基于生命共同体理念的农业文化遗产地生态保护修复格局识别*

廖常左 李睿达 吴彦灵

昆明理工大学建筑与城市规划学院 昆明 650500

摘要：【目的】构建基于生命共同体理念和生态安全格局的研究范式，为全球重要农业文化遗产地哈尼梯田的精细化自然资源管理提供基础，助力实现生态保护和文化传承的协同发展。【方法】以元阳县为研究对象，整合生态系统服务重要性、生态敏感性和景观连通性分析识别生态源地，结合生境质量倒数构建生态阻力面，运用电路理论识别生态廊道及节点，构建其生态安全格局，提出整体性生态保护修复对策。【结果】1）元阳县共有 180 个生态源地，面积为 552.8 km^2，占研究区面积的 24.98%，集中分布在南部和西部县国有林场，是生态系统服务热点区和敏感区。2）识别 323 条生态廊道，长度为 717.93 km，保障生态源地间的连通性；识别生态夹点 91 个，总面积为 5.49 km^2，多位于生态廊道间，是未来优先保护区域；生态障碍点 100 个，总面积为 3.45 km^2，位于生态廊道周边或生态源地边缘，据此划分不同级别的未来重点修复区域。【结论】构建以“青山绿水林田为基础，一带两轴六区多核为一体”的生态保护与修复总体格局，量化“山-水-林-田”要素的协同关系，划定保护与修复区域、提出治理策略，为全球农业文化遗产保护提供可推广的“系统识别-空间优化-格局划定”技术框架。未来需结合区域特征优化参数体系，构建动态适应性管理模型，重点解决保护修复措施的空间适配性与时序协同性问题。

关键词：生态安全格局；农业文化遗产；整体性保护修复；生态环境区划与管理；可持续发展

DOI：10.12169/zgcsly.2025.03.24.0001

Identification of Ecological Protection and Restoration Patterns in Agricultural Heritage Sites Based on the Concept of Life Community

Liao Changzuo Li Ruida Wu Yanling

(School of Architecture and Urban Planning, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China)

Abstract: 【Objective】 To construct an ecological security pattern for the world heritage site of Hani in Yuanyang County, and provide a basis for delicacy management of natural resources in agriculture culture heritage site. 【Method】 Taking the agricultural heritage site located in Yuanyang County as the study area, this research integrates ecosystem service importance, ecological sensitivity, and landscape connectivity to identify ecological source areas based on the concept of life community. An ecological resistance surface is constructed based on the reciprocal of habitat quality, and circuit theory is applied to delineate ecological corridors and their critical nodes, thereby establishing the ecological security pattern

收稿日期：2025-03-24

* 基金项目：国家自然科学基金项目（42101269）；云南省基础研究计划项目（202201AU070145、202501AT070379）；科技部重点研发计划项目（2020YFD1100705）

作者简介：廖常左（1996- ），女，硕士生，研究方向为国土空间生态保护修复规划。E-mail：2286169279@qq.com

通信作者：李睿达（1988- ），女，博士，副教授，研究方向为国土空间生态保护修复规划、人类福祉。E-mail：20200099@kust.edu.cn

for the region and proposing corresponding ecological improvement measures.【Result】1) There are 180 ecological sources in Yuanyang, covering 552.8 km^2 (24.98% of the total area), and they are predominantly distributed in state-owned forest farms of southern and western regions, representing ecosystem service hotspots and sensitive areas; and 2) A total of 323 ecological corridors (totally 717.93 km long) are identified, which ensure the connectivity between ecological sources. There are 91 ecological pinch points (5.49 km^2) located between ecological corridors as priority conservation areas, and 100 ecological barrier points (3.45 km^2) at the peripheries of ecological corridors or the edge of ecological sources. Accordingly, multi-level restoration zones are delineated.【Conclusion】An integrated conservation-restoration framework is established featuring "an integration of one ecological belt, two development axes, six functional zones, and multiple core areas with green mountains, lucid waters, forests and farmlands as foundation". This provides an applicable technological framework of "systematic identification-spatial optimization-pattern delineation" for agriculture culture heritage preservation, which is helpful for the coordinated development of ecological conservation, culture heritage and economic vigor.
Keywords: ecological security pattern; agricultural heritage; integrated preservation and restoration; zoning and management of ecological environment; sustainable development

农业文化遗产作为人地协同进化的活态系统，其核心价值在于维系农业生产与自然环境的动态平衡。稻作梯田生态系统以其独特的“森林-梯田-水系-村寨”复合结构，成为农业文化遗产的典型范式[1-2]。该系统通过森林涵养水源、梯田保持水土、村寨依山布局、水系网络贯通，形成具有自组织能力的生态链，充分体现了生命共同体理念中生态要素有机统一与动态平衡的核心特征。

然而随着全球快速城镇化、农业活动加剧等外部因素干扰，栖息地破碎和生物多样性下降带来区域生态系统功能退化，农业文化遗产地的可持续发展正面临诸多挑战[3]。例如，旅游业的快速发展导致水资源短缺，进而加剧传统农耕系统的衰退与转型。此外，因过度开垦、单一作物种植以及滥用化学药品等导致物种多样性下降[4]，威胁生态系统稳定性和农业遗产可持续性。因此，如何通过系统性、整体性的保护修复分区规划设计，确保农业文化遗产在不破坏原有稳定系统下实现可持续利用，成为目前研究的热点。

当前，生态安全格局作为划定生态保护修复分区的主要方法被广泛采用，并以“源地识别-阻力面构建-廊道提取”为核心研究范式。然而，以往的多数生态保护修复往往着眼于单一要素，忽略不同生态系统类型之间的关联性，制约着生态保护修复的有效性[5]。而整合生命共同体理念，可为构建区域系统性的生态保护修复规划方案提供参考依据[6]。本研究兼顾“山、水、林、田”等要素相关的生态系统服务，并结合生态敏感性、景观连通性等分析，构建全球重要农业文化遗产地哈尼梯田所在地元阳县的生态安全格局，并根据生命共同体理念，强调对多种生态要素的整体性、系统性规划设计，为农业文化遗产地的精细化自然资源管理提供基础。

1 研究区概况

元阳县（102°27′—103°13′E，22°49′—23°19′N）位于云南省南部哀牢山南段，面积2 213.11 km^2，属亚热带季风气候，年均气温16.4 ℃，年均降水量1 403 mm。境内99.41%为山地，因红河、藤条江水系分割形成山高谷深地貌[7]。1 000多年来，哈尼族、彝族等民族利用地形与资源，构建“森林-村寨-梯田-水系”四素同构的复合生态系统[8]。2013年被列入世界遗产名录后，旅游知名度提升，但旅游业带来的土地利用变化、水资源压力及传统农业方式改变等问题，也给其可持续发展带来挑战[9]。

2 研究方法

2.1 数据来源与处理

本研究选取数据如表1所示，通过ArcGIS 10.8将所有数据统一到坐标系CGCS2000_3_Degree_GK_Zone_34，并重采样至30 m分辨率。

表 1　数据来源及精度

数据名称	数据年份	数据来源	数据类型（精度）
土地利用	2023	中科院资源环境科学与数据中心	栅格（30 m）
NDVI	2022		栅格（250 m）
数字高程模型 DEM	2020	地理空间数据云	栅格（30 m）
逐月降水数据	1901—2023	国家青藏高原数据中心	栅格（1 km）
逐月潜在蒸散发数据	1901—2023		栅格（1 km）
路网数据	2023	Open Street Map	矢量
河流水系数据	2023		矢量
土壤数据	2023	世界土壤数据集	栅格（1 km）
遗产核心区数据		元阳县自然资源局	矢量

2.2　生态源地识别

通过等权叠加中高及以上生态系统服务重要性与高生态敏感性初步识别生态源地，分析生态源地之间的连通性，并根据连通性和面积进行最终源地的筛选[10]。

2.2.1　生态系统服务重要性评价

依据研究区山、水、林和梯田等关键自然要素，选取生物多样性、土壤保持、碳存储、水源涵养 4 种生态系统服务定量评价生态重要性，分别采用 InVEST 模型的“Habitat Quality”“Sediment Delivery Ratio”“Carbon Storage and Sequestration”和“Annual Water Yield”模块进行深入分析；采用自然断点法划分生态系统服务重要性等级[11]。

2.2.2　生态敏感性分析

构建包含植被覆盖度、地形起伏度、坡向、土地利用类型、距水体距离和土壤侵蚀程度 6 项关键因子构建评价体系[12-13]（表 2）。其中，基于水土流失方程计算的土壤侵蚀程度是评估水土流失敏感性的核心指标[14]；各因子权重通过层次分析法（AHP）确定，并结合空间叠加分析呈现生态敏感性的空间分布，采用自然断点法分类明确其敏感性等级[15]。

表 2　生态敏感性因子评价指标

评价因子	生态敏感性分级					权重
	高敏感	中高敏感性	中敏感性	中低敏感性	低敏感性	
地形起伏度/m	>69	69~51	51~37	37~23	<23	0.109 5
坡向	正北	东北、西北	正东、正西	东南、西南	正南、平地	0.164 4
距河流距离/m	0~50	50~150	150~250	250~450	>450	0.079 7
植被覆盖	>0.8	0.6~0.8	0.4~0.6	0.4~0.2	<0.2	0.207 7
土地覆被类型	林地	草地、水田、园地	水体	旱地、裸地	建设用地	0.200 0
土壤侵蚀程度	高(0.41~1)	中高(0.41~0.29)	中(0.29~0.2)	中低(0.2~0.07)	低(0.07~0)	0.238 7

2.2.3　景观连通性分析

MSPA 是基于像元粒度的景观空间结构定量解析方法，通过形态学运算识别栅格图像的连通模式[16]。本研究采用 Guidos Toolbox 提取林地、草地和水体作为前景像素，设定 60 m 栅格基准，将景观要素划分为核心区、边缘区等 7 类形态类型。通过 ArcGIS 以及 Confer Sensinode 2.6 工具计算核心区连通性概率（PC）与斑块重要性指数（dPC），通过 dPC 排序与斑块大小筛选确定最终生态源地[17]。

2.3　生态阻力面构建

遵循生命共同体理念，选取有利于物种扩散的山、林、水等生态良好区域，排除受人类活动干扰大、阻碍迁移的区域，以生境质量指数的倒数量化生态阻力面[17]。

2.4　生态廊道提取

依托电路理念模型，运用 Linkage Mapper 插件中的 Linkage Pathways Tool 工具，结合生态源地和生态阻力面，获得最小成本距离路径（least-cost paths）作为研究区的生态廊道[18-19]。

2.5　生态节点提取

生态节点包括生态夹点与生态障碍点，是维系生命共同体协调发展、生态连通的关键区域。生态夹点是景观连通性中的“瓶颈”区域，其完

整性直接影响生态安全格局[20]；生态障碍点则会阻碍物种迁移，障碍值越高，移除后对提升连通性作用越显著。基于电路理论，采用 Pinchpoint Mapper 模块以“all to one”模式识别生态夹点；采用 Barrier Mapper 模块，设置 50~200 m 搜索半径（步长为 50 m），选择“Maximum”模式执行迭代运算[13]，随后运用自然断点法对识别出的障碍区域进行分类，将其作为优先修复区域等级的确定。

2.6 生态安全格局构建与分区

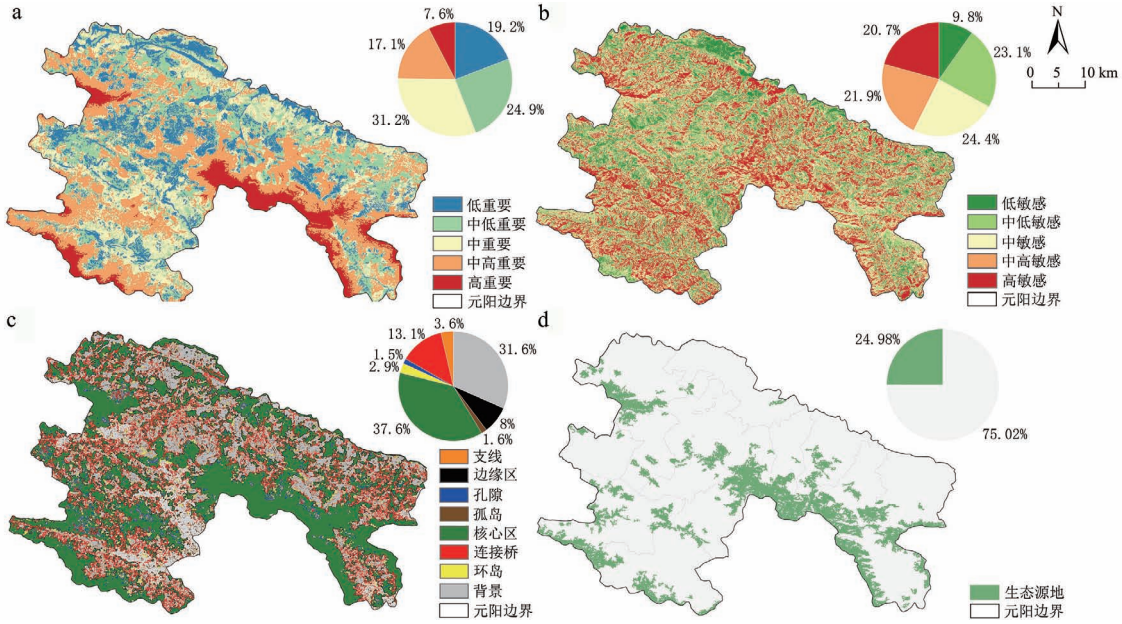
本研究突破传统单一要素保护模式，基于山水林田湖草生命共同体理念构建多要素协同网络。首先，筛选出高生态系统服务与连通性的核心生态斑块作为生态源地，构建考虑生境质量本底值的生态阻力面，揭示人类活动对“山-水-林-田”要素的干扰差异。其次，运用电路理论模拟生态过程[21]，耦合多要素整体性构建区域生态网络。最后，针对农业文化遗产地的复合生态系统属性，提出差异化的生态控制分区策略，实现生态保护与活态传承的协同优化。

3 结果与分析

3.1 生态要素及空间格局

3.1.1 生态源地的识别

1）生态系统服务重要性评价。元阳县综合生态系统服务呈现明显的空间异质性（图 1a）。中高及以上重要区（占 24.7%），集中在中南、南部及西部山区，以常绿阔叶林、梯田复合系统为核心，高植被覆盖与复杂地形协同提升水源涵养和土壤保持功能，其中中南山区作为梯田水源直接供给区，支撑着农业文化遗产核心区生态安全。中、中低值区（占 56.1%），主要分布在农业开垦活跃区和城乡过渡地带，受耕地扩张与道路建设影响，植被斑块化破碎，导致生态系统退化。低值区（占 19.2%），集中在元阳县城、新街镇等城镇发展区，该区域因高强度人类活动引发植被覆盖率下降和生态用地破碎化，经济发展与生态保护矛盾突出，亟需优化生态功能以平衡保护与发展。



注：a 综合生态系统服务；b 综合敏感性；c MSPA 类型；d 生态源地。

图 1 元阳县生态源地识别

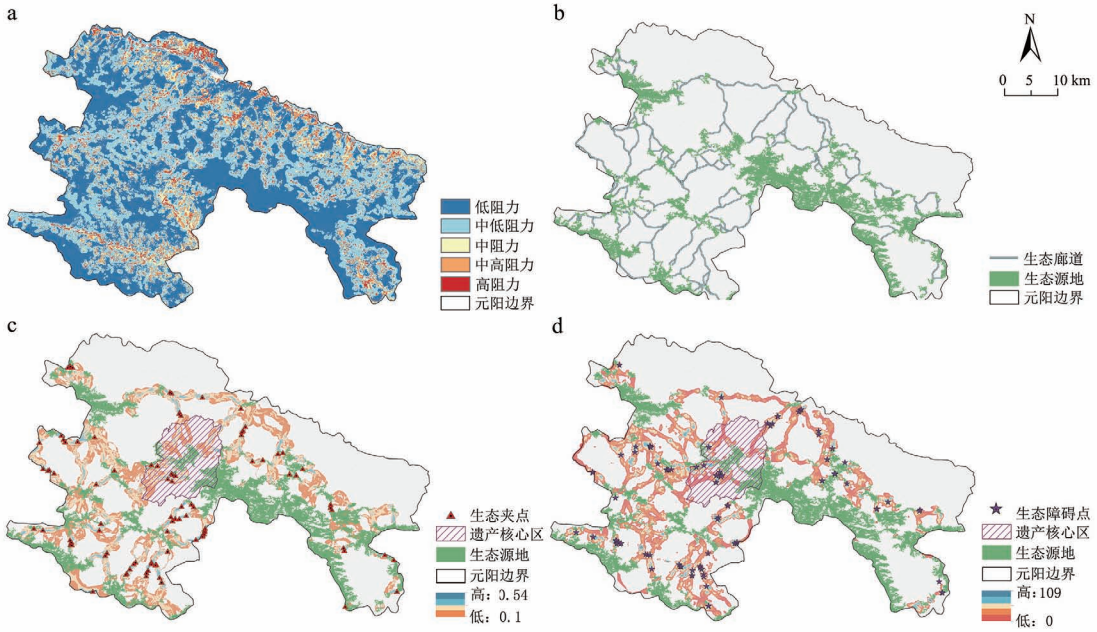
2）生态敏感性评价。如图 1b 所示，高敏感区（占全县总面积的 20.7%）分布在东、西观音山、阿农农多山等高海拔低植被覆盖率区域以及受断裂构造影响，沿断层破碎带发展的水系流经区域，这些地方地质环境脆弱，易受河流侵蚀和断层破碎影响，河流两岸的地质环境相对脆弱。随着人类活动的扩展，如开矿采石、水利建设、公路修筑、土地开垦等，削弱了山体斜坡稳定性，因地形起伏大且生态质量较弱，山体滑坡风险增加[22]。

3）景观连通性分析。如图 1c 所示，元阳县核心区（占 37.6%）。当 dPC>0.007 时，核心区生态斑块重要性较高，景观连通性较好，此类斑块主要分布在中南部及南部，以林地和草地为主，植被覆盖率高。

4）生态源地空间格局。共识别出 180 个生态源地，这些源地斑块较为细碎，总面积 552.8 km^2，约占研究区面积的 24.98%，主要分布在南部和西部县国有林场（图 1d），且受自然条件和人类活动双重影响：南部和西部林场因植被覆盖率高、土壤保持能力强，形成了稳定的生态基础；同时封山育林的管理策略限制了大规模开发，人为干扰小，使森林生态系统保持较高服务和连通性。此外，该区域降水充沛，水源涵养能力强，进一步增强了生态源地的稳定性。

3.1.2　生态阻力面的构建

图 2a 显示，该区域生态阻力存在空间异质性，其中北部和东南部生态阻力值较高，而中南部和南部的低阻力区森林质量较好，受人类活动干扰小。高阻力区主要位于人口密集、道路密集且生态破碎的城镇建设区。总体上，元阳县低阻力和中低阻力值占比较大，高阻力区零星分布在河谷区域。



注：a 生态阻力面；b 生态廊道；c 生态夹点；d 生态障碍点。

图 2　元阳县生态安全格局要素

3.1.3　生态廊道的空间分布

分析结果（图 2b）表明，研究区生态源地间形成 323 条生态廊道，总长 717.93 km。梯田核心区生态廊道连通性较高，靠近县城以及红河干热河谷区域分布较少，廊道主要沿林地分布，呈现“遗产区密集–河谷稀疏”的蜘蛛网状格局。林地和草地在廊道中分布广、连通性强，利于物种迁移和基因交流。相比之下，靠近县城和红河干热河谷区域因建设用地扩张和交通网络密度增加，生态连通性受阻，物种迁移面临挑战。因此，需加强这些区域的生态廊道建设，促进生态系统的完整性和连通性。

3.1.4　生态节点的空间分布

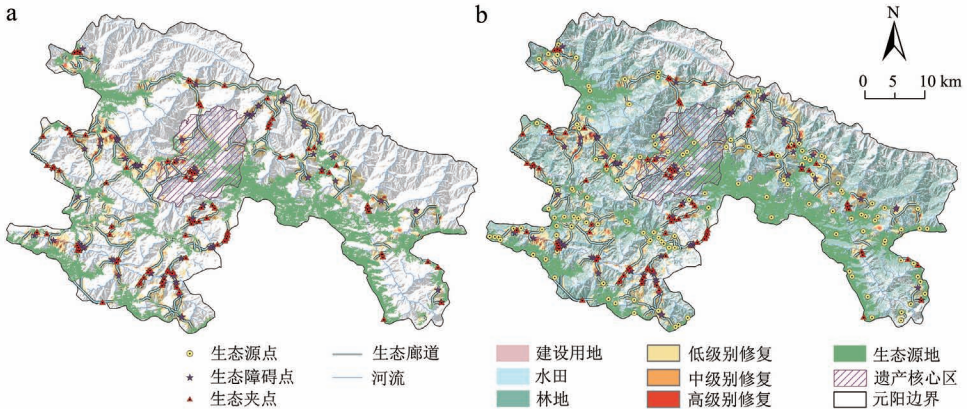
1）生态夹点空间分布。元阳县共识别出生态夹点 91 个（图 2c），面积为 5.49 km^2，以旱地和林地为主，多分布在遗产核心区南部和元阳县西部。遗产区内部也有少量夹点，用地类型以园地和旱地为主。这些夹点多位于生态廊道交界处，是迁徙物种的高频活动带，因周边农田等高阻力景观限制，形成狭窄的生态瓶颈，生态脆弱、退化风险高，优先保护这些区域，对于提升景观连通性意义重大。

2）生态障碍点空间分布。元阳县共识别出 100 个生态障碍点（图 2d），多位于生态廊道附

近，集中在元阳县中部和南部，总面积 3.45 km^2，用地类型主要以园地和旱地为主，兼有少量农村居民区，形成自然与人工区域的复合体。叠加生态阻力面分析显示，障碍点主要分布在中高和高阻力值区域，显著阻碍生物迁徙扩散与生态信息交互，影响自然要素和生态系统的相互作用。由于障碍点面积较小，较易修复和移除，修复后可增强自然要素的完整性及连通性。

3.2 生态安全格局的构建

生命共同体协调发展理念下的元阳县生态安全格局（图 3a、图 3b）包括：1）180 个核心生态源地，由森林和草地组成，主要位于东观音山、阿农农多山等生境质量高的区域，其中东观音山作为中南部生态屏障，保障了区域水资源环境，成为元阳县的“生态脊”。2）323 条蛛网状廊道，有机连接各生态源地，确保景观连通性，促进物质和能量从森林向梯田输送。3）91 个生态夹点，位于电流密度大的区域，多围绕建设用地分布，未来需优先保护这些区域。4）100 个生态障碍点以及 3 个不同级别的修复区域，障碍点主要存在于廊道和生态源地连接处，以耕地为主，优先修复这些区域可增强生态功能，维护区域生态安全。



注：a 保护修复空间格局；b 生命共同体理念下的生态保护修复格局。

图 3 元阳县生态安全格局

3.3 生态保护与修复空间格局构建

3.3.1 生态保护区与修复区位置及特征

基于生命共同体理念，以遗产核心区保护为重点，构建“以青山绿水林田为基础，一带两轴六区多核为一体”的生态保护与修复总体格局（图 4），旨在实现生态保护与修复的协调发展。“青山绿水林田”作为哈尼梯田“四素同构”生态智慧的物质载体，承载水文调节、生物多样性维系和农耕文明传承三重功能。“一带”以 1 300 年稻作文明为主线串联活态文化遗产；“两轴”指沿红河、藤条江流域的蓝绿生态轴，贯通西北至东南生态源地，促进物质能量交换；“六区”包括梯田核心景观保护区、水源涵养区、自然森林保护区 3 个保护区以及绿色生态旅游区、农业生态安全区、城镇居住区质量提升区 3 个修复区（如图 4）；“多核”指生态源点和生态节点，这些生态要素具有优良的自然本底条件，是区域重要的系统性保护区域。其中，梯田核心保护区作为

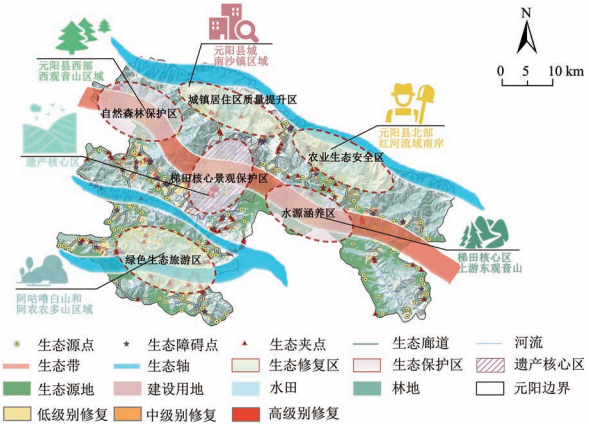


图 4 生命共同体理念下的生态保护修复格局空间位置

“四素同构”生态智慧的活态载体，通过立体水文网络实现气候调节与水土保持。东观音山水源涵养区作为核心生态屏障，通过水文调节保障流域水安全，支撑千年稻作系统永续传承。西观音山森林保护区保有原生性垂直林带结构，成为县域生态系统服务供给的关键支撑。绿色生态旅游区位于阿咕噜白山和阿农农多山区域，其自然风

光优异，气候条件适宜，自然景观的保护对当地的生态和经济发展尤为重要。红河南岸生态农业区气候条件优异，形成特色热带农产品种植基地，是全县农产品供给的重要支柱，却因耕地过度开发，引发土地退化、石漠化等生态问题。居住质量提升区位于元阳县城南沙镇区域，地势低缓，交通便捷，是旅游发展承接地与未来核心发展区，但过度开发导致栖息地质量下滑、斑块连通性受阻，如何调和生态与社会发展矛盾是该区域未来发展的关键问题。

3.3.2　生态保护区与修复区措施

构建县域生态系统分级保护体系，实施“核心保育–生态修复–可持续发展”三位一体策略。梯田核心区重点构建山水林田立体保护网络，通过原生植被保育与地形地貌维护实现自然人文景观协同共生；水源涵养区强化乔灌草复合群落修复，同步开展入侵物种治理与古树名木保护，提升森林水文调节功能；森林保护区划设生态红线隔离带，通过珍稀物种保育与高坡林修复增强水土保持效能。绿色旅游区推行低干扰开发模式，在生态敏感区建立动植物栖息地保护机制，配套建设生态友好型设施；生态农业区推进耕地整合与退耕还林，通过混农林系统构建提升生物多样性；居住质量提升区优化人居环境，建立城乡联动的清洁生产体系，强化生态廊道连通性。该体系通过差异化管控实现生态要素系统保护与功能提升的有机统一。

4　讨论

生态修复的核心已从以往的单要素、单过程生态系统修复转为新时代系统、整体、全面的修复和治理[23]。目前，生态修复遵循“自然恢复为主、人工干预为辅”原则[24]，系统化推进地理单元综合生态管理[25]。在新时代生态文明理念下，农业文化遗产地的生态修复需突破传统单要素治理模式，更需关注“山、水、林、田”等要素与生态系统的相互作用和效应，因其各生态要素具特色结构功能，且在人类活动驱动下相互耦合，产生恢复活力。因此本研究强调遗产地的生态保护修复应坚守生态安全的边界线，保证农业文化景观功能结构完整性与生态系统服务多样性，增强“系统韧性”以抵御未来风险。

生态保护与修复区域的确定可以看作是保护区域生态安全所必需的地理位置和范围[26]。传统研究多基于单一生态系统服务评估或生态风险等方面[12]，通过对结果进行分层分类确定修复范围，并提出区域尺度的优化方案[14]。然而，以往的此类研究主要强调土地的生态状况，相比之下，生态安全格局更侧重于生态过程，强调区域生态空间的格局；此外，与传统的“被动修复”相比，更强调“主动适应”。本研究系统解析元阳县“山、水、林、田”等要素特征，从生态系统服务、生态敏感性及景观连通性的角度构建生态安全格局，更契合农业文化遗产地的生态特征。研究构建的“以青山绿水林田为基础，一带两轴六区多核为一体”生态保护与修复格局深度契合《元阳县国土空间总体规划（2021—2035）》“生态优先、绿色发展”理念，此外，生命共同体理念下保护修复格局的构建，为协调农业文化遗产保护与生态安全提供了科学范式。

本研究划定了农业文化遗产地生态保护和修复区域，并提出了相应的恢复措施，有助于农业文化区域的优化和环境保护体系的完善。但存在一些不确定性和局限性：1）指标权重设定依托既有理论框架，主观性较强，未来需结合区域特征优化参数体系。2）现有评估对气候动态响应机制的表征不足，需建立长期监测应对气候变化胁迫[27]。3）修复措施面临实施成本与效果评估双重挑战，未来研究应加强多源数据融合，构建动态适应性管理模型，重点解决保护修复措施的空间适配性与时序协同性问题。

5　结论

基于生命共同体理念构建了元阳县的生态安全格局，识别生态源地 180 个（面积占比 24.98%）、323 条蛛网状生态廊道及 91 个生态夹点和 100 个障碍点。南部林场构成核心生态源区，通过纵向水系廊道与横向森林廊道形成网络化保护体系，印证了生命共同体要素的空间互馈机制。电路理论的模拟表明，生态廊道网络可显著降低景观阻力，增强农业文化遗产地生态过程的连续性。

基于“四素同构”理论，提出“基础要素保

育-廊道网络联通-关键节点修复-敏感区域防控”四位一体策略。划定以梯田-水源-森林复合保育区，通过植被恢复与生物多样性保护提升系统稳定性；依托生态廊道及障碍点分布特征，构建“纵向河谷廊道+横向森林廊道”网络，重点加强植被覆盖与景观连通性修复，形成“一带两轴六区多核”总体格局。

通过量化“山-水-林-田”要素的协同关系，将传统农耕智慧与现代空间模型结合；通过划定保护与修复区域、提出治理策略，为全球农业文化遗产保护提供可推广的“系统识别-空间优化-格局划定”技术框架，助力实现生态保护、文化传承和经济活力提升的协同发展。

参考文献

[1] ZHAN G, JIN Z. Hani rice terraces of Honghe-the harmonious landscape of nature and humans[J]. Landscape Research, 2015, 40(6): 655-667.

[2] 毛志睿, 车兴蕊, 陈笑葵, 等. 元阳哈尼梯田遗产核心区景观格局时空演变特征[J]. 中国城市林业, 2025, 23(1): 119-126.

[3] WANG N, LI J H, ZHOU Z X. Landscape pattern optimization approach to protect rice terrace Agroecosystem: case of GIAHS siteJiache Valley, Guizhou, southwest China [J]. Ecological Indicators, 2021, 129: 107958.

[4] 杨李玲, 和阳一丹, 唐红, 等. 云南红河流域土地利用变化的地形梯度效应及其功能分区[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2024, 46(2): 276-287.

[5] 彭建, 吕丹娜, 张甜, 等. 山水林田湖草生态保护修复的系统性认知[J]. 生态学报, 2019, 39(23): 8755-8762.

[6] 王夏晖, 何军, 饶胜, 等. 山水林田湖草生态保护修复思路与实践[J]. 环境保护, 2018, 46(增刊1): 17-20.

[7] 杨宇亮, 罗丹, 角媛梅. 元江南岸稻作聚落的多尺度人居环境效应研究[J]. 城市规划, 2021, 45(8): 20-30.

[8] 周小凤, 张朝枝. 元阳哈尼梯田遗产化与旅游化的关系演变与互动机制[J]. 人文地理, 2019, 34(3): 154-160.

[9] 张兆年, 角媛梅, 杨帅琦. 中国南方五大水稻梯田时空变化特征及其驱动机制[J]. 农业工程学报, 2025, 41(1): 288-297.

[10] PENG J, YANG Y, LIU Y X, et al. Linking ecosystem services and circuit theory to identify ecological securitypatterns [J]. Science of The Total Environment, 2018, 644: 781-790.

[11] 王蓓, 岳邦瑞, 南昊, 等. 生态安全视角下山地-平原型城市土地利用冲突区分级识别[J]. 中国城市林业, 2024, 22(5): 130-137, 149.

[12] 孔凡斌, 段淑慧, 徐彩瑶. 基于生态系统服务和生态敏感性的生态安全格局构建: 以钱塘江流域为例[J]. 生态学报, 2024, 44(24): 11359-11374.

[13] 李芹, 王宇, 张华, 等. 云南高原脆弱生态地质环境类型与特征及生态修复对策[J]. 中国岩溶, 2024, 43(6): 1261-1274.

[14] 高梦雯, 胡业翠, 李向, 等. 基于生态系统服务重要性和环境敏感性的喀斯特山区生态安全格局构建: 以广西河池为例[J]. 生态学报, 2021, 41(7): 2596-2608.

[15] 王婷, 任云英. 城市新区绿色基础设施网络优化: 基于景观格局和形态空间格局分析[J]. 中国城市林业, 2023, 21(2): 105-114.

[16] SOILLE P, VOGT P. Morphological segmentation of binarypatterns[J]. Pattern Recognition Letters, 2009, 30(4): 456-459.

[17] 刘瑞雪, 林小龙, 李云. 基于MSPA-生境质量评估和电路理论的城市绿色基础设施网络优化研究: 以深圳市为例[J]. 中国园林, 2024, 40(10): 68-74.

[18] FÍUKALOVÁ E, ZŸKA V, ROMPORTL D. The network of green infrastructure based on ecosystem services supply in central Europe[J]. Land, 2021, 10(6): 592.

[19] 王鹏, 况福民, 邓育武, 等. 基于主成分分析的衡阳市土地生态安全评价[J]. 经济地理, 2015, 35(1): 168-172.

[20] 薛强, 路路, 牛韧, 等. 基于地质灾害敏感性的生态安全格局关键区识别与修复: 以济南市为例[J]. 生态学报, 2021, 41(22): 9050-9063.

[21] 丁金华, 褚涵, 孙琦. 基于MSPA与电路理论的水网地区生态网络构建[J]. 中国城市林业, 2024, 22(5): 122-129.

[22] 刘帅, 朱杰勇, 杨得虎, 等. 基于斜坡单元与随机森林模型的元阳县崩滑地质灾害易发性评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2023, 34(4): 144-150.

[23] GAO M W, HU Y C, BAI Y P. Construction of ecological security pattern in national land space from the perspective of the community of life in mountain, water, forest, field, lake and grass: a case study in Guangxi Hechi, China [J]. Ecological Indicators, 2022, 139: 108867.

[24] 崔桂鹏, 党宏忠, 熊伟, 等. 对“三北”工程区退化林修复策略的思考[J]. 林业科学, 2025, 61(1): 10-16.

[25] 王腾雯, 程俊豪, 熊航, 等. 融合生态安全格局和基于自然解决方案的山水林田坝草一体化保护和系统治理[J]. 生态学报, 2025, 45(3): 1210-1225.

[26] CUI X F, DENG W, YANG J X, et al. Construction and optimization of ecological security patterns based on social equity perspective: a case study in Wuhan, China [J]. Ecological Indicators, 2022, 136: 108714.

[27] GUO X, MIN Q W, JIAO W J. Spatial distribution characteristics and differentiated management strategies of China Nationally Important Agricultural Heritage Systems [J]. Journal of Geographical Sciences, 2024, 34(3): 483-498.