

# 边境地区景观格局演变及生态系统服务价值响应

## ——以延边朝鲜族自治州为例

于媛, 李明玉, 韩旭龙, 刘晖

(延边大学 地理与海洋科学学院, 吉林 延吉 133002)

**摘要:**进入 21 世纪后, 延边朝鲜族自治州在各方面的发展均进一步提升, 人类活动严重影响着其景观格局及生态系统服务功能的变化。因此, 研究延边朝鲜族自治州的景观格局演变及其对生态系统服务价值的影响机理对未来边境地区的发展有着重要意义。依托 Fragstas4.2 软件平台, 参照生态系统服务当量因子表, 探究延边州在 1996—2016 年景观格局及生态系统服务价值的变化情况; 并剖析了景观格局演变对延边州生态系统服务价值间的响应关系。结果表明: (1) 20 年间, 耕地、草地、建设用地分别增长 371.57 km<sup>2</sup>, 291.69 km<sup>2</sup>, 235.23 km<sup>2</sup>, 林地和水域分别减少 780.60 km<sup>2</sup>, 118.95 km<sup>2</sup>; 各景观类型的破碎化程度加剧。 (2) 20 年来, 延边州的生态系统服务总价值共降低 33.49 亿元; 林地和水域的生态系统服务价值下降明显, 耕地及草地相反; 从空间分布来看, 延边州的生态系统服务价值呈现中心城市低、周边城市高的分布态势。 (3) 生态系统服务价值与最大斑块指数、蔓延度指数及聚集度指数呈正相关, 与斑块个数、斑块密度、景观形状指数及香浓多样性指数呈负相关。研究结果对于该地区制定土地利用政策及可持续发展提供决策建议。

**关键词:**边境地区; 景观格局; 生态系统服务价值; 延边朝鲜族自治州

**中图分类号:** X171.1; P901

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2021)01-0315-08

## Study on the Response of Ecosystem Service Value to the Evolution of Landscape Pattern in Border Areas

### —Taking Yanbian Korean Autonomous Prefecture as an Example

YU Yuan, LI Mingyu, HAN Xulong, LIU Hui

(School of Geography and Marine Science, Yanbian University, Yanji, Jilin 133002, China)

**Abstract:** After entering the 21st century, the development of Yanbian Korean Autonomous Prefecture in all aspects has been further improved, and human activities have seriously affected changes in landscape patterns and ecological service functions. Therefore, studying the evolution of the landscape pattern of Yanbian Korean Autonomous Prefecture and its impact on ecosystem service value is of great significance to the development of border areas in the future. Based on the Fragstas 4.2 software platform and referring to the ecosystem service equivalent factor table, the landscape pattern and ecosystem service value changes of Yanbian Prefecture from 1996 to 2016 were explored; and the impact mechanism of landscape pattern evolution on the ecosystem service value of Yanbian Prefecture was analyzed. The results show that: (1) during 20 years, cultivated land, grassland, and construction land had respectively increased by 371.57 km<sup>2</sup>, 291.69 km<sup>2</sup>, and 235.23 km<sup>2</sup>, respectively, while forest land and water area had decreased by 780.60 km<sup>2</sup>, and 118.95 km<sup>2</sup>, respectively, and the degree of fragmentation had increased; (2) over the past 20 years, the total value of ecosystem services in Yanbian Prefecture had decreased by 3.349 billion yuan; the values of ecosystem services in forests and waters had declined significantly, and the values of ecosystem services of cultivated land

收稿日期: 2020-05-12

修回日期: 2020-06-01

资助项目: 国家自然科学基金“延龙图地区城市生态用地评价与空间格局优化研究”(41461036); 2019 年吉林省“十三五”科学技术项目(JJKH20191124KJ)

第一作者: 于媛(1997—), 女, 吉林白城人, 硕士研究生, 研究方向为地图学与地理信息系统。E-mail: 1466770259@qq.com

通信作者: 李明玉(1974—), 女, 黑龙江海林人, 教授, 博士, 研究方向为城市生态用地评价。E-mail: leemy@ybu.edu.cn

and grasslands had increased significantly; the distribution of ecosystem service value presented the low level in the central cities and the high level in the surrounding cities; (3) the ecosystem service value was positively correlated with the maximum patch index, spread index and aggregation index, and negatively correlated with the number of patches, patch density, landscape shape index and Shannon diversity index. The results of the study can provide decision-making suggestions for the formulation of land-use policies and sustainable development in this area.

**Keywords:** border area; landscape pattern; ecosystem service value; Yanbian Korean Autonomous Prefecture

生态系统服务意指生态系统形成的维持人类生存发展的环境条件及效用<sup>[1]</sup>,也泛指人类直接或间接从生态系统所得到的各种收益<sup>[2]</sup>。其价值变化的实质便是景观格局动态变化的具体体现<sup>[3]</sup>。景观格局已日渐成为土地利用变化研究的重要分析手段<sup>[4]</sup>,其变化对景观中的物质循环、能量流动等都有着一定影响<sup>[5]</sup>。基于此,探究区域景观格局与生态系统服务价值间的关系有助于明确两者间的响应关系,对完善区域土地资源优化利用及构建健康稳定的景观生态系统有着一定的现实意义。

近些年来,越来越多的研究人员开始利用景观格局指数来探究景观格局演变对生态系统服务价值的影响。在区域选择上,已有研究多集中于经济快速发展区域,如邹月等<sup>[6]</sup>阐述了西安市 2000—2015 年景观格局演变对生态系统服务价值的影响;吴娇等<sup>[7]</sup>以三峡库区(重庆段)为例,重点分析了 2000—2015 年 4 种景观格局对生态系统服务价值的影响机理;虎陈霞等<sup>[8]</sup>以处于长三角腹地地带的嘉兴市作为研究区,剖析该市 1979—2012 年景观格局变化与生态系统服务价值变化间的响应。但将土地利用景观格局变化对生态系统服务价值的响应应用到边境地区鲜有报道。相较于经济快速发展地区中复杂的政府政策和土地利用变化,少数民族等边境地区的研究更容易发现其中的响应机理。

延边州地处中朝俄三国交界中心,是我国对外开放的窗口,其生态地位尤为显著。本研究参照 Costanza<sup>[2]</sup>、谢高地等<sup>[9-12]</sup>提出的关于生态服务价值的计算方法,依托土地利用数据,运用 ArcGIS 10.3, Fragstats4.2 及 SPSS 等软件进行相关分析,采用空间格局指数方法,结合相关性及敏感度分析,对延边州的土地利用景观格局变化与生态系统服务价值间的响应进行研究,旨在为边境地区在制定土地利用规划与生态保护政策时提供一定的科学依据。

## 1 研究区域与数据来源

### 1.1 研究区概况

延边朝鲜族自治州处在吉林省东部,是中朝俄三

国交界的中心且相邻日本海。该区由 8 个县市(安图、敦化、和龙、珲春、龙井、图们、汪清、延吉)组成,辖区面积共 4.32 万 km<sup>2</sup>。整体地势呈西部高东部低分布,自西南、西北、东北向东南方向倾斜,以珲春一带为最低。2016 年末,全州总人口约 212.0 万人,朝鲜族占比 35.8%;全州 2016 年全年 GDP 达 915.1 亿元,农业生产总产值达 80 亿元。处于中温带湿润季风气候区,年平均降水达 400~650 mm,年平均气温为 2~6℃,结冰期在 10 月中下旬,化冻期在 3 月中下旬。冷热分明的温带季风气候使延边州盛产水稻、玉米和大豆等农作物。

### 1.2 数据来源及处理

本研究以 Landsat TM/OLI 影像(<http://www.gscloud.cn>)为基准提取延边朝鲜族自治州 1996 年、2006 年、2016 年 3 期土地覆盖数据。辅助数据来源于 1997—2017 年的《全国农产品成本收益统计资料汇编》、《吉林统计年鉴》、《延边统计年鉴》及国家统计局等网站为主的社会经济数据。

本研究首先对遥感数据进行大气校正、几何精校正、图像增强、拼接和裁剪等影像预处理。参考 Wang 等<sup>[13]</sup>的分类方法,结合研究区实际情况,将延边朝鲜族自治州土地利用数据共分为未利用地、耕地、林地、草地、建设用地、水域 6 个一级类。应用 eCognition 软件进行面向对象的多尺度分割;基于数字高程模型(DEM)和大量的野外验证点,以监督分类、决策树分类、目视解译 3 种方法相结合开展不同土地利用信息的提取,以获取研究区不同时期土地利用的空间分布数据<sup>[14]</sup>。并通过野外实地调研将解译结果进行验证,3 期影像的解译精度均达到 90%以上,满足研究需求(图 1)。

## 2 研究方法

### 2.1 景观格局指数分析

景观格局作为景观生态学的研究范畴之一,同时也是景观异质性的详尽表达。景观指数指的是可以高度浓缩景观格局信息,表示其组成部分及空间配置

等某些特征的简单定量指标<sup>[15]</sup>。因此,结合延边州独特的自然地理环境及区位条件,以 Fragstats 4.2 软件为支撑,在参考前人研究的基础上<sup>[16-18]</sup>,共选取

7 个景观格局指数。分别是斑块个数、斑块密度、最大斑块指数、景观形状指数、聚集度指数、蔓延度指数、香浓多样性指数。

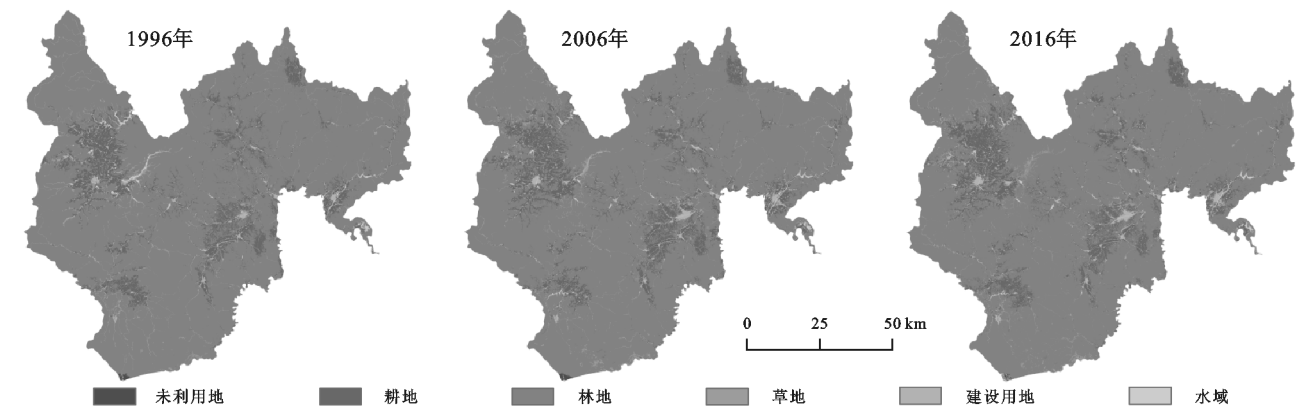


图 1 1996—2016 年延边朝鲜族自治州土地利用类型空间分布

2.2 生态系统服务价值评估

2.2.1 生态系统服务价值评估指标确定 土地利用对生态系统服务的影响,主要表现为生态系统服务价值量的变化。土地利用的变化过程对各景观生态系统的类型及空间布局都产生一定影响,致使生态系统中的物质循环及能量流动等过程发生相应改变。因此,本研究以延边朝鲜族自治州土地利用景观格局的变化作为切入点,对其生态系统服务的价值响应做出具体研究。本研究主要对生态系统服务中的食物生产、原料生产、水资源供给等 11 类生态系统服务价值进行测算。

根据国家土地分类标准和延边朝鲜族自治州的地形地貌、土壤特征等将延边朝鲜族自治州土地利用类型划分林地、草地、水域、建设用地、未利用地、耕地 6 种,并由此确定符合延边朝鲜族自治州当地情况的生态系统服务价值当量表。其中,林地取针叶林、阔叶林、针阔混交林三者均值;草地取草原、灌草丛、草甸三者均值;水域对应水系;建设用地的单位面积当量系数取值为 0;未利用地取荒漠和裸地二者均值;耕地的单位面积当量系数根据本地的旱地和水田进行适当校正,取水田和旱地的均值。

2.2.2 生态系统服务价值的估算方法 我国学者谢高地等参照 Costanza 的研究,制订了契合我国实际的“中国陆地生态系统服务价值当量因子表”<sup>[12]</sup>。定义为:1 个生态服务价值当量因子的经济价值量相当于研究区本年度平均粮食单产市场价值的 1/7<sup>[9]</sup>,为除去各年份间农作物价格波动对总价值量的影响,选取延边朝鲜族自治州 1996—2016 年间 3 种主要农作物(水稻、玉米和大豆)的播种面积、产量以及 20 年间农作物的平均价格作为基础数据。公式如下:

$$E_n = 1/7 \sum_{i=1}^m \frac{o_i \cdot p_i \cdot q_i}{M} \quad (m=1,2,3) \quad (1)$$

式中: $E_n$ 为延边州单位面积下农田生态系统提供食物生产能力的经济价值(元/hm<sup>2</sup>); $i$ 为作物类别; $o_i$ 为第  $i$  种粮食作物面积(hm<sup>2</sup>); $p_i$ 为第  $i$  种粮食作物单产(kg/hm<sup>2</sup>); $q_i$ 为第  $i$  种粮食作物的平均价格(元/kg); $M$ 为 3 种粮食作物总面积。

研究区的主要粮食作物有水稻、玉米和大豆,本研究以 1996—2016 年的年平均产量(3 973.48 kg/hm<sup>2</sup>)为基准单产,粮食价格按 3 种农产品的平均价格(2.23 元/kg)计算,根据公式(1)可以计算出延边朝鲜族自治州单位面积的耕地自然粮食产量的经济价值约为 1 265.84 元/hm<sup>2</sup>,由此确定研究区不同土地利用类型单位面积生态价值系数。在此基础上,拟合谢高地等于 2015 年制定的“中国生态系统服务价值当量表”<sup>[12]</sup>,根据延边州的具体情况,结合生物量修订公式<sup>[10]</sup>,进一步修订该区域的生态系统服务价值当量表,得到单位面积下延边的生态服务功能价值表(表 1)。

利用 Costanza 等制定的生态系统服务价值公式,可以得出延边朝鲜族自治州的生态系统服务价值量,公式如下:

$$ESV = \sum A_i \times VC_i \quad (2)$$

$$ESV_f = \sum A_{if} \times VC_{if} \quad (3)$$

式中:ESV 指区域生态系统服务总价值(元); $A_i$ 指第  $i$  种景观类型的面积(hm<sup>2</sup>); $VC_i$ 指第  $i$  种景观类型的价值系数[(元/hm<sup>2</sup>·a)]; $ESV_f$ 指单项生态系统服务价值(元); $VC_{if}$ 指单项服务价值系数[(元/hm<sup>2</sup>·a)]。

2.2.3 生态系统价值的敏感性计算 为了验证延边州生态系统服务价值系数的精确性,本研究引用生态系统价值敏感性指数<sup>[19]</sup>,用以测度随着时间变化 ESV 对 VC 变化的倚赖程度,即 VC 每变动 1%后相

应 ESV 变化情况。其方法为将各类景观的 VC 上下变动 50%，用来验证 ESV 弹性系数的变化情况；如  $CS>1$ ，说明对于 VC，估算的 ESV 是有弹性的，准确度较低；如  $CS<1$ ，认为 ESV 是缺乏弹性的，说明 VC 的准确性较高，对 ESV 的估算越准确。公式如下：

$$CS=\left|\frac{(ESV_x-ESV_y)/ESV_y}{(VC_{xi}-VC_{yi})/VC_{yi}}\right|$$

(4)

式中：ESV 指区域单元内生态系统服务总价值(元)； $VC_i$  指生态系统单位面积下的服务价值[元/( $hm^2 \cdot a$ )]； $y$  和  $x$  指调整前后的价值。

表 1 延边朝鲜族自治州单位面积生态系统服务价值元/( $hm^2 \cdot a$ )

一级类型	二级类型	耕地	林地	草地	水域	未利用地	建设用地
供给服务	食物生产	1348.12	341.78	291.14	1012.67	12.66	0
	原料生产	284.82	797.48	430.39	291.14	37.98	0
	水资源供给	−2101.30	417.73	240.51	10493.81	25.32	0
调节服务	气体调节	1259.51	2620.29	1531.67	974.70	88.61	0
	气候调节	651.91	7848.21	4038.03	2898.77	63.29	0
	净化环境	196.21	2278.51	1329.13	7025.41	265.83	0
	水文调节	2329.15	4886.14	2962.07	129419.48	151.90	0
支持服务	土壤保持	569.63	3189.92	1860.78	1177.23	101.27	0
	维持养分循环	215.19	240.51	139.24	88.61	12.66	0
	生物多样性	240.51	2911.43	1696.23	3227.89	88.61	0
文化服务	美学景观	101.27	1278.50	746.85	2392.44	37.98	0
	总计	5095.02	26810.50	15266.04	159002.15	886.11	0

3 结果与分析

3.1 景观格局变化分析

3.1.1 景观面积变化分析 延边州的基质景观为林地，3 个时段占总面积的比例为 85.48%，83.62%，83.67%

(表 2)。20 a 间延边朝鲜族自治州的景观面积发生了很大变化，其中，耕地、草地、建设用地分别增长 371.57  $km^2$ ，291.69  $km^2$ ，235.23  $km^2$ ，草地面积增长率最快，动态度为 3.63%；林地和水域分别减少 780.60  $km^2$ ，118.95  $km^2$ ，其中水域面积减少率最快，动态度为−0.96%。

表 2 1996—2016 年延边朝鲜族自治州景观面积及其变化

景观类型	1996 年	2006 年	2016 年	1996—2006 年	2006—2016 年	1996—2016 年	
	面积/ $km^2$	面积/ $km^2$	面积/ $km^2$			变化量	动态度/%
耕地	4465.59	4896.84	4837.16	431.25	−59.68	371.57	0.42
林地	36937.70	36134.10	36157.10	−803.60	23.00	−780.60	−0.11
草地	401.43	710.17	693.12	308.74	−17.05	291.69	3.63
水域	616.33	478.39	497.38	−137.94	18.99	−118.95	−0.96
未利用地	46.68	53.52	47.74	6.84	−5.78	1.06	0.11
建设用地	746.89	941.60	982.12	194.71	40.52	235.23	1.57
总计	43214.62	43214.62	43214.62				

结合延边朝鲜族自治州转移矩阵分析(表 3)可以看出：1996—2016 年延边州最明显的景观变化类型是林地与耕地和草地间的相互转化。这可能是因为延边州在 2006 年之前大力发展农牧业，导致了大面积的林地转化成了耕地和草地，而在 2006 年后开始实行退耕还林政策，将易导致生态破坏的坡耕地等，有筹划、分阶段的停止耕种，因时、因地开展植树造林工程，恢复森林生态系统。同时，随着城镇化进程不断加速的影响，耕地、林地景观向水域和建设用地景观发生了较大面积的转化，尤其是城镇化进程中，建设用地占用的往往是城郊生产条件好的

高质量耕地。

3.1.2 景观指数变化分析 1996—2016 年延边朝鲜族自治州斑块个数由 19 620 增加至 79 923，斑块密度由 0.45 增加至 1.85，香浓多样性指数由 1.54 增加至 1.64(表 4)，表明 20 a 间延边州的景观破碎化程度日益加重，异质性显著增高，斑块类型愈加趋向均匀分布；最大斑块指数先减后增，说明 20 a 来研究区的优势景观类型已经发生了变动；景观形状指数由 83.42 增高到 126.76，说明人类活动干预将景观形状改造趋于离散；景观蔓延度指数由 81.29 减少至 78.28，聚集度指数由 97.65 减少至 94.40，说明不同斑块类型间



的聚集度在减少,空间分布逐渐趋向分散,景观的异质性略有增强。总体而言,在人类活动的影响下,20 a 间

延边州的景观异质性逐渐增高,同种类型斑块间的集中度逐渐降低,破碎化程度日渐加剧。

表 3 1996—2016 年延边朝鲜族自治州景观面积转移矩阵 km<sup>2</sup>

土地利用类型	2016 年						总计
	未利用地	耕地	林地	草地	建设用地	水域	
1996 年	未利用地	26.18	2.49	9.28	0.00	0.00	46.68
	耕地	1.25	3401.30	799.16	64.83	125.49	4465.59
	林地	14.96	1186.92	35041.27	469.56	107.87	36937.70
	草地	0.00	93.50	155.83	127.16	16.21	401.43
	建设用地	0.36	23.29	16.92	13.71	681.44	746.89
	水域	4.99	129.66	134.64	17.86	51.11	616.33
	总计	47.74	4837.16	36157.10	693.12	982.12	43214.62

3.2 生态系统服务价值变化分析

3.2.1 生态系统服务价值时间变化

(1) 总体生态系统服务价值变化。总体来看,1996—2016 年延边朝鲜族自治州的生态系统服务总量呈下降趋势,1996 年为 1 117.24 亿元,2006 年为 1 080.68 亿元,2016 年为 1 083.74 亿元。20 a 间减少了 33.49 亿元,减少率为-3.00%(表 5)。其中,20 a 间林地所提供的服务价值分别为 990.32 亿元、968.77 亿元、969.39 亿元,其次为水域,分别为 98.00 亿元、76.07 亿元 79.08 亿元。1996—2006 年各景观类型的生态系统服务价值变化幅度均大于 2006—

2016 年,表明延边州 1996—2006 年生态系统服务价值衰退率高于 2006—2016 年的增长率。

表 4 1996—2016 年延边朝鲜族自治州景观指数变化

景观指数	1996 年	2006 年	2016 年
斑块个数(NP)	19620	19770	79923
斑块密度(PD)	0.45	0.56	1.85
最大斑块指数(LPI)	84.03	80.74	81.58
景观形状指数(LSI)	83.42	87.87	126.76
蔓延度指数(CONTAG)	81.29	79.57	78.28
香浓多样性指数(SHDI)	1.54	1.60	1.64
聚集度指数(AI)	97.65	96.52	95.40

表 5 延边朝鲜族自治州生态系统服务价值(ESV)变化

土地利用类型	各年份 ESV/亿元			变化量/亿元		
	1996 年	2006 年	2016 年	1996—2006 年	2006—2016 年	1996—2016 年
耕地	22.75	24.95	24.65	2.20	-0.30	1.89
林地	990.32	968.77	969.39	-21.54	0.62	-20.93
草地	6.13	10.85	10.58	4.72	-0.27	4.45
水域	98.00	76.07	79.08	-21.93	3.02	-18.91
未利用地	0.04	0.05	0.04	0.01	-0.01	0.00
总计	1117.24	1080.68	1083.74	-36.56	3.07	-33.49

(2) 单项生态系统功能价值变化。由表 6 可知,研究区 1996—2016 年单项生态系统服务价值同上述年际变化特征表现为先减少后增加。各单项生态系统服务功能对延边州生态系统服务价值的贡献价值率位居前 3 位的是气候调节、水文调节和土壤保持。其中,减值最多的是水文调节,其次为气候调节,各减少 17.48 亿元和 5.05 亿元。仅有食物生产增加 0.19 亿元。同时各单项生态系统服务价值下降速度与景观指数中最大斑块指数、蔓延度与聚集度保持一致,说明大面积林地及水域的破坏,加速了生态系统的破碎化,降低了区域生态服务功能。

3.2.2 生态系统服务价值空间变化 研究区的生态系统服务价值总量随着时间的推移呈降低趋势,但总

量的变化并不能表示空间上的变化,因此,从县市级别上来分析空间上的变化。考虑到延边州各县市面积差异较大,从单位面积/(hm<sup>2</sup>)生态系统服务价值角度来解析各县市生态系统服务价值在空间上的变化(表 7)。其中,珲春市的单位面积生态系统服务价值居首位,1996—2016 年的均超过 26 500 元/hm<sup>2</sup>,龙井市最低,在 23 000 元/hm<sup>2</sup>上下浮动。把 ESV(元/hm<sup>2</sup>)变化分为 3 个类型,即 I 类型为逐年减少型,II 类型为先增后减型,III 类型为先减后增型,则延边州有 4 个县市为 I 型,1 个县市为 II 型,3 个县市为 III 型,可见延边州大部分县市的生态环境还未得到改善。

从空间分布来看(图 2),2006—2016 年的 ESV(元/hm<sup>2</sup>)较好于 1996—2006 年,说明后 10 a 间各县

市对生态环境保护意识逐渐增强。其中在 2006—2016 年东南部的龙井市增加量最多超过了 1 000 元/hm<sup>2</sup>,其次为西南部安图县增加量介于 0~500 元/hm<sup>2</sup>。但由于

在 1996—2006 年除东北部汪清县外各县市减少量介于 2 500 元/hm<sup>2</sup>至 0 元/hm<sup>2</sup>,致使 20 a 来除汪清县外各县市 ESV 均呈降低趋势。

表 6 延边朝鲜族自治州单项生态系统功能价值(ESV)变化

生态系统服务	ESV/亿元			变化率/%		
	1996 年	2006 年	2016 年	1996—2006 年	2006—2016 年	1996—2016 年
食物生产	19.39	19.64	19.58	1.33	−0.30	1.02
原料生产	31.08	30.67	30.66	−1.32	−0.05	−1.37
水资源供给	12.61	10.00	10.33	−20.73	3.30	−18.12
气体调节	103.63	102.41	102.39	−1.18	−0.02	−1.20
气候调节	296.22	291.04	291.17	−1.75	0.04	−1.71
净化环境	89.92	87.61	87.76	−2.56	0.17	−2.39
水文调节	271.85	251.99	254.37	−7.31	0.94	−6.43
土壤保持	121.85	119.94	119.97	−1.56	0.02	−1.54
维持养分循环	9.96	9.89	9.88	−0.70	−0.08	−0.78
生物多样性	111.29	109.13	109.22	−1.94	0.08	−1.86
美学景观	49.45	48.37	48.43	−2.19	0.12	−2.08
总计	1117.24	1080.69	1083.74			

表 7 各县市生态系统服务价值及其变化类型

县市名	元/hm <sup>2</sup>			类型
	1996 年	2006 年	2016 年	
安图县	25644.70	25367.78	25605.67	Ⅲ
敦化市	26230.26	24122.96	24113.83	I
和龙市	25705.10	25085.49	25156.82	Ⅲ
珲春市	27880.90	27098.54	26897.25	I
龙井市	23610.85	22363.80	23530.93	Ⅲ
图们市	25504.97	24974.67	24871.74	I
汪清县	25444.25	25600.87	25582.23	Ⅱ
延吉市	23797.70	23282.43	23245.30	I

3.2.3 生态系统服务价值的敏感性分析 通过公式(4)计算得出,1996—2016 年在对延边州各土地利用类型的生态价值系数±50%后,3 个年份的敏感性指数均小于 1。说明修正后的生态系统价值系数适用于延

边朝鲜族自治州。其中,林地的 CS 最高,说明林地的 VC 每增加 1%,其 ESV 增加 88.6%~89.6%。由此说明延边朝鲜族自治州林地价值在生态系统服务价值中占有极高的重要性(表 8)。

3.3 景观格局指数与生态系统服务价值的相关性分析

不同的景观格局指数对各类生态系统服务价值产生的影响也是有差别的。由表 9 可以看出,总的 ESV 与最大斑块指数、聚集度指数及蔓延度指数呈正相关,与斑块个数、斑块密度、香浓多样性指数及景观形状指数呈负相关。说明同类型斑块面积小、保存不完整、形状复杂、分布分散,也就表明随着破碎化的增加,容易致使生态系统服务价值的日渐减少,而优势景观类型斑块面积的增多,以及各类型斑块的聚集化发展会促使区域生态系统服务价值量的增加。

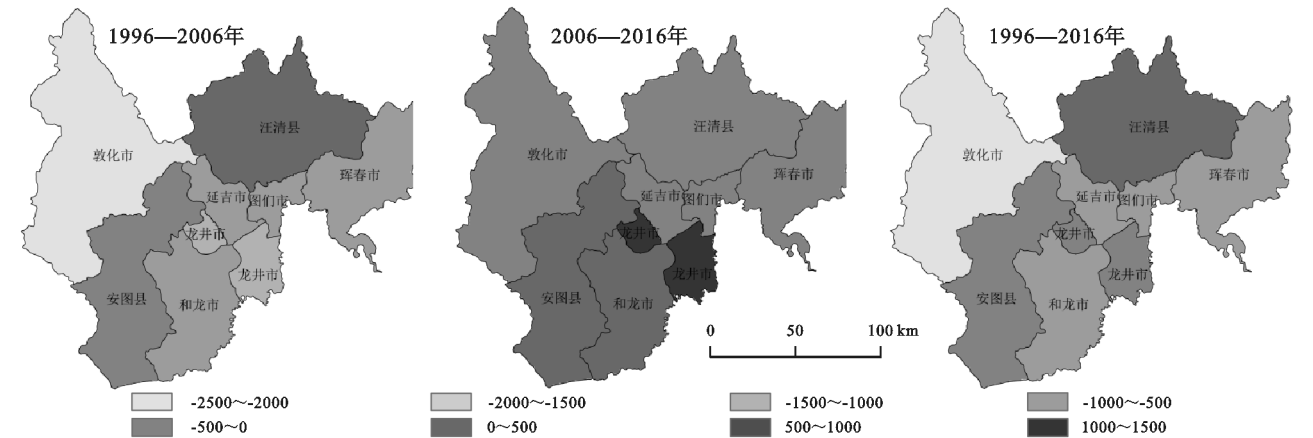


图 2 延边朝鲜族自治州各县市 ESV 变化空间分布

表 8 1996—2016 年延边州生态系统服务价值敏感性指数变化

土地利用 类型	价值系数	生态系统服务价值/亿元			敏感性指数(CS)		
		1996	2006	2016	1996	2006	2016
耕地	VC+50%	1128.61	1093.16	1096.07	0.02	0.023	0.023
	VC-50%	1105.86	1068.21	1071.42			
林地	VC+50%	1612.40	1565.07	1568.44	0.886	0.896	0.894
	VC-50%	622.08	596.30	599.05			
草地	VC+50%	1120.30	1086.11	1089.03	0.005	0.01	0.01
	VC-50%	1114.17	1075.27	1078.45			
水域	VC+50%	1166.24	1118.72	1123.29	0.088	0.07	0.073
	VC-50%	1068.24	1042.65	1044.20			
未利用地	VC+50%	1117.26	1080.71	1083.76	0	0	0
	VC-50%	1117.22	1080.66	1083.72			

表 9 景观格局指数与生态系统服务价值的相关性分析

生态系统服务	NP	PD	LPI	LSI	CONTAG	SHDI	AI
食物生产	0.30	0.361	−0.999	0.386	−0.788	0.797	−0.736
原料生产	−0.531	−0.584	0.960	−0.606	0.918	−0.923	0.883
水资源供给	−0.398	−0.457	0.991	−0.480	0.848	−0.856	0.803
气体调节	−0.516	−0.570	0.965	−0.592	0.911	−0.916	0.874
气候调节	−0.483	0.538	0.974	−0.561	0.895	−0.901	0.855
净化环境	−0.451	−0.507	0.982	−0.530	0.878	−0.884	0.836
水文调节	−0.404	−0.462	0.990	−0.486	0.852	−0.859	0.806
土壤保持	−0.490	−0.545	0.972	−0.568	0.898	−0.904	0.860
维持养分循环	−0.581	−0.633	0.941	−0.653	0.940	−0.945	0.910
生物多样性	−0.472	−0.527	0.977	−0.550	0.889	−0.895	0.849
美学景观	−0.462	−0.518	0.979	−0.541	0.883	−0.890	0.843
总 ESV	−0.435	−0.492	0.985	−0.516	0.869	−0.876	0.826

4 讨论与结论

4.1 结 论

本研究基于三期遥感影像展开了对边境地区景观格局变化及其与生态系统服务价值间的响应进行相关分析,中间跨度 20 a 时间,同时研究尺度较小,能够一定程度上展现景观格局与生态系统服务价值间的响应机理,从中找到了影响延边州生态系统服务价值变化的主要景观类型及相关格局指数,结果表明:

(1) 延边州的基质景观是林地,1996—2016 年,耕地、草地、建设用地及未利用地的景观面积均在增加,林地及水域反之。景观面积转移主要表现为林地、耕地和草地间的转换。20 a 间延边朝鲜族自治州景观异质性逐渐增高,同种类型的斑块集中度降低,破碎化程度日渐加剧,各景观类型逐渐向均匀分布方向发展。

(2) 延边州的生态系统服务价值总量呈下降趋势,20 a 间减少了 33.49 亿元,减少率为−3.00%,生

态服务功能降低,其中仅食物生产增加 0.19 亿元;就空间变化而言,2006—2016 年的 ESV(元/hm<sup>2</sup>)较好于 1996—2006 年、20 a 来仅东北部汪清县的 ESV 一直呈上升趋势。

(3) 延边州各单项生态系统服务价值的变化与最大斑块指数、聚集度和蔓延度指数呈显著正相关,与斑块个数、斑块密度、景观形状指数、香浓多样性指数呈负相关。城市建设用地的日渐扩张、纵横交错的路网使各类景观都被严重分割,致使林地和水域等的贡献率日渐减少,最终造成区域内生态系统服务价值总量的不断降低。

4.2 讨 论

(1) 本研究依照生态学及地理学等相关理论,对延边朝鲜族自治州的景观格局与生态系统服务价值的变化进行相应研究,研究表明景观格局在变化过程中都会影响到生态系统内部结构等,最终致使生态系统服务价值量发生改变。已有研究在对生态服务价

值进行估算时,多数学者采用谢高地等<sup>[12]</sup>提出的单位面积价值当量因子法,但在研究过程中,因区域尺度上的缩小,经济水平及农作物生产量的改变,需要对其进行初步的修正。由于遥感数据精度的限制,未能更深入研究二级景观类型,且本研究未考虑自然地理因素以及社会人文因素对区域生态服务价值的影响,在今后的研究中需进一步探究。

(2) 景观格局对生态系统服务价值的影响具有一定的地域特色。在不同时期、不同地域、不同景观类型中的生态系统服务价值对景观格局指数响应的程度也不尽相同。如:刘焱序等<sup>[20]</sup>在秦岭山区的研究表明,聚集度的升高及景观分离度的下降会促使生态系统服务价值量的增大;岑晓腾等<sup>[21]</sup>在杭州湾南岸区域的研究表明,提升分散度指数及生物多样性有助于整体生态系统服务价值增大。随着经济社会的发展,大面积林地及水域的破坏,致使延边州的生态环境还未得到较大改善,尽管在2006—2016年受林地的影响,最大斑块指数有小幅上升,但延边州的整体生态环境问题还很严峻,亟待从生态管制的角度出发,通过政策约束和经济调整以增加可提供高生态服务价值的林地、水域等景观面积比例,建构科学完善的农业发展格局,降低景观破碎度,以进一步提升土地利用效率,在发展经济的同时,提高各市域的生态服务价值,从而更好地支撑延边州可持续发展,实现人与自然的和谐相处。

#### 参考文献:

- [1] Daily G C. Nature's services: societal dependence on natural ecosystems[M]. Island Press, Washington D C, 1997.
- [2] Costanza R, Darge R, De Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [3] 魏伟, 石培基, 周俊菊, 等. 近20多年来石羊河流域景观格局演变特征[J]. *干旱区资源与环境*, 2013, 27(2): 156-161.
- [4] 李伟峰, 欧阳志云, 肖隰. 景观生态学原理在城市土地利用分类中的应用[J]. *生态学报*, 2011, 31(3): 593-601.
- [5] 李正国, 王仰麟, 张小飞, 等. 陕北黄土高原景观破碎化的时空动态研究[J]. *应用生态学报*, 2005, 16(11): 62-66.
- [6] 邹月, 周忠学. 西安市景观格局演变对生态系统服务价值的影响[J]. *应用生态学报*, 2017, 28(8): 2629-2639.
- [7] 吴娇, 李月臣. 三峡库区(重庆段)景观格局变化及其对生态系统服务价值的影响[J]. *生态与农村环境学报*, 2018, 34(4): 308-317.
- [8] 虎陈霞, 郭旭东, 连纲, 等. 长三角快速城市化地区土地利用变化对生态系统服务价值的影响: 以嘉兴市为例[J]. *长江流域资源与环境*, 2017, 26(3): 333-340.
- [9] 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.
- [10] 谢高地, 肖玉, 甄霖, 等. 我国粮食生产的生态服务价值研究[J]. *中国生态农业学报*, 2005, 13(3): 10-13.
- [11] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J]. *自然资源学报*, 2008, 2(5): 911-919.
- [12] 谢高地, 张彩霞, 张昌顺, 等. 中国生态系统服务的价值[J]. *资源科学*, 2015, 37(9): 1740-1746.
- [13] Wang Z M, Mao D H, Li L, et al. Quantifying changes in multiple ecosystem services during 1992—2012 in the Sanjiang Plain of China[J]. *Science of Total Environment*, 2015, 514: 119-130.
- [14] Mao D H, He X Y, Wang Z M, et al. Diverse policies leading to contrasting impacts on land cover and ecosystem services in Northeast China[J]. *Journal of Clean Production*, 2019, 240: 117961.
- [15] 彭建, 王仰麟, 刘松, 等. 海岸带土地持续利用景观生态评价[J]. *地理学报*, 2003, 58(3): 363-371.
- [16] 陈希, 王克林, 祁向坤, 等. 湘江流域景观格局变化及生态服务价值响应[J]. *经济地理*, 2017, 36(5): 175-181.
- [17] 周忠学. 城市化背景下农业景观变化对生态服务影响: 以西安都市圈为例[J]. *干旱区地理*, 2015, 38(5): 1004-1013.
- [18] 顾泽贤, 赵筱青, 高翔宇, 等. 澜沧县景观格局变化及其生态系统服务价值评价[J]. *生态科学*, 2016, 35(5): 143-153.
- [19] Bai Y, Xu H, Ling H. Eco-service value evaluation based on eco-economic functional regionalization in a typical basin of northwest arid area, China[J]. *Environmental Earth Sciences*, 2014, 71(8): 3715-3726.
- [20] 刘焱序, 任志远, 李春越. 秦岭山区景观格局演变的生态服务价值响应研究: 以商洛市为例[J]. *干旱区资源与环境*, 2013, 27(3): 109-114.
- [21] 岑晓腾. 土地利用景观格局与生态系统服务价值的关联分析及优化研究: 以杭州湾南岸区域为例[D]. 杭州: 浙江大学, 2017.