

•研究报告•

# 基于倾向评分分配比法评估苍山自然保护区的森林保护成效

陈 冰 刘方正 张玉波 杜金鸿 王 伟\* 李俊生

(中国环境科学研究院生物多样性研究中心, 北京 100012)

**摘要:** 对自然保护区的定期评估有助于提升其管理和保护水平。本研究以苍山自然保护区所在的大理市、洱源县、漾濞县3个市/县作为子研究区域, 构建了基于倾向评分分配比(propensity score matching)和配对 $t$ -检验(paired-samples  $t$ -test)的保护成效评估技术方案。选取海拔、坡度、与最近居民点的距离、与最近道路的距离4个因子作为环境变量, 通过对每个县单独进行分析, 分别对比了自然保护区晋升国家级时(1995年)与20年后(2015年)其森林覆盖面积的变化, 以此来评估苍山自然保护区的森林保护成效, 并对各环境变量与森林覆盖变化值的关系进行了偏相关分析(partial correlation analysis)。结果表明: 大理市境内苍山自然保护区内的森林覆盖变化值显著高于保护区外部, 且该区段的森林覆盖率最高。洱源县境内苍山自然保护区内、外的森林覆盖变化率均高于其他2个市/县, 且保护区内、外森林覆盖变化值差异不显著。漾濞县境内苍山自然保护区内、外森林覆盖变化率最低, 但其保护区外0–10 km区域的森林覆盖变化值显著高于10 km以外区域, 保护区的存在对其周边0–10 km区域产生了正面的溢出效应(neighborhood leakage)。海拔、坡度、与最近居民点的距离、与最近道路的距离4个协变量在3个市/县的不同研究区段内均与森林覆盖变化值呈现出了不同程度的相关性。本研究所采用的倾向评分分配比法和按照行政区划对自然保护区分区进行评估的方法, 为自然保护区整体保护成效的评价提供了新的技术思路。

**关键词:** 倾向评分分配比; 溢出效应; 保护成效; 森林覆盖变化

## Assessment of forest conservation in the Cangshan Nature Reserve based on propensity score matching

Bing Chen, Fangzheng Liu, Yubo Zhang, Jinhong Du, Wei Wang\*, Junsheng Li

Biodiversity Research Center, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012

**Abstract:** The establishment of protected areas is one of the most common measures of biodiversity conservation. Regular assessment can help improve management and promote conservation in protected areas. According to administrative divisions, we divided the Cangshan Nature Reserve into three parts: Dali City, Eryuan County and Yangbi County, as sub-study areas. The evaluation was based on propensity score matching and paired-samples  $t$ -test. Elevation, slope, distance to the nearest settlement, and distance to the nearest road were four chosen covariates. Since the Cangshan Nature Reserve was upgraded to the national level in 1994, we compared forest changes between 1995 and 2015. Partial correlation analysis was carried out between each covariate and forest change to analyze the impact factors. Results indicated that in Dali City, the forest change value inside the Cangshan Nature Reserve was significantly higher than that found outside. Forest coverage inside the Cangshan Nature Reserve in Dali City was the highest among all regions. The forest change rates both inside and outside the Cangshan Nature Reserve in Eryuan County were higher than the other two counties. There was no significant difference in forest change value between areas inside and outside of the nature reserve in Eryuan County. In Yangbi County, the forest change rates both inside and outside of Cangshan Nature Reserve were the lowest among three counties, but the forest change value found within 10 km outside of the nature reserve was significantly higher than that found in areas beyond 10 km,

收稿日期: 2017-03-20; 接受日期: 2017-05-17

基金项目: 国家自然科学基金(31300453)

\* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: wang.wei@craes.org.cn

which indicates that the existence of the Cangshan Nature Reserve performed positive neighborhood leakage in surrounding areas within 10 km. The four covariates all affected forest change in different areas in a variety of ways. The propensity score matching and sub-regional methodology for the assessment of the Cangshan Nature Reserve provided a new technical method and example for other conservation assessment studies.

**Key words:** propensity score matching; neighborhood leakage; assessment of conservation; forest coverage change

自然保护区是保护地的重要类型之一,也是保护生物多样性的重要手段(Geldmann et al, 2013; Pouzols et al, 2014)。根据《生物多样性公约》爱知目标第11条,到2020年全球自然保护地的面积将达到全球陆地面积的17% (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2014)。然而,经济的迅猛发展和城镇化的快速扩张使生物多样性保护的形势更加严峻和紧迫(Pouzols et al, 2014)。如何使用现有的保护形式和管理措施最大限度地发挥效用,是政府管理和决策的关键议题,也是研究人员的重要课题。为此,需要对自然保护区定期开展评估,了解其管护效果,从而为改进管理措施和提升保护效果提供科学依据(Ervin, 2003; 马克平, 2016)。

近年来的保护成效研究多以自然保护区本身为主,而针对自然保护区对周边邻近区域的影响方面的研究相对缺乏(Bruner et al, 2001; Naughton-Treves et al, 2005; Nagendra, 2008)。王伟等(2016)提出了通过简单的自然保护区建立前后或保护区内外的对比分析开展自然保护区评估,但这难以准确评估保护区的保护成效。Andam等(2008)在哥斯达黎加开展的关于保护区对森林保护成效的研究也证实,简单的内外对比分析过高地估计了自然保护区的保护效果。还有一些研究表明,保护区的存在会对其周边未保护区域产生不同程度的影响,可能使原本发生在保护区范围的森林破坏行为转移至周边区域,导致其周边区域森林丧失率升高(Ewers & Rodrigues, 2008),也可能使其周边邻近区域森林丧失率显著低于距离保护区较远的区域(Gaveau et al, 2009)。这种负面或正面溢出效应(neighbourhood leakage)的存在使越来越多的学者意识到,将自然保护区及其周边区域作为一个整体考虑,对评价自然保护区的整体保护效果具有重要意义(Andam et al, 2008; Gaveau et al, 2009; Wang et al, 2013)。

通常情况下,自然保护区与其周边区域环境因素差异较大(Joppa & Pfaff, 2010),为了避免气候、土壤、生物等环境因素对评估结果的影响,一些学者提出了匹配(matching)的分析方法,并将其应用在自然保护区森林保护成效的评估中(Gaveau et al, 2009; Joppa & Pfaff, 2009, 2010; Ren et al, 2015),该方法已成为近年来提升自然保护地保护成效评估准确度的重要分析方法(Coetzee et al, 2014; 王伟等, 2016)。倾向评分配比(propensity score matching, PSM)作为openness的算法之一(Imbens, 2004; Gaveau et al, 2009),是一种可在非随机对照研究中涉及较多混杂因素的情况下作因果推断的方法,在医学、心理学、社会学等领域的应用日趋广泛(黄福强等, 2015)。通过配比,可以最大限度地减轻处理组和对照组间的不均衡性(Randolph et al, 2014)。然而,目前应用倾向评分配比开展自然保护区保护成效的研究还相对较少。

本研究以云南苍山自然保护区为案例,尝试基于倾向评分配比对其保护成效进行评估。由于苍山自然保护区内、外地形差异较大,倾向评分配比能够减小地形因素导致的森林变化差异,从而使对比结果更加可信。此外,苍山自然保护区地跨大理市、洱源县、漾濞县3市/县,不同县域人口分布特征、居民生产生活方式、经济发展水平不一,且保护区位于不同县域范围内的区域分别由当地保护区管理局管理,这些因素均有可能对保护区的森林覆盖变化和保护成效带来潜在的影响。为此,本研究以大理市、洱源县、漾濞县3个市/县作为子研究区域,构建了基于倾向评分配比和配对 $t$ 检验(paired-samples  $t$ -test)的保护成效评估技术方案,通过对每个县单独进行分析,分别对比了自然保护区晋升国家级时(1995年)与20年后(2015年)森林覆盖面积的变化及其影响因素,以此来评估苍山自然保护区的森林保护成效。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究地概况

苍山自然保护区(99°55′–100°12′ E, 25°34′–26°00′ N)位于云南省大理白族自治州(以下简称大理州)境内,属横断山系云岭山脉东支的南端,东邻云贵高原,山体走势呈南北方向,绵延45 km,东西宽约10 km,横列于洱海与漾濞江之间。苍山自然保护区地跨2县1市,西坡为漾濞县,东坡和南端为大理市,北端为洱源县,是该区域唯一的国家级自然保护区(<http://www.zhb.gov.cn/stbh/zrbhq/qgzrbhqml/201611/P020161125559865886359.pdf>)。苍山自然保护区山体坡度大,峰峭谷窄,海拔1,560–4,122 m,属中亚热带西南季风气候带,生物多样性十分丰富(孙明, 2008)。1981年经云南省人民政府批准,苍山和洱海共同建立省级自然保护区,1994年经国务院批准晋升为国家级自然保护区(沈兵, 1998)。本研究以苍山自然保护区涉及的大理、洱源、漾濞3个市/县为研究区域。

### 1.2 研究方法

以苍山自然保护区晋级后20年间的森林面积变化趋势为评价指标,利用倾向评分分配比法对保护区内、外数据进行匹配,筛选出最佳配对数据。通过配对 $t$ 检验分析苍山自然保护区内、外森林覆盖面积的变化趋势,从而评估3个市/县境内苍山自然保护区森林的保护成效及其对周边区域的影响,并利用偏相关分析(partial correlation analysis)探究了不同区域内影响森林面积变化的环境因素。

#### 1.2.1 数据来源及处理

##### 1.2.1.1 环境变量获取

根据前人在森林和自然保护区保护成效方面的研究(Mas, 2005; Soares-Filho et al, 2006; Ren et al, 2015),结合苍山的自然地理情况(孙明, 2008),选取海拔、坡度、与最近居民点的距离和与最近道路的距离4个因子进行相关性分析,确定了本文的环境变量。道路和居民点的数据来源于2013年5–7月大理大学在苍山及其周边区域开展的实地调查资料。利用ArcGIS V9.3 (ESRI, 2009)对研究区域进行网格化处理,使每个网格的面积为1 km<sup>2</sup>,舍弃边缘不完整的网格。对保护区内网格赋值为1,保护区外网格赋值为0。通过将网格与30 m分辨率DEM数据叠加,实现对研究区域海拔、坡度因子的信息提

取。利用Near工具计算每个网格距居民点和道路的距离。

##### 1.2.1.2 森林覆盖数据

选取1995年(Landsat4-5 TM)和2015年(Landsat8 OLI\_TRIS)冬季两个时段的遥感影像数据。1995年的影像训练样区基于高清的Google Earth通过手动勾画矢量图层获得,2015年影像训练数据的选取通过实地调查和自主研发的六旋翼无人机等方式实现。应用R软件的随机森林(random forest)程序包提取林冠郁闭度 $\geq 70\%$ 的林地,得到森林覆盖栅格图层(Reese et al, 2002; Ren et al, 2015; Wang et al, 2016)。利用randfor算法检验错分误差(OOB, estimate of error rate),1995年影像的错分误差为12.14%,2015年影像的错分误差为6.71%。将解译形成的两个时段的森林覆盖栅格数据均重采样至1 ha,通过栅格图层与矢量网格的叠加,计算每个网格的森林覆盖面积。舍弃1995年和2015年森林覆盖面积均为0值的网格,获得有效森林覆盖数据。

##### 1.2.2 森林覆盖变化分析

将每个子研究区域的全部有效森林覆盖数据均分为保护区内、外两个部分,根据以下公式分别计算每个子研究区域保护区内、外1995年和2015年的森林覆盖率( $r$ , forest coverage)、20年间的森林覆盖变化值( $V$ , forest coverage change)及其变化率( $R$ , forest change rate)。通过对3个子研究区域苍山自然保护区内、外森林覆盖变化各指标值进行对比分析,获得苍山自然保护区在各市/县的森林覆盖变化整体情况。

$$r = A_f/A_s \quad (1)$$

$$V = A_{f2015} - A_{f1995} \quad (2)$$

$$R = \left( \frac{V}{A_{f1995}} \right) \times 100\% \quad (3)$$

其中, $A_f$ 为森林覆盖面积, $A_s$ 为子研究区域的面积。

#### 1.2.3 森林保护成效

##### 1.2.3.1 倾向评分分配比

根据早期研究成果,保护区边缘的溢出效应主要发生在保护区外0–10 km的范围内(Bruner et al, 2001; Nepstad et al, 2006; Nagendra, 2008; Clements et al, 2014),为此我们将每个子研究区域分为3个区段:保护区内(A)、保护区外0–10 km (B)、保护区10 km 以外(C)。通过安装与IBM SPSS Statistics (SPSS, V22.0)对应版本的R2.15.1软件和插件,以及实现倾

向评分分配比所需的optmatch和digest程序包,使用最邻近匹配法(nearest neighbor matching)对数据进行倾向评分分配比(Hansen & Klopfer, 2006; Hansen & Bowers, 2008; Ho et al, 2011)。分类处理中将受保护或受到保护作用影响的区域作为处理组(赋值为1),非保护区域作为对照组(赋值为0)。本研究中,A区域属于完全受保护区域,B区域可能受到溢出效应的影响,相对于A和B,C更倾向于是一个开放的、未受到特别保护、也不受保护区溢出效应影响的区域。因此,在A与C、B与C的配比中,将C作为对照组、A和B作为处理组;而在A与B的配比中,A是确定受到保护的区域,B则属于不确定受到溢出效应影响的未知区域,故将A作为处理组,B作为对照组。协变量为海拔、坡度、与最近居民点的距离和与最近道路的距离,卡钳值(caliper)设为0.2。通过评分分布图、评分分布直方图和标准差分布直方图检验匹配结果,从而实现三组样本两两之间的配比,筛选出协变量条件相似的最佳样本对。

将每个子研究区域的三组最佳配对样本对依次导入SPSS软件,对配对样本间的因变量即森林覆盖变化值进行配对 $t$ 检验,通过均值比较分析和差异对比的显著性来比较各子研究区域内不同区段间森林保护成效的差异,以此评估不同县域管辖范围内的苍山自然保护区森林保护成效。若配对 $t$ 检验结果达到 $P < 0.05$ ,则表明两个研究区段的森林保护成效差异显著。若 $A > B$ , $A > C$ ,则表明苍山自然保护区内的森林保护成效好于保护区外部。若 $A < B$ , $A > C$ , $B > C$ ,表明苍山自然保护区对其周边0–10 km区域产生了正面的溢出效应。若 $A < B$ , $A < C$ ,则表明苍山自然保护区外部的森林保护成效好于保护区内部。

#### 1.2.3.2 保护成效差异分析

偏相关分析方法能够准确判断每一个协变量与因变量的相关性,并剔除其他协变量的干扰(Wang et al, 2013)。为了进一步分析影响不同县域管辖范围内苍山自然保护区森林保护成效差异的原因,本研究采用偏相关分析的方法,比较了不同组别森林变化差异的影响因素,尝试进一步解读保护区溢出效应的作用机理。具体方法是针对不同子研究区域的每个区段,依次分析每个环境变量与森林覆盖变化值之间的偏相关关系,其余变量作为控制变量。

## 2 结果

### 2.1 森林覆盖变化

1995年和2015年大理、洱源、漾濞3个市/县的森林覆盖总体情况如图1所示。1995年,漾濞县境内苍山自然保护区内、外的森林覆盖率在三市/县中均为最高。2015年,苍山自然保护区位于3个市/县辖区内的森林覆盖率均达到74%以上,其中大理市境内苍山自然保护区范围内的森林覆盖率最高(79.73%)。苍山自然保护区外部森林覆盖率最高的为漾濞县(51.66%)。20年间,3个市/县的森林覆盖面积总体呈增加趋势,只在苍山自然保护区漾濞县境内有微弱减少(-2.80%)。森林覆盖变化率以洱源县境内苍山自然保护区外部为最高(14.66%) (表1)。

### 2.2 森林保护成效

对数据进行倾向评分分配比后,大理市、洱源县、漾濞县3个研究区段(A、B、C)共9组数据间均实现了最佳匹配,倾向分数分布直方图和标准差分布直方图匹配效果良好且均符合正态分布。通过配比,筛选出了环境变量条件最接近的样本,删掉了大量环境变量差异较大的样本,配比结果如表2所示。

森林保护成效研究结果表明:(1)苍山自然保护区位于大理市境内的森林保护成效较好,保护区内的森林覆盖变化均值高于保护区外部,且与0–10 km范围( $P = 0.002$ )和10 km以外的范围( $P = 0.003$ )相比均表现出了显著差异。(2)苍山自然保护区位于洱源县境内的森林保护成效未与保护区外部形成显著差异( $P > 0.05$ ),且均值分析结果显示保护区内部和保护区周边0–10 km范围内区域的森林覆盖变化均值均低于保护区10 km以外范围。(3)苍山自然保护区位于漾濞县境内的森林保护成效虽未与保护区外部形成显著差异( $P > 0.05$ ),但保护区的存在却对其周边0–10 km范围内区域产生了正面溢出效应,其周边10 km范围内区域的森林覆盖变化均值略高于保护区内部并显著高于保护区10 km以外区域( $P = 0.006$ ) (表3, 图2)。

偏相关分析结果表明,海拔、坡度、与最近居民点的距离、与最近道路的距离4个协变量在3个市/县不同研究区段内均与森林覆盖变化值呈现了不同程度的相关性。(1)大理市境内苍山自然保护区范围内的森林覆盖变化主要受到海拔和与最近道路的距离影响,与二者均呈显著负相关;而在保护区

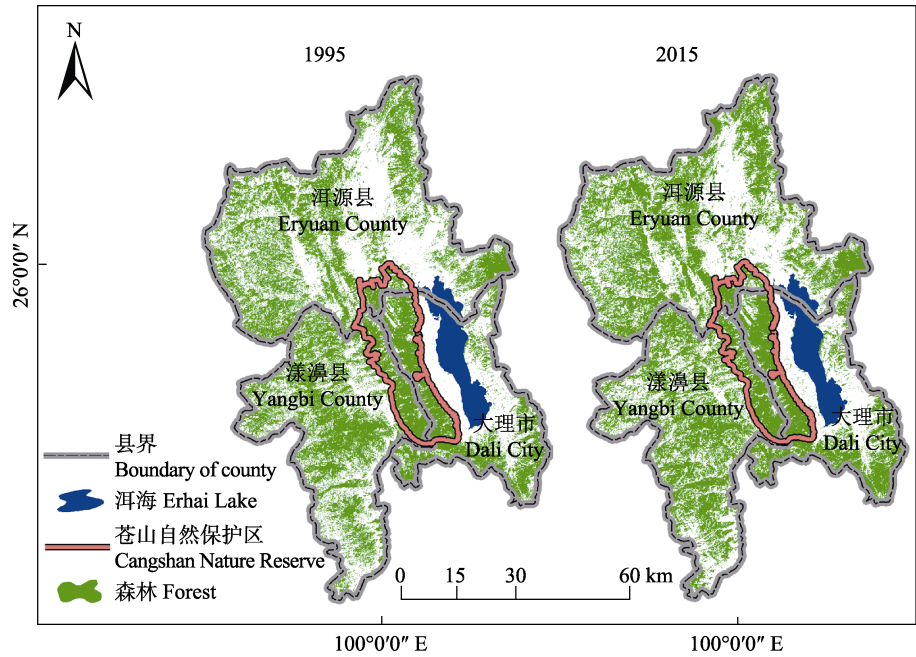


图1 1995年和2015年大理、洱源、漾濞3个市/县的森林覆盖图

Fig. 1 Forest coverage of Dali City, Eryuan County and Yangbi County in 1995 and 2015

表1 1995–2015年间大理市、洱源县和漾濞县苍山自然保护区内、外森林覆盖总体情况

Table 1 Overall condition of forest coverage inside and outside of Cangshan Nature Reserve in Dali City, Eryuan County and Yangbi County during 1995–2015

子研究区域 Sub-study area			1995		2015		森林覆盖变化	森林变化率
			森林面积 Forest area (km <sup>2</sup> )	森林覆盖率 Forest coverage	森林面积 Forest area (km <sup>2</sup> )	森林覆盖率 Forest coverage	值 Forest cov- erage change (km <sup>2</sup> )	Forest change rate
大理市 Dali City	保护区内 Inside	166.15	78.74%	168.24	79.73%	2.09	1.26%	
	保护区外 Outside	284.05	28.61%	320.33	32.26%	36.28	12.77%	
洱源县 Eryuan County	保护区内 Inside	32.73	71.15%	34.43	74.85%	1.700	5.19%	
	保护区外 Outside	1004.14	38.86%	1151.36	44.56%	147.22	14.66%	
漾濞县 Yangbi County	保护区内 Inside	117.26	80.32%	113.98	78.07%	-3.28	-2.80%	
	保护区外 Outside	740.91	49.26%	776.95	51.66%	36.04	4.86%	

表2 大理市(D)、洱源县(E)、漾濞县(Y) 3个研究区段间的倾向评分分配比结果。A指保护区内; B指保护区外0–10 km; C指保护区10 km以外。表中数值为样本数, 即网格数。

Table 2 Result of propensity score matching of three survey regions in Dali City (D), Eryuan County (E) and Yangbi County (Y). A refers to areas inside Cangshan Nature Reserve; B refers to areas within 10 km outside of Cangshan Nature Reserve; C refers to areas beyond 10 km from Cangshan Nature Reserve. Numbers in the table are sample values, which refers to the number of grids.

研究区段 Survey region	匹配前 Before matching		匹配成功 Matched		未匹配成功 Unmatched	
	对照组 Control	处理组 Treated	对照组 Control	处理组 Treated	对照组 Control	处理组 Treated
DA_DB	336	211	26	26	310	185
DA_DC	465	211	36	36	429	175
DB_DC	465	336	232	232	233	104
EA_EB	428	46	40	40	388	6
EA_EC	2,050	46	45	45	2,005	1
EB_EC	2,050	428	414	414	1,636	14
YA_YB	352	146	16	16	336	130
YA_YC	1,152	146	34	34	1,118	112
YB_YC	1152	352	338	338	814	14

表3 大理市(D)、洱源县(E)和漾濞县(Y)各研究区段1995–2015年间森林覆盖变化值配对*t*检验结果。A指保护区内; B指保护区外0–10 km; C指保护区10 km以外。

Table 3 Results of paired-samples *t*-test of forest coverage change during 1995–2015 among three survey regions in Dali City (D), Eryuan County (E) and Yangbi County (Y). A refers to areas inside Cangshan Nature Reserve; B refers to areas within 10 km outside of Cangshan Nature Reserve; C refers to areas beyond 10 km from Cangshan Nature Reserve.

	DA_DB	DA_DC	DB_DC	EA_EB	EA_EC	EB_EC	YA_YB	YA_YC	YB_YC
<i>t</i>	3.553	3.187	0.535	0.246	−1.359	−1.943	−0.970	0.283	2.772
<i>df</i>	25	35	231	39	44	413	15	33	337
<i>P</i>	0.002*	0.003*	0.593	0.807	0.181	0.053	0.347	0.779	0.006*

\**P* < 0.05.

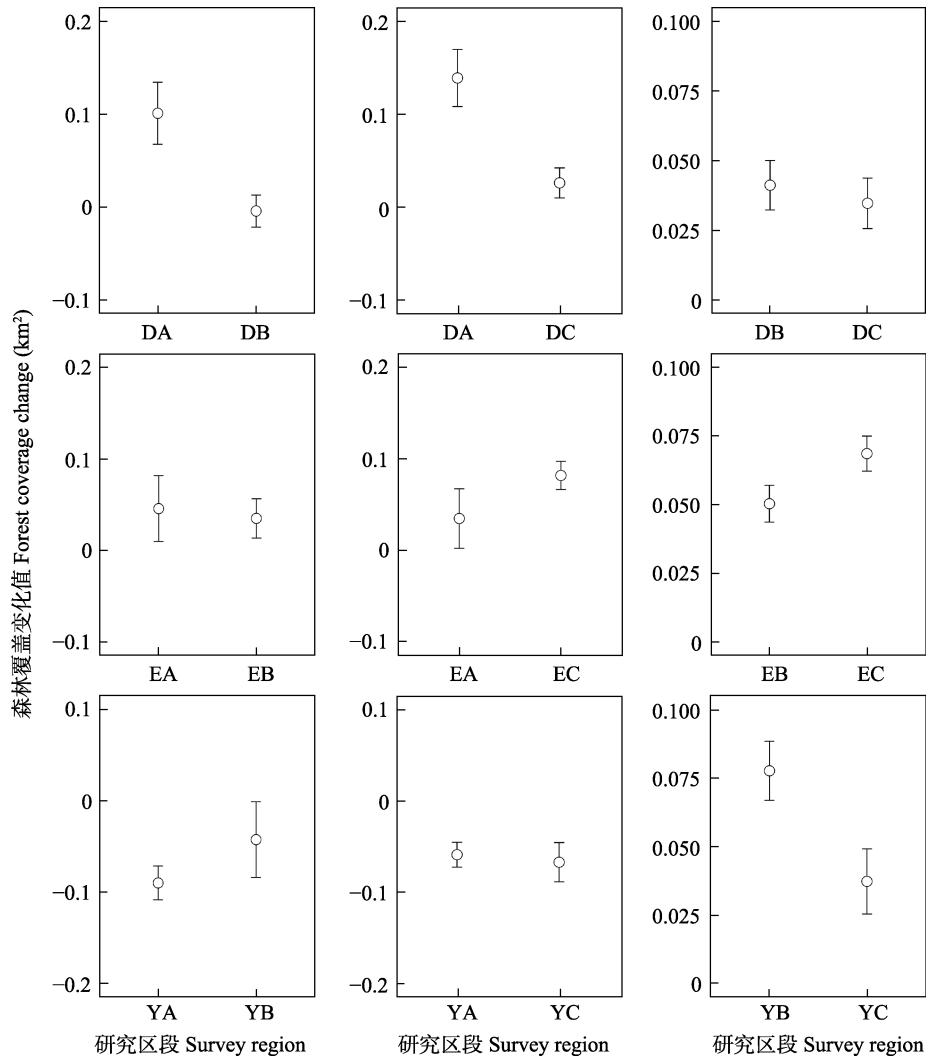


图2 大理市(D)、洱源县(E)、漾濞县(Y)各研究区段1995–2015年森林覆盖变化均值对比(平均值 ± SD)。A指保护区内; B指保护区外0–10 km; C指保护区10 km以外。

Fig. 2 Comparison of forest coverage change during 1995–2015 inside Cangshan Nature Reserve among three survey regions in Dali City (D), Eryuan County (E) and Yangbi County (Y) (mean ± SD). A refers to areas inside Cangshan Nature Reserve; B refers to areas within 10 km outside of Cangshan Nature Reserve; C refers to areas beyond 10km from Cangshan Nature Reserve.

外0–10 km范围内, 森林覆盖变化值和海拔及与最近居民点的距离均呈显著负相关, 与坡度呈显著正相关。(2)洱源县境内苍山自然保护区范围内影响森林覆盖变化的主要为地形因子。在保护区外0–10 km

范围内, 除海拔与坡度因子表现出与保护区内部相似的相关性外, 还和与最近居民点的距离呈现显著正相关; 在保护区10 km范围以外, 森林覆盖变化受海拔、与最近居民点和道路的距离的影响均极为

显著。(3)漾濞县境内的森林覆盖变化值在苍山自然保护区范围内和与最近道路的距离呈显著负相关,在保护区外0–10 km范围内与海拔呈显著负相关,而在保护区10 km范围以外则与这两个因子都表现了显著的负相关性(附录1)。

### 3 讨论

#### 3.1 倾向评分匹配法意义

由于受到周边区域气候、土壤、生物等环境因素差异的影响,仅通过简单的自然保护区建立前后或自然保护区内外的对比分析,难以准确判断相关指标的变化是保护工作取得的成效,还是由于环境因素差异导致的(王伟等, 2016)。本研究采用的倾向评分分配比法有效地避免了这一问题。Gaveau等(2009)在对印度尼西亚苏门答腊岛自然保护区及其周边森林丧失率的对比研究中,采用非参数检验的方法评估了倾向评分分配比的效果,发现匹配前两组样本之间存在的显著差异在匹配后得以消失,在此基础上的进一步分析表明,该地区的保护区取得了较好的保护成效,保护区内及其周边区域的森林丧失率均显著低于距离保护区更远的区域。相比于辛利娟等(2015)基于“压力–状态–响应”(PSR)模型对苍山自然保护区保护成效的研究,本研究应用的倾向评分分配比法增强了影响因子分析的客观性和科学性,且按照行政区划单独对苍山自然保护区的森林保护成效进行分析,也使评估结果更为公平,使今后的管护更具针对性。

#### 3.2 不同县域文化经济背景的影响

自然保护区的保护成效往往受到当地局部因素的影响,或与特定的环境密切相关(Gaston et al, 2008; Caro et al, 2009)。大理州是以白族为主的少数民族自治州,各县域人口分布特征、居民生产生活习惯和经济发展水平不一,均在一定程度上影响了森林覆盖的变幅,而经济发展水平也在一定程度上决定了自然保护区日常管护设施建设及管理的能力水平。大理市作为大理州的州府所在地,经济发展水平和城镇化水平均较高,开发建设活动频繁,因此苍山自然保护区大理市境内的森林保护成效显著好于保护区外部。洱源县是洱海的发源地,生态地位重要,洱源县委、县政府高度重视生态与环保工作,因此,其境内苍山自然保护区内、外的森林保护成效差异不显著,且保护区内、外森林覆盖

变化率在3市/县中均为最高,总体保护成效较好。漾濞县在1995年自然保护区内部和外部的森林覆盖率均位于3市/县之首,森林覆盖变化率基数较大,因此其保护区内、外森林覆盖变化率在3市/县中均为最低。位于该县境内的苍山自然保护区范围内森林覆盖面积减少,推测属于正常森林演替现象,或是遥感解译造成的微小误差,或由于苍山地区频发的火灾导致。在漾濞县,苍山自然保护区的存在对于其周边0–10 km区域形成了正面溢出效应,且显著高于10 km以外区域,说明苍山自然保护区的建设对于该县生态保护水平的提升具有重要意义。

#### 3.3 溢出效应分析

溢出效应的存在已在多项研究中得到证实(Bruner et al, 2001; Andam et al, 2008; Ewers & Rodrigues, 2008; Wang et al, 2013)。负面溢出效应产生的原因有多种,可能是由于自然保护区的建立,使原住民迁移至周边区域,从而加大了周边区域人类活动强度,造成了森林丧失率的转移(Brockington & Igoe, 2006);也可能是由于自然保护区良好的生态环境,吸引了一些开发投资者及外来人口在周边区域聚集,导致开发和建设强度增大,从而导致森林覆盖面积的减少(Armstrong et al, 2006; Wittemyer et al, 2008)。而正面溢出效应的产生,一方面可能是由于自然保护区的存在,带来了相关保护政策和管理水平的提升,提高了附近区域整体的保护水平,从而有效地限制了该地区的土地开垦,也在一定程度上减轻了砍伐、狩猎、火灾和放牧的程度(Bruner et al, 2001);另一方面可能是自然保护区周围人工林的建设和人为生态恢复工程如飞机播种等原因导致。本研究中苍山自然保护区在漾濞县产生正面溢出效应的原因推测为二者兼而有之。

#### 3.4 不同环境变量的作用方式

本研究所选的海拔、坡度、与最近道路的距离以及与最近居民点的距离等4个协变量均与森林覆盖变化值之间表现出了不同程度的相关性,我们尝试对关系显著( $P < 0.05$ )的变量进行了原因分析。主要包括:(1)森林覆盖变化值与海拔均呈负相关,即海拔越高,森林覆盖变化值越小(增加值越少)。究其原因有两种可能情况:一种可能是由于海拔高的区域,其本身森林覆盖面积已经很大,甚至已经达到饱和,因此在后期的恢复过程中自然增加较少;另一种可能是由于苍山平均海拔较高,3,500 m以上



常年积雪,保留着典型的冰蚀地形,植被很难恢复。(2)森林覆盖变化值与坡度呈正相关,即坡度越小的地方,可能受到的人为干扰越多,则森林覆盖变化值越小(增加值越少)。(3)森林覆盖变化值和与最近道路的距离呈负相关,即距离道路越近的区域,森林覆盖变化值越大(增加值越多),其原因可能是交通越便利的地方,人工造林的面积越大,因此森林面积增加得越多。(4)森林覆盖变化值和与最近居民点的距离在不同地区呈现了不同的相关性,分析其原因可能是由于不同地区人类生产生活方式和生活习惯不同导致。

### 3.5 评估对象的选择依据

自然保护区的保护成效研究主要以生态系统和物种作为评估对象(王伟等, 2016), 而基于森林生态系统的相关研究往往以森林丧失速率和森林覆盖变化为评估指标(Nagendra, 2008; Gaveau et al, 2009; Wang et al, 2013; Ren et al, 2015)。大理州自1998年开始实施天然林资源保护工程至今, 全面停止天然林商品性采伐, 并通过封山育林、人工造林和森林管护等措施对该区域生态环境进行保护和恢复(武冉, 2011), 因此对于其森林变化的评估, 采用森林覆盖变化值明显比森林丧失速率的指标更为适用。但是, 相比于Coetsee等(2014)运用单个物种种群数量、多个物种种群数量、物种丰富度等3个关键指标对于全球保护地开展的生态保护成效的研究, 单纯森林覆盖率的比较在一定程度上来说仍显得不足。此外, 由于本研究未对主要林型(如针叶林和阔叶林)和森林生态系统类型(天然林和人工林)进行更加精确的区分, 单纯的森林面积增加并不能代表该地区生态系统服务功能的增加。受飞机播种等人工造林行为的影响, 若森林覆盖面积的增加以某一优势种为主, 则在某种程度上可以认为造成了生态功能的减少。因此, 在下一步的研究中, 我们将丰富评价指标, 对林地进行更精确的区分, 并探索将生态系统服务功能的价值评估与森林保护成效评估系统地结合起来。

**致谢:** 大理大学东喜马拉雅资源与环境研究所在2013年在苍山及其周边区域开展了实地调查, 并提供了本研究所需的道路及居民点数据, 特此致谢。

### 参考文献

- Andam KS, Ferraro PJ, Pfaff A, Sanchez-Azofeifa GA, Robalino J (2008) Measuring the effectiveness of protected areas networks in reducing deforestation. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 105, 16089–16094.
- Armstrong PR, Daily GC, Kareiva P, Sanchirico JN (2006) Land market feedbacks can undermine biodiversity conservation. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 103, 5403–5408.
- Brockington D, Igoe J (2006) Eviction for conservation: a global overview. *Conservation and Society*, 4, 424–470.
- Bruner AG, Gullison RE, Rice RE, da Fonseca GAB (2001) Effectiveness of parks in protecting tropical biodiversity. *Science*, 291, 125–128.
- Caro TM, Gardner TA, Stoner C, Fitzherbert EB, Davenport TRB (2009) Assessing the effectiveness of protected areas: paradoxes call for pluralism in evaluating conservation performance. *Diversity and Distributions*, 15, 178–182.
- Clements T, Suon S, Wilkie DS, Milner-Gulland EJ (2014) Impacts of protected areas on local livelihoods in Cambodia. *World Development*, 64, S125–S134.
- Coetsee BW, Gaston KJ, Chown SL (2014) Local scale comparisons of biodiversity as a test for global protected area ecological performance: a meta-analysis. *PLoS ONE*, 9, e105824.
- Ervin J (2003) Rapid assessment of protected area management effectiveness in four countries. *BioScience*, 53, 833–841.
- Ewers RM, Rodrigues ASL (2008) Estimates of reserve effectiveness are confounded by leakage. *Trends in Ecology & Evolution*, 23, 113–116.
- Gaston KJ, Jackson SF, Cantú-salazar G, Cruz-piñón G (2008) The ecological performance of protected areas. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 39, 93–113.
- Gaveau DLA, Epting J, Lyne O, Linkie M, Kumara I, Kanninen M, Leader-Williams N (2009) Evaluating whether protected areas reduce tropical deforestation in Sumatra. *Journal of Biogeography*, 36, 2165–2175.
- Geldmann J, Barnes M, Coad L, Craigie ID, Hockings M, Burgess ND (2013) Effectiveness of terrestrial protected areas in reducing habitat loss and population declines. *Biological Conservation*, 161, 230–238.
- Hansen BB, Bowers J (2008) Covariate balance in simple, stratified and clustered comparative studies. *Statistical Science*, 2, 219–236.
- Hansen BB, Klopfer SO (2006) Optimal full matching and related designs via network flows. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 15, 609–627.
- Ho DE, Imai K, King G, Stuart EA (2011) MatchIt: nonparametric preprocessing for parametric causal inference. *Journal of Statistical Software*, 42(8), 3–39.
- Huang FQ, Du CL, Sun MH, Ning B, Luo Y, An SL (2015) Propensity score matching in SPSS. *Journal of Southern Medical University*, 35, 1597–1601. (in Chinese with English abstract) [黄福强, 杜春霖, 孙梦辉, 宁冰, 罗颖, 安胜利 (2015) 倾向评分分配比在SPSS软件上的实现. 南方



- 医科大学学报, 35, 1597–1601.]
- Imbens G (2004) Nonparametric estimation of average treatment effects under exogeneity: a review. *Review of Economics and Statistics*, 86, 4–29.
- Joppa LN, Pfaff A (2009) High and far: biases in the location of protected areas. *PLoS ONE*, 4, e8273.
- Joppa LN, Pfaff A (2010) Reassessing the forest impacts of protection: the challenge of nonrandom location and a corrective method. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1185, 135–149.
- Ma KP (2016) On key issues and possible solutions related to nature reserve management in China. *Biodiversity Science*, 24, 249–251. (in Chinese) [马克平 (2016) 当前我国自然保护区管理中存在的问题与对策思考. *生物多样性*, 24, 249–251.]
- Mas JF (2005) Assessing protected area effectiveness using surrounding (buffer) areas environmentally similar to the target area. *Environmental Monitoring and Assessment*, 105, 69–80.
- Nagendra H (2008) Do parks work? Impact of protected areas on land cover clearing. *Ambio*, 37, 330–337.
- Naughton-Treves L, Holland MB, Brandon K (2005) The role of protected areas in conserving biodiversity and sustaining livelihoods. *Annual Review of Environment and Resources*, 30, 219–252.
- Nepstad D, Schwartzman S, Bamberger B, Santilli M, Ray D, Schlesinger P, Lefebvre P, Alencar A, Prinz E, Fiske G, Rolla A (2006) Inhibition of Amazon deforestation and fire by parks and indigenous lands. *Conservation Biology*, 20, 65–73.
- Pouzols FM, Toivonen T, Minin ED, Kukkala AS, Kullberg P, Kuusterä J, Lehtomäki J, Tenkanen H, Verburg PH, Moilanen A (2014) Global protected area expansion is compromised by projected land-use and parochialism. *Nature*, 516, 383–386.
- Randolph JJ, Falbe K, Manuel AK, Balloun JL (2014) A step-by-step guide to propensity score matching in R. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 19. <http://pareonline.net/getvn.asp?v=19&n=18/>. (accessed on 2017-03-06)
- Reese HM, Lillesand TM, Nagel DE, Stewart JS, Goldmann RA, Simmons TE, Chipman JW, Tessar PA (2002) State-wide land cover derived from multiseasonal Landsat TM data: a retrospective of the WISCLAND project. *Remote Sensing of Environment*, 82, 224–237.
- Ren GP, Young SS, Wang L, Wang W, Long YC, Wu RD, Li JS, Zhu JG, Yu DW (2015) Effectiveness of China's national forest protection program and nature reserves. *Conservation Biology*, 29, 1368–1377.
- Shen B (1998) Studies on the resource exploitation and biodiversity conservation in Dali Cangshan-Erhai Nature Reserve. *Chinese Biodiversity*, 6, 151–156. (in Chinese with English abstract) [沈兵 (1998) 大理苍洱自然保护区生物多样性保护及其开发利用. *生物多样性*, 6, 151–156.]
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2014) *Global Biodiversity Outlook 4*. Montreal, Canada.
- Soares-Filho BS, Nepstad DC, Curran LM, Cerqueira GC, Garcia RA, Ramos CA, Voll E, McDonald A, Lefebvre P, Schlesinger P (2006) Modelling conservation in the Amazon basin. *Nature*, 440, 520–523.
- Sun M (2008) *Cangshan Annals*. The Nationalities Publishing House of Yunnan, Kunming. (in Chinese) [孙明 (2008) 苍山志. 云南民族出版社, 昆明.]
- Wang L, Young SS, Wang W, Ren GP, Xiao W, Long YC, Li JS, Zhu JG (2016) Conservation priorities of forest ecosystems with evaluations of connectivity and future threats: implications in the Eastern Himalaya of China. *Biological Conservation*, 195, 128–135.
- Wang W, Pechacek P, Zhang MX, Xiao NW, Zhu JG, Li JS (2013) Effectiveness of nature reserve system for conserving tropical forests: a statistical evaluation of Hainan Island, China. *PLoS ONE*, 8, e57561.
- Wang W, Xin LJ, Du JH, Chen B, Liu FZ, Zhang LB, Li JS (2016) Evaluating conservation effectiveness of protected areas: advances and new perspectives. *Biodiversity Science*, 24, 1177–1188. (in Chinese with English abstract) [王伟, 辛利娟, 杜金鸿, 陈冰, 刘方正, 张立博, 李俊生 (2016) 自然保护区保护成效评估: 进展与展望. *生物多样性*, 24, 1177–1188.]
- Wittemyer G, Elsen P, Bean WT, Coleman A, Burton O, Brashares JS (2008) Accelerated human population growth at protected area edges. *Science*, 321, 123–126.
- Wu R (2011) The first phase of Natural Forest Protection Project in Dali has successfully completed. *Dali Daily*. (in Chinese) [武冉 (2011) 我州天保工程一期工程顺利结束. *大理日报*.] [http://www.dalidaily.com/dianzi/site1/dllrb/html/2011-10/28/content\\_128849.htm/](http://www.dalidaily.com/dianzi/site1/dllrb/html/2011-10/28/content_128849.htm/). (accessed on 2017-03-13)
- Xin LJ, Zhu YP, Chen B, Jin YC, Luo JW, Wang W (2015) Effectiveness assessment of Cangshan Nature Reserve of Yunnan Province based on PSR model. *Ecological Economy*, 31(12), 125–128, 141. (in Chinese with English abstract) [辛利娟, 朱彦鹏, 陈冰, 靳勇超, 罗建武, 王伟 (2015) 基于PSR模型的云南苍山保护区保护成效研究. *生态经济*, 31(12), 125–128, 141.]

(责任编辑: 唐志尧 责任编辑: 黄祥忠)

## 附录 Supplementary Material

### 附录1 大理市、洱源县、漾濞县各研究区段森林覆盖变化值与协变量偏相关分析结果

Appendix 1 Results of partial correlation analysis between forest coverage change and each covariate among survey regions in Dali City, Eryuan County and Yangbi County

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2017086-1.pdf>