

西南边境地区生态产品价值的影响机制分析及 EKC 检验

谭 政 郑可君 张体伟

〔摘要〕 西南边境地区是我国西部生物多样性的宝库，也是生态产品的重要供给区，对增强我国西部高水平生态保护和经济高质量发展十分重要。综合运用遥感影像数据和动态空间面板模型方法，对 2012—2022 年西南边境地区 25 个县的生态产品价值进行核算并分析，研究发现：（1）西南边境地区生态产品价值与地区经济发展、发展集中度的环境 EKC 效应未显现，仍需多维度的生态保护政策支持。（2）发展集中度对生态产品价值有显著降低作用，且降低作用较强，应着力优化地方发展格局。（3）西南边境地区农村居民人均可支配收入在发展集中度影响下，对生态产品价值存在负的调节效应。表明急需激活绿色发展的内生动力，强化多维生态保护修复政策供给至关重要。

〔关键词〕 西南边境地区；生态产品价值；内生动力；EKC 检验

〔中图分类号〕 F129.9；F124.5 〔文献标志码〕 A 〔文章编号〕 1008-0694（2025）02-0056-14

〔作者〕 谭 政 副研究员 云南省社会科学院 昆明 650034

郑可君 副研究员 云南省社会科学院 昆明 650034

张体伟 研究员 云南省社会科学院 昆明 650034

2024 年 4 月，习近平总书记在重庆市主持召开新时代推动西部大开发座谈会上强调：“以高水平保护支撑高质量发展，筑牢国家生态安全屏障”。2024 年 8 月，中共中央政治局会议审议通过的《进一步推动西部大开发形成新格局的若干政策措施》强调，“要持续提升发展内生动力，提升开放型经济水平”。这为我国西部地区深入推进美丽西部建设，以高质量保护支撑高质量发展提供了根本遵循。我国西南边境地区与缅甸、老挝、越南毗邻，承担着我国乃至国际重要生态安全屏障的功能，其生态产品价值变化趋势是否也同环境库兹涅茨曲线（EKC，Environmental

〔基金项目〕 国家社会科学基金项目“西南边疆民族地区农业绿色生产力激活生态产品市场路径研究”（24XMZ031）；国家社会科学基金项目“西南边境民族地区景观生态风险评价及生态安全格局优化构建研究”（23CMZ045）；国家社会科学基金重点项目“对口支援民族地区脱贫成果巩固与乡村振兴衔接的着力点研究”（22AMZ007）。

Kuzents Curve) 趋势一致? 直接关系着我国西南边境地区能否有效实现高水平保护支撑高质量发展。

一、文献综述

西南边境地区地处国家重要生态屏障和欠发达区域, 发展与保护的矛盾尤为突出。自 Grossman 等 (1991)^[1]、Panayoutou (1993)^[2] 从不同角度研究了经济发展与环境质量的关系以来, 有关 EKC 的讨论层出不穷。这些研究大致可以分为以下几类: 一是从理论和实证上分析 EKC 效应是否真正存在; 二是在不同地理环境、不同人文环境特征下环境压力与经济社会发展的各阶段 EKC 效应是否都成立。这两类政策要么聚焦不同阶段采取不同治理措施, 要么摇摆于保护与发展谁优先的问题。同时, EKC 效应是否存在一定的前提条件, 并倾向于找到不同条件下的阈值以提供决策依据。这些研究大多聚焦发达地区的生态环境问题, 较少关注我国西南欠发达地区生态资源富集区。然而, 在非均质的土地利用格局下, 是否生态产品价值变化趋势也遵循 EKC 曲线的变化规律?

绝大多数 EKC 效应的检验来自发达经济体。Kaufmann 等 (1998)^[3]、Baglianni 等 (2008)^[4]、袁凯华等 (2019)^[5]、曾云樵 (2022)^[6]、赵菲菲等 (2022)^[7] 均从不同角度检验了 EKC 效应的真实性。然而, 他们的研究对象多为发达地区, 较少关注生态产品价值富集的欠发达地区。在政策层面的共性是期望利用倒“U”的自动恢复功能使生态环境问题得到自行改善, 最终达到经济社会协调发展的状态^[8]。

一些学者发现 EKC 效应存在异质性。学者们以不同地理区域、不同环境压力、不同影响机制等视角为切入点验证 EKC 效应。学者们研究发现, 不同的污染物的 EKC 效应关系不同, 有的是倒“U”关系, 有的是“N”型关系。他们认为, 在不同区域的环境压力下 EKC 效应有着不同的表现。Chimeli 等 (2005)^[9]、Coondoo 等 (2008)^[10]、Lorente 等 (2016)^[11]、梁青青等 (2017)^[12]、张舒甜 (2022)^[13] 是这类研究的典型代表。这些研究阐述并分析了 EKC 效应的异质性, 但是生态产品价值变化趋势是否也和该趋势一致, 却鲜有学者关注。

值得注意的是, 目前聚焦生态产品价值的影响研究也较少。有学者从正反两方面切入探讨 EKC 效应成立的前提条件, 并提出了 EKC 效应“U”型和非“U”型的检验思路。Shafik (1994)^[14]、丁俊崧等 (2020)^[15]、严有龙等 (2021)^[16] 探讨了生态补偿阈值的前提条件。李鹏飞等 (2020)^[17]、李家玉等 (2021)^[18] 指出了方法上的检验路径, 但缺乏有效的非线性检验机制。虽然, Doveh 等 (2002)^[19] 和 Lind 等 (2010)^[20] 提出了一种特殊的稳健性检验方法 (ED—LM), 但是, 却鲜有学者应用到生态产品价值的 EKC 效应检验中。

西南边境地区处于我国西部沿边生态屏障区域范围, 其生态产品价值的保值增值事关筑牢我国西部沿边生态安全屏障。基于此, 本文主要聚焦于三个方面进行探讨: 一是优化整合影像数据和统计数据, 测度我国西南边境地区 25 县的生态产品

价值、景观生态风险、景观生态安全指数；二是借鉴 qian 等（2024）辛普森多样性测度思路，构建辛普森多样性空间距离权重，使用动态空间面板模型来分析生态产品价值的影响机制^[21]；三是引入 ED—LM 稳健性计量对西南边境地区的生态产品价值的 EKC 效应展开检验。

二、研究区域、数据与方法

1. 研究区域与假设

我国西南边境地区是复杂人地系统的典型代表，本文的研究对象选择为我国云南边境地区 25 个县作为典型研究区域，与缅甸、老挝、越南毗邻。该区域土地利用类型以林地和耕地为主，林地面积占研究区总面积的 60% 左右，耕地面积仅占比 22% 左右，分布有国家重点生态功能区、边境生态屏障、国内国际重要河流流域、生物多样性保护廊道等生态系统，同时也是我国面向南亚东南亚重要的沿边开放带和生态农业区。根据官方公开数据测算，2022 年我国西南边境地区 25 个县的平均人均 GDP 仅为 4.86 万元，其中福贡县人均 GDP 最小仅为 2.63 万元，人均 GDP 小于 5 万元的县有 16 个，相比全国人均 GDP 为 8.56 万元差距明显。这些边境县大部分曾是国家级贫困县，2020 年全面脱贫以后没有一个县进入“百强县”，共有 7 个国家级乡村振兴重点帮扶县，占比 28%。绝大多数县以农业为主，农业生产、产业形式对生态系统都有较强依赖。那么这些地区农业生产的发展究竟带来了生态产品价值的增加还是减少，则直接影响着筑牢西南边境地区生态安全屏障。如果生态产品价值变化趋势与经济发展水平、发展集中度之间存在 EKC 效应，那么就可以利用该效应通过自身经济发展使生态产品价值自行实现提升，进而达到高水平生态保护支撑经济高质量发展的良性循环。反之，这种 EKC 效应不存在，则说明这些地区难以通过自身经济发展实现良性循环，内生发展动力弱。由此，本文提出如下假说：

H1：西南边境地区生态产品价值与经济发展水平、发展集中度之间存在倒“U”效应。

H2：西南边境地区农村居民人均可支配收入在控制发展集中度下，对生态产品价值存在调节效应。

2. 研究设计与模型设定

目前，国内研究检验 EKC 效应的多数采用式（1）的非线性模型：

$$y = a + b_1x + b_2x^2 + \varepsilon \text{ 或 } y = a + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3 + \varepsilon \quad (1)$$

其中含 3 次方的式为 Grossman 的检验方法^[22]，y 一般为反映环境的相关指标，x 一般为反映经济发展水平的相关指标。按以上思路结合研究目标构建如下面板模型检验方程：

$$\ln \text{ESV}_{it} = c + \beta_1 \times \ln \text{ERI}_{it} + \beta_2 \times \ln \text{GDP}_{it} + \beta_3 \times \ln \text{GDP}_{it}^2 + \beta_4 \times \ln \text{R}_{it} + u_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$\ln \text{ESV}_{it} = c + \alpha_1 \times \ln \text{R}_{it} + \alpha_2 \times \ln \text{ES}_i + \alpha_3 \times \ln \text{R}_{it} \times \ln \text{income}_{it} + u_i + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

$$\ln \text{ESV}_{it} = c + \gamma_1 \times \ln \text{ERI}_{it} + \gamma_2 \times \ln \text{GDP}_{it} + \gamma_3 \times \ln \text{R}_{it}^2 + \gamma_4 \times \ln \text{R}_{it} + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

式 (1) 为基准形态, 式 (2) (3) (4) 为研究根据环境库兹涅茨曲线非线性设计的面板模型检验形态。变量解释详见表 1、表 2。其中 i 表示个体, t 表示年份时间截面, c 为常数项; $\beta_1 \sim \beta_4$ 、 $\alpha_1 \sim \alpha_3$ 、 $\gamma_1 \sim \gamma_4$ 表示待估参数; u_i 表示面板模型的个体效应; ε_{it} 表示待估模型的残差项。式 (2) 反映了生态产品价值的影响关系, 其中 GDP_{it} 和 GDP_{it}^2 项用于检验生态产品价值与经济发展水平是否存在 EKC 的倒 “U” 关系。同时, 引入 Lind 等 (2010)^[23] 和 Doveh 等 (2002)^[24] 的检验方法对 EKC 倒 “U” 进行稳健性检验。式 (3) 中的交叉项 $\alpha_3 \times \ln R_{it} \times \ln income_{it}$ 反映的是收入在发展集中度影响下的生态产品价值的交互效应。由于基础面板模型可能存在内生性, 研究引入辛普森多样性空间距离权重, 运用动态空间面板模型来克服潜在内生性。

3. 数据来源与核算

本研究将生态产品价值、景观生态风险、景观生态安全、地区生产总值、发展集中度、人口数量、农村常住居民人均可支配收入指标作为变量纳入方程。生态产品价值、景观生态风险、景观生态安全指标是根据卫星遥感影像数据计算得出。由于影像数据已知起始点和终点, 根据两点确定一条直线原理, 加之后续模型对数化以后为线性关系, 采用均值法和趋势预测法对缺失数据进行修补, 以减少干扰, 测度期间为 2012—2022 年。通常情况, 在长面板中 (即 $T > N$) 潜在的内生性和共线性风险较高。为有效降低该问题风险, 一是使用动态空间面板模型、引入空间杜宾项克服普通面板潜在内生性; 二是研究采用交叉检验、HT 平稳性检验考察可能的内生性风险; 三是使用短面板 (即 $T < N$) 的影像数据, 数据来源测度详见表 1。

表 1 变量及数据来源表

类型	指标名称	变量名	数据来源
因变量	生态产品价值	ESV	1. 土地数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心 (http://www.resdc.cn), 使用 2000 年、2005 年、2010 年的截面数据集校准计量年度 2012—2022 年的空间分辨率为 30m 遥感影像数据, 以土地利用类型作为区分各类生态系统的依据, 对土地利用类型进行重新分类, 共分为耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用地 6 类。
	景观生态风险	ERI	
	景观生态安全	ESi	2. 县域土地面积、粮食作物的播种面积、粮食产量数据来源于历年的《中国县域统计年鉴 (县市卷)》《云南省统计年鉴》、地方经济和社会发展统计公报, 粮食价格数据来源于《全国农产品成本收益资料汇编 2021》。
	辛普森多样性指数	SDI	
自变量	地区生产总值	GDP	2012 年至 2022 年的《云南统计年鉴》。
	发展集中度	R	基于城镇村及工矿用地、交通运输用地类型、土地面积数据核算, 数据来自《云南统计年鉴》。 计算方法: $\sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{v_i}{\sum_{i=1}^m v_i} \right)^2} \times 100$ 。
	农村常住居民人均可支配收入	income	2012 年至 2022 年的《云南统计年鉴》。

(1) 生态产品价值核算 (ESV)

生态产品价值反映的是生态系统提供的对人类有益的产品和服务的价值, 包括直接使用价值 (如农业生产、水等物质产出及旅游等服务)、间接使用价值 (如气候调节、土壤保持等支持性服务) 以及非使用价值。该指标越高说明生态系统在维持生物多样性、气候调节以及资源供给等方面的功能更为强大和稳定。本研究参考 Costanza 等 (1997)^[25] 和薛明皋等 (2018)^[26] 的研究方法和概念, 使用生态系统服务价值表征生态产品价值并进行核算。本研究利用农田单位面积产粮的实际价值进行修正, 对单位面积农田每年自然粮食产量的经济价值进行修正, 同时参考李晓赛等 (2015)^[27]、武燕等 (2015)^[28] 以及 Chen 等 (2021)^[29] 对建设用地和未利用地作为当量因子进行设定, 计算出研究区单位面积 ESV 当量因子。计算公式为:

$$VC_k = \frac{1}{7} \times P \times \sum_{i=1}^n Q_i \tag{5}$$

式 (5) 中, VC_k 为生态产品价值当量因子的价值量 (元/hm²); P 为研究区平均粮食价格 (元/kg); Q 为研究区平均粮食产量 (kg/hm²), 价值系数参考详见表 2。根据研究区土地利用分类结果, 生态产品价值计算公式如式 (6)、式 (7):

$$ESV = \sum_{k=1}^n (A_k \times VC_k) \tag{6}$$

$$ESV_f = \sum (A_k \times VC_{fk}) \tag{7}$$

运用自然断点法划分等级。式 (6) 中, ESV 为生态产品总价值, A_k 为土地利用类型 k 的面积, VC_k 为单位面积内土地利用类型 k 的生态产品价值; 式 (7) 中, ESV_f 为生态系统第 f 项服务功能价值, VC_{fk} 为单位面积内土地利用类型 k 的生态系统第 f 项服务价值。

表 2 不同土地利用类型的生态产品服务价值系数

生态产品 功能	生态产品二级 服务功能	不同土地利用类型的生态产品服务价值系数/ (元 · hm ⁻² · a ⁻¹)					
		耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
供给服务	食物生产	1587.88	414.97	619.21	1303.61	16.30	0.00
	原料生产	528.53	946.53	912.53	374.79	0.00	0.00
	水资源供给	1021.18	490.19	505.15	13508.64	0.00	0.00
调节服务	气体调节	1266.74	3122.93	3210.13	1254.72	0.00	32.59
	气候调节	670.13	9351.23	8489.75	3731.58	0.00	0.00
	净化环境	190.79	2709.15	2802.76	9043.78	-4008.59	162.95
	水文调节	1414.21	5599.34	6224.73	166601.10	-12237.62	48.89
支持服务	土壤保持	1272.79	3803.68	3910.82	1515.44	32.59	32.59
	维持养分循环	223.38	290.86	293.31	114.07	32.59	0.00
	生物多样性	243.65	3462.67	3552.33	4155.25	554.03	32.59
文化服务	美学景观	109.70	1519.46	1564.33	3079.77	16.30	16.30

(2) 景观生态风险 (ERI)

景观生态风险可以衡量生态系统受到的外界干扰强度和内部抵抗能力,参考谢小平等 (2017)^[30]、赵筱青等 (2015)^[31] 以及谢花林 (2008)^[32] 的 ERI 计算方法和赋值思路。计算公式如下:

$$ERI_i = \sum_{k=1}^n \frac{A_{ki}}{A_k} R_i \quad (8)$$

$$R_i = \sqrt{S_i \times F_i} \quad (9)$$

$$S_i = aC_i + bN_i + cD_i \quad (10)$$

$$ES_i = 1 - ERI_i \quad (11)$$

式 (8) 中, ERI_i 第 i 个评价单元的景观生态风险指数; A_{ki} 为第 k 个评价单元内景观类型 i 的面积; A_k 为第 k 个评价单元面积; R_i 为景观损失度。式 (10) 中, S_i 为景观干扰度指数, C_i 、 N_i 、 D_i 分别为景观破碎度指数、景观分离度指数和景观优势度指数, a 、 b 、 c 是三者的权重, $a + b + c = 1$ 。研究分别赋值为 0.5、0.3、0.2。式 (9) 中, F_i 为景观脆弱度指数, 将耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地的景观脆弱度分别赋值为 0.5、0.3、0.2、0.6、0.1、0.4。式 (11) 中的 ES_i 为景观生态安全指数。

4. 计量检验

表 3 为变量的描述性统计情况。在面板回归前研究对面板数据展开了多重共线性和平稳性检测。为消除非平稳性,剔除 2000 年数据后进入空间面板回归。研究采用 Harrisr 等 (1999)^[33] 提供的关于短面板的渐进式左边单侧检验, 即 $HT, z \equiv \frac{\hat{\rho} - \mu}{\sqrt{\sigma/n}} \rightarrow N(0, 1)$, 这区别于长面板运用 LLC 检验更适合短面板趋势 (详见表 4)。

考虑到西南边境生态多样性共性特征和潜在可能的内生性问题,研究引入辛普森多样性指数方法如式 (12), 构建基于欧式距离的空间权重矩阵式 (13), 该矩阵考虑了两个方向距离平方和的平方根来计算权重, 用于表达空间单元的双向影响相似情况, 通过动态空间面板计量来解决潜在内生性。表 5 为基于空间权重的空间面板 Moran's I 检验。表 6 列出了在空间权重影响下 SDE、SPD 模型的适配参数和计量结果。

$$SDI = \frac{\sum_{i=2}^S n_i (n_i - 1)}{N (N - 1)} \quad (12)$$

$$W_{ij}^{SD} = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{ik} - x_{ki})^2 + \sum_{g=1}^n (y_{ig} - y_{gi})^2}} & \text{if } i \neq j \\ 0 & \text{if } i = j \end{cases} \quad (13)$$

表 3 变量描述性统计指标情况

Variable		Mean	Std. dev.	Min	Max	Observations
lnESV	overall	4. 4974	0. 5642	3. 1737	5. 6044	N = 275
生态产品价值	between		0. 5745	3. 1949	5. 5286	n = 25
	within		0. 0160	4. 4264	4. 5732	T = 11
lnERI	overall	- 1. 6309	0. 0288	- 1. 7126	- 1. 5329	N = 275
景观生态风险	between		0. 0276	- 1. 6834	- 1. 5858	n = 25
	within		0. 0097	- 1. 6840	- 1. 5781	T = 11
lnSDI	overall	- 0. 0915	0. 1590	- 0. 5113	0. 1784	N = 275
辛普森多样性指数	between		0. 1593	- 0. 3909	0. 1441	n = 25
	within		0. 0288	- 0. 2414	0. 0175	T = 11
lnGDP	overall	3. 7073	1. 1980	- 0. 0489	5. 9240	N = 275
地区生产总值	between		0. 7288	2. 1439	5. 0768	n = 25
	within		0. 9610	1. 2562	4. 8513	T = 11
lnR	overall	- 0. 0956	0. 7217	- 2. 2009	1. 8325	N = 275
发展集中度	between		0. 7271	- 1. 9933	1. 6656	n = 25
	within		0. 1073	- 0. 5096	0. 2352	T = 11
lnincome	overall	8. 7331	0. 9168	6. 2106	9. 9536	N = 275
农村居民可支配收入	between		0. 2196	8. 2454	9. 1905	n = 25
	within		0. 8911	6. 3655	9. 7083	T = 11
lnGDP ²	overall	7. 4146	2. 3961	- 0. 0978	11. 8479	N = 275
平方项	between		1. 4577	4. 2878	10. 1535	n = 25
	within		1. 9220	2. 5124	9. 7026	T = 11
lnR ²	overall	- 0. 1913	1. 4435	- 4. 4019	3. 6651	N = 275
平方项	between		1. 4542	- 3. 9866	3. 3313	n = 25
	within		0. 2145	- 1. 0192	0. 4705	T = 11

注：精确到 0. 0001，下同。

表 4 面板数据平稳性 HT 检验

HT - 单位根	rho - Statistic	rho - Z	p
lnESV	0. 4265	- 3. 6021	0. 0002
lnERI	0. 2752	- 5. 8757	0. 0000
lnGDP ²	0. 2708	- 5. 9374	0. 0000
lnR	0. 4541	- 2. 8235	0. 0041
lnSDI	0. 3023	- 3. 4544	0. 0000
lnR * income	0. 5302	- 2. 0477	0. 0203
lnGDP	0. 2708	- 5. 9374	0. 0000
lnR_ gdp ²	0. 5546	- 1. 6805	0. 0464

表 5 基于空间面板权重的 Moran's I 检验

Moran's I (varname : lnGDP ²)					
year	I	E (I)	Sd (I)	Z	P - value
2012 ~ 2022 年平均值	- 0.1806	- 0.0417	0.0505	- 2.7502	0.0079

表 6 模型计量情况

模型	lnESV	(模型 2a)	(模型 3a)	(模型 4a)
MAIN	lnERI	0.0153	- 0.6050 ***	—
	lnGDP ²	0.0082 **	—	—
	lnR	- 0.0167 **	- 0.0483 ***	—
	lnR * income	—	0.0194 ***	—
	lnSDI	—	- 0.0838 **	—
	lnGDP	—	—	0.0163 **
	lnR ²	—	—	- 0.0083 **
	lnESV (t - 1)	0.9838 ***	—	0.9837 ***
	_ cons	0.0437	3.8874 ***	0.0451
	lnERI	—	0.9518 ***	—
Wx - DURBIN	lnGDP ²	- 0.0069 **	—	- 0.00813 **
	lnR	0.0223	—	—
	lnR * income	—	- 0.0177 **	—
	lnSDI	—	0.3951 **	—
	lnR ²	—	—	0.0124 **
SPACE - rho		0.0038	- 0.2299	0.0063
	sigma_ u/1gt_ theta	0.0002	- 31.84	0.03
	sigma_ e/sigma2_ e	0.0130	11.17	7.46
Adaptation Model	F - Test/Log - likelihood	730.83	643.58	731.03
Validation and Parameters	SPACE - Hausman	RE	RE	RE
		- 374.28	11.61	- 342.63
	LR - Likelihood Ratio	SPD	SDE	SPD
	Test - SDE/SAR/SPD	动态空间杜宾面板	空间杜宾面板	动态空间杜宾面板

注：* p < 0.05，** p < 0.01，*** p < 0.001。

表 7 ED - LM 稳健性检验情况

指标	动态空间杜宾面板 (模型 2a)		动态空间杜宾面板 (模型 4a)	
	Lower Bound	Upper Bound	Lower Bound	Upper Bound
Interval	- 0.0978	11.8479	- 4.4019	3.6651
Slope	0.0023	0.0023	- 0.0350	- 0.0350
Overalltest	Trivial rejection		Trivial rejection	

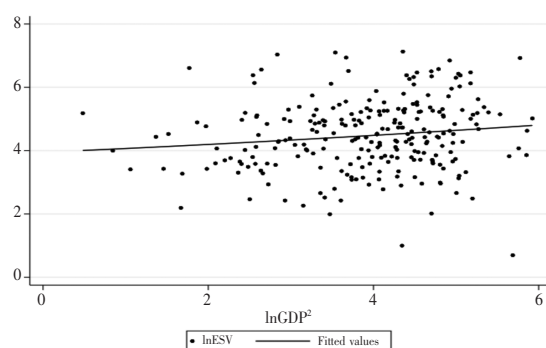


图1 基于模型 2a 的生态产品与地区经济发展关系的数值仿真模拟

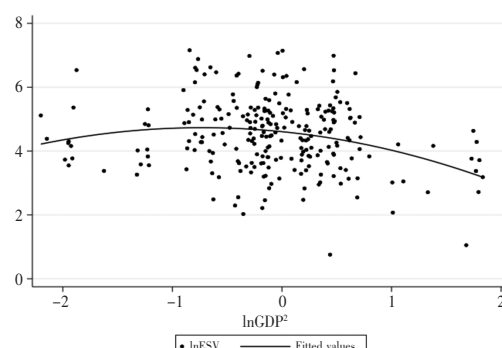


图2 基于模型 4a 的生态产品与地区经济发展关系的数值仿真模拟

三、生态产品价值的影响机制及 EKC 检验

1. 生态产品价值的响应机制

表 6 中空间面板模型 2a、3a、4a 分别对应的是式 (2)、式 (3)、式 (4) 的空间面板模型计量形态,限于篇幅表中不再展示参数 T 检验的值,仅显示参数显著性 P 值。研究引入辛普森多样性邻接空间权重来消除潜在内生性风险,采用动态空间面板模型计量。在控制其他影响因素不变的情况下,内生性主要体现在生态产品价值的前一期冲击和地区 GDP 的空间杜宾项上。模型 2a 中前一期生态产品价值每增加 1% 将带来其自身后一期增加 0.9838%, 反映出生态产品价值存在路径依赖。地区 GDP 的空间杜宾项反映出地区经济发展每增长 1% 将使基于辛普森多样性邻接空间单元减少 0.0069%。模型 4a 中发展集中度的空间杜宾项每增加 1%, 将使基于辛普森多样性邻接空间单元的地区 GDP 减少 0.0081%。模型 2a 中结合基于土地利用类型的发展集中度来看每增加 1%, 生态产品价值就降低 0.0167%, 模型 3a 中减少 0.0483%, 模型 2a、3a、4a 中的直接效应、间接效应、总效应不再进一步分析。计量分析表明西南边境地区的土地利用发展集中度较高,对生态产品的价值产生了负面影响。反映出由于研究区土地利用效率和利用强度的不同,在实践中西南边境地区县是山、坝结合的地形,发展的高度集中,势必加剧地区发展的用地过度集中影响区域生态系统稳定。

2. EKC 检验及稳健性

表 6 中模型 2a 和模型 4a 分别从地区经济发展和发展集中度视角考察了生态产品价值与经济发展水平、发展集中度之间的 EKC 倒“U”型效应。本研究从两个层次检验倒 U 效应:在第一层次检验中,模型 2a 中 $\ln GDP^2$ 项和模型 4a 中 $\ln R^2$ 项在考虑了内生性的情况下仍然显著,说明在结构上检验了倒“U”效应存在。然而,对比模型 2a 和模型 4a 可发现,在两个动态空间面板中模型核心部

分的平方项 $\ln GDP^2$ 影响为 0.0082、 $\ln R^2$ 为 -0.0083，与动态空间杜宾项中 $\ln GDP^2$ 和 $\ln R^2$ 分别为 -0.0069 和 0.0124 的影响方向不一致，这说明了 EKC 效应可能存在偏差。在第二层次检验中，使用 Doveh 等 (2002)^[34] 和 Lind 等 (2010)^[35] 方法与不具有单调性约束的数据进行拟合，运用高阶多项式模型进行 U 型效应的检验。表 7 中模型 2a、4a 检验结果显示，在上界和下界两个区间均不存在地区 GDP 平方项的“U”型效应，这反映出在模型形式上虽然能够兼顾倒“U”型特征，但是在考虑内生性和空间杜宾项后，倒“U”型检验并不能仅从模型设定上进行检验。研究引入随机数值模拟，对计量模型 2a、4a 参数进行模拟，扰动项设定为随机布朗运动，观察图 1、图 2 发现，图 2 有微弱倒 U 趋势，但图 1 没有。综合上述两阶段检验结果，出现与环境库茨涅茨假说的理论预期不一致的情况，假说 H1 未得到验证。表明这些地区难以通过自身经济发展使生态产品价值得到提升，进而实现经济与生态的良性循环。沈永昌 (2014)^[36] 也发现欠发达地区不存在环境库兹涅茨曲线，而周正柱等 (2020)^[37] 指出各种污染物指标与人均 GDP 间呈现出倒 U 型、正 U 型、倒 N 型、线型等多种关系。稳健性检验进一步证实了假说 H1 不成立。经交叉验证，西南边境地区生态产品价值与地区经济发展、发展集中度之间的环境库兹涅茨曲线 (EKC) 效应尚未显现。未来该地区应制定差异化、多维度的生态保护政策，综合考虑该区域的农业生产方式、生态特征以及人类活动的影响，以确保在维护生物多样性、促进生态平衡的同时，推动当地经济的可持续发展。

3. 收入调节效应及稳健性

表 6 中计量模型 3a 拟合显示，交互项的系数为 0.0194， $\alpha_1 + \alpha_3 = -0.0289$ ，-0.0289 小于 0。研究显示农村居民人均可支配收入每提高 1%，在发展集中度降低生态产品价值的关系中，进一步降低了生态产品价值的 0.0289%。表明西南边境地区农村居民可支配收入对生态产品价值产生负向的调节效应。赵璟等 (2019)^[38] 的研究也发现类似效应的存在。由于西南边境地区县绝大多数是以农业为主，农村居民人均可支配收入绝大部分来自经营性收入，根据《云南 2023 调查年鉴》数据显示，2022 年云南农村居民经营性收入占总收入比达 63.59%，说明现有农业生产方式加强了对生态产品价值的负向影响。综合计量模型结果，在考虑内生性和动态空间杜宾项的作用下，尽管在引入变量上有差异，但是其结论变量研究方向保持一致，生态产品价值对变化的响应机制保持稳健，假说 H2 得到验证。通过不同计量模型进行交叉对比分析，可以发现，由于辛普森多样性空间特征权重矩阵的共同引入，西南边境地区生态产品价值的影响关系表现得尤为显著。未来应更加关注西南边境地区农业生产发展带来的生态环境负面影响，进一步强化该区域农业绿色发展特别是农业绿色技术、农业绿色生产以及农业生态资源保护方面的政策和制度供给，减少对生态环境的负面影响。

四、结论与政策方向

1. 结论

西南边境地区是我国西部集高原山区、边境、多元文化、生物多样性、欠发达的复杂人地系统典型代表。本文运用 2012—2022 年我国西南边境地区 25 个县的面板数据,结合空间分辨率为 30m 的土地利用遥感影像数据集,运用动态空间面板模型计量方法,分析了生态产品价值、景观生态风险、发展集中度、景观生态安全、农村居民人均可支配收入、地区经济发展水平之间的影响机制。研究发现:(1)西南边境地区生态产品价值与地区经济发展、发展集中度的环境 EKC 效应未显现,仍需多维度的生态保护政策支撑。(2)地方经济发展确实对生态产品价值有正向作用,但是发展集中度较高却对生态产品价值有显著降低作用,且降低作用较强。(3)西南边境地区农村居民可支配收入在控制发展集中度下,对生态产品价值存在负的调节效应。

2. 政策建议

在推进西部大开发战略新格局稳步形成的进程中,基于实证分析的结论,本文提出以下建议:

一是强化西南边境地区多维生态保护政策制度供给。研究表明,西南边境地区生态产品价值与地区经济发展、发展集中度之间的环境库兹涅茨曲线(EKC)效应尚未显现。因此,对于这些欠发达边境地区而言,单纯依赖 EKC 效应以推动经济环境的可持续发展,仍存在一定的困难和障碍。未来应着力强化多维政策供给,以促进经济社会的全面进步和生态环境的和谐共生。健全生态产品价值实现机制,推进生态综合补偿,健全横向生态保护补偿机制,统筹推进生态环境损害赔偿。增强西南边境地区涉及的国内外上下游系统的生态环境治理的协同与政策一致性。深入开展环境污染防治,统筹推进山水林田湖草沙一体化保护和系统治理。为此,既要加大西南边境地区生态保护修复力度,又要构建多元化生态保护修复投入机制。

二是优化西南边境地区开发开放格局。研究表明,西南边境地区的土地利用发展集中度较高,对生态产品的价值产生了负面影响。从我国西南边境地区来看,该区域毗邻缅甸、老挝、越南,其国家级自贸试验区、对外贸易、边贸、边民互市以及边境建设等的发展都离不开对土地资源的集中开发利用,势必加剧生态环境压力。因此,这些地区在强化区域生态保护政策供给的同时,还应综合考虑该区域与邻国的联通功能。治理政策和制度供给应更加精准化、灵活化,既考虑到这些生态屏障区域的保护,又兼顾该地区对外开放边民互市的需要。未来政策应聚焦于对外开放与生态保护的有机统一,致力于推动区域空间布局的优化升级,尽可能规避无序经济活动对生态资源利用效率的负面影响。实现经济发展的可持续性目标,同时确保自然资源得到科学合理的保护。统筹发展和安全,强化政策的适用性,坚持以

大开放促进大开发,形成多层次、宽领域的开放合作格局,充分利用好共建“一带一路”等战略,促进边境地区与周边国家的经贸往来、生态环境治理协同和生态文化交流,实现互利共赢。

三是提升西南边境地区农业农村绿色发展内生动力。研究表明,西南边境地区县农村居民可支配收入对生态产品价值产生负向的调节效应。该区域绝大多数以农业为主,在“中心—外围”空间发展理论视域下又处在区域发展格局的“末梢”。同时,该区域既面临着地区产业发展的迫切需要,又肩负着生态环境保护的重大责任。因此,要坚持把发展特色优势产业作为主攻方向,因地制宜发展生态农业、乡村旅游等绿色产业,打造特色品牌,提升农村居民收入水平。通过绿色技术降低农业生产过度集中带来的生态环境损害。深入推进农村人居环境整治提升,推动农村污水治理与厕所革命,聚焦守边固边型乡村,加强边境农村基础设施建设,为建设美丽大西部贡献生态价值。

参考文献:

- [1] [22] GROSSMAN G M, KRUEGER A B. Environmental Impacts of a North American free trade agreement [J], National Bureau of Economic Research, 1991, (11).
- [2] PANAYOUTOU T. Empirical Tests and Policy analysis of Environmental Degradation at Different Stages of Economic Development [J], Pacific and Asian Journal of Energy, 1993, (01).
- [3] KAUFMANN R K, DAVIDSDOTTIR B, GARNHAM S, et al. The determinants of atmospheric SO₂ concentrations: Reconsidering the environmental Kuznets curve [J]. Ecological Economics, 1998, (02).
- [4] BAGLIANNI M, BRAVO G, DALMAZZONE S, et al. A Consumption – based Approach to Environmental Kuznets Curves Using the Ecological Footprint Indicator [J]. Ecological Economics, 2008, (03).
- [5] 袁凯华, 甘臣林, 杨慧琳, 等. 建设用地扩张与碳排放增长的 EKC 验证及特征分解研究——以武汉市为例 [J]. 中国土地科学, 2019, (01).
- [6] 曾云樵. 基于环境库兹涅茨曲线的环境税减排效应分析——以我国东部地区工业为例 [J]. 中国物价, 2022, (06).
- [7] 赵菲菲, 卢丽文. 环境治理视角下环境库兹涅茨曲线的实证检验 [J]. 统计与决策, 2022, (20).
- [8] 江鑫, 颜廷武. 基于 EKC 的连片特困地区经济发展与生态环境协调关系分析——以云南省昭通市为例 [J]. 经济社会体制比较, 2016, (03).
- [9] CHIMELI A B, BRADEN J B. Total Factor Productivity and the Environmental Kuznets curves [J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2005, (02).
- [10] COONDOO D, DINDA S. Carbon dioxide Emission and Income: A temporal Analysis of Cross – country Distributional Patterns [J]. Ecological Economics, 2008, (02).
- [11] LORENTE D B, ÁLVAREZ – HERRANZ A. Economic Growth and Energy Regulation in the Environmental [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2016, (23).

- [12] 梁青青. 基于经典环境库茨涅茨曲线的我国农业碳排放拐点预测及区域比较 [J]. 科技与经济, 2017, (03).
- [13] 张舒甜. 农业经济增长对农业环境污染的影响研究——以贵州省为例 [J]. 农业灾害研究, 2022, (11).
- [14] SHAFIK N. Economic Development and Environmental Quality: An Econometric Analysis [J]. Oxford Economic Papers, 1994, (01).
- [15] 丁俊菴, 邓宇洋, 汪青. 中国环境库兹涅茨曲线再检验——基于 1998—2016 年 255 个地级市 PM_{2.5} 数据的实证分析 [J]. 干旱区资源与环境, 2020, (08).
- [16] 严有龙, 王军, 王金满. 基于生态系统服务的闽江流域生态补偿阈值研究 [J]. 中国土地科学, 2021, (03).
- [17] 李鹏飞, 尹悦. 欠发达地区环境库兹涅茨曲线估计及影响因素分析——基于云南省的实证研究 [J]. 生产力研究, 2020, (05).
- [18] 李家玉, 陈东景. 中介效应视角下环境规制对环境库兹涅茨曲线的影响研究_李家玉 [J]. 青岛大学学报 (自然科学版), 2021, (01).
- [19] [24] [34] DOVEH E, SHAPIRO A, FEIGIN P D. Testing of Monotonicity in Parametric Regression Models [J]. Journal of Statistical Planning and Inference, 2002, (1-2).
- [20] [23] [35] LIND J T, MEHLUM H. With or Without U? The Appropriate Test for a U-Shaped Relationship [J]. Oxford Bulletin of Economics and Statistics, 2010, (01).
- [21] QIAN J, YE M, ZHANG X, et al. Characteristics of Grassland Species Diversity and Soil Physicochemical Properties with Elevation Gradient in Burzin Forest Area [J]. Agriculture, 2024, (07).
- [25] COSTANZA R, D'ARGE, GROOT R D, et al. The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital [J]. Nature, 1997, 387.
- [26] 薛明皋, 邢路, 王晓艳. 中国土地生态系统服务当量因子空间修正及价值评估 [J]. 中国土地科学, 2018, (09).
- [27] 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, (03).
- [28] 武燕, 吴映梅, 高彬嫔, 等. 成渝城市群生态系统服务价值与人类活动强度空间关系 [J]. 水土保持研究, 2015, (03).
- [29] CHEN L, WU Y M, GAO B P, et al. Multi-Scenario Simulation of Ecosystem service Value for Optimization of Land Use in the Sichuan-Yunnan Ecological Barrier, China [J]. Ecological Indicators, 2021, 132.
- [30] 谢小平, 陈芝聪, 王芳, 等. 基于景观格局的太湖流域生态风险评估 [J]. 生态学杂志, 2017, (10).
- [31] 赵筱青, 王兴友, 谢鹏飞, 等. 基于结构与功能安全性的景观生态安全时空变化——以人工园林大面积种植区西盟县为例 [J]. 地理研究, 2015, (08).
- [32] 谢花林. 基于景观结构和空间统计学的区域生态风险分析 [J]. 生态学报, 2008, (10).
- [33] HARRIS R D F, TZAVALLIS E. Inference for Unit Roots in Dynamic Panels Where the

Time Dimension is Fixed [J]. Journal of Econometrics, 1999, (02).

[36] 沈永昌. “环境库兹涅茨”曲线存在么? ——来自欠发达地区的证据 [J]. 科学决策, 2014, (10).

[37] 周正柱, 王俊龙. 环境库兹涅茨曲线假说检验研究进展与展望 [J]. 中国农业资源与区划, 2020, (01).

[38] 赵璟, 李颖, 党兴华. 中国经济增长对环境污染的影响——基于三类污染物的省域数据空间面板分析 [J]. 城市问题, 2019, (08).

(责任编辑 张 筠)

Influence Mechanism Analysis and EKC Test of Ecological Product Value in Southwest Border Areas

Tan Zheng Zheng Kejun Zhang Tiwei

Abstract: The southwestern border areas are treasure trove of biodiversity in western China and important supply areas of ecological products, which are crucial to enhancing high-level protection and high-quality development in western China. Comprehensively applying remote sensing image data and dynamic spatial panel model, the ecological product values of 25 counties in the southwestern border areas from 2012 to 2022 are calculated and analyzed. The results show that: (1) Environmental mountainous EKC effect of ecological product value and regional economic development and economic geographic concentration in the southwestern border areas has not been manifested, and multidimensional ecological protection policies are still needed to support it. (2) Economic geographic concentration has a significant and strong reducing effect on ecological product value, and the reducing effect is strong, so efforts should be made to optimize the development and opening up pattern to avoid excessive concentration of local economy. (3) Under the influence of economic geographic concentration, the per capita disposable income of rural residents in the southwestern border areas has a negative moderating effect on ecological product value. Therefore, it is crucial to activating the endogenous driving force of green development and strengthening the supply of multidimensional ecological protection and restoration policies.

Keywords: Southwest Border Areas, Ecological Product Value, Endogenous Driving Force, EKC Test