

福建省行政区划植被覆盖的动态变化多层次模型

李维娇, 邱炳文, 曾灿英

(福州大学 空间信息工程研究中心, 福建 福州 350000)

摘要: 以福建省 85 个县级行政区划为第一层单元,以福建省行政区划的 9 个市作为第二层单元,在资源环境卫星数据的基础上,构建县-市级二层植被动态变化影响模型.在中观和宏观上分析福建省植被覆盖动态演变的驱动机制,分析不同行政单元上,不同的社会经济因子和政策等对植被覆盖的影响.研究表明:在市级层次上,国民收入的最终使用指标对植被覆盖的影响较大,与植被覆盖成负相关;在县级层次上,地形因子对植被覆盖的影响较大,与植被覆盖呈正相关,生产要素和生活条件指标与植被覆盖成负相关.

关键词: 多层次模型; 行政区划; 植被覆盖; 驱动因子; 福建省

中图分类号: TP 79; F 301.24(257) **文献标志码:** A

利用现代手段进行定量分析和模型模拟是生态-地理格局和过程研究的趋势之一.许多研究探讨了植被格局与环境的时空演变关系^[1-4],但有关植被覆盖的多尺度多层次研究还比较少见.尽管已有不少学者开展了植被的多尺度综合效应研究^[5-6],也有少量学者开展了土地利用驱动因子的多层次建模研究^[7-8].然而,这些研究均偏重于从自然单元层次(如流域),从不同土地利用类型开展植被覆盖驱动因子影响机制研究,且驱动因子大多以气候、地形等自然因子为主.植被覆盖的动态变化不仅受到地形等自然因子的影响,社会经济条件和政府决策更会从中观、宏观上影响到它的分布与演变,从而影响植被覆盖和土地利用变化^[8].社会经济条件、政府决策、土地管理策略、植被利用与保护措施等在同一行政管理单元中具有一定的相似性,以县、市等不同管理级别作为模型中的不同层次,便于考察不同的社会经济条件与管理调节手段下植被覆盖演变特征,评估不同特色的土地管理政策与措施的实施效果.由于多层次模型的层次结构特点,近年来,国外在土地利用变化科学研究中也有一些应用^[9-10].植被覆盖变化的驱动力研究及其在不同尺度不同层次的变化一直是学者们关注的热点问题.本文将多层次模型与地理学知识相结合,以福建省为研究区,在行政区划的基础上对福建省的植被指数进行多层次线性回归分析,在中观和宏观上分析福建省植被覆盖动态演变的驱动机制.

1 研究区概况与数据处理

1.1 研究区概况

福建地处我国东南部、东海之滨,陆域介于 23°30'N 至 28°22'N, 115°50'N 至 120°40'N 之间,全省陆地面积为 12.4 万 km²,地势西北高,东南低,山地、丘陵和平原分别占 75%,15%和 10%.海域面积为 13.6 万 km².福建属温暖湿润的亚热带海洋性季风气候,年平均气温 17~21℃,平均降雨量 1 400~2 000 mm,是中国雨量最丰富的省份之一.

福建的森林覆盖率为 63.1%,居全国首位.林地面积 617.9 万 hm²,为全国六大林区之一.有的已辟为自然保护区,如建瓯万木林保护区及武夷山自然保护区等,福建林区可分为中西部亚热带常绿阔叶林区和东部亚热带季风雨林区.

收稿日期: 2014-03-16

通信作者: 邱炳文(1973-),女,副研究员,主要从事地理信息系统的研究. E-mail: qiubingwen@fzu.edu.cn.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41071267);福建省科技计划重点项目(2012I0005);福建省自然科学基金资助项目(2012J01167);教育部留学人员回国科研启动项目(教外司留[2012]940)

1.2 数据源

福建省植被覆盖 NDVI 数据来源于环境卫星一号 2010 年 201012283 数据,如图 1 所示. NDVI 是反映植物冠层背景影响的指数,与地表植被覆盖有关. 通常情况下,NDVI 的值域范围在-1 到 1 之间,正值表示地表有植被覆盖,且 NDVI 值随着植被覆盖度的增大而增大;0 值表示地表为岩石或裸土,无植被覆盖;负值表示地表覆盖受到云、水、雪的影响.

福建省社会经济数据采用 2010 年的年鉴统计数据^[11],高程通过分辨率为 30 m 的 DEM 数据获取并从该 DEM 中提取出坡度,气象因子由 2010 年福建省的 65 个气象站点观测数据进行插值生成 250 m 分辨率的均温、累积降水、平均日照等因子,并重采样到 30 m 分辨率. 人为因子体现为交通可达性因子(距离最近道路距离,距离最近河流距离,距离最近居民点距离及距离最近铁路距离)和土地利用综合指数,所有的数据预处理操作均在 ESRI 公司中 ARCGIS 9.3 软件中实现. 气象因子、地形因子和人为影响因子均是求各个县、市内的平均值来代表该行政单元内的值.

1.3 数据处理

根据经验,以往的研究^[7-10]和数据条件应尽可能全面考虑影响植被覆盖的因子(表 1),以便从中筛选出真正显著影响植被覆盖的因子. 由于所考虑自然因子和社会经济因子众多,将因子进行分类,分类表如表 2 所示. 为了排除因子之间的共线性,利用 SPSS 软件对所有因子做相关分析,在 0.01 水平上显著相关的两个因子只取其中一个,尽量为每一类型选出一至两个代表因子,最后筛选结果如表 3 所示. 表 3 中:各个因子均进行归一化处理,即归一化值=(因子-平均值)/方差.

表 1 NDVI 的影响因子基本筛选结果

Tab.1 Prime selection of impact factors of NDVI

层次	考虑的因子
第一层(县)	企业固定资产年末净值、房地产投资、建筑业产值、粮食产量、人均 GDP、公路通车里程、农村投递路线总长度、农业人口、非农业人口、农作物播种面积、农林水事务支出、单位从业人员数、在职职工比去年增长工资、农民人均收入同比上年增长、农民人均收入、衣着支出、居住支出、固定住宅面积、DEM、坡度
第二层(市)	总工业产值、轻工业产值、重工业产值、工业产值比去年增长、地区总产值、地区第一产业产值、地区第二产业产值、社会消费、城镇化水平、新增固定资产、固定资产投资、第一产业投资、第二产业投资、第三产业投资、年末户籍统计总人口、常住人口数、人口密度、地方财政收入、金融机构各项人民币存款余额、农村居民最低生活保障人数、居民最低生活保障人数、期末参加新型农村医疗保险人数、期末参加基本医疗保险的职工人数、期末参加基本养老保险职工人数、据河流的距离、据道路的距离、日照、累积降水量、均温

表 2 影响因子分类表

Tab.2 Classification of impact factor

因子	类型	考虑的因子
经济因子	生产要素和生活条件指标	农业人口、非农业人口、农作物播种面积、农林水事务支出、单位从业人员数、第一产业投资、第二产业投资、第三产业投资、年末户籍统计总人口、常住人口数、人口密度
	社会生产成果指标	总工业产值、轻工业产值、重工业产值、工业产值比去年增长、地区总产值、地区第一产业产值、地区第二产业产值、建筑业产值、粮食产量、人均 GDP
	社会产品实物的流通和消费指标	公路通车里程、农村投递路线总长度、新增固定资产、固定资产投资
	人民生活指标体系	衣着支出、居住支出、固定住宅面积、农村居民最低生活保障人数、居民最低生活保障人数、期末参加新型农村医疗保险人数、期末参加基本医疗保险的职工人数、期末参加基本养老保险职工人数
	国民收入的初次分配和再分配指标	在职职工比去年增长工资、地方财政收入、农民人均收入同比上年增长、农民人均收入、金融机构各项人民币存款余额
	国民收入的最终使用指标	社会消费、企业固定资产年末净值、城镇化水平、房地产投资

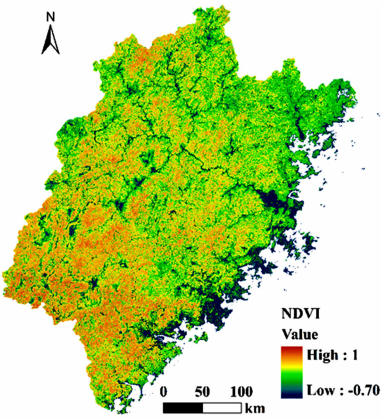


图 1 福建省植被覆盖 NDVI 示意图
Fig.1 NDVI schematic coverage of vegetation in Fujian Province

续表

Continue table

因子	类型	考虑的因子
其他因子	距离因子	据河流的距离、据道路的距离
	气象因子	日照、累积降水量、均温
	地形因子	DEM、坡度

表 3 NDVI 的影响因子最终筛选结果

Tab.3 Final selection of impact factors of NDVI

层次	考虑的因子
第一层(县)	企业固定资产年末净值、房地产投资、建筑业产值、粮食产量、农业人口、非农业人口、农作物播种面积、农林水事务支出、农民人均收入、衣着支出、居住支出、DEM
第二层(市)	总工业产值、轻工业产值、地区总产值、地区第一产业产值、地区第二产业产值、社会消费、城镇化水平、新增固定资产、固定资产投资、年末户籍统计总人口、常住人口数、人口密度、地方财政收入

2 多层次模型的构建

对于植被覆盖变化来说,其驱动因子之间有着组效应,多层次模型正是一种有着组效应的线性分析方法.也就是说,在分析各行政单元植被覆盖变化相应的社会、地形等因子关系时,要考虑区域背景的变化(即个体效应与组效应).文中构建以福建省县级行政区划为第一层次和市级行政区划为第二层次的两层次模型.在该层次模型中,不同的市级行政区划其回归方程的截距和斜率都是不同的,随机的.其中,第二层次的斜率和截距依赖于第一层次,如此构成了一个基于行政区划的两层次模型.

1) 县级层次模型为

$$Y_{i,j} = \beta_{0,j} + \beta_{1,j}X_{i,j} + r_{i,j}; \tag{1}$$

2) 市级层次模型为

$$\beta_{0,j} = r_{0,0} + r_{0,1}W_j + u_{0,j}, \quad \beta_{1,j} = r_{1,0} + r_{1,1}W_j + u_{1,j}. \tag{2}$$

其中:按照福建省的行政区划,县级层次有*i*个单元(*i*=1,⋯,85)嵌套于第市级层次的*j*个单元(*j*=1,⋯,9)中; $\beta_{0,j}, \beta_{1,j}$ 为随机变量; $\beta_{0,j}, \beta_{1,j}$ 被分解为 $r_{0,0}, r_{1,0}$ (常数)与 $u_{0,j}, u_{1,j}$ (随机效应)的和; $r_{0,0}, r_{0,1}, r_{1,0}$ 和 $r_{1,1}$ 是第二层回归方程的系数; $X_{i,j}$ 是县级层次的预测变量,代表第*i*个县在第*j*个市中自变量*X*的取值; W_j 是市级层次回归方程的预测变量; $r_{i,j}$ 是县级层次回归方程的随机效应,代表残差,其含义是第*i*个县在第*j*个市中的测量值*Y*不能被自变量*X*解释的部分.

零模型在于了解植被变异在各个层次所占的比例及建立该层次的必要性,是方差成分分析,是必须要用的模式.它决定是否需要引入市级层次的变量来解释县级层次的回归系数,即 1) 县级层次: $Y_{i,j} = \beta_{0,j} + r_{i,j}, \text{Var}(r_{i,j}) = \sigma^2$ 为组内方差;2) 市级层次: $\beta_{0,j} = r_{0,0} + u_{0,j}, \text{Var}(u_{0,j}) = \tau^2$ 为截距的方差.

评估多层次模型首先是将无条件(unconditioned)的 NULL 模型与有截距的 NULL 模型进行比较.其中:NULL 模型指的是没有引入解释变量的模型.然后,采用逐步线性回归模型确定第一层的解释因子,并且通过容限度来诊断共线性.如果容限度在 0.5 以上,可以排除它们之间的共线性;若各自变量共线性容限度都小于 0.1,则可以认为这一变量与其他自变量存在着超出容许范围的共线性.

3 结果分析

构建多层次模型时,在不同的层次引入不同的自变量,解释不同因子在不同尺度、不同层次的贡献与作用.零模型,不包括任何自变量,只包括了高层次的随机效应.利用方差显著与否决定在该多层次应用研究中层次是否合理,并且是否充分体现了植被覆盖嵌套格局.同时,计算组内相关系数(ICC)确定植被覆盖与变化的变异有多大比例是由区域背景条件的差异造成的.植被覆盖与变化的变异,是由组内相关系数 ICC 确定的.模型一县级层次上包含了一些影响植被覆盖情况的变量.模型二在第一层县级变量的基础上,引入可能影响植被覆盖与植被变化的市级宏观层次因子,即第二层变量.通过容量和*p*值确定该层次影响显著的因子及因子的贡献度,模型的优劣程度,可以通过比较各层模型的*R*²和离差统计量得出.

3.1 NDVI 零模型结果

零模型的随机效应包含层一和层二部分,分别代表植被覆盖的变化中源于县级和市级的随机效应,即分别是组内差异和组间差异. NDVI 零模型运行的结果显示:其偏差为-121. 832 762; χ^2 为 37. 7;组间方差为 0. 007 23($p<0. 000\ 1$),组内方差为 0. 004 13. 县级层次内组内相关系数为 0. 636 4,市级层次为 0. 363 6,两级行政区划内县级层次对植被覆盖的影响率略大于市级层次. 这表明植被覆盖县级尺度内的变异占据主导地位. 据建立的经验判断准则,当组内相关系数大于 0. 059 时,就需要在统计建模处理中考虑如何处理组间效应^[8,12-13]. 因此,对植被覆盖与变化的驱动因子进行由县-市的多层线性模型分析完全是必要的.

3.2 NDVI 多层次模型结果

使用容限度作为判断共线性的标准,当各个自变量的容限度共线性大于 0. 5 时,它们之间的贡献度是基本可以排除的,如果容限度在 0. 1 以下,则该自变量与其他自变量之间超过了多重共线性的容许界线. 完整模型通过逐步引入或删除不同的因子获得最优的多层次模型结果. 表 4 为 NDVI 多层次模型结果,表 5 为 NDVI 多层次模型结果拟合统计量. 表 5 中:模型一为引入第一层解释变量的模型;模型二为引入第二层解释变量的模型.

从表 4 可知:模型二(引入市级解释变量)的解释力度较模型一(引入县级解释变量)稍高,其 R^2 分别为 67. 4%($p=0. 001$)和 49. 93%($p<0. 001$),市级层次略高于县级(表 5). 模型在不同层次选取不同的社会经济因子、自然因子对植被覆盖的影响不同.

表 4 NDVI 多层次模型结果
Tab. 4 Multilevel model results of NDVI

层次	固定效应	系数	标准差	容限度	自由度	p	贡献度
层 1 (县级层次)	截距	0. 533 723	0. 010 135	52. 660	6	$<0. 001$	—
	非农业人口数	-0. 026 837	0. 006 643	-4. 040	6	$<0. 001$	0. 185 3
	农作物播种面积	0. 013 686	0. 004 439	3. 083	6	0. 003	0. 071 0
	DEM	0. 040 106	0. 009 109	4. 403	6	$<0. 001$	0. 243 8
层 2 (县级层次)	总工业产值	-0. 015 880	0. 006 478	-2. 451	53	0. 018	0. 148 4
	社会消费	-0. 015 144	0. 004 388	-3. 451	53	0. 001	0. 114 3
	城镇化水平	-0. 082 190	0. 018 574	-4. 425	55	0. 004	0. 411 8

表 4 的层 1 结果表明:在县级层次上,多个因子中非农业人口数、农作物播种面积、地形因子(DEM)与 NDVI 显著相关. 其中:DEM 和农作物播种面积对 NDVI 的影响是正的,而非农业人口数与 NDVI 呈负相关. 这其中 DEM 对 NDVI 的影响最大,其相贡献度为 0. 243 8;非农业人口

表 5 NDVI 多层次模型拟合统计量
Tab. 5 Multi-level model fit statistics of NDVI

模型	零模型	模型 1	模型 2
离差统计量	-121. 832 762	-141. 574 973	-139. 315 196
χ^2	—	60. 121 80	22. 582 20
自由度	—	6	53
p	—	$<0. 001$	0. 001
R^2	—	0. 499 3	0. 674 5

数次之(0. 185 3),贡献度最小的是农作物播种面积. 由于福建省有着多山地多丘陵的地形地貌,对于福建省来说,DEM 基本上可以在一定程度上反映植被的覆盖情况,海拔越高的地区,是山地的可能性越大,其植被覆盖越好,海拔相对较低的地方,人类活动多聚集于此. 非农业人口数代表一个地区的土地利用开发程度和人类活动的占地水平,非农业人口数越大,其土地被开发利用的程度越大,人类占地面积越大,不利于植被大面积覆盖故而与 NDVI 呈显著负相关的关系. 农作物播种面积反应一个县的农业生产的总规模,农作物是县内主要的经济来源与植被覆盖来源,农作物种植面积越大,NDVI 值越大,农作物播种面积对整个县的植被覆盖有着显著的正向影响.

表 4 的层 2 结果表明:NDVI 的分布差异不仅在县级中观层次上受到非农业人口数、农作物播种面积、DEM 因子的影响,同时也在市级层次上受到总工业产值、社会消费、城镇化水平等因子的显著影响. 其中市级层次上选取的几个因子均呈负相关. 社会消费在一定程度上反映该市的经济状态与经济实力,社会消费越多,植被覆盖越差. 总工业产值是以货币表现的工业企业在报告期内生产的工业产品总量,总工业产值越高,对环境的影响越大,植被的覆盖越差. 城镇化水平指一个地区城镇化所达到的程度,一

个地区达到的城镇化水平越高,其植被覆盖越差.在市级层次上城镇化水平对植被的影响较大,其贡献度达到 0.411 8,其次为总工业产值(0.148 4)和社会消费(0.114 3).

3.3 NDVI 残差

图 2 为 NDVI 的各层次残差.由第一层次的残差图可以看出:NDVI 多层次模型县级层次在福建省的中部区域解释得较好,残差较小,这些区域主要集中在南平南部、漳州东部、泉州南部和福州西部等区域,个别残差较大的区域主要集中在南平北部和莆田、泉州东部.市级层次上的福建省南平、福州、泉州区域解释较好,但是其残差都已经比较小了.

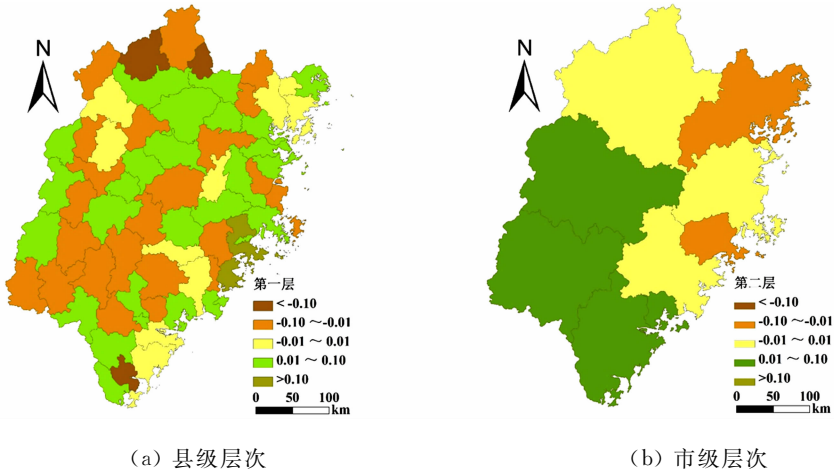


图 2 NDVI 的各层次残差图
Fig. 2 Residuals at all levels of NDVI

4 结论

在中观层次即县级层次上,地形因子(DEM)对植被覆盖的影响较大,并且与植被覆盖呈正相关.这是由于福建处于南方丘陵地区,随着海拔的升高,土地利用类型由人类活动聚集的建筑用地逐渐向人烟稀少的林地转变,植被覆盖也由差变好.模型中,生产要素和生活条件指标(非农业人口数、农作物播种面积)对植被覆盖的影响略小于地形因子.其中,非农业人口数是反映一个地区工业化的重要标志,一个地区非农业人口数越大该地区土地被开发利用的程度越大,越不利于植被大面积覆盖,故而与 NDVI 呈负相关的关系.而农作物播种面积代表了一个地区的工业化程度,农作物播种面积对整个县的植被覆盖有正向影响.

在宏观层次即市级层次上,国民收入的最终使用指标(社会消费与城镇化水平)和社会生产成果指标(总工业产值)对植被覆盖影响较大,二者均与植被覆盖成负相关.其中,社会消费、城镇化水平和总工业产值都从某一侧面代表一个地区的工业发达程度,通常情况下,一个地区工业越发达,植被覆盖越差.

通过建立从县到市的多层次模型,定量分析各级行政区划内社会经济因素、人为影响及自然条件下植被覆盖动态演变格局.从中观和宏观角度分析植被覆盖与演变影响因素,有利于指导各级行政区划优化土地利用格局,为平衡区域发展与生态建设之间的关系,实现各级可持续发展战略提供决策支持.

由于经济数据和其他资料的欠缺,尚未考虑更为微观的村级行政区划层次上社会经济条件与灌溉等因素对植被的影响,以后的研究可建立微观(村)-中观(县)-宏观(市)的三层模型,从而在微观层面指导各级行政区划优化植被覆盖格局.同时,由于观测范围与分辨率的限制,不能很好地提供土地利用系统的全部信息,因此,在多尺度方法的区域实践研究方面需要进一步研究.

参考文献:

[1] HOU Guang-lei,ZHANG Hong-yan,WANG Ye-qiao. Vegetation dynamics and its relationship with climatic factors in the Changbai mountain natural reserve[J]. Journal of Mountain Science,2011,8(6):865-875.
[2] MARTÍNEZ B,GILABERT M A. Vegetation dynamics from NDVI time series analysis using the wavelet transform

[J]. Remote Sensing of Environment,2009,113(9):1823-1842.

[3] NELSON A, OBERTHÜR T, COOK S. Multi-scale correlations between topography and vegetation in a hillside catchment of Honduras[J]. International Journal of Geographical Information Science,2007,21(2):145-174.

[4] DE SOUZA A A, GALVAO L S, DOS SANTOS J R. Relationships between Hyperion-derived vegetation indices, biophysical parameters, and elevation data in a Brazilian savannah environment[J]. Remote Sensing Letters,2010,1(1):55-64.

[5] 陈佑启, VERBURG P H, 徐斌. 中国土地利用变化及其影响的空间建模分析[J]. 地理科学进展,2000,19(2):116-127.

[6] 吕一河, 赵文武, 傅伯杰. 多尺度土地利用与土壤侵蚀[J]. 地理科学进展,2006,25(1):24-33.

[7] 李晓亮, 赵智杰, 黄钱. 塔里木河下游垦区耕地面积变化及驱动力的多层次分析[J]. 安徽农业科学,2008,36(9):3830-3833.

[8] 杨维鸽, 陈海, 杨明楠, 等. 基于多层次模型的农户土地利用决策影响因素分析:以陕西省米脂县高西沟村为例[J]. 自然资源学报,2010,25(4):646-655.

[9] PAN W K Y, BILSBORROW R E. The use of a multilevel statistical model to analyze factors influencing land use: A study of the Ecuadorian Amazon[J]. Global Planetary Change,2005,47(2/3/4):32-52.

[10] OVERMARS K P, VERBURG PH. Multilevel modelling of landuse from field to village level in the Philippines [J]. Agricultural Systems,2006,89(2/3):435-456,22.

[11] 中国统计局. 福建统计年鉴(2010)[M]. 北京:中国统计出版社,2011:569-605.

[12] 刘德智, 朱建宝. 介绍一种教育研究统计软件 HLM-多层线形模型[J]. 计算机在化学中的应用,2004,31(8):61-62.

[13] 周皓, 巫锡炜. 流动儿童的教育绩效及其影响因素:多层线性模型分析[J]. 人口研究,2008,32(4):22-32.

**Vegetation Multi-Level Modeling Research in Fujian Province
Based on Administrative Region**

LI Wei-jiao, QIU Bing-wen, ZENG Can-ying

(Spatial Information Research Center of Fujian, Fuzhou University, Fuzhou 350000, China)

Abstract: Based on resource satellite data, use 85 country-level administrative regions of Fujian Province as the first layer, administrative districts of 9 city as the second to construction country-city layer vegetation dynamics influence model. Analyzing the driving mechanism of the vegetation dynamic evolution in Fujian Province by the medium and macroscopic, and the social economic factors and policies impacting on the vegetation coverage in different administrative units is also discussed. Research result shows that on the municipal level, national income eventually use index and vegetation coverage have negative correlation. At country level, terrain factors has a bigger impact (positive) on vegetation coverage, however, the factors of production and living conditions index has a negative impact on vegetation coverage.

Keywords: multilevel model; administrative division; vegetation coverage; driving factors; Fujian Province

(责任编辑: 黄仲一 英文审校: 吴逢铁)