

稻田生态系统在保障环太湖环境健康与经济持续增长中的重要作用

张卫建, 丁艳锋, 王龙俊, 芮雯奕, 郭 嘉

南京农业大学应用生态研究所, 南京 210095

[摘要] 稻田是地球上最大的人工湿地生态系统, 具有强大的综合服务功能。在系统总结国内外研究的基础上, 结合实地考察和生产调研, 以及作者长期的稻田生态系统研究积累, 对江苏环太湖地区稻田生态系统的综合服务功能进行全面估算和评述。分析发现, 在合理的稻作技术体系下, 环太湖稻田生态系统不仅可以缓解气候变化、提高大气质量及保持水土资源, 而且水稻生产还可以获得巨大的直接与间接经济效益。稳定环太湖水稻生产, 不仅有利于环境健康, 同时对促进城乡协调与社会和谐发展也至关重要。应该扭转公众对环太湖水稻生产的偏见, 在科学规划稻田布局的基础上, 进行保护性稻作技术创新, 建立农户激励机制, 以进一步增强稻田生态系统在保障粮食安全、环境健康及经济持续增长的综合效应。

[关键词] 稻田生态系统; 粮食安全; 生态安全; 环境健康; 经济增长; 太湖

[中图分类号] S5, X3

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2007)17-0024-06

The Significance of Paddy Ecosystems in Environmental Health and Sustainable Development of Economy in the Regions Around Tai Lake

ZHANG Weijian, DING Yanfeng, WANG Longjun, RUI Wenyi, GUO Jia

Institute of Applied Ecology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

Abstract: Rice cropping around Tai Lake faces again with various oppugns and criticisms from the government and the academic circles worldwide. As the largest managed wetland system in the world, in fact, the paddy ecosystem has highly integrated service functions. With a summary of related researches and the field surveys of rice production, this paper discusses the integrated functions of the paddy ecosystem in Jiangsu around Tai Lake based on the author's long-term research on paddy ecosystems. It is shown that, under appropriate management regimes of rice-cropping, the paddy ecosystem not only helps climate regulation, atmospheric quality improvement and water and soil conservation, but also provides tremendous direct and indirect economic benefits through rice production around Taihu Lake area. Sustainable rice production can make a great contribution to city-rural harmonization and social harmonious development. People's bias on rice cropping around Tai Lake should be corrected. Based on a scientific planning of paddy field layout, with new techniques for conservational rice cropping and incentive policies of household production, the functions of paddy ecosystem may be enhanced to guarantee food security, environmental health and economic sustainable growth.

Key Words: paddy ecosystem; food security; ecological security; environmental health; economic growth; Tai Lake

CLC Numbers: S5, X3

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2007)17-0024-06

0 引言

2007 年太湖蓝藻爆发震惊了全国, 牵动了世界, 环

湖水稻生产再度受到政界和学术界的广泛质疑。水稻是我国最主要的粮食作物, 其产量占全球粮食的 20%

收稿日期: 2007-06-08

基金项目: 教育部博士点基金项目, 教育部新世纪优秀人才资助计划项目 (NCET-05-0492), 国家“十一五”支撑计划项目 (2006BAD15B02, 2006BAD02A15)

作者简介: 张卫建, 南京市卫岗 1 号南京农业大学应用生态研究所, 教授, 研究方向为水稻生理生态、耕作制度与农田生态系统、全球变化生态学等; E-mail: zwj@njau.edu.cn

以上。全球水稻生产使世界 50% 以上的人口得以生存, 水稻种植在确保全球粮食安全和促进世界社会经济发展中的贡献举世瞩目^[1]。凡是以稻米为主食的国家, 无不从国家战略安全的角度来重视水稻水产或稻米市场。就是日本这样完全有能力进口稻米的发达国家, 尽管已经开放国内稻米市场, 但至今仍要保持较大面积的稻田, 并从国家安全的角度来限制进口稻米价格。中国水稻单产处于国际领先水平, 丁艳锋等于 2006 年创造了全球水稻单产 19.305 t/hm² 的世界新记录^[2]。水稻生产不仅确保了国家粮食安全, 而且保障了国民经济持续增长, 在我国国家安全保障中拥有不可替代的战略地位。但是, 由于高产、更高产的要求, 稻田生产用化学物质投入的水平与强度不断提高, 水稻生产的潜在面源污染不可忽视^[3]。而且在传统稻作下, 稻田温室气体, 尤其是 CH₄ 排放量高^[4]。随着生态环境的日趋恶化以及人们对环境健康的日益关心, 水稻生产的生态安全和环境健康问题正受到世界的广泛关注^[5]。尤其是 2007 年太湖蓝藻爆发的重大生态环境事件, 使得国家和地方政府不得不对环太湖地区生态环境综合整治提出了新的要求^[6]。事实上, 稻田生态系统是地球上最大的人工湿地系统, 与自然湿地系统一样具有强大的生态环境服务功能^[7]。但是, 由于对稻田生态系统的综合服务功能了解不全面, 对水稻生产的综合效益认识不清楚, 导致社会上对环太湖地区水稻生产形成了一些不公正的看法。为此, 作者在系统总结国内外研究的基础上, 结合实地考察和生产调研, 以及作者长期的稻田生态系统研究积累, 对江苏环太湖地区稻田生态系统的综合服务功能进行了全面估算和评述。

1 在保障环境健康方面的贡献及潜力巨大

稻田生态系统以其特殊的湿地环境, 显现其综合服务功能强大, 是旱地系统的 10 倍以上^[7], 尤其是在气候调控、大气净化、水土环境保健和生物多样性保护等方面更为突出^[8]。

1.1 稻田生态系统的固碳减排降温效应显著

作为地球上最大的人工湿地, 稻田生态系统对温室气体的控制和气候调控效应非常显著。稻田土壤有机碳含量比旱地高 20% 左右, 与旱地相比, 稻田更具固碳减排潜力。在对主要温室气体 CO₂ 固定方面, 与旱地相比, 华东地区每公顷稻田土壤可多固定 11.7 t 碳^[9]。以 2004 年苏州、无锡、常州三市水田面积 476.83 千 hm² 计算, 如果江苏环湖地区水田改为旱地, 则要少固定 5.6×10⁶ t 碳。近 20 年来的江苏环湖稻作技术不断创新, 水稻产量大幅度提高, 而且该区稻田表层土壤有机碳上升了约 10%, 耕层土壤有机碳密度由 26.04 t/hm² 增加至 27.61 t/hm², 土壤新固定了 7.5×10⁵ t 碳^[10]。以生态经济价值计算, 我国湿地生态系统在温室气体控制上为每年 1 500 元/hm² 以上, 分别为草地和旱地的 2.5 倍

和 4 倍, 在气候调控上的功能相当于每年 15 000 元/hm² 以上, 分别约为草地和旱地的 2 倍。

除了固碳减排效应之外, 稻田生态系统还可以直接降低因全球变暖而引起的区域性气温上升幅度^[11]。湿地系统以其水体强大的热容量, 对气温起到“天然空调”作用, 稻田水面以上 20 cm 的气温比旱地的气温低 1.5℃ 多。美国研究也发现, 土地利用方式改变对区域性气温影响显著, 其中旱作利用方式下区域性气温上升幅度最高。比如江苏省水网密布的高邮地区近 50 年年平均气温基本稳定, 上升不明显, 而同纬度的旱地偏多的东台地区则上升了近 0.5℃。上海、广州市近年来由于市区内湿地面积大大减少, 城市热岛效应逐年增强。上海已经替代南京, 成为长江中下游的最热城市。稻田生态系统在降低夏季高温、提高秋季气温方面的效果非常显著^[12]。

1.2 稻田生态系统对大气的净化功能强大

水稻生产下稻田生态系统不仅表现出显著的固碳减排效应, 而且对空气质量具有显著的净化作用。以 2005 年江苏环太湖三市水稻生产为例, 全年水稻总生物产量近 5 000 万 t, 相当于水稻全生育期中固定了近 9 000 万 t CO₂, 全年可生产 6 600 万 t O₂。每公顷水稻可以固定 31.5 t CO₂, 生产 22.95 t O₂。而且随着水稻栽培技术的改善, 干湿交替管理下稻田 CH₄ 排放量下降了一半以上^[13]。长期的监测结果表明, 我国稻田 CH₄ 排放量不到全球排放总量的 10%, 远低于国际上以前估算的占全球 20%。新的估算数据已经得到国际认可。另外, 与旱地相比, 在水稻生育前期稻田多处于淹水状况, 几乎没有 N₂O 的排放, 而后期干湿交替管理时期, 稻田施肥较少, 土壤氮水平低, 因此尽管时常处于好氧状况, 但 N₂O 的排放仍非常低^[14-15]。新型稻作技术下稻田生态系统面源污染远小于旱地, 几乎不存在硝酸盐和 N₂O 等污染问题, 磷流失也非常低^[16-17]。稻区大气氧化氮物浓度的下降以及气温的降低, 两者综合又可以避免近地表层大气臭氧(O₃)浓度的上升。O₃ 是腐蚀性很强的氧化剂, 能对地球上的生物产生很强的伤害, 防止近地表 O₃ 浓度上升将有利于作物的健康生长。另外, 与旱地相比, 稻田生态系统几乎不存在风蚀风险, 而且能显著降低大气中颗粒组份含量, 尤其是可吸入性颗粒物。还有, 大气中的颗粒物通过干沉降或湿沉降到水田后, 不会二次扬尘而再度回到空气中去, 因此起到了非常好的防尘降尘效应。而且, 水稻叶面对大气中的重金属如 Cd、Pb 以及 SO₂ 等污染物, 具有较强的吸附作用, 可以显著提高环湖地区, 尤其是高速公路沿线的空气质量。

1.3 稻田生态系统对水土环境的改善效果突出

稻田在污水净化和涵养水源上功能突出, 水生生物具有很强的清除毒物能力。试验表明, 污水进入稻田 5~7 d, 悬浮物降低 75%~94%, BOD 降低 72%~97%, 氨态氮降低 85% 以上, 磷降低 98% 以上, 钾降低 78% 以上, 蛔虫

孵和细菌数目降低 95%~98%, 氨降低约 98%。每 hm^2 稻田每季可净化 7 500~12 000 m^3 生活污水, 可对规模化养殖场 6 万 t 猪粪或 7.5 万 t 牛粪进行无害化处理, 并显著改善土壤质量^[18]。污水中含有的铜、锌、锰、硼、铬等污染物是植物的微量营养元素, 经过植物吸收、土壤吸附、氧化还原等过程, 其含量也显著降低。由于水的 pH 值相对比较稳定, 因此对酸雨有较强的缓冲能力。以 2006 年为例, 江苏全省 13 个省辖市降水年均 pH 值范围为 4.6~7.0, 酸雨 ($\text{pH}<5.6$) 发生率为 38.6%。环太湖地区的酸雨比较严重, 其中无锡市酸雨发生率最高, 达 76.4%; 常州次之为 64.2%, 其市区降水 pH 年平均值为 4.89。稻田大面积的水源能有效地缓冲酸雨, 确保人畜饮用水安全。

稻田生态系统在改善耕地质量和保持水土方面也作用显著。以生物固氮为例, 稻田生态系统的生物固氮能力显著高于旱田。据测算, 水田微生物固氮量每年是 49.5 kg/hm^2 , 而旱田为 10.05~15 kg/hm^2 , 仅为水稻田的 1/5。而且, 稻田土壤具有显著的固碳保氮效应, 该区域内稻田土壤的碳氮比(全国平均为 10.8)普遍高于旱地土壤(全国平均为 9.9)。这说明同样的土壤有机碳水平下, 稻田土壤可以保持更多的氮, 不仅可以显著提高土壤肥力, 而且可以明显降低氮肥对周边环境的污染^[19]。由于水稻田中长时间有水, 地表土壤也较为湿润紧密, 加上水稻田田埂的作用, 水土流失显著低于旱作系统。在新型的稻作体系下, 采用干湿交替的水分管理技术, 稻田土壤磷流失下降 50% 以上, 基本上不构成对周边水体环境的影响^[20]。稻田土壤由于以淹氧环境为主, NO_3^- 流失非常少, 不到旱地的 10%, 也不会构成对周边水体环境的污染^[21-22]。

2 水稻生产在确保经济持续增长中作用重大

水稻水产不仅直接经济效益显著, 而且通过对生态环境的改善和资源的节约, 间接经济效益也非常突出。水稻生产及其产业的稳定发展为我国国民经济健康发展打下了扎实的基础, 在国民经济持续增长中的贡献重大。

2.1 直接经济效益显著

水稻是环太湖地区最主要的作物, 直接经济效益显著。尽管江苏环太湖地区经济发达, 其中农业产值占该区总产值的比重不到 3%, 但对于农民来说水稻生产仍是主要收入来源之一。以 2005 年为例, 江苏环太湖三市水稻平均单产 8.625 t/hm^2 , 全年总产 247.3 万 t。以水稻平均价格每公斤 1.8 元计, 实现总产值 44.5 亿元, 占种植业总产值的 38.0%。其中无锡市水稻单产高达 9 t/hm^2 , 总产 72.4 万 t, 实现产值 13.0 亿元, 占种植业总产值的 35.2%。而且近 20 年来, 该区水稻单产得到了显著提高, 由原来的 6~6.75 t/hm^2 提高到目前的 8.25~9 t/hm^2 , 水稻年增收约 3%。与该区其他大田作物尤其是旱作物, 例如小麦、油菜等相比, 水稻的比较效益仍占优势。

因此, 环湖农户的种稻积极性比较高, 生产规模一直较大, 稻田保护意识强。

2.2 间接经济效益巨大

环太湖地区保持一定规模的水稻生产, 可以稳定粮食市场, 其间接经济效益尤为突出。江苏环太湖的三市人口为 1 411.78 万, 无锡 452.84 万。如不考虑外来人口, 仅按人口比例平均计算, 环湖三市口粮消耗量约为 560 万 t, 无锡市年消费量 180 万 t。例如, 无锡市常年水稻种植面积约为 $73.3 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 只能实现口粮自给的 45%, 另外 55% 主要依靠于外调。2003 年, 该市粮食自给率已在 45% 以下, 其中市区粮食自给率仅为 31.6%; 苏州市现有人口 580 万人, 加上外来人口 300 万人, 年均粮食消费约为 300 万 t, 而目前该市年均产粮约为 100 万 t, 自给率仅为 33%。若以平均自给率 40% 计算, 则江苏环湖三市需调入粮食 336 万 t, 仅无锡市需调入 108 万 t, 这将对环太湖区域经济发展带来巨大的交通运输压力。如果进一步大幅度减少环太湖地区水稻种植面积, 加上该区因经济快速发展而带来的人口进一步增加, 仅仅口粮的运输就将对该区经济发展带来不可想象的压力。

其次, 保持较大面积的稻田, 其在水源涵养上的间接经济效益也非常显著。一般水稻田的田埂高约 20 cm, 田面以上就可以蓄积大约 20 cm 的水, 加入雨水入渗部分, 每 hm^2 可蓄水约 4 000 m^3 。现在长江流域的太湖周边, 稻田面积约为 2 000 km^2 , 其蓄水量接近两个太湖平时的蓄水量, 是特大洪涝灾害发生时的有效缓冲区。数据显示, 1991 年大洪水, 环湖经济损失 109 亿元, 约占太湖流域当年 GDP 总值的 3%。1999 年特大洪水, 损失 130 亿元, 约占太湖流域当年 GDP 总值的 2%。2004 年太湖流域 GDP 总值达人民币 2 万亿元, 如果稻田蓄水对洪涝缓冲能力及太湖防洪调蓄作用完全丧失, 直接洪涝灾害损失将超过 400 亿元。而且, 稻田蓄水功能还体现在抗旱及水源涵养上, 间接经济效益显著。如果调整环湖稻田冬春季利用模式, 增强冬春季稻田的蓄水功能, 则能更好地补充太湖冬春季的雨水不足, 避免类似 2007 年蓝藻事件的发生。2007 年太湖蓝藻爆发不到半月时间, 仅无锡旅游接待量和创汇在去年同期基准上下降了 40%~50%, 直接与间接经济损失巨大。又如 2006 年 4 月, 为了解决太湖水资源不足, 总投资 98 亿元、历时 15 年的太湖综合治理一期工程全面完工。此工程实现年均调引长江水 21 亿 m^3 , 仅相当于环湖地区稻田年蓄水量的 1/4。据测算, 每增加蓄水量 1 m^3 , 可产生的供水和减灾效益超过了 0.10 元, 稻田蓄水的间接经济效益显著。

同时, 稻田生态系统的气温调节作用可以节约电能, 间接经济效益也非常显著。据世界自然基金会估算, 每节约 1 度电, 就相当于节省了 0.4 kg 标准煤的能耗, 同时还减少了 1 kg CO_2 和 0.03 kg SO_2 的排放。在水稻全生育期中, 每公顷地的水汽蒸发可以带走的热量

相当于 475.7 t 标准煤燃烧的热量,相当于节约了 118.9 万度电。以民用电每度 0.52 元计,每公顷水稻相当于节约了 61.84 万元。江苏环湖的苏锡常三市水稻种植面积约为 290 千 hm^2 , 因此总共相当于节约了 1 800 亿元,节省了 14 000 亿 t 水,减少了 3 400 亿 kg CO_2 排放量和 102 亿 kg SO_2 的排放。

2.3 水稻生产是国民经济健康发展的基础

水稻生产不仅经济效益明显,而且是国民经济持续增长的坚强基石。稻米是环太湖区城乡居民的主要口粮,保证水稻种植面积可以稳定粮食市场及食物市场,为国民经济和社会发展提供一个健康稳定的外部环境。以 2004 年常州市为例,粮食产量 106 万 t,油料产量 7 万 t,可供商品粮 35 万 t,城镇居民口粮消费 40 万 t,粮食加工用粮 70 万 t,植物油加工用油料 20 万 t,工业转化用粮 35 万 t,满足城镇居民消费和企业用粮(含油料)的净缺口约为 85 万 t。目前,江苏环湖三市的粮食与食物自给率已经非常低,农产品和食物市场很不稳定,如果进一步减少水稻种植面积,势必影响整个国民经济的健康发展。另外,环太湖优美的水乡自然环境及悠久的稻作文化背景曾吸引了大量的发展资金,进一步强化稻田生态系统及星罗棋布的水系规划建设,将可以吸引更多的投资。根据统计资料,2004 年,江苏环太湖三市城镇固定资产投资额 2 185.00 亿元,实现地区总产值 6 900.61 亿元;2005 年分别为 2 660.22 亿元和 8 134.56 亿元(当年价格),按可比价格计算,分别比 2004 年增加了 20.7%和 16.8%。如果投资额每增加 1 个百分点,GDP 相应增加 0.81 个百分点,则约为 56.2 亿元。环湖经济快速健康发展的主要原因之一,就是外来资本源源不断的进入,而投资者之所以看好太湖区域,主要是由于其良好的社会和自然投资环境,其中优美的水乡环境是主要的吸引力之一。可见保护并进一步美化环湖自然景观,其间接经济效益非常可观。

3 水稻生产对促进社会和谐发展意义显著

水稻是环太湖地区的主要作物,稻米是该区的主要口粮。水稻生产不仅确保了农民一定的经济收入,而且通过稳定粮食市场保障了城镇低收入群体的根本利益。尽管环太湖是我国经济发展最快的区域之一,城乡居民生活水平普遍较高,但仍存在较大的城乡差别和相当比例的低收入群体。以苏州市为例,城镇居民中家庭年均收入低于 4 万元的仍占约 7%,农村居民中低于农民收入平均线以下的接近 60%,城乡居民收入差异由 2000 年的 1.7:1 上升到目前的 2.0:1。城乡差别与贫富差别仍是影响该区社会和谐发展的主要因素。

水稻种植仍是环太湖地区农民的主要收入来源之一,确保水稻生产就是保障农民利益。随着环湖区第二、三产业的快速发展,农民的工资性收入已经上升到总收

入的 70%~80%,但是以农为主的农户仍占较大比例,种植业收入占 20%以上,尤其是农村低收入农户。水稻是以农为主的农户的主要收入来源,确保一定的水稻种植面积是稳定这部分农民收入的主要途径之一。发达国家也是如此,例如日本为保障稻农利益,在国内稻米价格 10 倍于国际价格的情况下,仍采取强硬措施保障其国内的水稻生产比例,确保稻农利益不受损害。

保持一定的粮食自给率是稳定粮食市场的关键,而粮食价格的稳定是保障城乡低收入居民利益的重要途径。日本当年为了稳定国内物价,也曾对稻米价格和ator 采取了严格的管理措施和强有力的扶持政策。因此,稳定环湖水稻生产,在很大程度上也意味着保障城镇低收入群体的利益,确保社会稳定。由此可见,正在走富民优先、和谐社会之路,实现两个率先的环湖地区,能否以更合理的收入分配制度对财富进行微妙平衡,更多地惠及普通百姓,是当前面临的重大课题。在进一步加快第二、三产业发展以吸纳更多的农民劳动力,实现经济持续增长,逐步解决收入差距拉大问题的同时,水稻生产在和谐社会建设中仍将起到重要作用。

4 增强稻田生态系统综合服务功能的措施建议

合理的水稻生产管理技术体系下的稻田生态系统的生态环境服务功能强大,经济持续发展的支撑力量巨大,对社会和谐发展的促进作用重大。但是在不合理的稻作技术下,稻田生态系统的综合功能和效益将受到明显的影响。而且,在社会经济的不同发展阶段或不同发展水平的地区,合理的稻作技术也不相同。为了进一步增强环太湖地区水稻生产的综合服务功能,避免其潜在的对生态环境的负面效应,应在扭转公众认识、合理选择技术和政策扶持上采取相应的措施。

4.1 提高公众对稻田生态系统综合服务功能的认识

为了充分发挥稻田生态系统的综合服务功能,首先应从根本上扭转社会对水稻生产的不公正评价,正确认识水稻生产的综合效益。不合理的稻作技术确实存在较严重的生态环境问题,尤其是在片面追求高产的情况下。但是,合理的水稻生产不仅在我国粮食安全和国民经济增长中贡献重大,同时在生态环境服务功能上也拥有巨大潜力,尤其是在调控温室气体和气候变化上。目前,国际社会施加给中国经济发展的温室气体减排压力越来越大,对中国水稻生产的温室气体排放要求越来越苛刻。事实上,与旱地土壤相比,稻田土壤的固碳潜力巨大,合理稻作技术下稻田生态系统将提供巨大的固碳减排空间,为国民经济持续健康增长提供充足的发展空间。但是由于对稻田生态系统综合服务功能的宣传不足,导致不能充分认识到水稻生产在保障生态安全、促进环境健康方面的巨大贡献,因此,扭转社会对水稻生产及稻田生态系统的不公正评价,不仅可以强

化生产者的环境保护意识,促进合理稻作技术的推广应用,以进一步增强稻田生态系统的综合服务功能,而且能扭转国际社会对中国水稻生产的偏见,提高我国农业生产在国际上的声誉,为国民经济持续健康增长赢得足够的温室气体排放空间和宽松的国际环境。

4.2 环湖稻田科学规划与先进的保护性稻作技术结合

在正确认识稻田生态系统综合服务功能的基础上,要对稻田生态系统进行科学规划,建立保护性稻作技术体系。在对环湖生态环境进行现状分析的基础上,分析环湖稻田与企业、商业和民居等非农用地的关系,根据太湖自我净化能力,对环湖稻作系统及生产模式进行科学布局。针对不同地区的生产目的和环境状况,制定相应的稻作技术圈和环湖人工湿地缓冲带,将水稻生产对生态环境的负面效应降低到最低,全面发挥稻田生态系统的综合服务功能。在科学规划的基础上,进行适宜的稻作技术选择,推广应用以高效生物覆盖、清洁生产、有机农作、生态稻作、保护性土壤耕作等为代表的保护性稻作技术体系。具体的措施如下。① 转变环湖水稻生产目标,改高产更高产目标为优质安全生产,切实降低农用化学物质的投入量。② 逐步降低稻田利用强度,促进土壤系统自我修复。在适宜地区逐步实行水稻-冬闲的稻作模式,在冬春季种植一些土壤培育和景观美化相结合的覆盖作物。这既可以减少冬春季旱作物的水、肥、土流失,减轻对环境的污染,还可以提高冬春季稻田蓄水能力,缓解太湖的冬春水源不足问题,避免类似蓝藻爆发等环境重大事件的再度发生。另外,两熟变一熟可以很好地解决作物秸秆还田问题,增强稻田土壤固碳保氮减排功能,保持土壤的持久生产力。③ 大力推进稻田规模经营进程,提高水稻生产的规模效益。小农户高度分散的稻田经营模式是制约水稻生产综合效应发挥的主要因素之一。只要经营规模上升到一定水平后,经营者才会对不同的稻作技术所产生的节本增效作用加以重视,进而采纳,而且只有经营规模上升到一定水平后,政府干预和扶持才真正起作用,大大降低执政成本,提高技术推广效率。

4.3 建立促进生态安全和环境健康的稻农行为激励机制

水稻生产的主体是千家万户的农民,必须加大宣传和政策引导,建立农户激励机制,提高稻农的生态安全和环境健康意识,促进保护性稻作技术的应用。稻田生态系统的综合服务功能为环湖地区的环境健康贡献显著,为区内二、三产业的经济增长创造了良好的基础。因此,应该建立成套的以工、商补农的政策,加大稻田生态系统的综合整治投入力度,建立良好的稻田基本设施,提高系统功能。同时,还应建立保护性稻作技术的稻农补偿机制,促进农户对新型的保护性稻作技术的应用。美国、日本及欧盟一些国家在工商扶农、农户补偿上采取强大力度,建立健全的配套政策和机制,对环湖地区的水稻水产将有很好的参考价值。作者在

保护性稻作技术选择和农户激励机制方面进行了多年研究,在南方农区正在进行生产示范推广。研究发现,农户在是否采纳保护性稻作技术上,其技术选择行为存在显著差异。因此,在农户激励政策与机制制定上,应针对不同地区、不同农户的特征采取相应的措施,促进保护性稻作技术的推广应用。

5 结论

稻田是地球上最大的人工湿地生态系统,在合理的稻作技术体系下,它表现出巨大的社会、生态和经济综合功能。由于稻田长期保持一定水面,具有土壤处于厌氧环境且系统生产力高等特点,其生态系统表现出显著的气候调节效应,在减缓全球气候变换上的潜力巨大。全球变暖已成不可逆转的事实,因此保持一定的稻田面积对区域性气温调节具有重要的意义。同时,稻田生态系统具有很强的环境净化功能,对城镇生活等污水具有较强的无害化处理功能。所以,通过稻田及居住区的合理布局,以及水稻种植技术和稻田系统结构的创新,将显著增强稻田的环境保护能力。另外,稻田生产力高,稻米是我国最主要的粮食作物,在确保我国中长期粮食安全上意义重大。环太湖区是我国经济最为发达的地区之一,也是我国人口最密集的区域,人们生活水平高,对生态环境质量的要求较高。所以,应该扭转公众对环太湖水稻生产的偏见,在科学规划稻田布局的基础上,进行保护性稻作技术创新,建立农户激励机制,以进一步增强稻田生态系统在保障粮食安全、环境健康及经济持续增长的综合效应。

参考文献 (References)

- [1] 凌后鸿. 论水稻生产在我国南方经济发达地区可持续发展中的不可替代作用[J]. 科技导报, 2004(3): 42-45.
LING Qihong. The function of rice production in the sustainable development of developed regions in South China[J]. Sci Tech Rev, 2004(3): 42-45.
- [2] 蒋建科. 我国水稻亩产又创世界新纪录 现场实打实收 1287 公斤[N]. 人民日报, 2006-09-08.
JIANG Jianke. New world record of rice yield of 1287 kg/mu[N]. People Daily, 2006-9-8.
- [3] 郭红岩, 王晓蓉, 朱建国, 等. 太湖流域非点源氮污染对水质影响的量化研究[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(2): 150-153.
GUO Hongyan, WANG Xiaorong, ZHU Jianguo, et al. Quantity of nitrogen from non-point source pollution in Taihu lake catchment [J]. Journal of Agro-environment Science, 2003, 22(2): 150-153.
- [4] 胡立峰, 李琳, 陈阜, 等. 不同耕作制度对南方稻田甲烷排放的影响[J]. 生态环境, 2006, 15(6): 1216-1219.
HU Lifeng, LI Lin, CHEN Fu, et al. Effect of different tillage on methane emissions in paddy field[J]. Ecology and Environment, 2006, 15(6):1216-1219.

- [5] 夏立忠, 杨林章. 太湖流域非点源污染研究与控制[J]. 长江流域资源与环境, 2003, 12(1): 45-49.
XIA Lizhong, YANG Linzhang. Research on non-point source pollution in Tai Lake region [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin. 2003, 12(1):45-49.
- [6] 温家宝. 把太湖、巢湖、滇池治理摆在更突出位置[EB/OL]. [2007-6-30]. http://news.xinhuanet.com/politics/2007-06/30/content_6312509.htm.
WEN Jiabao. Pay more attention on the pollution of Tai Lake, Cao Lake and Dianchi Lake[EB/OL]. [2007-6-30]. http://news.xinhuanet.com/politics/2007-06/30/content_6312509.htm.
- [7] COSTANZA R, D'ARCE R, de GROOT R, *et al.* The value of the world's ecosystem services and nature capital[J]. Nature, 1997, 387: 253-260.
- [8] 肖玉, 谢高地, 鲁春霞, 等. 稻田生态系统气体调节功能及其价值[J]. 自然资源学报, 2004, 19(5): 617-623.
XIAO Yu, XIE Gaodi, LU Chunxia, *et al.* The gas regulation function of rice paddy ecosystems and its value [J]. Journal of Natural Resources, 2004, 19(5): 617-623.
- [9] 许泉, 芮雯奕, 何航, 等. 不同利用方式下中国农田土壤有机碳密度特征及区域差异 [J]. 中国农业科学, 2006, 39(12): 2505-2510.
XU Quan, RUI Wenyi, HE Hang, *et al.* Characteristics and regional differences of soil organic carbon density in farmland under different land use patterns in China [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2006, 39(12): 2505-2510.
- [10] 芮雯奕, 周博, 张卫建. 长江三角洲水田保护性耕作制度的碳收集效应估算 [J]. 长江流域资源与环境, 2006, 15(2): 207-212.
RUI Wenyi, ZHOU Bo, ZHANG Weijian. A brief assessment of carbon sequestration effects of conservational farming systems in paddy soils in Yangtze delta plain[J]. Res Environ Yangtze Basin, 2006, 15(2): 207-212.
- [11] 刘建栋, 周秀骥, 于强. 长江三角洲稻田生态系统综合增温潜势源汇交替数值分析[J]. 中国科学 D 辑, 2003, 33(2): 105-113.
LIU Jiandong, ZHOU Xiujie, YU Qiang. Numerical analysis on comprehensive warming potential alternating between sink and source in paddy ecosystem in Yangtze delta plain[J]. Science in China, Ser D, 2003, 33(2): 105-113.
- [12] 宝日娜, 杨泽龙, 刘启, 等. 达里诺尔湿地的小气候特征[J]. 中国农业气象, 2006, 27(3): 171-174.
BAO Rina, YANG Zelong, LIU Qi, *et al.* Analysis of micro-climate characteristics in Dalinor wetlands [J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2006, 27 (3):171-174.
- [13] 荣湘民, 袁正平, 胡瑞芝, 等. 地下水位与有机肥及水分管理对稻田甲烷排放的影响 [J]. 湖南农业大学学报 (自然科学版), 2001, 27(5): 346-349.
RONG Xiangmin, YUAN Zhengping, HU Ruizhi, *et al.* Effects of groundwater level, organic manure and water regime on methane emission from rice fields [J]. Journal of Hunan Agricultural University, 2001, 27(5): 346-349.
- [14] 李曼莉, 徐阳春, 沈其荣. 旱作及水作条件下稻田 CH_4 和 N_2O 排放的观察研究[J]. 土壤学报, 2003, 40(6): 864-869.
LI Manli, XU Yangchun, SHEN Qirong, *et al.* Methane and nitrous oxide fluxes in aerobic and waterlogged production systems of rice crop [J]. Acta Pedologica Sinica, 2003, 40(6): 864-869.
- [15] 张焕朝, 张红爱, 曹志洪. 太湖地区水稻土磷素径流流失及其 Olsen 磷的“突变点”[J]. 南京林业大学学报 (自然科学版), 2004, 28(5): 6-10.
ZHANG Huanchao, ZHANG Hongai, CAO Zhihong. Research on phosphorus runoff losses from paddy soils in the Taihu Lake region and its Olsen-P "change-point" [J]. J Nanjing Forestry University, 2004, 28(5): 6-10.
- [16] 吕耀. 苏南太湖地区水稻土中硝态氮淋溶的定位研究[J]. 土壤通报, 1999, 30(3): 113-114.
LU Yao. Location study on nitrate leaching in paddy soils of Tai Lake in South Jiangsu [J]. Chinese Journal of Soil Science, 1999, 30(3): 113-114.
- [17] 陈海霞. 农田作物处理规模化养殖场粪便的能力及二次污染的分析[D]. 南京: 南京农业大学, 2007.
CHEN Haixia. The analysis of the capacity in disposing the domestic animals' manure in large-scale breeding farm and the secondary pollution [D]. Nanjing: Nanjing Agriculture University, 2007.
- [18] 许泉, 芮雯奕, 刘家龙, 等. 我国农田土壤碳氮耦合特征的区域差异[J]. 生态与农村环境学报, 2006, 22 (3): 57-60.
XU Quan, RUI Wenyi, LIU Jialong, *et al.* Spatial variation of coupling characteristics of soil carbon and nitrogen in farmland of China[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2006b, 22 (3): 57-60.
- [19] 邹建文, 黄耀, 宗良纲, 等. 不同种类有机肥施用对稻田 CH_4 和 N_2O 排放的综合影响[J]. 环境科学, 2003, 24(4): 7-12.
ZOU Jianwen, HUANG Yao, ZONG Lianggang, *et al.* Integrated effect of incorporation with different organic manures on CH_4 and N_2O emissions from rice paddy[J]. Chinese J Environmental Science, 2003, 24(4): 7-12.
- [20] 赵建宁, 沈其荣, 冉炜. 太湖地区侧渗水稻土连续施磷处理下稻田磷的径流损失[J]. 农村生态环境, 2005, 21(3): 29-33.
ZHAO Jianning, SHEN Qirong, RAN Wei. Phosphorus loss with runoff from a side bleaching paddy soil under continual P application in Taihu Lake Region[J]. Rural Eco-Environment, 2005, 21(3): 29-33.
- [21] 王德建, 林静慧, 夏立忠. 太湖地区稻麦轮作农田氮素淋洗特点[J]. 中国生态农业学报, 2001, 9(1): 16-18.
WANG Dejian, LIN Jinghui, XIA Lizhong. Characteristics of nitrogen leaching of rice-wheat rotation field in Taihu Lake area[J]. Chin J Eco-Agriculture, 2001, 9(1): 16-18.
- [22] 金洁, 杨京平, 施洪鑫, 等. 水稻田面水中氮磷素的动态特征研究[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(2): 357-361.
JIN Jie, YANG Jingping, SHI Hongxin, *et al.* Variations of nitrogen and phosphorus in surface water body of a paddy field[J]. J Agro-Envir Sci, 2005, 24(2): 357-361.

(责任编辑 朱宇)