

福建省道路网络对土地利用转换的影响分析

潘丽娟¹, 张 慧^{2*}, 刘爱利^{1*}, 王 桥^{3,4}

(1.南京信息工程大学地理与遥感学院, 江苏 南京 210044; 2.环境保护部南京环境科学研究所, 江苏 南京 210042; 3.南京师范大学地理科学学院, 江苏 南京 210042; 4.环境保护部卫星环境应用中心, 北京 100092)

摘 要:依据 2000—2010 年的福建省土地利用变化,利用缓冲区分析识别道路网络的影响范围,在不同尺度下,基于该影响域范围,利用相关分析研究了多尺度下道路网络密度与土地利用变化面积指数之间的相关性,同时分析了土地利用转换的地形特征,得到了路网密度影响土地利用转变的阈值。研究结果表明:道路网络对土地利用的影响范围为 1 000 m,并且福建省道路建设是导致林地、灌丛、湿地和农田向建设用地转变的主要因素之一。从多尺度下土地利用发生转变的地形特征来看,林地向建设用地转变的高程主要在 230~360 m,灌丛向建设用地转变的高程主要在 100~180 m,湿地向建设用地转变的高程主要在 60~100 m,农田向建设用地转变的高程主要在 110~200 m;土地利用转变均发生在坡度 7°以下;土地利用转变均发生在南坡。从多尺度下导致土地利用发生转变的路网密度阈值来看,林地转变为建设用地时的路网密度阈值为 1.98~2.27 $\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$;灌丛转变为建设用地时的路网密度阈值为 2.29~2.92 $\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$;湿地转变为建设用地时的路网密度阈值为 2.61~3.01 $\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$;农田转变为建设用地时的路网密度阈值为 2.23~2.98 $\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$ 。

关键词:福建省;道路网络;土地利用;阈值

中图分类号:X144

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2015)01-0001-07

doi: 10.13254/j.jare.2014.0311

The Analysis of Road Networks' Influences on the Changes of Landuse in Fujian Province, China

PAN Li-juan¹, ZHANG Hui^{2*}, LIU Ai-li^{1*}, WANG Qiao^{3,4}

(1.School of Geography and Remote Sensing, Nanjing University of Information Science & Tecnology, Nanjing 210044, China; 2.Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Nanjing 210042, China; 3.School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China; 4.Satellite Environment Center, Ministry of Environmental Protection, Beijing 100092, China)

Abstract: Based on the changes of landuse in Fujian Province during 2000—2010, this research used the buffer analysis to define the areas impacted by the road networks. Then, the study used the correlation analysis to achieve the relationship between the density of road networks and landuse transformation in the impacted areas under the different scales. Also, the terrain features of landuse conversion were analyzed. Finally, the threshold of road networks' density was achieved. The results showed that road networks' range of influence was 1 000 m, and the road construction in Fujian Province was one of the reasons that caused the following transformations: forest transformation to construction, shrub transformation to construction, wetland transformation to construction, farmland transformation to construction. According to the terrain features of landuse transformation under different scales, the following results were obtained: the transformation from forest to construction happened in the altitude of 230~360 m, the transformation from shrub to construction happened in the altitude of 100~180 m, the transformation from wetland to construction happened in the altitude of 60~100 m, the transformation from farmland to construction happened in the altitude of 110~200 m, the changes of landuse occurred in the south slope beneath 7°; According to the threshold of road networks' density, the study achieved the following results: the threshold of the transformation from forest to construction was between 1.98 $\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$ and 2.27 $\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$, the threshold of the transformation from shrub to construction was between 2.29 $\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$ and 2.92 $\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$, the threshold of the transformation from wetland to construction was between 2.61 $\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$ and 3.01 $\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$, the threshold of the transformation from farmland to construction was between 2.23 $\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$ and 2.98 $\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$.

Keywords: Fujian Province; road networks; landuse; threshold

收稿日期:2014-11-04

基金项目:国家环保公益性行业科研专项“道路建设工程生态环境影响定量评价技术和方法”(201209029-1)

作者简介:潘丽娟(1991—),女,江苏苏州人,硕士,研究方向为区域生态恢复研究。E-mail: panlijuanruth@126.com

*通信作者:张 慧 E-mail: zhnies@126.com

刘爱利 E-mail: liuaili@nuist.edu.cn

由于人口的增长以及连通人类居住地的需求,大量交通网络被建设出来^[1]。道路网络虽然为人类带来了巨大的经济效益,但是它们也对自然景观和土地利用造成了很多负面影响,不容忽视。因此,道路对生物多样性和生态过程影响方面的研究得到不断发展,并且,一个叫做道路生态学的新兴科学学科被创造出来。

道路生态学的研究可以追溯到 20 世纪 70 年代, Oxley 等^[2]、Vestjens 等^[3]针对小型哺乳动物和野生动物研究了道路的影响。20 世纪 80 年代,道路位置、道路密度等具有生态学意义的指数开始被定量计算,表明道路的生态影响研究扩展到了景观尺度。20 世纪 90 年代,道路生态学的研究开始注重道路网络对土地利用的影响。20 世纪 90 年代末期,美国学者开始将研究的重点转向路网、路网影响带和其相关领域。进入 21 世纪以来,信息技术得到飞速发展, GIS 技术被运用于道路生态学的研究, GIS 技术的应用不仅为道路生态学的理论研究提供数据支持和方法,还为道路生态学的应用提供了空间分析,可行性评价和建设科学决策等^[4]。

土地利用/土地覆被变化(Land use and land cover change, LUCC)已成为目前国际上全球变化研究的前沿和热点课题之一^[5]。土地利用反应了人类与自然界相互影响相互作用的最直接最密切的关系^[6]。根据目前的研究,导致土地利用发生变化的因素主要分为自然因素和社会经济因素,对这些因素的研究深化了我们对土地利用变化驱动因素的了解。但是,在绝大多数情况下,自然因素相对比较稳定,往往通过改变土地覆被而间接引起土地利用变化。社会、经济、技术因素相对活跃,可以通过影响人们在土地利用上的决策对区域土地利用变化产生直接影响^[7]。人类对土地利用的影响程度与社会经济的发展水平是一致的,对荒地的不合理开垦,对草原的破坏以及对森林的滥砍滥伐等土地利用方式会引起水土流失、泥石流、河流泛滥、土壤盐碱化、沼泽化、沙漠化等不良的土地利用方式。在道路对土地利用的影响方面,国外主要选择受人为活动影响较少的小尺度进行研究,而国内对该方面的研究则都分散于一些相关研究中,总体来说,区域道路网络对土地利用的影响分析并不多见。

生态系统的自我维持是有限度的,这个限度就是生态阈值。当生态系统受到的外因力影响超过其阈值,生态系统就会发生根本性的变化,原有的生态平衡将被打破,需要发生演替,建立新的生态平衡。同样,道路网络的建设在导致生态系统发生退化的同

时,它也会导致生态系统发生演替。如果道路网络的密度超过生态系统能够承受的限度,则路网就会迫使生态系统发生改变。尽管将阈值概念引入生态学的历史已经有 30 多年,并且一直是学者们关注的热点,但是道路对于生态系统影响的阈值研究较少。国外在该方面的研究几乎为空白,国内郑钰等^[8]通过云南纵向岭谷区路网密度与生态系统转换(1980—2000 年期间)的多尺度空间相关分析,研究了路网对生态系统的影响及其阈值,但是并没有区分出道路网络的影响范围。刘世梁等^[9]研究了道路与土地利用格局变化的关系,揭示了不同道路类型对区域生态安全的影响,但是并没有研究整体道路网络对生态系统的影响。

本研究将根据缓冲区分析的结果首先界定道路对土地利用的影响范围,在影响域范围内研究了土地利用变化面积指数与路网密度之间的相关性,并在此基础上通过最邻近法对 DEM 数据进行重采样,提取得到不同尺度下的高程、坡度和坡向数据,从而分析了不同尺度下土地利用类型转换的地形特征。最后采用路网密度均值来确定影响土地利用类型变化的道路网络密度阈值。

1 研究区概况

福建省的地理位置处于 23°30′~28°22′N, 115°50′~120°40′E, 属于我国东南沿海地区,与浙江省、江西省和广东省接壤,土地总面积达 12.4 万 km²,其中 90%的陆地面积为丘陵、山地。全省大部分地区属于中亚热带,闽东南部分地区属于南亚热带,降水充沛,光照丰富。福建省森林覆盖率达到 65.95%,高居全国榜首,同时,该省的矿产资源和植物种类相当丰富,这些独特自然资源的形成都有赖于其优越的地理气候条件。福建省的公路密度均值达每百平方公里 32.43 km,排在全国第五位。总体来说,福建省是一个森林覆盖率高、路网密度大的省份。因此,为了探讨道路网络对土地利用的影响,本研究选取福建省作为研究区域。

2 材料与方法

2.1 数据来源

2000 年和 2010 年的土地覆盖类型数据来自于《全国生态环境十年变化(2000—2010 年)遥感调查与评估项目》。DEM 数据来自于 <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp> 下载的 SRTM 数据(90 m*90 m)。道路矢量数据来自于交通网全国道路数

据,涵盖了整个福建省的国道、省道、高速、铁路、城市快速路、乡镇村道和县道。

2.2 数据处理

2.2.1 空间网格数据

选取福建省为研究区域,分别建立 200、400、600、800、1 000 m 的网格作为 5 个不同的研究尺度,并基于这 5 个不同的研究尺度分别建立其空间属性数据库。数据库中包括以下数据:道路网络密度、土地利用类型变化面积指数、高程、坡度和坡向。

2.2.2 道路网络密度数据

文中所提到的道路网络密度是指每个网格内各级道路的单位面积总长度。文中所使用的各级道路网包括:省道、国道、高速公路网、县(乡)公路路网、乡村路网以及小路网。每个网格内,道路网络密度的计算公式为:

$$D_i = L_i / A_i \quad (1)$$

式中, D_i ($i=1,2,3,\dots,n$) 为区域 i 的道路网络密度 ($\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$); L_i 为区域 i 的道路长度 (km); A_i 为网格 i 的面积 (km^2)。

2.2.3 土地利用类型变化面积指数

土地利用类型变化面积指数是指 2000—2010 年间土地利用类型变化的面积占网格面积的百分比。

$$E_{ijk} = (\Delta S_{ijk}) / S_i \quad (2)$$

式中, E_{ijk} 为 i 网格内土地利用 j 转变成土地利用 k 的变化面积指数, ΔS_{ijk} 代表 i 网格内土地利用 j 转变成土地利用 k 的面积, S_i 代表网格 i 的面积。

2.2.4 地形数据

根据 DEM 数据,采用最邻近法重采样得到 200、400、600、800、1 000 m 栅格大小的 DEM,再利用 GIS 软件分别提取出不同尺度下的高程、坡度和坡向数据。

2.3 研究方法

本研究通过对道路网络制作不同宽度的缓冲区来识别路网的影响范围,并在其影响范围内利用空间网格方法建立 200、400、600、800、1 000 m 这 5 个尺度的栅格,根据公式(1)和(2)分别建立包括道路网络密度和土地利用类型变化面积指数在内的属性数据库,利用 SPSS 软件的 Pearson 相关分析方法计算道路网络密度与土地利用类型转换面积指数之间的相关性系数,研究两者之间的相关关系。同时,通过最邻近法对 DEM 数据进行重采样,得到不同尺度下的高程、坡度和坡向数据,用于分析不同土地利用类型转换的地形特征。最后采用路网密度均值来确定影响土地利用类型变化的道路网络密度阈值。

3 结果与讨论

3.1 道路网络的缓冲区分析

对道路网络分别制作 200、400、600 m...2 200 m 宽度的缓冲区(单侧宽度),并基于《全国生态环境十年变化(2000—2010 年)遥感调查与评估项目》提取出的土地利用数据,将研究区的所有土地利用类型划分为林地、灌丛、草地、湿地、农田、建设用地和未利用地,利用 GIS 软件的空间叠置功能得到 10 年间土地利用的变化情况,提取出不同宽度的缓冲区范围内的土地利用变化面积,并得到其变化趋势。变化趋势如图 1。

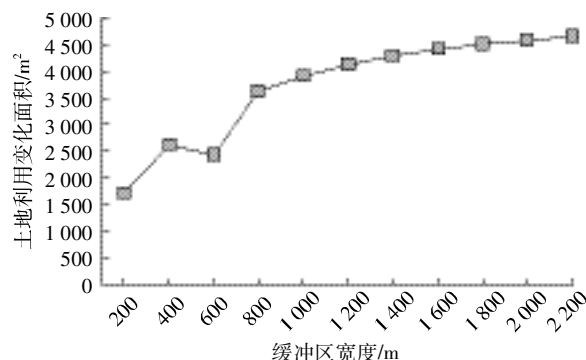


图 1 土地利用类型变化面积趋势图

Figure 1 The trend of land use types' changing areas

从图 1 可以看出,在 200~1 000 m 范围内,随着缓冲区宽度的增加,土地利用的变化面积呈现波动上升的趋势,在 1 000 m 以后的范围内,随着缓冲区宽度的增加,土地利用的变化面积虽有较小的上升趋势,但趋势不明显,增加幅度很小,总体呈现平稳状态。因此,将 1 000 m 作为道路的影响范围,即在超过 1 000 m 范围后,道路对土地利用的影响微弱或几乎没有影响。

3.2 道路网络密度与土地利用类型变化面积指数之间的相关性系数

在道路网络影响范围内,选取变化面积较大的 9 种土地利用转变类型,依据公式(1)、公式(2)分别计算不同尺度下道路网络密度和土地利用类型变化面积指数,并对两者进行相关分析。如果路网密度与土地利用类型变化面积指数的相关性显著,则说明路网密度是导致土地利用转变的一个影响因素。如果上述两者间为正相关关系,则随着路网密度的增加,土地利用变化的面积也会增加。反之,如果上述两者为负相关关系,则随着路网密度的增加,土地利用变化的

面积会减少。如果二者之间的相关性显著且相关程度较高,则路网密度是导致土地利用发生转变的主导因素之一;如果二者的相关性显著但相关程度不高,则路网密度是导致土地利用发生转变的影响因素之一,但不是主导因素;如果二者的相关性不显著,相关程度也不高,则路网密度不是导致土地利用发生转变的原因。

从图 2 可以看出,在道路网络影响范围内,随着尺度的增大,道路网络密度与土地利用转换面积指数之间的 Pearson 相关系数总体呈上升趋势,这是由于尺度越大受城镇向外扩张的影响也就越大。道路网络密度与土地利用转换面积指数之间具有以下 3 个特征(表 1):

(1)弱相关:灌丛向林地、灌丛向农田以及农田向林地转变时,土地利用转换面积指数只在几个尺度下与道路网络密度显著相关,不具有普遍的尺度效应,并且相关程度非常低,因此,两者属于弱相关,即道路网络密度是影响这 3 类土地利用转变的因素之一,但

不是主导因素。

(2)强相关:林地向建设用地、灌丛向建设用地、湿地向建设用地以及农田向建设用地转变时,土地利用转换面积指数在所有尺度下与道路网络密度显著相关,具有普遍的尺度效应,并且相关程度较高,因此,两者属于强相关,即道路网络密度是影响这 4 类土地利用转变的主导因素。

(3)不相关:林地向农田以及农田向灌丛转变时,土地利用转换面积指数在所有尺度下与道路网络密度都不显著相关,并且相关程度非常低,因此,两者属于不相关,即道路网络密度对这 2 类土地利用转变没有影响。

3.3 地形特征分析

根据道路网络密度与土地利用变化面积指数之间的相关分析结果,道路网络是导致林地转变为建设用地、灌丛转变为建设用地、湿地转变为建设用地以及农田转变为建设用地的主要原因。因此,制作不同尺度下道路网络影响区内的海拔、坡度和坡向图(图

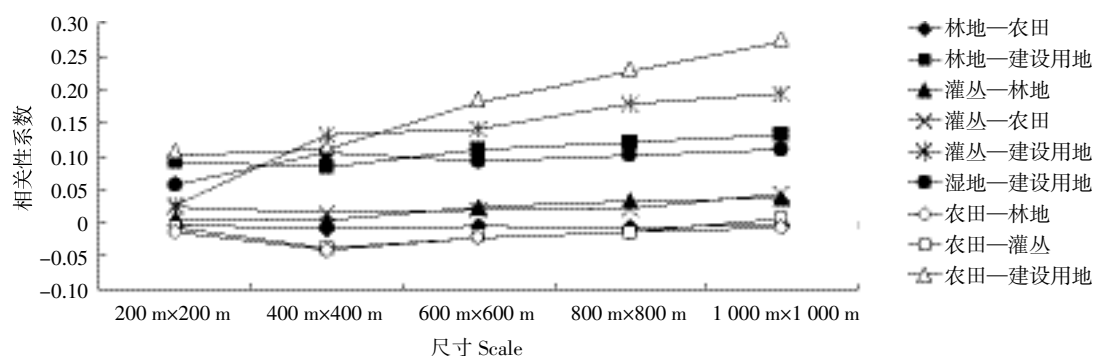


图 2 路网密度与土地利用变化面积指数之间的相关性分布图

Figure 2 The distribution of correlation between the road network density and ecosystem transformation

表 1 各尺度下道路网络密度与土地利用转换面积指数的相关性(Pearson 相关系数)

Table 1 Correlation between road network density and ecosystem transformation under multi-scale

土地利用类型 Landuse types	尺度 Scale				
	200 m × 200 m	400 m × 400 m	600 m × 600 m	800 m × 800 m	1 000 m × 1 000 m
林地—农田	-0.002	-0.009	-0.006	-0.007	-0.002
林地—建设用地	0.093**	0.084**	0.111**	0.121**	0.132**
灌丛—林地	0.006	0.003	0.024**	0.033**	0.037**
灌丛—农田	0.023	0.015*	0.019*	0.022*	0.044**
灌丛—建设用地	0.025*	0.133**	0.141**	0.178**	0.195**
湿地—建设用地	0.058**	0.106**	0.092**	0.102**	0.109**
农田—林地	-0.013	-0.04**	-0.023*	-0.014	-0.007
农田—灌丛	-0.007	-0.039	-0.023	-0.014	0.005
农田—建设用地	0.101**	0.110**	0.181**	0.227**	0.272**

注:“*”表示 $P < 0.05$ 相关;“**”表示 $P < 0.01$ 显著相关。

3),并选取林地向建设用地的转变、灌丛向建设用地的转变、湿地向建设用地的转变以及农田向建设用地的转变来分析不同研究尺度下道路网络影响区内的海拔特征、坡度特征和坡向特征。

从土地利用发生转变的高程来看,当林地转变为

建设用地时,高程主要集中在 230~360 m 之间;当灌丛转变为建设用地时,高程主要集中在 100~180 m;当湿地转变为建设用地时,高程主要集中在 60~100 m;当农田转变为建设用地时,高程主要集中在 110~200 m(表 2)。随着研究尺度的增大,土地利用发生转

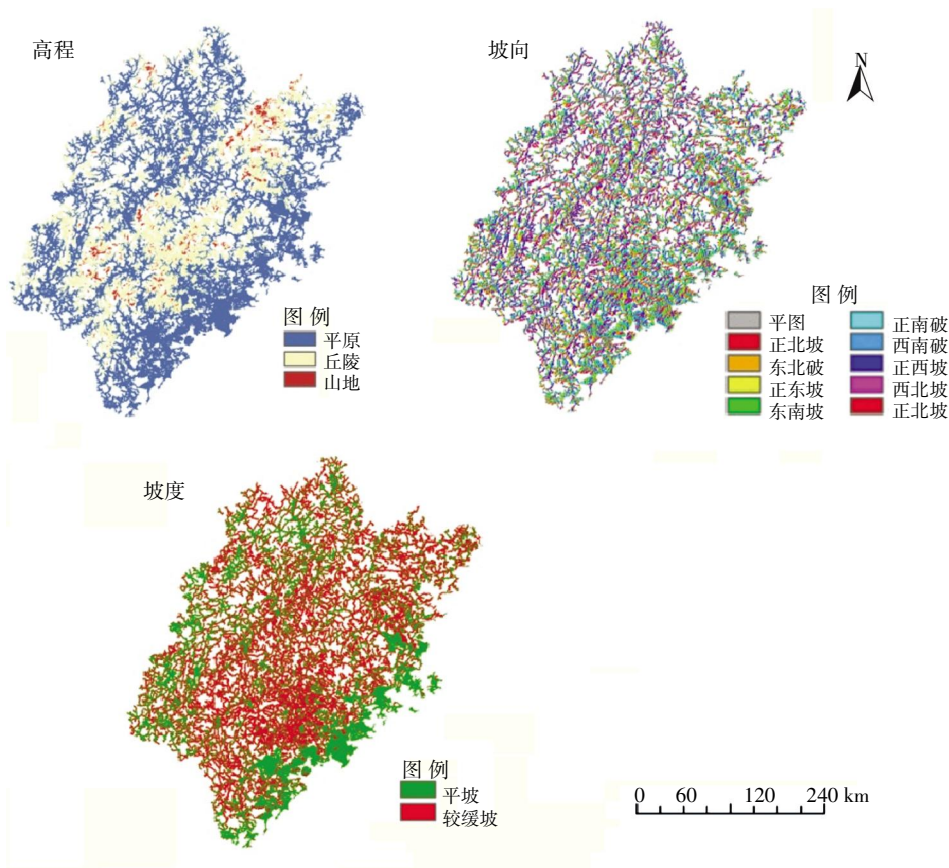


图 3 道路网络影响区域的高程、坡向和坡度图(以 400 m×400 m 尺度为例)

Figure 3 The map of elevation, aspect and slope in the areas impacted by the road networks (Using the scale of 400 m×400 m as an example)

表 2 不同尺度道路网络影响的地形特征

Table 2 The characteristics of terrain impacted by the road networks at different scales

土地利用类型 Landuse types		尺度 Scale				
		200 m × 200 m	400 m × 400 m	600 m × 600 m	800 m × 800 m	1 000 m × 1 000 m
林地—建设用地	高程 /m	353	231	239	238	240
	坡度 /°	6	3	3	2	2
	坡向 /°	173	174	177	179	180
灌丛—建设用地	高程 /m	178	103	123	114	116
	坡度 /°	3	2	2	1	1
	坡向 /°	171	171	173	173	174
湿地—建设用地	高程 /m	93	62	79	69	72
	坡度 /°	2	1	1	1	1
	坡向 /°	158	168	174	175	176
农田—建设用地	高程 /m	195	116	129	122	123
	坡度 /°	3	2	2	1	1
	坡向 /°	168	171	174	175	175

变的区域所对应的高程均逐渐趋于平稳;在相同的尺度下,林地向建设用地转变的区域具有最大的高程,湿地向建设用地转变的区域具有最小的高程(图 4)。

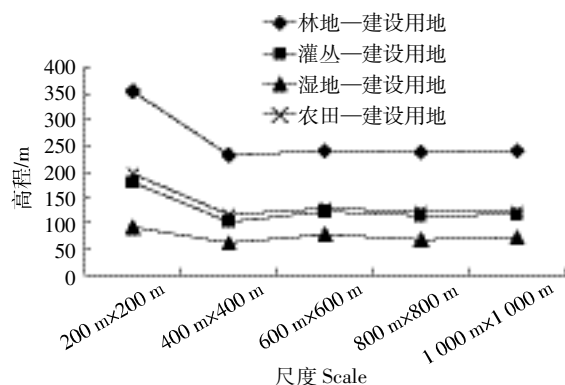


图 4 道路网络影响区域内的高程分布图

Figure 4 Distribution map of elevation within the region impacted by road networks

从土地利用发生转变的坡度来看(表 2),土地利用发生转变的区域所对应的坡度均在 7° 以下,根据《水土保持综合治理规划通则 GB/T 15772—1995》,该区域属于平坡和较缓坡。

根据坡向分级, -1° 为平面, $0^\circ \sim 22.5^\circ$ 为正北坡, $22.5^\circ \sim 67.5^\circ$ 为东北坡, $67.5^\circ \sim 112.5^\circ$ 为正东坡, $112.5^\circ \sim 157.5^\circ$ 为东南坡, $157.5^\circ \sim 202.5^\circ$ 为南坡, $202.5^\circ \sim 247.5^\circ$ 为西南坡, $247.5^\circ \sim 292.5^\circ$ 为西坡, $292.5^\circ \sim 337.5^\circ$ 为西北坡,因此,从土地利用发生转变的坡向来看(表 2),土地利用转变均发生在南坡($158^\circ \sim 180^\circ$)。

3.4 道路网络影响土地利用的阈值分析

选取以下相关程度较高的土地利用转变进行研

究:林地—建设用地、灌丛—建设用地、湿地—建设用地以及农田—建设用地。在不同研究尺度下,由于影响土地利用类型变化的路网密度在空间上分布不均匀,并且各个网格内的路网密度都不相同,因此,采用路网密度的均值来确定影响土地利用类型变化的路网密度阈值。

根据表 3,林地—建设用地、灌丛—建设用地、湿地—建设用地以及农田—建设用地的区域范围内,路网密度的阈值($\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$)随着研究尺度的增大没有明显变化,表明路网对土地利用的影响并未随着研究尺度的增大而有所减弱。其中,林地转变为建设用地时的路网密度阈值为 $1.98 \sim 2.27 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$;灌丛转变为建设用地时的路网密度阈值为 $2.29 \sim 2.92 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$;湿地转变为建设用地时的路网密度阈值为 $2.61 \sim 3.01 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$;农田转变为建设用地时的路网密度阈值为 $2.23 \sim 2.98 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$ 。在相同尺度下,林地转变为建设用地时的路网密度阈值最小,湿地转变为建设用地时的路网密度阈值最大,表明在这 4 种土地利用类型中,森林生态系统的抵抗力稳定性最大,而湿地生态系统的抵抗力稳定性最小。

4 结论

(1)道路网络对土地利用的影响范围为 1 000 m,超过 1 000 m 后,道路网络对土地利用的影响微弱或几乎没有影响。

(2)根据福建省路网密度与土地利用变化(2000—2010 年)的相关分析结果,路网密度与以下几类土地利用变化的相关程度较高:林地转变为建设用地、灌

表 3 道路网络密度统计表($\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$)

Table 3 The statistics of the density of road networks ($\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$)

土地利用类型 Landuse types		尺度 Scale				
		200 m × 200 m	400 m × 400 m	600 m × 600 m	800 m × 800 m	1 000 m × 1 000 m
林地—建设用地	Max	38.75	34.49	25.92	23.18	22.66
	Min	0	0	0	0	0
	Mean	2.27	2.16	2.13	2.07	1.98
灌丛—建设用地	Max	39.62	44.31	30.14	23.39	22.30
	Min	0	0	0	0	0
	Mean	2.29	2.92	2.69	2.53	2.41
湿地—建设用地	Max	53.84	33.45	28.81	26.26	20.60
	Min	0	0	0	0	0
	Mean	3.01	2.91	2.81	2.66	2.61
农田—建设用地	Max	48.21	32.52	30.14	25.36	24.22
	Min	0	0	0	0	0
	Mean	2.98	2.35	2.57	2.40	2.23

丛转变为建设用地、湿地转变为建设用地和农田转变为建设用地,即道路网络是影响这4类土地利用转变的主要原因,由于道路网络引起了两侧城市化和人类活动的加剧,从而使得土地利用主要向单一的建设用地转变。

(3)从土地利用发生转变的高程来看,随着研究尺度的增大,土地利用发生转变的区域所对应的高程均逐渐趋于平稳,其中,当林地转变为建设用地时,高程主要集中在230~360 m;当灌丛转变为建设用地时,高程主要集中在100~180 m;当湿地转变为建设用地时,高程主要集中在60~100 m;当农田转变为建设用地时,高程主要集中在110~200 m。在相同的尺度下,林地向建设用地转变的区域具有最高的高程,湿地向建设用地转变的区域具有最小的高程;从土地利用发生转变的坡度来看,土地利用转变均发生在坡度7°以下,属于平坡和较缓坡;从土地利用发生转变的坡向来看,土地利用发生转变的区域主要位于南坡。

(4)从路网密度的阈值来看,林地转变为建设用地时的路网密度阈值为 $1.98\sim 2.27\text{ km}\cdot\text{km}^{-2}$;灌丛转变为建设用地时的路网密度阈值为 $2.29\sim 2.92\text{ km}\cdot\text{km}^{-2}$;湿地转变为建设用地时的路网密度阈值为 $2.61\sim 3.01\text{ km}\cdot\text{km}^{-2}$;农田转变为建设用地时的路网密度阈值为 $2.23\sim 2.98\text{ km}\cdot\text{km}^{-2}$ 。在相同尺度下,林地转变为建设用地时的路网密度阈值最小,湿地转变为建设用地时的路网密度阈值最大,表明森林生态系统的抵抗力稳定性最大,而湿地生态系统的抵抗力稳定性最小。在不同的尺度下,路网密度的阈值没有明显变化,表明路网对土地利用的影响并未随着研究尺度的增大而有所减弱。

参考文献:

[1] CIA. The world factbook: 2009[R]. Central Intelligence Agency, Wash-

ington, D C.

- [2] Oxley D J, Fenton M B, Carmody G R. The effects of roads on populations of small mammals[J]. *Journal of Applied Ecology*, 1974, 11: 51-59.
- [3] Vestjens W J M. Wildlife mortality on a road in New South Wales[J]. *Emu*, 1973, 13: 107-112.
- [4] 梅晓丹. 浅谈 GIS 在道路生态学中的应用[J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报, 2004, 20(4): 105-108.
MEI Xiao-dan. Shallow talking about the application of GIS in road ecology[J]. *Natural Sciences Journal of Harbin Normal University*, 2004, 20(4): 105-108. (in Chinese)
- [5] 陈佑启, 杨 鹏. 国际上土地利用/土地覆被变化研究的新进展[J]. 经济地理, 2001, 21(1): 95-100.
CHEN You-qi, YANG Peng. Recent progress of international study on land use and land cover change (LUCC)[J]. *Economic Geography*, 2001, 21(1): 95-100. (in Chinese)
- [6] 蔡运龙. 土地利用/土地覆被变化研究: 寻求新的综合途径[J]. 地理研究, 2001, 20(6): 645-652.
CAI Yun-long. A study on land use/cover change: the need for a new integrated approach[J]. *Geographical Research*, 2001, 20(6): 645-652. (in Chinese)
- [7] 邵景安, 李阳兵. 区域土地利用变化驱动力研究前景展望[J]. 地球科学进展, 2007, 22(8): 798-809.
SHAO Jing-an, LI Yang-bing. The drivers of land use change at regional scale: assessment and prospects[J]. *Advances in Earth Science*, 2007, 22(8): 798-809. (in Chinese)
- [8] 郑 钰, 李晓文, 崔保山, 等. 云南纵向岭谷区道路网络对土地利用影响的阈值分析[J]. 生态学报, 2009, 29(11): 5823-5831.
ZHENG Yue, LI Xiao-wen, CUI Bao-shan, et al. The influential threshold of road network impacts on the ecosystem in longitudinal range-gorge region of Yunnan Province, China[J]. *Acta Ecological Sinica*, 2009, 29(11): 5823-5831. (in Chinese)
- [9] 刘世梁, 温敏霞, 崔保山, 等. 道路网络扩展对区域生态系统的影响—以景洪市纵向岭谷区为例[J]. 生态学报, 2006, 26(9): 3018-3024.
LIU Shi-liang, WEN Min-xia, CUI Bao-shan, et al. Effects of road networks on regional ecosystems in southwest mountain area: a case study in Jinghong of longitudinal range-gorge region[J]. *Acta Ecological Sinica*, 2006, 26(9): 3018-3024. (in Chinese)