

DOI: 10.13671/j.hjkxxb.2014.1057

汤洁, 黄璐思, 王博. 2015. 吉林省辽河流域生态系统服务价值对 LUCC 的响应分析[J]. 环境科学学报, 35(8): 2633-2640

Tang J, Huang L S, Wang B. 2015. Analysis of ecosystem service value based on LUCC of Liao River Basin of Jilin Province [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 35(8): 2633-2640

吉林省辽河流域生态系统服务价值对 LUCC 的响应分析

汤洁*, 黄璐思, 王博

吉林大学环境与资源学院, 长春 130012

收稿日期: 2014-09-29 修回日期: 2014-11-20 录用日期: 2014-12-17

摘要: 基于 1989 年和 2012 年 Landsat TM/ETM 遥感影像解译数据研究了吉林省辽河流域土地利用变化特征, 应用 Constanza 生态系统服务价值计算方法, 估算了 23a 间研究区生态系统服务价值, 分析土地利用变化对生态系统服务价值的影响。研究表明, 1989—2012 年辽河流域土地利用/植被覆盖发生了大幅变化, 耕地、居民用地分别增加 20.28% 和 7.09%, 其增加值主要来自林地、草地、水域和湿地; 生态系统服务价值整体呈下降的趋势, 由 125.30 亿元降至 114.41 亿元, 损失 10.89 亿元, 动态度为 -0.38%; 其中双辽市损失最为严重, 损失率达 21.41%; 耕地的开发导致湿地和水域退化, 是生态系统服务价值下降的主要因素。

关键词: 吉林省; 辽河流域; LUCC; 生态系统服务价值

文章编号: 0253-2468(2015)08-2633-08 中图分类号: X171 文献标识码: A

Analysis of ecosystem service value based on LUCC of Liao River Basin of Jilin Province

TANG Jie*, HUANG Lusi, WANG Bo

College of Environment and Resource, Jilin University, Changchun 130012

Received 29 September 2014; received in revised form 20 November 2014; accepted 17 December 2014

Abstract: Based on 1989 and 2012 Landsat TM/ETM remote sensing image interpretation data, the characteristics of land use change of Liaohe River basin in Jilin Province were extracted and analyzed. Constanza's ecosystem service value theory was used to estimate ecosystem service value and further analyze the effects of land use change on that. The results showed that there were great changes in Liaohe River during the period of 1989—2012. Arable land and urban land increased by 20.28% and 7.09%, respectively, and was mainly changed from woodland, grassland, water and wetland. The ecosystem service value decreased from 125.30 billion to 114.41 billion, and the average annual lost rate was 0.38%. Shuangliao suffered the largest loss, with the lost rate of 21.41%. Degradation of wetland and water resulted from the development of arable land was considered as the major factor of the decrease of ecosystem services value.

Keywords: Jilin Province; Liaohe River Basin; LUCC; ecosystem service value

1 引言 (Introduction)

在自然因素和社会因素共同作用下, 全球土地利用/覆被变化 (Land-use and land-cover change, LUCC) 范围及强度不断加大, LUCC 与生态系统、全球气候变化、生物多样性及人类活动之间的重要作

用引起世界关注, 并迅速成为研究热点 (Turner *et al.*, 1994; 虞依娜和彭少麟, 2010; Bian and Lu, 2013). 生态系统服务功能是指通过生态系统结构和功能直接或间接得到的生命支持产品和服务 (张振明和刘俊国, 2011). 研究表明, 人类可持续发展必须建立在保护地球生命支持系统、维持生物圈和生态

基金项目: 水体污染控制与治理科技重大专项-辽河源头区水污染综合治理技术及示范研究课题 (No.2012ZX072009)

Supported by the National Major Project of Science and Technology on Water Pollution Control and Management-Comprehensive Treatment Technology and Research Project on Liao River Basin (No. 2012ZX072009)

作者简介: 汤洁 (1957—), 女, 教授, E-mail: tangjie@jlu.edu.cn; * 通讯作者 (责任作者)

Biography: TANG Jie (1957—), female, professor, E-mail: tangjie@jlu.edu.cn; * Corresponding author

系统功能的可持续性的基础上,生态系统服务价值对维持全球生命支持系统起着至关重要的作用(Kreuter *et al.*, 2001; Constanza, 1998). 20 世纪 90 年代以来,国内外开展了大量相关研究(Toman, 1998; Wilson and Carpenter, 1999; Stephen *et al.*, 2002; Costanza *et al.*, 1997), 其中最具代表性的是 Costanza 的成果, 阐述了生态系统服务价值的内涵和估算方法, 将生态系统服务价值的量化研究推向生态经济学研究的前沿, 使生态系统服务价值估算的原理和方法从科学意义上得以明确. LUCV 是生态系统服务功能的重要驱动因子之一, 研究其变化过程对维持生态系统服务功能起着决定性的作用(白泽龙等, 2013; Lambin *et al.*, 1999; 温晓玲和李天宏, 2013).

吉林省境内辽河流经四平市和辽源市, 是沿途居民重要的水源, 亦是污染物接纳水体. 由于人为砍伐、放牧及自然因素的影响, 流域内植被覆盖率由 70 年代的 25.82% 降低到 18.04%, LUCV 变化显著, 土地退化, 生态环境恶化. 土地利用方式的变化直接影响到生态系统服务功能. 目前, 高分辨率的卫星遥感影像成为 LUCV 监测和生态系统服务价值估算的重要手段之一. 本文基于多时相 TM/ETM 遥感影像开展 LUCV 研究, 以生态系统服务价值作为评价生态系统服务功能的量化指标, 应用 Constanza 的计算方法估算流域生态系统服务价值, 研究结果为建立区域土地可持续利用模式、进行生态功能区划和编制生态建设规划提供科学依据, 具有重要的理论意义和推广价值.

吉林省辽河水系由东辽河、西辽河及其支流招苏台河、条子河组成, 主要流经吉林省的辽源市和四平市内的公主岭市、双辽市、梨树县和伊通县后, 进入辽宁省, 为跨省界水体. 研究区地处松辽平原中部, 低山、丘陵和平原兼备, 地理位置介于东经 $123^{\circ}18' \sim 125^{\circ}36'$, 北纬 $42^{\circ}36' \sim 44^{\circ}10'$, 总面积 15710 km^2 , 占吉林省土地面积的 8.38%, 海拔介于 114 ~ 650m, 由东南向西北逐渐降低. 辽河流域东南部为低山丘陵区, 包括吉林哈达岭和大黑山两座山脉, 吉林哈达岭属于长白山余脉, 贯穿辽源市, 大黑山以东北到西南走向纵贯四平市, 是吉林省自然地理区域分异的重要分界线, 流域中部属吉林省平原区, 分布着大面积耕地, 西北部为吉林省西部沙丘覆盖平原区, 耕地、草地和沙地交错分布. 研究区属大陆性季风气候特征, 四季分明, 气温低, 雨量少, 寒冷周期长, 是吉林省干旱区, 年平均气温 6.25°C ,

降雨量 578.3 mm .

流域内主要土地利用类型为耕地、居民用地、森林、草地等. 耕地包括旱田和水田, 占研究区总面积的 75.81%, 作物种类有玉米、大豆和水稻等; 森林面积占 16.73%, 植物物种较为丰富, 以次生林、阔叶林为主; 草地主要分布在西北部, 其面积仅占 7.13%, 以碱蓬碱蒿草地、禾草草地和羊草草地为主. 长期以来, 研究区以开发资源与破坏环境为代价发展经济, 资源消耗及污染物的排放导致一系列的生态环境问题, 主要表现为土地利用缺乏保护和整治, 森林生态系统退化, 水土保持和涵养水源等生态功能下降, 灾害气候频发, 生态系统自我调控能力降低. 尤其是水环境污染严重, 黑臭河段未得到有效治理, 严重制约了流域经济社会发展, 威胁着流域 300 多万人的饮用水安全, 跨界环境污染纠纷不断.

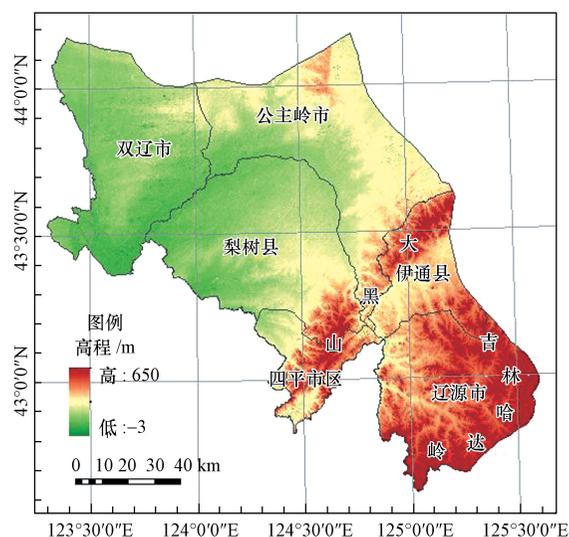


图 1 吉林省辽河流域地理位置与高程图

Fig. 1 Geographical locations and elevation of Jilin Province, Liaohe River Basin

2 研究方法 (Research methods)

2.1 数据来源及预处理

本文数据源于吉林省统计年鉴、吉林省测绘局及卫星遥感影像数据. 近 20a 是研究区快速发展时期, 考虑到遥感数据和统计年鉴数据的获取限制, 选择 1989 年作为研究初始年, 即研究周期为 1989—2012 年. 土地利用数据通过遥感影像的人工交互解译获得, 数据源为 Landsat TM/ETM 卫星遥感影像, 包括 1989 年 10 月、2012 年 9 月共 6 景影像

(云层覆盖度<5%),将收集的地形图、地貌类型图和土地利用现状图等作为遥感信息解译的辅助信息.在 ERDAS IMAGINE 软件平台上以 1:25 万基础地理数据为参照地图,对 1989 年影像进行几何精校正,误差小于 0.5 个像元,以校正好的 1989 年影像为基准,校正 2012 年影像.应用非监督分类的方法进行影像解译,并通过实地 GPS 点位精度验证,采用混淆误差矩阵的方法(Kappa 系数)(李昭阳等,2006)评价解译精度.经检验,各土地利用类型的总体分类精度达到 90.4%,可满足研究需要.参照国家通用的土地利用分类系统,结合实际情况,将研究区分为耕地(水田、旱田)、林地、草地(高覆盖草地、中覆盖草地、低覆盖草地)、水域(水体、滩地)、湿地、居民地、未利用地(沙地、盐碱地)等 7 个一级地类和 12 个二级地类.

2.2 土地利用类型动态度

区域 LUC 变化速度可用动态度(D)表示,指在一定时间范围内某种土地利用类型的数量变化,本文以年为时间跨度,即表示某土地利用类型的年变化率,计算公式为:

$$D = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中, U_a 、 U_b 分别表示研究初期、末期某种土地利用类型的数量; T 表示研究时段.

2.3 生态系统服务价值估算方法

Costanza 等科学阐述了生态系统服务价值评估的原理和方法,将生态系统的服务功能划分为气体调节、气候调节、干扰调节等 17 项,并引入生态服务价值当量法定量评估生态系统服务功能.生态系统服务价值(ESK)计算公式为:

$$ESK = \sum A_k \times VC_k \quad (2)$$

式中, A_k 为 k 类土地利用类型的面积(hm^2); VC_k 为生态系统服务价值系数,即单位面积生态系统的服务价值.

近年来,国内在生态服务价值研究方面进展很大,欧阳志云(欧阳志云和王如松,2000)、赵同谦等(2003)、刘琼阁等(2014)已在国家尺度上对我国陆地、草地和森林生态系统进行了评估,但国内研究大部分还是沿袭国外的研究方法和指标,将生态系统服务价值系数直接运用到中国的研究中,导致评价结论相差甚远(赵军和杨凯,2007).谢高地等(2003)通过对国内 200 多位生态学者进行调查,根据中国实际情况对 Costanza 公布的生态系统服务系数进行修正,得到了中国陆地系统的生态系统服务价值系数,并结合我国生态环境特征,将生态系统服务功能分为气体调节、水源涵养、娱乐文化等 9 类(表 1),同时提出了利用当量因子表计算生态系统服务价值,定义全国平均 1 hm^2 的农田年平均自然粮食产量的经济价值为 1,其它生态系统的生态服务价值当量因子是指生态系统产生的生态服务相对农田食物生产服务贡献的大小,农田生态系统提供食物生产功能的经济价值计算模型:

$$E_a = 1/7 \sum_{i=1}^n \frac{m_i P_i q_i}{M} \quad i = (1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

式中, E_a 为单位农田生态系统提供食物生产功能的经济价值($\text{元} \cdot \text{hm}^{-2}$); i 为作物种类, P_i 为 i 种粮食作物的平均价($\text{元} \cdot \text{kg}^{-1}$); q_i 为 i 种粮食作物单产($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$); m_i 为 i 种粮食作物面积(hm^2); M 为粮食作物总面积.

研究区的主要粮食作物为玉米、水稻、大豆等,以 1989—2012 年平均产量($6664.22 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)为基准单产,粮食价格按平均收购价($1.35 \text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1}$)计算,进而可得到农田自然粮食产量的经济价值约为 $1284.90 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$,即为本文所采用的不同生态系统服务价值基准单价,参考“中国生态系统服务价值当量因子表”,结合吉林省的实际情况,得到生态系统服务价值系数(表 1).

表 1 吉林省辽河流域不同土地利用方式生态系统服务价值系数

Table 1 Ecosystem services value of different land use in Liaohe River Basin

项目	价值系数/(元·hm ⁻² ·a ⁻¹)					
	耕地	林地	草地	水域	湿地	未利用地
气体调节	442.40	1671.42	1021.77	0	1592.70	0
气候调节	787.50	1717.94	1149.51	407.00	15130.90	0
水源涵养	530.90	2013.86	1021.77	18033.20	13715.20	26.50
土壤形成与保护	1291.90	1048.15	2490.55	8.80	1513.10	17.70
废物处理	1051.20	851.31	1673.16	16086.60	16086.60	8.80
生物多样性保护	628.20	1625.38	1392.14	2203.30	2212.20	300.80

续表1

项目	价值系数/(元·hm ⁻² ·a ⁻¹)					
	耕地	林地	草地	水域	湿地	未利用地
食物生产	1284.90	1019.19	383.22	88.50	265.50	8.80
原材料	88.50	1898.77	63.80	8.80	61.90	0
娱乐文化	8.80	345.55	51.10	3840.20	4910.90	8.80
合计	6114.30	12191.57	9246.99	40676.40	55489.00	371.40

3 结果分析(Results and analysis)

3.1 吉林省辽河流域土地利用变化

由 1989 年和 2012 年土地利用图(图 2)可知,流域内土地利用类型以耕地、林地为主.林地主要分布在东南部,仅在哈达岭与大黑山山脉之间的低平

原区分布有面积较大的耕地;耕地是流域中部的主要类型,以旱田为主,水田主要集中在辽河沿岸的河谷平地;西北部位于松嫩平原南缘,草地、耕地和未利用地交错分布.面积较大的居民用地分布于四平市、公主岭市和辽源市建成区.

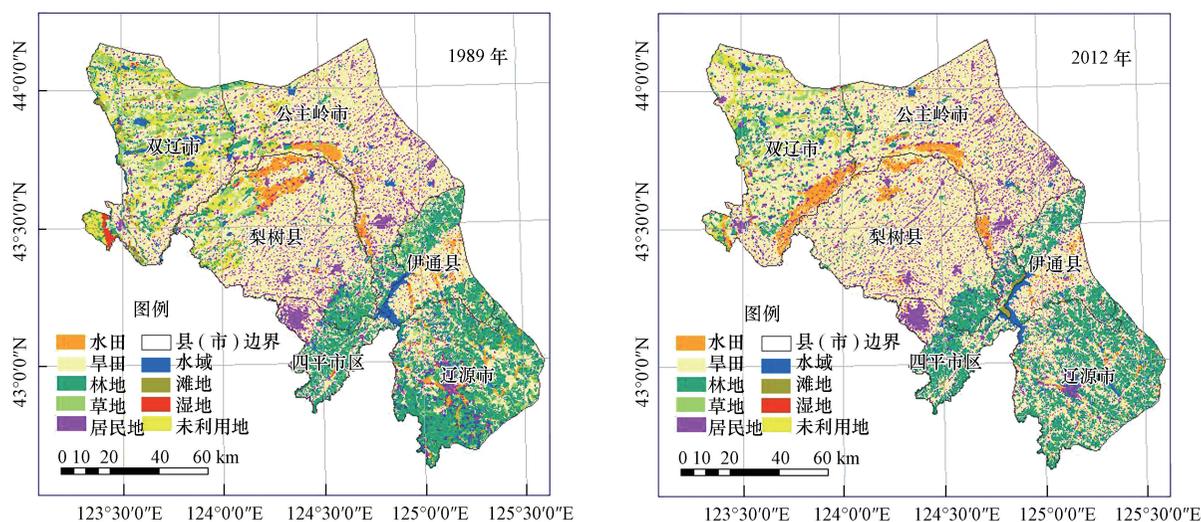


图 2 吉林省辽河流域 1989 和 2012 年土地利用空间分布图

Fig.2 Spatial distribution of land use in 1989 and 2012

不同土地利用类型动态变化见表 2,在 1989—2012 年期间研究区 LUCC 发生了较显著的变化,耕地、居民用地增加,林地、草地、水域、湿地和未利用地均有不同程度的减少.

区内耕地面积最大,也是增加最多的土地利用类型,1989、2012 年耕地面积(所占比例)分别为 8642.78 km²(54.98%)和 10395.89 km²(61.46%),23a 间增加了 1753.11 km²,变化率为 20.28%,动态度为 0.88%.1989 年以来,区内耕地的开发强度不断加大,自 1995 年通过《吉林省基本农田保护条例》后,吉林省加强了对基本农田的保护,开发恢复了大量耕地.由于种植水稻的收益远大于旱田,在政府鼓励合理利用水资源开发水田的政策下,水田面积大幅增加.随着城乡经济建设的发展和人口数量的增长,城镇用地规模不断外延,居民用地面积由

1989 年的 1326.48 km²增加到 2012 年的 1420.50 km²,增加了 94.02 km²,动态度为 0.31%.

湿地占研究区比例较小,但变化最为剧烈,由 1989 年的 47.94 km²减少到 2012 年的 8.24 km²,减少了 82.81%,动态度为 -3.60%.在全球气候变化的背景下,研究区气候干旱,年平均气温以 0.032 °C·a⁻¹的速率波动上升,降雨量则以 0.88 mm·a⁻¹的速率减少,致使湿地面积不断减少,同时,湿地围垦、城镇建设等人类活动加速了天然湿地面积的萎缩.

草地是变化较为剧烈的地类之一,1989 年至 2012 年,草地面积减少了 600.56 km²,动态度为 -2.73%.草地面积的减少是人为活动和自然因素共同作用的结果,区内草地主要分布在双辽市,为吉林西部草原的东缘,在降水少、日照长、蒸降比高等

条件下,导致土壤盐分在地表富集,加之草场过度开垦、放牧及不合理灌溉等人为因素影响,草地退化严重。

区内林地也表现出减少的趋势,由 3046.75 km² 减少到 2675.31 km²,减少了 371.44 km²。吉林省林业发展方式仍处于传统模式,过度采伐、开垦,粗放式经营导致林地大量减少。近年来,当地开展了退耕还林、造林种草等活动,林地面积有一定的增加,但截至到 2012 年,仍未得到有效恢复。

分析不同地区土地类型的变化情况可知,1989—2012 年间耕地、林地、草地、水域、居民用地、湿地和未利用地变化最大的城市为双辽、梨树、伊通、辽源、双辽、梨树和公主岭、伊通和辽源,变化率分别为 41.27%、25.29%、95.60%、109.70%、7.42%、100%、100%,其中湿地和未利用地面积因为解译精度所限加之面积过小,所以忽略不计,在统计土地变化数据时认为 2012 年梨树和公主岭的湿地、伊通和辽源的未利用地基本消失。

3.2 生态系统服务价值评估

根据生态系统服务价值系数(表 1)和各土地利用类型的面积(表 2),利用公式(2)计算得到 1989 年和 2012 年吉林省辽河流域的生态系统服务价值,结果见表 3。

经计算,吉林省辽河流域 1989、2012 年生态系统服务价值分别为 167.09 和 159.59 亿元,减少 4.36%,平均每年减少 0.19%。生态系统服务价值主要由耕地、水域和林地提供,耕地提供的价值最大,贡献率为 51.29%,水域、林地的贡献率分别为 29.27%和 14.40%。

从不同地类生态系统服务价值看,耕地的生态系统服务价值增加量和动态度最大,分别是 17.32 亿元和 1.01%。23 年间,耕地面积所占比例增多了 20.28%,生态系统服务价值所占比例提高 12.89%,面积每增多 1%,其生态系统服务价值提高 0.64%。其他地类均表现为生态服务价值的减少,水域损失量最大,其次是草地和湿地,三者共损失 21.00 亿元。水域面积每减少 1%,其生态系统服务价值降低 0.95%;湿地和草地面积比例每减少 1%,服务价值分别降低 0.53%和 1.15%。由此可见,耕地开发造成的湿地、水域面积减少是区内生态系统服务价值下降的主要原因,虽然耕地面积增加较多,但由于生态系统服务价值系数较小,其价值的增加并不能补偿湿地、水域及草地等造成的减少,该区域生态系

统服务价值整体表现为下降趋势。

结合土地利用变化统计数据(表 2),分析不同地区生态系统服务价值的变化(图 3)可知,1989—2012 年间除四平市外,各市县的生态系统服务价值均呈现下降趋势。变化最显著的是双辽市,较 1989 年损失了 21.41%,因围湖造田和城市扩张导致的水域面积减少对生态服务价值下降贡献最大,达 158.19%。由图 3 可以看出,四平市 ESV 总体变化最小,相比其它城市反而呈现缓慢上升趋势,从 1989 年的 10.51 亿元,增长至 2012 年的 10.55 亿元,增加了 0.04 亿元,总变化率为 0.36。四平市 ESV 总量的增长,得益于为把四平建设成为生态宜居城的目标,贯彻实施“一核三带”的战略构想,多年始终坚持绿化建设和居民“绿色意识”的不断增强。全市开展实施“两河四岸五湖”建设工程,其中包括沿河修建滨河道和绿化长廊的绿色生态工程,使因城市扩张而退化的植被开始恢复,其中林地面积相对 1989 年略微增大;通过改造建设南北河及实施人工湿地湖建设工程,着力增加土地利用类型中单位面积最高的具有生态系统服务价值量的水域面积,西郊建成总面积为 48 万 hm² 的人工湖湿地,对 ESV 总量提高十分显著;发动全社会力量绿化造林,仅 2012 年四平市铁东区就累计植树 15 万株。通过开展春季义务植树活动,使林地面积不断增长,这些行动也使得四平市 ESV 总量稳步提升。生态系统服务价值较大的是辽源市、双辽市和公主岭市,有大面积的林地和草地分布在这些地区。1989 年辽源市、双辽市和公主岭市的林地生态系统服务价值分别为 1788.28 万元、375.01 万元和 211.76 万元,草地生态系统服务价值分别为 179.28 万元、371.24 万元和 118.42 万元。即使 23 年间有一定程度的退化,但由于林地、草地单位面积的生态系统服务价值较大,相对其它地区生态系统服务价值仍较大。1989 年辽

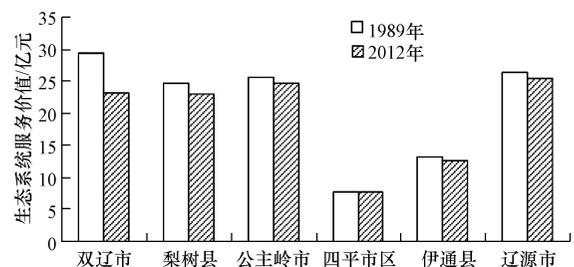


图 3 吉林省辽河流域不同地区的生态系统服务价值

Fig.3 Ecosystem services value in different zones in Liaohu River Basin, Jilin Province

表 2 吉林省辽河流域不同土地利用类型的动态变化

Table 2 Dynamic changes of different land use types in Jilin Province, Liaohhe River Basin

土地利用类型	1989 年										2012 年								
	双辽	梨树	公主岭	四平市	伊通	辽源	面积	比例	双辽	梨树	公主岭	四平市	伊通	辽源	面积	比例	面积变化	变化率	动态度
耕地	1515.26	2455.07	2749.71	379.39	687.36	855.98	8642.78	54.98%	2140.68	2857.09	2952.21	399.28	798.47	1248.17	10395.89	66.14%	1753.11	20.28%	0.88%
林地	307.6	351.65	173.7	347.7	399.28	1466.82	3046.75	19.38%	350.04	262.73	170.72	346.86	329.76	1215.21	2675.31	16.4%	-371.44	-12.19%	-0.53%
草地	401.47	112.57	128.06	29.06	91.85	192.8	955.82	6.08%	284.05	12.42	40.52	2.6	4.04	11.64	355.26	2.18%	-600.56	-62.83%	-2.73%
水域	279.2	77.76	105.5	18.49	68.09	26.15	575.19	3.66%	71	32.24	86.09	19.71	87.72	54.84	351.59	2.16%	-223.6	-38.87%	-1.69%
居民用地	208.83	206.48	204.6	248.27	239.97	218.33	1326.48	8.44%	224.32	220.77	219.47	265.6	257.3	233.05	1420.5	8.71%	94.02	7.09%	0.31%
湿地	25.4	4.13	2.94	0	15.48	0	47.94	0.30%	6.66	0	0	0	1.58	0	8.24	0.05%	-39.7	-82.81%	-3.60%
未利用地	808.54	207.12	107.88	0	0.44	0.06	1124.03	7.15%	511.51	0.62	0.07	0	0	0	512.2	3.26%	-611.83	-54.43%	-2.37%

注:1.面积为各土地利用类型总面积(km^2);2.面积变化为土地利用类型2012年面积与1989年面积差值(km^2);3.比例为各种土地利用类型的面积占总面积的比值;4.变化率计算公式: $K = (U_b - U_a) / U_a \times 100\%$,其中:K为变化率, U_a 、 U_b 分别为研究初期和研究末期某一种土地利用类型的面积;5.动态度为变化率与研究时段的比值,这里是1989—2012年,共23年。

表 3 吉林省辽河流域1989—2012年生态系统服务价值估算

Table 3 The results of ecosystem service value from 1989 to 2012

土地利用类型	1989 年										2012 年							
	双辽	梨树	公主岭	四平市	伊通	辽源	ESV	ESV	双辽	梨树	公主岭	四平市	伊通	辽源	ESV	ESV	ΔESV	变化率
耕地	11.92	21.89	24.28	3.37	5.84	7.63	52.84	18.53	26.08	26.29	3.53	6.75	11.07	63.56	10.72	20.28%	0.88%	
林地	4.5	5.83	2.85	5.75	6.3	24.31	37.14	5.93	4.69	2.98	6	5.45	21.1	32.62	-4.53	-12.19%	-0.53%	
草地	4.49	1.43	1.61	0.37	1.11	2.44	8.84	2.5	0.12	0.37	0.02	0.03	0.1	3.29	-5.55	-62.83%	-2.73%	
水域	13.63	4.3	5.78	1.02	3.59	1.45	23.4	3.5	1.68	4.37	0.99	4.22	2.77	14.3	-9.1	-38.87%	-1.69%	
湿地	0.54	0.1	0.07	0	0.35	0	2.66	0.48	0	0	0	0	0	0.46	-2.2	-82.81%	-3.6%	
未利用地	0.25	0.07	0.04	0	0	0	0.42	0.12	0	0	0	0	0	0.19	-0.23	-54.43%	-2.37%	
合计	35.33	33.61	34.62	10.51	17.19	35.83	125.3	31.05	32.57	34	10.55	16.57	35.05	114.41	-10.89	-8.69%	-0.38%	

注:1.ESV为生态系统服务价值;2.变化率计算公式: $K = \Delta \text{ESV} / \text{ESV}_a \times 100\%$,其中:K为变化率, ΔESV 为生态系统服务价值的变化, ESV_a 为研究初期生态系统服务价值;3.动态度为变化率与研究时段的比值,这里是1989—2012年,共23年。

源市、双辽市和公主岭市的林地生态系统服务价值分别为 1481.53 万元、426.75 万元和 208.14 万元,草地生态系统服务价值分别为 10.76 万元、262.66 万元和 37.47 万元。

23 年间不同类别生态系统服务价值也有一定的变化(表 4),增幅最大的是食物生产,增加了 9.20%;减幅最大的是娱乐文化、水源涵养和废物处理,变化率分别是 33.11%、22.21% 和 15.95%。换言之,每增加 1% 的食物生产,就需损耗 3.60% 的娱乐文化、2.41% 水源涵养和 1.73% 废物处理的服务价

值。娱乐文化是生态系统服务价值中的重要组成部分,指的是生态系统的美学、艺术、教育、精神或科学价值;良好的水源涵养功能可有效调节区域水分循环,保持土壤表面的温度和湿度,减少有机质、氮、磷、钾等营养物质的流失,对于防止旱、涝等灾害、合理利用水资源等方面具有重要的作用。虽然增加了粮食生产,但以付出娱乐文化、水源涵养等难以恢复的生态功能为代价,不仅收益小,还增加了自然灾害发生的可能性和污染物处理的成本,极大限制了经济的发展,违背了可持续发展的理念。

表 4 不同类别生态系统服务价值估算

Table 4 Results of ecosystem service value in different types

年份	服务价值估算/亿元								
	气体调节	气候调节	水源涵养	土壤形成与保护	废物处理	生物多样性保护	食物生产	原材料	娱乐文化
1989	9.67	13.80	22.46	16.84	23.31	13.12	15.87	6.62	3.63
2012	9.18	13.19	17.47	17.14	19.59	12.05	17.33	6.03	2.43
变化率	-5.02%	-4.37%	-22.21%	1.82%	-15.95%	-8.12%	9.20%	-8.96%	-33.11%

4 结论(Conclusions)

1) 1989—2012 年吉林省辽河流域 LUCG 发生了大幅变化,耕地、居民用地增加,林地、草地、水域和湿地面积减少。土地利用结构的变化使生态系统稳定性下降,生物多样性降低,而草地、林地退化,水域和湿地萎缩等生态环境问题是其重要的外在表现。

2) 修正的生态系统服务价值系数,适用于辽河流域乃至类似地区的生态系统服务价值评估,有一定的推广价值。评估结果表明,吉林省辽河流域生态系统服务价值整体呈下降的趋势,由 1989 年的 167.09 亿元降至 2012 年的 159.59 亿元,生态服务价值损失 7.5 亿元,平均每年损失 0.20%。双辽市的损失最为严重,损失率达 21.41%,水域面积减少是导致城市整体生态系统服务价值降低的主导力量。因此,保护生态服务价值系数较大的水域、林地和耕地,对确保一个地区土地生态服务价值的不断增加具有十分重要的意义。

3) 耕地开发使区内服务价值增加了 17.32 亿元,但每增加 1% 的粮食生产需消耗 3.60% 娱乐文化、2.41% 水源涵养和 1.73% 废物处理的价值,降低了流域的生态系统服务价值。

4) 本研究采用基于改进的 Costanza 方法,但存在一定的局限性,在估算生态系统服务价值时,每

种土地利用类型是采用相同的生态价值系数,但实际上每种土地利用类型都包含几种相关的生态系统类型,如草地就有高、中、低草之分,其生态服务价值是不同的,如能给细分后的土地利用类型各赋予与其生态功能相符的生态价值系数,则会使估算结果更接近实际值,尚需进一步研究。

5) 土地利用的变化使生态系统结构和功能发生变化,进而影响生态系统服务价值和生态系统的稳定性。因此,为实现吉林省辽河流域经济、社会和环境的可持续发展,必须维持生态系统服务结构的完整和功能的稳定,大力实施退耕还草、保护及重建湿地、保护天然林和水源涵养林等工程措施是恢复生态系统服务功能的有效途径。

责任作者简介: 汤洁(1957—),女,教授,博士,主要从事生态环境理论与技术研究.E-mail: tangjie@jlu.edu.cn.

参考文献(References):

- 白泽龙,包安明,常存,等. 2013. 土地利用变化对艾比湖流域生态系统服务价值的影响[J]. 水土保持通报, 33(1): 167-173, 177
- Bian Z F, Lu Q Q. 2013. Ecological effects analysis of land use change in coal mining area based on ecosystem service valuing: a case study in Jiawang[J]. Environmental Earth Sciences, 68(6): 1619-1630
- Constanza R. 1998. Introduction special section: Forum on valuation of ecosystem services the value of the ecosystem services [J]. Ecological Economics, 25(2): 1-2
- Constanza R, D'Arge R, de Groot R, et al. 1997. The value of the world's

- ecosystem services and natural capital [J]. *Nature*, 387 (6630): 253-260
- Kreuter U P, Harris H G, Matlock M D, *et al.* 2001. Change in ecosystem service values in the San Antonio area, Texas [J]. *Ecological Economics*, 39(3): 333-346
- Lambin E F, Baulies X, Bockstael N, *et al.* 1999. Land-use and land-cover change (LUCC): implementation strategy [R]. IGBP Report No. 48 and IHDP Report No. 10. Stockholm: IGBP
- 李昭阳, 汤洁, 孙平安, 等. 2006. 松嫩平原西南部土地利用动态变化的分形研究 [J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 36(2): 250-258
- 刘琼阁, 彭道黎, 施鹏程, 等. 2014. 三峡库区森林生态系统服务功能评估[J]. *东北林业大学学报*, 42(11): 62-66
- 欧阳志云, 王如松. 2000. 生态系统服务功能、生态价值与可持续发展[J]. *世界科技研究与发展*, 22(5): 45-50
- Stephen C F, Robert C, Matthew A W. 2002. Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services[J]. *Ecological Economics*, 41(3): 375-392
- Toman M. 1998. Why not to calculate the value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. *Ecological Economics*, 25(1): 57-60
- Turner I B L, Meyer W B, Skole D L. 1994. Global land-use/land-cover change: towards an integrated study [J]. *Ambio*, 23(1): 91-95
- 温晓玲, 李天宏. 2013. 浙川县生态服务价值估算及动态变化分析 [J]. *南水北调与水利科技*, 11(4): 140-144
- Wilson M A, Carpenter S R. 1999. Economic valuation of freshwater ecosystem services in the United States 1971-1997 [J]. *Ecological Applications*, 9(3): 772-783
- 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 2003. 青藏高原生态资产的价值评估 [J]. *自然资源学报*, 18(2): 189-196
- 虞依娜, 彭少麟. 2010. 生态系统服务价值评估的研究进展[J]. *生态环境学报*, 19(9): 2246-2252
- 张振明, 刘俊国. 2011. 生态系统服务价值研究进展[J]. *环境科学学报*, 31(9): 1835-1842
- 赵军, 杨凯. 2007. 生态系统服务价值评估研究进展[J]. *生态学报*, 27(1): 346-356
- 赵同谦, 欧阳志云, 王效科, 等. 2003. 中国陆地地表水生态系统服务功能及其生态经济价值评价 [J]. *自然资源学报*, 18(4): 443-452