

# 云南大理白族自治州生态系统 服务功能变化特征

靳勇超 朱彦鹏 辛利娟 罗建武 陈冰 王伟

(中国环境科学研究院生物多样性研究中心, 北京 100012)

**【摘要】**利用遥感数据和GIS技术,对1990~2015年大理白族自治州整体及各县域的生态系统服务功能时空变化特征进行了研究。结果表明:25年间,大理州仅植被生产力呈增加趋势,其增加的区域占大理州面积的29.58%(8713.29km<sup>2</sup>),主要分布南涧彝族自治县、鹤庆县和弥渡县,而其他各项生态系统服务功能和综合生态系统服务功能均呈下降趋势。从县域水平看,大理州中西部的县域生态系统服务功能下降趋势明显,其中云龙县的植被生产力和碳汇功能下降的区域分别占全县总面积的43.98%和39.80%;大理州东部生态系统服务功能较为稳定,南部的弥渡县和南涧彝族自治县生态系统服务功能呈增加趋势。建议大理州应强化生态保护与恢复、合理控制旅游规模,促进森林、草地的恢复和裸地荒化治理,使得生态系统服务功能得到有效改善。

**【关键词】**GIS;生态系统服务功能;大理白族自治州

**【中图分类号】**X171 **【文献标识码】**A

**【文章编号】**1671-4407(2016)10-130-05

生态系统服务功能是生态系统与生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用,是人类生存和可持续发展的基础,对于保障全球和区域的生态安全具有重要作用。人类对自然资源的过度利用以及城市化进程等引起区域土地利用方式改变,进而影响生态系统服务功能变化。开展土地利用变化对生态系统服务功能的影响研究,对于掌握影响生态系统服务功能变化的驱动因素以及规划未来的土地利用方式具有重要意义。

基于遥感影像的生态系统服务功能变化分析是目前生态系统服务功能研究的热点。如在不同生态系统方面,许多学者对森林、草地、湿地等生态系统的功能进行了研究;也有对生物多样性保护功能、水土保持功能等单项生态系统服务功能的研究。此外,亦有在区域尺度研究生态系统服务功能的案例,如邓伟等以重要生态功能区为基础,从水源涵养、土壤保持等方面分析了重庆市的生态系统服务功能变化特征。然而,近年来的研究对区域内不同县域之间生态系统服务功能变化的对比分析仍相对较少,如何通过各县生态系统服务功能的变化来指导整个区域的生态保护和治理,是目前亟待解决的一个关键问题。该研究以大理白族自治州为案例,考虑到自1990年起旅游业开始作为大理州的支柱产业,而随着城市化进程以及旅游业等社会经济活动的加剧,该地区生态系统服务功能面临的压力日益增加。为此,以研究区域1990~2015年遥感数据为基础,对其碳汇功能、植被生产力、生物多样

性保护功能和水供给功能以及综合生态系统服务功能的时空演变特征进行了分析,并通过红绿灯法 M71 分析了各县域的不同生态系统服务功能及综合生态系统服务功能的变化情况, 以期为大理州自然生态系统保护和土地利用方式优化提供参考依据。

## 1 研究区概况

大理白族自治州位于云南省中部偏西, 地位坐标为  $24^{\circ} 41'$ ,  $\sim 26^{\circ} 42'$ ,  $98^{\circ} 52'$   $\sim 101^{\circ} 03'$ , E(图 1), 总面积 29459km<sup>2</sup>, 辖区内共有 1 市 11 县, 人口约计 359.23 万(2014 年)。地处云贵高原与横断山脉结合部位, 地势西北高, 东南低, 形成了年温差较小, 四季不明显的气候特征, 生物多样性和自然资源极为丰富, 是我国著名的旅游区域之一。

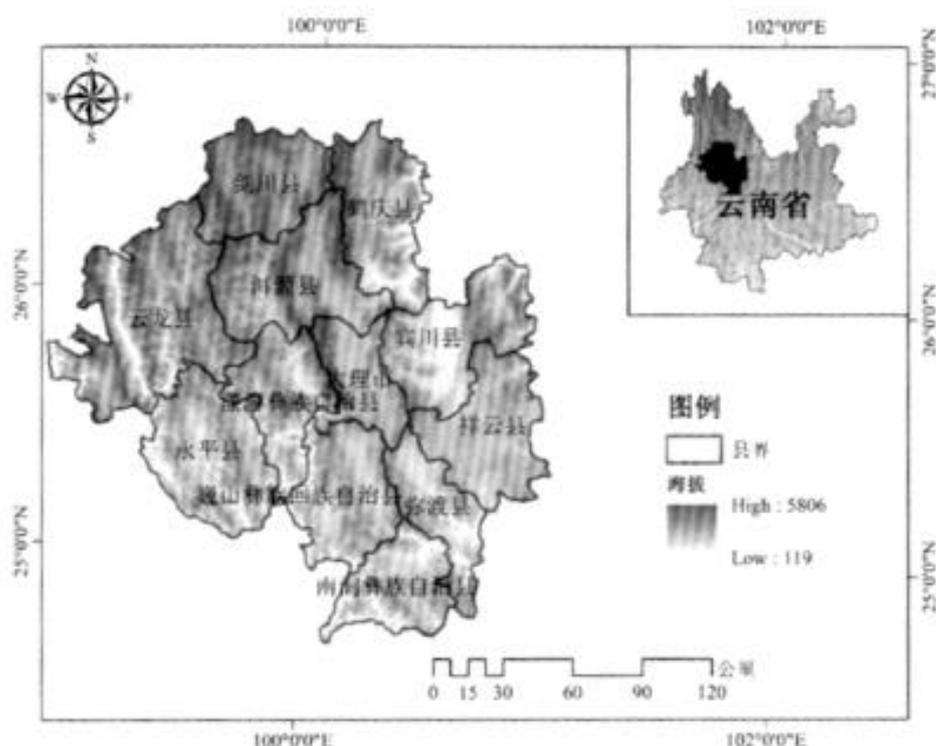


图1 大理白族自治州地理位置示意图

## 2 研究方法

### 2.1 遥感数据米源处邱

大理白族自治州的 DEM 数据(分辨率 30m)以及 1990、2015 年的 Landsat5TM(分辨率 30m)12 月份影像(轨道编号为 141/32, 云量均少于 5%, 横轴墨卡托投影, 大地坐标为 Krasovsky 摘球体)来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)。利用 ERDAS9.1 软件对遥感影像数据进行辐射校正、几何校正、多波段数据融合等处理, 使影像误差小于一个像元。依据大理白族自治州的自然特征, 利用

ERDAS9.1 软件的监督分类功能将研究区分为寒温性针叶林、暖温性针叶林、阔叶林、灌木林、建筑用地和裸地等 10 个生态系统类型，为保障分析的一致性，2 个时段的最小制图单元均重采样至 100m<sup>2</sup>。精度评估结果显示，2 个时段各生态系统类型制图总体精度均高于 90%。利用 ArcGis10.0 将大理州县域边界与生态系统数据进行叠加，分析每个县域土地类型和生态系统服务功能的变化特征。2.2 各类生态系统服务功能依据大理州的自然特征，选择碳汇功能、生物多样性保护功能、植被生产力和水供给功能对其 1990~2015 年的生态系统·服务功能时空变化特征进行了研究。

### 2.2.1 碳汇功能

利用 Invest 模型的碳储量模块 (carbonstorage&sequestration)，选择总碳储量为指标分析研究区域碳汇功能的变化情况。计算公式如下：

$$C_{total}=C_{above}+C_{below}+C_{soil}+C_{dead}$$

式中， $C_{total}$  表示总碳储量， $C_{above}$  表示地上部分的碳储量， $C_{below}$  表示地下部分碳储量， $C_{dead}$  表示枯落物碳储量。各指标数据来源于文献<sup>[19-21]</sup>。

### 2.2.2 生物多样性保护

利用 Invest 生物多样性模型 (habitatquality&biodiversity) 结合景观类型敏感性和外界威胁强度得到区域生境质量的分布<sup>[22]</sup>，通过生境质量指数反映研究区生物多样性保护功能。计算公式如下：

：

$$Q_v = H_j \left( 1 - \left( \frac{D_{vj}^2}{D_{vj}^2 + k^2} \right) \right)$$

式中： $Q_v$  是土地利用与土地覆盖  $j$  中栅格  $x$  的生境质量； $H_j$  为土地利用与土地覆盖  $j$  的生境适合性； $D_{vj}$  是土地利用与土地覆盖或生境类型  $j$  栅格  $x$  的生境胁迫水平， $k$  是半饱和常数。

### 2.2.3 植被生产力

选取归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)分析研究区的植被生产力变化特征<sup>[23]</sup>。计算公式如下：

$$NDVI = \frac{NIR - VIS}{NIR + VIS}$$

式中， $NIR$  为近红外波段的遥感通道所得到的反射率， $VIS$  为可见光波段的通道得到的反射率。

### 2.2.4 水供给功能

利用 Invest 产水量模块(Water Yield)，基于水量平衡的原理<sup>[24]</sup>，通过生态系统产水量反映研究区水供给功能。计算公式为：

$$Y_v = \left[ 1 - \frac{AEX_v}{P_x} \bullet P_x \right]$$

式中， $Y_v$  为  $j$  类生态系统类型、栅格  $x$  的产水量； $AEX_v$  为  $j$  类生态系统类型、栅格  $x$  的实际蒸散量； $P_x$  为栅格  $x$  种的降水量； $\frac{AEX_v}{P_x}$  为布德科(Budyko curve)的近似值。

## 2.3 生态系统综合功能

整合碳汇功能、生物多样性保护功能、植被生产力和水供给功能，利用综合生态系统服务功能指数<sup>[14]</sup>分析研究区综合生态系统服务功能。计算公式如下：

$$SS_n = \sqrt{\prod_{n=1}^4 S_n}$$

式中， $SS_n$  为综合生态系统服务功能指数， $S_n$  为每项生态系统服务功能值，利用 Arcgis10.0 和极差标准将  $SS_n$  极差标准化到 0 ~ 1。

## 2.4 分析方法

利用 Arcgis10.0 软件将各项生态系统服务功能极差标准化到 0~1，为明确大理州各生态系统服务功能分布情况，将每项生态系统服务功能统一分类为 5 级<sup>[1]</sup> 即低(0~0.2)、较低(0.2~0.4)、中(0.4

~£0.6)、较高(0.6~S0.8)和高(0.8~S1.0)。

此外，为说明大理州各县域生态系统服务功能变化程度，参照大自然保护协会在生物多样性评估中利用的红绿灯法，利用 ArcGis10.0 将 1990 年和 2010 年各项功能的标准化栅格数据相减，对其变化特征进行分级，即减少(<-0.1)、稳定(-0.1~0.1)、增加(>0.1)。

### 3 结采与分析

#### 3.1 生态系统变化

由 1990~2015 年大理州生态系统变化情况(图 2)可知，森林是大理州主要的土地类型，面积为 19317.57km<sup>2</sup>，约占大理州国土而积的 65.57%，以暖温性针叶林和寒温性针叶林为主，分别占大理州的 21.43%和 18.71%，t 要分布在火理州中西部的云龙县、永平县、洱源县和祥云县；其次为裸地，约占 21.84%。从变化趋势来看，相对 J11990 年，2015 年大理州森林面积下降了 9.28%(1976.63km<sup>2</sup>)，以灌木林下降的最为明显，25 年下降了 29.10%(1825.63km<sup>2</sup>)。裸地增加了 30.24%(1491.22km<sup>2</sup>)，两者主要分布在云龙县、巍山彝族回族自治县和永平县。此外，草地降低了 96.06%，耕地和建设用地分别增加了 67.26%、223.64%，水体变化不大。综上，森林、草地面积均行所减少，说明 25 年间大理州自然生态系统呈退化趋势，而受人为影响的程度呈增加趋势。

#### 3.2 生态系统服务功能变化

##### 3.2.1 碳汇功能变化

基于总碳量分析结果表明，2015 年大理州碳汇功能以中为主，其次为较低和高，三者约 P 1 网土面积的 85.48%。

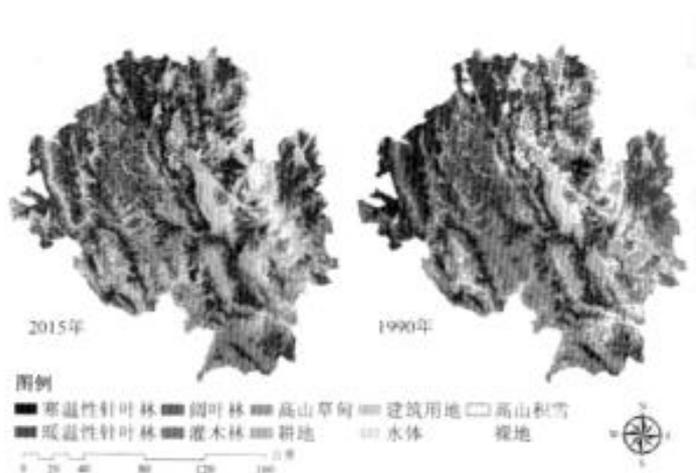
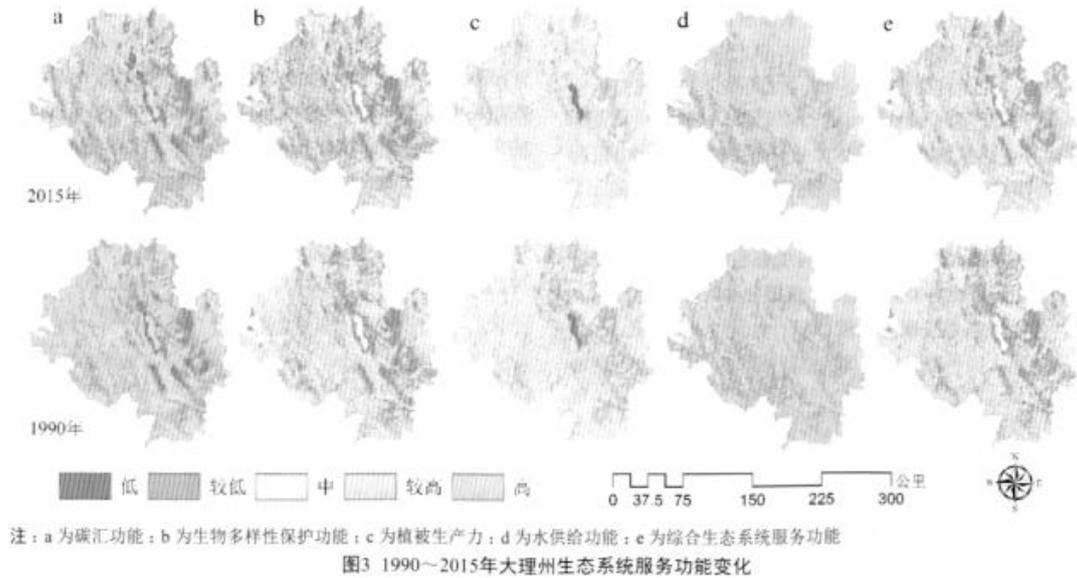


图2 大理白族自治州1990年和2015年生态系统图

其中高的区域主要分布在云龙县、剑川县和洱源县中的区域主要分布在云龙县、洱源县、祥云县；低的区域约占大理州的 2.27%，主要分布在宾川县、大理市和鹤庆县(图 3ah 从变化趋势来看(表 1)，25 年间大理州碳汇功能整体呈下降趋势，减少的区域所占比例为 26.08%(7683.34km<sup>2</sup>)，主要分布在西部的云龙县、永平县和东部的祥云县；其中云龙&降低最为明显，其碳汇功能减少的区域面积占该县的 43.98%(1941.17km<sup>2</sup>)。大理州碳汇功能增加的 K 域所占比例为 20.27%(5970.00km<sup>2</sup>)，主要分布在大理州的北部的洱源县、鹤庆县和剑川县等。



### 3.2.2 生物多样性保护功能变化

基于生境质量的分析结果表明，2015 年大理州生物多样性保护功能以高，较高为主，两者约占大理州面积的 67.28%。其中高的区域占大理州的 32.15%，主要分布在云龙县、洱源县和剑川县，大理市和弥渡县高的区域相对较少，分别占其县域面积的 21.01%和 26.50%(图 3b)。

表1 1990~2015年大理州生态系统服务功能变化 (%)

	碳汇功能		生物多样性保护功能		植被生产力		水供给功能		综合生态系统服务功能	
	减少	增加	减少	增加	减少	增加	减少	增加	减少	增加
鹤庆县	24.13	27.52	30.99	20.48	14.33	46.03	18.77	20.47	17.75	15.27
剑川县	17.44	26.77	24.43	21.04	17.47	35.97	8.69	13.97	7.82	16.19
洱源县	20.79	25.70	26.79	20.37	19.41	40.53	14.21	19.46	12.70	16.45
云龙县	43.98	9.48	32.01	21.23	39.80	16.74	25.96	5.47	31.31	9.74
宾川县	24.66	19.04	26.66	14.34	21.95	38.01	21.28	13.51	15.49	15.03
大理市	18.46	20.18	20.94	15.62	30.59	34.74	15.69	13.94	13.24	14.81
漾濞	31.68	19.42	33.60	17.81	23.40	34.91	25.63	15.56	20.96	15.94
祥云县	26.86	17.78	26.37	17.13	23.40	34.40	23.42	15.34	16.97	17.39
永平县	31.40	20.22	31.66	20.75	21.12	38.53	24.50	19.30	24.25	20.48
巍山	25.24	24.76	29.13	20.85	17.70	43.52	19.93	20.34	22.02	21.34
弥渡县	19.35	25.51	20.24	25.80	19.10	46.02	18.24	22.47	15.02	28.23
南涧	19.39	29.41	22.21	28.01	13.73	47.82	15.39	27.87	16.10	28.78
大理	26.08	20.27	26.86	19.42	19.28	29.58	19.04	15.50	18.28	16.63

从变化趋势来看 (表 1), 25 年间大理州生物多样性保护功能整体呈下降趋势, 减少的区域所占大理州比例为 26.86%(7912.82km<sup>2</sup>), 主要分布在人珂州中西部的云龙县、永平县和洱源县; 其中云龙县降低 M 为明显, 其减少的区域所占该县域比例为 32.01%(1413.74km<sup>2</sup>)。弥渡县和南涧彝族自治县生物多样性保护功能呈增加趋势, 其增加的区域比例分别为 25.08%(1500.67km<sup>2</sup>)和 28.01%(1745.38km<sup>2</sup>), 减少的为 20.24%(303.67km<sup>2</sup>)和 22.21%(387.69km<sup>2</sup>)。

### 3.2.3 植被生产力变化

基于大理州 NDVI 分析结果表明, 2015 年大理州植被生产力以较低为主, 约占 45.4%, 其次为中的区域, 约占 35.37%; 高的区域仅占 0.22%, 主要分布在巍山林族回族自治县和洱源县 (图 3c)。

从变化趋势来看 (表 1), 25 年间大理州植被生产力量增加趋势, 其增加的 K 域所占比例为 29.58%(8713.29km<sup>2</sup>), 主要分布在永平县、巍山林族回族自治县和洱源县%仅云龙县呈卜‘降趋势, 其减少的比例为 39.80%(1738.81km<sup>2</sup>), 增加的比例为 16.74%(731.07km<sup>2</sup>)。

### 3.2.4 水供给功能变化

基于生态系统产水量分析结果表明 (图 3d), 大理州水供给功能, 约占 55.25%, 主要分布在大理州中西部的云龙县、洱源县和剑川县; 低的区域约占 8.36%, 主要分布在永平县、云龙县、巍山林族回族自治县和南涧彝族自治县。

从变化趋势来看 (表 1), 25 年间大理州水供给功能呈降低趋势, 其中降低的区域约占大理州的 19.04%(5607.58km<sup>2</sup>), 主要分布在云龙县、永平县和祥云县; 增加的区域约占大理的 15.50%(4565.13km<sup>2</sup>), 主要分布在洱源县和南涧彝族自治县。

### 3.3 综合生态系统服务功能变化

2015年大理州综合生态系统服务功能以中为主,约占46.27%,主要分布在云龙县、宾川县、鹤庆县、洱源县和剑川县;其次为较高的区域,约占40.25%,主要分布在云龙县、永平县和洱源县(图3e)。

从变化趋势来看(表1),25年间大理州综合生态系统服务功能呈下降趋势,其减少的区域所占比例为18.28%(5386.84km<sup>2</sup>),主要分布在大理州的云龙县、巍山彝族回族自治县、鹤庆县和祥云县;其中云龙县降低最为明显,其减少的区域所占比例达31.31%(1382.76km<sup>2</sup>)。南涧彝族自治县和弥渡县综合生态系统服务功能增加较为明显,其中南涧彝族自治县呈增加趋势的比例为28.78%(502.26km<sup>2</sup>)。大理州北部和东部各县均较为稳定。

## 4 讨论

土地利用变化是研究区域生态系统服务功能演变特征的主要途径之一。与已有的生态系统服务功能分析研究相比,该研究以大理州产业结构改变(以旅游业为支柱产业)年份(1990年)为起点,基于采集时间一致的遥感影像,选取碳汇、生物多样性保护等大理州主要生态系统服务功能构建了评估模型,可更好地反映产业结构改变引起的25年来大理州生态系统服务功能的时空变化和分布规律;同时,以县域为单元对各生态系统服务功能的变化进行研究,可更有效地为未来大理州的土地利用规划和管理提供依据。

大理州生态系统服务功能变化分析结果显示,自产业结构调整以来的25年间,大理州各项生态系统服务功能均呈下降趋势。相对于1990年,2015年大理州人口增加了约20%,旅游收入增加量近2000%<sup>1281</sup>。由于生态系统服务功能重要的区域主要分布在森林、湿地、草地相对集中的区域<sup>291</sup>,考虑到人为活动和城市化进程是导致生态系统服务功能降低的主要因素,过度的人口压力、旅游活动和城市化进程导致大理州森林、草地等自然生态系统面积减少,耕地和建筑用地等人为用地面积增加,进而使得大理州生态系统服务功能下降。

大理州生态系统服务功能减少的区域主要集中在大理州中西部的云龙县、漾濞彝族自治县和永平县等,该区域地貌以高山峡谷为主,生态敏感性较强,同时又是地质、气候灾害的多发区,对生态系统服务功能的稳定性带来一定的影响;此外,由于经济活动导致该区域森林面积减少,裸地的增加,加速了生态系统服务功能的降低。南部的弥渡县、南涧彝族自治县是云南省的重点生态功能区之一,人口密度较小,经济开发建设活动相对较弱,生态系统稳定性较强,促进了碳汇功能、生物多样性保护和综合生态系统服务功能的增加。东部和北部的宾川县、祥云县、洱源县等为云南省主要的农产品产区,旅游等高强度开发建设较低,裸地得到一定的治理,保障了生态系统服务功能的稳定。

丰富的生物多样性资源,带动了大理州社会经济的发展,然而经济发展带来了大理州自然资源的无序开发,进而造成生态系统服务功能的降低。因此建议大理州未来土地利用规划应考虑以下几点:

(1) 在大理州中西部各县实施有效的生态保护与恢复工程, 使得森林、草地面积增加, 同时控制旅游规模, 促进其碳汇、生物多样性保护和植被生产力功能的恢复; (2) 东部和北部区域的各县应以裸地荒化治理为主要任务, 使水供给及水土保持功能得到有效提升; (3) 科学规划土地利用方式, 协调保护和开发之间的矛盾, 做到有序利用, 保障生态系统服务功能的稳定性。

#### 参考文献:

[1] Costanza R, D'Arge R, Groot R D, et al. The value of the world's ecosystems and natural capital [J]. *Nature*, 1997, 387(5): 253-260.

[2] Martin-Lopez B, Garcia-Llorente M, Palomo I, et al. The conservation against development paradigm in protected areas: Valuation of ecosystem services in the Doñana social-ecological system (southwestern Spain) [J]. *Ecological Economics*, 2011, 70(8): 1481-1491.

[3] Deng X Z, Li Z H, Huang J K, et al. A revisit to the impacts of land use changes on the human well-being via altering the ecosystem provisioning services [J]. *Advances in Meteorology*, 2013, 65(11): 183-186.

[4] 王燕, 高吉舆, 王金生, 等. 广东宵国家级自然保护区 2000~2010 年生态系统服务价值演变 [J]. *环境科学研究*, 2014(10): 1157~1163.

[5] Brown G. The relationship between social values for ecosystem services and global land cover: A non-empirical analysis [J]. *Ecosystem Services*, 2013, 5: 58-68.

[6] 石焱, 王如松, 黄锦楼, 等. 中国陆地生态系统服务功能的时空变化分析 [J]. *科学通报*, 2012(9): 720~731.

[7] Chiabai A, Travisi C M, Markandya A, et al. Economic assessment of forest ecosystem services losses: Cost of policy inaction [J]. *Environmental & Resource Economics*, 2011, 50(3): 405-445.

[8] Aerts R, Honnay O. Forest restoration, biodiversity and ecosystem functioning [J]. *BMCEcology*, 2011, 11(1): 29.

[9] Gamier E, Lavorel S, Ansquer P, et al. Assessing the effects of land-use change on plant traits, communities and ecosystem functioning in grasslands: A standardized methodology and lessons from an application to 11 European sites [J]. *Annals of Botany*, 2007, 99(5): M1.

- [10]辛琨,肖笃宁. 盘锦地区湿地生态系统服务功能价值估算[J]. 生态学报, 2002(8):1345~1349.
- [11]FeldCK, SousaJP, SilvaPMD, et al. Indicatorsforbiodiversityandecosystems services:Toward sanimprovedframeworkforecosystemsassessment[J]. Biodiversity&Conservation, 2010, 19(10):2895-2919.
- [12]HooperDU, ChapinFS, EwelJJ, et al. Effectsofbiodiversity
- [13]onecosystemfunctioning:Aconsensusofcurrentknowledge[J]. EcologicalMonographs, 2005, 75(1):3-35.
- [14]YangB, OuyangZY, ZhengH, et al. Modelingsoilconservation, waterconservationandtheirtradeoffs:AcasestudyinBeijing[J], JournalofEnvironmentalSciences, 2012, 24(3):419-426.
- [15]邓伟, 刘红, 李世龙, 等. 重庆市重要生态功能区生态系统服务动态变化[J]. 环境科学研究, 2015(2):250~258.
- [16]DoorneS, AteljevicI, BaiZ. Representingidentitiesthroughtourism:EncountersofethnicminoritiesinDali, YunnanProvince, People's RepublicofChina[J]. InternationalJournalofTourismResearch, 2003, 5(1):M1.
- [17]卢冬爱, 谈树成, 夏既胜. 基于景观格局和水土流失敏感性的大理市生态脆弱性分析[J]. 云南地理环境研究, 2009(2):92~96.
- [18]靳勇超, 罗建武, 朱彦鹏, 等. 内蒙古辉河国家级自然保护区湿地保护成效[J]. 环境科学研究, 2015(9):1424~1429.
- [19]黄从红. 基于 Invest 模型的生态系统服务功能研究——以四川宝兴县和北京门头沟区为例[D]. 北京: 北京林业大学, 2014.
- [20]李海奎, 雷渊才, 齐伟生. 基于森林清查资料的中国森林植被碳储量[•!]. 林业科学, 2011(7):7~12.
- [21]方精云, 杨元合, 马文红, 等. 中国草地生态系统碳库及其变化[J]. 中国科学: 生命科学, 2010(7):566~576.
- [22]潘根兴, 赵其国. 我国农田土壤碳库演变研究: 全球变化和国家粮食安全[J]. 地球科学进展, 2005(4):384~393.

[23]MushetDM, NeauJL, EulissNH. Modelingeffectsofconservationgrasslandlossesonamphibian habitat[J]. BiologicalConservation, 2014, 174(3):93-100.

[24]KrishnaswamyJ, BawaKS, GaneshaiiahKN, etal. Quantifyingandmappingbiodiversityandecosy stemservice:Utilityofamulti-seasonNDVIbasedMahalanobisdistancesurrogate[J]. RemoteSensing ofEnvironment, 2009, 113(5):904-906.

[25]FistikogluO, HarmanciogluNB. IntegrationofGISwithUSLEinassessmentofsoilerosion[J]. WaterResourcesManagement, 2002, 16(6):447-467.

[26]SimmonsJA, CurrieWS, EshlemanKN, etal. Foreststoreclaimedminelandusechangeleadstoalte redecosystemstructureandfunction[J]. EcologicalApplications, 2008, 18(1):104-118.

[27]AndersonCB, RosemondAD. Ecosystemengineeringbyinvasiveexoticbeaversreducesin-strea mdiversityandenhancesecosystemfunctioninCapeHorn, Chile[J]. Occologia, 2007, 154(1):141-153.

[28]ChadwickMA, DobberfuhlDR, BenkeAC, etal. Urbanizationaffectsstreamecosystemfunctionb valteringhydrology, chemistry, andbioticrichness[J]. EcologicalApplications, 2006, 16(5):1796 -1807.

[29]朱启才, 郭斐, 杨洋. 大理白族自治州产业结构发展机制研究[J]. 经济研究导刊, 2009(2):123 ~126.

[30]傅伯杰, 刘世梁, 马克明. 生态系统综合评价的内容与方法[J]. 生态学报, 2001(11):1885~ 1892.

[31]杨主泉. 旅游发展典型区域土地利用变化对生态系统服务价值的影响——以桂林阳朔县为例 [J]. 中南林业科技大学学报, 2014(3):130~136\_

[32]雷汉青. 云南省大理白族自治州土地可持续利用评价研究[D]. 武汉: 华中师范大学, 2012.