

## ◆地球科学◆

山江海地域系统关键带综合分类研究——以桂西南喀斯特区-北部湾海岸带为例<sup>\*</sup>黄思敏<sup>1,2,3</sup>,胡宝清<sup>1,2\*\*</sup>,韦高杨<sup>3</sup>,黄丽芳<sup>1,2,3</sup>,韦雯雯<sup>1,2,4</sup>,张礼黎<sup>1,2,4</sup>,李楣楣<sup>1,2,3</sup>

(1. 南宁师范大学,北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室,广西南宁 530001;2. 广西地表过程与智能模拟重点实验室,广西南宁 530001;3. 南宁师范大学地理科学与规划学院,广西南宁 530001;4. 南宁师范大学自然资源与测绘学院,广西南宁 530001)

**摘要:**为满足自然资源发展规划的需求,本文基于山江海视角,以桂西南喀斯特区-北部湾海岸带为研究对象,采用地貌类型、地质类型、土壤类型、植被类型和土地利用要素构建了山江海地域系统关键带三级分类方案,运用空间叠置法对分类要素进行叠加和制图综合分析,并进行山江海地域系统关键带区划分类、制图和环境因子分析研究。结果表明,可将桂西南喀斯特区-北部湾海岸带划分为38个一级单元、78个二级单元、111个三级单元。一级关键带分类中海拔山地-非碳酸盐岩区占据面积最大,为19.10%;二级分类中海拔山地-非碳酸盐岩区-红壤性土占据面积最大,为13.98%;三级分类中低海拔丘陵-非碳酸盐岩区-复盐基红黏土-针叶林-河渠占据面积最大,为15.21%。研究结果表明,本文所提出的关键带综合分类方案可体现区域特征中的差异和驱动因素,因此可为自然资源地表系统规划提供理论基础,同时可为国内外相关研究提供参考依据。

**关键词:**山江海地域系统关键带;空间叠置法;等级分类体系;桂西南喀斯特区-北部湾海岸带;生态可持续发展

中图分类号:P3,P90 文献标识码:A 文章编号:1002-7378(2023)03-0280-11

DOI:10.13657/j.cnki.gxkxyxb.20230822.001

21世纪以来,气候异常,自然灾害频发,人类的生产生活活动日益增多,给全球的生态环境造成一定程度的破坏。而在20世纪80年代,地球系统科学的提出,不仅为地球科学的发展提供理论基础,而且也为生态环境的可持续发展提供参考借鉴。自21世纪

初美国国家研究会(NRC)提出“地球关键带”概念<sup>[1]</sup>以来,大量学者对其进行研究,我国更是将“地球关键带过程与功能”作为国家自然科学基金“十三五”发展规划中的重要研究方向之一,因此,山江海地域系统关键带研究对地球系统科学的发展具有重要意义。

收稿日期:2023-04-05

修回日期:2023-06-21

\*国家自然科学基金面上项目“喀斯特峰丛洼地土壤养分过程及其生态系统服务权衡”(42071135),国家自然科学基金项目“北部湾红树林潮滩响应陆海水沙变化的沉积动力过程”(42071135),广西科技基地与人才专项(桂AD19110142)和自然资源数字产业学院建设项目资助。

【第一作者简介】

黄思敏(1997-),女,在读硕士研究生,主要从事资源开发与国土整治研究,E-mail:hsm1486305832@163.com。

【\*\*通信作者】

胡宝清(1966-),男,博士,主要从事脆弱环境演变与整治研究,E-mail:hbq1230@nnuedu.cn。

【引用本文】

黄思敏,胡宝清,韦高杨,等.山江海地域系统关键带综合分类研究——以桂西南喀斯特区-北部湾海岸带为例[J].广西科学院学报,2023,39(3):280-290.

HUANG S M, HU B Q, WEI G Y, et al. Comprehensive Classification Research on Key Zones of Mountain-River-Sea Geographical System - Taking Southwest Guangxi Karst Area-Beibu Gulf Coastal Zone as an Example [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2023, 39(3): 280-290.

地球关键带作为 21 世纪地球系统科学的发展前沿,为推动其发展,国内外学界推出许多喀斯特关键带相关的研究计划和项目,全球已建立 60 多个监测站用以监测关键带地表圈层要素的变化<sup>[1-6]</sup>。在研究主题与内容上,主要有地球关键带的物质循环、形成与演化机理,不同时间尺度上的地球关键带的结构特征等<sup>[7-11]</sup>;在研究区域上,将生态环境脆弱、空间异质性较强的地区选为关键带研究区,集中选择不同尺度的研究单元如大江大河、山区平原高原、海岸带湿地、城郊、矿区关键带<sup>[12-17]</sup>;在研究方法上,有地质-水文学方法、数学方法、地球化学模拟方法、填图-检测-建模方法、驱动力-压力-状态-影响-响应模型等<sup>[18-20]</sup>。地球关键带具有多种类型,如流域、喀斯特地区、人类关键区,研究区不同其研究方法、内容也存在着差异,同时研究还存在一定的局限性,如流域关键带研究还处于起步阶段,尚未进行大量的定量研究<sup>[14,15,17]</sup>。地球关键带分类既是地球关键带分区的基础(即注重不同关键带内部特征的同性与演变性特征,相同区域所产生的变化过程相似),又可综合反映不同关键带结构的耦合形成与演变特点、特征及其生态系统服务等主题<sup>[10]</sup>。地球关键带分类对农业规划和自然资源利用规划具有重要的指导意义。由于地球关键带地层结构面存在一定的空间连续性,难以明确分界线,如何准确地体现地球关键带各要素的连续性特征是目前研究的技术难点之一,目前只能根据研究者对地球关键带的熟悉程度来确定分类原则。一般而言,可以综合自然因素、人类活动及区域分异特征来选择和确定分类指标。国内外众多学者对地球关键带进行了大量的研究,都取得了丰富的成果。张甘霖等<sup>[10]</sup>以中国为例,运用空间叠置法构建地球关键带三级分类方案;Lü 等<sup>[16]</sup>以黄土高原为例,运用聚类和主成分分析法综合地质、地貌、土壤类型对其关键带进行分类研究;马婉君等<sup>[21]</sup>运用空间叠置法构建农田关键带三级分类方案。然而,目前地球关键带研究重点内容主要体现在关键带的地表要素和地下要素等方面,对地球关键带的研究大多数仅是单一要素的研究,有关多要素的综合区域关键带的分类研究甚少<sup>[14-18]</sup>。

山江海地域系统是指各类圈层的自然地理要素、社会经济要素相互联系,综合水-土-气-生-岩要素,且具有复杂性、综合性、空间异质性的地人系统<sup>[22]</sup>。山江海地域系统人类活动频繁,生态环境脆弱,以山江海视角研究山江海地域关键带可为其他综合区域关

键带研究提供新思路<sup>[22]</sup>。鉴于此,针对桂西南喀斯特区-北部湾海岸带环境脆弱的特点并顺应自然资源发展规划的需求,本文提出山江海地域系统关键带三级分类方案,构建山江海地域系统关键带的指标体系和命名方法;同时,运用空间叠置法对其进行区划分类和制图研究,综合分析在不同地理要素条件下,山江海地域系统关键带所体现的空间分布特征及其环境特征,为地球表层系统关键带的研究提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

桂西南喀斯特区-北部湾海岸带位于我国西南部。桂西南喀斯特区包括百色市、崇左市;北部湾地区包括南宁市、北海市、钦州市、防城港市、玉林市,地理范围为 104°28′-109°56′E,20°26′-25°07′N。该地区是典型的集山地、丘陵、台地、平原为一体的地区,地势西北高、东南低,桂西南喀斯特区以山地、丘陵为主,北部湾海岸带以滨海平原为主,有左江、右江等江河流经,形成山江海地域系统国土空间<sup>[22,23]</sup>。山江海地域系统,“山”即桂西南喀斯特山区,“江”即左江、右江等流域,“海”即北部湾海岸带<sup>[22]</sup>。该区为典型的亚热带季风气候,年均气温 16-23℃,年降水量 1 300-2 500 mm 且由桂西南喀斯特区向北部湾海岸带增多,河网密布,水资源丰富,植被类型主要是阔叶林<sup>[23]</sup>。

### 1.2 山江海地域系统关键带分类原则与方法

由于地球表层各要素表现出连续性特征,在实际区划应用中难以确定明确的自然界线,因此分界处一般以地带形式展现<sup>[10]</sup>。如何确定关键带各要素的空间过渡性特征仍然是目前研究亟需突破的难点之一。因此,对于山江海地域系统关键带的分类应尽量选择成熟的分类方案,运用地理单元空间叠加的方法,如叠加中出现较小图斑,则按照相邻图斑的大小与相邻长度进行合并<sup>[10,24,25]</sup>。山江海地域系统关键带命名原则和编码机制如下所述。

命名原则:本文主要进行三级分类,首先根据地理要素的重要程度命名,即地貌、地质类型;然后在前者基础上增加土壤类型;最后在前两者基础上增加植被、土地利用类型。第一级体现地质地貌对关键带的影响,比如喀斯特地貌,其环境脆弱,水土容易流失;第二级增加土壤类型,反映土壤形态特征;第三级增加植被、土地利用类型,体现区域的自然特征以及土

地开发程度等。

编码机制:地貌类型、地质类型、土壤类型的类型个数不一,分别使用大小写字母进行标识,植被类型、土地利用类型使用数字进行标识。例如,地貌、地质类型用字母 Ab 表示,地貌、地质、土壤类型用 AbD 表示,地貌、地质、土壤、植被、土地利用类型用 AbD11 表示,各类型的命名根据编码举例依此类推。理论单元按照各类型的多少表示。由于第三分类涉及的要素较多,为了编码的延续性,简化的要素用横线替代占位符,如果编码的后几位全是占位符,则可以省略。

第一级分类原则。地球关键带在垂直和水平结构上具有不同的空间分布形式,地质地貌是其水平空间分布上的重要组成部分。由于土壤和岩石是地球表层的重要组成部分,而地质是土壤形成的前提,因此地质是系统分类的重要依据之一。另外,地貌类型决定不同的地表形态,如峰丛洼地,因此地貌类型也是喀斯特关键带的重要控制因素之一。桂西南喀斯特区-北部湾海岸带气候类型变化不大,因此在本文

中不展开研究。

第二级分类原则。在一级分类基础上增加土壤类型。岩石经过漫长的风化、侵蚀、搬运、堆积作用,最终在地表形成疏松多孔的土壤母质,土壤母质再经生物、物理作用集聚形成土壤<sup>[26]</sup>。土壤作为地球皮肤的存在,在地球关键带中活跃度最高<sup>[27]</sup>,将具有共性特征的土壤类型进行分类,归纳整理成更高级别单元并进行地球关键带分类研究。

第三级分类原则。在纵向上,地球关键带上至植被冠层,下至基岩底部及其含水层<sup>[28]</sup>。为了体现更多的生态环境、土壤、水文信息,较好地体现一个地区的气候、土壤类型和地貌类型,第三级分类还需要考虑植被类型、土地利用信息。地下部分指标也是地球关键带的重要组成部分,比如地下水深度、水文指标,但由于此部分指标数量过多,使得地图更加破碎,不利于科学研究实践使用,因此本文只选择典型的指标,不展示过多的地下部分指标。本文所提出的分类级别与命名规则详细内容如表 1 所示。

表 1 山江海地域系统关键带的分类级别与命名规则

Table 1 Classification levels and naming rules of critical zones in the mountain-river-sea geographical system

级别 Grade	包含要素 Included elements	命名举例 Naming examples	编码举例 Example of coding
First grade	Geomorphic type, geological type	Plain-limestone area	Ab
Second grade	Geomorphic type, geological type, soil type	Plain-limestone-latosol area	AbD
Third grade	Geomorphic type, geological type, soil type, vegetation type, land use type	Plain-limestone-latosol area-broad leaved forest-farmland zone	AbD11

### 1.3 数据来源与预处理

本文研究的数据主要有:地质类型(2015年),来源于国家地球系统科学数据中心([http://www. geo-data. cn/](http://www.geo-data.cn/));地貌类型(2015年)、植被类型(2015年)、土壤类型(2015年)、土地利用类型(2020年),上述4种数据皆来源于资源环境科学与数据中心([https://www. resdc. cn/](https://www.resdc.cn/))。对地质类型数据进行整理,将具有相似特征的地质类型归纳为高级分类单元,为7种子类。基于中国土壤系统分类《1:100万中华人民共和国土壤图》数字化生成土壤类型图,其中包含14种土纲,61个土类,227个亚类。地貌类型图按照地形起伏度划分<sup>[29]</sup>,包含5种分类单元。植被类型<sup>[30]</sup>包含阔叶林、草丛、栽培植被、针叶林、灌

丛、沼泽以及其他。土地利用类型数据是通过 ArcGIS 10.2 重分类,分为耕地、林地、草地、水体、建设用地、未利用地 6 类。上述地球关键带指标的分布如图 1 所示。地表温度数据来源于美国国家航空航天局(NASA, [https://www. nasa. gov/](https://www.nasa.gov/)),气象数据来源于国家气象科学数据中心([http://data. cma. cn/](http://data.cma.cn/)),其他社会经济数据来源于广西统计年鉴。

对所获得的数字高程模型(DEM)数据进行基于 ArcGIS 10.2 的数据裁剪、转化,利用 DEM 提取海拔高度、坡度等信息;年均温度通过克里金法(Kriging)插值获取;人口密度为人口数量除以区域土地面积之商,人口密度反映人类活动干扰程度,人口密度越大说明人类活动干扰越大。



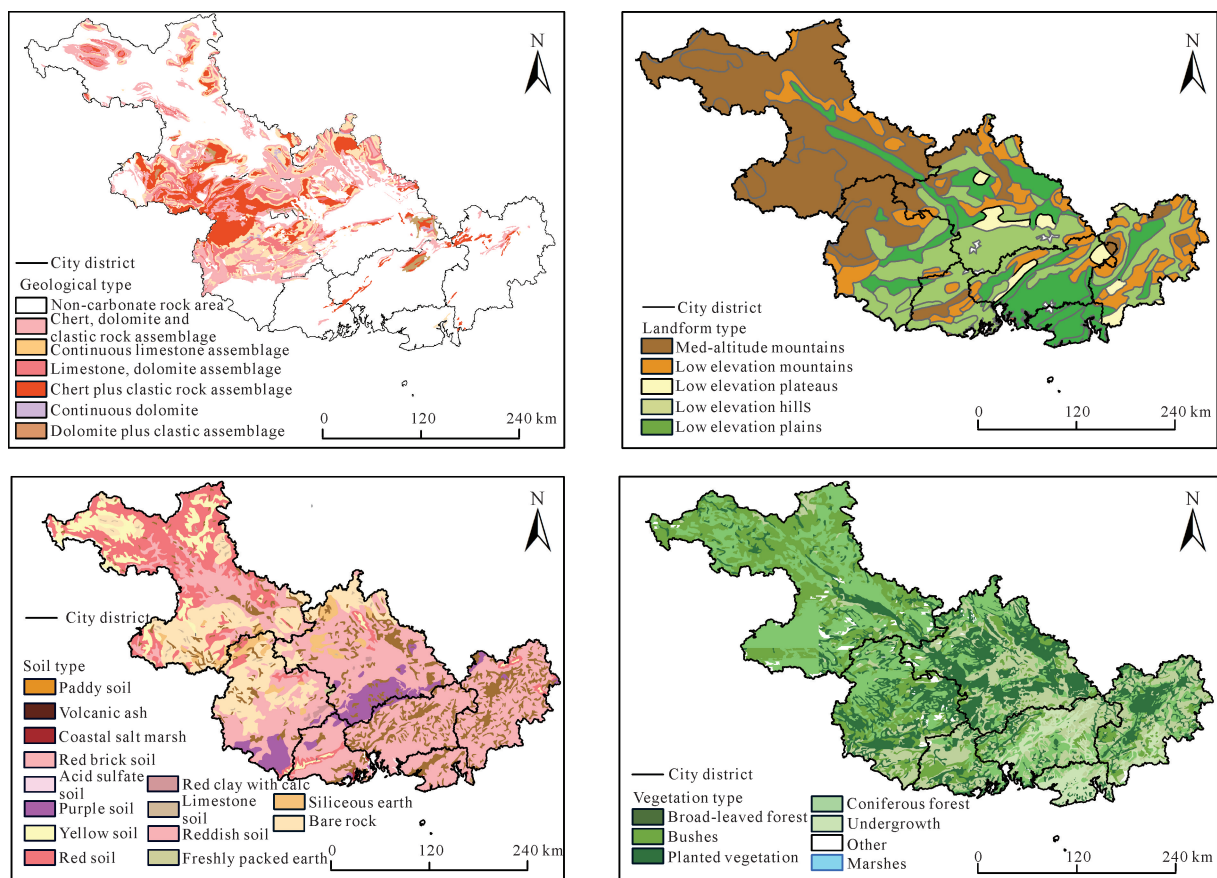


图1 桂西南喀斯特区-北部湾海岸带划分指标的空间分布特征

Fig. 1 Spatial distribution characteristics of indicators for the delineation of the Southwest Guangxi Karst Area-Beibu Gulf Coastal Zone

## 2 结果与分析

### 2.1 桂西南喀斯特区-北部湾海岸带分类结果

按照 1.2 节叙述的分类原则对山江海地域系统关键带类型进行划分,其中第一级地质、地貌类型理论单元种类有  $12 \times 4$  种,实际单元种类有 38 种;第二级地质、地貌、土壤类型理论单元种类有  $12 \times 4 \times 15$  种,实际单元种类有 78 种;第三级地质、地貌、土壤类型、植被类型、土地利用类型理论单元种类有  $12 \times 4 \times 15 \times 7 \times 6$  种,实际单元种类有 111 种。

根据研究区地貌特征,参考喀斯特地貌高程分级标准<sup>[31]</sup>,可将地貌高程分为低海拔地貌( $< 1\ 000$  m),中海拔地貌( $1\ 000 - 2\ 000$  m),亚高海拔地貌( $2\ 000 - 3\ 500$  m),高海拔地貌( $> 3\ 500$  m),并按照此标准对关键带地貌类型进行划分。第一级分类基于地貌类型与地质类型。由图 2 可以看出,中海拔山地-非碳酸盐岩区占据最大面积(19.10%),此类关键带主要分布在桂西南地区的百色市。其次是低海拔丘陵-非碳酸盐岩区(16.80%),该类关键带主要分布

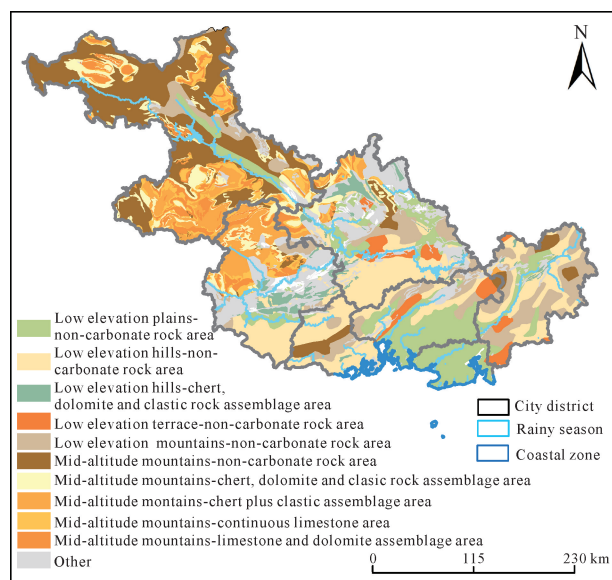


图2 山江海地域系统关键带第一级分类

Fig. 2 The first-grade classification of the key zone of mountain-river-sea geographical system

在崇左市南部、南宁市西南部、防城港市北部和南部、玉林市小部分地区;低海拔平原-非碳酸盐岩区主要分布在北海市大部分地区、钦州市南部、百色市中部、



玉林市中部。中海拔山地-灰岩加碎屑岩组合、中海拔山地-连续性石灰岩组合和中海拔山地-石灰岩白云岩组合(3种类型共计约21.33%),主要分布在崇左市的南部、东南部和西北部,百色市的南部和北部。

在第一级分类基础上加入土壤类型,经过小图斑的融合得到第二级分类(图3)。其中,中海拔山地-非碳酸盐岩区-红壤性土的覆盖面积最大(13.98%),主要分布在百色市西北部和东南部、防城港市中西部地区、崇左市北部以及玉林市小部分地区。该地区为典型的喀斯特地貌区,山地、峰丛洼地以及红壤土、非碳酸盐岩占地面积大。第二级分类图中覆盖面积较大的单元有低海拔山地-非碳酸盐岩区-红壤性土(D-a-D),占比9.98%;低海拔丘陵-非碳酸盐岩区-红壤性土(B-a-D),占比9.31%;低海拔平原-非碳酸盐岩区-红壤性土(A-a-D),占比9.17%;低海拔丘陵-非碳酸盐岩区-酸性紫色土(B-a-L),占比4.55%;中海拔山地-非碳酸盐岩区-黄壤性土(E-a-k),占比3.72%;中海拔山地-灰岩加碎屑岩组合-石灰土(E-f-G),占比3.50%;中海拔山地-连续性石灰岩组合-石灰岩土(E-g-G),占比3.01%;低海拔平原-非碳酸盐岩区-漂洗水稻土(A-a-H),占比2.98%。

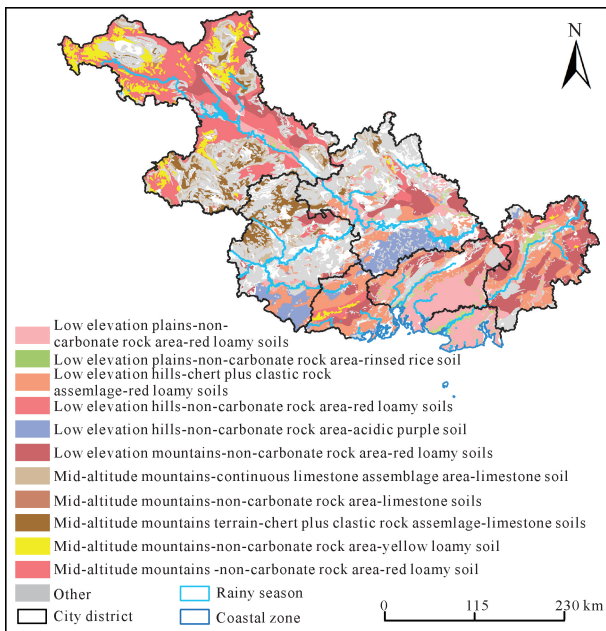


图3 山江海地域系统关键带第二级分类

Fig. 3 The second-grade classification of the key zone of mountain-river-sea geographical system

在第二级分类的基础上增加植被类型、土地利用类型,叠加生成第三级山江海地域系统关键带分类(图4)。为体现分类在研究区域的空间分布特征,按照面积百分比排序,列举前10个具有代表性的类型

(表2)。低海拔丘陵-非碳酸盐岩区-复盐基红黏土-针叶林-河渠(B-a-M-4-10)占研究区总面积的15.21%,主要分布在防城港市、南宁市、玉林市、崇左市4个城市的大部分地区。低海拔山地-非碳酸盐岩-复盐基红黏土-针叶林-河渠(D-a-M-4-10)占研究区总面积的比例次之,为13.17%,主要分布在百色市东北部、南宁市东北部和东南部地区、玉林市的东北部和西南部、崇左市的西南部和防城港市的中部地区。

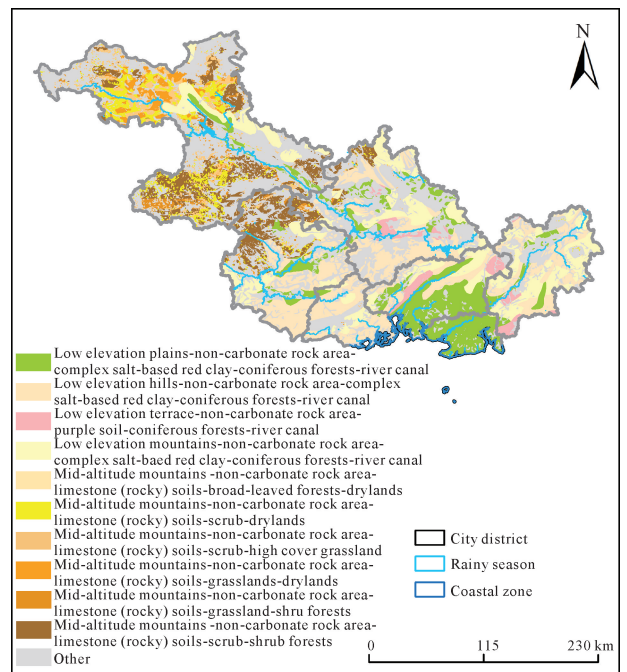


图4 山江海地域系统关键带第三级分类

Fig. 4 The third-grade classification of the key zone of mountain-river-sea geographical system

## 2.2 典型山江海地域关键带类型特征

以山江海地域系统关键带第三级分类的前10单元为例(表2),统计各单元的环境因子信息,将同一类型的单元进行对比(表3)。低海拔丘陵-非碳酸盐岩区-复盐基红黏土-针叶林-河渠(B-a-M-4-10)、低海拔山地-非碳酸盐岩区-复盐基红黏土-针叶林-河渠(D-a-M-4-10)、低海拔平原-非碳酸盐岩区-复盐基红黏土-针叶林-河渠(A-a-M-4-10)的地质类型、土壤类型、植被类型、土地利用类型基本一致,但地貌类型有一些区别。例如,B-a-M-4-10属于低海拔丘陵,D-a-M-4-10属于低海拔山地,A-a-M-4-10属于低海拔平原;D-a-M-4-10主要分布在桂西南地区,该地区以山地和丘陵为主,坡度大,水土易流失,不利于农作物种植,影响区域的可持续发展。因此,桂西南喀斯特区需要做好水土保持工作。

表2 山江海地域系统关键带第三级分类示例单元命名及编码(占研究区总面积百分比前10的分类单元)

Table 2 Naming and coding of the third-grade classification example unit of the key zone of mountain-river-sea geographical system (The top 10 taxa as a percentage of the total area of the study area)

第三级分类 The third-grade classification	完整编码 Full code	面积/% Area/%	地理位置 Location
Low elevation hills-non-carbonate rock area-complex salt-based red clay-coniferous forest-river and canal	B-a-M-4-10	15.21	Fangcheng District, Dongxing City, Lingshan County, Liangqing District, Yongning District, Hengzhou City, Binyang County, Mashan County, Xixiangtang District, Long'an County, Fumian District, Bobai County, Luchuan County, Beiliu City, Xingye County, Rong County
Low elevation mountains-non-carbonate rock area-complex salt-based red clay-coniferous forests-river and canal	D-a-M-4-10	13.17	Leye County, Tianlin County, Lingyun County, Tiandong County, Pingguo City, Wuming District, Mashan County, Shanglin County, Xixiangtang District, Binyang County, Xingning District, Hengzhou City, Longzhou County, Fusui County, Shangsi County, Fangcheng District, Qinbei District, Lingshan County, Pubei County, Fumian District, Xingye County, Luchuan County, Rong County
Low elevation plains-non-carbonate rock area-complex salt-based red clay-coniferous forest-river and canal	A-a-M-4-10	10.81	Qinnan District, Lingshan County, Hepu County, Haicheng District, Tieshangang District, Luchuan County, Fumian District, Tianlin County, Youjiang District, Tiandong County, Pingguo City, Long'an County, Xixiangtang District, Wuming District, Jiangzhou County, Ningming County, Shanglin County, Binyang County
Mid-altitude mountains-non-carbonate area-limestone (rock) soil-scrub-shrubland	E-a-G-5-4	7.47	Longlin Autonomous County, Leye County, Lingyun County, Napo County, Jingxi County, Debao County, Mashan County, Long'an County, Jiangzhou District, Daxin County, Tiandong County, Longzhou County
Mid-altitude mountains-non-carbonate zone-limestone (rock) soil-scrub-dryland	E-a-G-5-2	3.39	Xilin County, Longlin Autonomous County, Lingyun County, Napo County, Debao County, Longzhou County
Low elevation terrace-non-carbonate area-purple soil-coniferous forest-river and canal	C-a-L-4-10	1.92	Wuming District, Xingning District, Mashan County, Qingxiu District, Hengzhou City, Qinnan District, Xingye County, Bobai County, Luchuan County
Mid-altitude mountains-non-carbonate area-limestone (rock) soil-broad-leaved forest-dryland	E-a-G-1-2	1.78	Longlin Autonomous County, Xilin County, Tianlin County, Leye County, Lingyun County, Napo County, Debao County, Longzhou County
Mid-altitude mountains-non-carbonate area-limestone (rock) soil-tussock-dryland	E-a-G-2-2	1.57	Longlin Autonomous County, Xilin County, Tianlin County, Leye County, Napo County, Jingxi County, Tiandong County, Long'an County
Mid-altitude mountains-non-carbonate area-limestone (rock) soils-scrub-high cover grassland	E-a-G-5-7	1.33	Xilin County, Longlin Autonomous County, Tianlin County, Leye County, Lingyun County, Youjiang District, Napo County, Jingxi County, Debao County, Tiandong County, Tiandong County, Pingguo County, Mashan County, Daxin County
Mid-altitude mountains-non-carbonate rock area-limestone (rock) soils-tussock-shrubland	E-a-G-2-5	0.91	Xilin County, Longlin Autonomous County, Leye County, Lingyun County, Youjiang District, Tianyang District, Debao County, Napo County, Jingxi County, Tiandong County, Tiandong County, Long'an County

表3 山江海地域系统关键带第三级分类的部分环境指标(平均值±标准差)

Table 3 Some environmental indicators (mean ± standard deviation) of the third-grade classification of the key zone of mountain-river-sea geographical system

分类编码 Classification code	环境变量 Environment variable					
	年均温度/°C Average annual temperature/°C	年均降水量/mm Annual precipitation/mm	地表温度/°C Surface temperature/°C	日照时数/h Sunshine hours/h	平均坡度/° Average slope/°	平均海拔/m Average altitude/m
B-a-M-4-10	21.0 ± 1.1	1 632.5 ± 210.7	24.9 ± 0.8	1 534.4 ± 158.4	13.1 ± 2.8	171.3 ± 68.0
D-a-M-4-10	21.1 ± 1.7	1 619.7 ± 230.3	24.6 ± 1.0	1 552.6 ± 181.6	15.0 ± 4.1	297.9 ± 233.8
A-a-M-4-10	21.5 ± 1.8	1 486.3 ± 225.1	25.3 ± 1.3	1 586.2 ± 181.0	13.2 ± 5.5	279.8 ± 290.4
E-a-G-5-4	19.6 ± 1.5	1 568.1 ± 237.5	24.0 ± 0.9	1 504.0 ± 223.2	21.0 ± 2.4	658.2 ± 298.6

续表

Continued table

分类编码 Classification code	环境变量 Environment variable					
	年均温度/°C Average annual temperature/°C	年均降水量/mm Annual precipitation/ mm	地表温度/°C Surface temperature/°C	日照时数/h Sunshine hours/h	平均坡度/° Average slope/°	平均海拔/m Average altitude/m
E-a-G-5-2	19.4 ± 1.4	1 448.6 ± 152.1	24.0 ± 1.0	1 560.8 ± 215.2	21.8 ± 2.4	820.3 ± 265.6
C-a-L-4-10	22.1 ± 0.8	1 703.9 ± 209.6	24.7 ± 0.6	1 562.2 ± 166.0	12.5 ± 3.4	158.4 ± 80.4
E-a-G-1-2	19.1 ± 1.4	1 423.0 ± 149.3	23.8 ± 0.9	1 554.8 ± 208.5	21.9 ± 2.1	829.6 ± 235.2
E-a-G-2-2	19.1 ± 1.4	1 487.0 ± 223.0	23.9 ± 0.6	1 553.4 ± 210.7	20.9 ± 2.4	769.2 ± 291.6
E-a-G-5-7	19.3 ± 1.2	1 432.7 ± 198.5	23.9 ± 0.6	1 543.1 ± 208.0	21.2 ± 1.9	689.9 ± 263.9
E-a-G-2-5	19.5 ± 1.6	1 434.4 ± 211.6	24.0 ± 0.7	1 549.0 ± 205.1	21.0 ± 2.2	714.0 ± 268.4

A-a-M-4-10 主要分布在北部湾地区, 北部湾地区以丘陵、平原为主, 地貌类型的不同, 形成的关键带类型特征不同, 将会对区域生态环境产生较大影响。D-a-M-4-10 的海拔(297.9 m)和坡度(15°)分别略高于 A-a-M-4-10 的海拔(279.8 m)与坡度(13.2°); 中海拔山地-非碳酸盐岩区-石灰(岩)土-灌丛-灌木林(E-a-G-5-4)、中海拔山地-非碳酸盐岩区-石灰(岩)土-灌丛-旱地(E-a-G-5-2)两个分类单元的地貌类型都是中海拔山地, E-a-G-5-2 的海拔(820.3 m)与坡

度(21.8°)分别略高于 E-a-G-5-4 的海拔(658.2 m)与坡度(21.0°)。这几个区域的主要区别是坡度、海拔的不同, 这些不同不仅对所在地的降水量和温度有一定的影响, 而且可能会造成地貌地质形态的差异。

### 2.3 山江海地域系统关键带类型特征

山江海地域系统关键带发生的物理化学过程与人类活动紧密相关, 因此桂西南喀斯特区关键带、流域关键带、滨海关键带的环境因子及类型特征也会存在差异(表 4)。

Table 4 Characteristics of key zone types of mountain-river-sea geographical systems

环境因子及意义 Environmental factors and significance	桂西南喀斯特区关键带 Key zone of the Southwest Guangxi karst region	流域关键带 Key zone of the basin	滨海关键带 Key zone of the coast
Three-level zoning of the key zone of the mountain-river-sea geographical system	Low elevation mountains - non-carbonate rock area - complex salt-based red clay - coniferous forests-river canal	Low elevation hills-non-carbonate rock area-complex salt-based red clay-coniferous forests-river canal	Low elevation plain-non-carbonate rock area-complex salt-based red clay-coniferous forest-river canal
Major geographic locations	Baise City, Chongzuo City	Baise City, Chongzuo City, Nanning City	Beihai City, Fangchenggang City, Qinzhou City
Climate zones	Subtropical monsoon climate	Subtropical monsoon climate	Subtropical monsoon climate
Elevation/m	297.7	245	279.8
Average annual temperature/°C	21.1	21.1	21.5
Average annual precipitation/mm	1 619	1 552	1 486
Major landform types	Hilly, mountainous areas	Plains, hills, mountainous areas	Plains, hills
Major soil types	Red soil	Red soil	Red soil
Major crops	Corn, rice	Corn, rice	Rice
Research focus	Karst vegetation-soil type interactions	Various types of ecological and environmental problems in watersheds	Ecosystem impacts at different spatial and temporal scales
Socio-economic value	Serving the development of stone desertification and the sustainable development of the region	Serving watershed ecological and environmental protection issues	Service for coastal wetland ecological restoration and marine environmental management
Ecological significance	Karst fragile ecosystem function	Vulnerable ecosystem functions in watersheds	Coastal wetland ecosystem function



通过叠加分析可以划分出不同的关键带类型。

桂西南喀斯特区关键带(图5)。桂西南喀斯特关键带第三级分类中面积排名占比前10主要有以下几种类型:中海拔山地-非碳酸盐岩区-石灰(岩)土-灌丛-灌木林(E-a-G-5-4),中海拔山地-非碳酸盐岩区-石灰(岩)土-灌丛-旱地(E-a-G-5-2),中海拔山地-非碳酸盐岩区-石灰(岩)土-阔叶林-旱地(E-a-G-1-2),中海拔山地-非碳酸盐岩区-石灰(岩)土-草丛-旱地(E-a-G-2-2),中海拔山地-非碳酸盐岩区-石灰(岩)土-灌丛-高覆盖度草地(E-a-G-5-7),中海拔山地-非碳酸盐岩区-石灰(岩)土-草丛-灌木林(E-a-G-2-5),等等。该地区主要以中海拔山地为主,地势自西北向东南倾斜,地形起伏大,平均起伏度为 $24.08^{\circ}$ ,平均海拔 $411.82\text{ m}$ ;以酸性的红壤为主,水热资源相对丰富,年均降水量为 $1\,465.6\text{ mm}$ ,地表温度为 $23.92\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;植被覆盖度较高,石漠化发生的坡度为 $15^{\circ}-50^{\circ}$ ,坡度越大,石漠化发生的风险越高、程度越严重。百色市、崇左市和南宁市部分地区喀斯特地貌分布广泛,3市2020年户籍人口总数为 $1\,641.98$ 万人,常住人口为 $1\,441.99$ 万人,人口密度为 $217.1\text{ 人}/\text{km}^2$ 。人口密集,人类活动强烈,土地开发利用程度高。人地关系紧张,石漠化问题最为突出,极大地影响该地区生态环境和经济发展。因此,应做好喀斯特石漠化区域的综合治理。

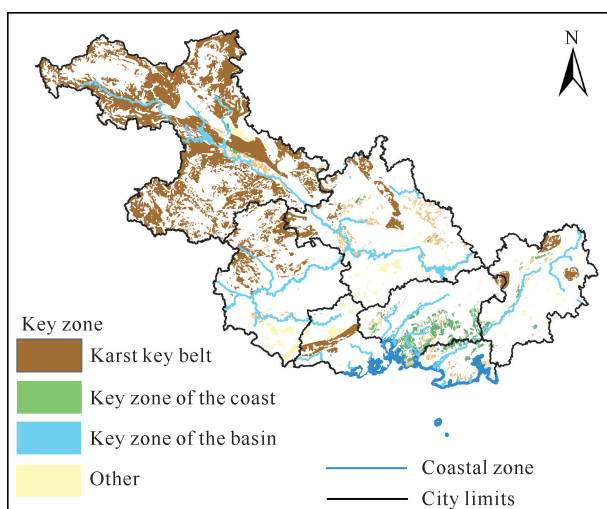


图5 占研究区总面积百分比前10的山江海地域系统关键带空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of key zone of mountain-river-sea geographical system in the top 10 percent of the total area of the study area

流域关键带。该区域代表性的关键带类型有低海拔低平原-非碳酸盐岩区-复盐基红黏土-针叶林-河

渠(A-a-M-4-10)、低海拔丘陵-非碳酸盐岩区-复盐基红黏土-针叶林-河渠(B-a-M-4-10)。该流域拥有着丰富的森林和湿地资源,承载着保持生物多样性、生态水源涵养的功能<sup>[32-34]</sup>。该关键带既包括喀斯特区,又经过南宁经济发达地区,因此存在着比较突出的生态环境问题,比如江域上游生态环境较好,下游生态环境比较脆弱<sup>[22]</sup>。流域水环境总体水质较好,但是个别指标偏高<sup>[32,33]</sup>。因此,针对平原区、丘陵区流域存在的生态环境问题,应采取生态安全修复措施进行保护,对山水林田湖草要素一体化治理。

北部湾海岸带关键带(图5)。该地区主要的关键带类型为第三级分类中面积排名占比在前10以内的低海拔丘陵-非碳酸盐岩区-复盐基红黏土-针叶林-河渠(B-a-M-4-10)、低海拔山地-非碳酸盐岩区-复盐基红黏土-针叶林-河渠(D-a-M-4-10)、低海拔平原-非碳酸盐岩区-复盐基红黏土-针叶林-河渠(A-a-M-4-10)、低海拔台地-非碳酸盐岩区-紫色土-针叶林-河渠(C-a-L-4-10)。该地区主要以海岸地貌、低山丘陵、盆地、滨海平原为主,地形起伏较小,平均起伏度为 $15.94^{\circ}$ ,平均海拔为 $125.52\text{ m}$ ,土壤以酸性的红壤、赤红壤、砖红土为主,植被类型较丰富;该地区为亚热带季风气候,雨热同期,降雨充沛,年均降水量为 $1\,610.59\text{ mm}$ ,地表温度为 $24.87\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。该地区坡度为 $13.46^{\circ}$ ,水土流失较少,更适合发展种植业。北海市、防城港市、钦州市临近海洋,玉林市临近北部湾海岸带地区,4市2020年户籍人口数总和为 $1\,441.94$ 万人,常住人口数 $1\,201.35$ 万人,人口密度为 $424.74\text{ 人}/\text{km}^2$ 。人口密度大,社会经济活动频繁,人类的不合理经济活动将进一步影响海洋生态环境的可持续发展。因此,做好滨海湿地的生态修复和海洋环境的治理至关重要。

### 3 讨论

本研究综合分析在不同的地貌、地质、土壤、植被、土地利用类型的条件下,山江海地域系统关键带在空间上的分布规律。本研究以综合的视角耦合山江海关键带地域系统,改变以往仅是研究单个类型关键带而非多个耦合关键带研究的局限性,所提出的山江海地域系统关键带三级分类体系,与张甘霖等<sup>[10]</sup>以中国关键带类型划分情况类似,证明该分类体系具有一定的可行性,可尝试用于不同空间尺度的地理区域。然而,现今对山江海地域系统关键带的研究仅仅是起步阶段,一方面,在研究内容上仅是基于地域特

征的地类要素进行分类研究;另一方面,在研究构建的指标体系上选择的数量太少,后期可构建更完善的指标体系进行定量研究。

山江海地域系统关键带不仅拥有喀斯特区、流域、海岸带等多重地域特征,而且具有复杂性、脆弱性、空间异质性强的特点<sup>[22]</sup>。随着社会经济的不断发展,喀斯特区和北部湾海岸带也出现一些突出的环境问题。喀斯特区关键带海拔较高,耕地破碎,随着人类活动强度的增加,再加上自然条件的局限性,水土易流失、土地荒漠化;流域关键带容易遭受生活、工业污水排放的影响从而导致水体污染;海岸带关键带环境脆弱,陆域污染容易影响海域生态安全。因此,基于研究区生态环境的复杂脆弱性,下一步研究亟待定量分析山江海地域系统关键带的物质循环与能量流动,耦合机理与动力机制,对山江海地域系统关键带进行地理模拟与预测,对人类关键区产生的环境效应进行有效识别,对环境质量较差的人类活动关键区的修复提出有效的解决方案。

#### 4 结论

本文构建了山江海地域系统三级分类方案,并以桂西南喀斯特区-北部湾海岸带为案例,进行山江海地域系统关键带分类和制图;同时,基于分类制图将桂西南喀斯特区-北部湾海岸带划分为38个一级单元、78个二级单元、111个三级单元。一、二、三级关键带分类中,一级分类中的中海拔山地-非碳酸盐岩区占据面积最大;二级分类中的中海拔山地-非碳酸盐岩区-红壤性土占据面积最大;三级分类中的中低海拔丘陵-非碳酸盐岩区-复盐基红黏土-针叶林-河渠占据面积最大,对比分析三级分类中典型单元的空间分异特征及其形成原因,认为喀斯特、海岸带地区生态环境脆弱与区域的环境特征有较大关系。基于桂西南喀斯特区-北部湾海岸带这一典型区域的分类研究,本文提出了一套具有山江海地域系统特色的分类方法,可为其他区域的分类分区提供借鉴,同时可为国土空间的优化调控提供决策支持,以期更好地服务区域生态系统规划。

#### 参考文献

- [1] National Research Council. Basic research opportunities in earth sciences [M]. Washington DC: National Academy Press, 2001: 1-154.
- [2] 章程,蒋忠诚,CHRIS G,等. 岩溶 IGCP 国际合作 30 年与岩溶关键带研究展望[J]. 中国岩溶, 2019, 38(3): 301-306.
- [3] BANWART S, BERNASCONI S M, BLOEM J, et al. Assessing soil processes and function across an international network of critical zone observatories: research hypotheses and experimental design [J]. Vadose Zone Journal, 2011, 10(3): 974-987.
- [4] GIARDINO J R, HOUSER C. A summary and future direction of the principles and dynamics of the critical zone [J]. Developments in Earth Surface Processes, 2015, 19: 619-628.
- [5] 安培浚,张志强,王立伟. 地球关键带的研究进展[J]. 地球科学进展, 2016, 31(12): 1228-1234.
- [6] 张甘霖,朱永官,邵明安. 地球关键带过程与水土资源可持续利用的机理[J]. 中国科学: 地球科学, 2019(12): 1945-1947.
- [7] 温学发,张心昱,魏杰,等. 地球关键带视角理解生态系统碳生物地球化学过程与机制[J]. 地球科学进展, 2019, 34(5): 471-479.
- [8] 刘金涛,韩小乐,刘建立,等. 山坡表层关键带结构与水文连通性研究进展[J]. 水科学进展, 2019, 30(1): 112-122.
- [9] 吴泽燕,章程,蒋忠诚,等. 岩溶关键带及其碳循环研究进展[J]. 地球科学进展, 2019, 34(5): 488-498.
- [10] 张甘霖,宋效东,吴克宁. 地球关键带分类方法与典型案例研究[J]. 中国科学: 地球科学, 2021, 51(10): 1681-1692.
- [11] 沈彦俊,闵雷雷,吴林,等. 华北山前平原农田关键带观测研究平台: 栾城关键带观测平台[J]. 中国科学院院刊, 2021, 36(4): 502-511, 366.
- [12] 孙厚云,卫晓锋,孙晓明,等. 承德杏仁产区关键带基岩-土壤-作物果实 BRSPC 系统元素迁聚特征[J]. 地球科学, 2021, 46(7): 2621-2645.
- [13] 马琦琦,李刚,魏永. 城郊关键带土壤中溶解性有机质的光谱特性及其时空变异[J]. 环境化学, 2020, 39(2): 455-466.
- [14] 周忠发,石亮星,范宝祥,等. 喀斯特关键带洞穴系统碳循环研究进展[J]. 环境科学与技术, 2020, 43(11): 200-207.
- [15] 马腾,沈帅,邓娅敏,等. 流域地球关键带调查理论方法: 以长江中游江汉平原为例[J]. 地球科学, 2020, 45(12): 4498-4511.
- [16] LÜ Y H, HU J, FU B J, et al. A framework for the regional critical zone classification: the case of the Chinese Loess Plateau [J]. National Science Review, 2019, 6(1): 14-18.
- [17] 曹小曙. 人类关键区的科学逻辑与研究趋势[J]. 地理

- 科学, 2022, 42(1): 31-42.
- [18] 周长松, 邹胜章, 冯启言, 等. 岩溶关键带水文地球化学研究进展[J]. 地学前缘, 2022, 29(3): 37-50.
- [19] 杨建锋, 张翠光. 地球关键带: 地质环境研究的新框架[J]. 水文地质工程地质, 2014, 41(3): 98-104, 110.
- [20] 李晓亮, 吴克宁, 冯喆, 等. 陆地表层系统分类研究进展: 从土地类型到地球关键带类型[J]. 地理科学进展, 2022, 41(3): 531-542.
- [21] 马婉君, 闵雷雷, 齐永青, 等. 华北平原农田关键带分类研究[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2022, 30(5): 769-778.
- [22] 张泽, 胡宝清, 丘海红, 等. 基于山江海视角与 SRP 模型的桂西南-北部湾生态环境脆弱性评价[J]. 地球与环境, 2021, 49(3): 297-306.
- [23] 张泽, 丘海红, 胡宝清. 山水林田湖草空间格局与生态变化分析: 以桂西南喀斯特-北部湾海陆交互关键带为例[J]. 中国科技论文, 2021, 16(1): 65-70.
- [24] 倪绍祥. 中国综合自然地理区划新探[J]. 南京大学学报(自然科学版), 1994(4): 706-714.
- [25] 张海燕, 樊江文, 黄麟, 等. 中国自然资源综合区划理论研究与技术看案[J]. 资源科学, 2020, 42(10): 1870-1882.
- [26] 黄来明, 邵明安, 贾小旭, 等. 土壤风化速率测定方法及其影响因素研究进展[J]. 地球科学进展, 2016, 31(10): 1021-1031.
- [27] 朱永官, 李刚, 张甘霖, 等. 土壤安全: 从地球关键带到生态系统服务[J]. 地理学报, 2015, 70(12): 1859-1869.
- [28] 杨顺华, 张甘霖. 什么是地球关键带[J]. 科学, 2021, 73(5): 33-36.
- [29] 程维明, 周成虎, 李炳元, 等. 中国地貌区划理论与分区体系研究[J]. 地理学报, 2019, 74(5): 839-856.
- [30] 方精云, 郭柯, 王国宏, 等. 《中国植被志》的植被分类系统、植被类型划分及编排体系[J]. 植物生态学报, 2020, 44(2): 96-110.
- [31] 常直杨, 王建, 白世彪, 等. 基于 DEM 数据的地貌分类研究: 以西秦岭为例[J]. 中国水土保持, 2014(4): 56-59.
- [32] 欧东勤, 赵文强, 刘谐静. 空间治理视角下流域生态保护修复的关键方法探讨: 以广西左右江山水林田湖草生态保护修复工程为例[J]. 南方国土资源, 2021(6): 28-31.
- [33] 李春华, 叶春, 刘燕, 等. 山水林田湖草思想的理论内涵及生态保护修复实践: 以广西左右江流域工程试点为例[J]. 环境工程技术学报, 2019, 9(5): 499-506.
- [34] 黄思敏, 胡宝清, 张中秋, 等. 山水林田湖海多维测度环境影响与时空分异: 以广西北部湾为例[J]. 水土保持通报, 2022, 42(6): 369-377.

## Comprehensive Classification Research on Key Zones of Mountain-River-Sea Geographical System – Taking Southwest Guangxi Karst Area-Beibu Gulf Coastal Zone as an Example

HUANG Simin<sup>1,2,3</sup>, HU Baoqing<sup>1,2\*\*</sup>, WEI Gaoyang<sup>3</sup>, HUANG Lifang<sup>1,2,3</sup>, WEI Wenwen<sup>1,2,4</sup>, ZHANG Lili<sup>1,2,4</sup>, LI Meimei<sup>1,2,3</sup>

(1. Key Laboratory of Environment Change and Resources Use in Beibu Gulf, Ministry of Education, Nanning Normal University, Nanning, Guangxi, 530001, China; 2. Guangxi Key Laboratory of Earth Surface Processes and Intelligent Simulation, Nanning, Guangxi, 530001, China; 3. School of Geography and Planning, Nanning Normal University, Nanning, Guangxi, 530001, China; 4. School of Natural Resources and Surveying, Nanning Normal University, Nanning, Guangxi, 530001, China)

**Abstract:** In order to meet the needs of natural resources development planning, based on the perspective of mountains, rivers and seas, this article takes the coastal zone of Karst Area in Southwest Guangxi-Beibu Gulf as the research object. Based on geomorphic types, geological types, soil types, vegetation types and land use elements, a three-grade classification scheme for the key zones of the mountain, river and sea territorial system was constructed. The spatial overlay method is used to overlay and map the classification elements, and



the zoning, mapping and environmental factor analysis of the key zones of the mountains, rivers and seas regional system are carried out. The results show that the Karst Area in Southwest Guangxi-Beibu Gulf coastal zone can be divided into 38 primary units, 78 secondary units, and 111 tertiary units. In the first-grade key belt classification, the mid-altitude mountains-non-carbonate rock area occupies the largest area, accounting for 19.10%. In the second-grade classification, the mid-altitude mountains-non-carbonate rock area-red loamy soil occupies the largest area, accounting for 13.98%. In the third-grade classification, the area of low-altitude hilly-non-carbonate rock area-complex salt-based red clay-coniferous forest-river canal occupies the largest area, accounting for 15.21%. The results indicate that the comprehensive classification scheme for key zones proposed in this study can reflect the differences and driving factors in regional characteristics. Therefore, it can provide a theoretical basis for the planning of natural resources surface system, and at the same time, it provides a reference for relevant research at home and abroad.

**Key words:** key zone of mountain-river-sea geographical system; spatial overlay method; hierarchical classification system; Southwest Guangxi Karst Area-Beibu Gulf Coastal Zone; ecological sustainable development

责任编辑:米慧芝



微信公众号投稿更便捷

联系电话:0771-2503923

邮箱:gxxkxyxb@gxas.cn

投稿系统网址:<http://gxxkx.ijournal.cn/gxxkxyxb/ch>