

# 江汉平原养殖水面结构转型路径及驱动机制研究

刘文卉<sup>1,2</sup>, 宋小青<sup>1,2\*</sup>, 徐惠孝<sup>1,2</sup>, 高厚兴<sup>1,2</sup>

(1. 中国地质大学(武汉)地理与信息工程学院, 区域生态过程与环境演变湖北省重点实验室, 武汉 430074;  
2. 自然资源部国土碳汇智能监测与空间调控工程技术创新中心, 武汉 430074)

**摘要:** 深入理解淡水养殖水面结构转型是贯彻落实新发展理念和“大食物观”的必然要求, 对促进全球可持续发展具有重要意义。然而, 有关淡水养殖水面结构变化的研究还十分不足。论文在认识到淡水产品市场需求和河湖长制等水域管控政策对淡水养殖的影响基础上, 综合运用 Simpson 多样性指数、地理要素重心模型和面板回归模型, 从类型结构和空间结构两方面研究揭示江汉平原养殖水面的转型特征, 着重探索市场诱致和政策管控共同作用下养殖水面结构转型的驱动机制。结果表明: ① 2001—2020 年, 江汉平原养殖水面从快速扩张转为扩张减缓, 类型结构发生了“大水转小水、小水精养化、综合种养化主导”的转型, 空间结构出现了“大水爬坡、小水向江”的转型趋势; ② 市场诱致性类型替代叠加政策强制性结构调整共同驱动了江汉平原养殖水面结构转型。其中, 前者即以追求劳动生产力最大化为养殖目标的自下而上市场诱致性类型替代, 后者即以河湖长制为代表的自上而下的水域管控政策实施导致的结构调整。此外, 论文提出了加强江汉平原养殖水面结构转型调控的政策建议。研究结果有助于土地利用转型研究对象向养殖水面拓展, 同时能够为从结构演化视角开展土地利用转型研究提供案例支撑。

**关键词:** 养殖水面; 结构; 土地利用转型; 市场诱致; 江汉平原

土地利用转型因其能够综合揭示人地关系演变, 自 20 世纪 90 年代被提出后迅速发展成为地理学研究的热点前沿<sup>[1-3]</sup>。土地利用转型研究起源于森林转型假说<sup>[4-5]</sup>, 近年来拓展到了耕地利用<sup>[6-8]</sup>、城乡建设用地利用领域<sup>[9-11]</sup>。但是, 鲜有关于养殖水面转型的研究。土地利用转型研究刻画人地关系的综合性优势在于从格局和功能路径刻画土地利用形态, 进而揭示社会经济发展进程中土地利用形态变化的趋势性转折及其机理和效应<sup>[12-15]</sup>。以往学术界通过土地利用要素分析对土地利用的空间格局、经营格局和功能形态的转型开展了大量研究。但

从更加综合的结构分析角度探讨土地利用转型的研究还十分不足。从结构分析角度开展养殖水面转型研究对于拓展土地利用转型的研究领域、完善其研究范式具有重要意义。

20 世纪以来, 全球气候变化导致食物生产系统脆弱性明显增强<sup>[16-17]</sup>, 快速工业化和城镇化导致优质耕地大量流失<sup>[13,18]</sup>。水产品保供成为保障粮食安全、消除联合国可持续发展目标 2“零饥饿”的重要方式。1990—2020 年, 全球人均鱼类消费量增长 41.25%, 到 2020 年, 内陆水产养殖业对渔业和水产养殖总量的贡献达 44.42%<sup>[19]</sup>。淡水养殖不仅具有

收稿日期: 2023-09-11; 修订日期: 2023-12-20。

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(42271200, 41871094, 41401191); 湖北省社会科学基金重点项目(HBSKJJ2024111); 中国工程院院地合作项目(HB2024B04); 可持续发展大数据国际研究中心国内节点建设培育项目(CBAS2022GSP05)。

[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 42271200, 41871094 and 41401191; Key Project of Hubei Social Science Foundation, No. HBSKJJ2024111; Chinese Academy of Engineering Cooperation Project, No. HB2024B04; Construction and Cultivation Project of Domestic Node of the International Research Center of Big Data for Sustainable Development Goals, No. CBAS2022GSP05.]

**第一作者简介:** 刘文卉(2000—), 女, 山东淄博人, 硕士生, 主要从事土地利用与城乡发展研究。E-mail: 19862354102@163.com

**\*通信作者简介:** 宋小青(1984—), 男, 湖北荆州人, 教授, 博士生导师, 主要从事人地系统转型、城乡空间治理与国土多功能利用研究。E-mail: sonniasxq@163.com

**引用格式:** 刘文卉, 宋小青, 徐惠孝, 等. 江汉平原养殖水面结构转型路径及驱动机制研究 [J]. 地理科学进展, 2024, 43(5): 921-935. [Liu Wenhui, Song Xiaoqing, Xu Huixiao, et al. Structural transition route of aquacultural water surfaces on the Jiangnan Plain and mechanisms. Progress in Geography, 2024, 43(5): 921-935.] DOI: 10.18306/dlkxjz.2024.05.006

水产品供给功能<sup>[20]</sup>,还兼具就业保障和经济贡献功能<sup>[21-22]</sup>,是重要的国民经济活动和乡村居民生计方式。同时,淡水养殖水面的生态调节和环境保育功能决定着山水林田湖草生命共同体的建设成效<sup>[23-25]</sup>。因此,深入理解淡水养殖水面转型对促进全球可持续发展具有重要意义。

推动淡水养殖健康、高效发展是贯彻落实新发展理念和大食物观的必然要求。《“十四五”全国渔业发展规划》指出,“优化调整养殖生产布局”“科学拓展水产养殖新空间”“推进绿色健康养殖”,同时对大水面生态渔业、池塘标准化养殖、工厂化循环水养殖、稻渔综合种养等不同类型养殖方式做出了明确要求。由此表明,优化调整淡水养殖水面的类型结构和空间结构,推动淡水养殖提质增效是促进高质量发展的迫切要求。这就意味着,淡水养殖水面结构转型及其驱动机制是促进高质量发展不可回避的科学问题。

进入21世纪以来,中国居民膳食结构经历着从“粮菜型”向“粮菜果肉多元化”的快速转型,淡水产品需求大幅增加<sup>[26-28]</sup>。这有助于诱致淡水养殖水面扩张和效率提升<sup>[29-30]</sup>。同时,随着乡村居民家庭经营性收入份额明显减少、工资性收入和转移性收入及其份额明显增加,乡村劳动力从事农林牧渔业的机会成本显著上升,推动乡村劳动力的生产经营目标从追求土地生产力最大化逐渐转变为追求劳动生产力最大化<sup>[31-32]</sup>。由于湖泊、水库、塘堰、精养池、稻田等养殖水面的效率和收益差异显著,在市场诱致作用下,养殖户更青睐于选择产出更高的塘堰、精养池和稻田等养殖水面,生产经营目标转变甚至诱致以稻田养殖水面为代表的高劳动生产力水面替代以精养池为代表的高土地生产力水面。同时值得注意的是,自2012年党的十八大提出生态文明建设以来,各地水域保护与管控愈加严格。湖北省率先设立“湖长制”,2016年实行河长制,严格落实河湖水体保护、污染防治、生态修复,对湖泊等大水面扩张构成了约束。通过以上分析可以看出,很有必要将市场和政策结合起来揭示淡水养殖水面结构转型。然而,鲜有研究关注淡水养殖水面的结构转型问题,对其机制的理解更为不足。

江汉平原作为长江经济带的重要组成部分,是中国重要的淡水养殖基地。在城乡建设扩张引起土地稀缺增强和快速城镇化引起乡村劳动力紧缺加剧的背景下,江汉平原养殖水面与种植业空间之

间存在着明显的市场竞争。这就意味着,江汉平原养殖水面结构变化能够清晰揭示市场机制的作用。同时,湖北省河湖长制的实施也直接影响着养殖水面类型选择。而且,江汉平原养殖效率和效益提升对长江经济带高质量发展具有重要意义。因此,迫切需要以江汉平原为典型区域开展养殖水面结构转型及其驱动机制研究。

基于以上考虑,本文从类型结构和空间结构两方面揭示2001—2020年江汉平原养殖水面的转型路径特征,探索市场诱致和政策管控共同作用下的养殖水面结构转型机制,以期优化淡水养殖布局、加强养殖水面管控促进高质量发展提供参考,同时为从结构分析角度开展土地利用转型研究提供案例支撑。

## 1 研究区概况、方法与数据

### 1.1 研究区概况

江汉平原位于长江中游、湖北省中南部(图1),江河、湖泊、水库等水面众多,享有“鱼米之乡”美誉<sup>[33-37]</sup>。根据《湖北统计年鉴》和《湖北农村统计年鉴》,2001—2020年,江汉平原城镇化水平提高了22.09%,渔业总产值增长512.10亿元,渔业从业人员增加了14.93万人。江汉平原工业化、城镇化快速发展的同时,水域萎缩、水质受损,渔业生态环境下降,影响了山水林田湖草生命共同体提质增效<sup>[38-39]</sup>。对此,《推进湖北省渔业现代化“十四五”规划》提出,“推动渔业绿色发展、高质量发展,满足人民群众对优质水产品和优美生态环境的需求”。综合地域特点、资源禀赋变化和发展需求来看,江汉平原是开展养殖水面结构转型研究的典型区域。

### 1.2 养殖水面类型结构测度方法

根据《湖北农村统计年鉴》,本文研究的养殖水面类型包括湖泊、水库、塘堰、沟渠、精养池、稻田养殖水面和其他等养殖水面。结合现有研究,将7类养殖水面归为大水面和小水面<sup>[40]</sup>。具体地,将湖泊和水库合称为大水面,将塘堰、沟渠、精养池、稻田养殖水面和其他水面合称为小水面。运用某一类养殖水面面积占养殖水面总面积的百分比测度养殖水面单一类型结构。运用Simpson多样性指数测度区域养殖水面整体类型结构,公式如下<sup>[41]</sup>:

$$\text{Sim} = 1 - \sum_{i=1}^n P_i^2 \quad (1)$$

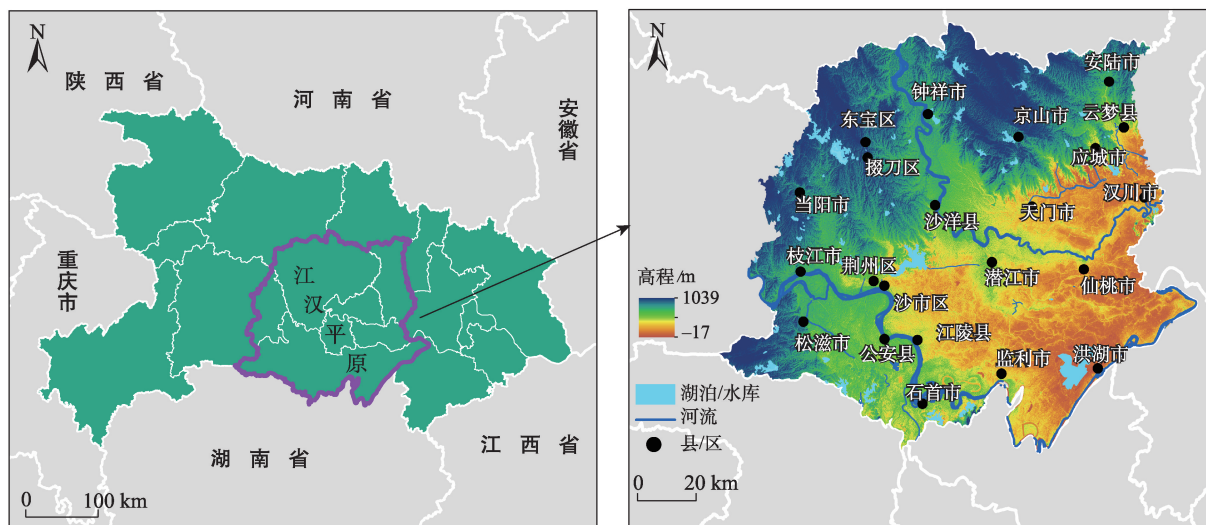


图1 江汉平原概况图示

Fig.1 Profile of the Jiangnan Plain

式中:  $Sim$  为区域养殖水面多样性指数, 其数值介于 0~1 之间, 数值越接近 1, 表明养殖水面类型越丰富, 反之, 越单一;  $n$  为江汉平原养殖水面类型数,  $P_i$  为第  $i$  类养殖水面的面积占养殖水面总面积的百分比。

### 1.3 养殖水面空间结构测度方法

地理要素重心是区域尺度上地理要素空间均值的综合反映。运用地理要素重心模型刻画江汉平原养殖水面空间结构, 公式如下<sup>[42]</sup>:

$$X_b = \frac{\sum_{a=1}^n (T_{ab} \times X_a)}{\sum_{a=1}^n T_{ab}} \quad (2)$$

$$Y_b = \frac{\sum_{a=1}^n (T_{ab} \times Y_a)}{\sum_{a=1}^n T_{ab}} \quad (3)$$

式中:  $T_{ab}$  为区域  $a$  第  $b$  年养殖水面总面积;  $(X_a, Y_a)$  为区域  $a$  几何中心坐标;  $(X_b, Y_b)$  为  $b$  年该类养殖水面的重心坐标。

### 1.4 养殖水面结构转型驱动机制分析方法

运用面板回归模型探索养殖水面结构转型的驱动机制。其中, 面板数据的时间范围涵盖 2001—2020 年, 横截面包括江汉平原的县(市、区)行政单元。根据引言分析, 养殖水面结构转型可能存在两种趋势: 一是养殖水面从湖泊、水库等大水面向塘堰、精养池和稻田等小水面转变; 二是在小水面中, 主导水面由精养池水面向稻田养殖水面转变。本文构建两个模型探究江汉平原养殖水面结构转型

机制。由于小水面中精养池土地生产力更高, 预期对大水面的替代更显著。因此, 在模型 1 中将大水面和精养池水面面积之比( $Y_{1it}$ , 其中  $i$  表示区域,  $t$  表示年份)作为因变量, 探究大水面向小水面的转型过程。若  $Y_{1it}$  越大, 说明大水面被精养池的替代越少, 反之亦然。模型 2 将稻田养殖水面面积与精养池面积之比( $Y_{2it}$ )作为因变量, 探究小水面中主导水面更替的过程。若  $Y_{2it}$  越大, 说明稻田养殖水面对精养池的替代越多, 反之亦然。

在乡村劳动力受限且渔业养殖机会成本日益上升的背景下, 受强劲的淡水产品市场需求诱致, 渔业从业人员倾向于经营产出能力更高尤其是劳动力生产力水平更高的养殖水面<sup>[43-44]</sup>。在大小两类养殖水面中, 小水面中特别是精养池水面养殖密度更高, 其土地生产力更高。而小水面中稻田养殖水面兼具渔业和种植业, 相对于其他养殖水面的劳动生产力更高<sup>[45]</sup>。因此, 养殖户选择小水面养殖特别是精养池水面和稻田水面的可能性更高。在市场诱致下, 生产效率的提升可能是养殖水面结构转型的主要原因<sup>[46]</sup>。因此, 引入土地生产力( $Lanp_{it}$ )和劳动生产力( $Labp_{it}$ )来衡量自下而上的市场诱致力对于养殖水面结构转型的驱动作用。其中, 土地生产力以单位养殖水面水产品产量来衡量; 劳动生产力以单位渔业从业人员的水产品产量来衡量。考虑到 2012 年湖北省率先在全国设置湖长制, 此后又出台河长制, 将水域管控政策(ZC)纳入面板回归模型, 用于揭示自上而下的政策管控对养殖水面结构



转型的驱动作用。在模型运算中,将政策变量设置为虚拟变量,即2012年前的变量值设置为0,2012年及其以后的变量值设置为1。

养殖水面结构转型还可能受到自然禀赋、经济发展水平、劳动力禀赋、技术水平以及养殖水面的前期结构基础等影响。一般而言,精养池和稻田养殖水面多分布在海拔较低、地形平坦的地区。因此,海拔(Alt<sub>it</sub>)可能是影响养殖水面结构转型的因素。鉴于需要频繁换水,小水面养殖对于水资源需求大。在此,将长江是否流经作为虚拟变量(YZ<sub>it</sub>)来探究水资源丰度对小水面替代大水面的影响。随着经济发展水平提高,淡水产品消费量尤其是高质量水产品需求不断增加,带动淡水养殖水面的土地生产力和劳动生产力提升,从而可能导致养殖水面结构变化。对此,将衡量经济发展水平的人均GDP(Eco<sub>it</sub>)作为自变量纳入模型。当前中国淡水养殖业仍属于劳动密集型产业,渔业从业人员特别是渔业专业人员的数量可能影响淡水养殖的规模和效率。相对于大水面,精养池和稻田养殖水面对渔业专业从业人员的需求甚小。因此,在模型2中仅考虑衡量劳动力资源数量的渔业从业人员数(Lab<sub>it</sub>)。在模型1中,探究渔业劳动力专业化率即渔业专业从业人员数占渔业从业人员数的百分比(Zyl<sub>it</sub>)对精养池替代大水面的影响。渔业机械普及对大水面的发展可能起到促进作用,进而抑制大水面向小水面的转化。同时,企业加工能力的提升预期将促进企业收购能力的提升,进而带动养殖水面的土地生产力和劳动生产力提升。因此,将机械化水平(Ljxh<sub>it</sub>)

和企业加工能力(Kj<sub>it</sub>)作为自变量纳入模型。此外,将因变量的滞后项即Y<sub>1it(t-1)</sub>和Y<sub>2it(t-1)</sub>作为衡量养殖水面结构前期基础的变量纳入模型。

综合以上考虑,构建面板回归模型:

$$Y_{1it} = \beta_1 Lanp_{it} + \beta_2 ZC_{it} + \beta_3 YZ_{it} + \beta_4 Alt_{it} + \beta_5 Eco_{it} + \beta_6 Lab_{it} + \beta_7 Zyl_{it} + \beta_8 Ljxh_{it} + \beta_9 Kj_{it} + \beta_{10} Y_{1it(t-1)} + \beta_0 + \varepsilon \quad (4)$$

$$Y_{2it} = \beta_1 Lanp_{it} + \beta_2 Labp_{it} + \beta_3 Alt_{it} + \beta_4 Eco_{it} + \beta_5 Lab_{it} + \beta_6 Kj_{it} + \beta_7 Y_{2it(t-1)} + \beta_0 + \varepsilon \quad (5)$$

式中:β<sub>1</sub>~β<sub>10</sub>为待解的自变量系数,β<sub>0</sub>为常数项,ε为误差项。其他变量的意义具体见表1。

### 1.5 数据来源

(1) 基础地理数据。行政区划数据来源于国家基础地理信息数据库(<http://www.ngcc.cn/ngcc/>)。海拔数据来源于SRTM高程数据集(<https://www.resdc.cn/data.aspx?DATAID=217>),分辨率为30 m。根据江汉平原行政区划单位统计各县(市、区)的海拔均值。

(2) 水产养殖数据。该数据包括2001—2020年的养殖水面数据和水产养殖投入产出数据,来源于《湖北农村统计年鉴》。前者包括湖泊、水库、塘堰、沟渠、精养池、稻田、其他等7类养殖水面面积;后者包括水产品总产量、渔业从业人员数、渔业专业从业人员数、机动渔船数量、水产品加工能力、水产品加工企业个数等数据。因缺失《湖北农村统计年鉴》2013—2014年数据,本文研究时间不包括2013—2014年。

(3) 社会经济统计数据。该数据包括2001—

表1 江汉平原养殖水面结构转型面板回归模型变量选取及定义  
Tab.1 Variables of the panel data regression model of structural transition of aquacultural water surfaces on the Jiangnan Plain

变量类型	变量	变量代码	变量含义	计算方法
核心变量	市场诱致	Lanp <sub>it</sub>	土地生产力	水产品总产量/养殖水面总面积(t/hm <sup>2</sup> )
		Labp <sub>it</sub>	劳动生产力	水产品总产量/渔业从业人员数(t/人)
控制变量	政策因素	ZC <sub>it</sub>	水域管控政策影响	河湖长制政策虚拟变量,湖长制实施前为0,实施后为1
	自然禀赋	YZ <sub>it</sub>	水资源丰度	长江流经为1,反之为0
		Alt <sub>it</sub>	海拔高度	海拔(m)
	经济因素	Eco <sub>it</sub>	经济发展水平	人均GDP(万元/人)
	劳动力禀赋	Lab <sub>it</sub>	渔业劳动力资源	渔业从业人员数(万人)
		Zyl <sub>it</sub>	渔业劳动力专业化率	渔业专业从业人员数×100%/渔业从业人员数
	技术水平	Ljxh <sub>it</sub>	机械化水平	机动渔船数/渔业从业人员数(艘/万人)
		Kj <sub>it</sub>	企业加工能力	水产品加工能力/加工企业个数(t/个)
	前期结构基础	Y <sub>1it(t-1)</sub>	前期养殖水面结构	区域i大水面与精养池面积之比滞后项
		Y <sub>2it(t-1)</sub>		区域i稻田与精养池面积之比滞后项

2020年的总人口数、城镇人口数、人均GDP、城镇居民可支配收入、农村居民家庭人均纯收入、农村居民家庭人均工资性收入、农村居民人均经营纯收入和农村居民家庭人均转移净收入,来源于《中国农村统计年鉴》《湖北统计年鉴》《湖北农村统计年鉴》。

## 2 结果分析

### 2.1 江汉平原养殖水面类型结构变化脉络

2001—2020年,江汉平原养殖水面总面积扩张42.60万 $\text{hm}^2$ 。其中,大水面收缩2.17万 $\text{hm}^2$ ,小水面扩张44.77万 $\text{hm}^2$ 。在7类养殖水面中,湖泊养殖水面收缩最明显,达1.29万 $\text{hm}^2$ ;稻田养殖水面扩张最明显,达32.66万 $\text{hm}^2$ 。总体来看,养殖水面单一类型结构变化呈现三个阶段(图2)。① 2001—2007年的小幅扩张阶段。该阶段养殖水面总面积扩张4.22万 $\text{hm}^2$ ,年均扩张0.60万 $\text{hm}^2$ 。其中,湖泊、水库等大水面略微扩张但占比减少,精养池、稻田等小水面扩张相对较快。② 2008—2015年的快速扩张阶段。该阶段养殖水面总面积扩张22.61万 $\text{hm}^2$ ,年均扩张2.83万 $\text{hm}^2$ 。其中,湖泊、水库等大水面分别扩张0.36万、0.57万 $\text{hm}^2$ ;精养池、稻田养殖水面分别扩张7.54万、12.27万 $\text{hm}^2$ ,扩张面积分别占该阶段养殖水面扩张总面积的33.35%、54.27%。从面积占比来看,精养池成为该阶段养殖水面的主导类型。③ 2016—2020年的减速扩张阶段。该阶段养殖水面总面积扩张8.64万 $\text{hm}^2$ ,年均扩张1.73万 $\text{hm}^2$ 。其

中,湖泊、水库等大水面分别收缩2.15万、1.46万 $\text{hm}^2$ ;精养池、稻田养殖水面分别扩张0.25万、12.27万 $\text{hm}^2$ ,扩张面积分别占该阶段养殖水面扩张总面积的2.93%、146.40%。从面积占比来看,稻田养殖水面成为该阶段养殖水面的主导类型。2020年,在7类养殖水面中,稻田养殖水面面积最大,达34.11万 $\text{hm}^2$ ,占养殖水面总面积的48.63%。

从整体类型结构来看,江汉平原养殖水面多样性指数从2001年的0.77增长到2002年的0.78,然后下降到2020年的0.64。图3显示,江汉平原北部的养殖水面多样性指数总体高于南部,北部和南部养殖水面多样性均先增后降。具体地,2001—2015年,养殖水面多样性高值逐步向北部集中,但2015—2020年北部养殖水面多样性高值县域明显减少;2001—2007年,南部养殖水面多样性中高值县域明显增多,但2007—2020年江汉平原养殖水面多样性低值县域明显向南部集中。

### 2.2 江汉平原养殖水面空间结构变化脉络

为便于分析市场诱致和政策管控对养殖水面变化的影响,分别测度大水面、小水面以及小水面中的精养池、稻田养殖水面的重心。图4显示,2001—2020年,大水面重心、小水面重心、精养池重心、稻田养殖水面重心总体上呈西北—东南分布。其中,大水面重心总体位于沙阳县,向西北方向迁移了8.31 km;小水面重心总体分布于潜江市,向西南方向迁移了11.02 km;精养池重心从潜江市沿东南方向迁移至仙桃市,迁移14.32 km;稻田养殖水面重心从监利市沿西北方向迁移至潜江市,迁移了29.20 km。

### 2.3 江汉平原养殖水面结构转型面板回归结果

基于EViews 12、Stata 15对1.4节的面板回归模型进行检验分析并求解。面板回归模型变量统计描述如表2所示。为检验回归结果的稳健性,对每个自变量单独计算单变量回归模型<sup>[47]</sup>,然后进行全局回归。对于全局回归,首先进行单位根检验。所有变量在零阶单整的条件下通过单位根检验,置信水平为95%,表明面板数据总体平稳。然后,计算方差膨胀因子(VIF),VIF均值均小于10,表明变量间不存在显著的多重共线性。最后,对其进行F检验和Hausman检验。两个检验均未通过,在此选择混合OLS回归模型求解。表3和表4分别显示了单变量回归和全局回归的结果。

对比表3和表4的回归系数可以看出,各自变

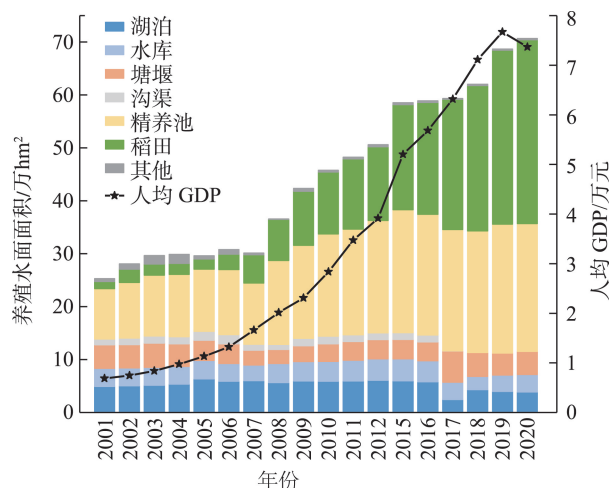


图2 2001—2020年江汉平原养殖水面面积变化

Fig.2 Change in the area of aquacultural water surfaces on the Jiangnan Plain during 2001–2020

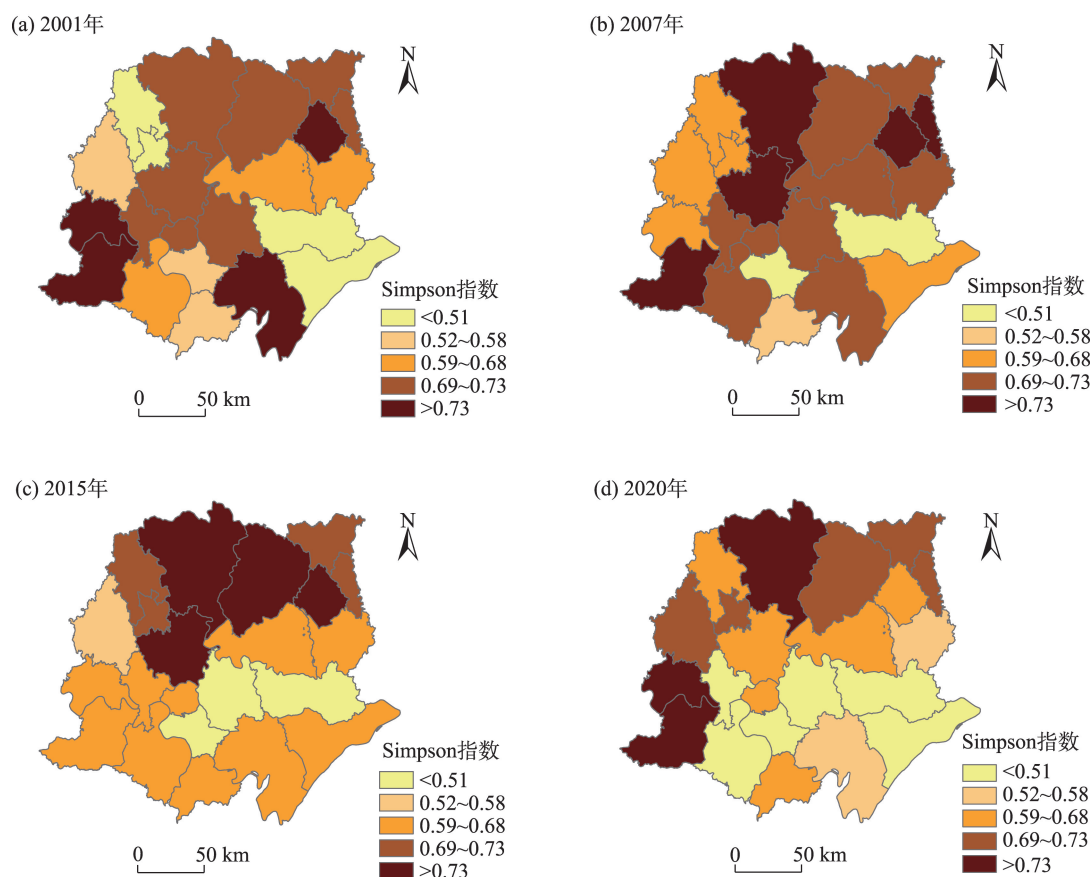


图3 2001—2020年江汉平原养殖水面多样性格局变化

Fig.3 Change in the diversity of aquacultural water surfaces at the county level on the Jiangnan Plain during 2001–2020

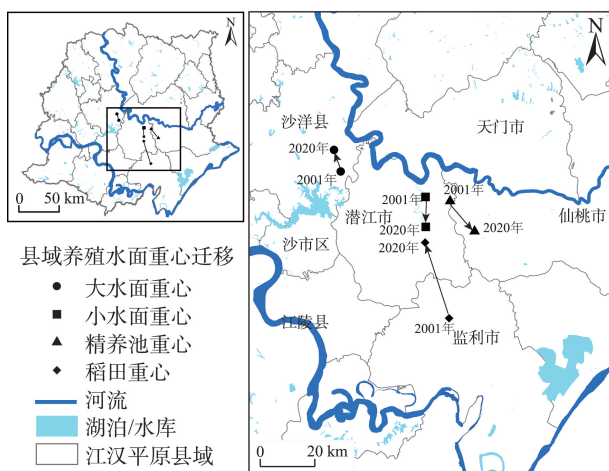


图4 2001—2020年江汉平原县域养殖水面重心迁移

Fig.4 Shift of the gravity centers of aquacultural water surfaces on the Jiangnan Plain during 2001–2020

量对因变量的影响表现稳健。表4显示,模型1中,核心变量土地生产力( $Lanp_{it}$ )和政策( $ZC_t$ )均与因变

量即大水面和精养池水面面积之比( $Y_{it}$ )呈显著的负相关关系;自然禀赋中水资源丰度( $Yz_t$ )与因变量呈显著的负相关关系,而海拔( $Alt_t$ )与因变量呈显著的正相关关系;刻画经济发展水平的人均GDP( $Eco_{it}$ )与因变量呈显著的负相关关系;劳动力禀赋中渔业劳动力资源( $Lab_{it}$ )与因变量呈显著的负相关关系,而渔业劳动力专业化率( $Zyl_{it}$ )与因变量呈显著的正相关关系;代表技术水平的机械化水平( $Ljxh_{it}$ )与因变量呈显著的正相关关系,但企业加工能力( $Kj_{it}$ )与因变量呈显著的负相关关系;淡水养殖水面的前期结构基础( $Y_{1it(t-1)}$ )与因变量呈显著的正相关关系。模型2中,核心变量土地生产力( $Lanp_{it}$ )与因变量呈显著的负相关关系,而劳动生产力( $Labp_{it}$ )与因变量呈显著的正相关关系;自然禀赋中海拔( $Alt_t$ )与因变量呈显著的负相关关系;人均GDP( $Eco_{it}$ )、企业加工能力( $Kj_{it}$ )、淡水养殖水面的前期结构基础( $Y_{2it(t-1)}$ )与因变量呈显著的正相关关系;渔业劳动力资源( $Lab_{it}$ )与因变量呈显著的负相关关系。

表2 面板回归模型变量统计描述

Tab.2 Descriptive statistics of the variables in the panel data regression model

变量	平均值	中位数	最大值	最小值	标准差	样本量
$Y_{1it}$	0.968	0.760	14.993	0	1.222	396
$Y_{2it}$	0.648	0.351	5.761	0	0.816	396
$Lanp_{it}$	4.719	4.459	17.664	0.711	2.314	396
$Labp_{it}$	4.288	3.447	31.965	0.884	4.337	396
$ZC_t$	0.389	0	1.000	0	0.488	396
$YZ_t$	0.682	1.000	1.000	0	0.466	396
$Alt_t$	48.636	36.000	112.000	26.000	24.135	396
$Eco_{it}$	26.990	16.896	121.738	3.028	25.393	396
$Lab_{it}$	1.923	1.544	9.323	0.535	1.825	396
$Zyl_{it}$	0.740	0.781	1.000	0	0.176	396
$Ljxh_{it}$	0.031	0.012	0.499	0	0.055	396
$Kj_{it}$	6113.698	2100.000	50000.000	0	9221.988	396

表3 单变量回归结果

Tab.3 Results of univariate regression models

模型1 (因变量 $Y_{1it}$ )			模型2 (因变量 $Y_{2it}$ )		
自变量	回归系数	$R^2$	自变量	回归系数	$R^2$
$Lanp_{it}$	-0.172***	0.674	$Lanp_{it}$	-0.306***	0.697
$ZC_t$	-0.042***	0.465	$Labp_{it}$	0.171***	0.676
$YZ_t$	-0.056***	0.522	$Alt_t$	-0.074***	0.420
$Alt_t$	0.198***	0.372	$Eco_{it}$	0.212***	0.201
$Eco_{it}$	-0.134***	0.520	$Lab_{it}$	-0.034*	0.410
$Lab_{it}$	-0.117***	0.178	$Kj_{it}$	0.110***	0.454
$Zyl_{it}$	0.030***	0.449	$Y_{2it(t-1)}$	0.712***	0.845
$Ljxh_{it}$	0.028**	0.675			
$Kj_{it}$	-0.043***	0.520			
$Y_{1it(t-1)}$	0.261***	0.546			

注：\*\*\*、\*\*、\*分别表示在1%、5%、10%水平下显著。下同。

表4 面板回归模型自变量系数估计结果

Tab.4 Coefficients of the variables in the panel data regression model

模型1 (因变量 $Y_{1it}$ )			模型2 (因变量 $Y_{2it}$ )		
变量类型	变量名称	系数	变量类型	变量名称	系数
核心变量	$Lanp_{it}$	-0.012***	核心变量	$Lanp_{it}$	-0.109***
	$ZC_t$	-0.022***		$Labp_{it}$	0.037***
控制变量	$YZ_t$	-0.005***	控制变量	$Alt_t$	-0.046***
	$Alt_t$	0.122***		$Eco_{it}$	0.103***
	$Eco_{it}$	-0.014***		$Lab_{it}$	-0.019**
	$Lab_{it}$	-0.021***		$Kj_{it}$	0.057***
	$Zyl_{it}$	0.065***		$Y_{2it(t-1)}$	0.679***
	$Ljxh_{it}$	0.035***		常数项	-0.224***
	$Kj_{it}$	-0.004***		$R^2$	0.983
	$Y_{1it(t-1)}$	0.296***			
	常数项	-0.036***			
	$R^2$	0.950			



### 3 讨论

#### 3.1 江汉平原养殖水面结构转型路径

2.1节的结果显示,江汉平原养殖水面总面积变化出现转型特征,即由2001—2007年的小幅扩张发展为2008—2015年的快速扩张,然后转为2016—2020年的减速扩张。从单一类型结构变化来看,大水面呈萎缩态势,而小水面明显扩张。而且,从2001—2007年到2008—2015年,精养池养殖水面发展成为小水面中的主导类型;从2008—2015年到2016—2020年,稻田养殖水面替代精养池成为小水面中的主导类型。

伴随着单一类型结构变化,养殖水面整体类型结构变化也出现了转型特征,具体表现为养殖水面多样性指数从2001—2007年到2008—2015年的增长态势转变为从2008—2015年到2016—2020年的下降态势。值得注意的是,养殖水面整体类型结构转型程度的区域差异显著。从2001—2007年到2008—2015年,江汉平原北部地区养殖水面多样性从快速增长转为略有下降,而南部地区则从快速增长转为快速下降。结合2.2节结果来看,伴随着养殖水面多样性下降,大水面出现向江汉平原西北方向即向地形起伏相对较大的区域集中的趋势,而小水面出现向东南方向即向地形起伏相对较小的濒临长江区域集中的趋势。

不同的养殖水面代表不同的养殖模式,具体可分为粗放型和半集约化养殖、集约化养殖、综合生态化养殖等三种模式<sup>[48]</sup>。其中,粗放型和半集约化养殖常见于江河湖泊、水库等大水面。集约化养殖通常用机械设备干预养殖,这类水面养殖密度高,多存在于封闭式或半封闭式的水循环系统中,如精养池。综合生态化养殖一般是指稻渔综合种养,即在稻田养殖水面中投放水生生物,通过水生生物与水稻良性互动而提高收益,并减少养殖对于水体的污染<sup>[49]</sup>。江汉平原养殖水面的类型结构变化反映了该地区水产养殖业的转型发展路径,即从粗放型和半集约化养殖发展为集约化养殖,再由集约化养殖发展为综合生态化养殖。

综合以上分析,2001—2020年,江汉平原养殖水面发生了由快速扩张向扩张减缓的转型,类型结构发生了“大水转小水、小水精养化、综合种养化主导”的转型,养殖模式由粗放型和半集约化养殖转为集约化养殖再转为综合生态化养殖,空间结构出

现了“大水爬坡、小水向江”的转型趋势。

#### 3.2 江汉平原养殖水面结构转型驱动机制

根据《湖北统计年鉴》,2001—2020年,湖北省人均GDP从0.78万元增长到7.44万元(按当年价格计),居民食物消费结构随之升级,对水产品的需求迅速增加。2001—2020年,湖北农村居民家庭人均水产品消费量从6.56 kg增长到16.52 kg,增长了151.83%。为适应水产品消费量的快速增长,养殖水面出现扩张。相对于大水面而言,小水面单位面积的水产品产量更多,即土地生产力更高。养殖户更容易选择土地生产力高的养殖水面。加之河湖长制等水域管控政策的实施,限制了原有湖泊、水库等大水面渔业的发展,从而倒逼养殖户选择小水面从事渔业生产。随着养殖户不断追求土地生产力的提高,小水面逐渐转向精养化。因此,在追求土地生产力提升的养殖目标诱致和水域管控政策的约束下,江汉平原养殖水面发生了转型,即大水面转为小水面、小水面精养化。这就解释了在模型1中核心变量 $\text{Lanp}_i$ 和 $\text{ZC}_i$ 与 $Y_{it}$ 之间显著的负相关关系。

随着经济社会快速发展,湖北省大量乡村劳动力进城务工甚至转移进城。根据《中国农村统计年鉴》,2001—2020年,湖北省城镇化水平从41.04%提高到62.89%,乡村人口净减少1379.39万人,其中农林牧渔业从业人员净减少246.72万人。大量乡村劳动力进城的直接诱因在于城乡收入差距。湖北省城镇居民家庭人均可支配收入从2001年的5856元/人增长到2020年的36706元/人,农村居民家庭人均纯收入则从2352元/人增长到16306元/人。同期,农村居民家庭人均纯收入中工资性收入和转移净收入从663.11元/人增长到9346.10元/人,占农村居民家庭人均纯收入的百分比从28.19%增长到57.32%;而农村居民家庭人均经营纯收入从1676.20元增长到6745.40元/人,占农村居民家庭人均纯收入的百分比从71.26%下降到41.37%。综合以上数据可以看出,随着城乡收入差距扩大,湖北省乡村劳动力进城务工收入对农村居民家庭的贡献显著提升,从事农林牧渔业生产经营的机会成本显著上升。在此背景下,更高的劳动生产力成为养殖户的经营目标追求。值得注意的是,江汉平原稻渔综合种养收入相对于传统水稻种植收入提高35.15%<sup>[45]</sup>。2010—2020年,江汉平原稻田养殖水面水产品产量占该地区水产品总产量的比例从7.38%提升至68.56%,同时单位面积稻田养殖水面的水产



品产量仅提升  $0.08 \text{ kg/m}^2$ 。但是,同期单位面积精养池的水产品产量是单位面积稻田养殖水面水产品产量的 3.96 倍。在劳动生产力最大化目标的诱致下,养殖户更加青睐于选择稻田养殖水面。这就证实了模型 2 中  $\text{Labp}_{it}$  与  $Y_{2it}$  之间的正相关关系。但是,精养池的土地生产力毕竟显著高于稻田养殖水面,导致  $\text{Labp}_{it}$  与  $Y_{2it}$  之间的负相关关系。综合以上分析可以发现,在自下而上的市场诱致和自上而下的水域管控政策共同影响下,江汉平原养殖水面由大水面转为小水面、小水面精养化再到综合种养化的结构转型。

淡水养殖业土地生产力和劳动生产力的提升受经济发展水平、劳动力禀赋、技术发展和养殖水面前期结构基础的影响。一般来说,随着经济社会发展水平提高,水产品的需求随之增加,进而带动水产养殖的土地生产力和劳动生产力提升。小水面特别是精养池水面的土地生产力水平更高,因此对大水面具有明显的替代。这就印证了模型 1 中  $\text{Eco}_{it}$  与  $Y_{1it}$  之间的显著负相关关系。随着经济社会发展水平进一步提高,养殖户的生产经营目标由追求土地生产力最大化转变到追求劳动生产力最大化。稻田养殖水面的劳动生产力显著高于精养池,因此稻田养殖水面扩张快于精养池。这就解释了在模型 2 中  $\text{Eco}_{it}$  与  $Y_{2it}$  之间的正相关关系。在同等数量劳动力的投入下,由于精养池的土地生产力明显高于大水面,这就导致模型 1 中渔业劳动力资源 ( $\text{Lab}_{it}$ ) 与  $Y_{1it}$  之间的显著负相关关系。但是,渔业劳动力专业化程度 ( $\text{Zyl}_{it}$ ) 与  $Y_{1it}$  呈现显著的正相关,这主要是因为渔业专业从业人员多从事大水面渔业生产。渔业劳动力专业化水平的提高会抑制小水面对大水面的替代。在乡村劳动力受限的前提下,水产养殖业和种植业对劳动力存在显著竞争。由于江汉平原稻田水面养殖多为种植农户经营,从事水产养殖的劳动力增加将压缩稻田养殖水面劳动力的投入。这就导致了模型 2 中  $\text{Lab}_{it}$  与  $Y_{2it}$  之间的负相关关系。企业加工能力 ( $\text{Kj}_{it}$ ) 的提升带动企业对水产品收购能力的提升,进一步促进土地生产力和劳动生产力的提高。这就印证了模型 1 中  $\text{Kj}_{it}$  与  $Y_{1it}$  之间的负相关关系及模型 2 中  $\text{Kj}_{it}$  与  $Y_{2it}$  之间的正相关关系。机动渔船的推广有助于促进大水面的土地生产力提升,对大水转小水产生了抑制作用,导致机械化水平 ( $\text{Ljxh}_{it}$ ) 与  $Y_{1it}$  之间的负相关关系。此外,衡量养殖水面前期结构基础的  $Y_{1(i-1)}$  和  $Y_{2(i-1)}$  越

高,表明前期养殖类型越集中,越有利于养殖结构后期变化的路径依赖。这就导致了两个模型中  $Y_{1(i-1)}$  和  $Y_{2(i-1)}$  与因变量均呈现显著的正相关关系。为满足频繁换水的需求,小水面大多选择地形平坦、海拔较低的地区。因此,水资源丰度 ( $Yz_i$ ) 与  $Y_{1it}$  呈现显著的负相关关系。而稻田水面养殖要兼顾种植业,对地形要求更高,这就解释了模型 2 中海拔 ( $\text{Alt}$ ) 升高对养殖水面结构向综合生态化转型的限制作用。

市场诱致性类型替代叠加自然禀赋和政策管控对江汉平原养殖水面多样性下降的“南快北慢”格局形成起到了重要的推动作用。具体地,北部地区总体上地形起伏较大,湖泊较少而水库较多,不利于精养池、稻田养殖水面等小水面发展。相比北部地区,南部地区总体上地形更加平坦,加之长江干流经过带来了丰沛的水资源,更有利于精养池、稻田养殖水面等小水面发展。受市场对小水面尤其是精养池和稻田养殖水面的诱致作用,南部地区的精养池、稻田养殖水面等小水面扩张更快,在养殖水面中的主导地位更为明显,导致南部的养殖水面多样性下降更快。而北部地区的小水面扩张相对较慢,各类养殖水面面积的均衡性相对较高,因而养殖水面多样性下降较慢。也正是由于市场诱致性类型替代在江汉平原南部地区的作用更为明显,所以出现了 2.1 节中所述的养殖水面“小水向江”的转型趋势。2001—2015 年到 2016—2020 年,江汉平原湖泊养殖水面变化由小幅扩张转为明显收缩。这主要由于湖北于 2012 年在全国率先实施湖长制,在经历了 2~3 年政策实施探索后,叠加 2016 年开始在全国全面实施的河长制,水域管控政策实施效果凸显。同时,由于江汉平原北部地区地形起伏较大、湖泊相对较少,在严格的水域管控政策实施后,南部地区的湖泊养殖水面收缩导致该地区大水面收缩明显超过北部地区。这就直接导致 2.1 节中所述的养殖水面空间结构“大水爬坡”的转型趋势。在严格的水域管控政策实施导致大水面收缩的同时,叠加市场诱致性类型替代对小水面尤其是精养池、稻田养殖水面的促进作用,导致北部地区的养殖水面均衡性更高而南部地区更容易由精养池和稻田养殖水面占据主导。因此,南部地区养殖水面多样性下降明显超过北部地区。

综合以上分析,自下而上的市场诱致性类型替代叠加自上而下的政策强制性结构调整(图 5),共同驱动了 2001—2020 年江汉平原养殖水面结构转型。

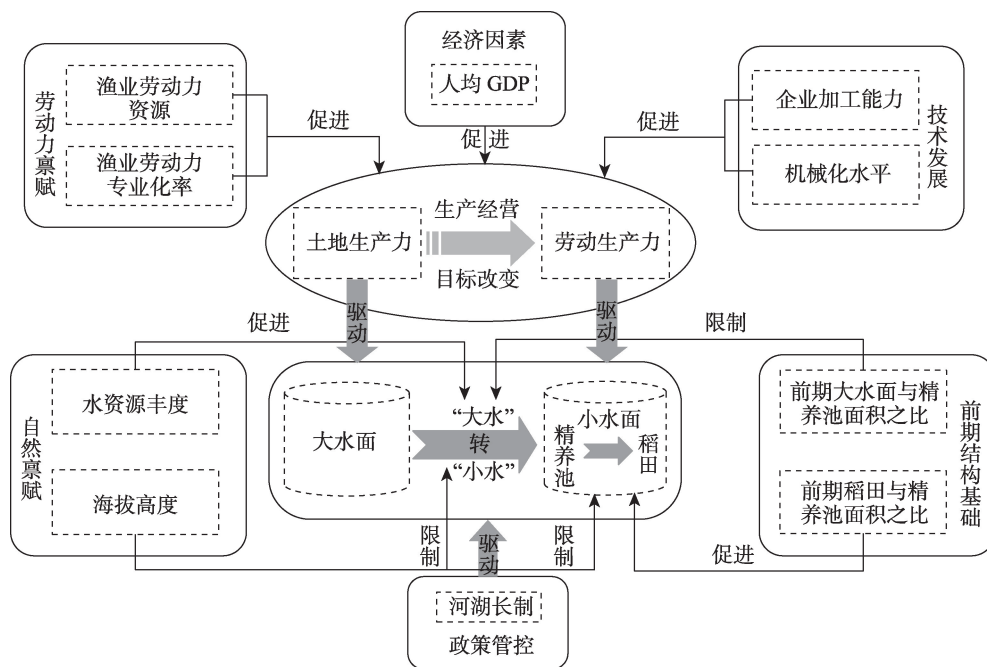


图5 江汉平原养殖水面结构转型驱动机制

Fig.5 Driving mechanisms for aquacultural water surface structural transition on the Jiangnan Plain

### 3.3 江汉平原养殖水面结构转型启示

通过对江汉平原养殖水面转型路径及驱动机制进行分析,围绕贯彻落实新发展理念推动高质量发展与乡村振兴重大需求,对养殖水面结构转型调控提出以下政策建议:①自上而下的养殖水面结构转型调控政策制定和实施须尊重自下而上的市场诱致性养殖水面类型替代规律,特别要尊重淡水养殖要素市场中养殖主体对劳动生产力最大化的利益诉求;②小水面中尤其是以稻田为基础的稻渔综合种养,是既符合淡水产品市场需求也代表着以追求劳动生产力最大化为目标的经营方式,对遏止当前耕地撂荒具有重要的启发意义,是值得进一步推广的耕地利用方式。但是,稻渔综合种养水面也存在“渔进稻退”的耕地非粮化问题<sup>[50]</sup>。因此,亟需进一步推广新型养殖模式和技术,充分发挥稻渔综合种养模式的综合效益。

### 3.4 与以往研究的比较及其对土地利用转型研究的启示

以往有关养殖水面的研究主要集中在养殖水质检测与管理<sup>[51-53]</sup>、养殖效率测算<sup>[54]</sup>及其影响因素分析<sup>[55-58]</sup>、可持续养殖实践<sup>[49,59-61]</sup>、政策管理等方面<sup>[62]</sup>。对于养殖效率而言,国外学者主要利用养殖户调查数据进行技术效率测算,而中国学者主要依据统计资料从全国尺度上进行面板分析,并对比不同地区

的差异,发现劳动力质量(如性别、年龄、受教育程度、养殖年限等)<sup>[55-58]</sup>、养殖形式(如个体经营、联合经营等)<sup>[56]</sup>、养殖投入<sup>[56-58]</sup>(如养殖水面中池塘使用年限、深度、面积等)是影响养殖效率的主要因素。随着可持续渔业的提出,“渔农轮作”<sup>[59]</sup>、“稻渔综合种养”<sup>[49]</sup>、“鱼菜共生”<sup>[60-61]</sup>等新型养殖方式快速发展。与此同时,政府相关政策也影响到养殖水面的变化,如越南政府为追求效益鼓励塘堰养殖进而导致养殖水面大幅扩张<sup>[62]</sup>。目前,也有少数研究关注了淡水和海水养殖的时空变化<sup>[63-65]</sup>。

但是,鲜少有学者从土地利用转型的视角研究养殖水面的转型。与以往研究相比,本文以土地利用转型范式为指导,从结构演化的角度揭示养殖水面转型,并将自下而上的市场诱致作用和自上而下的政策管控作用结合起来,探讨养殖水面结构转型的驱动机制。本文对土地利用转型研究提供了以下启示:第一,迫切需要将养殖水面转型作为土地利用转型的新现象,丰富土地利用转型的研究主题。从类型结构演化视角分析养殖水面时空动态变化特征,有利于厘清养殖水面转型的发展脉络;从空间结构演化视角研究则有利于探讨养殖水面转型的驱动机制。第二,养殖水面结构转型与水文过程、流域治理关系密切,迫切需要深入研究养殖水面结构转型对流域高质量发展的影响。

## 4 结论

本文综合运用 Simpson 多样性指数、地理要素重心模型和面板回归模型江汉平原养殖水面转型路径及驱动机制进行探讨,得到如下结论:

主要结论如下:

(1) 2001—2020 年,江汉平原养殖水面在总量、类型结构和空间结构三方面发生了转型。养殖水面由快速扩张向扩张减缓转型,类型结构发生了“大水转小水、小水精养化、综合种养化主导”的转型,空间结构出现了“大水爬坡、小水向江”的转型趋势。同时,养殖模式由粗放型和半集约化养殖转为集约化养殖再转为综合生态化养殖。

(2) 市场诱致性类型替代叠加政策强制性结构调整驱动了 2001—2020 年江汉平原养殖水面“大水转小水”的过程。具体地,前者表现为自下而上以追求土地生产力最大化为养殖目标的市场诱致性力量驱动的养殖水面类型替代,后者表现为以河湖长制为代表的自上而下的水域管控政策实施驱动的养殖水面类型替代。

(3) 市场诱致性类型代替机制驱动了江汉平原小水面由精养化转为综合种养化的过程。具体地,在市场诱致下,水产养殖经营目标逐渐由追求土地生产力最大化转变为追求劳动生产力最大化,驱使江汉平原养殖水面逐步演变为以稻田养殖水面为主导的类型结构。

(4) 自上而下的养殖水面结构转型调控政策制定和实施须尊重自下而上的市场诱致性养殖水面替代,特别要尊重淡水养殖要素市场中养殖主体对劳动生产力最大化的利益诉求。此外,迫切需要将养殖水面转型作为土地利用转型的新现象加以研究,要重视从类型结构和空间结构演化切入探索土地利用转型的机理。

## 参考文献(References)

- [1] Foley J A, DeFries R, Asner G P, et al. Global consequences of land use [J]. *Science*, 2005, 309: 570-574.
- [2] Lambin E F, Meyfroidt P. Land use transitions: Socio-ecological feedback versus socio-economic change [J]. *Land Use Policy*, 2010, 27(2): 108-118.
- [3] Long H L, Qu Y. Land use transitions and land management: A mutual feedback perspective [J]. *Land Use Policy*, 2018, 74: 111-120.
- [4] Mather A S. The forest transition [J]. *Area*, 1992, 24(4):

367-379.

- [5] Grainger A. National land use morphology: Patterns and possibilities [J]. *Geography*, 1995, 80(3): 235-245.
- [6] Chen K Q, Wang Y X, Li N H, et al. The impact of farmland use transition on rural livelihood transformation in China [J]. *Habitat International*, 2023, 135: 102784. doi: 10.1016/j.habitatint.2023.102784.
- [7] 宋小青, 吴志峰, 欧阳竹. 1949 年以来中国耕地功能变化 [J]. *地理学报*, 2014, 69(4): 435-447. [Song Xiaoqing, Wu Zhifeng, Ouyang Zhu. Changes of cultivated land function in China since 1949. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(4): 435-447. ]
- [8] 付慧, 刘艳军, 孙宏日, 等. 京津冀地区耕地利用转型时空分异及驱动机制 [J]. *地理科学进展*, 2020, 39(12): 1985-1998. [Fu Hui, Liu Yanjun, Sun Hongri, et al. Spatiotemporal characteristics and dynamic mechanism of cultivated land use transition in the Beijing-Tianjin-Hebei region. *Progress in Geography*, 2020, 39(12): 1985-1998. ]
- [9] Zhao Q L, Jiang G H, Yang Y T, et al. Multifunction change of rural housing land in metropolitan suburbs from the perspective of farmer households' land-use behavior [J]. *Land Use Policy*, 2022, 119: 106206. doi: 10.1016/j.landusepol.2022.106206.
- [10] 瞿诗进, 胡守庚, 李全峰. 中国城市建设用地转型阶段及其空间格局 [J]. *地理学报*, 2020, 75(7): 1539-1553. [Qu Shijin, Hu Shougeng, Li Quanfeng. Stages and spatial patterns of urban built-up land transition in China. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(7): 1539-1553. ]
- [11] 周贵鹏, 龙花楼. 农村居民点土地利用隐性形态三维测度及其耦合协调演化研究: 以河南省为例 [J]. *地理科学进展*, 2023, 42(6): 1082-1097. [Zhou Guipeng, Long Hualou. Three-dimensional measurement and coupling and coordination evolution of recessive land use morphology of rural settlements: A case of Henan Province. *Progress in Geography*, 2023, 42(6): 1082-1097. ]
- [12] 龙花楼. 土地利用转型: 土地利用/覆被变化综合研究的新途径 [J]. *地理与地理信息科学*, 2003, 19(1): 87-90. [Long Hualou. Land use transition: A new integrated approach of land use/cover change study. *Geography and Territorial Research*, 2003, 19(1): 87-90. ]
- [13] 宋小青. 论土地利用转型的研究框架 [J]. *地理学报*, 2017, 72(3): 471-487. [Song Xiaoqing. Discussion on land use transition research framework. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(3): 471-487. ]
- [14] 龙花楼. 土地利用转型的解释 [J]. *中国土地科学*, 2022, 36(4): 1-7. [Long Hualou. Explanation of land use transitions. *China Land Science*, 2022, 36(4): 1-7. ]
- [15] 陈韵凌, 王茂军. 泰安市设施农用地的时空格局演变与



- 影响因素[J]. 地理科学进展, 2023, 42(1): 116-130. [Chen Yunling, Wang Maojun. Spatial and temporal patterns of facility agricultural land in Tai'an City and influencing factors. *Progress in Geography*, 2023, 42(1): 116-130. ]
- [16] Fujimori S, Hasegawa T, Krey V, et al. A multi-model assessment of food security implications of climate change mitigation [J]. *Nature Sustainability*, 2019, 2: 386-396.
- [17] Ray D K, West P C, Clark M et al. Climate change has likely already affected global food production [J]. *PLoS One*, 2019, 14(5): e217148. doi: 10.1371/journal.pone.0217148.
- [18] 刘爱琳, 匡文慧, 张弛. 1990—2015年中国工矿用地扩张及其对粮食安全的潜在影响[J]. 地理科学进展, 2017, 36(5): 618-625. [Liu Ailin, Kuang Wenhui, Zhang Chi. Potential impacts of industrial land expansion on food security in China, 1990–2015. *Progress in Geography*, 2017, 36(5): 618-625. ]
- [19] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). The state of fisheries and aquaculture 2022 [EB/OL]. 2023-06-28 [2023-08-07]. <https://www.fao.org/3/cc0461zh/online/sofia/2022/world-fisheries-aquaculture-production.html>.
- [20] Zhang W B, Belton B, Edwards P, et al. Aquaculture will continue to depend more on land than sea [J]. *Nature*, 2022, 603: E2-E4.
- [21] Olaganathan R, Kar Mun A T. Impact of aquaculture on the livelihoods and food security of rural communities [J]. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 2017, 5(2): 278-283.
- [22] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). FAO yearbook: Fishery and aquaculture statistics 2019/FAO annuaire [EB/OL]. 2021-12-10 [2023-08-07]. <https://www.fao.org/fishery/en/publications/287024>.
- [23] de Verdal H, Komen H, Quillet E, et al. Improving feed efficiency in fish using selective breeding: A review [J]. *Reviews in Aquaculture*, 2018, 10(4): 833-851.
- [24] Ju R T, Li X, Jiang J J, et al. Emerging risks of non-native species escapes from aquaculture: Call for policy improvements in China and other developing countries [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2020, 57(1): 85-90.
- [25] Zhang H, Kang M, Shen L, et al. Rapid change in Yangtze fisheries and its implications for global freshwater ecosystem management [J]. *Fish and Fisheries*, 2020, 21(3): 601-620.
- [26] 辛良杰. 中国居民膳食结构升级、国际贸易与粮食安全[J]. 自然资源学报, 2021, 36(6): 1469-1480. [Xin Liangjie. Dietary structure upgrade of China's residents, international trade and food security. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(6): 1469-1480. ]
- [27] Zhu Y Y, Wang Z W, Zhu X H. New reflections on food security and land use strategies based on the evolution of Chinese dietary patterns [J]. *Land Use Policy*, 2023, 126: 106520. doi: 10.1016/j.landusepol.2022.106520.
- [28] 曹志宏, 郝晋珉, 邢红萍. 中国居民食物消费碳排放时空演变趋势及其驱动机制分析[J]. 地理科学进展, 2020, 39(1): 91-99. [Cao Zhihong, Hao Jinmin, Xing Hongping. Spatial-temporal change of Chinese resident food consumption carbon emissions and its driving mechanism. *Progress in Geography*, 2020, 39(1): 91-99. ]
- [29] 郭利京, 黄振英. 淮河生态经济带农业面源污染空间分布及治理研究[J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30(7): 1746-1756. [Guo Lijing, Huang Zhenying. Study on spatial distribution and control of agricultural non-point source pollution in Huaihe ecological economic belt. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2021, 30(7): 1746-1756. ]
- [30] 刘尊雷, 张寒野, 袁兴伟, 等. 基于遥感影像的江西省水体资源和水产养殖结构空间异质性分析[J]. 自然资源学报, 2018, 33(10): 1833-1846. [Liu Zunlei, Zhang Hanye, Yuan Xingwei, et al. Spatial heterogeneity of water resource and aquaculture structure in Jiangxi Province based on remote sensing image. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(10): 1833-1846. ]
- [31] Li S F, Li X B. Global understanding of farmland abandonment: A review and prospects [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2017, 27(9): 1123-1150.
- [32] Tan Y Z, Chen H, Xiao W, et al. 2021. Influence of farmland marginalization in mountainous and hilly areas on land use changes at the county level [J]. *Science of the Total Environment*, 794: 149576. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.149576.
- [33] 卓蓉蓉, 余斌, 曾菊新, 等. 中国重点农区乡村地域功能演变及其影响机理: 以江汉平原为例[J]. 地理科学进展, 2020, 39(1): 56-68. [Zhuo Rongrong, Yu Bin, Zeng Juxin, et al. Change and mechanism of influence of rural territorial functions in major agricultural areas of China: A case study of the Jiangnan Plain. *Progress in Geography*, 2020, 39(1): 56-68. ]
- [34] 卓蓉蓉, 余斌, 曾菊新, 等. 地域主体功能导向的江汉平原乡村发展能力时空变化[J]. 经济地理, 2019, 39(5): 171-180. [Zhuo Rongrong, Yu Bin, Zeng Juxin, et al. Spatio-temporal evolution of rural development capacity of Jiangnan Plain from the perspective of regional major function. *Economic Geography*, 2019, 39(5): 171-180. ]

- [35] 徐燕. 江汉平原乡村农户休闲活动空间变化研究 [D]. 武汉: 华中师范大学, 2019. [Xu Yan. Study on the change of rural leisure space in Jiangnan Plain. Wuhan, China: Central China Normal University, 2019. ]
- [36] 田玲玲. 江汉平原农村基本公共服务均等化与空间优化研究: 以仙桃市为例 [D]. 武汉: 华中师范大学, 2017. [Tian Lingling. Study on the equalization and spatial optimization of rural basic public services in Jiangnan Plain: A case study of Xiantao County. Wuhan, China: Central China Normal University, 2017. ]
- [37] 百度百科. 江汉平原 [EB/OL]. 2023-08-15 [2023-08-27]. <https://baike.baidu.com/item/%E6%B1%9F%E6%B1%89%E5%B9%B3%E5%8E%9F/10796670>. [Baidu-baike. Jiangnan Plain. 2023-08-15 [2023-08-27]. <https://baike.baidu.com/item/%E6%B1%9F%E6%B1%89%E5%B9%B3%E5%8E%9F/10796670>. ]
- [38] 唱彤, 郦建强, 郭旭宁, 等. 江汉平原水域空间格局时空演变特征及其驱动因素分析 [J]. 水科学进展, 2023, 34 (1): 21-32. [Chang Tong, Li Jianqiang, Guo Xuning, et al. The spatial-temporal characteristics and driving forces analysis of water area landscape pattern changes on the Jiangnan Plain. Advances in Water Science, 2023, 34 (1): 21-32. ]
- [39] 嵇莹, 杨倩, 林爱文, 等. 江汉平原水土资源结构与产能时空分异特征 [J]. 水土保持通报, 2016, 36(2): 320-325. [Ji Ying, Yang Qian, Lin Aiwen, et al. Spatial-temporal variation of land and water resource structure and farmland productivity in Jiangnan Plain. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2016, 36(2): 320-325. ]
- [40] 薛镇宇. 促进科技生产发展: 中国水产学会大水面渔业资源增殖学术讨论会在哈尔滨举行 [J]. 水产科技情报, 1979(8): 1. [Xue Zhenyu. Promoting the development of science and technology production: China Fisheries Society Symposium on the enhancement of large water fishery resources was held in Harbin. Fisheries Science & Technology Information, 1979(8): 1. ]
- [41] Rocchini D, Delucchi L, Bacaro G, et al. Calculating landscape diversity with information-theory based indices: A GRASS GIS solution [J]. Ecological Informatics, 2013, 17: 82-93.
- [42] 李秀彬. 地区发展均衡性的可视化测度 [J]. 地理科学, 1999, 19(3): 254-257. [Li Xiubin. Visualizing spatial equality of development. Scientia Geographica Sinica, 1999, 19(3): 254-257. ]
- [43] Luo W, Wang D J, Xu Z et al. Effects of cadmium pollution on the safety of rice and fish in a rice-fish coculture system [J]. Environment International, 2020, 143: 105898. doi: 10.1016/j.envint.2020.105898.
- [44] Chen Y L, Yu P H, Chen Y Y, et al. Spatiotemporal dynamics of rice-crayfish field in mid-China and its socio-economic benefits on rural revitalization [J]. Applied Geography, 2022, 139: 102636. doi: 10.1016/j.apgeog.2022.102636.
- [45] Yang X, Deng X Z, Zhang A L. Does conservation tillage adoption improve farmers' agricultural income? A case study of the rice and fish co-cultivation system in Jiangnan Plain, China [J]. Journal of Rural Studies, 2023, 103: 103108. doi: 10.1016/j.jrurstud.2023.103108.
- [46] Do M H, Nguyen T T, Grote U. Land consolidation, rice production, and agricultural transformation: Evidence from household panel data for Vietnam [J]. Economic Analysis and Policy, 2023, 77: 157-173.
- [47] Song X Q, Wang X, Li X Y, et al. Policy-oriented versus market-induced: Factors influencing crop diversity across China [J]. Ecological Economics, 2021, 190: 107184. doi: 10.1016/j.ecolecon.2021.107184.
- [48] Yuan J J, Xiang J A, Liu D Y, et al. Rapid growth in greenhouse gas emissions from the adoption of industrial-scale aquaculture [J]. Nature Climate Change, 2019, 9: 318-322.
- [49] 管卫兵, 刘凯, 石伟, 等. 稻渔综合种养的科学范式 [J]. 生态学报, 2020, 40(16): 5451-5464. [Guan Weibing, Liu Kai, Shi Wei, et al. Scientific paradigm of integrated farming of rice and fish. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40 (16): 5451-5464. ]
- [50] Hu L L, Zhang J, Ren W Z, et al. Can the co-cultivation of rice and fish help sustain rice production [J]. Scientific Reports, 2016, 6: 28728. doi: 10.1038/srep28728.
- [51] 刘星桥, 骆波, 朱成云. 基于物联网和GIS的水产养殖测控系统平台设计 [J]. 渔业现代化, 2016, 43(6): 16-20. [Liu Xingqiao, Luo Bo, Zhu Chengyun. Design of an aquaculture monitoring and control system based on Internet of Things and GIS. Fishery Modernization, 2016, 43(6): 16-20. ]
- [52] 刘雨青, 李佳佳, 曹守启, 等. 基于物联网的螃蟹养殖基地监控系统设计及应用 [J]. 农业工程学报, 2018, 34 (16): 205-213. [Liu Yuqing, Li Jiajia, Cao Shouqi, et al. Design and application of monitoring system for crab breeding base based on Internet of Things. Transactions of the CSAE, 2018, 34(16): 205-213. ]
- [53] 颜波, 石平. 基于物联网的水产养殖智能化监控系统 [J]. 农业机械学报, 2014, 45(1): 259-265. [Yan Bo, Shi Ping. Intelligent monitoring system for aquaculture based on Internet of Things. Transactions of the CSAM 2014, 45(1): 259-265. ]
- [54] 孙炜琳, 刘佩, 高春雨. 我国淡水养殖渔业技术效率研

- 究: 基于随机前沿生产函数 [J]. 农业技术经济, 2014 (8): 108-117. [Sun Weilin, Liu Pei, Gao Chunyu. Research on technical efficiency of freshwater aquaculture fisheries in China: Based on stochastic frontier production function. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2014 (8): 108-117. ]
- [55] Inoni O E, Ogisi O D, Achoja F O. Profitability and technical efficiency in homestead catfish production in Delta State, Nigeria [J]. *Economics of Agriculture*, 2017, 64 (4): 1449-1465.
- [56] Girei A A, Dire B, Iliya M M, et al. Stochastic frontier production function on the resource use efficiency of Fadama II Crop Farmers in Adamawa State, Nigeria [J]. *European Journal of Agricultural and Forestry Research*, 2013, 1(2): 1-15.
- [57] 郑思宁, 刘强, 郑逸芳. 规模化水产养殖技术效率及其影响因素分析 [J]. 农业工程学报, 2016, 32(20): 229-235. [Zheng Sining, Liu Qiang, Zheng Yifang. Analysis of scale aquaculture production efficiency and analysis of its determinants. *Transactions of the CSAE*, 2016, 32 (20): 229-235. ]
- [58] Misra J, Misra S. Technical efficiency of fish farms in West Bengal: Nature, extent and implications [J]. *Agricultural Economics Research Review*, 2014, 27(2): 221-232.
- [59] Páczay G. Sustainable freshwater aquaculture in the EU and in Hungary [J]. *International Journal of Aquaculture and Fishery Sciences*, 2018, 4(3): 39-44.
- [60] Yep B, Zheng Y B. Aquaponic trends and challenges: A review [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 228: 1586-1599.
- [61] König B, Janker J, Reinhardt T, et al. Analysis of aquaponics as an emerging technological innovation system [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 180: 232-243.
- [62] Sun Z, Luo J H, Gu X H, et al. Policy-driven opposite changes of coastal aquaculture ponds between China and Vietnam: Evidence from Sentinel-1 images [J]. *Aquaculture*, 2023, 571: 739474. doi: 10.1016/j.aquaculture.2023.739474.
- [63] 韩增林, 胡盈. 大连市海洋渔业集群空间格局演化与企业区位选择 [J]. 地理科学, 2021, 41(4): 634-644. [Han Zenglin, Hu Ying. Spatial pattern evolution of cluster and the impacts of firms' location choices of marine fisheries sector in Dalian. *Scientia Geographica Sinica*, 2021, 41(4): 634-644. ]
- [64] 芮旻, 李炬霖, 唐蓓佩, 等. 中国淡水渔业空间格局演化及其影响机理 [J]. 地域研究与开发, 2018, 37(5): 1-5, 12. [Rui Yang, Li Julin, Tang Beiwei, et al. Spatial pattern evolution and its influencing mechanism of freshwater fisheries in China. *Areal Research and Development*, 2018, 37(5): 1-5, 12. ]
- [65] Liu B Q, Zhang S J, Xu M, et al. Spatial differences in the marine industry based on marine-related enterprises: A case study of Jiangsu Province, China [J]. *Regional Studies in Marine Science*, 2023, 62: 102954. doi: 10.1016/j.rsma.2023.102954.



## Structural transition route of aquacultural water surfaces on the Jiangnan Plain and mechanisms

LIU Wenhui<sup>1,2</sup>, SONG Xiaoqing<sup>1,2\*</sup>, XU Huixiao<sup>1,2</sup>, GAO Houxing<sup>1,2</sup>

(1. Hubei Key Laboratory of Regional Ecology and Environmental Change, School of Geography  
and Information Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

2. Technology Innovation Center for Intelligent Monitoring and Spatial Control of Land Carbon Sink Project,  
Ministry of Natural Resources, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** An in-depth understanding of the transition of freshwater aquacultural water surfaces is significant for implementing the new development concept and macro view on food and for promoting global sustainable development. However, studies on the structural transition of aquacultural water surfaces and its driving mechanisms are still very limited. As socioeconomic development progresses, there are significant impacts of the growing market demand of freshwater products and water control policies such as the lake chief system on aquacultural water surfaces. Using the Simpson index method, center of gravity model of geographic factors, and panel regression models, we took the Jiangnan Plain as an example to reveal the structural transition characteristics of aquacultural water surfaces from the perspectives of type structure and spatial structure by focusing on the mechanisms under the combined effects of market-induced changes and policy control. The results show that: 1) From 2001 to 2020, the freshwater aquacultural water surfaces on the Jiangnan Plain experienced a transition from rapid expansion to slow expansion; the type structure experienced a transition of "large water to small water, small water refinement, and comprehensive breeding dominance"; the spatial structure experienced a transition of "large water climbing, small water towards the river". 2) Market-induced type substitution mechanism, that is, the bottom-up market-induced substitution of aquacultural water surface types driven by the pursuit of labor productivity maximization, combined with the policy compulsory structural adjustment mechanism, that is, the top-down water control policy implementation such as the lake chief system, has driven the structural transition of aquacultural water surfaces on the Jiangnan Plain. In addition, this article proposed policy recommendations to strengthen the regulation of structural transition of aquacultural water surfaces. This study is important for promoting the expansion of land use transition research to aquacultural water surfaces and deepen the analysis of structural evolution.

**Keywords:** aquacultural water surfaces; structure; land use transition; market-induced; Jiangnan Plain