

福州市植被覆盖度时空特征及与地形因子的关系

田地, 刘政, 胡亚林

(福建农林大学 林学院, 福建 福州 350002)

摘要: 利用空间分辨率为 30 m 的 Landsat TM/OLI 遥感影像数据, 采用像元二分模型对福州市 1995-2015 年 6 期植被覆盖度进行反演, 并利用线性回归分析法和差值法分析植被覆盖度时空特征, 同时分析了地形因子对研究区植被覆盖度时空特征的影响。结果表明: ①1995-2015 年, 福州市植被覆盖度呈增加趋势, 年际植被覆盖度均值由 1995 年的 57.93% 增加至 2015 年的 66.44%, 年均增加 0.43%; 各等级覆盖度植被变化趋势存在差异, 其中极高植被覆盖面积不断增加, 2015 年面积占比达 54.18%; 整体而言, 福州市植被以改善为主, 面积占比达 55.73%, 但仍有约 16.98% 区域植被覆盖度呈退化趋势, 有待进一步恢复和治理。②高程、坡度对福州市植被覆盖度空间格局和变化趋势影响较大, 随着高程的升高, 植被覆盖度呈增加趋势, 随着坡度增大, 植被覆盖度呈先增加后微弱衰减趋势; 坡向对植被覆盖度影响较小, 除平坡植被覆盖度略低外, 其余各坡向植被覆盖度差异不显著。③1995-2015 年, 高程 > 300 m 和坡度 > 5° 区域植被覆盖度增加趋势明显, 而低高程和平坡地区植被覆盖度变化较小, 各坡向植被覆盖变化趋势相近。地形因子对福州市植被覆盖空间格局和动态具有较大影响。图 5 表 4 参 21

关键词: 森林生态学; 改进像元二分模型; 植被覆盖度; 时空特征; 地形因子; 福州市

中图分类号: S718.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2019)06-1158-08

Spatial-temporal characteristics of vegetation coverage and the relationship to topographic factors in Fuzhou City

TIAN Di, LIU Zheng, HU Yalin

(Forestry College, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, Fujian, China)

Abstract: To invert the fractional vegetation coverage (FVC) of Fuzhou City, and to analyze the influences of topographic factors on the temporal and spatial characteristics of fractional vegetation coverage, we selected six periods of Landsat TM/OLI remote sensing image data with a 30 m spatial resolution from 1995 to 2015. The improved pixel binary model and deviation calculation method were used to analyse temporal and spatial characteristics of FVC. The results indicated that (1) The FVC values of Fuzhou City increased from 57.93% (1995) to 66.44% (2015) for an average annual increase of 0.43%. There were differences in the trends of FVC change among the different degree of FVC, and the area of extremely high FVC had a gradually increasing trend and its area accounted for 54.18% in 2015. Overall, the improved FVC area accounted for 55.73% of Fuzhou City, but the degraded FVC area was still approximately 16.98% and vegetation restoration was needed. (2) Elevation and slope gradient had a strong influence on the temporal and spatial pattern of FVC in Fuzhou City. FVC increased with increasing elevation, and firstly increased but then decreased slightly with increasing slope gradient. There were no differences in FVC among slope directions except a slightly lower FVC at the flat slope. (3) From 1995 to 2015, the FVC had increasing trends at elevation > 300 m and slope > 5°, whereas the

收稿日期: 2018-12-20; 修回日期: 2019-05-20

基金项目: 福建省科技计划对外合作项目(201510001); 福建省高等学校新世纪优秀人才支持计划项目(KLa16056A); 中国科学院南京土壤研究所土壤与农业可持续发展国家重点实验室开放基金课题(Y20160022)

作者简介: 田地, 从事“3S”技术在水土保持上的应用研究。E-mail: 907900898@qq.com。通信作者: 胡亚林, 研究员, 博士生导师, 博士, 从事森林生态和水土保持研究。E-mail: huyl@iae.ac.cn

FVC of low elevation and flat slope had litter changes, and the changes of FVC at each slope directions were same. Thus, the topographic factors had a strong impact on the temporal and spatial patterns of FVC in Fuzhou City. [Ch, 5 fig. 4 tab. 21 ref.]

Key words: forest ecology; improved pixel binary model; fractional vegetation coverage; temporal and spatial characteristics; topographic factor; Fuzhou City

植被是陆地生态系统的主体,受地形、气候、土壤等多种环境因子的制约^[1-3],同时,植被也是连接大气、土壤和水分的“纽带”,具有减少雨滴激溅,减缓地表径流,提高土壤保土固土功能,是控制土壤侵蚀与水土流失的重要因子。植被覆盖度是指单位面积内植被地上部分(包括叶、茎、枝)在地面的垂直投影面积百分比^[4-5],是地表植被生长趋势的重要参量,也是区域生态退化监测最重要、最敏感的指标。获取地表植被覆盖度及其变化信息,对揭示地表植被时空变化规律,探讨植被覆盖变化的驱动因子,评价区域生态环境具有重要意义。植被变化与地理环境和人类活动密切相关,其中地形因子对植被生长具有重要影响。研究表明:岷江上游流域低植被覆盖度区域受坡度影响显著,而极高植被覆盖度区域受高程影响显著^[6];汶川地震灾区,植被覆盖度受坡度和高程影响较大,受坡向影响较弱^[7];赤水河流域,坡度和坡向对植被覆盖的影响都明显高于高程^[3];王毅等^[8]研究发现:贵州省普定县喀斯特地貌区植被覆盖度的分布与地形因子的空间关系具有不确定性,地形因素主要通过影响人类活动间接影响植被覆盖度。可见,地形因子对植被覆盖度变化的影响具有复杂性,不同地区影响植被覆盖度的关键地形因子不同。福建省福州市为东南沿海重要的经济中心,随着福州市经济的快速发展,其生态环境也经历了一个漫长而曲折的过程,城市生态环境及植被覆盖情况亟待提高。近年来,关于福州市植被覆盖度时空特征的研究颇多。例如,马雪莹^[9]研究发现:福州市 1994-2015 年植被呈恢复趋势,但各辖区植被恢复速度差异较大。然而,李晶^[10]表明:福州市 1989-2014 年植被呈退化趋势,且地表温度是植被覆盖度的重要影响因素。目前,针对福州市植被覆盖度时空变化特征与高程、坡度、坡向等地形因子关系的研究未见报道。因此,本研究以福州市的 Landsat TM/OLI 遥感影像为基础,采用改进的像元二分模型,探究福州市植被覆盖度时空变化特征,并分析植被覆盖度与地形因子的定量关系,以期福州市城市植被恢复和生态环境建设提供依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

福州市为福建省省会,位于福建省东部,闽江下游及沿海地区。福州地形属典型的河口盆地,福州市区位于盆地中央,四周被群山环绕,地势自西向东倾斜。福州地区跨中亚热带和南亚热带,气候类型为亚热带海洋性季风气候,年均气温为 19.6 °C,年均降水量为 1 343.7 mm。本研究区为福州市 5 区,涵盖鼓楼区、台江区、仓山区、晋安区和马尾区,不包含长乐区,范围 25°56'~26°25'N, 119°10'~119°40'E,区域面积 1 043 km²。

1.2 数据来源及处理

1.2.1 植被覆盖度遥感数据 本研究所采用的遥感数据为 Landsat 5 TM 以及 Landsat 8 OLI 影像,原始影像数据源自地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn>),影像轨道号均为 119/042,空间分辨率为 30 m。遥感影像的选择有 2 个方面要求:首先,云含量多少极易影响提取结果的精确度,应选取云含量较低的遥感影像反演植被覆盖度;其次,为减弱因植被的生长发育所引起的误差,精确地提取植被覆盖度,遥感影像需选取植被发育情况相近的时间段。因此,本研究所选取的福州市 1995-2015 年遥感影像均为秋季(9-11 月)且云量低于 5%的遥感影像。遥感数据投影方式均转换为基于 WGS-84 坐标系的通用横轴墨卡托投影,并进行几何校正、辐射定标和大气校正等预处理;然后,采用相同投影的矢量边界数据裁剪得到研究区域的遥感影像数据。遥感数据源信息如表 1。

1.2.2 地形数据 地形因子包括高程、坡度和坡向,30 m 地面分辨率 ASTER GDEM V2 高程数据源自地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn>),坡度及坡向数据主要基于数字高程模型(DEM)数据通过 Arc GIS 10.2 软件 3D Analyst 模块 Aspect 及 Slope 工具生成。

1.3 研究方法

1.3.1 基于像元二分模型的植被覆盖度计算 福州市植被覆盖度采用改进的像元二分模型来估算,其公式为^[11-13]:

$$F_c = (I_{NDV} - I_{NDV_{soil}}) / (I_{NDV_{veg}} - I_{NDV_{soil}}) \quad (1)$$

式(1)中: F_c 为植被覆盖度; I_{NDV} 为任意像元的归一化植被指数; $I_{NDV_{soil}}$ 为纯裸地的植被指数; $I_{NDV_{veg}}$ 为纯植被覆盖的植被指数。归一化植被指数 I_{NDV} 通过式(2)计算^[14-16]:

$$I_{NDV} = (\rho_{NIR} - \rho_R) / (\rho_{NIR} + \rho_R) \quad (2)$$

式(2)中: ρ_{NIR} 为近红外波段的反射率; ρ_R 为红光波段的反射率。

根据影像的 I_{NDV} 值序列,采用 5% 和 95% 置信度截取 I_{NDV} 的上下阈值,在置信区间内取最大值和最小值分别代替 $I_{NDV_{veg}}$ 和 $I_{NDV_{soil}}$ 。利用 ENVI 5.3 软件估算福州市 6 期植被覆盖度,并依据 SL190-2008《土壤侵蚀分类分级标准》^[17],利用 Arc GIS 10.2 软件栅格重分类工具将研究区植被覆盖度分为 5 个等级: I 级为裸地, II 级为低覆盖度, III 级为中覆盖度, IV 级为高覆盖度, V 级为极高覆盖度。依据研究区植被覆盖度总值与像元总数进行计算植被覆盖度均值:

$$\bar{F}_c = \frac{\sum_{m=1}^n F_{cm}}{n} \quad (3)$$

式(3)中: n 为像元总数; F_{cm} 为第 m 个像元的植被覆盖度; \bar{F}_c 为植被覆盖度均值。

1.3.2 基于差值法的植被覆盖度动态特征及植被恢复等级提取 通过对 2 期植被覆盖度栅格图像数据进行逐像元做差值运算,并将结果进行标准化分级,来衡量植被动态变化的趋势、大小及空间特征。其计算公式^[18]:

$$\Delta F_c = F_{ca} - F_{cb} \quad (4)$$

式(4)中: ΔF_c 为 2 期栅格图像数据的差值; F_{ca} 和 F_{cb} 为第 a 期和第 b 期栅格图像数据。基于 1995 和 2015 年的植被覆盖度栅格影像做差值运算,分析植被衰退恢复演变特征,并将植被覆盖度分成 7 个衰退恢复等级:严重退化(-100%, -30%]、中度退化(-30%, -15%]、轻微退化(-15%, -5%]、稳定(-5%, 5%]、轻微改善(5%, 15%]、中度改善(15%, 30%]、极度改善(30%, 100%]。

1.3.3 地形因子与植被覆盖度关系 利用 Arc GIS 10.2 软件将 6 期植被覆盖度图转为点数据,将地形因子栅格数据提取至植被覆盖度点数据,获得各高程梯度、坡度梯度及坡向植被覆盖度均值,最后利用 Excel 2016 软件获得植被覆盖度受地形因子影响的动态变化特征曲线。

2 结果与分析

2.1 福州市植被覆盖度时空变化特征

1995-2015 年,福州市植被覆盖度均值由 57.93% 增加至 66.44%。1995-2002 和 2013-2015 年,福州市植被覆盖度增速较快,平均每年提高 0.88% 和 1.13%。然而,2010-2013 年福州市植被覆盖度呈下降趋势,降低了 -0.19%。福州市植被以极高覆盖度植被为主,面积 565 km²,约占整个福州市面积的 54.18%,其余各等级覆盖度植被面积差异不大(表 2)。裸地(I 级)和低覆盖度(II 级)植被集中分布在闽江、乌龙江沿岸以及鼓楼区、台江区等人口聚居区,高覆盖度(IV 级)和极高覆盖度(V 级)植被则主要分布在北部和东部低山丘陵区域。

1995-2015 年,福州市各时期不同等级植被覆盖度面积变化规律存在差异性(图 1,表 3)。I 级覆盖度植被

表 1 1995-2016 年福州市植被覆盖度反演遥感数据来源

Table 1 Data sources of remote sensing for inversion of fractional vegetation coverage in Fuzhou City from 1995 to 2016

影像	年份	传感器	波段	日期(月-日)
	1995			11-23
Landsat 5	2002	TM	1~7	11-10
	2008			11-10
	2010			10-31
Landsat 8	2013	OLI	1~10	10-23
	2016			09-27

表 2 1995-2015 年福州市植被覆盖度的等级分类及各等级覆盖度植被的面积

Table 2 Classification of fractional vegetation coverage in Fuzhou City from 1995 to 2015 and area of fractional vegetation coverage

等级	F_c	占比/%	面积/km ²
I 级(裸地)	0	10.30	107
II 级(低覆盖度)	(0, 25%]	11.78	123
III 级(中覆盖度)	(25%, 50%]	10.62	111
IV 级(高覆盖度)	(50%, 75%]	13.11	137
V 级(极高覆盖度)	(75%, 100%]	54.18	565

面积呈波浪式增加，但 1995–2002 和 2008–2010 年表现为衰减特征。Ⅱ级和Ⅲ级覆盖度植被面积呈衰减特征，但 2008–2013 年出现增加趋势。Ⅳ级覆盖度植被面积呈持续衰减趋势，衰减幅度最大。虽然，2008–2013 年Ⅴ级覆盖度植被面积表现出小幅度衰减，但 1995–2008 和 2013–2015 年均为大幅增加。整体而言，1995 和 2015 年比较发现，福州市Ⅰ级和Ⅴ级覆盖度植被面积增加，分别增加 13.33 和 194.86 km²，而Ⅱ级、Ⅲ级和Ⅳ级覆盖度植被面积分别减少 12.38、59.09、136.71 km²。

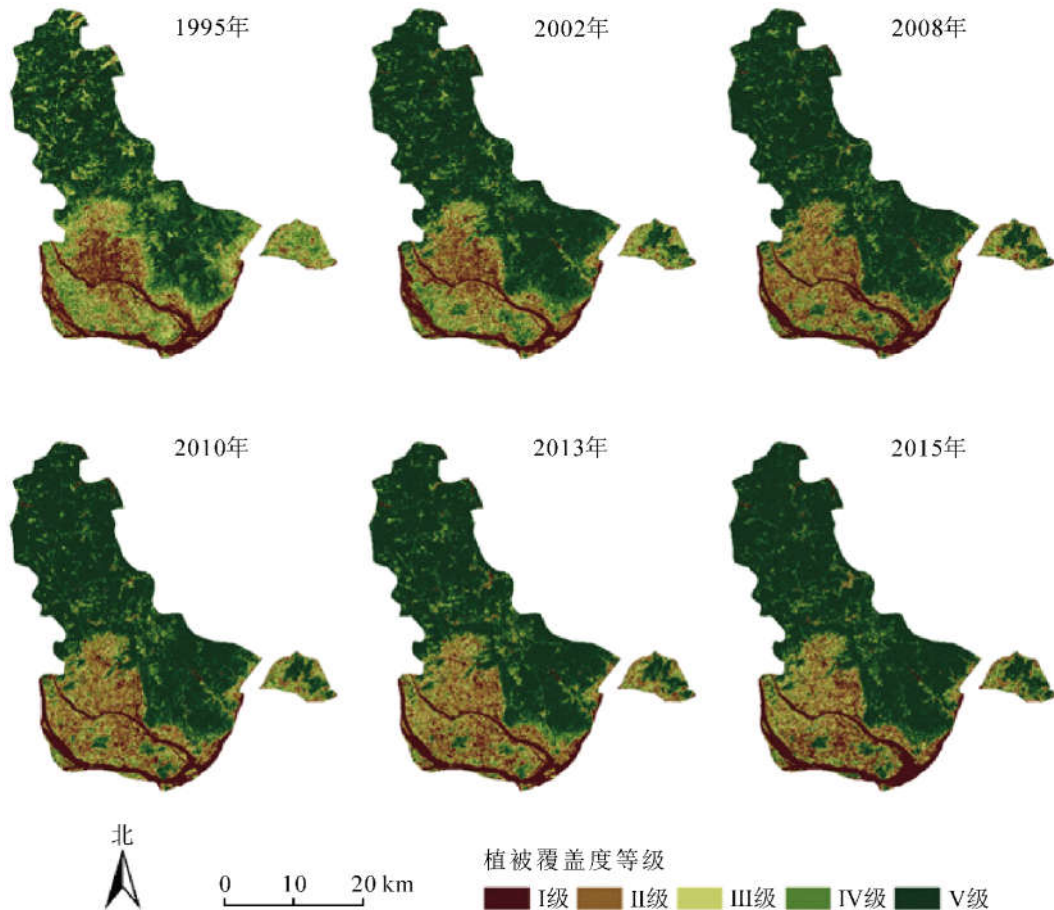


图 1 1995–2015 年福州市各时期不同等级植被覆盖度空间分布示意图

Figure 1 Characteristics of fractional vegetation coverage at different levels in the period from 1995 to 2015 in Fuzhou City

表 3 1995–2015 年福州市各时期不同等级植被覆盖度面积的年变化量

Table 3 Annual change of different fractional vegetation coverage during the different period from 1995 to 2015 in Fuzhou City

F _c 分级	1995–2002 年		2002–2008 年		2008–2010 年		2010–2013 年		2013–2015 年	
	变化量/km ²	变化率/%	变化量/km ²	变化率/%	变化量/km ²	变化率/%	变化量/km ²	变化率/%	变化量/km ²	变化率/%
I	-1.40	-1.34	2.88	3.03	-4.47	-3.98	2.60	2.51	3.50	3.15
II	-0.85	-0.69	0.70	0.59	5.44	4.48	0.14	0.11	-10.98	-8.27
III	-7.05	-4.53	-1.90	-1.78	4.44	4.68	1.16	1.12	-5.37	-5.01
IV	-10.21	-4.44	-6.49	-4.09	-4.63	-3.87	-0.82	-0.74	-7.30	-6.76
V	19.51	4.54	4.81	0.85	-0.79	-0.13	-3.08	-0.52	20.15	3.45

说明：负值表示不同等级覆盖度植被变化呈退化趋势

2.2 福州市植被衰退与恢复特征

将 1995 与 2015 年植被覆盖度栅格数据利用差值法作差值运算，获得福州市区植被覆盖度衰退与恢复的面积信息，并根据植被覆盖度变化量，将植被覆盖度变化分为严重、中度和轻微退化、稳定、轻微、中度和极度改善 7 个等级(表 4)。

福州市植被主要以改善为主，轻微改善、中度改善、极度改善面积占比分别为 22.18%、18.93%和 14.63%，整个研究区域改善区域面积为 581 km²，约占福州市面积的 55.73%(图 2，表 4)。1995–2015

年,福州市有些区域的植被覆盖度呈衰退趋势,面积为177 km²,约占研究区总面积的16.98%。从空间分布而言,福州市植被覆盖度改善区域主要位于北部和中部低山丘陵区域,而退化区域多分布于南部的闽江及乌龙江沿岸区域。

2.3 地形因子与植被覆盖度时空动态的关系

本研究依据研究区高程,以100 m为间隔将高程划分为7个梯度。依据GB/T 15772-2008《水土保持综合治理规划通则》^[19]和水土流失调查中采用的8°作为缓坡和斜坡界线的方法,将坡度分为平坡(0°~5°)、缓坡(5°~8°)、斜坡(8°~15°)、陡坡(15°~25°)、急坡(25°~35°)和险坡(>35°)6个等级^[20]。考虑到坡向对植被长势的影响,将研究区划分为平地(0°),阴坡(0°~67.5°, 337.5°~360.0°),半阴坡(67.5°~112.5°, 292.5°~337.5°),半阳坡(112.5°~157.5°, 247.5°~292.5°),阳坡(157.5°~247.5°)5种坡向类型^[20]。福州市地形因子空间分布如图3。

不同地形条件下植被覆盖度存在显著差异。随着高程值增加,植被覆盖度呈逐渐增加趋势(图4A);随着坡度增加,植被覆盖度均值呈逐步增加后微弱衰减趋势(图4B);坡向对植被覆盖度影响较小,除平地植被覆盖度仅为9.12%,其余坡向内植被覆盖度基本一致(图4C)。

1995-2015年,不同地形条件下植被覆盖度时间变化规律亦存在差异。在第1高程(<300 m)地区,地表植被覆盖度由39.14%提高至45.88%,增长幅度为6.74%;第2~6高程(300~800 m)地区,地表植被覆盖度分别提高11.47%、11.20%、9.83%、10.15%和9.12%;第7高程(>800 m)地区地表植被覆盖度增加最快,增幅达13.71%(图5A)。从1995到2015年,平坡区域,植被覆盖度仅增加2.09%,而缓坡、斜坡、陡坡、急坡和险坡地表植被覆盖度分别提高11.17%、12.30%、12.97%、13.93%和14.29%(图5B)。1995-2015年,阴坡地表植被覆盖度增加幅度最小(7.61%),半阳坡地表植被覆盖度增加幅度最大(9.52%),阳坡和半阴坡地表植被覆盖度增加幅度分别为8.91%和8.97%(图5C)。

3 讨论与结论

福州市植被覆盖度整体情况较好,植被以高和极高覆盖度植被(即 $F_c > 50%$)为主,占研究区总面积的66.85%。针对不同等级覆盖度植被的面积动态变化分析发现:1995-2015年,极高覆盖度植被面积增幅最大,裸地面积变化微弱,低覆盖度植被衰减幅度较小,而中覆盖度和高覆盖度植被面积衰减幅度较大。从研究区植被空间分布来看,高和极高植被覆盖度植被主要分布在研究区东部和北部,中、低植被覆盖度植被则主要分布在西部和南部,尤其是闽江及乌龙江沿岸地区。1995-2015年福州市植被覆盖度呈增加趋势,植被覆盖度均值由57.93%提高至66.44%。该研究结果与马雪莹^[9]的研究一致,近20 a福州市区植被覆盖度呈增加趋势。

1995-2015年,福州市植被整体以改善为主,占区域面积的73.76%,主要分布于研究区北部和中部低山丘陵。然而,福州市仍有约16.98%区域的植被表现为退化特征,且主要分布于闽江和乌龙江之间

表4 1995-2015年福州市植被衰退与恢复面积及其占比

Table 4 Vegetation decline and recovery area and its proportion in Fuzhou City from 1995 to 2015

退化与改善等级分类	覆盖度/%	面积/km ²	占比/%
严重退化	(-100, -30]	61	5.86
中度退化	(-30, -15]	50	4.78
轻微退化	(-15, -5]	66	6.34
稳定	(-5, 5]	285	27.29
轻微改善	(5, 15]	231	22.18
中度改善	(15, 30]	197	18.93
极度改善	(30, 100]	152	14.63

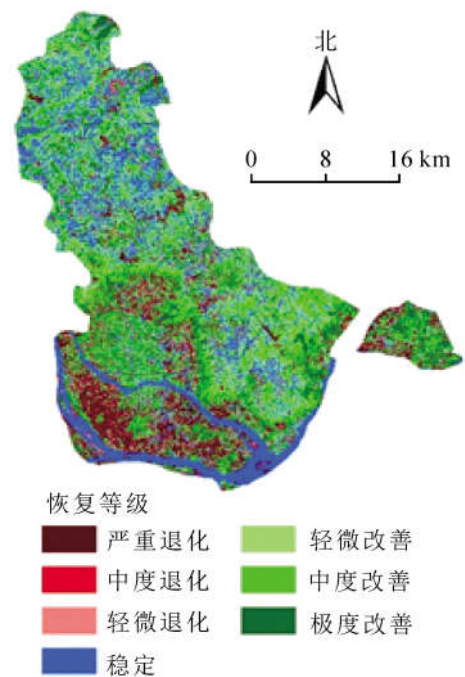


图2 1995-2015年福州市植被覆盖度退化与改善空间分布示意图

Figure 2 Change of fractional vegetation coverage from 1995 to 2015 in Fuzhou City

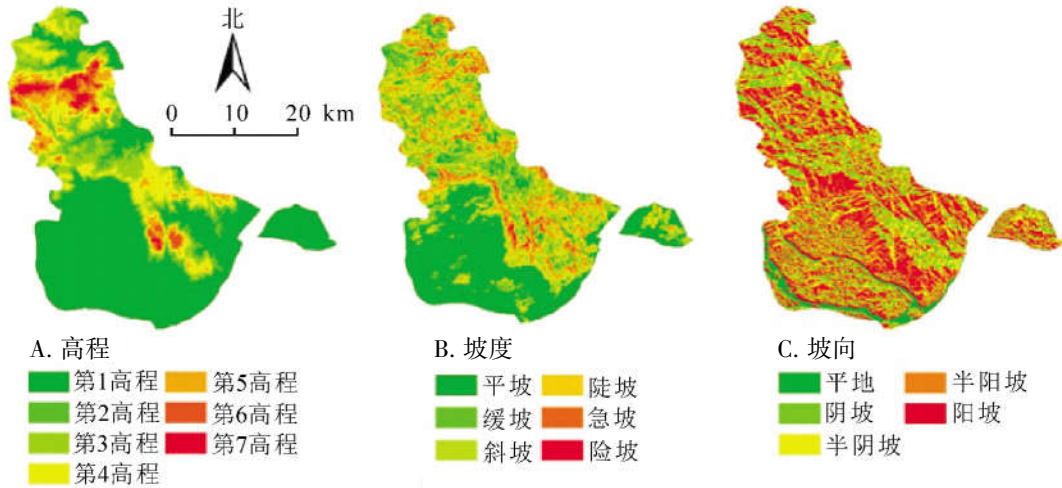


图 3 福州市高程(A)、坡度(B)、坡向(C)地形特征示意图

Figure 3 Characteristics of elevations (A), and slope grades (B) and slope directions (C) in Fuzhou City

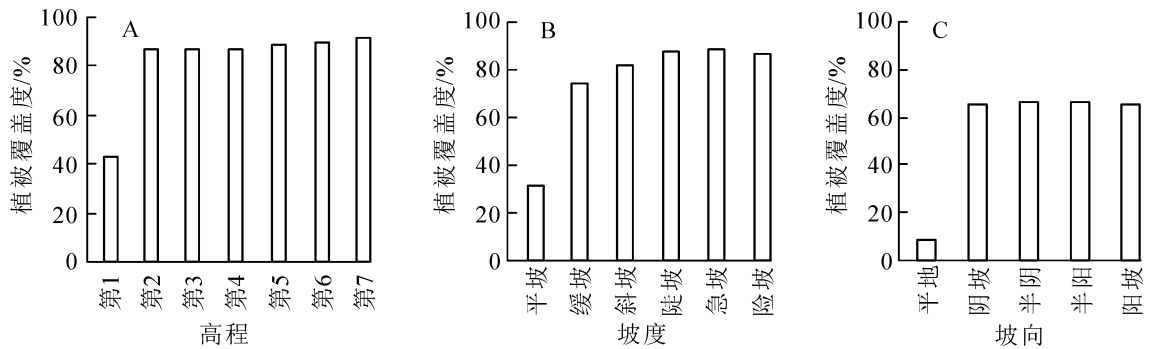


图 4 不同地形梯度植被覆盖度分布特征

Figure 4 Different topographical distribution of fractional vegetation coverage gradient

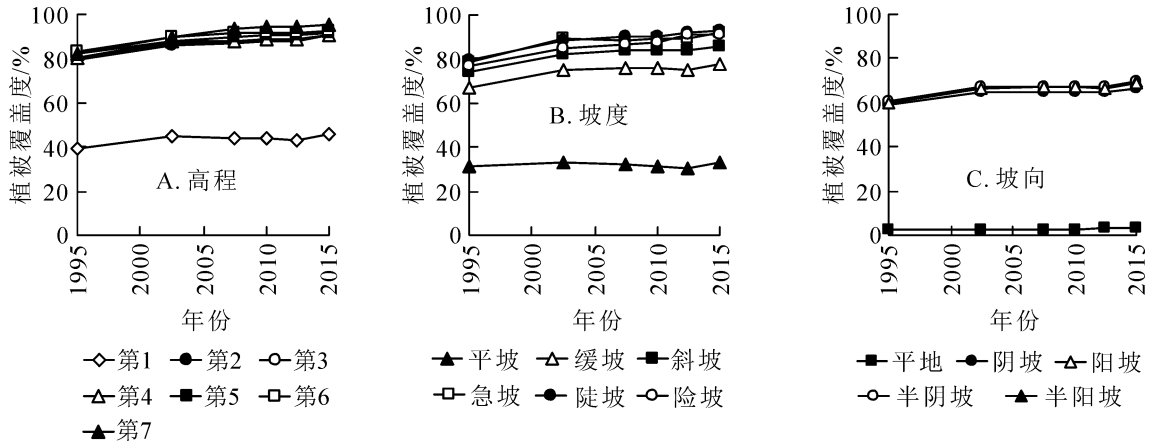


图 5 1995-2015 年福州市辖区不同高程(A)、坡度(B)和坡向(C)植被覆盖度均值及变化量

Figure 5 Mean and variation of fractional vegetation coverage at different elevations (A), slope grades (B) and slope directions (C) from 1995 to 2015 in Fuzhou City

的仓山区。由于城镇化快速发展，大量城市建设和居住用地扩展能够导致城市植被覆盖度明显降低^[9-10]。

地形是影响植被覆盖的一个重要自然因子，不同地形条件下水热状况不同，进而影响植被的空间分布格局^[3, 6]。然而，不同地区植被覆盖度空间分布格局的关键地形驱动因子不同^[7-8, 21]。本研究发现：福州市不同地形条件下植被覆盖度均值和动态特征均存在差异。与较高的高程(>300 m)和陡坡度(>5°)相比，第 1 高程和平坡区域植被覆盖度明显较低，原因主要是福州城市和居住建设主要分布于沿江、沿海等高程低和坡度平缓的区域。此外，随着坡度增加，植被覆盖度均值呈先增加后下降趋势，险坡(>35°)区域植被覆盖度小于急坡，可能是由于险坡地区水土缺乏，在一定程度上限制植被生长。同时，近 20

a 间, 高程 > 300 m 和坡度 > 5° 的区域, 植被覆盖度的变化明显大于低高程和平坡地区。

综上所述: 1995–2015 年福州市植被覆盖整体呈增加趋势, 植被以改善趋势为主, 但城市化扩展和建设导致部分地区植被覆盖度下降。此外, 地形因子是影响福州市植被覆盖度的重要自然因子, 不同高程、坡度和坡向等地形条件下植被覆盖存在差异, 且影响植被覆盖的时空动态变化。

4 参考文献

- [1] 杨婷婷, 韦丹, 马祥庆, 等. 基于随机森林模型长汀县植被覆盖度的影响因子[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2017, **46**(6): 641 – 647.
YANG Tingting, WEI Dan, MA Xiangqing, *et al.* Factors affecting vegetation coverage in Changting County based on random forest algorithm [J]. *J Fujian Agric For Univ Nat Sci Ed*, 2017, **46**(6): 641 – 647.
- [2] 王文辉, 马祥庆, 田超, 等. 福建长汀植被覆盖度变化的主要驱动影响因子及影响力分析[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2017, **46**(3): 277 – 283.
WANG Wenhui, MA Xiangqing, TIAN Chao, *et al.* Driving factors on vegetation coverage change and influence analysis in Changting, Fujian [J]. *J Fujian Agric For Univ Nat Sci Ed*, 2017, **46**(3): 277 – 283.
- [3] 蔡宏, 何政伟, 安艳玲, 等. 基于 RS 和 GIS 的赤水河流域植被覆盖度与各地形因子的相关强度研究[J]. 地球与环境, 2014, **42**(4): 518 – 524.
CAI Hong, HE Zhengwei, AN Yanling, *et al.* Correlation intensity of vegetation coverage and topographic factors in Chishui watershed based on RS and GIS [J]. *Earth Environ*, 2014, **42**(4): 518 – 524.
- [4] 甘春英, 王兮之, 李保生, 等. 连江流域近 18 年来植被覆盖度变化分析[J]. 地理科学, 2011, **31**(8): 1019 – 1024.
GAN Chunying, WANG Xizhi, LI Baosheng, *et al.* Changes of vegetation coverage during recent 18 years in Lianjiang River watershed [J]. *Sci Geogr Sin*, 2011, **31**(8): 1019 – 1024.
- [5] GITELSON A A, KAUFMAN Y J, STARK R, *et al.* Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction [J]. *Remote Sensing Environ*, 2002, **80**(1): 76 – 87.
- [6] 张诗羽, 张毅, 王昌全, 等. 岷江上游流域植被覆盖度及其与地形因子的相关性[J]. 水土保持通报, 2018, **38**(1): 69 – 75.
ZHANG Shiyu, ZHANG Yi, WANG Changquan, *et al.* Vegetation coverage and its correlation with topographic factors in upstream watershed of Minjiang River [J]. *Bull Soil Water Conserv*, 2018, **38**(1): 69 – 75.
- [7] 熊俊楠, 张昊, 彭超, 等. 汶川地震灾区植被覆盖度变化与地形因子的关系[J]. 水土保持通报, 2018, **38**(3): 24 – 31.
XIONG Junnan, ZHANG Hao, PENG Chao, *et al.* Relationship between fractional vegetation coverage change and topographic factors in Wenchuan earthquake area [J]. *Bull Soil Water Conserv*, 2018, **38**(3): 24 – 31.
- [8] 王毅, 郭跃. 喀斯特地貌区植被覆盖与地形因子的空间关系分析——以贵州普定县为例[J]. 长江流域资源与环境, 2018, **27**(1): 157 – 167.
WANG Yi, GUO Yue. Analysis of spatial correlation between vegetation coverage and terrain factors in Karst Landform: taking Puding area in Guizhou for example [J]. *Resour Environ Yangtze Basin*, 2018, **27**(1): 157 – 167.
- [9] 马雪莹. 近二十年福州城市景观及热环境变化研究[D]. 福州: 福建师范大学, 2017.
MA Xueying. *Urban Landscape and Thermal Environment Change of Fuzhou in Recent Twenty Years* [D]. Fuzhou: Fujian Normal University, 2017.
- [10] 李晶. 基于遥感的植被覆盖变化及其对城市热环境影响研究[D]. 福州: 福州大学, 2015.
LI Jing. *Remote Sensing of Vegetation Dynamics and its Impact on Urban Thermal Environment* [D]. Fuzhou: Fuzhou University, 2015.
- [11] 张超, 余树全, 李土生. 基于多时相 Landsat 影像的庆元县植被覆盖变化研究[J]. 浙江农林大学学报, 2011, **28**(1): 72 – 79.
ZHANG Chao, YU Shuquan, LI Tusheng. Image analysis of vegetation coverage and changes (1994–2007) in Qingyuan County using multi-temporal Landsat remote sensing [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2011, **28**(1): 72 – 79.
- [12] QI J, MARSETT R C, MORAN M S, *et al.* Spatial and temporal dynamics of vegetation in the San Pedro River basin area [J]. *Agric For Meteorol*, 2000, **105**(1/3): 55 – 68.

- [13] LEPRIEUR C, KERR Y H, MASTORCHIO S, *et al.* Monitoring fractional vegetation cover across semi-arid regions: comparison of remote observations from various scales [J]. *Int J Remote Sensing*, 2000, **21**(2): 281 – 300.
- [14] 郭建坤, 黄国满. 1998–2003 年内蒙古地区土地覆被动态变化分析[J]. 资源科学, 2005, **27**(6): 84 – 89.
GUO Jiankun, HUANG Guoman. Land cover dynamics in Inner Mongolia between 1998 and 2003 [J]. *Resour Sci*, 2005, **27**(6): 84 – 89.
- [15] MYNENI R B, KEELING C D, TUCKER C J, *et al.* Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991[J]. *Nature*, 1997, **386**(6626): 698 – 702.
- [16] TUCKER P G. Numerical precision and dissipation errors in rotating flows [J]. *Int J Numerical Methods Heat Fluid Flow*, 1997, **7**(7): 647 – 658.
- [17] 中华人民共和国水利部. 土壤侵蚀分类分级标准: SL 190–2008[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
- [18] SINGH A. Digital change detection techniques using remotely sensed data [J]. *Int J Remote Sensing*, 1988, **10**(6): 989 – 1003.
- [19] 中华人民共和国水利部. 水土保持综合治理规划通则: GB/T 15772–2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [20] 汤巧英, 戚德辉, 宋立旺, 等. 基于 GIS 和 RS 的延河流域植被覆盖度与地形因子的相关性研究[J]. 水土保持研究, 2017, **24**(4): 198 – 203.
TANG Qiaoying, QI Dehui, SONG Liwang, *et al.* Correlation of vegetation coverage and topographic factors in Yanhe River Basin based on GIS and RS [J]. *Res Soil Water Conserv*, 2017, **24**(4): 198 – 203.
- [21] 张珍珍, 熊康宁, 黄登红. 近 30 年来梵净山植被覆盖时空变化及影响因素分析[J]. 水土保持研究, 2018, **25**(2): 183 – 189.
ZHANG Zhenzhen, XIONG Kangning, HUANG Denghong, *et al.* Analysis on the spatiotemporal change and influence factors of vegetation cover in Fanjingshan Mountain over the last 30 years [J]. *Res Soil Water Conserv*, 2018, **25**(2): 183 – 189.