

# 中越边境地区国土空间功能时空演变与耦合协调

林树高<sup>1,2</sup>, 陆汝成<sup>1</sup>, 叶宗达<sup>3</sup>, 刘少坤<sup>1</sup>

(1. 南宁师范大学自然资源与测绘学院, 广西 南宁 530001; 2. 南京农业大学公共管理学院, 江苏 南京 210095; 3. 广西壮族自治区自然资源生态修复中心, 广西 南宁 530029)

**摘要:** 研究目的: 明晰城镇、农业和生态功能的耦合协调关系, 为缓解中越边境地区国土空间功能冲突提供依据。研究方法: 理论推演, 加权求和、耦合协调度模型。研究结果: (1)2000—2018年, 中越边境地区由生态功能主导、城镇功能拉动、农业功能抬升的国土空间综合功能呈上升态势, 国土空间功能由“低水平高差距”的互竞阶段走向“高水平低差距”的优化提升阶段, 自东(广西段)向西(云南段)过渡表现为递减的阶梯式变化过程, 城镇功能和农业功能较高值区主要位于贸易口岸集中的东南部, 生态功能以较高值区为主; (2)国土空间功能由勉强协调向中级协调转型发展, 广西段的耦合协调度高于云南段, 耦合协调等级空间分布差异与国土空间综合功能格局吻合; (3)边境贸易水平、社会保障能力和自然环境条件等因素综合影响国土空间功能协调发展。研究结论: 提高生态环境质量、边境贸易活力、边民生活水平和制定差异化的国土空间用途管制措施, 是提升中越边境地区国土空间功能及其协调发展程度的重要路径。

**关键词:** 国土空间; 功能演变; 耦合协调; 时空格局; 中越边境地区

**中图分类号:** F301.2

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-8158(2022)09-0090-12

## 1 引言

城市无序扩张挤占农业和生态空间引致国土空间功能互竞加剧胁迫可持续发展的问题, 给中国国土空间开发与治理带来巨大挑战<sup>[1]</sup>。作为区域可持续性评价的重要工具, 国土空间功能研究是土地科学和地理科学等关注社会及环境问题的出发点和前沿课题<sup>[2]</sup>。如何评估国土空间功能状况, 揭示各类功能之间的交互关系, 成为推进城乡融合发展和生态文明建设亟待解决的科学问题。

国土空间功能是利用不同类型空间所提供产品与服务的综合体<sup>[3]</sup>, 科学认知国土空间功能是进行土地资源优化配置的关键环节<sup>[4]</sup>。国土空间功能是土地多功能向“三生功能”研究转变的逻辑延伸。土地多功能由农业多功能性演变而来<sup>[5]</sup>, 社会、经济与生态功能是早期评价土地多功能的切入点<sup>[6]</sup>。中共十八大提出构建集约高效、宜居适度 and 山清水秀的生产、生活、生态空间后, 亟需衔接“三生空间”和区域转型发

展战略<sup>[7]</sup>。一方面, 重构土地多功能指标体系开展“三生功能”评价, 较好地反映了不同地类的主导功能特征<sup>[8-9]</sup>; 另一方面, 随着“三生空间”冲突加剧, 基于功能协同演化机理开展“三生功能”的耦合协调分析<sup>[3,10-11]</sup>, 丰富了“三生功能”研究。2019年, 中央提出科学布局城镇、农业、生态等功能空间成为“三生空间”在规划实践中的进一步深化<sup>[12]</sup>, 国土空间城镇—农业—生态功能评价逐渐成为学界研究的新热点<sup>[13]</sup>, 对建立空间治理体系与治理能力现代化具有重要意义<sup>[14]</sup>。在城镇、农业、生态功能研究上, 已开展的国土空间功能识别<sup>[15]</sup>、“双评价”<sup>[16-17]</sup>和开发强度评估<sup>[18]</sup>等研究, 以及基于三类功能结构构建指标体系评估区域国土空间功能的质量状况<sup>[14, 19-21]</sup>, 既体现土地利用的主导功能, 又明确了治理与规划诉求, 为优化国土空间格局提供了重要依据, 具有鲜明的国家战略导向<sup>[22]</sup>。纵观已有研究, 学者们在国土空间功能评价的理论基础和研究方法已形成初步共识<sup>[23]</sup>, 对开展相关研究具有指导意义, 但在以下方面还有待强化: 研究视角上,

收稿日期: 2022-05-17; 修稿日期: 2022-07-18

基金项目: 国家自然科学基金项目““四维度”的边境耕地多功能利用与国家战略农田划定研究: 以广西边境地区为例”(42061043)。

第一作者: 林树高(1993-), 男, 广西北海人, 博士研究生。主要研究方向为土地利用与区域发展。E-mail: lsgao613@163.com

通讯作者: 陆汝成(1972-), 男, 广西临桂人, 博士, 教授。主要研究方向为土地利用、土地规划与区域发展。E-mail: 710912213@qq.com

已有研究重点关注了“三生功能”的评价与协同关系分析,面向空间规划实践特别是倡导城乡融合发展的时代背景下,基于城镇—农业—生态分类的国土空间功能研究相对不足;研究时序上,已有研究侧重考虑自然环境和交通区位等条件,实质是国土空间质量现状评价,为评估国土空间功能满足人类需求的程度,需兼顾自然环境与社会经济的长时序人地系统动态耦合过程研究;研究区域上,已有研究重点关注了区域中心城市或重要生态区,而边境地区国土空间功能冲突机制日趋复杂化,开展国土空间功能耦合协调研究有助于边境地区构筑统筹安全的国土空间开发与保护新格局。

在独特的地理区位和系列倾斜性开放开发政策驱动下,边境地区国土空间功能的时空差异特征日渐显现<sup>[24]</sup>。摸清国土空间功能现状及其协调发展水平,是缓解国土空间功能冲突的关键前提,对调控边境地区人地关系和促进可持续发展具有积极意义。鉴于此,本文遵循“要素—结构—空间—功能”的逻辑主线,在探讨国土空间功能耦合协调机理的基础上,刻

画2000—2018年中越边境地区城镇、农业和生态功能的时空演变格局,分析其耦合协调关系的演化过程和影响因素,以期为边境地区国土空间格局优化和生态文明建设提供参考。

## 2 国土空间功能耦合协调机理

国土空间是由自然环境与人类活动等多要素耦合形成具有结构和功能属性的开放巨系统<sup>[25]</sup>。人类活动影响下的山水林田湖草等国土要素是国土空间系统存在的基础和载体;各类要素比例或组合关系形成的国土结构,约束着要素的作用机制;国土功能则是国土结构作用的表现,反映国土空间系统提供给人类福利的能力<sup>[26-27]</sup>。国土要素、结构、空间和功能之间紧密联系、相互作用<sup>[28]</sup>,因此,遵循“要素是基础、结构是关键、空间是保障、功能是目的”的逻辑框架,探讨面向规划实践的国土“要素—结构—空间—功能”交互机制(图1),推动构成由要素流动、结构整合、空间优化和功能提升多维一体的国土空间功能协调发展路径,合力提高空间治理能力<sup>[27]</sup>。

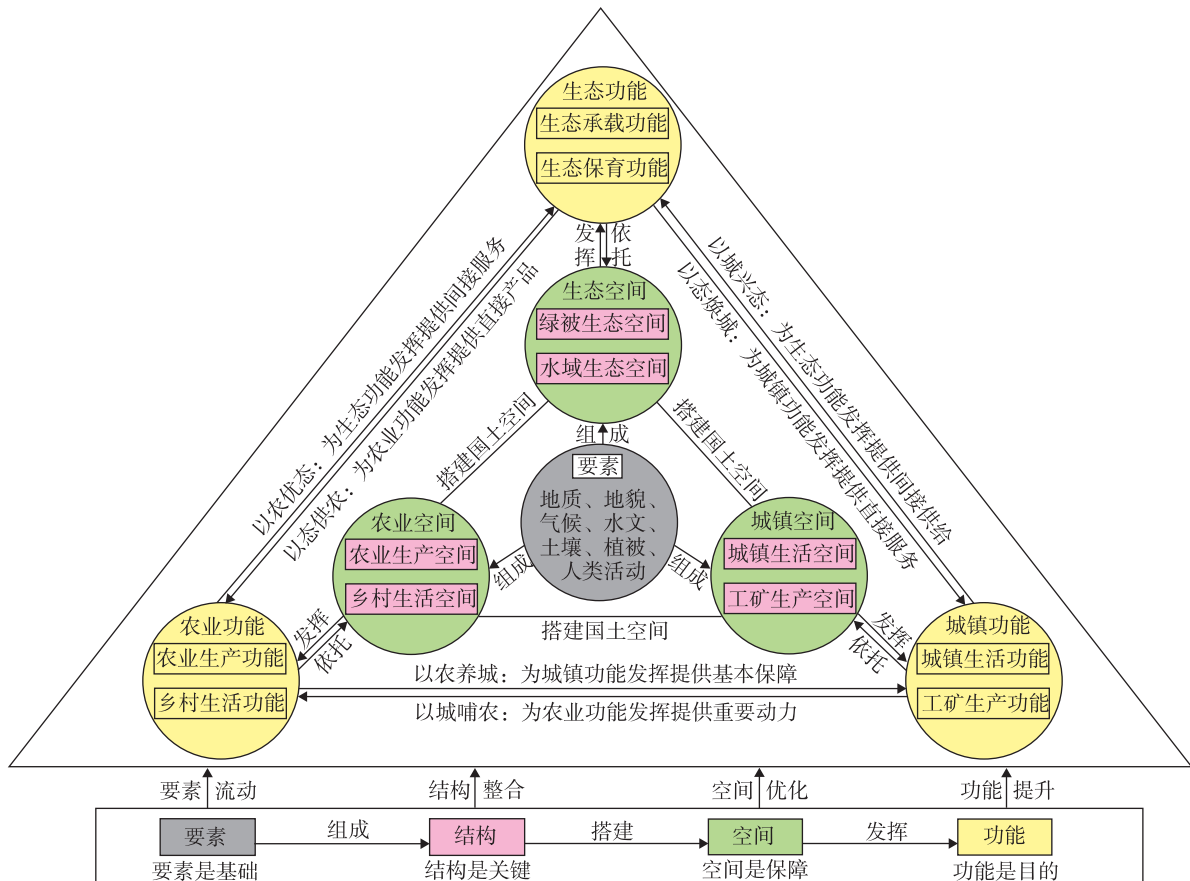


图1 国土空间城镇—农业—生态功能耦合协调机理

Fig.1 Interactive coupling mechanism of territorial space of urban-agricultural-ecological functions

国土空间城镇、农业与生态功能之间存在相互促进、彼此制约的交互耦合机制。首先,国土空间是产生国土空间功能的前提。要素流动组成国土结构,国土结构整合搭建国土空间。基于地域功能导向和空间规划实践,可将国土空间分为城镇、农业和生态空间<sup>[12,22]</sup>。城镇空间主要由城镇用地、工矿业和交通等建设用地组成,是城镇化和工业化的载体,主要发挥城镇生活和工矿生产功能;农业空间主要由耕地和农村居民点等农用地构成,主要满足农村居民生活和农业生产功能;生态空间由林地、草地、水域等生态用地组成,主要发挥生态承载和生态保育功能。其次,国土空间功能是国土空间利用的结果。国土空间优化发挥国土空间功能,国土空间功能提升满足人民生活生产需求。一是农业功能与城镇功能存在“以农养城,以城哺农”的相互影响关系。城镇功能赖以建立的基础和服务的对象——人口,主要来源为农村人口流动,并需要农业生产功能提供食物供给;工矿生产功能为提升农业生产效率和农村居民生活水平提供了资金支持与技术保障。二是生态功能与城镇功能存在“以态焕城,以城兴态”的相互影响关系。生态环境质量提高带动人口和资金、技术流向城镇空间,促进城镇发展,提升城镇功能;城镇功能越高,居民对优质生态环境的需求驱动工矿生产功能积累的资金与技术投向生态修复,助推生态功能提升。三是农业功能与生态功能存在“以农优态,以态供农”的相互影响关系。耕地作为乡村生态景观系统的重要组成部分,发挥农业生产功能可以减少乡村生活功能对生态功能的依赖,降低生态空间消耗,优化生态功能结构;生态功能为乡村生活功能的发挥提供农林产品,保障农业功能正常运行。最后,满足人类需求是国土空间利用的目的。生态功能是国土空间功能的基础,城镇功能和农业功能发挥依赖生态功能提供的美学产品,是促进区域高质量发展的基础;城镇功能是国土空间功能的关键,为生态功能和农业功能提供基本动力和资金支持,是实现国土空间可持续高效利用的关键环节;农业功能是国土空间功能的保障,为城镇功能和生态功能的发挥输出直接产品和间接服务,是满足人类对美好生活向往的重要保障。总之,国土空间城镇、农业和生态功能之间相互促进、协同发展,正确处理国土空间的互竞、融合关系,实现城镇、农业和生态功能协调发展,才能提升国土空间利用总体效应<sup>[3]</sup>。

### 3 研究区域与研究方法

#### 3.1 研究区概况与数据来源

##### 3.1.1 研究区概况

中越边境地区位于中国西南边陲,与越南社会主义共和国的奠边府、凉山等7省接壤,边境线长2 470 km,包括云南下辖的河口、富宁和广西下辖的凭祥、东兴等15个县级行政单元,土地总面积约39 987 km<sup>2</sup>。研究区处于云贵高原向广西南部延伸的斜坡地段,地势由西向东呈阶梯状倾斜,石漠化面积分布广、程度深。据《中国口岸年鉴》和云、桂两省《统计年鉴》数据显示,2018年,该地区常住人口420余万人,城镇化率为37.44%,拥有国家二类及以上陆路口岸18个,进出口贸易额达2 197亿元,逐渐形成了“口岸—城镇—腹地”对外联动、对内驱动的“双循环”发展格局,在中国与东盟国家的贸易交流中占据重要地位。在特殊的地理区位和发展政策驱动下,中越边境地区城镇、农业和生态功能冲突加剧威胁着区域可持续发展,亟需缓解功能冲突与竞争关系,故以此作为研究国土空间功能耦合协调关系的样区,具有典型性。

##### 3.1.2 数据来源

选取2000年、2005年、2010年、2015年和2018年为研究时段,涉及矢量和统计数据。矢量数据中,土地利用现状、高程、坡度、水系和交通路网数据均来自于中国科学院资源环境科学数据中心;土壤数据来源于世界土壤数据库。统计数据中,主要来源于相关年份的《中国县域统计年鉴》、《中国口岸年鉴》、《广西统计年鉴》和《云南统计年鉴》以及统计公报;碳排放与碳封存数据来源于中国碳核算数据库(<https://www.ceads.net.cn/>),缺失数据通过增长趋势法插值获取。

#### 3.2 指标体系与研究方法

##### 3.2.1 指标体系与权重

在现代地域—功能理论指导下,基于国土空间功能交互耦合机制,参考相关研究<sup>[14-15,24]</sup>,结合研究区国土空间开发利用实际,坚持生态优先、城乡融合发展的原则,从城镇、农业和生态功能3个层面建立国土空间功能评价指标体系(表1)。按照新型城镇化“产城互动、生态宜居”的发展要求,从城镇生活和工矿生产功能2个维度选取城镇功能评价指标,涵盖城镇空间的交通区位、社会发展、经济产出和边境贸易等方面。其中,选取城镇居民生活状况和交通区位条件等指标反映城镇生活空间的利用水平和便捷度,

表1 国土空间功能评价指标体系

Tab.1 Evaluation index system of territorial space functions

目标层	准则层	指标	指标阐释	属性	权重		
					熵值法	变异系数	综合权重
城镇功能	城镇生活功能	U1: 万人医院床位数/(床·10 <sup>4</sup> 人)	医院、卫生院床位数/总人口	+	0.084	0.096	0.090
	城镇生活功能	U2: 二三产业从业人员比例/%	二三产业从业人员/就业总人口	+	0.065	0.082	0.073
		U3: 社会消费品零售额/10 <sup>4</sup> 元	《广西统计年鉴》《云南统计年鉴》	+	0.100	0.107	0.103
		U4: 城镇化率/%	城镇人口/总人口	+	0.059	0.076	0.068
	城镇生活功能	U5: 交通便捷度/%	交通用地面积/城镇用地面积	+	0.063	0.081	0.072
		U6: 距主城区距离/km	欧氏距离	-	0.066	0.084	0.075
	工矿生产功能	U7: 二三产业比重/%	二三产业产值/GDP	+	0.051	0.068	0.060
	城镇生产功能	U8: 地均二三产业产值/(10 <sup>4</sup> 元·km <sup>-2</sup> )	二三产业产值/城镇用地面积	+	0.084	0.095	0.090
		U9: 城镇地均固定资产投资/(10 <sup>4</sup> 元·km <sup>-2</sup> )	城镇固定资产投资额/城镇用地面积	+	0.108	0.114	0.111
		U10: 二类及以上口岸个数/个	《中国口岸年鉴》	+	0.107	0.105	0.106
		U11: 地均边境贸易额/(10 <sup>4</sup> 元·km <sup>-2</sup> )	边境贸易总额/城镇用地面积	+	0.213	0.093	0.153
农业功能	乡村生活功能	A1: 农村居民消费水平/10 <sup>4</sup> 元	农村居民纯收入	+	0.083	0.083	0.083
	乡村生活功能	A2: 农业从业人员比例/%	农业从业人员/农村人口	+	0.078	0.079	0.079
		A3: 农村人均耕地面积/(hm <sup>2</sup> ·人 <sup>-1</sup> )	耕地面积/农村人口	+	0.090	0.095	0.093
		A4: 人均猪牛羊产量/(kg·人 <sup>-1</sup> )	人均猪牛羊产量/总人口	+	0.078	0.082	0.080
	农业生产功能	A5: 农业机械总动力/(10 <sup>4</sup> kWh)	《中国县域统计年鉴》	+	0.109	0.103	0.106
	农业生产功能	A6: 地均粮食生产能力/(kg·hm <sup>-2</sup> )	粮食产量/播种面积	+	0.092	0.090	0.091
		A7: 垦殖率/%	耕地面积/土地总面积	+	0.107	0.099	0.103
		A8: 人均粮食拥有量/(kg·人 <sup>-1</sup> )	粮食产量/总人口	+	0.074	0.078	0.076
		A9: 土壤含沙量/(g·m <sup>-3</sup> )	世界土壤数据库	-	0.099	0.102	0.100
		A10: 平均坡度/°	世界土壤数据库	-	0.091	0.092	0.092
		A11: 年均降水量/mm	《广西统计年鉴》《云南统计年鉴》	+	0.098	0.097	0.098
生态功能		生态保育功能	E1: 森林覆盖率/%	林地面积/土地总面积	+	0.155	0.136
	生态保育功能	E2: 单位面积生态系统服务价值/(10 <sup>4</sup> 元·km <sup>-2</sup> )	生态服务价值/土地总面积,按文献[29]计算	+	0.074	0.082	0.078
		E3: 土地退化率/%	其他土地面积/土地总面积	-	0.061	0.068	0.065
		E4: 地均二氧化碳封存量/(t·km <sup>-2</sup> )	中国碳核算数据库( <a href="https://www.ceads.net.cn/">https://www.ceads.net.cn/</a> )	+	0.126	0.118	0.122
	生态承载功能	E5: 水域面积比例/%	水域面积/土地总面积	+	0.109	0.111	0.110
	生态承载功能	E6: 污水处理率/%	《广西统计年鉴》《云南统计年鉴》	+	0.105	0.100	0.103
		E7: 人均生活用水量/(m <sup>3</sup> ·人 <sup>-1</sup> )	生活用水量/总人口	-	0.085	0.095	0.090
		E8: 地均工业废水排放量/(t·km <sup>-2</sup> )	工业废水排放量/土地总面积	-	0.071	0.080	0.075
		E9: 地均二氧化碳排放量/(t·km <sup>-2</sup> )	中国碳核算数据库( <a href="https://www.ceads.net.cn/">https://www.ceads.net.cn/</a> )	-	0.100	0.102	0.101
		E10: 平均海拔高度/m	12.5 m精度DEM提取	-	0.114	0.108	0.111

表征城镇生活功能；选取边境贸易和经济投入—产出水平反映边境地区工矿生产空间的开发程度，表征工矿生产功能。根据乡村振兴战略对农业农村发展提出的“产业兴旺、生活富裕”目标，从乡村生活和农业生产功能2个维度选取农业功能评价指标，涵盖农业空间的生活保障、生产条件和生产能力等方面。其中，选取农村居民消费水平和就业需求满足程度等指标反映乡村生活空间的保障能力，表征乡村生活功

能；选取农业生产资源、生产条件和生产能力等指标反映农业生产空间的利用效率，表征农业生产功能。立足“尊重自然、保护自然”的生态文明建设理念，从生态保育和生态承载功能2个维度选取生态功能评价指标，涵盖生态空间的生态本底、生态压力和生态修复等方面。其中，选取生态资源本底和生态修复情况等指标反映生态保育空间的保护质量，表征生态保育功能；选取生态资源消耗水平和生态污染压力等指标

表2 国土空间功能耦合协调关系等级划分

Tab.2 Classification of spatial coupling coordination degrees of territorial space functions

耦合协调类型	耦合协调度	耦合协调等级	特征
失调衰退型	[0.0, 0.1)	极度失调	土地利用粗放、农业生产水平低、生态问题突出,三类功能处于极低水平,彼此相互制约
	[0.1, 0.2)	严重失调	土地利用较粗放、农业生产水平较低、生态问题较突出,三类功能处于低水平,彼此相互制约
	[0.2, 0.3)	中度失调	土地集约利用程度低,三类功能水平较落后或过度发展、提升速度较慢,彼此存在一定制约
	[0.3, 0.4)	轻度失调	土地集约利用程度较低,国土空间冲突明显,三类功能提升速度“一快两慢”,彼此存在一定制约
协调过渡型	[0.4, 0.5)	濒临失调	土地集约利用程度改善,生态问题得到控制,三类功能提升速度“两快一慢”,彼此存在微弱制约
	[0.5, 0.6)	勉强协调	土地集约利用程度显著提高,生态环境有所改善,三类功能提升速度快,彼此存在勉强促进
协调提升型	[0.6, 0.7)	初级协调	国土空间冲突减弱,三类功能水平明显提高、发展较为均衡,呈一定协调状态,彼此存在促进作用
	[0.7, 0.8)	中级协调	生态环境得到较大改善,国土空间冲突持续减弱,三类功能均衡发展,协调发展程度较好
	[0.8, 0.9)	良好协调	三类功能水平较高、差距较小,呈良好协调发展状态,彼此相互促进作用明显
	[0.9, 1.0]	优质协调	城镇空间集约高效,农业空间产业兴旺、生活富裕,生态空间山清水秀,三类功能互促互进、共生共存

反映生态承载空间的调节能力,表征生态承载功能。

因指标体系中具有正、负属性的不同量纲,故采用极差法对原始指标进行标准化处理。为避免单一确权方法的偶然性误差,运用熵权法、变异系数法确定单一权重后取均值确定指标的综合权重。由于极差法标准化会出现个别年份指标数值为0的现象,为满足熵权法计算取对数的条件,故对标准化后为0的数值,加上0.01作平移处理,计算过程参见相关文献<sup>[3]</sup>。

3.2.2 研究方法

(1)加权求和法。采用加权求和法测度国土空间功能水平。加权求和法是根据各项指标的权重乘以标准化后的指标值,通过算术累计方式求取综合评价值的方法。计算公式为<sup>[3]</sup>:

$$g(u) = \sum_{i=1}^n u_i \times w_i, h(a) = \sum_{j=1}^m a_j \times w_j \tag{1}$$

$$s(e) = \sum_{k=1}^q e_k \times w_k$$

$$f(x) = \alpha \times g(u) + \beta \times h(a) + \varphi \times s(e) \tag{2}$$

式(1)一式(2)中:  $g(u)$ 、 $h(a)$ 、 $s(e)$ 分别表示城镇、农业和生态功能评价价值;  $u_i$ 、 $a_j$ 、 $e_k$ 分别表示各功能的指标标准化值;  $w_i$ 、 $w_j$ 、 $w_k$ 分别表示各功能的指标权重,  $n$ 、 $m$ 、 $q$ 分别为各功能的指标个数;  $f(x)$ 为国土空间综合功能;  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\varphi$ 为待定系数,之和为1,其取值大小分别表示城镇、农业和生态功能对国土空间综合功能的重要程度。中越边境地区作为我国构建“两屏三带”生态安全格局中“南方丘陵山地带”的重要组成部分,正处于快速发展阶段,发展经济、改善民生和推进城乡融合发展是本地区面临的主要问题,因此,城镇、农业和生态功能均衡发展是促进中越边境地区可

持续发展的关键,对国土空间综合功能同等重要,即  $\alpha = \beta = \varphi = 1/3$ 。

(2)耦合协调度模型。借鉴物理学耦合协调系数,参考相关研究<sup>[3,14]</sup>,构建国土空间功能耦合协调度模型,具体公式为:

$$C = \left\{ g(u) \times h(a) \times s(e) / \left[ \frac{g(u) + h(a) + s(e)}{3} \right]^3 \right\}^{\frac{1}{3}} \tag{3}$$

$$D = \sqrt{C \times f(x)} \tag{4}$$

式(3)一式(4)中:  $C$ 为耦合度;  $D$ 为协调度;  $g(u)$ 、 $h(a)$ 、 $s(e)$ 、 $f(x)$ 分别表示城镇、农业、生态功能和综合功能。耦合度越大,国土空间功能之间的影响程度越大;协调度越大,国土空间功能协同发展程度越高。参照相关研究成果<sup>[3,14]</sup>,将耦合协调关系分为3类和10个等级(表2)。

(3)障碍度模型。运用障碍度模型诊断制约国土空间功能协调发展的主要因素,为改善耦合协调关系提供依据。引入因子贡献度、指标偏离度和障碍度3个指标构建障碍度模型,计算公式为<sup>[24]</sup>:

$$O_j = \frac{w_i \times (1 - a_{ij})}{\sum_{j=1}^n w_i \times (1 - a_{ij})} \times 100\% \tag{5}$$

式(5)中:  $w_i$ 为因子贡献度,即各指标权重;  $1 - a_{ij}$ 为指标偏离度,其中  $a_{ij}$ 为指标标准化后数值;  $O_j$ 为障碍度,是指单项指标对系统的影响程度。

4 结果与分析

4.1 国土空间功能时空演变

4.1.1 国土空间功能动态变化特征

2000—2018年,中越边境地区国土空间城镇、农业和生态功能均呈上升趋势、差距逐渐缩小。由生态

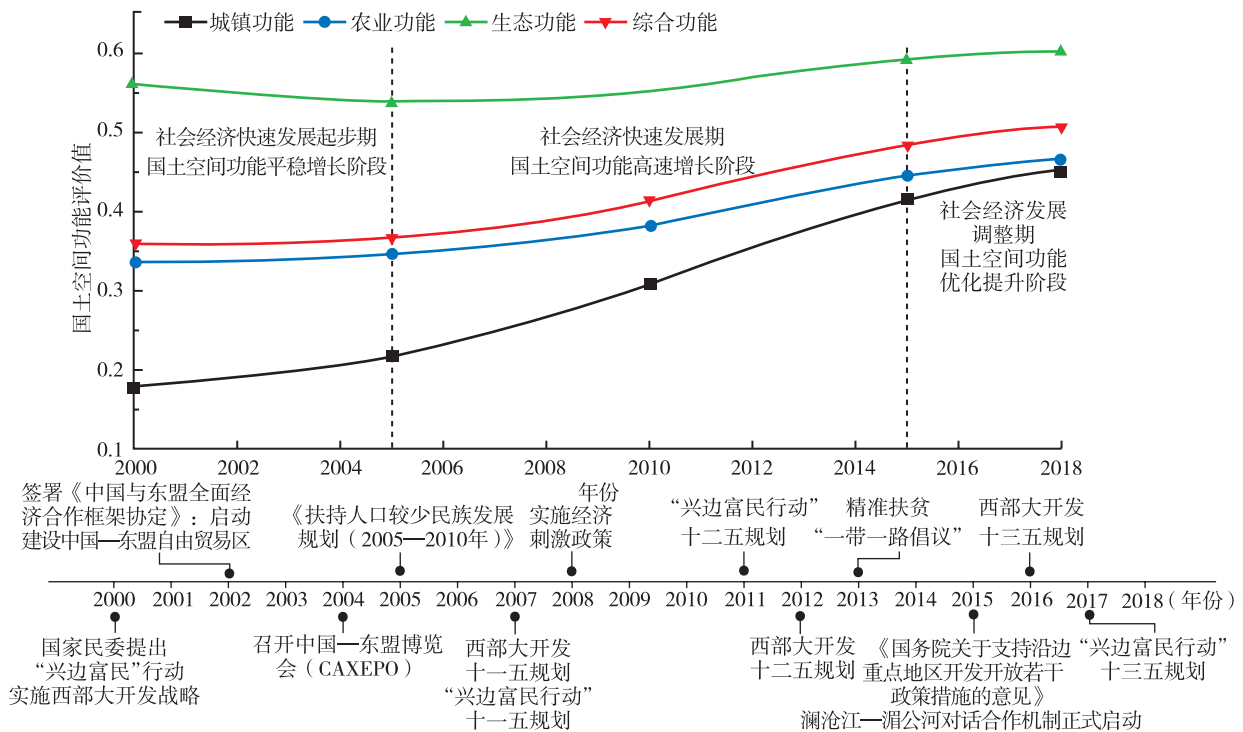


图2 2000—2018年中越边境地区国土空间功能变化趋势

Fig.2 Changes of territorial space functions in China-Vietnam border area from 2000 to 2018

功能主导、城镇功能拉动、农业功能抬升的综合功能变化过程符合区域社会经济发展特征，切合国土空间格局演变响应实际。从增长速度来看，研究区国土空间功能变化具有显著的阶段性(图2)。

国土空间功能平稳增长阶段(2000—2005年)，中越边境地区处于快速发展的起步期和系列开发政策的酝酿期，人类活动对国土空间的干扰强度较小。此时期，粗放地经济增长方式使生态承载压力加大，加上生态治理投入有限，导致生态功能指数由0.558下降至0.537；研究区社会经济发展相对滞后，但通过加大边境基础设施投资力度，为加快工业化和城镇化发展提供了必要条件，城镇和农业功能指数分别由0.180、0.335小幅增长至0.217、0.345。国土空间功能高速增长阶段(2005—2015年)，城镇、农业和生态功能指数由0.217、0.345和0.537提高到0.414、0.445和0.591，国土空间功能显著提升，受城镇功能的拉升影响最大。作为少数边境民族地区，2005年起，中越边境地区在《扶持人口较少民族发展规划(2005—2010年)》和西部大开发、兴边富民行动系列规划，以及“精准扶贫”和跨区域对话合作机制的影响下，重点加强边民互市点和口岸设施建设，优化边境贸易格局，促进了“国内和国外”两个市场的投资要素向该地区流动，满足了城镇化和工业化高速发展的充分条件，县域经济

发展能力明显增强，城镇功能和农业功能高速增长；受城市规模扩张的影响，生态空间逐渐萎缩，但通过石漠化综合治理和生态文明建设，区域生态环境质量有所改善，生态功能指数也显著提升。国土空间功能优化提升阶段(2015—2018年)，国土空间功能由生态功能主导转向城镇、农业和生态功能协同发展，各类型功能由“低水平高差距”的互竞阶段走向“高水平低差距”的优化提升阶段。在兴边富民行动等战略持续带动下，2018年，城镇、农业、生态和综合功能持续提升，较2000年分别提高150.89%、38.51%、7.35%和41.17%，国土空间功能演变受贸易快速发展驱动。

#### 4.1.2 国土空间功能格局演变特征

根据国土空间城镇、农业、生态功能和综合评价价值，绘制各时期国土空间功能格局图。为突出各类功能评价价值的时空差异，将国土空间功能评价价值分为低[0, 0.2)、较低[0.2, 0.4)、一般[0.4, 0.6)、较高[0.6, 0.8)、高[0.8, 1.0] 5个等级<sup>[14]</sup>，分析国土空间功能格局演变特征。结果发现，中越边境地区国土空间功能空间变化剧烈，非均衡性日益突出(图3)。

(1)城镇功能。城镇功能指数介于0.072~0.698之间，2000年各地城镇功能主要以低水平为主，2018年以一般水平为主。2018年，西部绿春和江城县的城镇功能相对较低，以上地区由于石漠化程度深和土地承

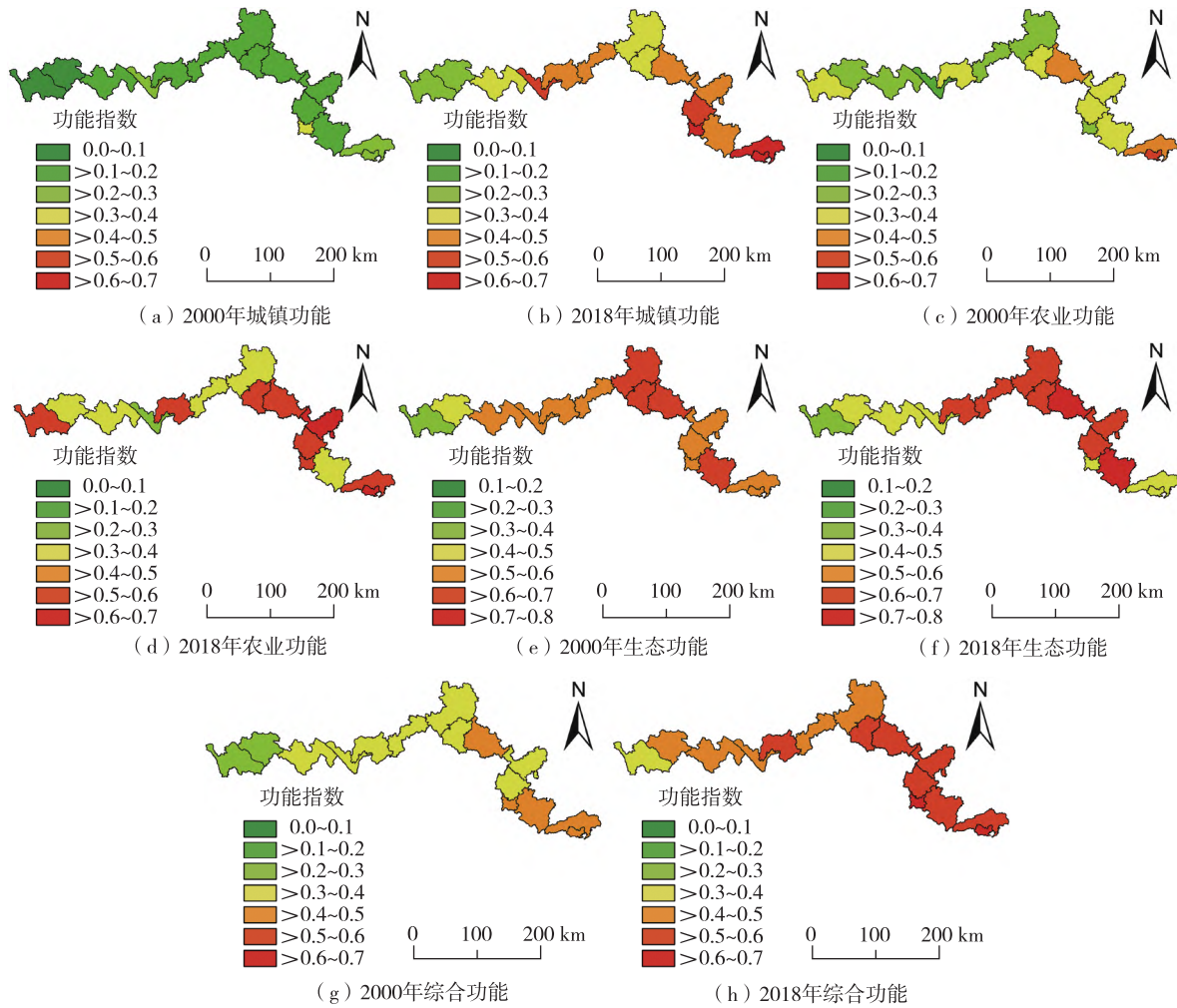


图3 2000—2018年国土空间功能格局

Fig.3 Spatial structure of territorial space functions from 2000 to 2018

注：基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为GS(2019)1816的标准地图制作，底图无修改。下同。

承载力弱，限制了城镇空间开发与优化，是推进区域均衡发展的攻坚区。东南部防城区和东兴、凭祥市的城镇功能处于较高水平，符合主体功能区划，以上地区交通区位和自然环境优越，是人口和投资要素流动的优势区，也是主要开放开发平台的集聚区，城镇化水平较高。中部地区的城镇功能处于一般水平，该区域位于山地和丘陵的过渡性地带，城镇发展空间有限，且距离内地和边境主要市场较远，城市发展缺乏核心竞争力，但在东南部城市的发展拉动下，城镇功能优化动力较足，是未来促进中越边境地区国土空间高质量开发的着力点。

(2)农业功能。农业功能指数介于0.169~0.610之间，2000年各地农业功能处于较低水平，2018年以一般水平为主。农业功能较低区域位于研究区中部向西延伸地区，中部由于人均耕地面积少和农村居民消费能力有限导致农业功能较低；西部由于土壤含沙

量高和农机化水平低等原因导致耕地利用率和粮食生产能力偏低。农业功能较高区域集中在东南部的广西段，相比云南段，广西段地势较为平坦、水资源充足，耕地利用率高，农业生产功能质量较好；另外，随着社会经济快速发展，带动农村生活质量提升，乡村生活功能也较高。总体来看，农业功能格局与主体功能区较吻合，但区域非均衡性明显，这种区域差异暂时未能通过加大投入而快速实现均衡发展，改善耕作条件和提高农业空间利用率是实现农业功能均衡发展的关键。

(3)生态功能。生态功能指数介于0.347~0.728之间，生态功能是各县的优势国土空间功能类型，以较高水平为主，广西段生态功能明显高于云南段，区域差异显著。西部的绿春、江城和金平县生态功能较低，该区域水土流失风险大、局部地区土地退化加剧，加上经济发展迫使生态承载压力逐年升高，导致生态

功能较低。中部和东南部区域生态功能较高，这些地区林地占比高、生态保育能力强，且生态文明建设力度逐渐加强，生态质量持续向好，与生态功能区格局匹配。生态功能格局演化程度低于城镇功能和农业功能，一方面是由于生态空间在全域国土空间中占据主导地位，生态承载和生态保育能力较高；另一方面，生态空间作为人类活动的次承载区，对社会经济活动的响应程度要低于城镇、农业空间，是生态功能格局保持总体稳定的重要原因。

(4)综合功能。各县国土空间综合功能均上升，评价指数介于0.274~0.613之间，由东向西整体表现为“高一中一低”递减的阶梯式变化过程，呈现东西分异格局。广西段综合功能高于云南段，城镇、农业和生态功能形成“三足鼎立”的格局，协同发展程度较高，国土空间开发成效较好。中部地区由于存在某种优势功能主导，三类功能呈现“一核双副”的结构特征使综合功能处于一般水平。而西部地区由于自然条件和经济基础的限制，城镇、农业和生态功能存在“三低”的突出问题，导致综合功能处于较低水平，亟需优化区域空间格局，提升国土空间开发利用效能。

## 4.2 国土空间功能耦合协调分析

### 4.2.1 耦合协调度变化特征

2000年、2005年、2010年、2015年和2018年中越边境地区国土空间功能耦合协调度均值分别为0.560、0.577、0.626、0.687和0.716，城镇、农业和生态功能之间由勉强协调向中级协调转型发展(图4)。从

不同时间来看，2000年，三类功能的空间分布“错位”导致耦合协调水平较低，其中云南段的江城和绿春县处于濒临失调阶段，土地资源利用效率低和供给结构失衡加速了农业和生态空间萎缩，三类功能之间的权衡关系日益凸显。广西段的防城区和东兴、凭祥市国土空间功能协调度较高，该地区抓住西部大开发战略和兴边富民行动等政策红利，加快土地资源利用从低质低效领域向优质高效领域流动，土地利用效率和利用效益大幅提升，国土空间冲突减弱，三类功能协同发展程度加深。2018年，中越边境地区国土空间功能处于中级协调发展阶段，反映城镇、农业和生态功能之间相互促进作用增强，处于同步增长状态，其中边境贸易水平较高的凭祥、东兴市协调度最高，属于良好协调型。从区域差异来看，广西段的国土空间功能耦合协调度高于云南段，与国土空间功能指数的动态变化特征一致。云南边境地区与越、缅、老三国交界，作为云南边境地区的一部分，中越边境云南段地缘环境较广西段更为复杂，并且云贵高原余脉阻碍其与内陆市场联通，国土空间开发的不可逆风险更高、功能协调发展难度更大。但在湄公河—澜沧江对话合作机制启动后，推动了云南段与其他边境地区的经贸合作，加速各类资源流动，国土空间功能协同增长趋势明显。相比于云南段，广西段陆—海—边联动，通江达海，国土空间格局可塑性更强，功能协同发展水平较高。

### 4.2.2 耦合协调度空间格局

2000—2018年，中越边境地区国土空间功能耦

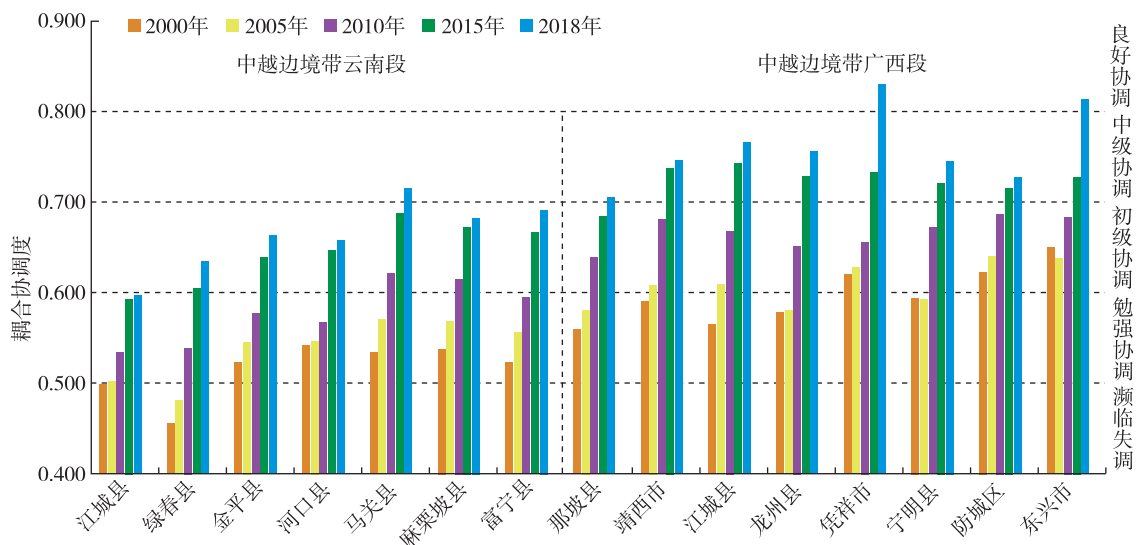


图4 2000—2018年各县国土空间功能耦合协调度变化特征

Fig.4 Change characteristics of the coupling coordination degree of territorial space functions in counties from 2000 to 2018



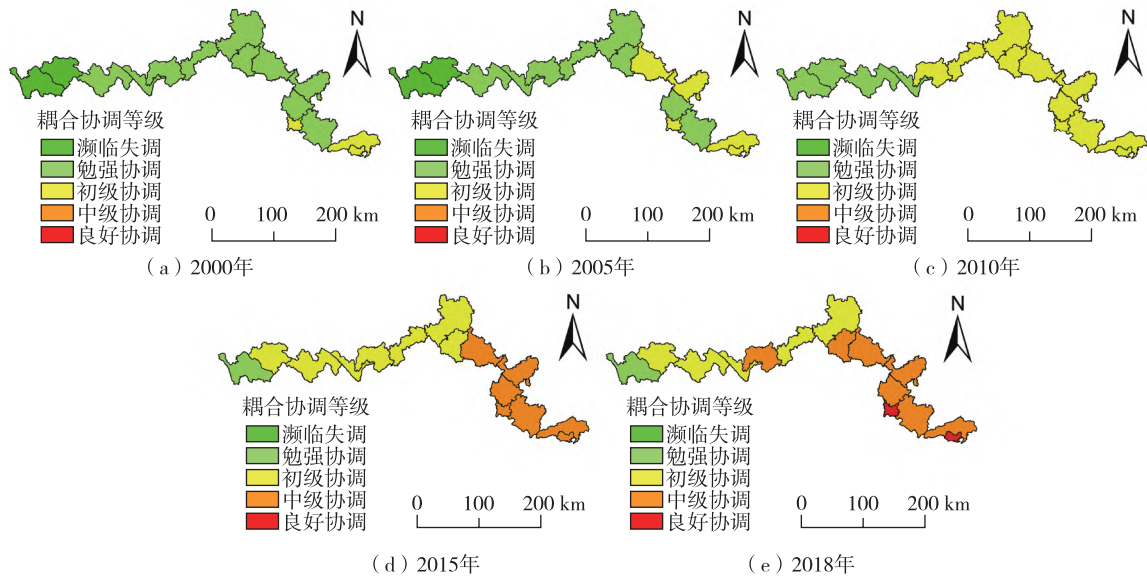


图5 2000—2018年国土空间功能耦合协调等级空间格局

Fig.5 Spatial pattern of coupling coordination level of territorial space functions from 2000 to 2018

合协调度空间单元由低值区和高值区少、中值区多向高值区多、中值区和低值区少转变,耦合协调等级包括濒临失调、勉强协调、初级协调、中级协调和良好协调,空间演化特征明显(图5)。从耦合协调度空间分布来看,自西向东呈现梯度提升的过渡性演化特征,表现为东南部>中部>西部。在西部的耦合协调度低值区,因区位条件和经济水平限制,生态功能占据主导地位,城镇、农业功能较低,国土空间功能呈现“一高两低”的特点,三种功能之间相向发展、相互促进关系不密切;在中部的耦合协调度中值区,地势的垂直梯度效应减弱,农业生产空间集中连片程度高,社会经济发展以传统农业为主,生态环境承载压力较小,存在农业和生态功能高、城镇功能低的“两高一低”特点;在东南部的耦合协调度高值区,在东兴、凭祥市的快速城镇化和工业化辐射带动下,相邻单元经

济发展较快,城镇、农业和生态功能“三足鼎立”,耦合协调水平较高。

#### 4.3 国土空间功能耦合协调发展影响因素

利用障碍度模型识别国土空间功能耦合协调发展的主导影响因素。因评价指标较多,本文仅列举各二级功能中指标障碍度较高的因子,分析国土空间功能协调发展的主导影响因素(表3)。从不同类型功能来看:(1)城镇功能主要受生活和边境贸易水平的制约。城镇生活功能主导障碍因子为社会零售额( $U_3$ ),表明消费水平低是阻碍边境地区城镇生活功能提升的主要原因,但随着经济发展,影响程度减弱;工矿生产功能主导障碍因子为地均对外贸易额( $U_{11}$ ),由于边境口岸分布不均衡,导致中越边境地区各地区城镇发展活力存在较大差距,对城镇功能的影响作用日益加大。(2)农业功能主要受农村社会保障能力和农

表3 2000—2018年国土空间功能协调发展制约指标障碍度

Tab.3 Obstacle degree of the restriction index of the coordinated development of territorial space functions from 2000 to 2018

年份	城镇生活功能		工矿生产功能		乡村生活功能		农业生产功能		生态保育功能		生态承载功能	
	$U_2$	$U_3$	$U_9$	$U_{11}$	$A_1$	$A_3$	$A_5$	$A_7$	$E_1$	$E_5$	$E_6$	$E_8$
2000年	2.771	4.996	5.663	7.763	4.079	3.479	4.958	3.222	3.350	4.222	4.499	2.978
2005年	2.476	4.914	5.559	7.778	3.983	3.695	4.829	3.273	3.397	4.285	4.189	3.031
2010年	2.159	4.640	5.552	8.163	3.592	3.865	4.830	3.521	3.666	4.478	4.030	3.257
2015年	1.987	4.037	5.415	8.652	2.969	4.396	4.704	3.949	4.137	5.009	1.437	3.656
2018年	1.904	3.824	4.970	8.795	2.120	4.677	4.500	4.181	4.434	4.865	0.624	3.850

业生产条件影响。乡村生活功能主导阻碍因子包括农村居民消费能力(A1)和人均耕地面积(A3)。2020年9月,笔者在防城区、东兴市、大新县、龙州县、凭祥市和靖西市等地区调研抵边边民生产生活 and 国土安全状况时发现,距离区域中心市场较远地区的边民收入主要来源农业生产,但因人均耕地少,农民增收渠道变窄,消费能力有限;农业生产功能主导障碍因子有农业机械总动力(A5)和垦殖率(A7),由于地形原因,研究区垦殖率较低,且耕地离散分布程度大,降低了农业生产效率。(3)生态功能主要受生态本底和生态承载压力制约。生态保育功能主要受到森林覆盖率(E1)和水域面积比例(E5)的影响,且程度日益加深,由于个别地区存在过度开发和水土流失严重等问题,植被覆盖度降低导致了生态保育功能下降;污水处理率(E6)和人均废水排放量(E8)对生态承载功能的影响较大,边境地区的生态环境治理仍面临较大压力。

## 5 结论与讨论

### 5.1 结论

(1)中越边境地区国土空间功能由“低水平高差距”的互竞阶段转向“高水平低差距”的优化提升阶段。由生态功能主导、城镇功能拉动、农业功能抬升的国土空间综合功能整体上升,呈现平稳改善—高速增长—优化提升的阶段性变化过程。城镇功能低水平区分布于云南段西部,较高水平区集中在广西段西南部,与主体功能区格局匹配;农业功能低水平区集中在中部地区、较高水平区集中于东南部;生态功能以较高水平为主,是各县的优势功能类型;综合功能由东向西呈现递减的阶梯式演化过程,具有空间异质性。

(2)中越边境地区国土空间功能耦合协调度稳步提升,由勉强协调向中级协调转型发展,国土空间功能冲突减弱。广西段国土空间功能耦合协调度整体高于云南段,自西向东呈现梯度上升的过渡性演化趋势,与国土空间功能的动态变化特征一致,表现为边境贸易频繁的东南部高于农业主导型的中部高于生态优势明显的西部,耦合协调等级空间分布差异与国土空间综合功能格局吻合。

(3)中越边境地区国土空间功能协调发展受到边境贸易水平、社会保障能力和自然环境本底等因素的综合影响。贸易口岸分布不均衡使边境贸易额对城镇功能的影响作用日益加大;耕地离散分布和机械化

程度低导致边民收入、消费水平低,制约了农业功能提升;水土流失和植被覆盖度低削弱生态保育能力,生态环境承载压力加大。

### 5.2 讨论

边境地区作为连接国内与国际市场的枢纽地带,依托边境贸易活动构筑多样化的经济增长方式<sup>[24]</sup>,需要制定差异化的国土空间用途管制措施促进国土空间功能协同发展:(1)优化城镇开发边界,提升城镇功能效能。绿春、金平、那坡和大新等县城镇功能较低区域,要结合重点开发开放试验区建设契机,盘活低效建设用地,大力发展“口岸经济”,增强工矿空间生产能力。其他地区以促进资源流动、人口聚集为导向,以改善就业消费需求为目标,探索“以边养边”的灵活性贸易政策促进城镇流动人口再就业,提高居民收入,提升城镇生活功能。(2)严守耕地保护红线,扩大农业功能容量。富宁、麻栗坡、绿春、金平和河口等县农业功能较低区域,在耕地不减少的前提下,引导边贸集散市场向农村人口聚集区布局,促进边民增收,提升乡村生活功能。其他地区积极实施农村宅基地腾退工作,推广龙州县的“小块并大块”土地整治模式,改善耕作条件,探索划定国家战略基本农田,扩大农业生产空间规模。(3)加大生态文明建设力度,提高生态功能质量。江城、绿春、金平、富宁、东兴、凭祥等县市,要加快实施生态移民、封山育林、坡耕地退耕等石漠化和流域水环境综合治理,提升绿被和水域生态系统服务能力。其他地区支持重污染、重排放的采矿、冶金产业转型发展,降低生态系统压力和水土流失风险,提高生态环境质量。

本文在推演“要素—结构—空间—功能”的国土空间功能交互机制基础上,构建涵盖边境贸易、自然环境、社会经济和政策制度等方面的指标体系,刻画中越边境地区城镇、农业和生态功能的时空格局,并分析其耦合协调关系演化过程,可为边境地区推进城乡统筹发展和生态文明建设提供参考。研究表明,中越边境地区国土空间功能指数与跨境贸易水平存在空间重叠性,地域分异规律与社会经济发展交互作用形成城镇、农业和生态功能的分布格局,塑造了国土空间功能耦合协调发展类型的空间异质性<sup>[30]</sup>,这与相关案例的研究结论一致<sup>[14]</sup>。然而,个别地区国土空间功能与主体功能区划存在错位的现象,主要原因是边境贸易对国土空间功能的导向影响较大,降低该因素对城镇、农业和生态空间冲突的影响,是形成国土

空间功能互补共生格局的重要调控方向。由于边境地区数据获取难度大,存在个别指标表征多种主导功能的问题,使国土空间功能的表征不够全面,如何开展不同协调类型区的影响因素定量分析也有待深入探讨。

#### 参考文献(References):

- [1] 刘继来,刘彦随,李裕瑞.中国“三生空间”分类评价与时空格局分析[J].地理学报,2017,72(7):1290-1304.
- [2] 刘超,许月卿,卢新海.生态脆弱贫困区土地利用多功能权衡/协同格局演变与优化分区——以张家口市为例[J].经济地理,2021,41(1):181-190.
- [3] 张路路,郑新奇,孟超,等.湖南省土地多功能耦合协调度时空分异[J].中国土地科学,2019,33(3):85-94.
- [4] 李欣,殷如梦,方斌,等.基于“三生”功能的江苏省国土空间特征及分区调控[J].长江流域资源与环境,2019,28(8):1833-1846.
- [5] 刘超,许月卿,孙丕苓,等.土地利用多功能性研究进展与展望[J].地理科学进展,2016,35(9):1087-1099.
- [6] ZHANG Y N, LONG H L, TU S S, et al. Spatial identification of land use functions and their tradeoffs/synergies in China: implications for sustainable land management[J]. Ecological Indicators, 2019, 107. doi: 10.1016/j.ecolind.2019.105550.
- [7] 龙花楼,陈坤秋.基于土地系统科学的土地利用转型与城乡融合发展[J].地理学报,2021,76(2):295-309.
- [8] 李欣,方斌,殷如梦,等.江苏省县域“三生”功能时空变化及协同/权衡关系[J].自然资源学报,2019,34(11):2363-2377.
- [9] 李广东,方创琳.城市生态—生产—生活空间功能定量识别与分析[J].地理学报,2016,71(1):49-65.
- [10] 林佳,宋戈,张莹.国土空间系统“三生”功能协同演化机制研究——以阜新市为例[J].中国土地科学,2019,33(4):9-17.
- [11] 康庆,郭青霞,丁一,等.山西省“三生”功能协同/权衡关系分析[J].自然资源学报,2021,36(5):1195-1207.
- [12] 魏伟,尹力,谢波,等.国土空间规划背景下黄河流域“三区空间”演化特征及机制[J].经济地理,2022,42(3):44-55,86.
- [13] 匡文慧.新时代国土空间格局变化和美丽愿景规划实施的若干问题探讨[J].资源科学,2019,41(1):23-32.
- [14] 李思楠,赵筱青,普军伟,等.西南喀斯特典型区国土空间功能质量评价及耦合协调分析——以广南县为例[J].自然资源学报,2021,36(9):2350-2367.
- [15] 欧定华,张琪,秦景,等.基于土地利用与其功能动态耦合性的县域国土空间分类体系构建[J].农业工程学报,2021,37(24):284-296.
- [16] 李龙,吴大放,刘艳艳,等.生态文明视角下喀斯特地区“双评价”研究——以生态敏感区宁远县为例[J].自然资源学报,2020,35(10):2385-2400.
- [17] 贾克敬,何鸿飞,张辉,等.基于“双评价”的国土空间格局优化[J].中国土地科学,2020,34(5):43-51.
- [18] 黄贤金,陈逸,赵雲泰,等.黄河流域国土空间开发格局优化研究——基于国土开发强度视角[J].地理研究,2021,40(6):1554-1564.
- [19] ZHOU D, XU J C, LIN Z L. Conflict or coordination? Assessing land use multi-functionalization using production-living-ecology analysis[J]. Science of the Total Environment, 2016, 577: 136-147.
- [20] ZOU L, LIU Y S, YANG J X, et al. Quantitative identification and spatial analysis of land use ecological-production-living functions in rural areas on China's southeast coast [J]. Habitat International, 2020, 100. doi: 10.1016/j.habitatint.2020.102182.
- [21] 李思楠,赵筱青,普军伟,等.西南喀斯特典型区国土空间地域功能优化分区[J].农业工程学报,2020,36(17):242-253,314.
- [22] 曲衍波,王世磊,朱伟亚,等.黄河三角洲国土空间演变的时空分异特征与驱动力分析[J].农业工程学报,2021,37(6):252-263.
- [23] 巩垠熙,刘若梅,王发良,等.多元信息综合的市县国土空间规划空间功能识别方法[J].自然资源学报,2021,36(8):2006-2019.
- [24] 林树高,陆汝成,刘少坤,等.基于“三生”空间的广西边境地区土地利用格局及多功能演变[J].农业工程学报,2021,37(5):265-274.
- [25] 冯广京,王睿,谢莹.国家治理视域下国土空间概念内涵[J].中国土地科学,2021,35(5):8-16.
- [26] VERBURG P H, VAN DE STEEG J, VELDKAMP A, et al. From land cover change to land function dynamics: a major challenge to improve land characterization[J]. Journal of environmental management, 2009, 90(3): 1327-1335.
- [27] 朱从谋,王珂,张晶,等.国土空间治理内涵及实现路径——基于“要素—结构—功能—价值”视角[J].中国土地科学,2022,36(2):10-18.

- [28] ZHOU D, XU J C, WANG L, et al. Assessing urbanization quality using structure and function analyses: a case study of the urban agglomeration around Hangzhou Bay(UAHB), China[J]. *Habitat International*, 2015, 49: 165 – 176.
- [29] 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.
- [30] CORDINGLEY J E, NEWTON A C, ROSE R J, et al. Can landscape-scale approaches to conservation management resolve biodiversity–ecosystem service trade-offs?[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2016, 53(1): 96 – 105.

## Spatial Evolution and Coupling Coordination of Territorial Space Functions in China-Vietnam Border Area

LIN Shugao<sup>1,2</sup>, LU Rucheng<sup>1</sup>, YE Zongda<sup>3</sup>, LIU Shaokun<sup>1</sup>

(1. School of Natural Resources and Surveying, Nanning Normal University, Nanning 530001, China;

2. School of Public Administration, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

3. Natural Resources Ecological Restoration Center of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530029, China )

**Abstract:** The purpose of this paper is to reveal the evolution process of coupling coordination among urban function, agricultural function and ecological function, to alleviate the conflict of territorial space pattern in China–Vietnam border area. The methods of theoretical analysis, the weighted summation model and the coupling coordination degree model are employed. The results showed that: 1) the comprehensive territorial space functions of China–Vietnam border areas, led by ecological functions, pulled by urban functions and driven by agricultural functions, showed an upward trend. And the function of territorial space has moved from the stage of “low level and high gap” to the stage of “high level and low gap” from 2000 to 2018. The transition of territorial space functions from the east (Guangxi part) to the west (Yunnan part) is manifested as a stepwise decreasing process of change. The high-value areas of urban functions and agricultural functions are distributed in the southeast where trade ports are concentrated, and the ecological functions are mainly high-value areas. 2) The functions of territorial space have been transformed from barely coordinated to intermediate coordinated degree. Moreover, the coordination level of territorial space function in Guangxi part is higher than that in Yunnan part. The spatial distribution difference of coupling coordination types is consistent with the comprehensive function pattern of territorial space, and the functional conflict of territorial space is weakened. 3) Factors, such as border trade level, social security capacity and natural environment conditions, comprehensively affect the coordinated development of territorial space functions. Improving the quality of ecological environment, enhancing the vitality of border trade, improving the living standards of border residents, and formulating differentiated control measures for territorial space use are important paths to improve the level and coordinated development of urban functions, agricultural functions and ecological functions.

**Key words:** territorial space; functional evaluation; coupling coordination; spatial–temporal pattern; China–Vietnam border area

(本文责编: 陈美景)