

## 江汉平原水生态功能分区及其在钉螺防控中的应用

韩东枫<sup>1,2,3,4</sup>, 邱娟<sup>2</sup>, 张道熙<sup>5</sup>, 赵娜<sup>5</sup>, 肖瑛<sup>6</sup>, 朱红<sup>6</sup>, 邵奇慧<sup>1,2</sup>, 韩逸飞<sup>1,2</sup>, 李仁东<sup>2</sup>

(1. 中国科学院大学, 北京 100049;

2. 中国科学院精密测量科学与技术创新研究院, 环境与灾害监测评估湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430071;

3. 山东省气象防灾减灾重点实验室, 山东 济南 250031;

4. 山东省气候中心, 山东 济南 250031;

5. 水利部中国科学院水工程生态研究所, 水利部水工程生态效应与生态修复重点实验室, 湖北 武汉 430079;

6. 湖北省疾病预防控制中心, 湖北 武汉 430079)

**摘要:**对血吸虫唯一中间宿主钉螺的控制是阻断该疫病流行的关键, 目前已有的相关防控研究通常是基于行政区或像素尺度, 且仅依靠专家经验或部分地理环境要素来分配钉螺防控资源, 这可能导致防控区域与防控需要的错位。通过对江汉平原进行水生态功能区划, 并将分区结果应用于钉螺控制, 有助于防控措施的精细化。水生态功能一级分区采用“自上而下”的演绎分区方法, 二级分区采用“自下而上”的聚类分区方法, 一级分区以流域为基础单元进行, 二级分区基于高程、植被、河渠、土壤及土地利用等水生态功能指标, 通过聚类法合并子流域得到分区单元, 并统计各水生态功能区螺情, 分析螺情与水生态功能指标的相关性。结果显示, 江汉平原水生态功能区可划分为2个一级区, 包括汉江流域水生态区(I)和长江流域水生态区(II)。二级区9个, 二阶聚类凝聚和分离的轮廓测量值为0.4和0.3, 表明聚类效果较好; 二级分区按钉螺分布及流域地理环境要素特点可分为3类, 分别为长江过境类(I-3、II-2、II-5、II-6)、丘陵主导类(I-1、II-1、II-3)及河渠主导类(I-2、II-4)。将水生态功能分区方法应用于钉螺防控, 可为血吸虫精准防治提供新思路与技术支持。

**关键词:**水生态; 功能分区; 钉螺防控; 江汉平原

**中图分类号:** X826, R184.38 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2023)03-0001-08

水生态功能分区是在客观认识和充分研究水生态系统的基础上, 应用生态学原理与方法, 整合区域性特征指标进行分区的过程, 以此揭示水生态区域的相似性和差异性以及人类活动对水生态系统干扰的规律(王海花等, 2015)。综合考虑自然因素与社会因素并在流域的基础上进行合理分区是水生态功能分区的主要途径, 也是评价流域水生态系统功能特征的重要抓手。水生态功能一级区划依据流域水生态系统空间尺度效应与驱动因子, 常用一级分区指标包括地貌及集水区(张欣等, 2016); 二级分区依据流域水生态景观格局与流域演变相关的社会和自然因子, 常用的二级区划指标有土地利用类型、植被指数及土壤类型等(李艳梅等, 2009; 黄晓霞等, 2012; 魏保义等, 2015)。

血吸虫唯一中间宿主钉螺的生长受土壤湿度、植被、土地利用等环境因素影响(Adekiya et al, 2020), 主要分布于特定的水生态环境中, 如水陆交界处且水位有季节性变动的江湖洲滩及沟渠。水生态分区指标与钉螺孳生扩散相关因素之间有密切关系。钉螺整个生命周期都离不开水, 钉螺幼卵发育更离不开水, 成年后的钉螺在湿润环境中相比干旱环境的生存能力更强(张利娟, 2008); 植被为钉螺生存提供了栖息环境和食物来源, 植被的不同会影响钉螺分布, 活螺平均密度随植被覆盖度的增加而上升(蒋俊明等, 2006; 饶滴滴等, 2018); 土壤的化学性质和物理性质都可以影响其分布, 富含有机质、含氮磷钙的肥沃土壤更适宜钉螺孳生(赵安, 2010); 土地利用分类中的农田间渠网密集、水系发达, 湿润的土地和丰富的植被为钉螺生存提供了适宜场所, 并且相对于旱地, 水田周围沟渠更加密集, 钉螺分布也更广(常变蓉等, 2014)。钉螺控制方面的研究多聚焦于单一要素, 而基于单一要素的控制方案难以应对钉螺孳生相关的诸多要素。

近年来, 湖北省已经或计划实施一系列河流治理工程、灌区改造工程等抑螺项目, 这对以流域为

收稿日期: 2021-10-13 修回日期: 2023-02-14

基金项目: 国家自然科学基金(81803297, 41571487)。

作者简介: 韩东枫, 1994年生, 男, 硕士研究生, 研究方向为3S技术在资源环境中的应用。E-mail: handongfeng18@mails.ucas.ac.cn

通信作者: 李仁东, 1962年生, 男, 研究员, 主要从事空间信息技术与资源环境应用研究。E-mail: lrd@apm.ac.cn

单位的钉螺分区分级管控提出了新要求(湖北省人民政府,2019),但目前结合水生生态功能分区进行钉螺控制的研究还未见报道。本文以江汉平原为研究区,基于钉螺孳生相关要素主要包括植被、土壤、地形地貌和温度湿度等(Adekiya et al, 2020),突破传统聚类模型,以二阶聚类的方法进行水生生态功能分区,并分析各分区螺情与水生生态功能指标的相关性,为钉螺控制方案的制定提供新思路与技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

江汉平原位于湖北省中南部,是长江中下游平原的重要组成部分,面积2.5万km<sup>2</sup>,主要包括洪湖市、江陵县、荆州区、沙市区、松滋市、公安县、监利县、石首市、汉川市、应城市、枝江市、潜江市、天门市和仙桃市共计14个血吸虫病流行的县市区(图1)。江汉平原地势为西高东低,西部松滋市部分地区属于山地,东部为由长江和汉江形成的冲积平原,整体地势起伏不大,平均高程为30 m。研究区内湖沼众多、土壤肥沃,河渠垸堤密集纵横,洲滩面积大。境内共包含长江、汉江和其他18条主要河渠。



图1 研究区及河渠分布

Fig.1 Study area and river system distribution

### 1.2 数据获取

根据行政界线等基础地理信息,收集整理遥感影像、河流、高程、土壤、土地利用等数据,综合建立江汉平原流域地理信息数据库。遥感影像采用2020年8月23日的Landsat 8 OLI影像,于美国地质调查局(<https://earthexplorer.usgs.gov/>)获取,基于遥感影像计算的归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)能一定程度反

映研究区内的植被分布情况;河流数据基于主干河流数据并参照天地图等数据(<https://www.tianditu.gov.cn/>)目视解译而来;高程数据来自中国科学院计算机网络信息中心ASTER GDEM数据(<http://www.gscloud.cn/>);土壤数据和2015年土地利用数据来自中国科学院资源环境科学与数据中心(<http://www.resdc.cn/>);螺情数据来自湖北省血吸虫病防治研究所的工作年报,以行政村为单位统计的实有钉螺面积、钉螺孳生环境主要类型和行政村面积等。

### 1.3 水生生态分区原则和指标体系

1.3.1 分区原则 流域水生生态功能分区以生态优先和坚持流域自然属性为重点,强调协调性思想和重点分明的思路,其合理与否直接关系到分区结果的正确性与可信度(王海花等,2015)。科学确定水生生态功能分区的原则是开展分区工作的基础(Gao et al, 2011),主要包括区域共轭性原则、区内相似性与区外分异性原则、地理综合分析主导因素相结合原则、等级性原则、流域完整性原则等(李艳梅等,2009;李昌花,2013;张许诺等,2019)。本文参考这些原则进行江汉平原水生生态分区。

1.3.2 一级分区指标 江汉平原内流域分区特征明显,长江是江汉平原内的主导河流,汉江作为长江的主要支流在江汉平原东北处汇入长江。以汉江流域作为分区的主要依据,可保证流域和生态系统的相对完整性;同时,行政区界限也多以大江大河为界限,可保证一级分区行政边界的完整性。因此,根据汉江和长江流域特点,江汉平原可以分为两大流域。

1.3.3 二级分区指标 江汉平原水生生态功能二级分区指标的选取综合考虑影响区域水生生态和钉螺分布异质性环境因素,主要包括地形、植被、河渠、土壤和土地利用等,在一级分区的基础上利用这些指标因子划分水生生态亚区。地貌特征包括海拔和坡度等,能够影响水资源分配格局和河流水文特征,继而影响生态水文效应;植被受水文情势变化的影响而表现出不同的生活型和生长型,NDVI能够监测植被生长状态和植被覆盖度,反映区域植被生长状况;河渠分布反映自然和人为联合作用下水资源利用概况;土壤影响汇流过程及河流含沙量和水质等特征,是水生态系统形成的基础因素;土地利用反映区域的土地覆盖类型和人类活动的程度,是水生生态功能分区的重要指标。

## 1.4 分区方法与应用

1.4.1 分区方法 本研究一级分区采用“自上而下”的演绎分区方法,二级分区采用“自下而上”的聚类分区方法。“自上而下”是按区域内相对一致性和区域共轭性原则划分一级分区单位;“自下而上”是基于水生态功能指标,通过聚类法合并子流域得到二级分区单元。两种方法的结合是基于不同分区级别和不同分区目标考虑,一级分区体现水生态特征的宏观规律性,二级分区体现水生态区内特征的相对一致性。

聚类方法选择二阶聚类法,此方法可以解决聚类变量,既包含连续变量数据,又包含类别变量数据的情况,并可自动确定最终分类个数,对处理大量数据的场景效果较好(崔颖等,2020;钟异莹等,2020),常被用于国土空间规划分区(Gao et al, 2011;黄隆杨等,2021)。利用 ArcGIS 水文分析工具并参考一、二、三级河流(图1)生成子流域并通过 SPSS 二阶聚类方法,以高程、植被指数、河渠、土壤、土地利用等为指标进行聚类分析;以一级分区结果为基础,根据分区原则进行调整,将分散的子流域分组成较大的相邻群集。

1.4.2 分区结果应用 水生态功能分区及其在钉螺控制中的应用流程如图2所示。钉螺孳生区域在地理单元内具有相对一致性,在区域间具有差异性,这是钉螺分区防控的依据。本文利用 ArcGIS 统计各水生态功能区螺情,包括有螺村占比、有螺面积比和钉螺孳生环境类型等以及适宜钉螺孳生的地理环境因素,即本文水生态分区指标,包括地形、植被、河渠、土壤和土地利用等,并探讨各水生态功能区螺情及其与环境因素的相关性,为钉螺控制提出合理化建议。其中,有螺村占比=有螺村数/总村数;有螺面积比=实有钉螺面积/区域面积。

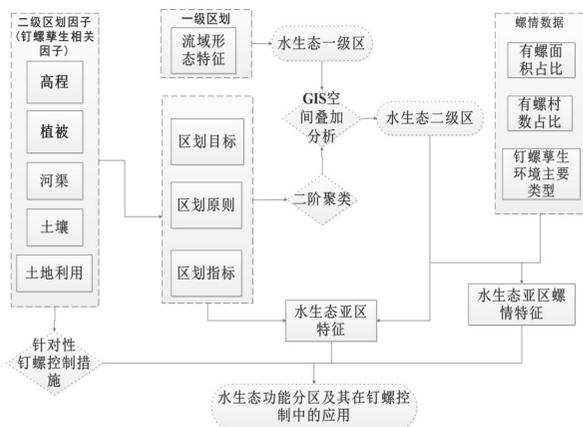


图2 水生态功能分区及其在钉螺控制中的应用流程

Fig.2 Schematic diagram of aquatic ecological function zoning and its application in snail control

## 2 结果与分析

### 2.1 一级分区

江汉平原水生态功能一级分区按照主导水系进行,共划分为2个一级功能区,包括汉江流域水生态区和长江流域水生态区(图3)。汉江流域生态区(I)位于江汉平原东北部,面积8 576.64 km<sup>2</sup>,行政区包括应城市、汉川市、仙桃市、天门市和潜江市东北部;长江流域生态区(II)位于江汉平原西南部长江沿线,面积16 790.94 km<sup>2</sup>,行政区包括枝江市、荆州区、沙市区、江陵县、石首市、松滋市、公安市、监利县和洪湖市。两区的分界线为汉江流域边界。

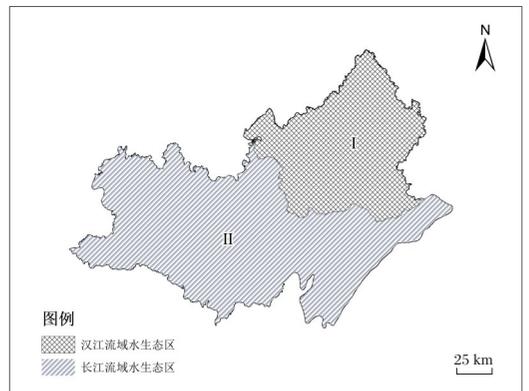


图3 一级水生态功能分区

Fig.3 First-level zoning map of aquatic ecological function

### 2.2 二级分区及应用

在一级分区的基础上,二级分区基于环境指标,以子流域为单元,利用二阶聚类进行划分,参与聚类的指标有高程、NDVI、河渠密度、土壤和水田占比(图4)。汉江流域水生态区(I)分为3个水生态亚区,长江流域水生态区(II)分为6个水生态亚区(图5)。两个一级分区内分别进行了二阶聚类,二级分区的凝聚和分离的轮廓测量值分别是0.4(I)和0.3(II),表示聚类效果较好(图6)。二级分区按照“区位+地貌类型或主导河流”规则命名与分类(表1)。环境指标特征和钉螺分布特征如表2所示。

2.2.1 长江过境类水生态亚区 江汉平原村级钉螺分布见图7。通顺河流域水生态亚区(I-3)主要包括仙桃市和潜江市东南部,平均海拔25.71 m,主要河流为通顺河,河渠密度较高(17.4 m/hm<sup>2</sup>),平均植被指数(NDVI)居中(0.37)。该区域同时具有垸外钉螺孳生地钉螺面积大和垸内钉螺孳生地钉螺分布集中的特征,有螺村数占该分区内村总数的53.20%,有螺面积占区域总面积的3.91%,螺情仍较为严峻。

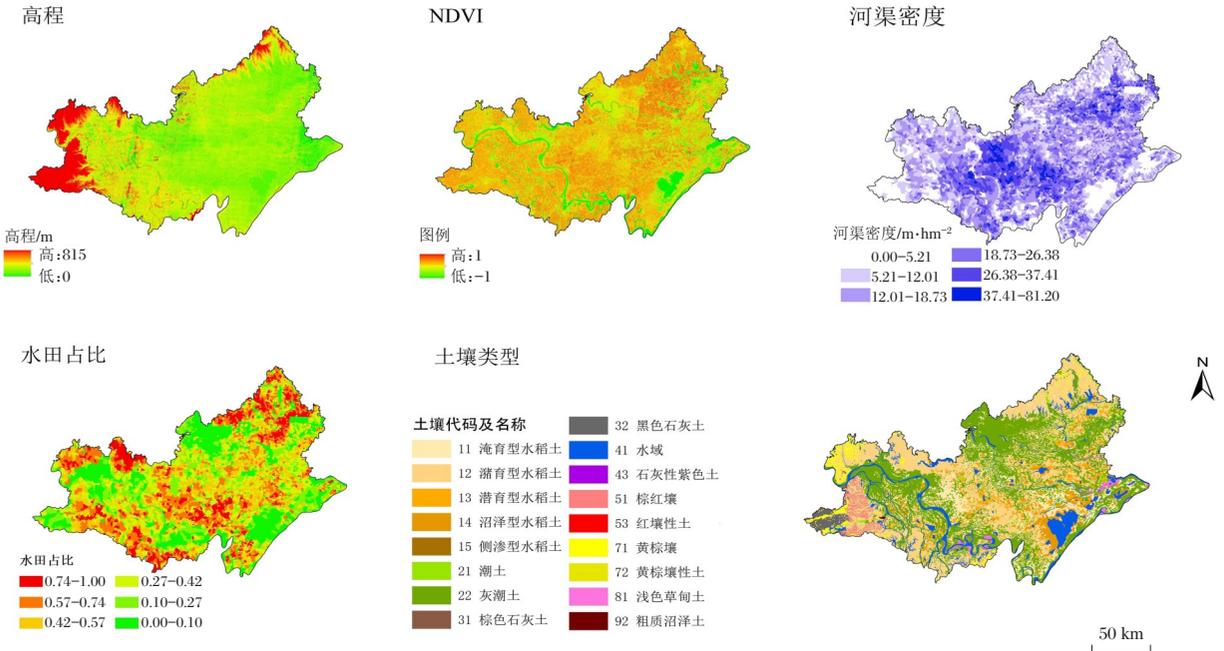


图 4 聚类环境指标

Fig.4 Environment factors used for cluster analysis

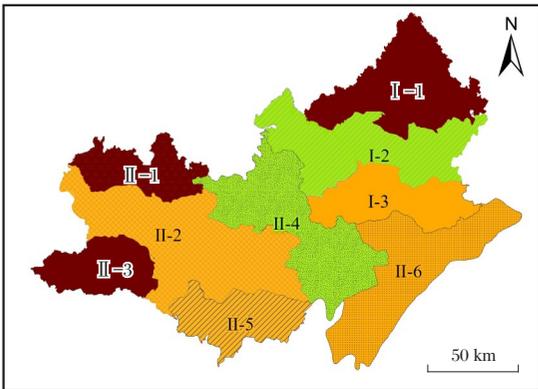


图 5 二级水生态功能区

Fig.5 Secondary-level zoning map of aquatic ecological function

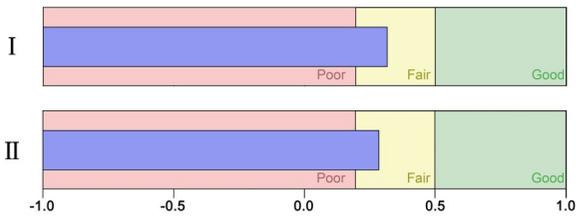


图 6 凝聚和分离的轮廓测量

Fig.6 Silhouette measure of cohesion and separation

江汉平原西部沿江水生态亚区(II-2)主要包括枝江市荆州区沙市区南部、公安县江陵县大部、松滋市石首市北部、监利县西部,平均海拔 37.78 m,主要河流为汇入长江的木天河、松滋河、蛟子河等,河渠密度高(20.95 m/hm<sup>2</sup>),平均 NDVI 较高(0.39)。该区

域钉螺孳生地有垆内型和垆外型,有螺村数占该分区内村总数的 51.89%,有螺面积占区域总面积的 1.68%,螺情较严峻。

表 1 水生态功能区名称编号对照

Tab.1 Introduction of different aquatic ecological function zones

长江过境类	名称	丘陵主导类	名称	河渠主导类	名称
I-3	通顺河流域亚区	I-1	汉北丘陵亚区	I-2	汉江天南总干渠平原亚区
II-2	江汉平原西部沿江亚区	II-1	江汉平原西北丘陵亚区	II-4	江汉平原中部四湖总干渠平原亚区
II-5	江汉平原藕池河流域亚区	II-3	江汉平原西南流水流域亚区		
II-6	江汉平原洪湖亚区				

江汉平原藕池河流域水生态亚区(II-5)主要包括石首市、公安县东南部,平均海拔 36.97 m,主要河流有藕池河、民建渠等,河渠密度较高(16.11 m/hm<sup>2</sup>),平均 NDVI 高(0.4)。该区域钉螺孳生地主要为垆外型,有螺村数占该分区内村总数的 28.23%,有螺面积占区域总面积 3.93%。

江汉平原洪湖水生态亚区(II-6)主要包括洪湖市、监利县南部,平均海拔 25.51 m,主要河流有内荆河、东荆河和蔡家套河,除洪湖外河渠密度相对较低(10.73 m/hm<sup>2</sup>),平均 NDVI 居中(0.33)。该区域钉螺

表2 二级水生态区特征

Tab.2 Features of secondary-level aquatic ecological function zones

编号	面积 /km <sup>2</sup>	平均海拔 /m	主要河流	河渠密度 /m·hm <sup>-2</sup>	钉螺环境 类型	有螺村 占比/%	有螺面积 占比/%	水田 占比/%	NDVI	主要土壤类型
I-1	3104.28	31.42	汉北河、南支河、北支河	13.52	垅外、垅内	9.38	1.01	49.32	0.29 (0.17~0.50)	灰潮土
I-2	3354.7	29.55	黄丝河、天南总干渠	18.03	垅内	9.59	0.18	27.70	0.40 (0.20~0.53)	灰潮土
I-3	2116.61	25.71	通顺河、四方河	17.40	垅外、垅内	53.20	3.91	39.52	0.37 (0.14~0.55)	潴育型水稻土
II-1	1533.29	52.00	玛瑙河、鲜家港、太湖港	12.84	山丘	21.57	0.50	55.04	0.29 (0.16~0.41)	灰潮土
II-2	4782.21	37.78	木天河、松滋河、虎渡东	20.95	垅外、垅内	51.89	1.68	35.86	0.39 (0.15~0.53)	淹育型水稻土
II-3	1567.99	130.94	澧水、新河	9.12	山丘	40.00	1.09	41.78	0.37 (0.18~0.48)	潴育型水稻土
II-4	3618.33	26.90	田关河、监新河、排涝河	22.85	垅内	41.70	1.84	45.06	0.37 (0.11~0.58)	潴育型水稻土
II-5	1818.76	36.97	华容河、藕池河、民建渠	16.11	垅外	28.23	3.93	44.01	0.40 (0.21~0.52)	潴育型水稻土、 灰潮土
II-6	3466.52	25.51	洪湖、内荆河、蔡家套河、彭湖	10.73	垅内	35.26	2.52	29.78	0.33 (0.12~0.50)	潴育型水稻土、 灰潮土

NDVI: 二级水生态区 NDVI 均值(二级水生态区内子流域 NDVI 均值的最大、最小值)

NDVI: NDVI mean value of level II aquatic ecological function zones (maximum and minimum NDVI mean values)

孳生地主要为垅内型,但东荆河南岸垅外型钉螺分布面积也较大,有螺村数占该分区内村总数的35.26%,有螺面积占区域总面积的2.52%,水田占比较小,为29.78%。

澧河、鲜家港,河渠密度较低(12.84 m/hm<sup>2</sup>),平均NDVI较低(0.29)。该区域钉螺孳生地主要为山丘型,钉螺沿水系由高海拔向低海拔分布,有螺面积占区域总面积的0.5%。水田占比高达55.04%,螺情却得到较好控制,一方面是相对贫瘠的灰潮土不利于钉螺生长;另一方面,有螺区环境改造使NDVI均值降低,从而缩减河渠与洲滩等钉螺栖息地(余凤苹等,2013;李胜明等,2017)。

江汉平原西南澧水流域水生态亚区(II-3)主要包括松滋市南部、公安县西南部,平均海拔130.94 m,主要河流为澧水和新河,河渠密度低(9.12 m/hm<sup>2</sup>),平均NDVI居中(0.37)。该区域钉螺孳生地主要为山丘型,钉螺主要分布于河流下游,有螺村数占该分区内村总数的40%,有螺面积占区域总面积的1.09%,螺情形势相对平缓。

2.2.3 河渠型水生态亚区 汉江天南总干渠平原水生态亚区(I-2)主要包括天门市与汉川市南部、潜江市东北部和仙桃市北部,平均海拔29.55 m,主要河流为黄丝河、天南总干渠,河渠密度中等(18.03 m/hm<sup>2</sup>),平均NDVI较高(0.4)。该区域钉螺孳生地主要为垅内型钉螺,有螺村数占该分区内村总数的9.59%,有螺面积占区域总面积的0.18%,螺情得到了有效控制。

江汉平原中部四湖总干渠平原水生态亚区(II-4)主要包括潜江市中西部、沙市区江陵县东北部、监利县北部,平均海拔26.90 m,主要河流为田关河与排涝河,河渠密度高(22.85 m/hm<sup>2</sup>),平均NDVI较高(0.37)。该区域钉螺孳生地主要为垅内型,有螺村数

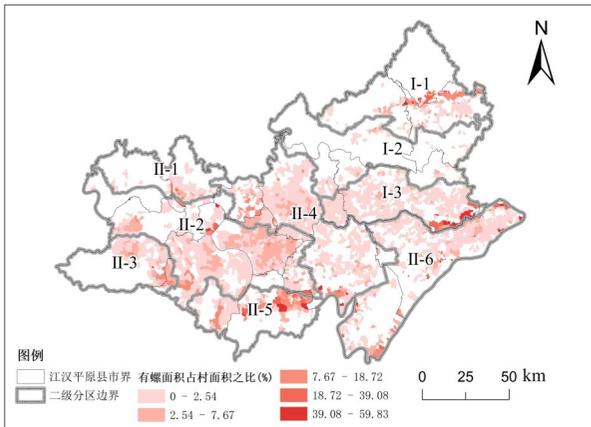


图7 江汉平原村级钉螺分布

Fig.7 Oncomelania snail distribution at the village level in Jianghan Plain

2.2.2 丘陵主导类水生态亚区 汉北丘陵水生态亚区(I-1)主要包括应城市、汉川市北部和天门市北部,平均海拔31.42 m,主要河流为汉北河,河渠密度较低(13.52 m/hm<sup>2</sup>),平均NDVI较低(0.29)。北部丘陵区已基本没有钉螺分布,主要集中在汉北河沿岸的低海拔区域,钉螺孳生地主要为垅内型和垅外型,有螺面积占区域总面积的1.01%,但该区域水田面积大(49.32%)。

江汉平原西北丘陵水生态亚区(II-1)主要包括枝江市和荆州区北部,平均海拔52 m,主要河流为玛

占该分区内村总数的41.70%，有螺面积占区域总面积的1.84%，螺情较为严峻。

### 3 讨论

#### 3.1 不同流域水生态功能分区的主要影响因素

水生态功能分区的一二级分区等大尺度的分区指标体系包含地形、土壤、气候、植被、水质及人类活动等(王海花等,2015)。辽河流域二级水生态分区研究中,分区结果主要受地形特征以及植被分布影响(孟伟等,2007);太湖流域一级水生态分区的研究中,地形地势被认为是主导因素(Gao et al,2011);在江苏省和济南市的水生态分区研究中,集水面水文条件是重要的影响因素(王海花等,2015;张欣等,2016)。本文参考了以往水生态功能分区中的诸多重要影响因素,在流域边界、地貌、植被、河网、土壤、土地利用等多种数据的支撑下,采用系统分析法和二阶聚类法进行了江汉平原水生态功能一级、二级区的划分。

#### 3.2 功能分区应注重流域水生态区划和螺情要素

区划理论至今已经形成较为成熟的一套体系与方法论,区划方法也通过不同形式应用于血防工作中。我国血吸虫病流行区按地理环境、钉螺分布特点和血吸虫病流行特征被分为平原水网型、山区丘陵型和湖沼型3种类型,湖沼型流行区又分为垸内和垸外。目前,江汉平原钉螺控制已进入以螺情分区分级为精准防控的新阶段。以往的研究以行政村级螺情动态要素(环境特征、螺情现状、孳生环境和控螺覆盖率)为聚类指标构建的江汉平原钉螺防控一二级分类能有效反映螺情及控螺的区域分异(崔颖等,2020)。然而,以行政村为聚类单元往往忽略了行政村之间的空间相关性,这导致分区结果完整性较差,较为琐碎的分区结果不利于钉螺控制措施在中大尺度下的协同应用。本文以流域水生态区划和螺情要素共有的全局指标(高程、植被、河渠、土壤和土地利用)为基础进行水生态功能区划,并将区划结果应用于钉螺控制。流域的相对完整性使得分区结果具备共轭性,分区指标与钉螺孳生的相关性有利于水生态功能区划应用于钉螺防控。

#### 3.3 不同类型水生态功能分区的钉螺控制策略

3.3.1 长江过境类 钉螺孳生环境与水体生态特征密切相关(Leonardo et al,2020)。以水生态功能分区为螺情统计单元,发现沿长江及其一级支流分布的水生态分区钉螺分布面积广、控螺措施覆盖成本高、难度大、螺情反复,如通顺河流域水生态亚区(I-3)、江

汉平原西部沿江水生态亚区(II-2)和江汉平原藕池河流域水生态亚区(II-5)、江汉平原洪湖水生态亚区(II-6),这些区域控螺灭螺措施需以钉螺栖息地环境改造为主,如河渠坡面硬化和洲滩环境综合治理。

通顺河流域水生态亚区(I-3)螺情没有得到有效控制,一方面是潴育型水稻土有适宜钉螺孳生的丰富有机质、氮磷钙等;另一方面是因为东荆河等支流、渠道复杂,而水利血防综合治理项目主要集中在流域面积200 km<sup>2</sup>以上的河流,无法覆盖规模较小的支流和沟渠如干渠、支渠、斗渠和毛渠等(洪志华,2018);为有效缩减有螺区,该区域应当实行垸内有螺环境综合治理为主要对策的防治措施。江汉平原西部沿江水生态亚区(II-2)河渠密度较高,未经渠面改造的河渠是钉螺适生环境;该区域应当推进水渠改造等农村基础设施建设,减少钉螺孳生环境。江汉平原藕池河流域水生态亚区(II-5)钉螺分布集中在江河沿岸,洪水增加钉螺扩散风险,综合灭螺措施成本高,螺情也时常反复(Lo et al,2018);该区域应当着力加强与长江相关河渠环境改造,通过涵闸沉螺池等方式,确保垸外钉螺不向垸内扩散。江汉平原洪湖水生态亚区(II-6)在洪湖周边存在大量水产养殖用地,该区域应当依据垸内环境,采用浸杀法、喷洒法和铲草皮沿边浸杀法等方法开展药物灭螺;该分区内另有垸外钉螺孳生地,分布在长江及东荆河沿岸洲滩,其钉螺控制应当加强与汉江通顺河流域水生态功能亚区的配合,在有钉螺分布的低洼沼泽地带,以开挖池塘等方式鼓励发展水产养殖,实行蓄水养殖灭螺,着力消减东荆河螺情。

3.3.2 丘陵主导类 丘陵型水生态功能区包括汉北丘陵水生态亚区(I-1)、江汉平原西北丘陵水生态亚区(II-1)和江汉平原西南流水流域水生态亚区(II-3),这些区域钉螺面积变化较小,且现有钉螺主要分布在山前平原沟渠与河流下游,总体应坚持从上游至下游的原则控螺灭螺。

汉北丘陵水生态亚区(I-1)部分行政村钉螺适生环境长期存在,完全消灭钉螺存在较高难度,该区域一方面应当通过环境改造改变湿地生态(水、土、草等);另一方面应进行农业种植结构调整,对有螺区域的水田实施水改旱和深翻等措施。江汉平原西北丘陵水生态亚区(II-1)和江汉平原西南流水流域水生态亚区(II-3)螺情控制形式较好,钉螺流行区主要集中在流水中下游,该区域应当保持钉螺控制措施不动摇,坚持先上游后下游的原则,循序渐进减少钉螺适生环境。

3.3.3 河渠主导类 河渠型的水生态区包括汉江天南总干渠平原水生态亚区(Ⅰ-2)和江汉平原中部四湖总干渠平原水生态亚区(Ⅱ-4),该区域钉螺栖息地分布零散、根除难度较大,螺情总体减少但局地偶有反复(范强等,2018;张卫星等,2020)。这些区域应当运用3S技术,在精准识别钉螺防控靶点的基础上,采取定点药物灭螺等方式控制钉螺。

汉江天南总干渠平原水生态亚区(Ⅰ-2)螺情处于低度流行状态,应当继续保持当前钉螺防控措施,并通过在集水面间联通处建设沉螺池等工程措施,减少钉螺向无螺区域扩散。江汉平原中部四湖总干渠平原水生态亚区(Ⅱ-4)河渠水田密集,钉螺控制措施应当主要通过土地整治(沟渠挖新填旧、水田坑塘填埋改旱地)和河渠小环境治理等。

综上所述,“预防为主、综合治理、群防群治”一直以来是我国血吸虫病防治工作的基本方针。血吸虫的传播涉及人等动物宿主、中间宿主钉螺及其共同生存并能完成传播的外界环境(王建民,2012)。水生态功能分区应用于钉螺控制是基于中断血吸虫生命周期的任何一步都会阻断其传播的观点,功能分区法应用于钉螺防控,有助于防控措施的精细化,使得在血防投入有限的情况下取得更显著的成效。本文通过水生态功能分区及归纳分析各功能区的水生态和螺情特征,可为钉螺控制策略提供新思路与技术支持。

#### 参考文献

常变蓉,李仁东,徐兴建,等,2014. 江汉平原土地利用对钉螺分布的影响研究[J]. 长江流域资源与环境, 23(3):380-384.

崔颖,邱娟,徐兴建,等,2020. 江汉平原钉螺螺情的时空变化及其精准防控分区探讨[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 54(4):721-733.

范强,张斌,徐灿,等,2018. 1956-2017年湖北潜江市钉螺分布回顾性分析[J]. 热带病与寄生虫学, 16(3):163-164,167.

洪志华,2018. 湖北省血吸虫病消除工作面临的主要挑战[J]. 中国血吸虫病防治杂志, 30(6):685-687.

湖北省人民政府,2019. 湖北年鉴[M]. 武汉:湖北年鉴社.

黄隆杨,王静,李泽慧,等,2021. 基于自然资源大数据的城市多功能景观识别与国土空间规划分区[J]. 地球信息科学学报, 23(9):1617-1631.

黄晓霞,江源,熊兴,等,2012. 水生态功能分区研究[J]. 水资源保护, 28(3):22-27.

蒋俊明,何亚平,费世民,等,2006. 山丘型地区钉螺孳生数量与植被和土壤环境因子的关系[J]. 湿地科学与管理, 2(4):33-39.

李昌花,2013. 生态功能保护区生态功能确定及分区原则[J].

江西化工, (4):25-26.

李胜明,李石桂,任光辉,等,2017. 湖南省君山区区内钉螺控制措施及其效果[J]. 中国血吸虫病防治杂志, 29(5):550-553.

李艳梅,曾文炉,周启星,2009. 水生态功能分区的研究进展[J]. 应用生态学报, 20(12):3101-3108.

孟伟,张远,郑丙辉,2007. 辽河流域水生态分区研究[J]. 环境科学学报, 27(6):911-918.

饶滴滴,胡飞,卢成芳,等,2018. 基于 Landsat 8 影像的鄱阳湖钉螺与环境遥感指标关系研究[J]. 江西科学, 36(4):599-604,610.

王海花,叶亚平,晁丽君,等,2015. 江苏省流域水生态功能分区[J]. 重庆理工大学学报, 29(5):130-136.

王建民,2012. 血吸虫病及其防治[M]. 北京:金盾出版社.

魏保义,张文静,张晶,等,2015. 水生态分区方法在城市规划中的应用——以北京市为例[J]. 水利水电技术, 46(4):39-43.

余凤莘,徐勇,马蓓蓓,等,2013. 宜昌市 1956-2012 年血吸虫病防治措施与效果[J]. 公共卫生与预防医学, 24(6):56-59.

张利娟,2008. 鄱阳湖区水位变化对血吸虫病传播的影响[D]. 北京:中国疾病预防控制中心.

张卫星,元艺,谈云中,等,2020. 2015-2018年天门市血吸虫病监测点疫情分析[J]. 中国血吸虫病防治杂志, 32(1):97-99.

张欣,徐宗学,殷旭旺,等,2016. 济南市水生态功能区划研究[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 52(3):303-310.

张许诺,赵英,郭亮,2019. 基于数据融合技术的松花江流域水生态功能分区[J]. 哈尔滨工业大学学报, 51(8):80-87.

赵安,2010. 血吸虫病生态学及其中国疫区分类的地理解释[J]. 长江流域资源与环境, 19(8):959-963.

钟异莹,陈坚,邵毅明,2020. 基于二阶聚类的城市交通弱势群体细分算法[J]. 计算机应用研究, 37(S1):132-134.

Adekiya T A, Aruleba R T, Oyinloye B E, et al, 2020. The effect of climate change and the snail-schistosome cycle in transmission and bio-control of schistosomiasis in Sub-Saharan Africa[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(1): 181.

Gao Y, Gao J, Chen J, et al, 2011. Regionalizing aquatic ecosystems based on the river subbasin taxonomy concept and spatial clustering techniques[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 8(11): 4367-4385.

Leonardo L, Varona G, Fornillos R J, et al, 2020. *Oncomelania hupensis quadrasi*: Snail intermediate host of *Schistosoma japonicum* in the Philippines[J]. Acta Trop, 210:105547.

Lo N C, Gurarie D, Yoon N, et al, 2018. Impact and cost-effectiveness of snail control to achieve disease control targets for schistosomiasis[J]. Proc Natl Acad Sci USA, 115(4): 584-591.

## Aquatic Ecological Function Zoning and Its Application for *Oncomelania hupensis* Control on the Jiangnan Plain

HAN Dong-feng<sup>1,2,3,4</sup>, QIU Juan<sup>2</sup>, ZHANG Dao-xi<sup>5</sup>, ZHAO Na<sup>5</sup>, XIAO Ying<sup>6</sup>, ZHU Hong<sup>6</sup>,  
SHAO Qi-hui<sup>1,2</sup>, HAN Yi-fei<sup>1,2</sup>, LI Ren-dong<sup>2</sup>

(1. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, P.R. China;

2. Key Laboratory of Monitoring and Estimate for Environment and Disaster of Hubei Province, Innovation Academy for Precision Measurement Science and Technology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, P.R. China;

3. Key Laboratory for Meteorological Disaster Prevention and Mitigation of Shandong, Jinan 250031, P.R. China;

4. Shandong Provincial Climate Center, Jinan 250031, P.R. China;

5. Key Laboratory of Ecological Impacts of Hydraulic-projects and Restoration of Aquatic Ecosystem of Ministry of Water Resources, Institute of Hydroecology, Ministry of Water Resources and Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430079, P.R. China;

6. Hubei Center for Disease Control and Prevention, Wuhan 430079, P.R. China)

**Abstract :** Monitoring and controlling oncomelania snails is the key to confining the schistosomiasis epidemic. Previous studies on oncomelania snail control and prevention were typically based on the administrative region or pixel scale, and the allocation of snail control resources depended on expert experience or a single geographical environment factor, which can lead to misestimates of the oncomelania snail control area and the need for prevention. In the project described here, aquatic ecological function zoning was conducted in the Jiangnan Plain, and oncomelania snail monitoring and control were then discussed, based on distribution of the oncomelania snails in the different ecological zones. First-level aquatic ecological function zoning used the watershed as the basic unit with top-down interpretation. Second-level zoning was based on ecological function indices including elevation, vegetation, river channels, soil, and land use, with bottom-up clustering. There were two primary first-level zones, including Hanjiang River basin ( I ) and Yangtze River basin ( II ). There were 9 ( I -1-3, II -1-6 ) second-level partitions, and the Sihouette measures of cohesion and separation values were 0.4 and 0.3, indicating good clustering. According to the distribution of oncomelania snails and the geographical environment characteristics of the second-level ecological function zones, the 9 ecological function zones were divided into three types: Yangtze River transit ( I -3, II -2, II -5, II -6 ), hill dominant ( I -1, II -1, II -3 ) and river channel dominant ( I -2, II -4 ). Finally, control strategies for oncomelania snails in the different zones were recommended based on precise zoning of ecological functions. This is the first time that aquatic ecological function zoning has been used to prevent and control *Oncomelania hupensis* and it will provide new ideas and support for more effective oncomelania snail control.

**Key words :** aquatic ecosystem; ecological function zoning; oncomelania snail control; Jiangnan Plain