

江苏省稻田种养产业化开发空间优选与分区引导策略

吴雅欣^{1,2}, 金涛^{1,2*}, 史琛^{1,2}, 张洪程^{1,3}, 高辉^{1,3}, 李欣¹, 王建军¹

(1. 扬州大学农学院, 扬州 225009; 2. 江苏省粮食作物现代产业技术协同创新中心, 扬州 225009; 3. 农业农村部长江流域稻作技术创新中心, 扬州 225009)

摘要:为探讨产业化发展要求下的稻田种养空间落位及战略管理问题, 该研究以江苏省为研究区, 分别从自然适宜度和产业优势度两个维度, 构建量化评估指标体系, 综合评判稻田种养产业化开发的空間优先级, 提出分区引导政策指引。基于水源、土壤、地形等自然因素的综合评级结果显示, 江苏省高度适宜开发稻田种养的面积占全省水田总面积的 13.8%, 中度适宜开发面积占比 57.0%; 自然适宜度高值区主要分布在里下河地区并延伸至苏北灌溉总渠沿线, 以及长江以南的东部沿江平原向南至太湖平原一带。基于劳动力、基础设施、软环境等层面的综合评级结果表明, 苏北地区产业优势度高低互现, 苏南地区产业优势度高值区主要分布在邻近上海、南京大都市的外围郊县区。通过对基于县域单元的两维度空间评级结果的耦合分析, 划分为 4 类空间, 按照重点发展、适度扶持、优化调整和控制开发等方向, 分别提出稻田种养产业化开发策略。该研究可为提升稻田资源开发效率和稻田种养产业高质量发展提供决策参考。

关键词: 分区; 稻田; 水产养殖; 适宜度评价; 优势度评价; 开发策略

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2022.08.029

中图分类号: F323.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2022)-08-0255

吴雅欣, 金涛, 史琛, 等. 江苏省稻田种养产业化开发空间优选与分区引导策略[J]. 农业工程学报, 2022, 38(8): 255-262. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2022.08.029 http://www.tcsae.org

Wu Yaxin, Jin Tao, Shi Chen, et al. Spatial optimization and zoning guidance strategy of rice-aquatic coculture system in Jiangsu Province, China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2022, 38(8): 255-262. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2022.08.029 http://www.tcsae.org

0 引言

种植养殖一体化是实现资源综合利用、循环利用的有效途径。将种养业纳入到一体化经营的产业体系, 推进循环农业的产业化是现代产业发展趋势。在水田农业区, 以稻田湿地为基础, 将稻作与渔牧生产相结合的稻田种养系统, 因其一水两用、一地多收、绿色高效的突出优势, 在盛产稻米的亚洲多个国家都有快速发展^[1-2]。中国是稻田种养面积最大的国家^[3]。稻田种养的生产结构, 顺应人口对高品质稻米和动物性食物需求增长的趋势。市场有需求, 资源有潜力。近年来, 作为农业调结构、转方式的重要举措, 中国稻田种养规模快速攀升, 据报告, 2011 年, 全国仅稻渔种养的面积 120.8 万 hm², 2019 年上升至 231.7 万 hm², 全国 27 个省份均有稻渔种养的应用^[4]。与传统稻田养殖相比, 新时代稻田种养模式, 除了技术水平的提升, 重点是突出产业化发展特征, 要求区域化布局、规模化生产、标准化管理和产业化运营^[4-5]。

产业化发展对稻田种养的产业基础、资源条件和要素条件提出了新要求^[6]。在近期发展热潮中, 有些地区因发

展规划跟不上稻田种养产业快速发展的要求, 导致耕地破坏、环境风险增加、粮食产能受损等诸多问题^[4-7]。为此, 2019 年 4 月, 农业农村部办公厅印发《关于规范稻渔综合种养产业发展的通知》, 要求对沟坑占比、水稻产量、种养环境和产品质量进行严格控制; 2020 年 11 月国务院办公厅印发《关于防止耕地“非粮化”稳定粮食生产的意见》提出发展稻田综合立体种养应当以不破坏永久基本农田为前提。2021 年《中华人民共和国长江保护法》颁布, 长江流域重点水域实施十年禁捕, 随后农业农村部陆续发文, 要求在退捕渔民实用技术培训、社会资本投资农业农村等方面, 指引各方资源向稻田种养产业领域配置。随着大江大河大湖禁渔计划的实施, 稻田湿地可以部分替代天然水体的渔业功能, 通过稻田养殖满足不断增长的食物营养需求成为发展大趋势^[8]。为科学有序推进稻田种养业的可持续发展, 当前迫切需要做好稻田种养系统开发的全域统筹、科学布局 and 分类引导。

种养生产需因地择时发展, 传统的农业布局与区划研究大多是从生产侧出发, 通过适宜性评价确定适地适种空间方案。这种侧重自然属性的农业区划研究, 往往通过研究气候、土壤、地形等资源生态与种养生物之间的最适关系, 提出农业规划布局或农地利用方案^[9-12]。农业还具有社会经济属性, 现代农业(或农地)开发从关注自然限制性因素, 转到兼顾自然因素和社会经济因素, 综合评定农地生产性用途的配置^[13-14], 或种养技术推广的空间优先级^[15]。在传统重生产轻消费的社会体制及发

收稿日期: 2021-12-01 修订日期: 2022-03-20

基金项目: 中国工程院战略研究与咨询项目“中国稻田综合种养高质量发展战略研究”(2021-XZ-30); 江苏省重点研发计划项目“江苏省稻虾、稻鱼(禽)等主要类型综合种养系统的调研与效益分析”(BE2018355-8)

作者简介: 吴雅欣, 研究方向为农业管理。Email: 1602369870@qq.com

*通信作者: 金涛, 博士, 副教授, 研究方向为区域农业发展。

Email: tjin@yzu.edu.cn

展模式下, 农业空间发展决策的重点是确定农业生产的适宜空间, 虽然生产适宜性评价拓展到劳动力、资本、土地收益等因素, 但考量维度仍主要立足于生产导向的资源要素的供给侧。

随着社会生产力的提高, 中国农业已走出产不足需的短缺经济时代, 买方需求或市场购买力将约束生产的规模和方向。从需求侧探讨农业空间配置论, 经典研究是杜能的农业区位论, 市场距离或市场可达性进而成为研究农地利用行为和生产区位选择的重要因素^[16]。在开放经济和买方市场的条件下, 按照现代产业集群论, 有产业竞争优势的空间将获得更多发展机会。近些年有研究开始关注农业可持续转型发展需求和潜力的空间差异, 进而对转型发展机会进行空间评级和分区政策指引^[17]。这种对空间机会的评级研究, 意味着农业空间决策开始强调对产业竞争环境的适应, 分析重点从农业适宜空间转向竞争性优势空间。加入 WTO 以来, 中国农业开放度不断扩大, 对农业优势度的评价成为学界热点, 关注点有县域农业发展优势^[18]、产业融合度^[19]、乡村发展策略^[20]、市场竞争力^[21]等, 鉴于农业对资源环境的依赖和影响, 这些研究虽强调产业竞争力的形成因素, 在评价维度上, 仍缺少对农业生产特质属性的关注。

稻田种养符合农业绿色发展大方向, 对水田资源开发和稻渔业发展意义重大, 但目前相关领域的研究多集中于稻田种养技术模式及效益分析^[1,3], 或产业发展报告^[2,4], 也有研究从空间层面探讨稻渔牧各业的发展适宜性^[9-10], 但专门针对稻田种养业, 无论是立足于稻田种养生物体的生境适宜性, 还是相关产业开发潜力或优势度的评价研究, 都少有报道^[15]。稻田种养模式某种意义上属有机生态农法的一种, 种养系统依存于更大范围的自然生态环境; 同时, 种养循环农业以提供安全高质的绿色农产品为导向, 绿色高端农产品市场竞争性较强。在农产品买方市场条件下, 本文引入农业优势度的分析视角, 旨在探讨产业化发展要求下的稻田种养空间落位及战略管理问题, 以平原水乡地区的江苏省为研究区域, 通过自然适宜度和产业优势度的一体化评估, 研判稻田种养系统产业化开发的分区分类引导策略, 为提升稻田资源开发效率和稻田种养产业高质量发展提供决策参考。

1 研究方法数据来源

1.1 研究区概况

江苏省地处江淮下游, 地势低平、河渠密布、水田连片, 素有“鱼米之乡”美誉。农业统计数据显示, 江苏水田面积占耕地面积的 58.9% (2017 年), 水稻播种面积常年稳定在 220 万 hm^2 以上, 2019 年, 江苏水稻产量和淡水水产产量分列全国第四和第三位^[22]。江苏稻田养殖规模在 2006—2016 年前后历时 11 年呈缓慢下降趋势, 近期出现一轮明显的涨落波动 (图 1), 至 2019 年, 全省稻田养殖面积 19.2 万 hm^2 , 是水稻种植面积的 8.8%, 达到全省湖、塘、库、河、沟等内陆养殖面积 (不含稻田养殖) 的 45%^[23]。全省 90% 以上的县开展了稻田养殖,

当年稻田养殖面积及种养水产品产量居全国第五位。江苏省明确将稻田综合种养作为乡村产业振兴和精准脱贫的重要抓手, 鉴于近期全省稻田养殖空间扩张出现进退震荡, 迫切需要立足于长远竞争力, 做好稻田种养产业化开发的整体谋划和开发引导。

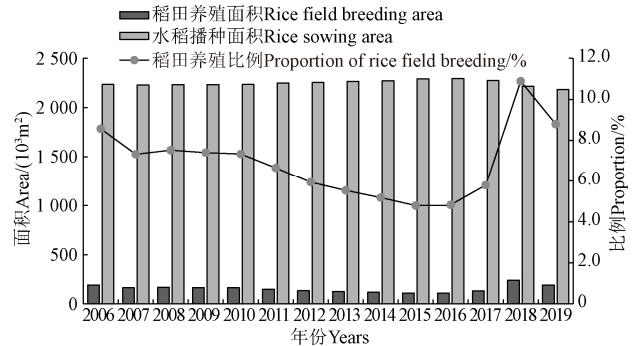


图 1 2006—2019 年江苏省水稻种植及稻田养殖规模变化
Fig.1 Changing scale of rice planting and paddy aquaculture in Jiangsu Province from 2006 to 2019

1.2 评价指标体系及方法

1.2.1 评价思路

从稻田种植业转向种养立体循环农业, 推进农业生产方式绿色转型的机会和可行性, 既取决于地方资源环境条件 (如地形、土壤、水源等), 还受当地社会经济条件 (如劳动力市场、消费者需求、产业基础等) 的影响, 各地发展稻田综合种养的机会和潜力不尽相同。从自然适宜度和产业优势度两个维度, 按照数据准备、评级指标体系构建、分维度评分测度、综合得分评级, 耦合分析和类型分区的总体技术路线展开。空间战略管理一般以行政管理单元为研究对象, 县域为农业经济管理的基本单元, 农业农村部 2017 年发布《种养结合循环农业示范工程建设规划》(2017—2020 年), 也要求以县域为单元, 整县推进种养加一体化。但自然适宜度评价以水田为评价单元, 评价主体为自然空间, 选取水文、地形、土壤等自然要素的空间数据, 在综合得分评级这一环节, 故需通过尺度转换, 将基于水田栅格单元的自然适宜度评分, 转换成县域单元的评分, 由此与产业优势度评级结果相统合, 进行基于县域的综合发展评价及空间分类引导研究。

1.2.2 评级指标体系构建

水稻生长喜热、喜光、需水, 江苏为暖湿季风气候, 全省南北皆宜植稻^[24], 气温、降水、光照等气候因子, 并非限制稻渔种养分布的决定因素。为保护耕地, 发展稻田种养要优先发展低洼田、易涝田、冬闲田^[4]; 一般要求水源充足且水质良好, 宜选择疏松肥沃、保水保肥性好的壤土和黏土^[25]。综上, 地形、水源、土壤是实施稻田种养最重要的条件, 其中以水源最为关键, 要求水源充足且灌排方便, 故选取水源丰度和水网密度两项指标。相关指标 (表 1) 的适宜度分级的赋值参考相关文献^[26-29]。其中, 水网密度^[26]: 最适宜 (>0.43), 较适宜 (>0.33~0.43), 一般 (0.21~0.33), 不适宜 (<0.21); 水源丰度^[27]: 对江湖库塘按 >500、>20~500、1~20、

$<1 \text{ km}^2$ 进行缓冲区分析, 并叠置处理和重分类定级; 土壤砂度: 按国际制土壤质地分类标准^[28], 按土壤含砂量, 最适宜 ($<30\%$), 较适宜 ($30\% \sim 40\%$), 一般 ($>40\% \sim 55\%$), 不适宜 ($>55\%$); 地面高程^[29]: 按地形分类一般标准, 最适宜 (低洼地 $<5 \text{ m}$), 较适宜 (低平原 $5 \sim 30 \text{ m}$), 一般 (台地 $>30 \sim 70 \text{ m}$), 不适宜 (丘陵山地 $>70 \text{ m}$)。

表 1 江苏省稻田种养自然适宜度评价指标体系

Table 1 Evaluation index system of natural suitability of integrated rice-aquatic coculture in Jiangsu Province

一级指标 First level index	二级指标 Second level index	指标性质 Index nature	指标说明 Index description
水源 Water source	水网密度	正向	水系的线密度
	水源丰度	正向	分级缓冲区分析
土壤 Soil	土壤砂度	负向	表土层土壤砂度
地形 Terrain	高程	负向	江苏省 DEM 数据

产业竞争优势来源于彼此相关的产业集群, 产业集群具有竞争力的组织形式在特定的空间形成, 形成的条件包括特殊的历史环境、市场化因素、专业化的劳动力组织、基础设施等环境条件^[30]。考虑到研究区数据的可获取性, 在遵循科学性、全面性、可比性的原则下, 兼顾研究区实际情况, 本文从劳动力、基础设施、软环境 3 个子维度选取指标评判产业综合优势度 (表 2)。首先, 稻田种养具有劳动密集和技术密集的特征, 选取农业、种植业和渔业的就业区位商指标, 表征专业化的劳动力组织的条件; 其次, 稻田种养业发展还具有资本密集和市场依赖的特征, 如实施稻田种养, 前期田间工程建设、排灌水系配套、交通可达性, 选取农田水利、排灌条件和道路交通相关指标; 再次, 现代稻田种养业要求规模化生产、产业化经营、社会化服务和品牌化运作, 选取生产性服务业指标表示社会化服务水平、稻田种养国家级示范区、省级试点县数量代表政策支持水平、具有江苏特色的味稻小镇建设数量, 以及稻、渔、牧相关产品的国家地理标志农产品的数量, 代表科技服务、文化传统和群众基础、市场开拓能力等地方性软实力水平。

1.2.3 评分测算及综合定级

自然适宜度评价方面 (表 1), 水源因子最为重要, 考虑到 4 因子指标中, 水相关的指标占两项, 参考同类评价研究^[15], 将水资源、土壤、地形等 4 因子指标等比赋权, 测算综合适宜度评分并采用自然裂点法进行分级。自然裂点法可对相似值进行最恰当的分组, 并可使各个类之间的差异最大化, 可用于探索群集和类的统计分布。本文旨在空间战略管理, 主要观测对象为县域单元, 故将 GIS 空间叠置分析生成的综合适宜度分级评价图, 再运用分区统计法实现尺度转换, 然后进行基于县域单元的综合适宜度评级。产业优势度评价方面 (表 2), 熵权法可以通过指标的离散度来判断该指标对综合评价的影响, 产业优势度评价主要是评判各县域单元产业空间集聚发展的机会, 本文运用这一客观赋权法测得指标权重, 并运用加权求和法得出综合优势度得分, 仍运用自然裂点法分等定级。最后基于自然适宜度和产业优势度的综合评级的组合特征, 进行耦合分区和分类评析。

表 2 江苏省稻田种养产业优势度评价指标及权重
Table 2 Evaluation index and weight of dominance of paddy rice-aquaculture industrialization in Jiangsu Province

一级指标 First level index	二级指标 Second level index	权重 Weights	指标说明 Index description
劳动力 Labor force	农业	0.070	农业就业区位商
	种植业	0.015	种植业就业区位商
	渔业	0.125	渔业就业区位商
基础设施 Infrastructure	农田水利	0.087	有效灌溉面积/农作物播种面积
	排灌设施	0.041	机灌面积/农作物播种面积
	道路交通	0.102	道路长度/县区土地面积, 县区土地面积=行政区面积-区内水域面积
软环境 Soft environment	社会化服务	0.078	农业服务业产值/农林牧渔总产值
	政策支持	0.313	国家级示范区、省级试点县名录的计数, 各县区的指标值=(实际计数×N)/总计数, N 指示示范区及试点县辐射乡镇, 无具体辐射乡镇以均值 4 计算
	文化传统	0.169	味稻小镇、国家地理标志农产品的计数, 各县区的指标值=(味稻小镇个数×2×国家地理标志农产品)/总计数

1.3 数据来源

空间评级单元排除没有水稻种植统计记录的启东市, 全省共计 76 个县域单元。数据主要有以下几类:

1) 行政区划数据来源于中国国家基础地理信息中心 (<http://ngcc.sbsm.gov.cn>), 考虑到行政区划的调整和上述数据的连续性, 将各市的市辖区统一合并处理;

2) 土地利用数据: 2020 年江苏省土地利用解译矢量数据; DEM 数据源于地理空间数据云 (<http://www.gscloud.cn>), 数据精度为 30 m; 中国土壤质地空间分布数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心 (<http://www.resdc.cn>); 水系数据、道路数据来自于全国地理信息资源目录服务系统 (<http://www.webmap.cn>)。

3) 水稻播种面积、稻田养殖面积、有效灌溉面积、机灌面积、劳动力、农业产值等统计数据主要源于《江苏省农村统计年鉴》(2020);

4) 国家级种养示范区 (5 个) 及省级种养示范区 (32 个)、农产品地理标志 (以水产品为主, 19 个)、味稻小镇 (107 个) 名录分别来自于中华人民共和国农业农村部 (<http://www.moa.gov.cn>)、江苏省农业农村厅及江苏省农业技术推广总站。

2 稻田种养系统开发的自然适宜度空间评级

从各自然因子的评分定级结果可见, 地形因子适宜度高值区分布最广, 其次是水网密度 (图 2)。这与江苏省地势低平、河网密布的资源本底条件相关。单从水网密度的指标项分级结果看, 适宜度高值区相对集中于里下河地区, 并向南延伸至太湖流域, 西部丘陵岗地区最小; 水源丰度的指标评级结果上, 适宜度高值区分布面积相对较小, 主要是江苏虽地处江、淮、沂、沭、泗流域下游, 但多为客水, 因地形平坦、储水容量有限, 水源丰度高值地区主要围绕洪泽湖、高邮湖、邵伯湖、太

湖等淡水湖盆地区, 淮北平原和沿江平原地区相对较低。土壤质地的分级结果上, 适宜度高值区主要在里下河地区与长江以南地区, 土壤黏度较高, 淮北黄泛平原地区和长江三角洲冲积平原地区, 适宜度较低; 地形因子的分级上, 适合发展稻田种养的地形为洼地和低平原地区, 江苏地势总体呈东高西低态势, 高度适宜地区主要分布在中东部地区。

自然因子的综合适宜度的分级结果上, 高值区面积达 57.07 万 hm^2 , 占全省水田总面积的 13.8%, 中度适宜稻田种养的范围最为广大, 约占水田总面积的 57.0%, 一般适宜的面积占比 17.8%, 不适宜的面积最小, 仅占 0.16%。由此可见, 江苏 70% 以上的水田分

布空间为高度和中度适宜发展地区 (图 3a), 主要是江苏农业资源本底条件好, 平原面积比率和水面面积比率在全国各省、区中均居首位。据江苏农村统计数据, 2019 年全省稻田养殖面积占水稻种植面积仅 8.8%, 可见江苏稻田改造成种养基地的资源空间极大。再以县域为观测单元, 高度适宜空间最大地区为地处里下河腹地的兴化市, 约 94 854 hm^2 , 占兴化全市水田面积的 53.0%。其实在县级行政区单元中, 兴化市稻田养殖面积常年居全省首位, 且遥遥领先, 现实开发水平与资源空间潜力相对一致。相反, 不适宜发展稻田种养面积最大地区为赣榆县, 不适宜开发面积达 1 568 hm^2 。

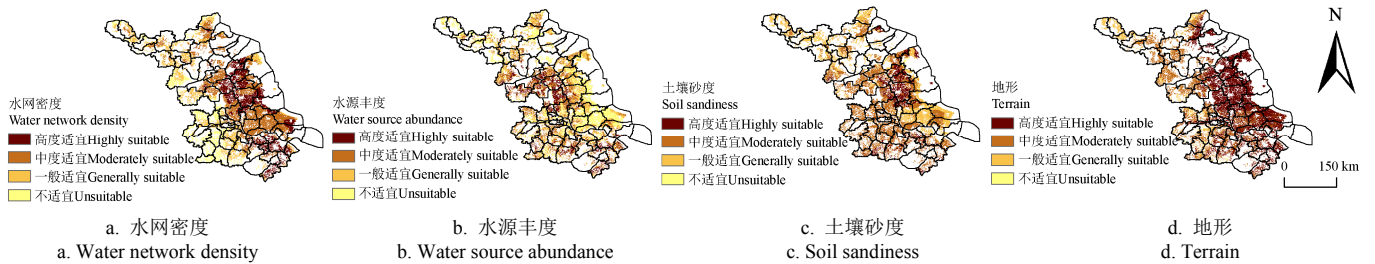
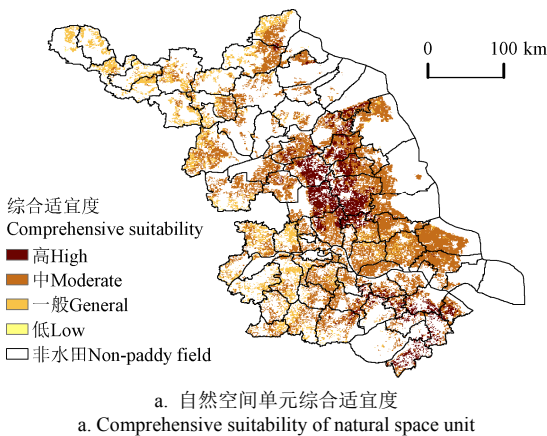
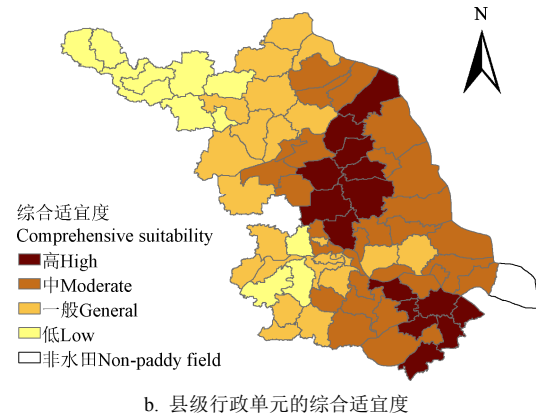


图 2 江苏省稻田种养自然适宜度空间评级

Fig.2 Spatial rating of natural suitability of paddy integrated rice-aquatic coculture in Jiangsu Province



a. 自然空间单元综合适宜度
a. Comprehensive suitability of natural space unit



b. 县级行政单元的综合适宜度
b. Comprehensive suitability of county administrative unit

图 3 基于自然空间单元与县级行政单元的稻田种养自然适宜度综合评级

Fig.3 Comprehensive rating of natural suitability of paddy integrated rice-aquatic coculture based on natural space unit and county administrative unit

基于县域单元的自然适宜度综合分级结果看, 除无

稻县启东外的 76 个县级行政单元上, 从高度适宜、中度适宜、一般适宜到不适宜的县分别为 15 个、26 个、23 个、12 个, 总体符合正态分布 (图 3b)。开发稻田养的自然适宜度高值区主要分布在里下河地区并延伸至苏北灌溉总渠沿线, 以及长江以南的东部沿江平原向南至太湖平原一带, 且以这两个集中分布区向外围, 生产发展自然适宜度呈逐级递减态势。全省最不适宜开发稻田种养地区主要有两类, 分别位于淮北的黄河故道沿线和西南丘陵岗地, 徐州市有数量最多的不适宜开发稻田养种的县区。

3 稻田种养系统开发的产业优势度分区评级

专业化与劳动力组织方面, 实施稻田种养需要有懂种植又会养殖的劳动力, 农渔行业就业区位商高, 意味着就业集聚力和农渔生产专业化分工程度高, 产业开发的群众基础较好。从劳动力综合分级看, 江苏中北部地区普遍较高, 苏南地区空间差异较大, 高值地区主要分布太湖、石臼湖一带 (图 4)。分指标看, 农业 (农林牧渔) 指标明显呈北高南低的特征, 种植业高值区分布更为均衡, 渔业指标高值区集中分布在苏南和苏中的几大大湖区平原地区。

基础设施方面, 在设施综合配套水平上, 江苏南北空间分化明显, 苏南地区明显高于苏中和苏北 (图 4)。主要是苏南地区的道路交通设施、农田水利设施的建设水平较高。稻田种养对农田排灌设施的依赖较大, 这项指标水平则以江苏中北部相对较高, 与整体基础设施综合水平的分布有所不同。

软环境方面, 综合分级结果显示, 苏南地区相对较高, 且分布较均衡, 苏中和苏北地区的高低空间分化明

显（图 4）。主要是三项分指标的空间特征各不相同。生产性服务业上，南高北低、东高西低；文化传统上，高值区从苏中里下河农区延伸至沿江农区；政策支持上，高值区少而分散，主要是盱眙、泗洪、东海等少数县区，这是因为江苏南北社会经济梯度差异明显，稻田

种养是江苏实施产业扶贫的重要举措，产业扶贫重点在中北部地区，而该地区水土资源禀赋差异较大，资源倾斜的重点主要在如环洪泽湖等沿湖水资源和劳动力资源充裕的农业县区，如 5 个国家级种养示范区均位于苏北地区。

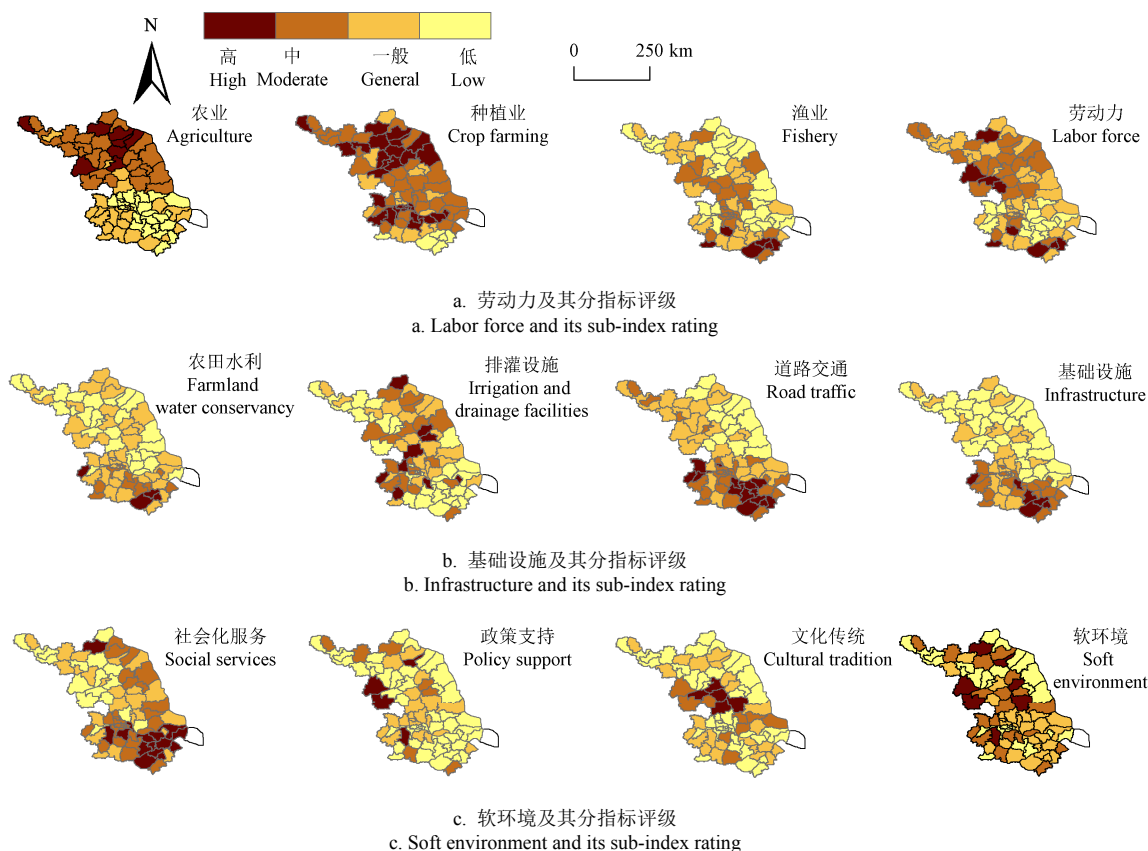


图 4 江苏省稻田种养产业化开发优势度评级

Fig.4 Dominance rating of paddy rice-aquaculture industrialization development in Jiangsu Province

从产业优势度的综合评级结果上，稻田种养产业优势度高值空间集中分布在以兴化、高邮为代表的里下河地区，并延伸至以泗洪县、盱眙县为代表的沿洪泽湖地区，淮北地区优势度高低互现，此外，以上海、南京为核心的长江三角洲城市群构成绿色有机农产品高需求中心，临近上海、南京两大都市圈的苏南地区，产业发展基础雄厚，开发种养生产实践的综合优势度较高。

4 稻田种养产业化分类开发与分区引导

根据自然适宜度和产业优势度的分维度综合评级结果，将江苏 76 个县级单元归为重点发展、适度扶持、优化调整、控制开发 4 类地区（图 5），根据综合定级的两相组合特征，耦合区分 4 类地区、16 个方阵（图 6）。

4.1 重点发展区（I）

计 16 个县区，这是江苏省发展稻田种养资源条件和产业基础最好的地区，集中分布在以里下河农区为核心的江淮下游平原地区，以及紧临上海都市圈的苏南县区，两者构成未来全省稻田种养产业化开发的重点地区。依据经济区位和产业基础，明晰发展定位和功能分工：

1) 以兴化市、高邮市为代表的里下河平原地区，资源潜力大，稻田养殖历史久、规模大、模式多，产业集

群初具雏形，作为未来全省稻田种养产业发展的轴心地带，重点培育稻田种养产业的长久竞争力，依托产业集聚区，带动周围有类似资源条件的地区联动发展，逐步打造地域性产业联合体。

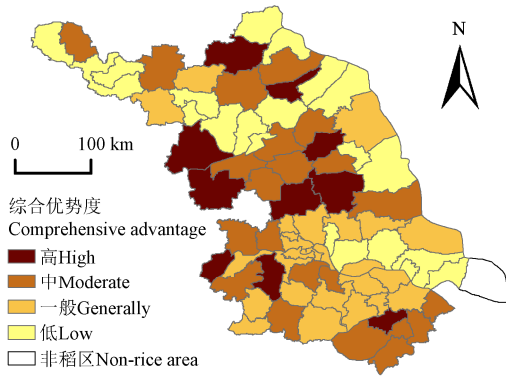
2) 以昆山、太仓、吴江为代表的太湖平原水网地区，特水产品品种丰富，市场区位好，农业科技实力强，社会化服务水平高，品牌培育有基础，重点打造都市型稻田种养产业带，激励产业经营模式创新，探索科技创新和研发（新技术、新产品、新模式）多元化投入机制，力争打造成全省稻田种养产业创新策源地、引领全国稻田种养可持续发展的示范性标杆。

4.2 适度扶持区（II）

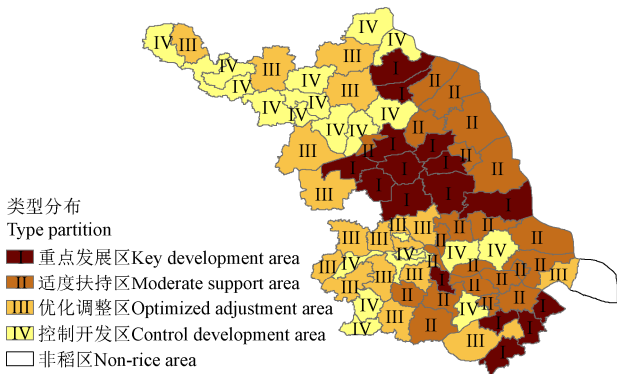
计 22 个县市，本区有较好的种养生长环境条件，但产业优势度低，主要分布在沿海、沿江和太湖农区。随着生产力和科学技术的发展，自然条件对农业专业化分工优势的影响，不是削弱而是更具体、更深化。鉴于此，本区稻田种养业开发的方向是降低生产成本，提高劳动生产率，着力将资源优势转化为产业竞争优势，建议依托水土资源禀赋条件，突出重点区域、主要模式，按“一地一水产品一产业”的发展策略，以市场为导向，强化政策配套，按现代产业发展要求，创新经营模式，因地

制宜推进标准化种养、有机稻米/水产品加工、休闲创意农业融合发展。

环洪泽湖地区, 本区依托环湖水产渔业的产业基础, 大力创建稻渔种养示范区, 加快培育稻田种养产业链体系, 稻田种养区域化布局初步形成, 但该地区也是近期全省稻田养殖规模涨落波动最大的地区。本区未来产业竞争力主要受限于岗丘地形限制和生态红线约束, 发展重点是以市场为导向, 控制稻田养殖规模扩张, 强化现有稻田空间资源的集约高效利用, 着力从数量型增长模式转向质量型提升模式, 加快产业转型升级。



a. 综合优势度
a. Comprehensive advantage



b. 类型分布
b. Type partition

图5 江苏稻田种养优势度综合评级和开发引导类型分区
Fig.5 Comprehensive dominance rating of paddy rice-aquaculture and guidance type zoning in Jiangsu Province

4.4 控制开发区 (IV)

计 21 个县区, 主要分布在淮北平原黄河故道一带、宁镇丘陵等地区。本区种养生产发展受资源生态和社会经济条件的双重制约, 产业规模受限, 短时期难以有较大提高。除局部条件适宜地区可点上开发, 总体需加强管控、限制规模化开发。

5 结论

1) 江苏省开发稻田种养的资源本底条件较好, 综合适宜度高值区占全省水田总面积的 13.8%, 中度适宜区占 57.0%。自然适宜度高值区主要分布在里下河地区并延伸至苏北灌溉总渠沿线, 以及长江以南的东部沿江平原向南至太湖平原一带, 且以这两个集中分布区向外围, 综合适宜度呈逐级递减态势。位于里下河腹地的兴化市是全省自然适宜度高值区面积最大的县区。

2) 基于县域单元的产业优势度综合评级上, 江苏稻田种养产业化开发优势度高值区主要分布在里下河到洪泽湖流域一带。苏北地区产业优势度高低互现, 苏南地区产业优势度较高地区主要分布临近上海、南京等大都市圈外围乡村地区。

3) 依据自然适宜度和产业优势度的分维度综合评级的耦合分区结果, 将江苏稻田种养产业化开发分成重点培育、适度扶持、优化调整、控制开发 4 种类型区。发展稻田种养资源条件和产业基础较好的地区, 长江以北以里下河农区为核心, 长江以南以沪宁大都市圈外围郊县区为主, 两者构成未来全省稻田种养产业化开发的重点培育地区, 但需明确不同功能分工、错位竞争。自然资源条件好但产业基础较弱的地区, 主要分布在沿海等农区, 选择重点适度扶持, 通过集聚开发, 将资源优势转为产业优势; 自然禀赋弱而产业基础好的地区, 以环洪泽湖一带为代表, 重点是从数量型扩张转为质量型提升模式, 强化稻田资源的集约高效利用, 推进产业升级。

本文构建自然适宜度和产业优势度的双向评价体系, 综合评定现代产业发展要求下的稻田种养循环农业开发的时空优先级及分类引导策略, 评级指标体系操作简单易行, 具有良好的推广应用价值。当然, 因“稻田+鱼/虾/蟹/鳖/鳅/蛙/螺/鸭”稻田种养模式的多元化, 不同水产动物栖居适宜度因子会有所差异, 有待因模式改进空间评级指标体系, 再进行细化研究; 本研究将县域作为战略管理单元, 立足于空间引导性策略研究, 因而将高精度的自然空间单位结果改为县域尺度的结果进行展示, 但这样导致很多细节都未能展现, 未来在分区分类行动计划与方案的拓展研究中, 这些田块尺度的信息可

		低	一般	中	高		
产业优势度	句容	盱眙、泗洪、东海、浦口	灌南	兴化、高邮、建湖、苏州市辖区	高		
	江宁、沛县、邳州、仪征	溧阳、六合、溧东、吴中、丹阳	灌云、淮安、洪泽、金湖、东台、常州市辖区	吴江、昆山、太仓、盐都、宝应	中		
	睢宁、新沂、无锡市辖区	溧水区、高淳区、丹徒区、镇江、扬州、南京市辖区	宜兴、武进、金坛、张家港、海安、如东、射阳、阜宁、扬中、姜堰、靖江	锡山、江阴、常熟、阜宁、江都	一般		
	铜山、丰县、徐州市辖区和宿迁两市辖区	如皋、赣榆、淮阴、涟水、泰兴、宿豫、泗阳、连云港市辖区	海门、通州、大丰、响水、以及南通、盐城、淮安、泰州等市的市辖区	滨海	低		
		自然适宜度					

图6 江苏稻田种养产业化开发策略矩阵和归类
Fig.6 Strategy matrix and classification of paddy rice-aquaculture industrialization development in Jiangsu Province

4.3 优化调整区 (III)

计 17 个县区, 本区产业优势度高而自然资源基础稍弱, 主要分布在苏北和苏南地区。如盱眙县、泗洪县等

叠加行政区再进行深入分析;空间评级指标构建和选取上,受限于数据的可获得性,可能对有些重要因素(如劳动力素质)有所忽略。还有在评价方法和技术上,如关于指标赋权、栅格单元转为县域单元的尺度转换上的算法,如何提升空间评级的科学性,也有待进一步探讨。

[参 考 文 献]

- [1] Håkan B. Rice monoculture and integrated rice-fish farming in the Mekong Delta, Vietnam-economic and ecological considerations[J]. *Ecological Economics*, 2002, 41(1): 95-107.
- [2] Nesar A, Stephen T. Garnett. Integrated rice-fish farming in Bangladesh: Meeting the challenges of food security[J]. *Food Security*, 2011, 3(1): 81-92.
- [3] 马在元,倪飞. 稻-蟹-泥鳅田生态系统效益分析[J]. *北方水稻*, 2008, 38(3): 85-88.
Ma Zaiyuan, Ni Fei. Benefit analysis on the ecosystem of rice-crab-loach field[J]. *North Rice*, 2008, 38(3): 85-88. (in Chinese with English abstract)
- [4] 中国稻渔综合种养产业发展报告(2020)[J]. *中国水产*, 2020(10): 12-19.
- [5] 中国稻渔综合种养产业发展报告(2019)[J]. *中国水产*, 2020(1): 16-22.
- [6] 余开,宋迁红,赵永锋. 江苏省稻渔综合种养现状与产业化发展思考[J]. *中国农学通报*, 2020, 36(23): 161-164.
Yu Kai, Song Qianhong, Zhao Yongfeng. The status quo and industrialization of rice-aquaculture integrated cultivation in Jiangsu[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2020, 36(23): 161-164. (in Chinese with English abstract)
- [7] 中国稻渔综合种养产业发展报告(2018)[J]. *中国水产*, 2019(1): 20-27.
- [8] 王强盛,韦琮,薄雨心,等. 稻田综合种养技术的绿色效应与发展途径[J]. *中国稻米*, 2019, 25(3): 11-14.
Wang Qiangsheng, Wei Cong, Bo Yuxin, et al. Green effects and development measures of the combination of planting and breeding technology in paddy field[J]. *China Rice*, 2019, 25(3): 11-14. (in Chinese with English abstract)
- [9] 韩慧杰,夏学齐,吴海东,等. 基于GIS和土地质量地球化学数据的水稻种植适宜性评价:以安徽省青阳县为例[J]. *中国生态农业学报*, 2019, 27(4): 591-600.
Han Huijie, Xia Xueqi, Wu Haidong, et al. Evaluation of rice planting suitability using GIS and geochemical land quality data: A case study of Qingyang county, Anhui Province[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2019, 27(4): 591-600. (in Chinese with English abstract)
- [10] 张旭晖,张家宏,时冬头,等. 江苏省河蟹养殖综合气候区划方法研究[J]. *中国农业资源与区划*, 2021, 42(9): 130-135.
Zhang Xuhui, Zhang Jiahong, Shi Dongtou, et al. Study on methods of comprehensive climatic regionalization of the crab in Jiangsu Province[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2021, 42(9): 130-135. (in Chinese with English abstract)
- [11] Tercan E, Dereli M A. Development of a land suitability model for citrus cultivation using GIS and multi-criteria assessment techniques in Antalya province of Turkey[J]. *Ecological Indicators*, 2020, 117: 106549.
- [12] Duraisamy V, Rajeev S, Nitin G P, et al. A comparative assessment of land suitability evaluation methods for agricultural land use planning at village level[J]. *Land Use Policy*, 2018, 79: 146-163.
- [13] Harris S, McDowell R W, Lilburne L, et al. Developing an indicator of productive potential to assess land use suitability in New Zealand[J]. *Environmental and Sustainability Indicators*, 2021, 11: 100128.
- [14] 汤峰,徐磊,张蓬涛,等. 县域高标准基本农田建设适宜性评价与优先区划定[J]. *农业工程学报*, 2019, 35(21): 242-251.
Tang Feng, Xu Lei, Zhang Pengtao, et al. Suitability evaluation and priority area delineation of high standard basic farmland construction at county level[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2019, 35(21): 242-251. (in Chinese with English abstract)
- [15] 胡亮亮,赵璐峰,唐建军,等. 稻鱼共生系统的推广潜力分析:以中国南方10省为例[J]. *中国生态农业学报*, 2019, 27(7): 981-993.
Hu Liangliang, Zhao Lufeng, Tang Jianjun, et al. Extension potential of rice-fish co-culture system: A case study of 10 provinces in South China[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2019, 27(7): 981-993. (in Chinese with English abstract)
- [16] 朱天明,杨桂山,姚士谋,等. 农用地集约利用与农产品消费市场可达性关系研究:以江苏兴化市为例[J]. *人文地理*, 2010, 25(3): 84-89.
Zhu Tianming, Yang Guishan, Yao Shimou, et al. A study on the relationship between agriculture land intensive use and agricultural product consumption market accessibility: A case study of Xinghua in Jiangsu province[J]. *Human Geography*, 2010, 25(3): 84-89. (in Chinese with English abstract)
- [17] Scherer L A, Verburg P H, Schulp C J.E. Opportunities for sustainable intensification in European agriculture[J]. *Global Environmental Change*, 2018, 48: 43-55.
- [18] 刘玉,孟超,蔡玉梅,等. 广东省农业发展优势度综合评价方法及其空间特征研究[J]. *农业现代化研究*, 2021, 42(6): 1006-1016.
Liu Yu, Meng Chao, Cai Yumei, et al. Study on comprehensive evaluation method and spatial characteristics of agricultural development dominance in Guangdong Province[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2021, 42(6): 1006-1016. (in Chinese with English abstract)
- [19] 陈池波,李硕,田云. 中国农村一二三产业融合度与省际比较分析[J]. *农业工程学报*, 2021, 37(2): 326-334.
Chen Chibo, Li Shuo, Tian Yun. Integration of three industries in rural China and its provincial comparative analysis[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2021, 37(2): 326-334. (in Chinese with English abstract)
- [20] 王凯歌,栗滢超,张凤荣,等. 基于要素配置功能识别的差异化乡村发展策略[J]. *农业工程学报*, 2021, 37(3): 250-258.
Wang Kaige, Li Yingchao, Zhang Fengrong, et al. Differentiated development strategy of rural settlements using the function identification of factor allocation[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2021, 37(3): 250-258. (in Chinese with English abstract)
- [21] 王伶. 基于因子分析的湖北省农产品国际竞争力评价:省际比较的视角[J]. *中国农业资源与区划*, 2015, 36(4): 10-15.
Wang Ling. A study on international competitiveness of agricultural products in Hubei Province: perspective of provincial-level comparison[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2015, 36(4): 10-15. (in Chinese with English abstract)
- [22] 国家统计局农村社会经济调查司. 中国农村统计年鉴[M].

- 北京: 中国统计出版社, 2020.
- [23] 江苏省统计局, 国家统计局江苏调查总队, 江苏省农业农村厅. 江苏省农村统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2020.
- [24] 江苏省农学会. 江苏稻作科学[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1990.
- [25] 孙益豪, 金涛, 张家宏. 稻-蛙鳅综合种养模式的技术集成及经济效益分析[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(16): 88-92. Sun Yihao, Jin Tao, Zhang Jiahong. Technical integration and economic benefit analysis of rice frog loach comprehensive planting and breeding model[J]. Jiangsu Agricultural Science, 2021, 49(16): 88-92. (in Chinese with English abstract)
- [26] 吴玉红, 刘琳, 郑丹, 等. 基于 GIS 的秦皇岛市生态旅游适宜度评价[J]. 河北环境工程学院学报, 2021, 31(5): 33-40. Wu Yuhong, Liu Lin, Zheng Dan, et al. Evaluation of ecotourism suitability for Qinhuangdao city based on GIS[J]. Journal of Hebei University of Environmental Engineering, 2021, 31(5): 33-40. (in Chinese with English abstract)
- [27] 李龙, 吴大放, 刘艳艳, 等. 生态文明视角下喀斯特地区“双评价”研究: 以生态敏感区宁远县为例[J]. 自然资源学报, 2020, 35(10): 2385-2400. Li Long, Wu Dafang, Liu Yanyan, et al. “Double evaluations” of karst area from the perspective of ecological civilization: A case study of Ningyuan in ecologically sensitive area[J]. Journal of Natural Resources, 2020, 35(10): 2385-2400. (in Chinese with English abstract)
- [28] 吴克宁, 赵瑞. 土壤质地分类及其在我国应用探讨[J]. 土壤学报, 2019, 56(1): 227-241. Wu Kening, Zhao Rui. Soil texture classification and its application in China[J]. Acta Pedologica Sinica, 2019, 56(1): 227-241. (in Chinese with English abstract)
- [29] 蒋佳佳, 邵景安, 谭少军, 等. 重庆两江新区低丘缓坡开发建设生态适宜性评价[J]. 地理研究, 2019, 38(6): 1403-1419. Jiang Jiajia, Shao Jingan, Tan Shaojun, et al. Evaluation on ecological suitability for development and construction of gentle hillside in Liangjiang New Area[J]. Geographical Research, 2019, 38(6): 1403-1419. (in Chinese with English abstract)
- [30] 周兵, 冉启秀. 产业集群形成的理论溯源[J]. 商业研究, 2004(14): 76-78.

Spatial optimization and zoning guidance strategy of rice-aquatic coculture system in Jiangsu Province, China

Wu Yaxin^{1,2}, Jin Tao^{1,2*}, Shi Chen^{1,2}, Zhang Hongcheng^{1,3}, Gao Hui^{1,3}, Li Xin¹, Wang Jianjun¹

(1. Agricultural College of Yangzhou University, Yangzhou 225009, China; 2. Jiangsu Co-Innovation Center for Modern Production Technology of Grain Crops, Yangzhou 225009, China; 3. Innovation Center of Rice Cultivation Technology in Yangtze Valley, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Yangzhou 225009, China)

Abstract: A rice-aquatic coculture system is of great significance to explore the paddy field resources for the food supply security in the green development of agricultural industry. It is very necessary to identify the priority areas for the industrial decision-making on the overall planning and layout. Taking Jiangsu Province of China as the research area, this study aims to comprehensively evaluate the spatial priority level of industrialization development. A quantitative evaluation index system was also constructed from two dimensions of natural suitability and industrial dominance. Four indexes were selected for the natural suitability, including the water network density, water source abundance, soil sandiness, and terrain. The hydrology, terrain and soil data were applied using the grid unit in the paddy field. The priority rating of natural suitability at county level was assessed to transform from the comprehensive scores of the above indexes of natural space units to the score of county unit through scale conversion. Alternatively, the priority rating of industrial dominance was evaluated directly at the county level, where nine indexes were selected from three aspects of labor force, infrastructure and industrial soft environment, according to the production statistics data of key demonstration areas that issued by the agricultural administration department. The evaluation results showed that 13.8% of the total paddy field area in the study area was highly suitable for the rice-aquatic coculture systems, and 57.0% was the moderately suitable space; The high-score areas of natural suitability were mainly distributed in the Lixia River area and extended to the North Jiangsu irrigation canal in Northern Jiangsu, as well as the eastern Yangtze River plain south of the Yangtze River to the Tai-Lake Plain, indicating two concentrated distribution areas to the periphery. There was the high industrial dominance level around the hinterland of Lixia River plain in the north. By contrast, the high-score areas in the south were mainly distributed in the suburban counties adjacent to the metropolis of Shanghai and Nanjing. The development types were classified among all county-level administrative units, according to the combination characteristics of the priority rating of natural suitability and industrial dominance level. Four types with 16 squares at county level were then identified, corresponding to four development strategies: the key development, moderate support, optimized adjustment, and control development. Specifically, the key development areas were represented by the Lixia River plain area in the north and Tai-lake Plain water network area in the south. Differentiated industry can be orientated in the center of the industrial development of rice-aquatic production system, according to the dislocation competition strategy. The rest agricultural areas can turn the resource advantages into industrial ones, according to the development strategy of “one land, one aquatic product and one industry”. The emphasis can be shifted from the quantity-based expansion to quality-based promotion in the areas around Hongze Lake, in order to strengthen the intensive and efficient utilization of paddy field resources for the industrial upgrading. These findings can provide references on the rice field resource for the high quality and efficiency in the rice-aquaculture industry.

Keywords: zoning; rice; aquaculture; suitability evaluation; dominance evaluation; development strategy