

基于生态空间划定的乡村小微湿地修复策略研究*

Rural Small and Micro Wetland Restoration Strategy Based on Ecological Space Demarcation

袁黛玉 王蕾 李晖

YUAN Dai-yu, WANG Lei, LI Hui

摘要: 针对江门市上游段工业过度发达导致的区域水生态环境问题, 通过利用GIS空间分析与遥感图像处理软件技术, 运用生态系统服务功能和生态敏感性评价研究方法, 探索西江磨刀门河口小微湿地生态空间划定情况。结果显示, 研究区生态空间划定面积为11 920 hm², 约占总面积的46.98%, 生态保护重要性程度为“重要”的区域仅占总面积的6.41%, 生态斑块呈破碎化; 研究区生态服务功能以生物多样性维护和水源涵养为主, 生态环境敏感性受水土流失和土地沙化影响, 整体生态保护重要性等级较高。基于划定结果, 提出建立多层次修复网络、营造生物栖息地、构建湿地混合种养模块的生态修复策略。

关键词: 生态空间; 小微湿地; 生态修复; 乡村湿地

中图分类号: TU986

文献标志码: A

文章编号: 1671-2641 (2023) 03-0009-06

收稿日期: 2022-06-25

修回日期: 2022-09-13

Abstract: Aiming at the regional water eco-environmental problems caused by over-developed industries in the upper reaches of Jiangmen City, by using GIS spatial analysis and remote sensing image processing software technology, this article uses the research methods of ecosystem service function evaluation and ecological sensitivity evaluation, to explore the ecological space demarcation situation of small and micro wetlands in the Modaomen estuary section of the Xijiang River. The results show that the delineated area of ecological space in the study area is 11 920 hm², accounting for about 46.98% of the total area. The areas with an ecological protection importance level of “important” only account for 6.41% of the total area, and the ecological patches are fragmented. The ecological service functions of the study area are mainly biodiversity maintenance and water conservation, and the ecological environmental sensitivity is affected by soil erosion and land desertification. The overall ecological protection importance level in the study area is relatively high. Based on the demarcation results, the ecological restoration strategies of establishing a multi-level restoration network, creating biological habitats, and building wetland mixed planting and breeding modules are proposed.

Key words: Ecological space; Small and micro wetlands; Ecological restoration; Rural wetland

近年来, 生态文明建设和乡村振兴国家战略持续推进, 基于资源环境承载力评价和国土开发适宜性评价的“三生”空间(生态空间、生产空间和生活空间)研究, 在乡村生态环境保护方面的影响愈加显著。“三生”空间是我国新时期国土空间规划的重要导向标, 构建了城乡一体化发展的核心基础^[1]。其中, 乡村生态空间是含有重要生态功能的国土空间类型, 对于维系乡村生态平衡, 提供生态系统服务起着关键作用^[2]。然而, 随着工业的发展, 水质污染、生态系统退化、酸雨侵蚀、

水土流失等环境问题日益严峻, 乡村生态环境亟待保护和修复。此外, 珠江三角洲围堤筑塘和基塘农业地区过度开发现象频发, 传统基塘系统由于自身的缺陷, 也成为了重要的污染源和区域环境污染的促成者^[3], 乡村湿地面临重大威胁。

2018年, 《小微湿地保护与管理决议草案》在《湿地公约》大会上通过。小微湿地在生物多样性保护、物种繁殖与避难等方面具有重要的生态功能, 逐渐受到公众的关注。2021年, 中国生物多样性保护与绿色发展基金会提出将小微湿地

纳入《湿地保护法》的建议, 显示了政府对小微湿地保护的重视^[4]。同年, 北京市园林绿化局印发《北京市湿地保护发展规划(2021—2035年)》, 提出小微湿地修复数量不少于50个的近期目标, 拟初步建立健全湿地保护管理体系。虽然目前小微湿地在国际上尚无明确的定义, 但根据我国已报道文献, 小微湿地是指在自然的长期演变过程中形成的较稳定生态系统的小型湿地, 如小型湖泊、河湾、池塘、水田、坑地、季节性水塘等微型水域地带^[5], 并广泛分布于乡村地区。小微湿地作为

*基金项目: 国家自然科学基金项目《粤港澳大湾区水陆交错带权衡/协同关系及韧性景观调控网络机制研究》(52078222); 广东省教育厅2020年度普通高校园重点科研项目《珠江三角洲水网地区乡村“三生”空间配置及功能区划“红线”研究》(2020ZDZX1033)

生态环境的特殊组成部分之一，在洪水调蓄、净化水质、气候调节、野生动植物栖息与保护等方面具有重要作用^[6]。但由于小微湿地相关研究起步较晚，国内外对其研究较少，小微湿地的生态系统服务价值被严重低估，在一定程度上阻碍了小微湿地的保护与管理。

如何合理利用、规划乡村湿地，对于乡村建设发展和湿地生态保护利用具有深刻意义^[7]。本文以小微湿地为研究对象，基于国土空间规划背景下生态空间划定，对乡村尺度的生态空间进行重要性程度划分，从生态系统服务功能等级评价和生态环境敏感性等级评价2个方面出发，分别就水源涵养、水土保持、生物多样性维护、防风固沙、水土流失和土地沙化6个层面构建研究区的生态保护重要性等级，对其进行生态等级评价，利用GIS平台空间分析技术，结合ENVI遥感图像处理平台等多个软件，对处于西江磨刀门河口段的研究区进行现状生态空间分析，并在此基础上，选择生态重要性等级较高的区域进行小微湿地的修复策略研究，为乡村生态环境保护提供适宜有效的优化方法。

1 研究内容与方法

1.1 研究区概况

研究区位于广东省珠江三角洲西南部，区域内部被西江水系分割为4个镇域，包括江门市新会区东南部的睦洲镇、大鳌镇，及中山市西南部的横栏镇和大涌镇，总面积约为25 372.6 hm²，在东南侧毗邻珠海市斗门区。研究区地处西江下游河口段，总体地势低平，全境位于北回归线以南，气候终年温暖湿润，雨量充沛。研究区内主要流经河流为西江，包括磨刀门水道、石板沙水道、坦洲水道等支流，贯穿整个区域。场地

现状以基塘、林地、农田、江河为主，河道沿线分布有密集的村落建筑，基塘系统周边以池杉*Taxodium distichum* var. *imbricatum*种植为主，形成灌丛、滩涂、农田、沟渠等多种河流湿地生境类型。

根据2021年6月14日公众环境研究中心数据显示，西江中上游水质存在黑臭水体类3处，河流下段存在黑臭水体类2处，水质污染情况从北往南呈依次递减的趋势^①。江门市上游产业的高速发展给西江下游段的水生态环境造成了一定的污染，尤其是造纸、皮革、陶瓷行业等重点污染行业。随着2015年江门市南美白对虾养殖业的迅速扩张，基塘系统的种植面积逐渐缩减，空间比例失调，传统基塘农业逐渐退化。单一的种植、养殖方式导致了乡村湿地面积日益减少，生物多样性随之降低，对研究区生态环境造成了影响。

1.2 评价数据来源

生态保护重要性评价的数据类型可以分为生态类数据集、土地资源类数据集、气象类数据集和基础数据集（表1）。数据类型主要为栅格数据和矢量数据，并且提前将数据投影坐标系统，统一转化为wgs1984墨卡托。其中，土地资源类数据集的数字高程模型（DEM）是精度为30 m的栅格数据。

1.3 评价方法

1.3.1 生态系统服务功能评价

生态系统服务功能为人类社会生存发展提供必须的自然生态环境和功能效益，是人类社会生存发展的重要保障^[8]。分析生态系统服务功能，以研究区在全国和区域生态安全的重要性程度为研究内容，进行重要性等级划分，根据自然断点分级法，划分为一般重要、重要和极重要3级。根据研究区实际情况，选择相对重要的水源涵养、水土保持、生物多样性维护和防风固沙4种生态系统服务功能进行评价（表2，图1）。

1.3.2 生态环境敏感性评价

生态环境敏感性是衡量生态系统抗干扰能力的重要性指标^[9]，是在国土空间规划中进行生态空间保护与划定的重要评价方法，通常将结果划分为极重要区、重要区和一般区3种类型。本研究以《资源环境承载力和国土空间开发适宜性评价技术指南（试行）》（2019年7月版）和《生态保护红线划定指南》为参考，结合研究区地理区位，选取水土流失敏感性和土地沙化敏感性2种指标进行评价（表3，图2）。其中，水土流失敏感性中的坡度坡长因子LS由于大范围计算难度较高，且与地表粗糙度因子D差别较小，因此采用地表粗糙度因子D代替。

表1 生态保护重要性评价数据集清单

数据类型	数据名称	数据格式	数据来源
生态类数据集	归一化植被指数（NDVI）	1 m 栅格数据	根据遥感数据自制
	植物净初级生产力（NPP）	30 m 栅格数据	地理国情监测云平台
土地资源类数据集	数字高程模型（DEM）数据	30 m 栅格数据	地理空间数据云
	土壤质地数据	1 km 栅格数据	中国科学院资源环境科学数据中心
	土地利用现状数据	30 m 栅格数据	根据遥感数据自制
气象类数据集	月均温度、风速、降雨量数据	文本数据	中国气象科学数据共享服务网
基础数据集	广东省行政区划	矢量数据	广东省民政厅

① 数据来自公众环境研究中心网站 <https://www.ipe.org.cn/MapWater/WaterFunction.aspx?q=2&type=0>

表2 生态系统服务功能评价方法、计算公式及其分布结果

评价指标	计算公式	分布结果
水源涵养功能重要性	$WR=NPPmean \times F_{sic} \times F_{pre} \times (1-F_{slo})$	集中于研究区南部，以睦洲镇的极重要等级面积最多
水土保持功能重要性	$Spro=NPPmean \times (1-K) \times (1-F_{slo})$	极重要等级集中在大鳌镇和大涌镇
生物多样性维护功能重要性	$Spre=NPPmean \times F_{pre} \times F_{tem} \times (1-F_{alt})$	集中于研究区南部，多样性由东南向西北逐渐降低
防风固沙功能重要性	$Sws=NPPmean \times K \times F_q \times D$	大部分区域有较强的防风固沙功能，沿江较弱

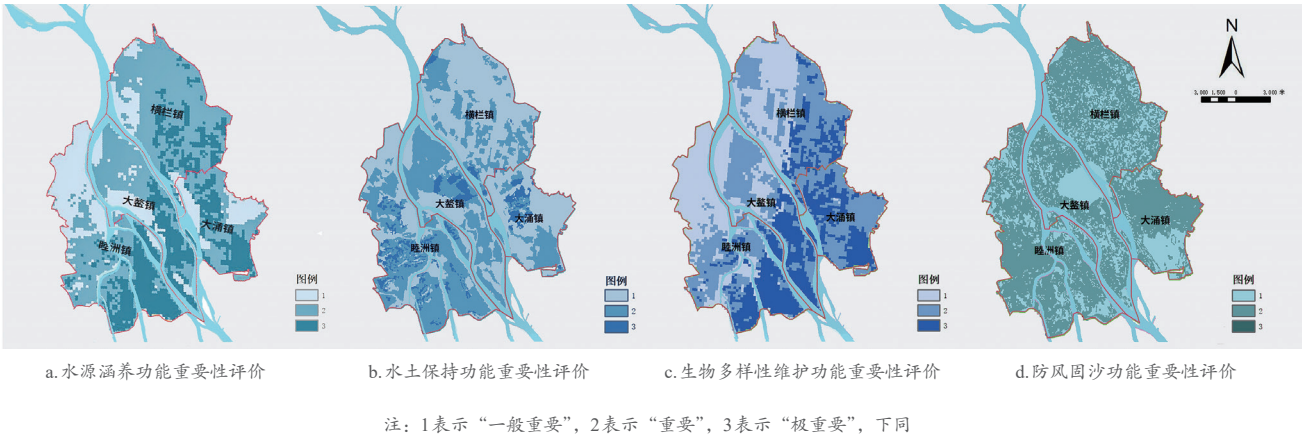


图1 生态系统服务功能等级单因子评价结果

表3 生态环境敏感性评价方法、计算公式及其分布结果

评价指标	计算公式	分布结果
水土流失敏感性	$SS=\sqrt[4]{R_i \times K_i \times LS_i \times C_i}$	以睦洲镇和大涌镇山体所在位置的水土流失敏感性等级较高
土地沙化敏感性	$D_i=\sqrt[4]{I_i \times W_i \times K_i \times C_i}$	以横栏镇、睦洲镇和大涌镇的土地沙化敏感性等级较高

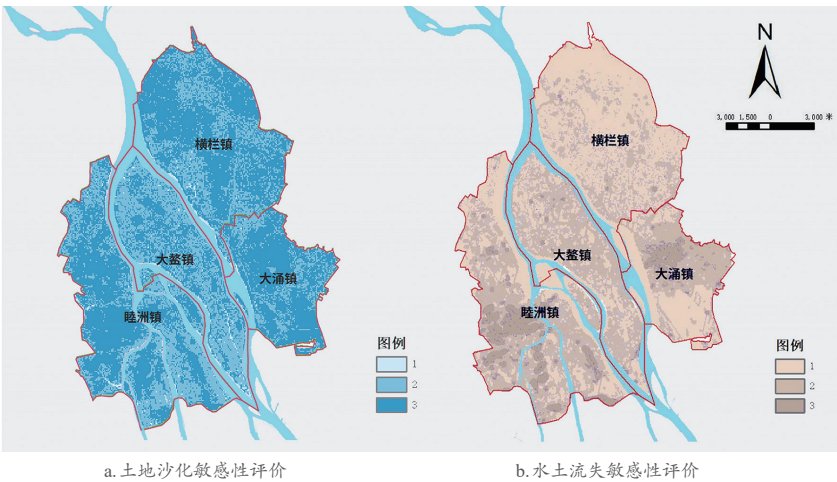


图2 生态环境敏感性等级单因子评价结果

2 生态空间评价与研究结果分析

2.1 生态系统服务功能重要性等级集成评价

将水源涵养、水土保持、生物多样性维护和防风固沙4种生态系统服务功能的重要性评价结果进行空间叠加分析，得到的集成结果（图3）表明，研究区生态服务功能以水源涵养和生物多样性维护功能为主，生态保护重要性等级处于“极重要”的区域较少，属于“重要”等级的区域较多，生态环境保护需要加强。

2.2 生态环境敏感性等级集成评价

叠加水土流失敏感性和土地沙化敏感性评价结果，得到的集成评价结果（图4）表明，在研究区的4个镇中水土流失和土地沙化影响较为显著。其中，睦洲镇、大涌镇的生态保护重要性等级最高，“极重要”区域

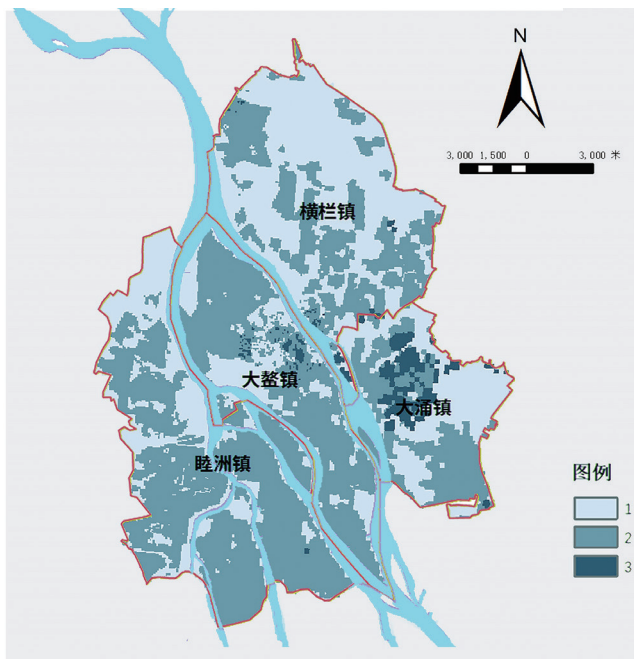


图3 生态系统服务功能等级集成评价

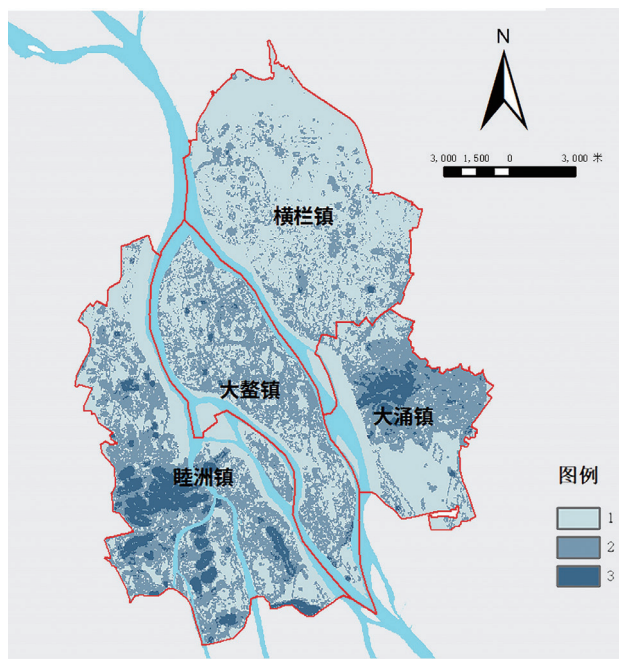


图4 生态环境敏感性等级集成评价

位于吉仔森林公园和卓旗山休闲公园，大鳌镇的大部分区域为“重要”，横栏镇的大部分区域为“一般重要”。

2.3 生态保护重要性等级集成评价

生态保护等级评价是基于生态功能重要性评价和生态环境敏感性评价的集成评价^[10]。生态空间的划定有助于探究研究区生态空间滞后于生产空间和生活空间的现状^[11]，并有利于研究者根据实际情况制定适宜的解决对策和方法。在最后的综合集成评价中，除了叠加生态系统服务功能重要性等级集成评价和生态环境敏感性等级集成评价，还根据现状土地利用类型，将研究区所属生态类型用地和周边的珠海斗门竹洲岛水松林自然保护区划入生态空间，最终形成了研究区生态空间的划定结果（表4，图5）。

结果表明，研究区生态空间面积约为11 920 hm²，占总面积的46.98%，存在斑块破碎化现象。研究区生态保护重要性等级处于“极重要”的区域仅占总面积的6.41%，多集中于大涌镇东北部的卓旗山休闲公园和横栏镇中部的虎山，其余以小块状零星分布于场地各处。而属于“重要”等级和“一般重要”等级的区域较多，占比分别为40.57%、53.02%。研究区的整体生态价值提升空间大，生态系统亟待完善与修复。因此，研究区适合以小微湿地的形式开展生态环境保护，在利用自身资源提升生物多样性和景观观赏价值的同时，充分发挥生物迁移“踏脚石”的作用，促进分散的生态斑块实现整体化。

表4 研究区生态空间评价结果

评价等级	面积 /hm ²	占比 /%	分布
极重要区	1 625.6	6.41%	睦洲镇、大涌镇卓旗山等山体地带
重要区	10 294.4	40.57%	睦洲镇、大涌镇、大鳌镇农业种养地带
一般重要区	13 452.6	53.02%	横栏镇、大涌镇南部城镇及沿江边坡地带

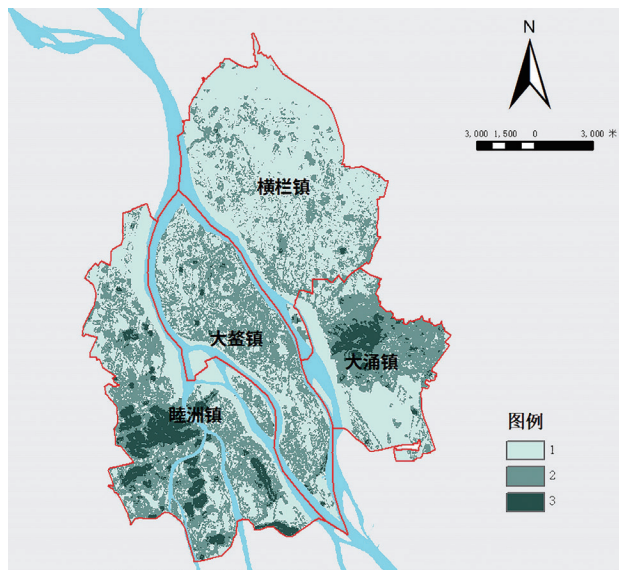


图5 生态保护重要性集成评价结果

3 生态空间修复策略

小微湿地的选择以生态空间划定结果中的“极重要”区域为基准，在场地内选择满足条件的且总面积在 8 hm^2 以内的绿地进行修复。生态空间修复策略以提升生物多样性为主要目标，针对研究区当地的水质污染和生境破碎两项问题，提出建立多层级湿地修复网络、营造生物栖息地、构建湿地混合种养模块三大策略。多层级湿地修复网络可以提高研究区水域的生态系统调节能力；营造生态栖息地能够为生物提供休憩和繁衍的场所；构建湿地混合种养模块可以有效利用淡水及海水资源增加生物多样性，修复湿地破损生境。

3.1 建立多层级修复网络

研究区内靠近西江水域的工矿仓

储用地主要集中在睦州镇东北面及大鳌镇西部，针对其水质污染问题，从基底、斑块、廊道多层级进行修复。首先，对水生态基底进行修复，具体措施包括：投放生物膜进行微生物修复；设置生态浮床种植各类水生植物，吸附水中的微量元素（图6）。其次，通过低人工干预的方式，建立植被生态缓冲区，根据不同的水深条件，选择对盐胁迫适应性较强，或具有固氮能力的乔木、灌木及湿生草本，如小叶黄杨 *Buxus sinica* var. *parvifolia*、女贞 *Ligustrum lucidum*、池杉等，过滤截留污水悬浮物，重建湿地斑块。最后，在现有湿地斑块的基础上，结合研究区纵横交错的基塘网络，建立生态廊道，将有限的生态资源联系起来，激活斑块活力，使之成为一个完整的生态空间格局。

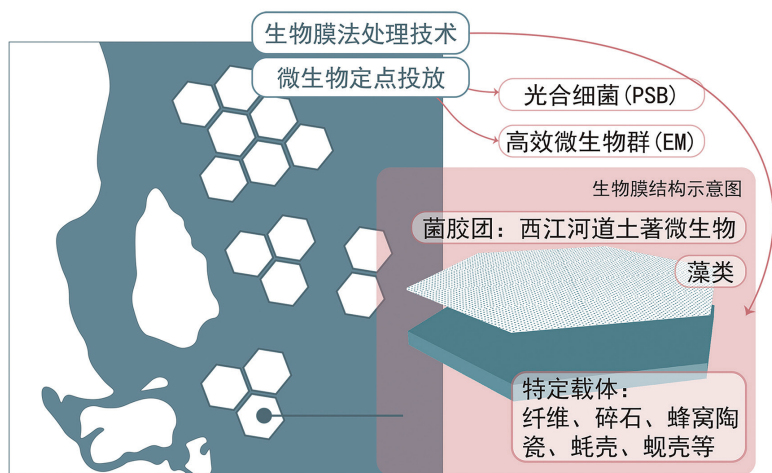


图6 水生态基底修复

3.2 营造生物栖息地

西江流域孕育了丰富的物种资源尤其是鱼类资源，是重要的水生物资源基因库。通过采取地形塑造和鱼类栖息、繁殖模块构建等方式，为生物提供良好的栖息环境，保护生物多样性，从而达到增强生态系统复原力的目的。异质多样的地形对于维护物种多样性至关重要^[12]，因此在人工湿地的营造过程中，应注重河口、洲、滩、沱、浩、碛等多样化的水陆交界处地形塑造（图7），为不同的鸟类、鱼类提供繁殖地、觅食地、产卵场、索饵场及越冬场。对于西江流域丰富的鱼类资源，可以根据典型鱼类的栖息和繁殖习性，构建栖息和繁殖模块。栖息模块主要由湿生类的乔灌木、高等水生植物、堆石河岸以及砾石河床构成，其中乔灌木可为鱼类栖息起到遮荫和降温作用，各类水生植物则为草食性鱼类提供食料，堆石河岸和砾石河床可以为鱼类及底栖生物提供暗礁和孔洞。繁殖模块则主要塑造深潭及河道中的沙洲，分别为漂浮型卵鱼类及粘卵型鱼类提供产卵场（图8）。

3.3 构建湿地混合种养模块

研究区的基塘体系同时承载的生产与生态的复合功能，是探索区域产业健康可持续发展的关键点，有益于生态环境修复和水产养殖业协同发展。

根据不同的水体环境及典型生物

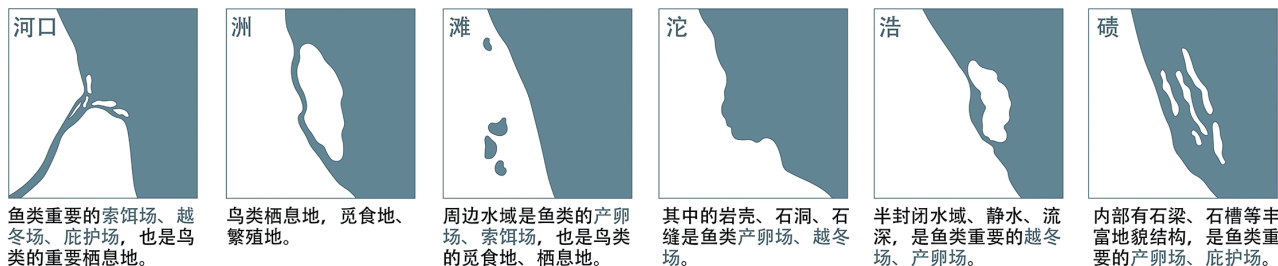


图7 生物栖息地的地形塑造

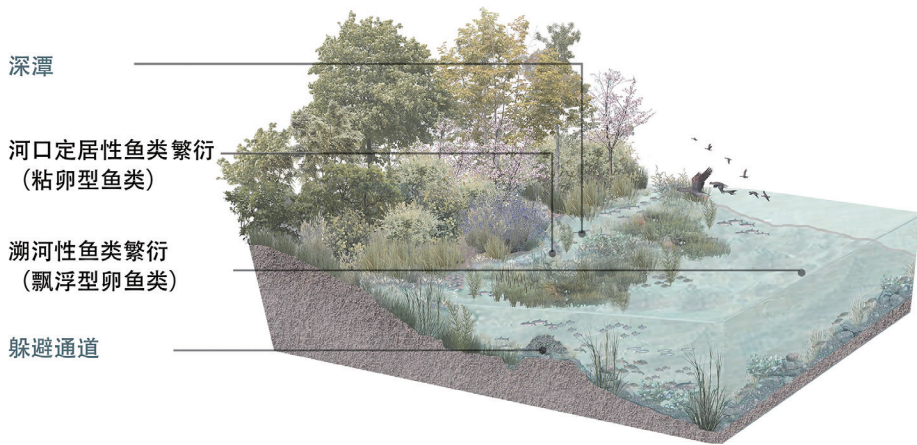


图8 鱼类繁殖模块示意图

种类，可以分别建构淡水池塘混生、江河混生、海水池塘混生3种不同类型的种养模块，提高基塘的资源利用率。以养殖草鱼 *Ctenopharyngodon idella*、鲫 *Carassius auratus*、鲢 *Hypophthalmichthys molitrix* 等淡水经济鱼类，和茭 *Euryale ferox*、眼子菜 *Potamogeton distinctus* 等特色水生农作物共生的淡水池塘混生模块，可以有效推动淡水农业规模经济发展；江河混生模块有助于充分开发不同水域的环境，丰富湿地环境，恢复原有的西江鱼类多样性；海水池塘混生模块则将规模经济中养虾的水进行净化，用于海水鱼类饲养，提高水资源的利用率。

4 结论与讨论

研究区地处珠江三角洲的典型流域，其小微湿地的修复对基塘体系的生态可持续发展和生态文明建设的推动具有重要意义。研究区的主要生态问题是传统基塘农业的转变和城镇化导致的各区域不同程度的水质污染和生境破碎。因此，本文从生态系统服务功能重要性评价和生态环境敏感性评价2种评价方法出发，对研究区进行生态空间识别，将生态空间划分为3个重要性等级，

并对其中“极重要”的区域提出三大修复策略，分别从修复污染，提高生物多样性，生产功能与生态功能相结合3个方面，提高西江流域的生态系统服务功能，改善生态环境。

目前，乡镇小微湿地的关注度较低，但是乡镇普遍存在的生活和农业污染，对小微湿地的长远发展具有负面影响。未来，在小微湿地生态修复和建设的蓬勃发展下，更多对小微湿地的影响因子如面积、形状、地理区位、地形等的研究将进一步开展，小微湿地的机理研究也将愈发清晰。如何将小微湿地建设与现行的湿地保护体制有机结合，是小微湿地未来的重要研究方向。

注：图片均为作者自绘

参考文献：

- [1] 王颖, 刘学良, 魏旭红, 等. 区域空间规划的方法和实践初探——从“三生空间”到“三区三线”[J]. 城市规划学刊, 2018 (4): 65-74.
- [2] 王云才, 贾一非. 平原乡村生态空间多样性营建探索与实践——以辽宁省黑山县为例[J]. 城市环境设计, 2021 (4): 444-450.
- [3] 聂呈荣, 黎华寿. 基塘系统: 现状、问题与前景[J]. 佛山科学技术学院学报(自然科学版), 2001 (1): 49-53.
- [4] 陶苏芹. 乡村小微湿地景观修复设计研究[D]. 南昌: 江西财经大学, 2021.
- [5] 任全进, 季茂晴, 于金平. 小微湿地的作用及营造方法[J]. 现代农业科技, 2015 (13): 225,

230.

- [6] 赵晖, 陈佳秋, 陈鑫等. 小微湿地的保护与管理[J]. 湿地科学与管理, 2018, 14 (4): 22-26.
- [7] 周洪岩, 邱成志, 余本锋. “三生”理念下的乡村小微湿地规划设计研究[J]. 河北林业, 2020 (11): 32-34.
- [8] 闵庆文, 欧阳志云. 可持续发展的生态学思考[J]. 农村生态环境, 1998 (2): 41-45.
- [9] 夏婷婷. 流域生态敏感性评价[D]. 重庆: 西南大学, 2010.
- [10] 张雪飞, 王传胜, 李萌. 国土空间规划中生态空间和生态保护红线的划定[J]. 地理研究, 2019, 38 (10): 2430-2446.
- [11] 武云璐. 基于生态系统服务功能及生态敏感性的汾河上游生态空间划定研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2019.
- [12] 马克明, 张洁瑜, 郭旭东, 等. 农业景观中山体的植物多样性分布: 地形和土地利用的综合影响[J]. 植物生态学报, 2002 (5): 575-588.

作者简介：

袁黛玉/1997年生/女/广西玉林人/华南农业大学(广州510642)/在读硕士研究生/专业方向为风景园林规划与设计

王蕾/1998年生/女/广东揭阳人/华南农业大学(广州510642)/在读硕士研究生/专业方向为风景园林规划与设计

李晖/1967年生/女/重庆人/博士/华南农业大学(广州510642)/教授/研究方向为风景园林遗产保护与景观生态规划设计、景观生态安全格局