

# 长白山地区土地利用及生态系统服务价值变化研究

章后甜<sup>1</sup>, 社会石<sup>2</sup>, 王世东<sup>3</sup>, 雷军<sup>4</sup>

(1. 洛阳理工学院 土木工程系, 河南 洛阳 471023; 2. 北京师范大学 资源学院, 北京 100875;  
3. 河南理工大学 测绘与国土信息工程学院, 河南 焦作 454000; 4. 内蒙古师范大学 地理科学学院, 呼和浩特 010022)

**摘要:**在遥感和 GIS 技术的支持下,以 2000 年和 2010 年两期 Landsat TM/ETM<sup>+</sup> 影像解译数据为基础,分析长白山地区近 10 a 土地利用变化情况。应用 Costanza 生态系统服务价值计算公式,采用谢高地等人的中国陆地生态系统单位面积生态服务价值表,并对其作适当修订后进行该区生态系统服务价值变化的计算。结果表明:10 a 间,长白山地区土地利用发生了较大变化,旱田、建筑用地面积呈增加趋势,水田、林地、水域和湿地面积呈减少趋势;生态系统服务价值由 2000 年的 1 507.37 亿元减少到 2010 年的 1 505.57 亿元,减少幅度为 0.12%;生态系统各单项服务功能价值呈减少趋势,水源涵养、气体调节功能的价值减少剧烈;敏感性指数小于 1,研究结果可信。

**关键词:**土地利用变化;生态系统服务价值;变化;长白山地区

中图分类号:F301.24

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)06-0242-05

## Study on the Land Use Change and Ecosystem Services Value in Changbai Mountain

ZHANG Hou-tian<sup>1</sup>, DU Hui-shi<sup>2</sup>, WANG Shi-dong<sup>3</sup>, LEI Jun<sup>4</sup>

(1. Department of Civil Engineering, Luoyang Institute of Science and Technology, Luoyang, He'nan 471023, China; 2. College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. School of Surveying and Land Information Engineering, He'nan Polytechnic University, Jiaozuo, He'nan 454000, China; 4. College of Geographical Sciences, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022, China)

**Abstract:**Based on the data of Landsat TM/ETM<sup>+</sup>, this paper analyzed land use change and examined their effects on ecosystem service value in the region of Changbai Mountain from 2000 to 2010 by using RS and GIS. The methods were based on ESV computing formula and ESV coefficients. The following results and conclusions could be obtained. From 2000 to 2010, the area of dry farmland and construction land increased, while paddy field, woodland, wetland, and water body decreased. The total value of ecosystem services of the study area declined from  $1.507 \times 10^{11}$  Yuan in 2000 to  $1.505 \times 10^{11}$  Yuan in 2010, with the net decline of  $1.79 \times 10^8$  Yuan during the 10-year period. Water conservation, climate regulation decreased acutely. The sensitivity index was less than 1, which showed that these estimates were relatively robust.

**Key words:**land use change; ecosystem service value (ESV); change; Changbai Mountain

土地利用/覆被变化(Land Use and Land Cover Change,LUCC)是全球变化研究中的前沿领域和热点问题,是人类与自然交互影响的核心所在,已成为“国际地圈生物圈计划(IGBP)”的重要组成部分<sup>[1-2]</sup>。生态系统服务是指人类直接或者间接从生态系统功能中获得的收益,是生态过程所形成的人类赖以生存的自然环境条件和效用<sup>[3-4]</sup>,对其进行价值评价是将其纳入社会经济体系与市场化的必要条件,也是使环境与生态系统保育引起社会重视的重要措施<sup>[5-6]</sup>。

LUCC 通过改变生态系统的结构与功能,对生态系统维持其服务功能起决定性作用<sup>[7-8]</sup>。因而,研究 LUCC 背景下的区域生态系统服务价值(Ecosystem Services Value,ESV)变化具有重要意义。近 30 年来,国内外学者对 ESV 进行了大量的研究,代表性的成果有 Costanza 等<sup>[3]</sup>对全球生态系统服务价值进行的分类与评估,Daily<sup>[9]</sup>对生态系统服务各个方面进行了研究,并提出社会系统依赖于自然生态系统,欧阳志云等<sup>[10]</sup>对我国陆地生态系统服务价值进行的估

收稿日期:2012-05-18

修回日期:2012-06-31

资助项目:国家自然科学基金(41061042);矿山空间信息技术国家测绘局重点实验室项目(KLM201114)

作者简介:章后甜(1981—),男,河南信阳人,硕士,讲师,研究方向:工程测量及地理信息系统。E-mail:tiantianhou@tom.com

通信作者:社会石(1983—),男,吉林伊通人,博士生,研究方向:干旱区地貌及 3S 技术应用。E-mail:duhs@163.com

算,谢高地等<sup>[11]</sup>建立的中国陆地生态系统单位面积服务价值当量等。但如何准确而有效地评估 EVS, 仍是当今研究的热点问题。

长白山地区的土地利用变化及其生态效应亦是全球变化的一种区域响应,通过对该区土地利用变化及生态系统服务价值进行研究,可以科学地把握土地利用变化与生态系统服务价值变化的过程和规律。文中集成遥感与 GIS 技术,以长白山地区为研究区,揭示该区土地利用变化的时空演化特征,评估土地利用变化引起的区域生态服务价值变化,为区域生态环境保护、区域可持续发展提供科学依据。

## 1 研究区概况

本文所指的长白山地区位于吉林省东部,行政区划上隶属长白山管委会、通化地区、延边地区、白山地区,下辖 9 市、3 区、9 县。位于  $125^{\circ}45'—131^{\circ}26'E$ ,  $40^{\circ}52'—44^{\circ}30'N$ ,总面积  $75\ 377\text{ km}^2$ 。温带大陆性季风型气候,冬季盛行西北风,夏季盛行东南风。年平均气温  $-7\sim 3^{\circ}\text{C}$ ,7 月气温为  $18.1\sim 22.3^{\circ}\text{C}$ ,1 月

气温为  $-23.3\sim -16.6^{\circ}\text{C}$ 。年降水量  $700\sim 1\ 400\text{ mm}$ ,85% 的降雨集中在 6—8 月,无霜期  $65\sim 120\text{ d}$ 。该区是中国东北地区典型的温带森林生态系统。

## 2 数据来源及研究方法

### 2.1 土地利用动态数据获取

研究所用的数据为 2000 年和 2010 年 Landsat TM/ETM+ 晴空影像,空间分辨率为  $30\text{ m}$ 。同时收集该区 1:10 万地形图、地质地貌图和土壤类型图等。遥感影像的预处理包括:对单通道多光谱数据进行波段合成;以地形图为基准,对 2010 年各分幅影像进行几何精校正;以校正后的影像为基准,对 2000 年各分幅影像进行几何精校正;对同期的影像作直方图匹配和拼接处理;按研究区界限对影像裁剪。根据国家通用的土地利用分类系统,结合研究区的实际情况,将土地利用类型划分为旱田、水田、林地、水域、建筑用地和湿地。在 GIS 的支持下,采用基于知识的人机交互式解译方法,提取各土地利用类型信息(表 1)。

表 1 2000—2010 年长白山地区土地利用变化统计

地类名称	面积/ $\text{hm}^2$		变化量		幅度/%	年变化率/%
	2000	2010	变化量	百分比/%		
旱田	498950.90	505638.90	6688.00	25.50	1.34	0.13
水田	167366.64	159417.04	-7949.60	30.31	-4.75	-0.47
林地	6620404.44	6 615422.75	-4981.69	19.00	-0.08	-0.01
水域	81854.62	81739.41	-115.21	0.44	-0.14	-0.01
建筑用地	150534.78	156959.00	6424.22	24.50	4.27	0.43
湿地	18580.36	18514.64	-65.72	0.25	-0.35	-0.04

### 2.2 生态系统服务价值评价方法

虽然 Costanza 等<sup>[3]</sup>的研究使 ESV 估算原理和方法从科学上得以明确,但研究中某些数据仍存在偏差,如对耕地的评估偏低,而对湿地评估又偏高。谢高地等<sup>[12]</sup>根据我国的实际情况,制定了中国陆地生态系统单位面积生态服务价值量,并应用在青藏高原生态系统服务价值的估算中。生态系统服务价值的计算公式为:

$$ESV = \sum VC_k \times A_k \quad (1)$$

$$ESV_f = \sum VC_{fk} \times A_k \quad (2)$$

式中:ESV——生态系统服务总价值(元); $VC_k$ ——生态价值系数(元/ $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ ); $A_k$ ——研究区内土地利用类型  $k$  的分布面积( $\text{hm}^2$ ); $ESV_f$ ——生态系统单项服务总价值(元); $VC_{fk}$ ——单项服务功能价值系数(元/ $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ )。

在现有的生态系统服务价值评价体系中,由于各研究存在区域差异,尚难对各价值当量形成共识。一般均将水田和旱田视为一类进行价值评价,但由于耕

作方式、作物类型等诸多差异,它们的服务功能尚存差异,如水田的土壤与局地小气候均与湿地相似<sup>[13]</sup>。因此,本文以谢高地的中国陆地生态系统服务价值表为基础,并作如下修订来计算该区的生态系统服务价值:水田的气体调节、气候调节、水源涵养、土壤形成与保护等单位价值取旱田和湿地相应服务价值的平均值;水田多处于水域旱田过渡地带,兼具农田、湿地、水体 3 种生态系统特点,其生物多样性保护功能优于旱田,取旱田、湿地、水体生物多样性保护价值的平均值为水田的该项服务价值<sup>[14]</sup>;研究区稻田的单位产量与所有耕地单位产量之比约为  $1.5:1$ ,故以旱田食物生产价值的 1.5 倍作为水田的该项服务价值<sup>[15]</sup>;水田的废物处理、原材料及娱乐休闲等价值与旱田差异不显著,可用旱田的相应服务价值代替。据此得到修订后的该区单位面积服务价值量(表 2)。

### 2.3 敏感性分析方法

敏感性指数(Coefficient of Sensitivity, CS)用以确定 ESV 随时间变化对 VC 变化的依赖程度<sup>[16]</sup>。

CS 的含义是指 VC 变动 1% 引起 ESV 的变化情况, 如果  $CS > 1$ , 说明 ESV 对 VC 是富有弹性的; 如果  $CS < 1$ , 则说明 ESV 对 VC 是缺乏弹性的。比值越大, 表明 VC 的准确性越关键。本文通过分别调整 50% 的 VC 来计算 CS, 从而来说明 ESV 对 VC 的敏感程

度。CS 的计算公式如下:

$$CS = \left| \frac{(ESV_j - ESV_i) / ESV_i}{(VC_{jk} - VC_{ik}) / VC_{ik}} \right| \quad (3)$$

式中:  $ESV, VC, k$  的含义同前;  $i, j$ ——初始价值和生态价值系数调整以后的价值。

表 2 长白山地区生态系统单位面积生态服务价值

元/( $hm^2 \cdot a$ )

服务类型	旱田	水田	林地	水域	湿地
气体调节	442.4	1017.6	3097.0	0.0	1592.7
气候调节	787.5	2389.1	2389.1	407.0	15130.9
水源涵养	530.9	2831.5	2831.5	180332.2	13715.2
土壤形成与保护	1291.9	1402.5	3450.9	8.8	1513.1
废物处理	1451.2	1451.2	1159.2	16086.6	16086.6
生物多样性保护	628.2	1681.2	2884.6	2203.3	2212.2
食物生产	884.9	1327.3	88.5	88.5	265.5
原材料	88.5	88.5	2300.6	8.8	61.9
娱乐休闲	8.8	8.8	1132.6	3840.2	4910.9
总价值	6114.3	12197.7	19334	202975.4	55489.0

### 3 结果与分析

#### 3.1 土地利用幅度变化分析

通过对长白山地区土地利用幅度变化的分析, 可了解该区土地利用变化的态势(表 1): 耕地总量有所减少, 10 a 间净减 1 261.60  $hm^2$ , 占期内土地利用变化总量的 55.81%, 其中旱田面积呈增加趋势, 增加了 6 688.00  $hm^2$ ; 水田面积呈减少趋势, 减少了 7 949.60  $hm^2$ , 水田面积变化较剧烈, 变幅达 -4.75%, 从土地利用变化的数量特征可以看出, 这一时期人类活动是影响耕地面积变化的主要因素。林地呈减少趋势, 10 a 减少了 4 981.69  $hm^2$ , 变化量占期内土地利用变化总量的 19.00%, 说明该区森林资源已遭到破坏, 应加强森林经营, 使其可持续发展。水域面积呈减少趋势, 减少面积为 115.21  $hm^2$ 。建筑用地急剧增加, 增加面积 6 424.22  $hm^2$ , 变化幅度达 4.27%, 年变化率为 0.43%, 主要是由于人口的增长和经济的发展, 导致城乡居民用地与公交建设用地的增加所致。湿地面积呈减少趋势, 面积减少 65.72  $hm^2$ , 变化幅度达 -0.35%, 说明应切实保护该区现有珍稀湿地资源。

#### 3.2 土地利用转移分析

借助 GIS 的 Spatial Analysis 工具, 可获得近 10 a

长白山地区各土地利用类型面积转移情况(表 3)。首先, 从各土地利用类型的转移方向来看, 旱田主要转出为建筑用地和水田, 转出面积分别为 5 575.48, 1 774.21  $hm^2$ , 转化率分别为 1.12%, 0.36%; 水田主要转化为旱田和建筑用地, 转移面积分别为 9 236.45  $hm^2$  和 16.56  $hm^2$ , 转化率分别为 5.52%, 0.37%, 耕地面积的转出主要是建筑用地占用耕地及改变耕作方式所致; 林地主要转化为旱田和水域, 转移面积为 4 409.12  $hm^2$  和 365.24  $hm^2$ , 转化率分别为 0.07% 和 0.01%, 主要是由于山区毁林开荒所致; 水域主要转化为旱田和水田, 转移面积分别为 403.71, 127.28  $hm^2$ , 转化率分别为 0.49% 和 0.16%。从各土地利用类型转移来源来看, 旱田主要是由部分水田、林地、水域转化而来, 10 a 间面积转化率分别为 1.82%, 0.87%, 0.08%; 水田主要由旱田、水域、湿地转化而来, 转化率分别为 1.11%, 0.08%, 0.04%, 说明该区湿地农田化现象在一定程度上存在; 建筑用地主要是由旱田、水田、林地转化而来, 转化率分别为 3.55%, 0.39%, 0.13%。分析表明, 人类活动是影响土地利用类型变化的主要因素, 人口的增长和经济的发展, 增加了人们对粮食和住房的需求, 促使耕地和建筑用地面积急剧增加。

表 3 2000—2010 年长白山地区土地利用类型面积转化情况

$hm^2$

2000 年	2010 年						
	旱田	水田	林地	水域	建筑用地	湿地	合计
旱田	491589.62	1774.21	0	11.59	5575.48	0	498950.90
水田	9236.45	157452.65	0	60.98	616.56	0	167366.64
林地	4409.12	0	6615422.75	365.24	207.33	0	6620404.44
水域	403.71	127.28	0	81301.60	0	22.03	81854.62
建筑用地	0	0	0	0	150534.78	0	150534.78
湿地	0	62.90	0	0	24.85	18492.61	18580.36
合计	505638.90	159417.04	6615422.75	81739.41	156959.00	18514.64	7537691.739

### 3.3 生态系统服务价值(ESV)变化

研究区 ESV 总体呈减少趋势(表 4),由 2000 年的 1 507.37 亿元减少到 2010 年的 1 505.57 亿元,10 a 减少了 1.79 亿元,减少幅度为 -0.12%。占面积变化绝对值 30.31%的水田,ESV 减少 0.97 亿元,占 ESV 变化绝对值的 37.16%;占变化面积总绝对值 19.00%的林地,ESV 损失了 0.96 亿元,占 ESV 变化绝对值的 36.78%;而占面积变化绝对值 25.50%的

旱田,ESV 减少了 0.41 亿元,占 ESV 变化绝对值的 15.71%。因此,从各土地利用类型在两个时期对总 ESV 的贡献来看,土地利用变化的影响是较大的,它是区域生态系统服务价值减少的根本原因,而水田和林地面积的减少是该区生态系统服务价值降低的直接原因。同时,旱田面积的增加在一定程度上对总价值作了补偿。

表 4 2000—2010 年研究区生态系统服务总价值及价值构成变化

项目	旱田	水田	林地	水域	湿地	总计
价值系数/(元·hm <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	6114.30	12197.70	19334.00	202975.40	55489.00	296110.40
2000 年 ESV/亿元	30.51	20.41	1279.99	166.14	10.31	1507.37
所占比例/%	2.02	1.35	84.92	11.02	0.68	100
2010 年 ESV/亿元	30.92	19.45	1279.03	165.91	10.27	1505.57
所占比例/%	2.05	1.29	84.95	11.02	0.68	100
2000—2010 年 ESV 变化/亿元	0.41	-0.97	-0.96	-0.23	-0.04	-1.79
所占变化百分比/%	15.71	37.16	36.78	8.81	1.53	100

### 3.4 生态系统单项服务功能价值(ESV<sub>f</sub>)变化

生态系统各单项服务功能价值(ESV<sub>f</sub>)呈减少趋势(表 5):水源涵养减少剧烈,达 0.55 亿元,变化率为 20.00%,主要是由于占价值系数较大的水田和林地

面积减少所致;气体调节减少的变率最大,为 20.95%,主要由林地和湿地面积减少所致;而气候调节、土壤形成与保护、生物多样性保护减少显著,变率分别为 15.24%,12.37%,14.29%。

表 5 2000—2010 年研究区生态系统服务功能价值变化

生态系统 服务功能	2000 年		2010 年		2000—2010 年	
	ESV <sub>f</sub> /亿元	变化率/%	ESV <sub>f</sub> /亿元	变化率/%	ΔESV <sub>f</sub> /亿元	变化率/%
气体调节	209.24	13.88	209.03	11.54	-0.21	20.95
气候调节	169.24	11.23	168.97	14.90	-0.27	15.24
水源涵养	345.00	22.89	344.46	30.58	-0.55	20.00
土壤形成与保护	237.55	15.76	237.35	11.06	-0.20	12.37
废物处理	102.57	6.80	102.46	5.87	-0.11	4.76
生物多样性保护	199.13	13.21	198.90	13.37	-0.24	14.29
食物生产	12.62	0.84	12.57	2.85	-0.05	2.86
原材料	152.92	10.14	152.80	6.47	-0.12	6.67
娱乐休闲	79.10	5.25	79.03	3.59	-0.06	2.86
总计	1507.37	100.00	1505.57	100.00	-1.79	100.00

### 3.5 敏感性分析

根据 CS 计算公式,本研究把 VC 分别上下调整 50%,计算出了研究区 2000 年和 2010 年的 CS。结果表明,ESV 对 VC 的敏感性指数都小于 1,最高值为 0.55~0.58,即说明当水域的 VC 增加 1%时,ESV 增加 0.55%~0.58%。表明研究区内 ESV 对 VC 是缺乏弹性的,研究结果可信。

## 4 结论

2000—2010 年,长白山地区旱田和建筑用地的面积呈增加趋势,其余土地利用类型面积呈减少趋势,这种变化主要是人口和经济的发展,对粮食和住房用地的需求增加所致。水田面积减少剧烈,变化面

积为 7 949.60 hm<sup>2</sup>,林地面积锐减 4 981.69 hm<sup>2</sup>,变化量占期内土地利用变化总量的 19.00%,人类活动是影响土地利用变化的主要因素。

该区生态系统服务总价值呈减少趋势,亏损了 1.79 亿元,减少幅度为 -0.12%。这种损失主要是受林地和水田面积减少的影响。土地利用变化对生态系统服务价值的亏损起决定作用,而人类活动是导致景观格局变化和生态系统服务价值缺失的根本原因。因此,应及时采取有效措施,促进该区生态系统服务功能的恢复和维护该区的可持续发展。

本文根据研究区实际情况,对中国陆地生态系统服务价值表进行修订,使研究结果更具合理性。但应指出,由于区域的差异或评估方法的制约,评估结果

可能不尽准确,但将同样的方法和结果应用到具体区域后,不同时间的价值变化趋势具有可比性,仍能反映该区生态服务价值的变化状况以及存在的问题,从而为生态环境建设、土地持续利用与管理等提供科学依据。

#### 参考文献:

- [1] Meyer W B, Turner B L. Change in Land Use and land Cover: A Global Perspective [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.
- [2] 孔次芬,李月臣,简太敏. 基于 RS 与 GIS 重庆都市区土地利用/覆盖变化过程及预测分析[J]. 水土保持研究, 2012, 19(2): 205-209.
- [3] Costanza R, Arge R, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Ecological Economics, 1998, 25(1): 3-15.
- [4] 邢伟,王进欣,王今殊,等. 土地覆盖变化对盐城海岸带湿地生态系统服务价值的影响[J]. 水土保持研究, 2011, 18(1): 71-81.
- [5] 陈仲新,张新时. 中国生态系统效益的价值[J]. 科学通报, 2000, 45(1): 17-22.
- [6] 谢余初,巩杰,赵彩霞,等. 干旱区绿洲土地利用变化的生态系统服务价值响应:以甘肃省金塔县为例[J]. 水土保持研究, 2012, 19(2): 165-170.
- [7] Turner B L II, Skole D, Sanderson S, et al. Land-use and Land-cover Change: Science/Research Plan[R]. IG-BP, 1995.
- [8] 陈颖,石培基,潘竟虎,等. 高原生态城土地利用变化对生态系统服务价值的影响研究:以甘肃省民乐县为例[J]. 水土保持研究, 2012, 19(2): 154-159.
- [9] Daily G C. Nature's Service: Societal Dependence on Nature Ecosystems[M]. Washington DC: Island Press, 1997.
- [10] 欧阳志云,王如松,赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评估[J]. 应用生态学报, 1999, 10(5): 607-613.
- [11] 谢高地,肖玉,鲁春霞. 生态系统服务研究:进展,局限和基本范式[J]. 植物生态学报, 2006, 30(2): 191-199.
- [12] 谢高地,鲁春霞,冷允法,等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196.
- [13] 吴后建,王学雷,宁龙梅,等. 土地利用变化对生态系统服务价值的影响:以武汉市为例[J]. 长江流域资源与环境, 2006, 15(2): 185-190.
- [14] 李方,张柏,张树清,等. 农田—湿地区域景观动态及其对生态系统服务功能的影响[J]. 农业系统科学与综合研究, 2007, 23(1): 22-26.
- [15] 社会石,南颖,朱卫红. 图们江流域土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J]. 吉林大学学报:地球科学版, 2010, 40(3): 671-677.
- [16] 王宗明,张树清,张柏. 土地利用变化对三江平原生态系统服务价值的影响[J]. 中国环境科学, 2004, 24(1): 125-128.
- [11] 李福燕,李许明,吴鹏飞,等. 海南省农用地土壤重金属含量与土壤有机质及 pH 的相关性[J]. 土壤, 2009, 41(1): 49-53.
- [12] Wilcke W, Silke M, Kanchanakool N, et al. Urban soil contamination in bangkok: heavy metal and aluminum partitioning in top soils[J]. Geoderma, 1998, 86(3/4): 211-228.
- [13] 李锐,宗良纲,王延军,等. 典型污染区域土壤重金属空间分布特性及其影响因素[J]. 南京农业大学学报, 2009, 32(1): 67-72.
- [14] 张久明,迟凤琴,宿庆瑞,等. 哈尔滨市城市土壤重金属空间分布特征及相关分析[J]. 东北农业大学学报, 2010, 41(7): 56-61.
- [15] Berg T, Royset O, Steines E, et al. Atmospheric trace element deposition: principal component analysis of ICP-MS data from moss samples[J]. Environmental Pollution, 1995, 88(1): 67-77.
- [16] 钟晓兰,周生路,赵其国,等. 长三角典型区土壤重金属有效态的协同区域化分析、空间相关分析和空间主成分分析[J]. 环境科学, 2007, 28(12): 2758-2765.

(上接第 241 页)