

稻虾共作快速发展背景下潜江 耕地时空变化特征分析

夏天^{1,3} 方鹤楠¹ 纪文文¹ 李洪涛² 严浩² 吴文斌³¹

(1. 地理过程分析与模拟湖北省重点实验室/

华中师范大学城市与环境科学学院, 湖北 武汉 430079;

2. 潜江市自然资源和规划局, 湖北 潜江 433102;

3. 中国农业科学院 农业资源与农业区划研究所, 北京 100081)

【摘要】: 虾稻共作综合种养模式近年来在长江中下游地区快速发展,探索虾稻共作对农业土地利用的影响,对于科学调控虾稻田发展、确保粮食和生态双安全具有重要意义。该研究以虾稻共作模式发源地——湖北潜江市为研究区域,利用空间分析和破碎度指数方法,分析虾稻共作模式快速推广下潜江市农业土地利用时空格局变化。结果表明:(1)近20年来,耕地时空格局变化过程是以园林办事处(主城区)为中心的建设用地向西至广华镇、南至杨市镇不断扩张,耕地转为新增建设用地达28.64km²,约18.59km²耕地转换为水域;(2)耕地格局呈现破碎化,主要由城市发展过程中建设用地扩张占用耕地,以及虾稻田快速发展后造成;(3)虾稻田主要由水田转换而来,部分旱地及水域也转换为虾稻田。虾稻田的不断扩张,特别是旱地和水域转换为虾稻田,一定程度上带来耕地破碎化。因此,在我国农业劳动力不足、农民收入不高和种地积极性不强等因素下,未来虾稻田种植模式对耕地利用具有较好的潜力和空间,但也需要重点关注虾稻共作模式的可持续发展,重点基于水田发展虾稻田种养模式。

【关键词】: 土地资源 耕地利用 时空变化 虾稻田 破碎度

【中图分类号】:F323.211 **【文献标识码】:**A **【文章编号】:**1004-8227(2020)12-2709-10

小龙虾(克氏原螯虾)原产于美洲,许多国家将它视为一种害虫,主要因为小龙虾会破坏水稻的幼苗,在堤坝上挖洞导致水分流失,造成水稻减产^[1,2]。19世纪20年代,小龙虾从国外传入中国,从我国江浙一带逐渐传至长江中下游等地区。随着小龙虾的养殖技术不断革新,湖北省潜江市在2001年提出了“稻虾连作”生态养殖模式,后来又不断探索创新,2013年发展为“虾稻共作”模式,龙虾养殖与水稻种植在时间和空间上有机结合,形成资源节约、环境友好和循环高效的立体生态农业生产方式。虾稻共作

作者简介: 夏天(1981~),男,副教授,主要研究方向为农业定量遥感、土地资源与环境遥感和空间模型。E-mail:xiatian@mail.ccnu.edu.cn

吴文斌 E-mail:wuwenbin@caas.cn

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFA0607401);湖北省自然科学基金(2016CFB558);中央高校基本科研业务费(CCN19TS045)

模式具有较高的经济效益,该模式迅速在长江中下游地区(湖北、江苏、湖南和安徽等)、山东、云南等进行推广^[3]。2018年全国小龙虾养殖面积超过 $11.2 \times 10^5 \text{hm}^2$,其中虾稻综合种养模式占 75%,约为 $8.4 \times 10^5 \text{hm}^2$,虾稻共作模式已经成为我国耕地利用的一种新方式^[4]。由于该模式改变了传统的耕作方式,全国大范围的迅速推广引发了对耕地效益和生态环境等担忧。因此,在我国提出加强耕地数量、质量和生态“三位一体”保护政策下,虾稻共作方式对耕地利用的影响需重视和探究。

已有国内外学者针对虾稻田开展了众多研究。一方面,从宏观层面分析研究虾稻田模式对产业发展的影响。研究发现,虾稻田对当地社会经济发展具有正向的推动作用,能够应对气候变化、实现稳量增收,带动当地相关产业的发展^[5,6]。如胡银根等从供给侧结构性改革的角度研究了湖北潜江的虾稻田种养,提出在进行土地整治时,兼顾虾稻田模式,贯彻绿色理论,能够推动当地发展^[7]。王晓飞等^[8]采用非同质 DEA 模型探究湖北省荆州市和潜江市虾稻共作土地经营模式成本,发现该模式能够保证水稻产量并有助于农户提质增效。Bunting 等^[9]采用 SWOT 框架对孟加拉国地区的虾稻种养模式进行研究,发现多样化的虾稻农业有助于应对气候变化,提高盐碱化土地的水稻产量。另一方面,从微观层面研究虾稻田模式对生态环境的影响。从温室效应角度看,虾稻田模式能明显降低温室气体排放强度,实现绿色种植^[10~13]。如 Kruse 等^[14]对越南湄公河三角洲地区的虾稻田研究发现,该模式能够改善水稻整体营养状况和土壤盐度;Clavero 等^[15]分析埃布罗三角洲稻田与鱼、小龙虾直接的相互影响,及其对水稻产量之间具体较好的影响。上述两个方面的研究都表明,虾稻田模式对经济和生态均具有较多优势。然而,从土地利用的角度看,虾稻模式作为一种新的农业土地利用方式,其独特的种养特点势必会带来农田地表景观的变化和扰动,影响水土资源的利用格局和效率。目前,小龙虾产业的快速扩张已引发部分学者对耕地面积减少、耕地生态效益下降、耕地破碎度增加等担忧^[16~18]。因此,迫切需要从土地利用学科角度,系统分析和掌握稻虾共作快速发展背景下耕地时空变化特征,便于加强管理,保证产业健康发展。

基于此,本研究选取虾稻共作模式的发源地——湖北潜江市作为研究区,系统分析小龙虾产业快速发展带来的虾稻田不断扩张,研究虾稻模式发展对耕地利用时空格局的影响。具体地,试图将土地利用格局变化、虾稻田空间转换及破碎度指数三者结合分析,通过研究虾稻田的发展对耕地格局及破碎度的影响,探讨该模式对耕地的影响程度。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

湖北省潜江市($112^{\circ} 29' E \sim 113^{\circ} 01' E, 30^{\circ} 04' N \sim 30^{\circ} 39' N$)位于江汉平原腹地(图 1),河渠纵横交错,湖泊星罗棋布,是我国水稻、棉花和油菜等农产品的主要产区,也是著名的水产区。该地区四季分明,年平均气温 16.1°C ,热量、雨量比较充足,全年无霜期约 250d,适宜种植农作物。潜江市土地总面积为 2004km^2 ,其中耕地占总国土面积 60%,旱地面积 552.80km^2 ,水田面积 649.10km^2 。2001 年潜江提出虾稻连作模式,2013 年又改造为新的虾稻共作模式。近年来,潜江市高度重视小龙虾产业发展,力争打造全国虾稻产业第一市,将小龙虾做成农业供给侧结构性改革的标杆产品。目前,稻虾种养模式在全市全面推广,近 5 年来虾稻田增加速度十分迅猛,以每年 100km^2 新增量增长,2019 年全市达到约 510km^2 的种植规模。潜江市已成为我国最大的小龙虾出口基地,已远销至 30 多个国家和地区,出口创汇 1.5 亿美元,小龙虾成为该城市的名片和支柱产业之一^[19]。



图 1 2015 年潜江市土地利用图

虾稻田面积大小不限,一般以 3.33hm^2 为宜,与普通水稻田不同之处是它沿着稻田田埂外延向内开挖 $3\sim 4\text{m}$ 的环型沟,沟深 $1\sim 1.5\text{m}$ 。如果是较大田块,则开挖成“井”字或“田”字型沟。“虾稻共作”模式即虾稻田一个生育期内种植一季中稻和养殖两季小龙虾,当年 9 月份开始灌水、投虾苗,开始第一季龙虾养殖,至第二年 5 月份开始捕捞,这期间通常水位达到 $40\sim 50\text{cm}$ 。同年 5 月底补充虾苗后开始第二季小龙虾养殖,6 月开始缓慢排水,使虾苗进入围沟,并完成中稻插秧。7 月份稻田烤田后及时复水,小龙虾重新进入稻田,实现了真正的虾稻共作。直到 9 月份再次进行排水,进行第二季小龙虾捕捞后完成中稻的收割工作。随着虾稻田种养模式不断推广,必将对该地区的土地利用格局产生较大影响。

1.2 数据来源

本文收集潜江研究区的土地利用和虾稻田相关统计数据及空间数据,其中,土地利用空间数据为中国科学院资源环境科学数据中心 (www.resdc.cn 资源环境数据云平台) 的 2000、2005、2010、2015 和 2018 年 5 期 30m 土地利用遥感监测数据进行研究区土地利用空间格局变化分析,该数据包括耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地 6 个一级类型以及 25 个二级类型。该数据 6 个一级类型及耕地内部的 2 个二级类型(旱地和水田)进行分析研究;虾稻田空间分布面积及样点数据均来自 2018 和 2019 年虾稻种植初期和成熟期的实地调研获取,空间格局数据为 Sentinel-2A 遥感影像解译数据。虾稻田作为新的耕地利用方法,虽然田块上种植水稻,具有水田的特点,但又存在单独灌水养虾而有别于传统水田,故视为一种新的耕地二级分类进行耕地内部时空变化研究。

1.3 研究方法

首先,进行研究区土地利用数据分析,选取 2000、2005、2010、2015 和 2018 年 5 期土地利用数据,每两期划分为一个阶段,进行研究区各土地利用类型的面积变化过程分析,并采用 ArcGIS 空间分析功能对 2000~2018 年 5 期数据进行空间分析,从空间上研究耕地与各地类转换类型。虾稻田的空间数据由 2016 和 2019 年分辨率为 10m 的 Sentinel-2A 遥感数据,通过结合相关研究^[20],选取光谱特征、纹理特征和 NDVI 指数并基于面向对象决策树方法进行获取。利用虾稻田样点数据对 Sentinel-2A 遥感影像解译数据进行检验,该虾稻田空间格局数据生产精度和用户精度 2016 年的结果为 0.86 和 0.89,2019 年的结果为 0.84 和 0.93。

然后,引入景观生态学的破碎度指标来探讨 2000~2018 年研究区耕地利用破碎度情况,并分析其原因。将耕地视为一种单一、均质和连续的景观整体,当它受到自然或者人为干扰之后趋于复杂、异质和不连续的斑块镶嵌状况。分离度作为耕地变化的指标,能够评判在某一景观类型中不同斑块个体分布的分离度,用于反映景观的破碎度,有利于了解耕地的分布状况^[21~24]。采用分离度

指数 (SPLIT) 指标对各乡镇进行耕地变化探讨, 以期解析土地利用变化对该地区景观生态的影响, 等于景观面积的平方除以所有斑块面积的平方和, 具体公式为:

$$SPLIT = \frac{A^2}{\sum_{j=1}^n a_{ij}^2}$$

式中: A 为景观面积; a_{ij} 为各斑块面积; i 为景观类型; j 为斑块数。

最后, 结合耕地时空格局变化过程和破碎度变化情况, 进行研究区从虾稻连作模式到虾稻共作模式快速发展对耕地利用影响分析。研究通过分析虾稻连作模式影响的基础上, 选取虾稻共作模式发展初期 2010 年和快速发展期 2015 年作为研究时间节点, 对潜江市土地利用格局数据与 2016、2019 年第一季虾稻田空间分布数据进行空间分析, 从空间位置和利用类型两个角度来解析 2010~2015、2015~2019 年虾稻田与各土地利用类型之间的转换, 重点研究虾稻田模式发展对耕地利用的影响。

2 结果与分析

2.1 耕地时空格局变化

2000 年潜江的耕地总面积为 1509.47km²。2000~2015 年, 耕地面积总体稳定, 略有减少。2000~2005、2005~2010、2010~2015 和 2015~2018 年 4 个阶段分别减少面积 9.59、15.92、26.19 和 1.82km², 变化率分别为 -0.64%、-1.06%、-1.77% 和 -0.12%。

从不同乡镇看 (图 2), 耕地总面积减少排名前 5 位的乡镇为广华、园林、沙洋监狱管理区、龙湾和杨市镇共减少 24.81km², 占整个潜江乡镇耕地减少量近 50%。然后, 对 3 个阶段乡镇的耕地面积变化进行分析, 其中: 第一阶段 (2000~2005 年), 耕地变化较稳定, 西大垸镇有 0.1hm² 的新增耕地, 运粮湖、沙洋监狱管理区和王场镇耕地没有变化, 除积玉口、龙湾和广华镇减少了超过 100hm² 的耕地外, 其它乡镇仅有 20hm² 左右的耕地发生了利用类型转换; 第二阶段 (2005~2010 年), 耕地变化相对较丰富, 张金镇新增耕地 9hm², 西大垸镇再次出现新增耕地为 1hm², 总口、竹根滩和老新 3 个乡镇耕地没有变化, 其它乡镇均不同程度出现耕地减少的现象, 沙洋监狱管理区变化最为明显, 共减少耕地 502.92hm²。第三阶段 (2010~2015 年), 耕地变化的乡镇个数和耕地减少的面积均较前两个阶段变化大, 广华和园林依旧是排名耕地减少量前两名乡镇, 变化面积占全市变量的 25.7%, 其它乡镇也不同程度的大幅减少。第四阶段 (2015~2018 年), 所有的乡镇耕地均发生变化, 但耕地的面积数量变化较少, 王场、潜江开发区、总口、周矶和浩口为耕地减少排名前 5 名乡镇, 共减少耕地 135.18hm², 占全市耕地减少量 61.89%, 西大垸、沙洋监狱管理区、熊口、积玉口、园林和张金出现少量新增耕地, 共 36.27hm²。因此, 潜江市的耕地整体为逐渐减少状况, 其中以人口及产业密集、经济发展较快的广华和园林乡镇较为明显, 以农业闻名的张金、老新、渔洋和竹根滩镇耕地变化较少, 其它乡镇的耕地减少逐年增多。

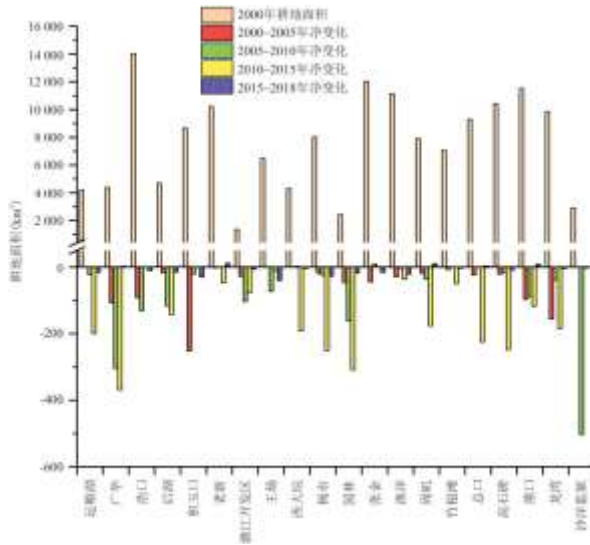


图2 2000~2018年潜江市及各乡镇耕地面积净变化(单位:hm²)

上述研究表明,研究区所有乡镇均呈现耕地净面积下降。从空间分布看(图3),2000~2019年,潜江市的耕地空间变化方向呈现以园林办事处(市政府所在地)为中心,沿汉宜高速向外辐射的变化趋势;耕地转换类型呈现耕地主要转换为建设用地、水域和林地,且转换面积逐年增加。同时,新增耕地面积较少,主要分布在远离市中心(园林办事处)的乡镇。

第一阶段(2000~2005年)耕地减少主要在汉宜高速沿线乡镇,其中有7.57km²耕地转换为水域,主要分布在积玉口、熊口、龙湾、浩口和后湖镇,另有2.12km²耕地转换为新增建设用地,分布在广华、潜江开发区和园林这3个乡镇。第二阶段(2005~2010年)耕地转换主要有三大方向,其一,在城北的沙洋监狱管理区和广华镇有6.86km²耕地转为林地;其二,园林办事处、潜江开发区及各乡镇随着城镇扩张占用8.64km²耕地,在此期间园林办事处和潜江开发区随着城市的发展的建设用地面积扩张较为明显,说明该地区城市建设进一步加快。其三,在汉宜高速以南的浩口、龙湾、运粮湖和熊口镇有1.22km²耕地转换为新增水域。第三阶段(2010~2015年)耕地减少速度明显加快,一类是园林、杨市等中心城区及以南乡镇的扩张建设用地占用耕地约15.61km²,另一类是广华、后湖、运粮湖、龙湾和西大垸镇约10.73km²的耕地转为水域。第四阶段(2015~2018年)耕地变化较平稳,王场、园林、杨市、后湖和积玉口镇建设用地占用耕地1.09km²,耕地转为水域主要在王场镇约有0.01km²。因此,潜江市近20年来的耕地时空格局变化过程是以园林办事处为中心的建设用地不断向西至广华镇,南至杨市镇不断扩张,耕地转为新增建设用地达28.64km²;以高速以南的浩口、积玉口、后湖、龙湾、运粮湖和西大垸镇这些农业为主乡镇约18.59km²耕地转换为水域。

2.2 耕地破碎度变化

2000~2018年期间,潜江市耕地破碎度整体表现为越来越剧烈的趋势(图4),其中2000~2010年期间分离度变化率较小,耕地格局相对稳定,破碎变化情况较少;2010~2015年耕地分离度SPLIT变化率增大,破碎化较前一阶段明显,耕地破碎化较为严重;2015~2018年期间,耕地继续保持前一阶段的破碎化状态,大部分乡镇的耕地分离度SPLIT变化率保持1%~3%的增加。综合分析潜江市各乡镇的耕地破碎化情况,60%的乡镇耕地分离度变化率在10%以下,高石碑、广华、潜江开发区、园林、杨市和总口镇相对较高,耕地分离度变化率在30%~95%;沙洋监狱管理区情况比较特殊,仅在2005~2010年期间的耕地分离度变化率高达187%,其它时段均较低,变化率几乎为0。研究区耕地分离度具体表现可归纳成以下几种类型:(1)稳定型。浩口、老新、王场、熊口、渔洋、张金和竹根滩的耕地分离度变化较小,这些乡镇的耕地SPLIT的变化率均在3%以下,特别是老新镇耕地格局非常稳定,仅2010~2015年期间有1%左右的变化率,其它时段均无变化;渔洋、张金镇耕地SPLIT变化率也较低均低于1%。(2)变化型。广华、高石碑、潜江开发区、园林、杨市、总口镇和沙洋监狱管理区均出现个别时段超过30%的SPLIT变化率,大部分乡镇属于高速沿线的快速发展乡镇。(3)持续变化型。龙湾、运粮湖、周矶和后湖镇的耕地SPLIT变化率2000~2018年期间一直增加,呈逐

渐加剧的趋势。



图 3 2000~2018 年耕地转换过程

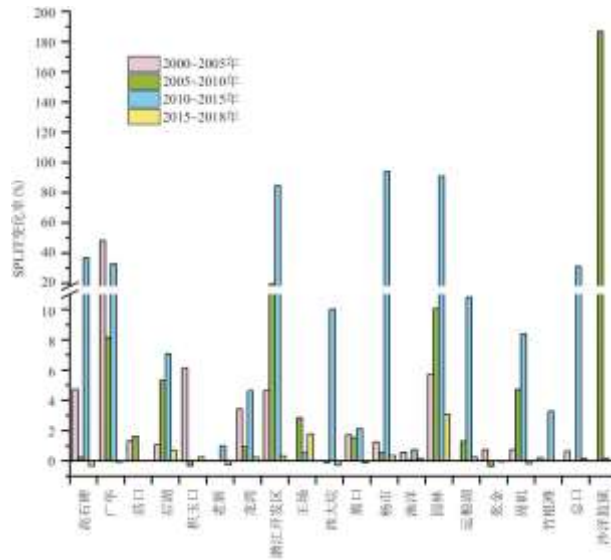


图 4 2000~2018 年潜江市耕地景观分离度

2.3 虾稻种养模式发展对耕地格局的影响

为了进一步研究虾稻共作模式下的耕地格局变化情况, 针对以上研究分两个时间段开展虾稻田与各土地利用类型的转换研究。第一阶段, 2010~2015 年潜江市虾稻田主要分布在汉宜高速以南的区域(图 5), 如浩口、运粮湖、熊口、张金、龙湾和西大垸等乡镇, 其它乡镇均有少量分布。虾稻田主要由耕地、水域和林地 3 种土地利用类型转换而来, 其中: 最主要由耕地(水田和旱地)改造而成, 包括 105.77km²水田和 76.90km²旱地, 其次有 37.34km²水域转换为虾稻田, 林地和其它类型改为虾稻田不多, 分别有 2.57 和 12.44km²。分析转换类型空间分布特点, 水田转虾稻田主要分布在浩口、龙湾、张金和西大垸镇, 旱地转虾稻田主要分布在运粮湖、后湖、熊口和西大垸镇, 水域转换为虾稻田主要在积玉口、后湖、龙湾和渔洋镇, 林地转换为虾稻田主要分布在沙洋监狱管理区, 其它利用类型转换主要是虾稻田周边其它利用类型, 为扩张虾稻田改造而成。第二阶段, 2015~2019 年潜江市虾稻田整体扩张趋势与之前分布基本保持一致, 属虾稻田快速发展时期, 期间新增约 400km² 虾稻田, 共有 188.18km²水田、142km²旱地和 32km² 水域转换为虾稻田。分析转换类型空间分布发现, 浩口镇依然是虾稻田的发展重镇, 共新增 61.24km²(含 33.03km²水田和 19.86km²旱地), 其次是熊口、张金、老新、渔洋和龙湾镇共新增 180.19km² 虾稻田(含 99.52km²水田和 49.50km²旱地)。后湖、积玉口、运粮湖和总口镇保持虾稻田快速发展趋势, 出现虾稻田转换类型中旱地转换较水田转换多的现象, 而西大垸镇的虾稻田较

之前发展速度放缓,新增 11.47km²。可见,潜江市的虾稻田整体发展模式是以高速以南的乡镇发展为主,兼顾以北的部分乡镇;土地利用转换类型以水田转换虾稻田为主,结合部分旱地和水域进行改造的发展模式,特别是早期虾稻田发展主要是以水田为主要转换类型,结合水域改造。

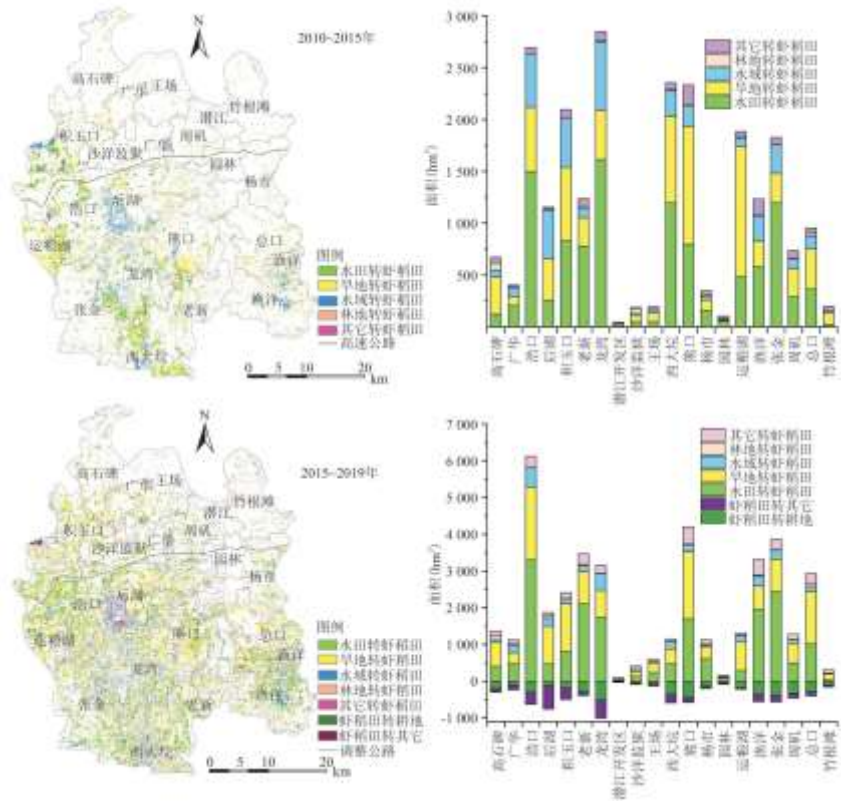


图 5 潜江市 2010~2019 年土地利用类型转虾稻田空间分布及面积分析

3 讨论

虾稻田作为一种新的种养方式,它的快速扩张与耕地(水田和旱地)、水域、林地等利用类型之间产生较多转换,对于耕地格局有着重要影响。研究区地处江汉平原腹地,地块相对较小,水田转换为虾稻田对于田块的破碎度影响较小,如浩口、龙湾、张金等乡镇虽然虾稻田增加较多,但耕地的破碎度较低。耕地破碎度更多源于旱地和水域与虾稻田之间的类型转换,大量的旱地和水田改造为虾稻田导致耕地破碎。旱地和水域转虾稻田类型,2010~2015 年,主要分布在运粮湖、熊口、西大垸、积玉口、浩口和龙湾镇;2015~2019 年主要分布在浩口、熊口、总口、积玉口、后湖和老新镇,这些乡镇转换面积均达 1000hm² 以上(图 5),并且旱地较水田转换虾稻田较多的乡镇,如高石碑、西大垸、运粮湖和熊口镇的耕地破碎度出现明显升高。对比分析耕地转换空间格局,耕地转为建设用地主要出现在园林、杨市、总口、高石碑和周矶镇,与旱地和水域转为虾稻田的乡镇完全不同。同时,这个阶段虾稻田主要以水田和旱地转换为主,少量水域和其它利用类型转换为虾稻田,林地转为虾稻田的面积极少。以上分析说明,2010~2019 年期间将旱地和水域改造成为虾稻田,对于该地区耕地破碎度具有非常直接的影响。潜江市近年来耕地破碎化可归结为两个主要因素:第一,城市发展的过程中建设用地不断扩张,部分耕地转换为建设用地。同时,存在少量的耕地转换为水域或者林地的现象。第二,虾稻田的快速发展,虾稻田由于其种植特点造成耕地的破碎,将直接影响着耕地的破碎度变化。

虾稻共作模式由于收益高,迅速在当地进行推广,当地农民纷纷将水稻田改为虾稻田;同时,很多种植油菜、小麦等作物的旱地也改为虾稻田。2005 年开始推广虾稻田,当时改造虾稻田的乡镇不多,集中在积玉口、浩口、龙湾、熊口、后湖等几个乡镇。

分析土地利用格局变化发现,2000~2005 年这些乡镇的耕地转换为水域面积,实际上是改造成为虾稻田。2013 年以来,全市虾稻田面积呈几何倍数增加,虾稻共作已成为潜江的标志性农业模式,除主城区极少种养外,所有的乡镇都开展进行虾稻田的种养。潜江地处江汉平原的腹地,地块小,不适宜大型机械耕种;紧邻武汉城市圈,劳动力输出多、农业劳动力年龄偏大,很多地方出现撂荒等现象。虾稻共作种养为该地的农业发展提供了一种新模式,虾稻田较传统单一的水稻种植有两大优势。一是传统水稻种植产量在 $0.78\sim 0.88\text{kg}/\text{m}^2$,虾稻田在产出 $0.81\sim 0.92\text{kg}/\text{m}^2$ 稻谷的同时,产出 $0.04\sim 0.16\text{kg}/\text{m}^2$ 的水产品,而且化肥和农药的投入降低 $22\sim 31\%$ 。二是传统水稻种植每平方米农民投入 $1.36\sim 1.72$ 元,总产出 $0.19\sim 2.42$ 元/ m^2 ,净收入 $0.17\sim 0.88$ 元/ m^2 ,虾稻共作方式每平方米效益是单一种植水稻的 3 倍至 4 倍,最高能到 15 元^[25]。虾稻田发展模式极大的提高了农民种地的积极性,在稳定粮食产出的前提下提高了农民收益。

然而,发展虾稻田需要因地制宜,做到理性有序发展。小龙虾养殖的收入远高于水稻种植,一定程度上会影响农民水稻种植的积极性,出现重虾轻稻,影响粮食产出。同时,发展虾稻需要更多的水资源消耗,养虾饲料会带来一定的水体污染、土壤紧实度、有机碳下降等问题。从土地利用看,该地区虾稻田以普通水田改造为主,同时有部分旱地和水域转变成成为虾稻田,这些虾稻田扩张一定程度上导致耕地的破碎度增加,不利于机械化种植,未来虾稻种养面积应为水田改造为主。

4 结论

本研究利用 2000~2018 年五期遥感解译数据产品和 2016、2019 年两期 Sentinel-2A 遥感影像解译结果,采用空间叠加分析、破碎度指数等分析手段,对潜江市近 15 年的耕地利用情况进行了深入的分析。结果表明,潜江市耕地面积呈下降趋势,主要表现为汉宜高速两侧乡镇的耕地转换为水域和建设用地,耕地的破碎度也不断增加。2010~2019 年虾稻田的发展主要以水田转换为主,结合旱地和水域改造为辅。在我国农业劳动力不足、农民收入不高和种地积极性不强等因素下,未来虾稻田种植模式对农业发展具有较好的潜力和空间,但也需要重点关注该产业的可持续发展,重点基于水田发展虾稻田种养模式。

虾稻田空间数据由 Sentinel-2A 遥感数据结合决策树方法进行解译获取,数据空间分辨率为 10m,用户精度在 $0.89\sim 0.93$,能够满足虾稻田时空变化过程分析。通过降尺度的方式与空间分辨率 30m 的土地利用数据进行分析,虽然对数据的精度没有较大影响,也能够满足南方地区破碎地块的分析需求,但如进一步提高虾稻田的数据精度和土地数据的空间分辨率,能够提高分析的准确性。虾稻共作模式是一种新兴的土地利用方法,许多方面需要科研工作者共同努力去探索研究,未来如能将微观的土壤生态实验与宏观的粮食与贸易保障有效结合研究,为我国的高效农业发展提供技术支撑。

参考文献:

- [1]ANASTÁCIO P M, CORREIA A M, MENINO J P, et al. Are rice seedlings affected by changes in water quality caused by crayfish?[J]. *Annales De Limnologie - International Journal of Limnology*, 2005, 41(1):1-6.
- [2]RODRÍGUEZ C F, BÉCARES E, FERNÁNDEZ-ALÁEZ M. Shift from clear to turbid phase in Lake Chozas (NW Spain) due to the introduction of American red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) [J]. *Hydrobiologia*, 2003, 506-509(1-3): 421-426.
- [3]曹凑贵, 江洋, 汪金平, 等. 稻虾共作模式的“双刃性”及可持续发展策略[J]. *中国生态农业学报*, 2017, 25(9): 1245-1253.
- [4]农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 2019 中国小龙虾产业发展报告 [J]. *中国水产*, 2019(9): 12-19.

-
- [5]郑振宇,王文成,李赵嘉,等. 典型生态农业模式——稻田种养研究综述[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(4):11-16.
- [6]莫小玉,曾光. 基于SEM模型的农业产业集群竞争力评价——以潜江小龙虾产业集群为例[J]. 广东农业科学, 2015, 42(14):143-148.
- [7]胡银根,董文静,余依云,等. 土地整治供给侧结构性改革与乡村重构——潜江“华山模式”实证研究[J]. 地理科学进展, 2018, 37(5):731-738.
- [8]王晓飞,谭淑豪. 基于非同质DEA的稻虾共作土地经营模式成本效率分析[J]. 中国土地科学, 2020, 34(2):56-63.
- [9]BUNTING S W, KUNDU N, AHMED N. Evaluating the contribution of diversified shrimp-rice agroecosystems in Bangladesh and West Bengal, India to social-ecological resilience[J]. *Ocean & Coastal Management*, 2017, 148:63-74.
- [10]朱杰,刘海,吴邦魁,等. 稻虾共作对稻田土壤 nirK 反硝化微生物群落结构和多样性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(9):1324-1332.
- [11]徐祥玉,张敏敏,彭成林,等. 稻虾共作对秸秆还田后稻田温室气体排放的影响[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(11):1591-1603.
- [12]倡国涵,彭成林,徐祥玉,等. 稻虾共作模式对涝渍稻田土壤理化性状的影响[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(1):61-68.
- [13]SI G H, PENG C L, YUAN J F, et al. Changes in soil microbial community composition and organic carbon fractions in an integrated rice-crayfish farming system in subtropical China[J]. *Scientific Reports*, 2017, 7:2856.
- [14]KRUSE J, KOCH M, KHOI C M, et al. Land use change from permanent rice to alternating rice-shrimp or permanent shrimp in the coastal Mekong Delta, Vietnam: Changes in the nutrient status and binding forms[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 703:134758.
- [15]CLAVERO M, LÓPEZ V, FRANCH N, et al. Use of seasonally flooded rice fields by fish and crayfish in a Mediterranean wetland[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2015, 213:39-46.
- [16]王亚辉,李秀彬,辛良杰. 耕地地块细碎程度及其对山区农业生产成本的影响[J]. 自然资源学报, 2019, 34(12):2658-2672.
- [17]虎陈霞,郭旭东,连纲,等. 长三角快速城市化地区土地利用变化对生态系统服务价值的影响——以嘉兴市为例[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(3):333-340.
- [18]LIU J, JIN X B, XU W Y, et al. Influential factors and classification of cultivated land fragmentation, and implications for future land consolidation: A case study of Jiangsu Province in Eastern China[J]. *Land Use Policy*, 2019, 88:104185.
- [19]陈坤,曾君,黄国海,等. 潜江市发展小龙虾产业的探索与启示[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(11):2955-2959.

-
- [20]魏妍冰,陆苗,吴文斌.基于水体季相差异的稻虾共作提取方法研究[J].中国农业资源与区划,2019,40(3):14-20,34.
- [21]郭贯成,丁晨曦.土地细碎化对粮食生产规模报酬影响的量化研究——基于江苏省盐城市、徐州市的实证数据[J].自然资源学报,2016,31(2):202-214.
- [22]张蚌蚌,王数,张凤荣,等.基于耕作地块调查的土地整理规划设计——以太康县王盘村为例[J].中国土地科学,2013,27(10):44-50.
- [23]贾艳艳,唐晓岚,唐芳林,等.长江中下游流域人类活动强度及其对湿地景观格局影响研究[J].长江流域资源与环境,2020,29(4):950-963.
- [24]刘婧鸣,侯现慧,王占岐,等.耕地细碎化与耕地集约利用水平空间相关特征研究——以湖北省为例[J].中国土地科学,2017,31(12):51-59,2,97.
- [25]丁伟华.中国稻田水产养殖的潜力和经济效益分析[D].杭州:浙江大学,2014.