

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

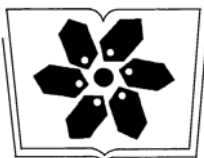
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第11期 Vol.33 No.11 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 11 期 2013 年 6 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 新一代 Landsat 系列卫星: Landsat 8 遥感影像新增特征及其生态环境意义 徐涵秋, 唐 菲 (3249)
- 两种自然保护区设计方法——数学建模和计算机模拟 王宜成 (3258)
- 家域研究进展 张晋东, Vanessa HULL, 欧阳志云 (3269)
- 浅水湖泊生态系统稳态转换的阈值判定方法 李玉照, 刘 永, 赵 磊, 等 (3280)
- 辐射传输模型多尺度反演植被理化参数研究进展 肖艳芳, 周德民, 赵文吉 (3291)
- 微囊藻毒素对陆生植物的污染途径及累积研究进展 靳红梅, 常志州 (3298)

个体与基础生态

- 年龄、性别及季节因素对千岛湖岛屿社鼠最大活动距离的影响 叶 彬, 沈良良, 鲍毅新, 等 (3311)
- 寄主大小及寄生顺序对蝇蛹佣小蜂寄生策略的影响 詹月平, 周 敏, 贺 张, 等 (3318)
- 两种苹果砧木根系水力结构及其 PV 曲线水分参数对干旱胁迫的响应
..... 张林森, 张海亭, 胡景江, 等 (3324)
- 三种根系分泌脂肪酸对花生生长和土壤酶活性的影响 刘 苹, 赵海军, 仲子文, 等 (3332)

种群、群落和生态系统

- 象山港春季网采浮游植物的分布特征及其影响因素 江志兵, 朱旭宇, 高 瑜, 等 (3340)
- 洞头海域网采浮游植物的月际变化 朱旭宇, 黄 伟, 曾江宁, 等 (3351)
- 狗牙根与牛鞭草在三峡库区消落带水淹结束后的抗氧化酶活力 李兆佳, 熊高明, 邓龙强, 等 (3362)
- 三亚岩相潮间带底栖海藻群落结构及其季节变化 陈自强, 寿 鹿, 廖一波, 等 (3370)
- 长期围封对不同放牧强度下草地植物和 AM 真菌群落恢复的影响 周文萍, 向 丹, 胡亚军, 等 (3383)
- 北京松山自然保护区森林群落物种多样性及其神经网络预测 苏日古嘎, 张金屯, 王永霞 (3394)
- 藏北高寒草地生态补偿机制与方案 刘兴元, 龙瑞军 (3404)
- 辽东山区次生林生态系统不同林型树干茎流的理化性质 徐天乐, 朱教君, 于立忠, 等 (3415)
- 施氮对亚热带樟树林土壤呼吸的影响 郑 威, 闫文德, 王光军, 等 (3425)
- 人工高效经营雷竹林 CO₂ 通量估算及季节变化特征 陈云飞, 江 洪, 周国模, 等 (3434)
- 新疆典型荒漠区单食性天花吉丁虫磷元素含量对环境的响应 王 晶, 吕昭智, 宋 菁 (3445)
- 双斑长跗萤叶甲越冬卵在玉米田的空间分布型 张 聪, 葛 星, 赵 磊, 等 (3452)
- 舟山群岛四个养殖獐种群遗传多样性和遗传结构 林杰君, 鲍毅新, 刘 军, 等 (3460)

景观、区域和全球生态

- 乡镇尺度金塔绿洲时空格局变化 巩 杰, 谢余初, 孙 朋, 等 (3470)
- 合并与不合并: 两个相似性聚类分析方法比较 刘新涛, 刘晓光, 申 琪, 等 (3480)

资源与产业生态

基于投入产出表的中国水足迹走势分析 王艳阳,王会肖,张 昕 (3488)

基于 MRICES 模型的气候融资模拟分析 朱潜挺,吴 静,王 铮 (3499)

黄东海陆架区沉积物中磷的形态分布及生物可利用性..... 张小勇,杨 茜,孙 耀,等 (3509)

鄱阳湖采砂南移扩大影响范围——多源遥感的证据 崔丽娟,翟彦放,邬国锋 (3520)

温度、盐度及其互作效应对吉富罗非鱼血清 IGF-I 与生长的影响 强 俊,杨 弘,王 辉,等 (3526)

城乡与社会生态

福建省城镇-交通系统的景观分隔效应 张天海,罗 涛,邱全毅,等 (3536)

研究简报

青藏高原高寒草原区工程迹地面积对其恢复植物群落特征的影响 毛 亮,周 杰,郭正刚 (3547)

黄土山地苹果树树体不同方位液流速率分析..... 孟秦倩,王 健,张青峰,等 (3555)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 314 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 33 * 2013-06



封面图说: 清晨的天山马鹿群——家域是动物行为学和保护生物学的重要概念之一,它在动物对资源环境的适应与选择,种群密度及社会关系等生态学过程研究中有着重要的作用。马鹿属于北方森林草原型动物,在选择生境的各种要素中,隐蔽条件、水源和食物的丰富度是最重要的指标。野生天山马鹿是中国的特产亚种,主要分布在北天山深山海拔1500—3800m 地带的森林草原中,在高山至谷地之间不同高度的坡面上,马鹿按季节、昼夜变化的不同进行采食。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201203280429

张天海, 罗涛, 邱全毅, 甘永洪, 张婷. 福建省城镇-交通系统的景观分隔效应. 生态学报, 2013, 33(11): 3536-3546.

Zhang T H, Luo T, Qiu Q Y, Gan Y H, Zhang T. The effect of landscape division by urban-transportation network in Fujian. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(11): 3536-3546.

福建省城镇-交通系统的景观分隔效应

张天海^{1,2}, 罗 涛^{1,*}, 邱全毅¹, 甘永洪^{1,3}, 张 婷^{1,2}

(1. 中国科学院城市环境研究所, 城市环境与健康重点实验室, 厦门 361021;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 漳州师范学院, 漳州 363000)

摘要:近年来,我国城市及交通基础设施建设的迅猛发展对区域生态功能造成了严重影响。城镇-交通网络的不断强化和扩展加剧了区域景观的破碎化并导致多种景观功能的退化。以 2007 年为研究基准年,采用跨边界有效栅格评价指标,借助地理信息技术,定量评估了福建省由城镇-交通网络引发的景观分隔效应。研究结果显示,面积大小位于 0—15 km² 的斑块数量最多。厦门、漳州、泉州 3 市小于 300 km² 的斑块面积及斑块数量分别所占比例率均高于南平、三明和龙岩 3 市。福建省有效栅格计算结果显示,全省景观破碎化呈现北轻南重、西轻东重的空间分布格局。沿海地区和交通干线周边破碎化明显高于其他地区。以地市为报告单位,福建省景观破碎化的空间分布呈现由西向东的梯度格局。景观破碎化最轻微地区(龙岩市、三明市、南平市有效栅格值处于 679.2—939.0 km² 之间)和最严重地区(厦门市、泉州市、漳州市的有效栅格值处于 197.1—336.2 km² 之间)形成鲜明对比。结果还显示,福建省厦门市、泉州市、漳州市的景观破碎化水平与欧洲发达国家如荷兰、比利时等接近;西部的三明市、北部的南平市则接近美国加利福尼亚。以县(市、区)为报告单位,全省景观破碎程度的空间分布从西至东呈现三级梯度。以瑞士 Glarus 州跨边界有效栅格值为参照,厦门、泉州和漳州 3 市所辖各县(市、区)的景观破碎化程度均高于 Glarus。宁德、福州、莆田 3 市各县(市、区)则与 Glarus 基本持平。南平、三明、龙岩 3 市各县(市、区)则好于 Glarus,其中,三明市和南平市各县(市、区)跨边界有效栅格值远大于 Glarus。

关键词:城市化; 交通; 景观; 破碎; 生态; 福建

The effect of landscape division by urban-transportation network in Fujian

ZHANG Tianhai^{1,2}, LUO Tao^{1,*}, QIU Quanyi¹, GAN Yonghong^{1,3}, ZHANG Ting^{1,2}

1 Key Lab for Urban Environment and Health, Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Sciences, Xiamen 361021, China

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 Zhangzhou Normal University, Zhangzhou 363000, China

Abstract: China's rapid economic development has resulted in the formation of an increasingly dense network of urban areas connected by transportation links, causing spatial division and greater regional landscape fragmentation. This network has caused serious damage to various landscape functions, and risks to the persistence of animal populations and biodiversity include habitat loss, road kill, migration barriers and so on. In order to provide constructive information, alert planners to the status of landscape fragmentation and improve conservation awareness, this study used ArcGIS 9.3 and $m_{\text{eff}}^{\text{CBC}}$ to assess landscape fragmentation caused by the urban area/transport network in Fujian Province. This analysis revealed that the smallest patch class (0—15 km²) occurred with a much greater frequency than all other larger patch sizes. In the coastal cities of Xiamen, Zhangzhou and Quanzhou, the percentage of the number of patches less than 300 km² was higher than in the western cities of Nanping, Sanming and Longyan, and the percentage of the area of patches less than 300 km² was also

基金项目:国家自然科学基金项目(40971111); 福建省自然科学基金项目(2011J01280)

收稿日期:2012-03-28; **修订日期:**2012-10-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: tluo@iue.ac.cn

higher. Among the western three cities, Nanping has the largest patch which has a area of 2361.5 km². Based on a holistic identification of the structure of the network and its landscape division, the calculation of the $m_{\text{eff}}^{\text{CBC}}$ show that: Fujian Province has a spatial pattern of landscape fragmentation, with less fragmentation in western and northern regions, and greater fragmentation in southern and eastern regions. Coastal regions and areas close to the main transport routes were more seriously fragmented and contained most of the small patches. When city administrative area was used as the working unit, the assessment showed that provincial-scale fragmentation was spatially distributed in tiers. The least fragmented region incorporates Longyan, Sanming and Nanping (the $m_{\text{eff}}^{\text{CBC}}$ of these three cities was between 679.2—939.0 km²), while the most fragmented region includes Xiamen, Quanzhou and Zhangzhou (the $m_{\text{eff}}^{\text{CBC}}$ is between of these three cities was 197.1—336.2 km²). Compared to other world regions which have reported fragmentation results using $m_{\text{eff}}^{\text{CBC}}$, the eastern cities of Xiamen, Quanzhou and Zhangzhou have become similar to some of the most seriously fragmented regions in the world, such as the Netherlands and Belgium. Northwest cities, such as Nanping and Sanming, have relatively less fragmentation and are comparable to California, USA. When county administrative area was used as the working unit, the assessment showed that the fragmentation displayed a spatial gradient distribution in three tiers from west to east. Compared to the $m_{\text{eff}}^{\text{CBC}}$ of Glarus in Switzerland, the $m_{\text{eff}}^{\text{CBC}}$ of counties in Xiamen, Quanzhou and Zhangzhou are lower than Glarus, while counties in Ningde, Fuzhou and Putian are similar to Glarus and counties in Nanping, Sanming and Longyan are higher than Glarus. Counties in Nanping and Sanming stand out as having a much higher $m_{\text{eff}}^{\text{CBC}}$. The present road network and urban sprawl have caused irreversible effects on the provincial landscape. Fujian Province should prevent further fragmentation by coordinating transportation, landscape and ecological planning.

Key Words: urbanization; transportation; landscape; fragmentation; ecology; Fujian Province;

城市化以及与之相关联的交通基础设施建设是对环境造成巨大影响的重要人类活动之一^[1-2]。近年来,中国城市化进程的快速推进使全国城市化率 2010 年末达 49.95%,城市建成区面积由 2000 年的 22427 km² 上升到 40058 km²^[3-4]。几十年来,在“要想富。先修路”思想的引领下,国家及各级地方政府对于交通基础设施建设的投入持续大幅增加。以公路建设为例,全国公路网总里程即将在 2010 年 398 万 km 基础上,到 2015 年增至 450 万 km^[5]。一个覆盖全国的巨大城镇-交通网络网络已经初步形成并正在日益完善。该网络系统在不同空间尺度上,对我国国土空间产生分隔效应,并在景观尺度上表现为区域景观的深度破碎化^[6-7]。

景观分隔和破碎化所引发的诸如栖息地破碎、缩小,生物多样性降低,景观障碍增多、动物迁徙困难,空气、水、固废污染滞留等系列生态破坏效应^[8-9],对区域生态安全构成严重威胁^[10-11]。国内外学者对此问题进行了广泛的研究并试图提供解决方法^[12-15]。兰州大学李太安等在全国尺度上对我国由于城市和道路建设所造成的景观分隔效应进行了首次分析尝试,其研究指出道路分割生态基质严重影响生态系统完整性,道路规划者需要从景观尺度而非运输廊道本身审视生态影响。

对全省尺度上破碎化格局和程度进行分析、量化,对于了解福建省景观破碎化现状并及时采取生态保育措施具有重要实践指导意义。本文应用改良型的有效栅格指标——跨边界有效栅格指标 $m_{\text{eff}}^{\text{CBC}}$,定量评价城镇-交通网络对福建省区域景观的分隔现状。在明确其生态影响的基础上,为提高福建省区域环境资源管理水平、促进区域可持续发展提供了解区域生态功能现状的途径^[16-17],并从道路规划、景观规划和生态规划等视角,对减缓城镇-交通系统发展所造成的景观功能恶化趋势提出建议。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

福建省地处中国东南,介于北纬 23°32′—28°19′,东经 115°51′—120°52′之间,背山面海,与台湾一水相隔(图 1)。全省陆地面积 12.40 万 km²,境内山地、丘陵占全省面积 80% 以上,森林覆盖率达 62%,居全国第一。全省辖 9 个设区市、26 个市辖区、14 个县级市、45 个县(含与大陆没有道路交通相连的金门县)。在本研究基

准年份(2007年),全省城市化率为48.7%,城市建成区面积为917.5 km²[18]。

近年来,福建境内沈海、福银、厦蓉、京台等一批高速路相继建成通车,全省公路形成“一纵两横”的高速路、“两纵两横”的国道、“八纵九横”的省道为骨架的公路网系统。至2007年底,全省公路通车里程达86926 km,公路密度达0.716 km/km²。其中,高速路通车里程达1366 km[18]。

1.2 跨边界有效栅格

跨边界有效栅格指标($m_{\text{eff}}^{\text{CBC}}$)由有效栅格指标 m_{eff} 演变而来。有效栅格指标也称切割有效栅格($m_{\text{eff}}^{\text{CUT}}$,其计算方法见公式1。Jaeger 2000年首次提出该指标,并通过实验对其进行验证[13]。测试结果表明,在描述景观破碎度的可靠性方面,该指标在八个标准(解释的直观性、数学的简明性、小斑块低敏感性等)的测试中都较其他指标(如:斑块密度)更优越[15,19]。

$$m_{\text{eff}}(j) = \frac{1}{A_{ij}} \sum_{i=1}^n A_{ij}^2 \quad (1)$$

式中, $m_{\text{eff}}(j)$ 为第 j 个报告单位栅格面积值; A_{ij} 为第 j 个报告单位总面积大小; A_{ij} 为第 j 个报告单位中第 i 个斑块面积大小。

该指标的数学解释是:以某一报告单位内栅格的平均面积大小来指示该报告单位内两个随机点同时落在同一斑块内的概率[14]。从生态学角度来看,该指标显示动物活动范围的大小和种群丰富度的高低。因为,两个任意点落入同一斑块的概率值大小直接与斑块面积大小相关,斑块面积越大,则概率值也越大,则动物在其栖息地斑块内活动范围更广,个体处在同一区域的概率更大,更有利于繁衍、迁徙等活动,有利于维持和提高种群丰富度。

上述计算方法将报告单位的边界也作为产生斑块的分隔要素,在生态意义上存在明显的不合理性[20]。Moser 2007年在考虑报告单位边界对指标计算结果影响的基础上,将该指标修正为跨边界有效栅格($m_{\text{eff}}^{\text{CBC}}$)。其计算方法如下:

$$m_{\text{eff}}^{\text{CBC}}(j) = \frac{1}{A_{ij}} \sum_{i=1}^n A_{ij} A_{ij}^{\text{cmpl}} \quad (2)$$

式中, $m_{\text{eff}}^{\text{CBC}}(j)$ 为第 j 个报告单位跨边界有效栅格值; A_{ij} 为第 j 个报告单位总面积大小; A_{ij} 为第 j 个报告单位中第 i 个斑块行政单位内面积大小; A_{ij}^{cmpl} 为第 j 个报告单位中第 i 个斑块跨行政单位面积大小。

1.3 数据来源

本研究将福建省道路交通网络按类别和等级分为:铁路、高速路、国道、省道、县道(含建成区外城市街道)。各类交通设施有效宽度及其选择依据见表1。全省城镇建成区范围根据“福建省情地图集2009年2月版”经过数字化处理得出。

福建省城镇建成区、铁路、高速路、国道、省道及县道网络构成的城镇-交通网络见图2。构建该网络所使用的基础数据来源为:交通和建成区数据由福建省情地图集经 ArcGIS 9.3 数字化处理得到;TM 遥感影像下载自遥感数据查询系统 <http://ids.ceode.ac.cn/query.html>;福建省地市行政区划数据取自中国科学院城市环境研究所地理空间基础数据库。鉴于本研究所使用的交通数据只细化到县道,因此没有县道和与大陆公路

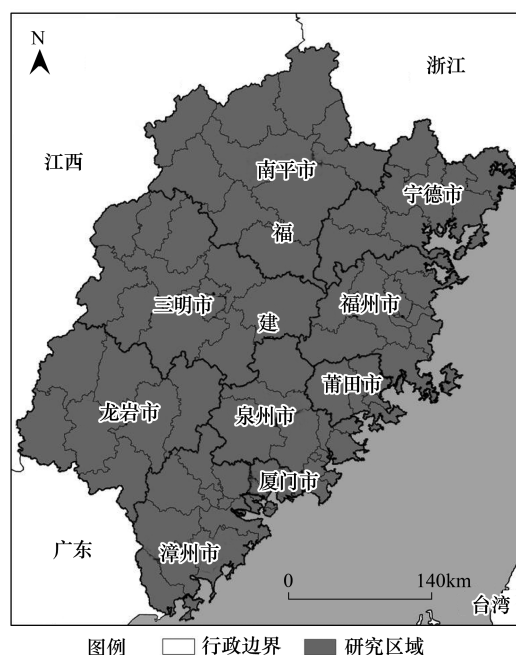


图1 研究区福建省区位

Fig. 1 Location of the study area of Fujian province

连接的岛屿被舍弃。福建省各地市城镇建成区及交通设施占地情况统计汇总见表 2。

表 1 研究区各类交通设施分类统计
Table 1 The classification of the transportation in the study area

序号 Order	道路级别 Road level	总里程/km Gross distance	有效分隔宽度/m Effective division width	道路面积/km ² Road area	道路密度/(km/km ²) Road density
1	县道	11148	60 ^[17]	669	0.092
2	省道	5597	80 ^[17]	448	0.046
3	国道	1859	100 ^[15]	184	0.015
4	高速路	1784	100 ^[15]	178	0.015
5	铁道	1563	80 ^[21]	125	0.013
6	总计	21951	—	1604	0.181

2 结果

从图 2 及表 2 可见,福建省城镇-交通网络在东南沿海地区密集分布,并以福州市和厦漳泉 3 市形成双核心格局。向西、向北则逐渐稀疏。南平市城镇-交通网络密度最低(用地面积比 0.012)。从道路分布格局看,交通干线(铁道、高速路、国道)经过地带密度较高,形成三横两纵的骨架,省道、县道都沿此骨架向全省空间范围拓展。

2.1 福建省景观分隔现状

由福建省城镇-交通网络分隔景观基质所产生的斑块分级见图 3。从区域分布看,厦门、泉州、漳州 3 市(厦、泉、漳地区)集中了全省最密集的斑块面积小于 50 km² 的小斑块。景观破碎化严重区域主要位于沿海(海岸线向内约 10 km 范围内)、城镇周边和交通干线两侧。由图 3 可见,上述地区聚集了大部分的小面积斑块。福建省景观破碎化严重区域呈三横两纵展开。其中,三横分别由西向东通向福州、泉州、漳州,两纵则由南向北,一条沿海从漳州经过东部各市到宁德,一条平行于海岸贯穿西部三明和北部南平。

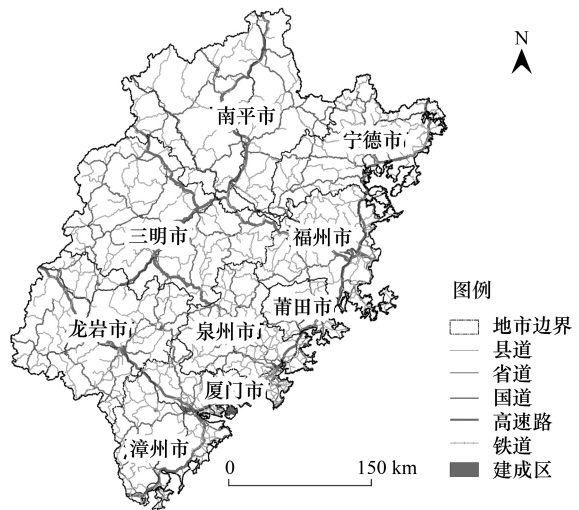


图 2 福建省城镇-交通网络
Fig.2 The network of transport and urban areas in Fujian province

表 2 各地市城镇-交通网络用地面积统计

Table 2 The size statistics of the network of transport and urban areas in each city

序号 Order	地市名称 Region name	城镇建成区面积/km ² Size of urban area	比率* Proportion	城镇-交通网络用地面积/km ² Size of transport and urban areas	比率** Proportion
1	宁德市	35.1	0.003	208.3	0.016
2	福州市	312.4	0.027	432.6	0.039
3	南平市	69.2	0.003	322.9	0.012
4	莆田市	35.2	0.009	91.6	0.024
5	三明市	99.9	0.004	348.4	0.015
6	龙岩市	81.5	0.004	306.7	0.016
7	漳州市	94.5	0.008	295.6	0.024
8	泉州市	106.5	0.010	306.3	0.028
9	厦门市	123.7	0.082	167.5	0.115
10	福建省	957.8	0.008	2479.9	0.020

* 该比率指建成区面积占该行政区国土面积比率; ** 该比率指该行政区内交通道路缓冲面积加建成区面积占国土面积比率

面积为 0—15 km² 的斑块数量最多,但所占面积比率最小。面积比率最大的景观斑块面积大小位于 301—500 km² 之间,占全省面积的近 20%。1000 km² 以上的斑块面积比率超过 20%,表明福建省还存在大面积生态完整性较良好的区域(图 3,表 3)。

以 300 km² 为标准划分景观斑块大小,并以地级市为单位,分级统计景观斑块。东部 6 市和西部 3 市分别集中了小斑块和大斑块。厦门、泉州和漳州 3 市小于 300 km² 的斑块面积占全市面积比率,以及该级斑块数量占全市斑块数比率均高于南平、三明和龙岩 3 市。其中南平市拥有研究区最大斑块,其值为 2361.5 km²(图 4)。

2.2 福建省景观破碎化现状

2.2.1 地市尺度上的景观破碎化评价

以地级市为报告单位,福建省景观破碎程度整体格局呈现西轻东重、北轻南重格局。东部沿海 6 市(宁德市、福州市、莆田市、泉州市、厦门市、漳州市)中除了莆田市,其他 5 市跨边界有效栅格值均低于 600 km²,而西部 3 市(南平市、三明市、龙岩市)的值均高于 600 km²。

西部 3 市的景观破碎程度由北向南渐次加重。东部 6 市也有同样趋势。以莆田市为界,北部宁德市和福州市的景观破碎化程度明显轻于南部的泉州市、厦门市和漳州市。景观破碎化最严重区域位于以厦门市为核心的厦门、泉州和漳州 3 市(其跨边界有效栅格值均在 400 km² 以下)。最轻微区域位于北部的南平市。其他 5 市则处于这两极之间(400—800 km²),整体呈现三级梯度分布(图 5)。

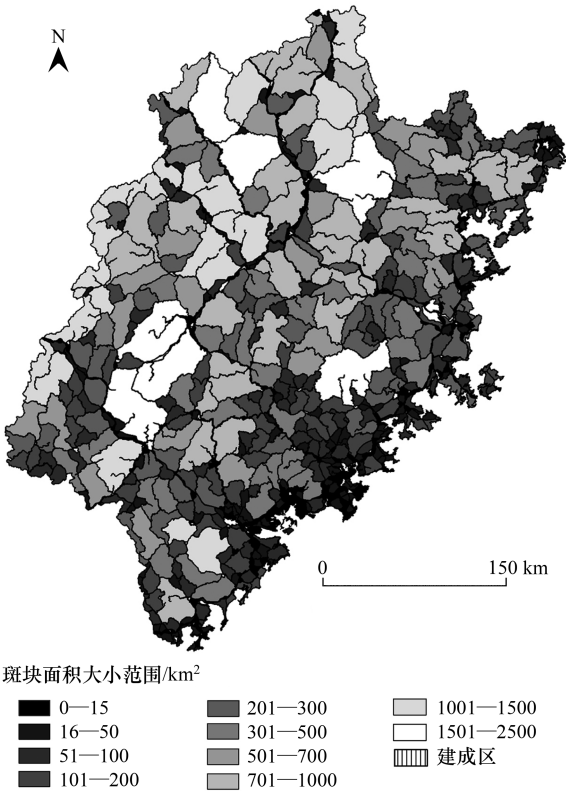


图 3 福建省城镇-交通网络分隔景观基质现状
Fig.3 The landscape division by the network of transport and urban areas in Fujian Province

表 3 研究区景观斑块分级统计

Table 3 The classification and number of the landscape patches			
序号 Order	斑块面积大小范围/km ² Range of patch size	斑块个数(比率*) Number of patches(proportion*)	分级斑块总面积/km ² (比率**) Gross size of classed patches(proportion*)
1	1501—2500	7(0.006)	12414.1(0.102)
2	1001—1500	11(0.010)	12810.5(0.106)
3	700—1000	21(0.017)	17336.7(0.143)
4	501—700	27(0.022)	16219.6(0.134)
5	301—500	62(0.050)	23791.1(0.196)
6	201—300	43(0.034)	10708.7(0.088)
7	101—200	94(0.075)	13548.2(0.112)
8	50—100	71(0.057)	5053.1(0.042)
9	16—50	156(0.125)	4487.8(0.037)
10	0—15	758(0.606)	2554.2(0.021)

* 该比率指该类斑块数量占全部斑块数量的比率; ** 该比率指该类斑块总面积占研究区总面积比率

2.2.2 县(市、区)尺度上的景观破碎化评价

以县(市、区)为报告单位,其计算结果进一步证实了福建省景观破碎化西轻东重、北轻南重的整体格局(图 6)。将 84 个县(市、区)的跨边界有效栅格值由小到大排序,排名前 42 位以内(上半区)的县(市、区),除

西部龙岩市武平县外,其余 41 个县(市、区)都隶属东部 6 市。排名后 42 位以内(下半区)的县(市、区), 29 个县(市、区)隶属西部 3 市。

全省 10 个景观破碎化最为严重县(市、区)的 $m_{\text{eff}}^{\text{CBC}}$ 值从 1.8 km^2 到 36.4 km^2 变化(平均值为 22.6 km^2)。这 10 个县(市、区)中除福州鼓楼区外,全部位于厦门、泉州和漳州 3 市,证明该地区为全省景观破碎化最严重地区。10 个景观破碎化程度最低的县(市、区)的 $m_{\text{eff}}^{\text{CBC}}$ 值处于 911.1 km^2 到 1304.1 km^2 之间(平均值为 1078.2 km^2)。其中,除莆田市仙游县和宁德市屏南县外,全部隶属于西部的南平、三明和龙岩 3 市。

$m_{\text{eff}}^{\text{CBC}}$ 值位于 $1001\text{--}1500 \text{ km}^2$ 之间的县(市、区)在北部、西部形成两个景观破碎化程度较轻的组团区域。一个组团是南平市建阳市、南平市建瓯市和宁德市屏南县,另一个组团是三明市永安市、龙岩市连城县。而莆田市仙游县在整体破碎化程度较为严重的东部沿海地区显得最为突出。较高的 $m_{\text{eff}}^{\text{CBC}}$ 值表明,上述地区生态完整性尚好,在未来地区建设发展中应成为生态保护重点区域。

3 讨论

3.1 对比分析

3.1.1 区域差异与影响因素

福建省城镇-交通网络造成的景观破碎化整体上呈现北轻南重、西轻东重的空间格局。以行政区域统计,跨边界有效栅格值由小到大分为第 1 组团(厦门市、泉州市和漳州市),第 2 组团(宁德市、福州市和莆田市),第 3 组团(南平市、三明市和龙岩市)。以地理区位分析,全省景观破碎化程度由沿海向内陆次第减弱。结合交通网络的布局分析,景观破碎化严重区域沿交通干线成带状分布。

福建省地势由西北向东南渐次下降。闽西、闽中两大山带从北至南斜贯福建省。省内闽江、晋江、九龙江下游冲积成四大平原(漳州平原、福州平原、泉州平原、兴化平原)^[18]。西部、北部地区较大的地形坡度限制或阻碍了城市扩张和交通建设^[14]。沿海地区则与之相反。地理地形空间格局的差异是造成 84 县(市、区)景观破碎化由内陆向沿海渐次加重的重要原因。

由图 6 可见,隔离东部景观破碎化严重区域和西部相对轻微区域的中间缓冲区域走向大致为:宁德市古田县、南平市延平区、三明市尤溪县、三明市大田县、龙岩市漳平县、龙岩市永定县。在城市化过程和交通基础设施建设从沿海向内地逐步扩展的过程中,中间缓冲区域是面临冲击的敏感区,需采取措施防止沿海地区生态破坏向该地区蔓延。此外,在各地市交界区域(尤其是多山地带)的景观破碎化相对轻微。例如,地处东南沿海的莆田市仙游县景观破碎化程度($m_{\text{eff}}^{\text{CBC}} = 1031.7 \text{ km}^2$)低于西部多数县(市、区),在沿海 6 市 55 个县

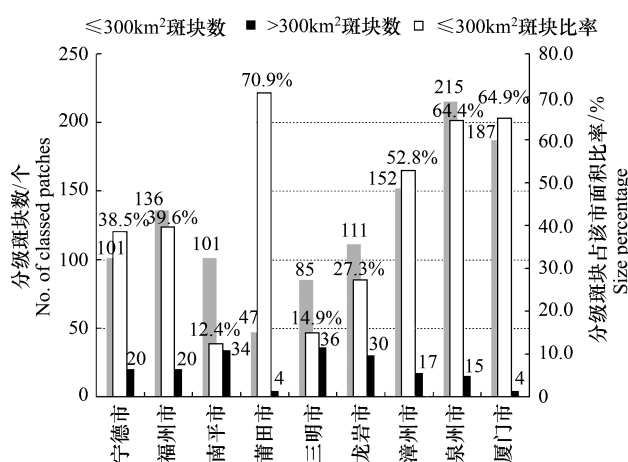


图 4 各市场级斑块数及面积比率

Fig. 4 The number and size percentage of No. of in each city

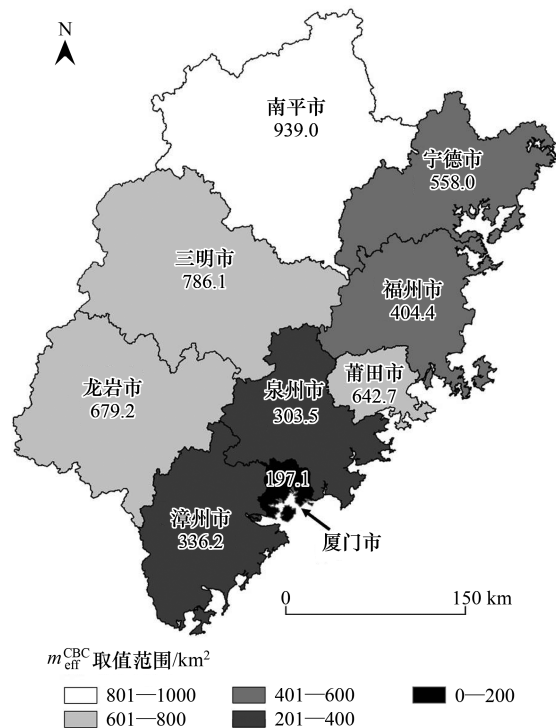


图 5 以福建省地级市为报告单位的跨边界有效栅格计算结果

Fig. 5 The calculation of $m_{\text{eff}}^{\text{CBC}}$ about city in Fujian province

(市、区)中尚存良好的生态完整性,应予以着重保护。

此外,中国沿海地区是经济活动最为活跃的区域。福建省大规模的出口经济活动导致沿海城市化和交通基础设施建设规模、速度远高于内陆^[22]。景观破碎化作为人类经济活动的一种生态效应,呈现出由沿海向内陆的扩散趋势。同时,交通干线两侧景观破碎化程度显著严重的现象再次表明了交通基础设施生态效应研究的迫切性^[14]。

3.1.2 国内外对比分析

查询国内外相关文献,分别选取国外(瑞士、比利时、荷兰和美国加州)以及国内(江苏省、浙江省和广东省)部分地区 $m_{\text{eff}}^{\text{CBC}}$ 值与本研究计算结果进行比较。其中,除瑞士位于内陆外,其他地区都位于沿海^[12,17,23]。对比分析见图 7。

从图 7 可见,比利时、瑞士、荷兰的破碎化程度均高于国内各省市。福建省内只有景观破碎化程度最为严重的厦门、泉州、漳州 3 市与之相近。欧洲自工业革命以来,完备发达的交通基础设施网络在其国土上留下了深深的印记^[14]。而福建省城镇-交通网络的空间密度与欧洲还存在一定差距。另一方面也表明福建省目前还存在一定的生态保育机会。需要说明的是,国外近年来在缓解交通网络的生态影响方面所做的各种努力(如,高速公路绿桥和绿色通道的设计),使得仅仅通过 $m_{\text{eff}}^{\text{CBC}}$ 值的比较,并无法对福建省和瑞士等国的景观功能现状进行全面的评价。

国内同样处于沿海地带的江苏省景观破碎化程度高于其他各省市,应与该省处于人类活动强度居全国之首的长三角经济圈有密切关系^[24]。

选择 3 个瑞士的州:瑞士 26 州中景观破碎化排名第 5 的 Zurich($m_{\text{eff}}^{\text{CBC}} = 4.2 \text{ km}^2$)、第 17 的 Wallis($m_{\text{eff}}^{\text{CBC}} = 153.4 \text{ km}^2$)、第 26 的 Glarus($m_{\text{eff}}^{\text{CBC}} = 635.1 \text{ km}^2$),与研究区县(市、区)值进行对比(图 8)^[12]。

从图 8 中可见,若以 Glarus 州为比较参照,厦门、泉州和漳州 3 市所辖各县(市、区)的 $m_{\text{eff}}^{\text{CBC}}$ 值都低于 Glarus。而宁德、福州、莆田 3 市各县(市、区)则与 Glarus 基本持平。南平、三明、龙岩 3 市各县(市、区)则高于 Glarus。尤其是三明市和南平市各县(市、区) $m_{\text{eff}}^{\text{CBC}}$ 值远大于该州的 $m_{\text{eff}}^{\text{CBC}}$ 值。

在未来的经济发展和城市、交通基础设施建设中,厦泉漳 3 市应当通过采取相应生态工程技术措施,设法避免景观的进一步破碎化,防止生物多样性继续降低并修复遭到破坏的环境生态功能^[15]。而南三龙 3 市由于尚存良好的生态保育机会,应设法维护目前良好的生态完整性,防止先破坏后修复^[25]。

3.2 生态影响与生态规划

城市化进程和交通基础设施建设为经济社会发展做出了重大贡献,同时也加剧了对区域生态系统的扰动,导致栖息地破碎、缩小,生物多样性降低、道路交通致死等^[9]。其直接表现为景观破碎化程度的加强,最终结果则是对生态系统完整性的破坏^[6]。为缓解和预防由城镇-交通网络对于区域生态安全的影响,道路交通设施的生态效应研究和相应的工程技术手段研究亟待加强。

受未来新一轮的城市化发展和交通建设影响,福建省中西部面临景观破碎化加重和生态功能衰减的挑战。生态型的道路规划、城市建设,以及紧密结合城镇、交通发展的景观规划急需得到重视和实施^[15,26,27]。一些国外的方法措施值得借鉴,如合并道路、建立生态联通廊道等。这些措施致力于提高景观斑块之间的景

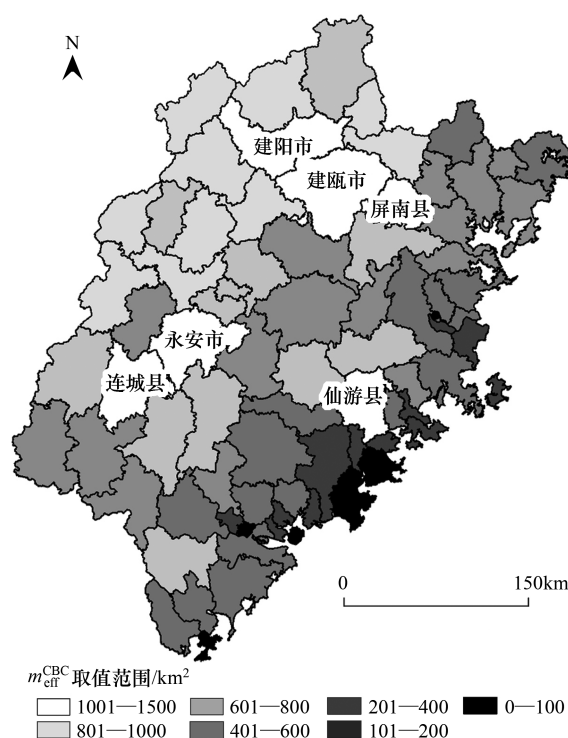


图 6 以福建省各县(市、区)为报告单位的 $m_{\text{eff}}^{\text{CBC}}$ 值计算结果

Fig. 6 The calculation of $m_{\text{eff}}^{\text{CBC}}$ about county in Fujian province

取值范围为 1.8 km^2 到 1304.1 km^2

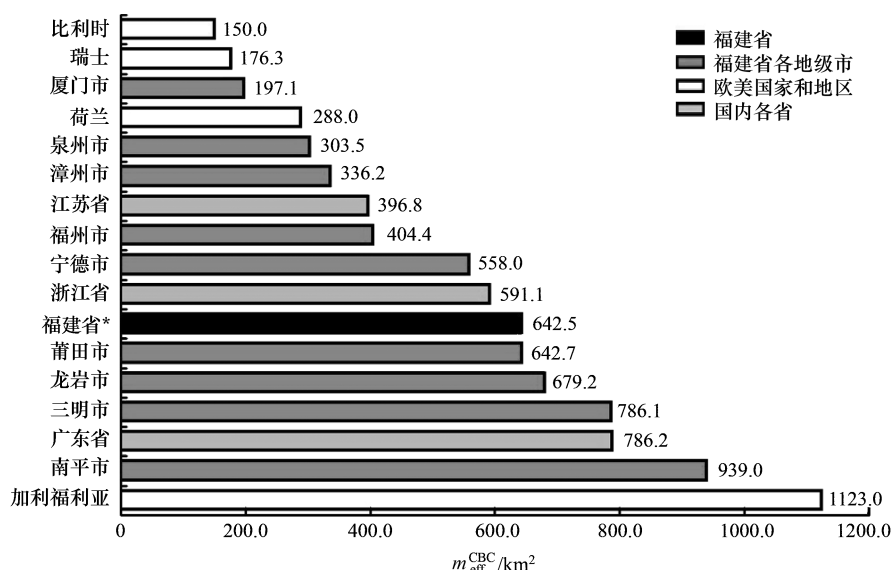


图7 国内外地区跨边界有效栅格值比较图

Fig. 7 The comparison of $m_{\text{eff}}^{\text{CBC}}$ between domestic and abroad*: 福建省栅格值为 $m_{\text{eff}}^{\text{CUT}}$

观连通性,提升斑块景观生态功能。本研究的结论可为相关领域工作者提供参考信息,便于认识现状、进行分析或划定标准阈值等。

3.3 关于 $m_{\text{eff}}^{\text{CBC}}$ 指标

由于数据可获得性等方面的考虑,本研究的分辨率限于县(市)尺度。只选择了有硬化路面的高速路、国道、省道等。还有许多引发景观分隔效应的分隔因素没有被纳入考虑,包括乡道、未铺装路面和水体、山岩等自然因素^[12]。此外,由于新农村建设和村村通家道路工程的建设,旧道路翻新改造等,尚有大量的交通路面没有被纳入本研究范围。采用更高精度的航片数据固然可以将此类数据纳入并提高精度,但是,此类因素的生态影响方式和程度尚未确定,因此也无法和上述有铺装路面的景观分隔效应进行简单的类比。各类分隔因素本身性质的不同也会导致其生态效应的不同。例如水域、河流既可以作为分割要素,但同时也具有廊道功能,有利于生物分布和迁徙。而未铺装路面、桥梁、隧道的景观障碍性显然不如高速路。

本研究所选用的指标 $m_{\text{eff}}^{\text{CBC}}$ 较之 m_{eff} ,在描述景观破碎化生态意义时更为合理^[20]。然而,该指标以有效斑块面积大小表征景观破碎化程度,不考虑斑块形状的影响。而斑块形状亦具有景观生态意义^[28]。即,等面积斑块由于其分形维数的不同,其破碎化程度及其生态效应也迥异。

另外,如何通过修正 $m_{\text{eff}}^{\text{CBC}}$ 计算方法进一步缩小 $m_{\text{eff}}^{\text{CBC}}$ 报告单位,以便提高其空间分辨率和分析精度也是后续研究工作的重点方向。该指标当前主要应用于大中尺度的研究,一般以行政单位、自然地理分区等为报告单元。确定的报告单位边界是指标使用的前提条件。由于报告单位的大小决定了计算结果的精度,因此,为了持续提高指标的空间分辨率并实现计算结果在不同空间尺度间的连续换算,对于该指标报告单位的研究必不可少。

4 结论与展望

本文应用跨边界有效栅格指标 $m_{\text{eff}}^{\text{CBC}}$ 评价了福建省城镇-交通网络景观分隔效应。分地市和分县(市、区)分析了福建省景观破碎化的现状。结果表明,福建省景观破碎化程度整体上呈现北轻南重、西轻东重的空间格局和地区组团态势。东部沿海地区的景观破碎化程度已相当严重。景观破碎化程度与该地带活跃的经济发展之间的具体耦合关系是进一步研究的重点。此外,与福建省地理地势格局一致,西部、北部景观破碎化程度受该地区地形地势条件的影响,景观破碎化程度相对而言显著轻微。

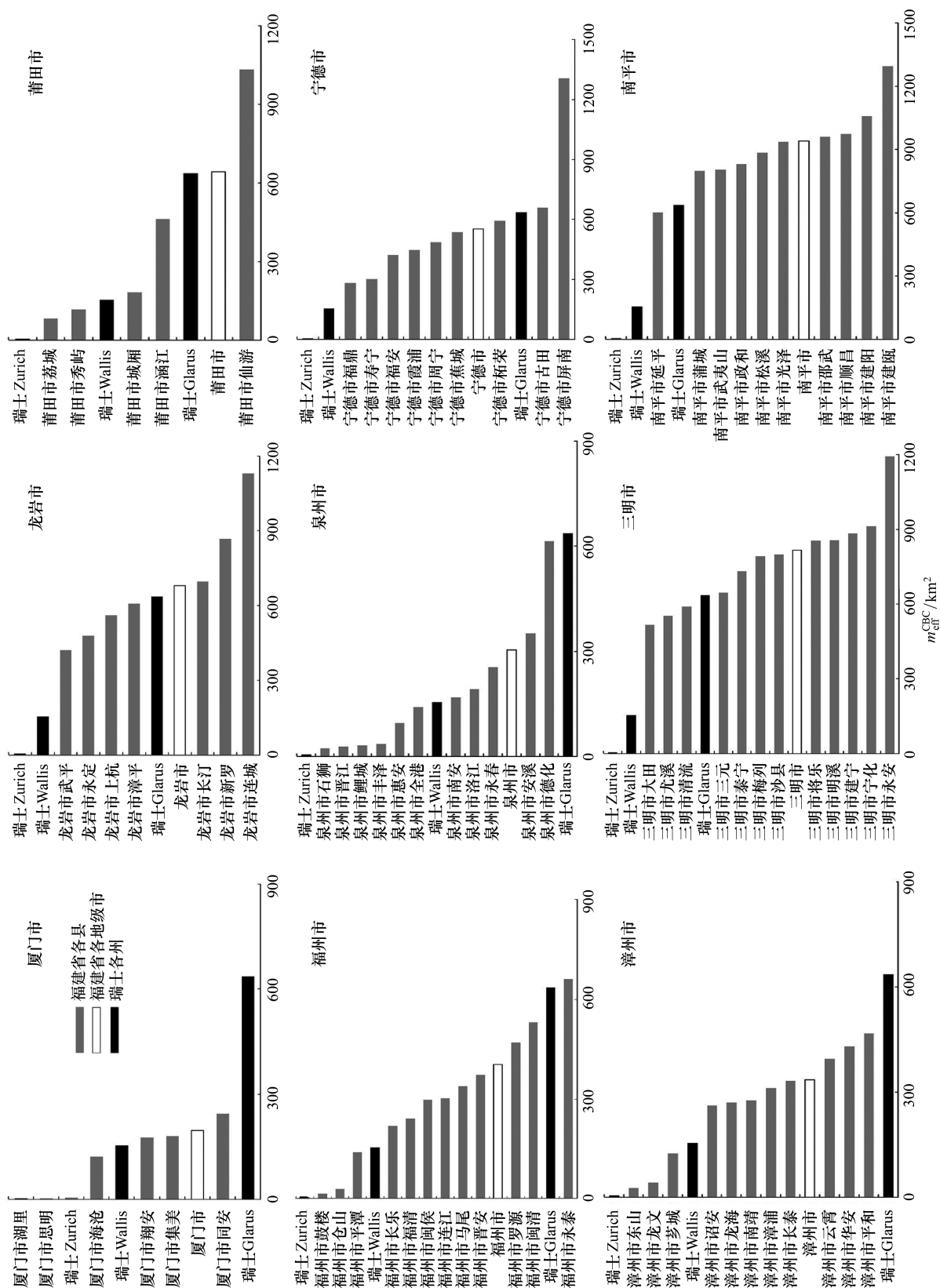


图8 福建各县与瑞士三州跨边界有效碳格值比较
Fig. 8 The comparison of $m_{\text{CBC}}^{\text{eff}}$ between counties in Fujian and 3 cantons in Swiss

景观破碎化对区域生态系统造成破坏和扰动。如何通过生态修复与保育手段缓解、消除城市化和交通基础设施建设带来的此类影响,是重要的后续工作。与此相关的景观规划、生态规划、道路生态技术等研究、实践急需展开。由于城镇-交通网络的生态效应呈现中尺度区域特征,以往对于城镇节点生态影响的研究需要向区域网络拓展。此外,跨边界有效栅格指标在不同景观尺度上的适用性和转换方法也是下一步研究验证的要点。

References:

- [1] Turner B L I I, Clark W C, Kates R W, Richards J F, Mathews J T, Meyer W B. The Earth as Transformed by Human Action: Global and Regional Changes in the Bio-Sphere over the Past 300 years. Cambridge: Cambridge University Press, 1990: 713-713.
- [2] Watts R D, Compton R W, McCammon J H, Rich C L, Wright S M, Owens T, Ouren D S. Roadless space of the conterminous United States. Science, 2007, 316(5825): 736-738.
- [3] National Bureau of Statistics of China. China Statistical Yearbook—2011. Beijing: China Statistics Press, 2011: 4.
- [4] Pan J H, Niu F R, Wei H K. Annual Report on Urban Development Of China. Beijing: Social Sciences Academic Press, 2009.
- [5] Ministry of Transport of the People's Republic of China (MOT). Transport the 12th Five-Year Plan. MOT; 2011. <http://www.chinahighway.com/news/2011/530343.php>. 2012-03-13.
- [6] Forman R T T, Sperling D, Bissonette J A, Clevenger A P, Cutshall C D, Dale V H, Fahrig L, France R L, Goldman C R, Heanue K, Jones J, Swanson F, Turrentine T, Winter T C. Road Ecology: Science and Solutions. Washington, DC: Island Press, 2003.
- [7] Forman R T T. Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions. Cambridge: Cambridge University Press, 1995: 632-632.
- [8] Trombulak S C, Frissell C A. Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. Conservation Biology, 2000, 14(1): 18-30.
- [9] Jaeger J A G, Bowman J, Brennan J, Fahrig L, Bert D, Bouchard J, Charbonneau N, Frank K, Gruber B, von Toschanowitz K T. Predicting when animal populations are at risk from roads; an interactive model of road avoidance behavior. Ecological Modelling, 2005, 185(2/4): 329-348.
- [10] Collinge S K. Ecological consequences of habitat fragmentation: implications for landscape architecture and planning. Landscape and Urban Planning, 1996, 36(1): 59-77.
- [11] Collinge S K. Spatial arrangement of habitat patches and corridors: clues from ecological field experiments. Landscape and Urban Planning, 1998, 42(2/4): 157-168.
- [12] Jaeger J A G, Bertiller R, Schwick C, Müller K, Steinmeier C, Ewald K C, Ghazoul J. Implementing landscape fragmentation as an indicator in the Swiss Monitoring System of Sustainable Development (Monet). Journal of Environmental Management, 2008, 88(4): 737-751.
- [13] Jaeger J A G. Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. Landscape Ecology, 2000, 15(2): 115-130.
- [14] Jaeger J A G, Bertiller R, Schwick C. Degree of Landscape Fragmentation in Switzerland-Quantitative analysis 1885 - 2002 and implications for traffic planning and regional planning. Condensed version. Swiss Federal Statistical Office: Neuchâtel, 2007.
- [15] Li T A, Shilling F M, Thorne J H, Li F M, Schott H, Boynton R, Berry A. Fragmentation of China's landscape by roads and urban areas. Landscape Ecology, 2010, 25(6): 839-853.
- [16] Guan W B, Xie C H, Ma K M, Niu J Z, Zhao Y T, Wang X L. A vital method for constructing regional ecological security pattern: landscape ecological restoration and rehabilitation. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(1): 64-73.
- [17] Girvetz E H, Thorne J H, Berry A M, Jaeger J A G. Integration of landscape fragmentation analysis into regional planning: a statewide multi-scale case study from California, USA. Landscape and Urban Planning, 2008, 86(3/4): 205-218.
- [18] Committee of Fujian Maps. Maps of Fujian 2007. Fuzhou: Fujian Map Press, 2009.
- [19] Jaeger J A G. Landschaftszerschneidung. Eine transdisziplinäre Studie gemäß dem Konzept der Umweltgefährdung. Stuttgart: Ulmer-Verlag, 2002.
- [20] Moser B, Jaeger J A G, Tappeiner U, Tasser E, Eisel B. Modification of the effective mesh size for measuring landscape fragmentation to solve the Boundary problem. Landscape Ecology, 2007, 22(3): 447-459.
- [21] Ministry of Railway. The manage rule of forestry technology on railway. <http://www.doc88.com/p-900965077938.html>. 1989, 93. 2012-03-13.
- [22] Lin M S. Empirical study on FDI, export trade and sustainable growth of Fujian economy: a simultaneous equations approach. Asia-Pacific Economic Review, 2011, (6): 145-150.
- [23] Shen Y, Li T A. The research about the Fragmentation effect of China's Roads Ecology. Transportation Construction and Management, 2010, 5:

165-171.

- [24] Tian J L, Han F. Comparison of industry Niche within producer services community in Yangtze River delta — based on the theory of industrial ecology. *Science and Technology Progress and Policy*, 2012, 29(1): 46-53.
- [25] Meng G W, Vogt J. Spatial planning as a tool for ecological and environmental protection: the german experience and its significance in China. *Progress in Geography*, 2005, 24(6): 21-30.
- [26] Zong Y G. The corridor effects in urban ecological landscape planning — a case study on Beijing. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(2): 145-150.
- [27] Zhu Q, Yu K J, Li D H. The width of ecological corridor in landscape planning. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(9): 2406-2412.
- [28] Liu C R, Chen L Z. Analysis of the patch shape with shape indices for the vegetation landscape in Beijing. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(4): 559-567.

参考文献:

- [3] 国家统计局. 中国统计年鉴, 2011. 北京: 中国统计出版社, 2011: 4-4.
- [4] 潘家华, 牛凤瑞, 魏后凯. 中国城市发展报告. 北京: 社会科学文献出版社, 2009.
- [5] 交通运输部. 交通运输“十二五”发展规划. 交通运输部: 2011. <http://www.chinahighway.com/news/2011/530343.php>. 2012-03-13.
- [16] 关文彬, 谢春华, 马克明, 牛健植, 赵玉涛, 汪西林. 景观生态恢复与重建是区域生态安全格局构建的关键途径. *生态学报*, 2003, 23(1): 64-73.
- [18] 《福建省情地图集》编纂委员会. 福建省情地图集. 福州: 福建省地图出版社, 2009.
- [21] 铁道部. 铁工务(1989)93号: 铁道部铁路林业技术管理规则. 铁道部: 1989. <http://www.doc88.com/p-900965077938.html>. 2012-03-13.
- [22] 林美顺. FDI、出口贸易与经济可持续增长研究——基于联立方程模型对福建经济的实证分析. *亚太经济*, 2011, (6): 145-150.
- [23] 沈毅, 李太安. 对中国道路生态破碎效应的初步研究. *交通建设和管理*, 2010, 5: 165-171.
- [24] 田家林, 韩锋. 长三角地区生产性服务业群内生态位比较——基于产业生态视角. *科技进步与对策*, 2012, 29(1): 46-53.
- [25] 孟广文, 尤阿辛. 福格特. 作为生态和环境保护手段的空间规划: 联邦德国的经验及对中国的启示. *地理科学进展*, 2005, 24(6): 21-30.
- [26] 宗跃光. 城市景观生态规划中的廊道效应研究——以北京市区为例. *生态学报*, 1999, 19(2): 145-150.
- [27] 朱强, 俞孔坚, 李迪华. 景观规划中的生态廊道宽度. *生态学报*, 2005, 25(9): 2406-2412.
- [28] 刘灿然, 陈灵芝. 北京地区植被景观中斑块形状的指数分析. *生态学报*, 2000, 20(4): 559-567.

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索自然奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 朱永官

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 11 期 (2013 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 11 (June, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元