

近三十年辽东半岛土地利用变化对生态系统服务价值的影响及生态补偿研究

李 晔*, 姜鑫沂, 夏书豪, 吕林行, 叶澹萱

(沈阳大学区域污染环境生态修复教育部重点实验室, 沈阳 110044)

摘 要:以辽东半岛为例,选取 1990 年、2000 年、2010 年、2020 年 4 个时期的土地利用数据,采用单一土地利用动态度、ESV 评估等方法,分析辽东半岛的 LUC 特征及其对 ESV 的影响,并分析研究两者之间的耦合协调关系,最后基于 ESV 确定研究区 2020 年各市的生态补偿优先级和额度。研究结果有助于优化土地利用结构,通过测算 ESV,衡量不同区域间生态补偿的迫切程度,可为区域生态文明建设和社会经济协调发展提供参考依据。

关键词:辽东半岛;ESV;生态补偿

中图分类号:X171.1

文献标志码:A

文章编号:1672-2736(2025)07-0003-9

0 引言

生态系统服务是指自然生态系统为人类社会提供的各种产品和服务^[1],生态系统服务价值(Ecosystem Service Value, ESV)是对生态系统服务能力的定量评估,它将生态系统服务量化为经济价值^[2]。对 ESV 评估是衡量区域经济发展状况和生态环境质量的重要指标^[3],可为生态环境保护、环境经济核算及生态补偿决策等提供重要依据^[4]。遥感技术发展迅速,不断有学者将 ESV 与土地利用/覆被变化(Land Use and Land Cover Change, LUC)变化相联系探讨二者之间的关系^[6],许多研究者证明 ESV 与区域地理要素的分布以及社会经济发展具有直接联系,以 LUC 为主要因素影响了地方到全球范围内的生态系统结构和功能^[2,7,8]。

目前,关于 ESV 的研究较多,研究内容包括生态系统服务功能分类、评估方法选择、时空变化以及空间分异的影响因素等方面^[9]。研究尺度包括全球、国家、城市群、流域、省、市、县以及某一单一类型生态系统等^[10]。研究方法主要有当量因子法、条件价值法^[11]、市场价值法、费用支出法^[12]、INVEST 模型评估法^[13]、生态足迹法等^[14]。这些评估方法各有利弊,其中当量因子

法由于规范性较强、评估结果直观、所需数据较少、评价精度较高、便于横向比较各种土地利用类型和单项生态系统服务功能的价值,应用最为广泛。当量因子法是基于可量化的标准,对不同类型的生态系统各种服务功能的价值当量赋予一定的数值,是一种测算区域 ESV 的常用方法^[15]。

韩增林等^[16]运用地理统计学方法及地理加权回归模型,探讨了辽东湾土地利用强度与 ESV 的时空耦合关系;闫晓露^[17]等利用遥感影像数据,并与相应 LUC 的遥感解译数据相联系,评估了辽东湾北部区 1985-2014 年的 ESV 的动态演变;张霞^[18]基于 INVEST 模型和空间计量方法评估了 2020 年辽东经济区水源涵养、土壤保持和碳固持三项生态系统服务的供需特征和匹配状况。目前,针对辽东半岛的研究多数聚集在 ESV 的评估,但在 ESV 应用方面鲜有涉及,本文将 ESV 应用于生态补偿方面,通过引入生态补偿优先级(Ecological Compensation Priority Sequence, ECPS)衡量不同区域之间获得生态补偿的迫切程度,并计算 2020 年研究区各市的生态补偿额度,以期区域生态文明建设和社会经济协调发展提供依据和参考^[19]。

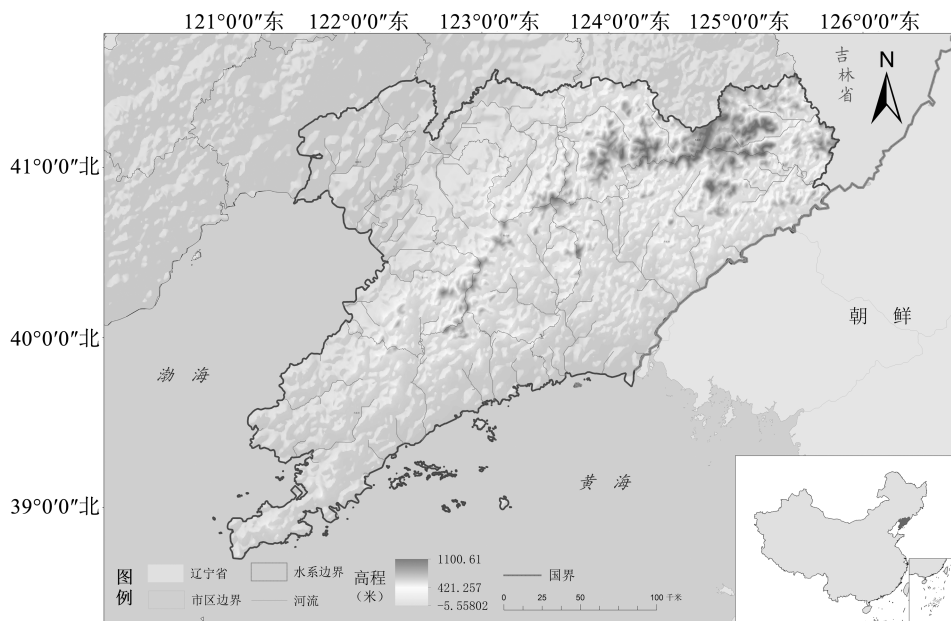


图 1 研究区概况
(审图号:辽 S[2020]223 号)

1 材料与方法

1.1 研究区概况

辽东半岛位于辽宁省东南部 (118°53′-125°46′E, 36°07′-39°57′ N), 占地面积约 2.94 万 km², 包括大连、鞍山、丹东、盘锦、营口、辽阳和本溪等 7 个城市 (图 1)。研究区自然资源丰富, 整体地貌属低山丘陵区, 中部地势相对较高, 拥有天然次生林 (分布于本溪、丹东等), 森林覆盖率高, 是辽宁森林资源宝库和辽中城市群的天然屏障。辽河口与鸭绿江口连线以南, 斜插于黄海、渤海两海之间, 隔渤海海峡, 与山东半岛遥相呼应。辽东半岛河网密集, 水资源丰富, 气候受海洋影响较大, 冬暖夏凉, 属暖温带季风气候, 年降水量在 650-950mm 之间。近年来区域经济发展迅速, 截至 2020 年, 研究区常住人口数量达 1842.1 万人, 全年生产总值为 13825.8 亿元。

1.2 数据来源及分类

研究所使用的 1990-2020 年土地利用数据取自武汉大学杨杰教授等^[21]所发布的 30m 分辨率 LUC 数据集, 满足研究精度要求。其他数据包括 (1) 空间矢量数据: 影像、高程数据下载自

地理空间数据云平台 (<https://www.gscloud.cn>), 数据运用 Arcgis10.8 软件处理; 气候如降水、气温、蒸散发等数据来自中科院地理科学与资源研究所 (<https://www.resdc.cn>); (2) 社会经济数据: 大连、鞍山、丹东、盘锦、营口、辽阳和本溪等各市的 GDP 数据、人口、农产品 (水稻、高粱、玉米和大豆) 单产、种植面积及平均出售价格等摘自辽宁省统计年鉴、各市统计年鉴及辽宁省农业农村厅平台数据支持。

根据《土地利用现状分类》(GB/T 21010—2017)^[20], Costanza 等^[5]和谢高地等^[22]的研究成果以及辽东半岛的具体情况, 将土地利用类型划分为耕地、林地、草地、水域、未利用地、建设用地和湿地。

1.3 研究方法

1.3.1 土地利用

(一) 单一土地利用动态度 (K)

$$K = \frac{Q_b - Q_a}{Q_a} \cdot \frac{1}{T} \cdot 100\% \quad (1)$$

Q_a 为研究初期某地类的面积; Q_b 为研究末期该地类的面积; T 为研究时间长。

表 1 研究区 ESV 当量因子系数表

一级分类	二级分类	耕地	林地	草地	水域	未利用地	建设用地	湿地
供给服务	食物生产	1.36	0.29	0.22	0.80	0.01	0.01	0.51
	原料生产	0.09	0.66	0.33	0.23	0.03	0.00	0.00
	水资源供给	-2.63	0.34	0.18	8.29	0.02	-7.51	2.59
调节服务	气体调节	1.11	2.17	1.14	0.77	0.11	0.00	1.90
	气候调节	0.57	6.50	3.02	2.29	0.10	0.00	3.60
	净化环境	0.17	1.93	1.00	5.55	0.31	-2.46	3.60
	水文调节	2.72	4.74	2.21	102.24	0.21	0.00	24.23
支持服务	土壤保持	0.01	2.65	1.39	0.93	0.13	0.02	2.31
	维持养分循环	0.19	0.20	0.11	0.07	0.01	0.00	0.18
	生物多样性	0.21	2.41	1.27	2.55	0.12	0.34	7.87
文化服务	美学景观	0.09	1.06	0.56	1.89	0.05	0.01	4.73

(二) 土地利用转移矩阵(S)

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ S_{n1} & S_{n2} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

S_{ij} 为研究开始到结束从第 i 个地类转换为第 j 个地类的土地面积; n 为地类的数量。

(三) 土地利用综合指数(I)

$$I = 100 \cdot \sum_{i=1}^{i=n} X_i \cdot Y_i \quad (3)$$

参数 X 为土地利用程度分级指数, 未利用地=1, 林地、草地、湿地和水体=2, 耕地=3, 建设用地=4; Y_i 即相应地类的面积比例。

1.3.2 ESV 核算

在谢高地等^[22]制定的中国陆地 ESV 当量因子表的基础上, 本文根据辽东半岛的实际情况对相关系数进行调整, 建设用地采用李晓赛等^[23]的研究结果来获取辽东半岛生态系统服务各项目的当量因子(表 1)。

(一) 单位面积 ESV

选取 2020 年研究区各市粮食作物的单产、播种面积、平均出售价格等数据, 计算得辽东半岛地区 1 个标准当量的经济价值量 (E_c) 为 1395.88yuan/hm²。

$$E_c = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^n \frac{m_i p_i q_i}{M} \quad (4)$$

$$V_{cij} = E_c y \cdot f_{ij} \quad (5)$$

i 为作物种类; p_i 为 i 种粮食作物在当年的辽东半岛的平均市场价格 (yuan · kg⁻¹); q_i 为 i 种粮食作物单产 (kg/hm²); m_i 为 i 种粮食作物在辽东半岛的全部种植面积 (hm²); M 为辽东半岛 n 种粮食作物种植总面积 (hm²); V_{cij} 为第 i 种地类第 j 种单位面积 ESV (yuan/hm²); f_{ij} 为第 i 种地类第 j 种生态服务价值的当量因子。

(二) ESV 总量

$$ESV = \sum (S_i \cdot V_{ci}) \quad (6)$$

S_i 为第 i 类地类的面积 (hm²); V_{ci} 为生态服务价值系数 (yuan/hm²)。

1.3.3 耦合协调度模型

$$U = 2\sqrt{(u_1 \cdot u_2) / (u_1 + u_2)^2} \quad (7)$$

$$S = \sqrt{U \cdot T} \quad (8)$$

$$D = \alpha u_1 + \beta u_2 \quad (9)$$

U 为耦合度; S 为协调度; D 为耦合协调度; α 和 β 分别是 I 和 ESV 的权重; u_1 和 u_2 分别是 I 和 ESV 的归一化值。 D 值分布在 0 到 1 之间, 最后针对耦合协调程度进行划分。

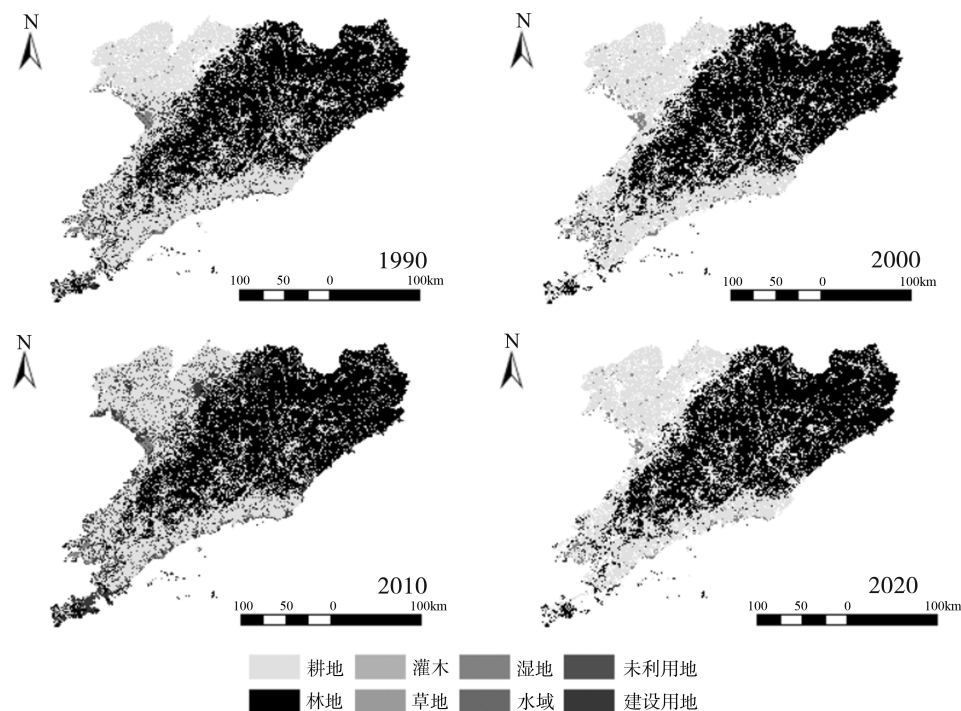


图 2 1990-2020 年研究区土地利用/覆被时空分布

1.3.4 生态补偿标准模型

(一) 生态补偿优先级

参考王女杰等学者^[25]研究,ESV 的市场价值(食物生产和原料生产)已经在市场机制中转化成货币,因而在生态补偿量的确定中,只考虑非市场价值(水资源供给、气体调节、气候调节、水文调节、净化环境、维持养分循环、生物多样性、保持土壤和提供美学景观)。

$$ECPS = \frac{VAL_N}{GDP_N} \quad (10)$$

ECPS 为生态补偿优先级; GDP_N 为单位面积地区生产总值; VAL_N 为单位面积 ESV。

(二) 生态补偿额度

$$R_i = V_i \times k \times t_i \quad (11)$$

$$t_i = 2 \times \arctan S_{e,c,p,i} / \pi \quad (12)$$

$$i = 1, 2, 3 \dots \quad (13)$$

R_i 为区域生态补偿总量^[26](亿元); V_i 为区域生态系统非市场价值(亿元); k 为生态价值折算系数; t_i 为区域生态补偿需求强度系数; $S_{e,c,p,i}$ 为某区域 ECPS; π 为圆周率。关于 ESV 折算系数,考虑辽东半岛的经济发展与生态环境情况,

结合许丽丽等学者^[27,28]的研究,将 k 定为 15%。

2 结果与分析

2.1 土地利用变化分析

从 1990-2020 年整个研究期总体面积来看(图 2),占地面积最大的地类均为林地。30 年间林地面积增加了 104325.05hm²,占比增加 1.77%,K 值表明其研究区间内变化最小;其次面积最大的是耕地,整体呈缓慢下降趋势;水域面积 1990 到 2010 年一直处于上涨趋势;建设用地扩张迅速,整体呈直线上升趋势,K 值较大,仅次于未利用地;草地和未利用地面积占比共计 1.6%,未利用地 K 值最大,30 年内面积急剧缩减。

研究期间,LUCC 转换面积最大的是大连市、丹东市和营口市,分别有 1497.4km²、1208.5km²、659.3km² 的利用类型发生变化。大连和营口最大转移区体现在由耕地向建设用地转移,而丹东市更多表现在退耕还林,面积达 634.6km²,大连市和本溪市退耕还林面积共计 441.8km²。小部分林地转为耕地和建设用地,主要在鞍山市、大连市,共计 345.7km²,整体数量

上看林地面积波动较小。整体统计得出,辽东半岛转移区主要是由耕地转向建设用地,面积共计 1656.09 km²(表 2)。

2.2 ESV 变化分析

辽东半岛在 1990、2000、2010 以及 2020 年的 ESV 总量分别为:1203.40 亿元、1267.33 亿元、1229.68 亿元和 1166.66 亿元,整体呈现先上升后下降的趋势。

从不同土地利用所提供的 ESV 来看,研究区 ESV 总量中林地和水域贡献最高(表 3)。水域价值变化最大,其次是未利用地和建设用地,

这与 LUC 直接相关。从各单项 ESV 变化来看,研究区调节服务所提供的价值最高,变化最显著,波动体现在水文调节,原因是水域面积紧缩;其次变化较大的是供给服务,其 ESV 始终处于负值,二级分类中食物生产和水资源供给均呈持续下降趋势,引起耕地面积紧缩,食物供给能力降低,城市扩张用水量增多。

研究区 ESV 分布具有显著的空间异质性(图 3)。一方面,沿海经济发展迅速对 ESV 影响较大,尤其体现在渤海湾以及黄渤海交界处,大面积高值区、中值区向次低值区、低值区转移;

表 2 1990~2020 年辽东半岛土地利用类型转移矩阵

		2020 年							
		草地	耕地	未利用地	林地	湿地	水域	建设用地	合计
		(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)
1990 年	草地	168.51	174.87	4.88	0.00	0.00	13.89	93.70	455.85
	耕地	79.53	9663.11	1.31	980.58	0.00	160.70	1323.48	12208.71
	未利用地	0.46	12.64	3.95	0.07	0.00	10.27	60.33	87.73
	林地	18.76	529.02	0.30	17319.96	0.00	2.67	225.52	18096.24
	湿地	0.00	0.22	0.00	0.01	0.02	0.06	0.03	0.33
	水域	0.23	71.83	2.17	5.92	0.00	872.36	361.43	1313.93
	建设用地	0.22	29.53	0.32	0.42	0.00	189.26	3849.83	4069.59
	合计	267.71	10481.22	12.94	18306.96	0.03	1249.20	5914.33	36232.38

表 3 单位面积 ESV

一级分类	二级分类	耕地	林地	草地	水域	未利用地	建设用地	湿地
		(yuan · hm ⁻¹)	(yuan · hm ⁻¹)	(yuan · hm ⁻¹)	(yuan · hm ⁻¹)	(yuan · hm ⁻¹)	(yuan · hm ⁻¹)	(yuan · hm ⁻¹)
供给服务	食物生产	1898.40	404.81	307.09	1116.71	13.96	13.96	711.90
	原料生产	125.63	921.28	460.64	321.05	41.88	0.00	0.00
	水资源供给	-3671.17	474.60	251.26	11571.87	27.92	-10483.08	3615.34
调节服务	气体调节	1549.43	3029.07	1591.31	1074.83	153.55	0.00	2652.18
	气候调节	795.65	9073.24	4215.57	3196.57	139.59	0.00	5025.18
	净化环境	237.30	2694.05	1395.88	7747.15	432.72	-3433.87	5025.18
	水文调节	3796.80	6616.49	3084.90	142715.08	293.14	0.00	33822.25
支持服务	土壤保持	13.96	3699.09	1940.28	1298.17	181.46	27.92	3224.49
	维持养分循环	265.22	279.18	153.55	97.71	13.96	0.00	251.26
	生物多样性	293.14	3364.08	1772.77	3559.50	167.51	474.60	10985.60
文化服务	美学景观	125.63	1479.64	781.69	2638.22	69.79	13.96	6602.53
	合计	5429.99	32035.52	15954.94	175336.87	1535.47	-13386.52	71915.90

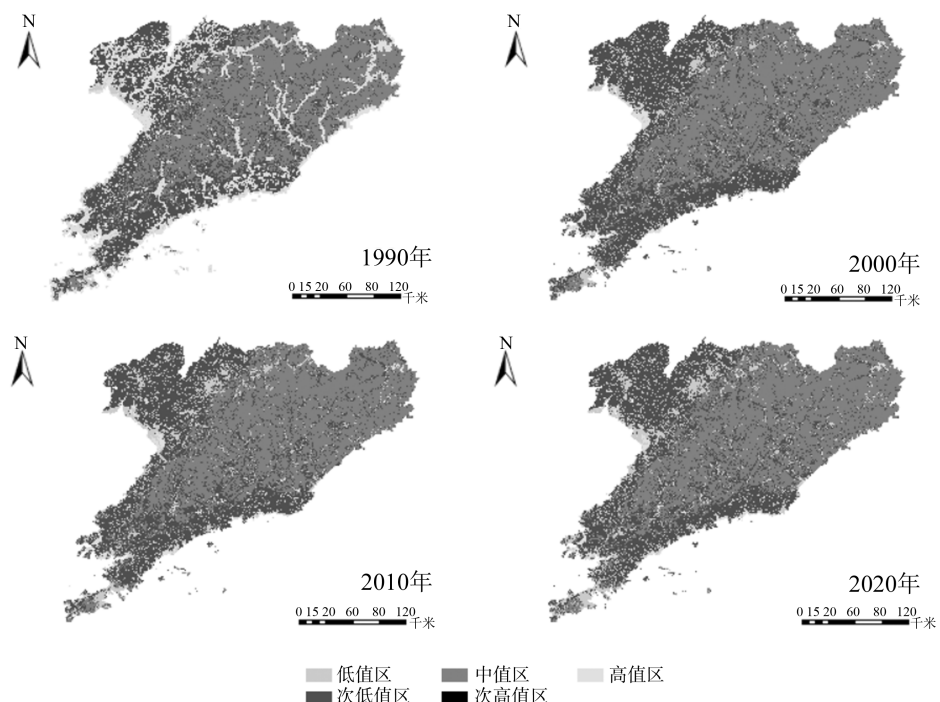


图 3 1990-2020 年 ESV 时空分布

表 4 耦合协调度等级划分

协调等级	1	2	3	4	5
<i>D</i> 值区间	0.00-0.09	0.10-0.19	0.20-0.29	0.30-0.39	0.40-0.49
耦合协调程度	极度失调	严重失调	中度失调	轻度失调	濒临失调
协调等级	6	7	8	9	10
<i>D</i> 值区间	0.50-0.59	0.60-0.69	0.70-0.79	0.80-0.89	0.90-1.00
耦合协调程度	勉强协调	初级协调	中级协调	良好协调	优质协调

另一方面体现在以城市为圆心沿主干道呈放射状发展,大规模区域从次低值区向低值区转移;位于本溪市、丹东市、营口市、鞍山市的大面积中值区域保护较好,鞍山市区城市扩张发展迅速,开发过程中也避免了向东部林地过度扩张。

2.3 耦合协调分析

耦合分析中有一个子项状况不佳都会影响结果^[22],只有两者均处于较高水平且耦合度较高,才真正实现系统耦合。*D* 值可反映 ESV 和 *I* 两者之间整体的有序性及相互作用的强弱。1990 年 *D* 值为 0.266 属于中度失调,2000 年为 0.474 属濒临失调,2010 年为 0.782 属中级协

调,2020 年为 0.315 属轻度失调(表 4)。研究期内,因城市开发利用强度不断增大,辽东半岛土地利用程度持续上升,2020 年达到最高;而总 ESV 在 2000 年最高,2020 年 ESV 最低。因此,ESV 和 *I* 在 2020 年耦合效果最好,表明在土地利用开发过程中,城镇化和生态保护之间协调发展极其重要。

2.4 生态补偿标准

2020 年辽东半岛各市的 ECPS 次序为:丹东(0.488)、本溪(0.306)、鞍山(0.085)、辽阳(0.083)、营口(0.071)、大连(0.029)、盘锦(0.022)。丹东和本溪的 ECPS 较大,应率先得

表 5 辽东半岛各市生态补偿额度

地区	优先级 ECPS	生态补偿需求强度	生态补偿标准 (亿元)	占总补偿比重 (%)	占地区 GDP 比重 (%)
鞍山市	0.085	0.054	1.186	4.478	0.068
本溪市	0.306	0.189	7.010	26.480	0.865
大连市	0.029	0.018	0.551	2.082	0.008
丹东市	0.488	0.289	16.483	62.262	2.115
辽阳市	0.083	0.053	0.548	2.070	0.065
盘锦市	0.022	0.014	0.061	0.230	0.005
营口市	0.071	0.045	0.635	2.398	0.048

到补偿,而大连和盘锦 ECPS 较小,应当先支付补偿。

2020 年辽东半岛生态补偿理论总额度为 26.473 亿元,其中丹东补偿额度最高,为 16.483 亿元,占补偿总额度的 62.262%,最先获得补偿;其次为本溪,为 7.010 亿元,占总额度的 26.480%,补偿顺序为第二(表 5)。补偿额度排最后两位的城市是辽阳和盘锦,分别为 2.070% 与 0.230%。大连虽然补偿优先级较低,但其纳入补偿的生态价值较高,生态补偿量仅次于鞍山和营口。

3 结论与建议

本研究基于 LUCC 掌握辽东半岛 1990-2020 年的生态系统格局演变状况,并基于 ESV 对生态补偿展开研究,结果表明:

(1) 1990-2020 年研究区 LUCC 较为稳定。林地面积占比最高,位于长白山余脉山地区域植被保护较好,整体面积动态变化小;建设用地扩张速度较快,呈直线上升趋势,其他地类用地面积均减少。整体来看,沿海城市土地利用变化率更高。

(2) ESV 总量整体先上升后下降的趋势,其中林地和水域贡献最高,但随着水域面积紧缩,水域所提供的 ESV 变化显著。单项 ESV 中调节服务所提供的价值最高,变化也最显著,主要体现在水文调节;其次供给服务中食物生产和水资源供给均呈持续下降趋势。研究区 ESV 分布具

有显著的空间异质性,城市扩张经济发展区域变化较大,主要表现在沿海区域以及城市周边 ESV 下降明显,与 LUCC 变化相一致。

(3) 土地利用程度和 ESV 动态关系结果显示 2010 年协调度最好。经济发展与环境建设协同有序发展是实现可持续发展重要途径。

(4) 辽东半岛生态补偿总额度为 26.473 亿元,补偿优先顺序为:丹东、本溪、鞍山、营口、大连、辽阳、盘锦。2020 年生态补偿额度占 GDP 的 0.19%,具有可操作性。

总体来说,水域面积紧缩、耕地面积减少、粮食产量降低、城市迅速扩张是造成辽东半岛研究区 ESV 下降的主要原因,应继续加强生态、经济协调发展,减少水域、草地、林地等生态区向农用地、建设用地转变,重点关注水域生态系统健康管理,以保证调节服务持续发挥作用。值得提倡的是区域原始林地保护较好,“十三五”以来,辽宁省全面强化天然林保护和生态公益林管理,积极投入生态效益补偿资金,有力促进了生态建设和天然林资源保护,丹东市等市县划区发展,对位于重点保护区域进行退耕还林还草。未来应继续积极探索重点生态功能区规划保护实现路径,推动各区域高质量发展。

参考文献(References):

- [1] Daily G C. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems[M]. Washington DC: Island Press, 1997.

- [2] Li W, Wang L, Yang X, et al. Interactive influences of meteorological and socioeconomic factors on ecosystem service values in a river basin with different geomorphic features [J]. *Science of The Total Environment*, 2022, 829: 154595.
- [3] Jiang C, Yang Z, Wen M, et al. Identifying the spatial disparities and determinants of ecosystem service balance and their implications on land use optimization [J]. *Science of The Total Environment*, 2021, 793: 148472.
- [4] Zhou Z, Sun X, Zhang X, et al. Inter-regional ecological compensation in the Yellow River Basin based on the value of ecosystem services [J]. *Journal of Environmental Management*, 2022, 322: 116073.
- [5] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [6] 殷楠, 王帅, 刘焱序. 生态系统服务价值评估: 研究进展与展望 [J]. *生态学杂志*, 2021, 40(01): 233-244.
- [7] Huang C, Zhao D, Liu C, et al. Integrating territorial pattern and socioeconomic development into ecosystem service value assessment [J]. *Environmental Impact Assessment Review*, 2023, 100: 107088.
- [8] Yang M, Gao X, Siddique K H M, et al. Spatiotemporal exploration of ecosystem service, urbanization, and their interactive coercing relationship in the Yellow River Basin over the past 40 years [J]. *Science of The Total Environment*, 2023, 858: 159757.
- [9] 李子君, 刘金玉, 姜爱霞, 等. 基于土地利用的祁河流域生态系统服务价值动态变化 [J]. *水土保持研究*, 2020, 27(02): 269-275, 283.
- [10] 欧阳志云, 王如松. 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*, 2000, 21(05): 45-50.
- [11] 陈琳, 欧阳志云, 王效科, 等. 条件价值评估法在非市场价值评估中的应用 [J]. *生态学报*, 2006, 25(02): 610-619.
- [12] 陈应发. 费用支出法——一种实用的森林游憩价值评估方法 [J]. *生态经济*, 1996, 11(03): 27-31.
- [13] 刘菊, 傅斌, 张成虎, 等. 基于 InVEST 模型的岷江上游生态系统水源涵养量与价值评估 [J]. *长江流域资源与环境*, 2019, 28(03): 577-585.
- [14] 曹瑞芬, 张安录, 万珂. 耕地保护优先序省际差异及跨区域财政转移机制——基于耕地生态足迹与生态服务价值的实证分析 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25(08): 34-42.
- [15] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 等. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进 [J]. *自然资源学报*, 2015, 30(08): 1243-1254.
- [16] 韩增林, 孟琦琦, 闫晓露, 等. 近 30 年辽东湾北部区土地利用强度与生态系统服务价值的时空关系 [J]. *生态学报*, 2020, 40(08): 2555-2566.
- [17] 闫晓露, 郑欢, 李洪飞. LUCC 影响下辽东湾北部区生态系统服务价值时空演变 [J]. *辽宁师范大学学报(自然科学版)*, 2020, 43(03): 381-391.
- [18] 张霞. 辽东经济区生态系统服务价值核算及其供需匹配格局探究 [J]. *现代园艺*, 2022, 45(22): 150-152.
- [19] 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价 [J]. *应用生态学报*, 1999, 9(05): 635-640.
- [20] 全国国土资源标准化技术委员会(SAC/TC 93). 土地利用现状分类: GB/T 21010-2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [21] Yang J, Huang X. The 30 m annual land cover dataset and its dynamics in China from 1990 to 2019 [J]. *Earth System Science Data*, 2021, 13(08): 3907-3925.
- [22] 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, 17(02): 189-196.
- [23] 李晓赛, 朱永明, 赵丽, 等. 基于价值系数动态调整的青龙县生态系统服务价值变化研究 [J]. *中国生态农业学报*, 2015, 23(03): 373-381.
- [24] Xiao R, Lin M, Fei X, et al. Exploring the interactive coercing relationship between urbanization and ecosystem service value in the Shanghai-Hangzhou Bay Metropolitan Region [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 253: 119803.
- [25] 王女杰, 刘建, 吴大千, 等. 基于生态系统服务价值的区域生态补偿——以山东省为例 [J]. *生态学报*, 2010, 30(23): 6646-6653.
- [26] 张也. 基于土地利用变化的秦皇岛市生态系统服

- 务价值与生态补偿机制研究[D]. 延边: 延边大学, 2021.
- [27] 郭家相, 郭家瀚. 土地整治对区域生态系统服务功能的影响及优化策略[J]. 黑龙江国土资源, 2025, 23(03): 30-36.
- [28] 许丽丽, 李宝林, 袁焯城, 等. 基于生态系统服务价值评估的我国集中连片重点贫困区生态补偿研究[J]. 地球信息科学学报, 2016, 18(03): 286

-297.

作者简介:

第一作者/通讯作者: 李晔, 1978年生, 女, 沈阳人, 博士, 沈阳大学, 教授, 主要研究方向为生态修复与可持续发展研究。Email: sydxliye@syu.edu.cn

Study on the Impact of Land Use Change on Ecosystem Service Value and Ecological Compensation in Liaodong Peninsula during the Past Thirty Years

LI Ye^{*}, JIANG Xinyi, XIA Shuhao, LV Linhang, YE Danxuan

(Key Laboratory of Regional Polluted Environment and Ecological Restoration of Ministry of Education, Shenyang University, Shenyang 110044, China)

Abstract: Taking Liaodong Peninsula as a case study, this analysis selects land use changes at four nodes of year: 1990, 2000, 2010, and 2020. The study employs single-movement attitudes and ecosystem service value (ESV) assessments to explore the characteristics of land use change and its impact on ESV. Additionally, it investigates the coupled and coordinated relationship between ESV and the degree of land use integration. Ultimately, the study aims to determine the priority and amount of ecological compensation required for each city in the study area in 2020, based on ESV findings. The results of this research contribute to optimizing land use structures, enhancing ecosystem service values, and assessing the urgency of ecological compensation across different regions. This information can serve as a valuable reference for constructing regional ecological civilization and promoting the coordinated development of socio-economic factors.

Key words: Liaodong Peninsula; ecosystem service value; ecological compensation