变好的趋势。然而要更深入揭示两流域 NPP 变化不同特点的机理,还需要更全面数据的支持,以及更多角度的分析。

参考文献:

- [1] 徐涵秋,何慧,黄绍霖.福建省长汀县河田水土流失区植被覆盖度变化及其热环境效应[J].生态学报,2013,33(10):2954-2963.
- [2] 高国林,王石英,蒋容,翠屏区植被覆盖及其景观格局变化遥感分析[J].水土保持研究,2013,20(3):104-109.
- [3] White M A, Nemani R R. Real-time monitoring and short-term forecasting of land surface phenology[J]. Remote Sensing of Environment,2006,104(1):43-49.
- [4] Briske D D, Fuhlendorf S D, Smeins F E. State-and-transition models, thresholds, and rangeland health: A synthesis of ecological concepts and perspectives[J]. Rangeland Ecology & Management,2009,58(1):1-10.
- [5] Walker M D, Wahren C H, Hollister R D, et al. Plant community responses to experimental warming across the tundra biome[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,2006,103(5):1342-1346.
- [6] 满正闯,苏春江,徐云,等.岷江上游森林涵养水源的能力变化分析[J].水土保持研究,2007,14(3):223-225.
- [7] Bondeau A, Kicklighter D W, Kaduk J, et al. Comparing global models of terrestrial net primary productivity (NPP): Importance of vegetation structure on seasonal NPP estimates[J]. Global Change Biology,1999,5(S1):35-45.
- [8] 李慧.福建省森林生态系统 NPP 和 NEP 时空模拟研究[D].福州:福建师范大学,2008.
- [9] 谢晓华,赖日文,李永实.基于 RS 技术的闽江流域植被覆盖度时空变化分析[J].贵州大学学报:自然科学版,2008,25(5):536-539.
- [10] 丁庆福,王军邦,齐述华,等.江西省植被净初级生产力的空间格局及其对气候因素的响应[J].生态学杂志,2013,32(3):726-732.
- [11] 赵广敏,李晓燕,李宝毅.基于地表温度和植被指数特征空间的农业干旱遥感监测方法研究综述[J].水土保持研究,2010,17(5):245-250.
- [12] 胡克梅,刘伟玲,朱京海,等.2000—2010 年井冈山国家级自然保护区生态系统功能变化评估[J].水土保持研究,2014,21(1):219-228.

- 学报,1999,54(3):51-56.
- [4] 吴文斌,杨鹏,唐华俊.土地利用对土壤性质影响的区域差异研究[J].中国农业科学,2007,40(8):1697-1702.
- [5] 阿斯耶姆·图尔迪,李新国,靳万贵,等.开都河流域下游绿洲土壤盐渍化影响因子分析[J].水土保持研究,2014,21(2):82-86.
- [6] 王遵亲,祝寿全,俞仁培,等.中国盐渍土[M].北京:科学出版社,1993.
- [7] 冯广京,林坚,胡振琪,等.2013 年土地科学研究重点进展评述及 2014 年展望[J].中国土地科学,2014,28(1):3-19.
- [8] 潘佩佩,杨桂山,苏伟忠.土地利用变化对土地生产力的影响研究进展[J].地理科学进展,2012,31(5):539-550.
- [9] 李生,任华东,姚小华.土地利用方式对桂西北石漠化地区土壤理化性质的影响[J].水土保持通报,2013,33(3):58-62,19.
- [10] 胡江玲,张高,赵枫,等.新疆精河流域不同土地利用方式对土壤质量的影响[J].水土保持研究,2010,17(4):92-95,99.
- [11] 王燕,赵哈林,潘成臣.土地利用方式对盐渍化农田土壤理化特性的影响[J].干旱区资源与环境,2014,28(2):149-154.
- [12] 王玉刚,李彦,肖笃宁.土地利用对天山北麓土壤盐渍化的影响[J].水土保持学报,2009,23(5):179-183.
- [13] 李晓军,李取生,刘长江.松嫩平原西部不同土地利用方式盐渍化效应研究[J].土壤通报,2005,36(5):654-658.
- [14] 孙宇瑞.土壤含水率和盐分对土壤电导率的影响[J].中国农业大学学报,2000,5(4):39-41.
- [15] 关志华,齐文虎,张红旗.渭干河灌区水盐平衡及盐分运移[J].资源科学,2004,26(2):74-79.
- [16] 付秋萍,张江辉,王全九等.塔里木盆地土壤盐分变化特征分析[J].自然科学进展,2007,17(8):1091-1097.
- [17] 王雪梅,柴仲平,塔西甫拉提·特依拜.干旱区绿洲土壤盐分空间异质性及人为驱动力分析[J].干旱区资源与环境,2012,26(3):111-115.
- [18] 刘光崧.土壤理化分析与剖面描述[M].北京:中国标准出版社,1996.
- [19] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化性质分析[M].上海:上海科学技术出版社,1978.
- [20] 桂东伟,穆桂金,雷加强,等.干旱区农田不同利用强度下土壤质量评价[J].应用生态学报,2009,20(4):894-900.
- [21] 乔木,周生斌,卢磊,等.新疆渭干河流域土壤盐渍化时空变化及成因分析[J].地理科学进展,2012,31(7):904-910.
- [22] 李宝富,熊黑钢,张建兵,等.古尔班通古特沙漠与绿洲交错带土地利用变化对土壤特性的影响[J].冰川冻土,2012,34(3):573-582.

(上接第 159 页)

- [13] Bakker J P, Olff H, Willems J. H, et al. Why do we need permanent plots in the study of long-term vegetation dynamics[J]. Journal of Vegetation Science,1996,7(2):147-155.
- [14] 孙睿,朱启疆.中国陆地植被净第一性生产力及季节变化的研究[J].地理学报,2000,55(1):36-45.
- [15] 朱文泉,潘耀忠,张锦水.中国陆地植被净初级生产力遥感估算[J].植物生态学报,2007,31(3):413-424.
- [16] 高国栋,陆渝蓉,缪启龙.气候学教程[M].北京:气象出版社,1996.
- [17] 李继由,张道光.中国农业气候资源[M].北京:中国人民大学出版社,1993.
- [18] 刘纪远,张增祥,庄大方.20 世纪 90 年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析[J].地理研究,2003,22(1):1-12.
- [19] 朱冬亮.集体林改与新农村生态文明建设:以福建省为例[J].福建江夏学院学报,2012,2(1):5-9
- [20] 庄晨辉,徐炜,张惠光,等.福建省非规划林地造林绿化树种的选择与应用研究[J].林业勘察设计,2011(2):1-4.
- [21] 刘志勇,赖格英,潘少明.赣江源头流域植被变化的水文响应模拟研究[J].长江流域资源与环境,2009,18(5):446-452.
- [22] 彭珂珊,徐宣斌.生态环境恢复和退耕还林之研究[J].环境保护,2002(8):18-20.
- [23] 李鑫,欧阳勋志,刘琪璟.江西省 2001—2005 年森林植被碳储量及区域分布特征[J].自然资源学报,2011,26(4):655-665.
- [24] 张星,陈惠,林秀芳.近 45 年闽江流域气候变化特征分析[J].水土保持研究,2009,16(1):107-110.
- [25] 曹茜,刘锐.基于 WPI 模型的赣江流域水资源贫困评价[J].资源科学,2012,34(7):1306-1311.
- [26] 李德成,梁音,赵玉国,等.南方红壤区水土保持主要治理模式和经验[J].中国水土保持,2008(12):54-56.
- [27] 江海.开发新城区,建设新赣州[J].江西政报,1995(13):31-32.
- [28] 文玉钊,陈文峰,钟业喜,等.赣南原中央苏区中心城市的选择与培育[J].热带地理,2014,34(4):568-576.
- [29] 陆文英,陈红萍,陆朝梁,等.“一大四小”生态工程实证调研[J].江西林业科技,2013(6):24-26.