

## 虾塘还林及其海洋农牧化构想\*

# A Conception of Developing Farming of the Sea through Reconversion of Shrimp Ponds to Mangroves

范航清, 阎冰, 吴斌, 兰国宝, 周浩郎, 谭凡民, 王欣, 戴培建

FAN Hangqing, YAN Bing, WU Bin, LAN Guobao, ZHOU Haolang,

TAN Fanmin, WANG Xin, DAI Peijian

(广西科学院广西红树林研究中心, 广西红树林保护与利用重点实验室, 广西北海 536000)

(Guangxi Key Lab of Mangrove Conservation and Utilization, Guangxi Mangrove Research Center, Guangxi Academy of Sciences, Beihai, Guangxi, 536000, China)

**摘要:** 根据我国东南沿海红树林退化情况和海水虾塘养殖业严重衰败问题, 对我国退塘还林的潜在规模及其重要意义进行分析和评估, 并在此基础上提出了“虾塘红树林湿地生态农场”建设思路和 3 种生态养殖模式。理论推算表明, 生态改造后虾塘养殖的经济效益提高 1.2~2.0 倍; 氮(N)和磷(P)的年环境负荷量分别减少 28.51%~56.39% 和 25.63%~88.13%。此外, 虾塘生态改造还将显著美化滨海湿地景观, 为耐盐功能性植物开发利用和滨海休闲业发展奠定基础。“虾塘红树林湿地生态农场”兼顾了生态与生计同时所面临的问题, 并可作为一种激励机制, 促进退塘还林和蓝碳经济发展。最后, 讨论了技术、农户积极性和资金投入等方面的可行性, 并提出了相关建议。

**关键词:** 沿海虾塘 生态改造 红树林滨海生态农场 技术途径 效益分析

**中图分类号:** X37 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9164(2017)02-0127-08

**Abstract:** Based on the degradation of mangroves and the serious decline of shrimp farming along the coast of Southeast China, the potential scale and significance of returning pond to forest in China were analyzed and evaluated. On this basis, the conception of developing mangrove wetland eco-farm was put forward and three eco-farming patterns were proposed. An estimation theoretically suggests the economic benefit from farming in ecologically transformed shrimp ponds can be 1.2 to 2.0 times higher and the annual environmental load of N and P can be reduced by 28.51%~56.39% and 25.63%~88.13%. Ecologically transformed shrimp ponds will beautify the landscape of coastal wetlands, and hence improve the exploitation of functional plants of salt tolerance and boost the development of coastal recreation industry. Developing eco-farms in mangrove converted shrimp ponds can offer a solution both to the conservation of ecosystems and the development of alternative livelihood, impulse the motivation of farmers, facilitate the reconversion of shrimp pond to mangroves, and promote the development of blue carbon economy. The feasibility of developing eco-farms with regards to technologies available, motivation of farmers, and investment were analyzed and suggestions were also made in the paper.

facilitate the reconversion of shrimp pond to mangroves, and promote the development of blue carbon economy. The feasibility of developing eco-farms with regards to technologies available, motivation of farmers, and investment were analyzed and suggestions were also made in the paper.

**Key words:** shrimp ponds, ecological transformation, mangrove eco-farm, technical approach, cost benefit analysis

**收稿日期:** 2017-02-14

**作者简介:** 范航清(1964—), 男, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事典型滨海湿地生态系统生态学, 典型滨海生态系统保护、恢复与利用研究, E-mail: fanhq666@126.com.

\* 科技部科技基础性工作专项(2013FY111805), 国家海洋公益性行业科研专项(201505028), 广西红树林保护与利用重点实验室系统课题(2016)和广西海洋产业人才小高地资金项目(2016)资助。

## 0 引言

20 世纪 80 年代以来,我国东南沿海的海水池塘养殖高速发展,围垦了大量的滩涂和红树林湿地,部分良田也转化为虾塘。沿海虾塘养殖的扩展虽然在简短的几年中取得了一定的成果,但侵占了大片滨海湿地和红树林,破坏了滨海自然景观,并且排放大量的养殖污水,是我国近海环境生态退化的重要原因之一。随着海区和虾塘自身污染的加剧,养殖成功率、产量和产品质量下降,相当一部分虾塘长期荒废,影响群众生计。在国家大力实施“蓝色港湾”“南红北柳”及滨海湿地保护工程的今天,如何实现“退塘还林”,在增加红树林面积的同时发展蓝碳经济,兼顾生态与生计,是摆在我们面前严峻的现实问题。在广泛调研和前期工作的基础上,本文提出转化虾塘为红树林湿地生态农场的方案,可较好地协调保护修复与开发利用之间的矛盾,促进海洋生态文明建设。

## 1 传统海水虾塘养殖面临的问题与重大需求

### 1.1 自身污染与健康养殖的需要

2015 年,我国海水养殖总产值 2 937.66 亿元<sup>[1]</sup>,占主要海洋产业生产总值的 10.97%<sup>[2]</sup>,海水养殖业在我国海洋经济中占据重要的位置。我国是世界最大的对虾养殖国,约占世界养殖对虾总量的 40%<sup>[3]</sup>。2015 年我国海水对虾养殖面积  $2.584 \times 10^5$  hm<sup>2</sup>,产量  $1.1613 \times 10^6$  t<sup>[1]</sup>。然而,海水虾塘养殖排放的大量残饵、排泄物、鱼药和抗生素已对自然环境造成严重的污染<sup>[4]</sup>。国内外大量的事实表明,新虾塘在养殖 2~3 年后就会形成严重的污染,导致对虾养殖病害频发,养殖成功率大幅度下降,长期徘徊在 35% 左右。不少地区的虾塘因为连续绝收而不得不闲置或毁弃,最终不可避免地导致失业和贫困。近年来对虾肝胰腺坏死综合症(HPNS)频繁爆发,这与底质和水体污染有密切关系,发病的养殖塘基本上绝收<sup>[5]</sup>。目前海水虾塘养殖陷入了“规模扩大-养殖污染加剧-环境恶化-病害频发-效益下降”的恶性循环,必须通过改善生态环境,降低养殖排放,提高环境质量、养殖成功率和产品质量,才能支撑海水虾塘养殖业的可持续发展。

### 1.2 近岸污染与海洋环境保护的需要

近 30 年来中国滨海湿地环境质量每况愈下,2014 年广西入海污染源中入海河流贡献 86.74%,生活污水 6.73%,陆基海水养殖 5.31%,工业、种植、畜禽、船舶合计 1.22%<sup>[6]</sup>。尽管陆基海水养殖排放污染物绝对量仅占入海总量的 5.31%,可其排放具有

明显的时空性,集中在每年 1~2 次的清塘期,污染物浓度是自然海水的数十到上百倍,往往是生态灾难的导火索。例如,海区养殖污染在放养家鸭的共同作用下触发了 2010 年以来海南和广西蛀木生物有孔团水虱(*Sphaeroma terebrans*)和光背团水虱(*S. retrolaeve*)的爆发,导致成熟红树林的连片死亡<sup>[7]</sup>。此外,日益严重的红树林虫灾及逐年增多的我国东南沿海赤潮和大型藻类泛滥事件也与养殖污染有关系。沿海虾塘占用了大片的天然滨海湿地,毁灭了大量的滨海植被,致使原有的滨海田园风光基本消失,景观破碎化问题突出,中断了地球化学与生物的自然过程,使养殖污染物得不到及时降解和吸收,累积在虾塘内,最终直接排入海,成为近海污染的主要污染源之一。养殖排污不仅威胁着近海生态环境和渔业资源,同时也威胁着养殖业的自身发展,个别养殖污染严重的海湾已无法利用海水进行养殖生产。

### 1.3 可持续发展与滨海湿地生态文明建设的战略需求

1990 年到 2008 年中国围垦的滨海湿地面积从 8 241 km<sup>2</sup> 增加到 13 380 km<sup>2</sup><sup>[8]</sup>,占用了大量的红树林及宜林滩涂。国务院批准的 2011 年—2020 年全国沿海的围填海总规模为 2 469 km<sup>2</sup>,其中有红树林分布的浙江 506 km<sup>2</sup>、福建 333.5 km<sup>2</sup>、海南 111.5 km<sup>2</sup>、广西 161 km<sup>2</sup>、广东 230 km<sup>2</sup>,合计 1 342 km<sup>2</sup><sup>[9]</sup>,是 2013 年中国红树林总面积的 5.3 倍(待另文发表),红树林及其宜林滩涂保护面临巨大压力。例如,2016 年 11 月 17 日中央环保广西督导组通报,“根据钦州滨海新城、北海铁山港东港区和龙港新区的建设规划,还将占用茅尾海和铁山港区域约 595 hm<sup>2</sup> 原生态红树林”。

2000 年国家林业局计划用 10 年时间将中国红树林面积从  $2.2 \times 10^4$  hm<sup>2</sup> 恢复到  $6 \times 10^4$  hm<sup>2</sup> 的目标,这意味着 2010 年之前要成功新造红树林  $3.8 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>。然而,正是因为缺少宜林滩涂,到 2013 年全国才新增红树林  $0.33 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>,目标完成率仅 8.68%,而且还是通过大量种植外来树种无瓣海桑(*Sonneratia apetala*)才勉强得以实现。因此,退塘还林必将成为增加我国红树林面积的重要途径。

退塘还林的最大问题是虾塘征收的巨额补偿金和虾农转岗就业问题,只有财政实力强大的地区才可能实施。2014 年,海口市政府对海南东寨港国家级自然保护区内的 130 多公顷虾塘实施退塘还林,代价高昂。南中国海周边国家的沿海农村经济欠发达,在红树林保育中应高度重视合理利用技术与激励机制,“将保护导向更加可持续的利用方式”<sup>[10]</sup>。因此,兼

顾生态与经济的“虾塘红树林湿地生态农场”就成为我国东南沿海滨海湿地生态文明建设的突破口。

## 2 我国传统虾塘红树林生态改造的潜在规模

长期以来,中国沿海养殖虾塘的面积究竟有多少尚缺少精准的报告。2013年广西海水虾塘养殖的面积为 $2.07 \times 10^4 \text{ hm}^2$ <sup>[11]</sup>,海水虾塘总面积为 $4.6 \times 10^4 \text{ hm}^2$ (待另文发表),说明只有45%的虾塘真正用于生产,其他55%因养殖污染、海区污染、病害频发等原因而闲置。这种现象在东南沿海其他省(区)普遍

表 1 2014 年中国东南沿海虾塘面积估算

Table 1 Estimation of the areas of shrimp ponds along the coast of Southeast China in 2014

省(区) Provinces	养殖虾塘面积* Areas of the shrimp ponds being used (hm <sup>2</sup> )	养殖虾塘面积占总虾塘面积百分率* Percentage of the areas of the shrimp ponds being used (%)	虾塘总面积 Areas of all shrimp ponds (hm <sup>2</sup> )
浙江 Zhejiang	32 025	70	45 750
福建 Fujian	29 949	65	46 075
广东 Guangdong	72 641	85	85 460
广西 Guangxi	20 307	44	46 152
海南 Hainan	12 665	75	16 887
合计 Total	167 587	70	240 324

注: \* 资料来源于文献[11], \*\* 资料来源于本文

Note: \* Date source came from referece [11], \*\* date source came from this paper

## 3 “虾塘红树林湿地生态农场”建设的基本技术路线

### 3.1 生态环保虾塘养殖技术概述

生态养殖是根据物种共生互补原则,利用自然界物质循环系统原理,使不同生物在同一空间和环境中共同生长,以期提高养殖效益、降低养殖污染物排放的一种养殖方式。从物种空间隔离程度看,目前生态养殖方法包括立体养殖、封闭循环水养殖和开放循环水立体养殖。

(1) 立体养殖: 在同一个虾池内建立合适的鱼、虾、蟹、贝、藻生物群落,从而提高虾池的利用率和产出率,同时减少污水排放。立体养殖已经有一些成功案例,但产量普遍不高,加上对各个生产环节的物质循环、能量流动等缺乏充分了解,对于各生产项目之间的合理配置难以正确把握,很难实现集约化经营。

(2) 封闭循环水养殖: 在不同的虾塘内放养鱼、虾、蟹、贝、藻等经济动植物,通过水循环将之连通,辅以微生物净化处理的养殖方式。封闭循环水养殖技术要求较高,资本投入和生产成本较大,难以大规模推广。

(3) 开放循环水立体养殖: 在封闭循环水养殖系统中引入人工湿地,利用湿地的植物和土壤微生物对养殖水体进行净化和循环使用,模拟养殖动物的生长

存在。根据各省(区)养殖基本情况,我们粗略估算2014年中国东南沿海虾塘总面积为 $240\ 324 \text{ hm}^2$ (表1),为中国现有红树林总面积的9.49倍。从沿海围垦历史看,东南沿海现有虾塘中至少有10%源自于红树林<sup>[12]</sup>,即约 $2.4 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。例如,1980年至2000年间中国共消失了 $12\ 923.7 \text{ hm}^2$ 的红树林,其中97.6%用于修建虾塘<sup>[13]</sup>。我国现有红树林 $2.53 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,如果在沿海虾塘建设 $2.4 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 红树林湿地生态农场,将会产生巨大的经济、生态和社会效益。

环境,努力实现污染物的“终结”(零排放),达到稳定、高产、优质、美化景观的目的。

立体养殖和封闭循环水养殖注重养殖物种搭配的多样性与最适性,但没有从根本上解决污染物的系统外最终排放问题。开放循环水立体养殖综合了前两者的优点,再现大自然的本来过程,环境友好,是未来的发展方向,也是“虾塘红树林湿地生态农场”建设的目标。

### 3.2 “虾塘红树林湿地生态农场”建设基本技术路线

针对目前中国传统虾塘养殖污染突出的问题及养殖的集约化程度,我们提出将25%~50%的虾塘水面用于重建红树林和盐沼植被,剩余水面用于养殖,实现传统虾塘养殖的生态改造与产业升级。

理论上,只要在现有虾塘塘底的基础上再挖深 $0.5 \sim 1.5 \text{ m}$ (表2),即可保证养殖水体体积不变。挖掘出的底泥用于修建比养殖水面略高的人工湿地。通过水位控制,可创造红树林和盐沼植物生长所需的间歇性水淹条件和养殖水体湿地滞留净化时间。对传统虾塘进行形态和结构改造,水下多位喷射既可增加溶解氧又可驱动水体回旋,促使颗粒状污染物汇集到塘底(图1)。从虾塘底部引出颗粒状污染物和养殖水体,经过物理沉淀池后水体流入湿地进行生物净化,净化后的水体可再次进入虾塘循环利用,也可以部分排放到海区。

表 2 3 种传统养殖模式特点与应对的生态模式

Table 2 Characteristics of three traditional farming patterns and the corresponding eco-farming patterns

养殖模式 Farming patterns	特点 Features										应对生态模式 Corresponding eco-farming approach	虾塘人工湿地面积比例 Percentage of artificial wetland over shrimp ponds (%)	塘底挖掘理论深度 Theoretic depth of the ponds (m)	推广对象 Target farmers
	资金投入 Investment	单位产量 Output per unit	产品质量 Quality of products	产品单价 Unit price	生产效率 Efficiency	净利润率 Net profit rate	总利润 Total profit	污染排放 Effluent of pollutants	技术要求 Technical requirements	突出问题 Critical issues				
粗放养殖 Extensive	低 Low	低 Low	高 High	较高 Comparatively high	低 Low	高 High	低 Low	低 Low	低 Low	产量低 Low output	生态混养 Eco-mixed farming	25	0.5	基础设施差、资金困难农户 Low income farmers with poor infrastructure
集约养殖 Intensive	中 Middle	中 Middle	中 Middle	中 Middle	较高 Comparatively high	较高 Comparatively high	中 Middle	高 High	较高 Comparatively high	污染、成功率低 Pollution, low successful	生态集约化 Eco-intensive	35	0.8	基础设施较好、中等收入农户 Middle income farmers with operational infrastructure
工厂化养殖 Factory	高 High	很高 Extremely high	稍差 Slightly low	稍低 Slightly low	很高 Extremely high	稍低 Slightly low	高 High	很高 Extremely high	高 High	高污染, 成功率低 Heavy pollution, low successful	生态工厂化 Eco-factory farming	50	1.5	资金充足的农户 Wealthy farmers

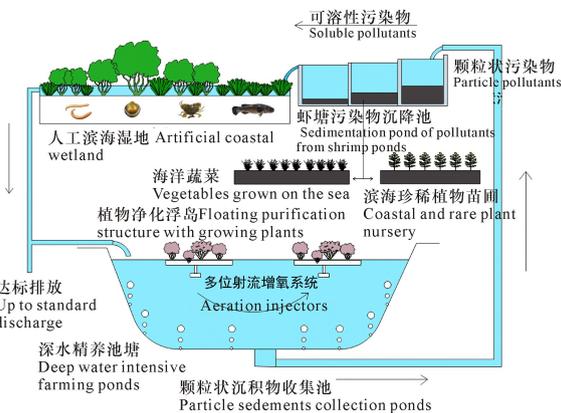


图 1 传统虾塘红树林生态改造基本技术路线

Fig. 1 Technical route of ecologically transforming traditional shrimp ponds

物理沉淀池中富含 N、P 的沉积物可用于养殖市场需求巨大的可口革囊星虫 (*Phascolosoma esculenta*), 栽培盐角草 (*Salicornia herbacea*)、番杏 (*Tetragonia tetragonioides*) 等海洋蔬菜和滨海耐盐绿化、药用、能源等功能植物。滨海湿地主要种植红树植物、荳苳 (*Cyperus malaccensis*)、短叶荳苳 (*Cyperus malaccensis* var. *brevifolius*)、芦苇 (*Phragmites* spp.) 和南水葱 (*Scirpus validus* var. *laeviglumis*) 等多年生耐盐植物, 同时进行底栖鱼

类、贝、蟹的培育与生产。养殖水面设置抗盐植物海马齿 (*Sesuvium portulacastrum*) 净化浮岛或大型藻类网箱, 在吸收养殖水体可溶性污染物的同时为养殖动物提供栖息与庇护空间。通过虾塘植被重建, 美化海岸景观, 促进滨海休闲渔业的发展。

红树林湿地生态农场不同于砍伐 40%~60% 红树林以后建立起来的粗放的基围养殖模式, 该模式破坏红树林、污染大、产量低<sup>[14]</sup>。生态农场的特征是重建植被、多元能量输入、高经济效益、提升产品质量、显著降低排海污染物总量和可控的人工生态系统。在能量驱动方面, 在条件满足的环节优先利用潮汐能, 鼓励使用风能和太阳能, 公共电网提供关键性和保障性电能。为了提高能量利用效率, 尽可能使用低扬程水泵。

### 3.3 “虾塘红树林湿地生态农场”的 3 种模式

根据目前我国沿海虾塘养殖的集约化程度, 可将传统虾塘养殖分为粗放养殖、集约化养殖和工厂化养殖 3 种模式, 这 3 种模式的应用主要取决于养殖户的经济实力和养殖技术, 其特点和存在的问题见表 2。针对 3 种传统养殖模式的养殖密度与污染程度, 本文针对性提出建立“生态混养”“生态集约化”和“生态工

厂化”3个生态养殖模式,既可以满足不同类型农户的需求,也便于因地制宜的组合应用。

#### 4 “虾塘红树林湿地生态农场”效益的理论推算

目前我国东南沿海海水虾塘养殖的主要品种是南美白对虾(*Penaeus vannamei*),一般每年养殖两造。为了方便经济环境效益评估,本文以养殖南美白对虾为例进行理论推算。在广泛调研了广西、广东和海南沿海实际养殖情况的基础上,经过充分讨论,设定本文的推算参数。

##### 4.1 经济效益

经济效益取决于养殖成功率、单位产量、产品价格和实际养殖水面4个环节,则

单位水面经济效益( $V_w$ )=养殖成功率(A)×单位产量(B)×价格(C),

表3 传统虾塘生态改造前后的经济效益评估

Table 3 Estimation of economic benefits of traditional shrimp ponds before and after being transformed

养殖模式 Farming patterns		养殖成功率 Success chances in the shrimp culture	平均年产量 Average annual output (kg/hm <sup>2</sup> ·a)	产品价格系数 Product price index	养殖水面系数 Land water index	单位水面经济效益(元) Profit per unit of water area (Yuan)	单位土地经济效益(元) Profit per unit of land area (Yuan)	生态模式与传统模式效益比值 Profit ratio of ecological patterns to traditional patterns	
								按水面计 By water area	按土地计 By land area
传统模式 Traditional patterns	粗放养殖 Extensive	0.60	2 250	1	1	1 350	1 350	2.7	2.0
	集约化养殖 Intensive	0.35	15 000	1	1	5 250	5 250	3.1	2.0
	工厂化养殖 Factory	0.40	67 500	1	1	27 000	27 000	2.4	1.2
生态模式 Ecological patterns	生态混养 Eco mixed farming	0.75	3 750	1.3	0.75	3 656	2 742	—	—
	生态集约化养殖 Eco intensive farming	0.60	22 500	1.2	0.65	16 200	10 530	—	—
	生态工厂化养殖 Eco factory farming	0.70	82 500	1.1	0.50	63 525	31 763	—	—

##### 4.2 环境效益

李松青<sup>[15]</sup>的研究表明,每收1t对虾平均生成环境负荷为N 46.4 kg,其中主要以悬浮颗粒态存在的残饵N 12.1%、排粪N 17.6%,以可溶态存在的排泄N 70.2%;P 11.4 kg,其中主要以悬浮颗粒态存在的残饵P 24.5%、排粪P 63.0%,以可溶态存在的排泄P 12.5%。李纯厚等<sup>[16]</sup>指出,对虾池塘养殖氮、磷环境负荷量分别为45.8 kg/t和10.1 kg/t,其中随养殖废水排放入海的环境排放量分别为1.39 kg/t和0.65 kg/t,即入海排放量仅占环境负荷量的3.03%

单位土地经济效益( $V_L$ )= $V_w$ ×养殖水面系数(D)。

跟传统养殖模式相比,生态改造模式由于显著改善水体环境和动物栖息地条件,养殖成功率和单位产量均可得到一定程度的提高(表3)。比如,集约化养殖成功率由传统的平均35%提高到生态集约的60%;产量由传统的平均每年1 000 kg提高到1 500 kg。事实说明,生态养殖产品市场单价比纯人工养殖产品价格高10%~30%已成常态,随着社会进步和居民收入的增加,生态产品质量溢价空间很大。推算结果表明:以养殖水体面积计,生态养殖的经济效益比传统养殖的高2.4~3.1倍;以土地面积计,生态养殖的经济效益比传统养殖的高1.2~2.0倍(表3)。值得重视的是,保守估计养殖沉积物养殖可口革囊星虫、栽培功能植物产业链条产生的效益可能达到虾塘养殖效益的30%以上。

和6.43%,其余的氮、磷保留在虾塘内,其中部分被微生物分解,部分长期沉积,这正是虾塘环境退化的根本原因。本文认为,虾塘养殖的环境负荷不论沉积在池塘内还是排放入海,都是对环境的负面影响,因此借助物理和生态方法减少环境负荷量是“虾塘红树林湿地生态农场”的关键。

以生态养殖的产量为目标,以李松青<sup>[15]</sup>的研究参数为基础,计算出生态改造前后3种养殖模式N、P的年环境负荷量。结果如表4所示,经过生态改造后,粗放养殖的N、P年环境负荷量分别减少了

表 4 传统虾塘生态改造前后的环境效益评估

Table 4 Estimation of environmental benefits of traditional shrimp ponds before and after being transformed

养殖方式 Farming patterns	污染物 Pollutants	传统养殖环境负荷量 Environmental carrying capacities of traditional farming (kg/hm <sup>2</sup> )	红树林湿地生态农场处理 Treatment in eco-farms in mangrove wetlands	生态养殖环境负荷量 Environmental carrying capacities of eco-farming (kg/hm <sup>2</sup> )	减少率 Reduction rate (%)	减少效果 Effects
粗放养殖 Extensive	残饵 N Residual diets N	21.3	湿地沉降 25% Sedimentation in wetland 25%	15.9		
	排粪 N Faeces N	30.6	湿地沉降 25% Sedimentation in wetland 25%	22.95		
	排泄 N Excretion N	122.1	植被和湿地降解 30% Sedimentation in wetland and vegetation 30%	85.5		
	合计 N Total N	174		124.35	28.51	
	残饵 P Residual diets P	10.5	湿地沉降 25% Sedimentation in wetland 25%	7.8		
	排粪 P Faeces P	27	湿地沉降 25% Sedimentation in wetland 25%	20.25		
	排泄 P Excretion P	5.4	植被和湿地降解 30% Sedimentation in wetland and vegetation 30%	3.75		
合计 P Total P	42.75		31.8	25.63	低 Low	
集约化养殖 Intensive	残饵 N Residual diets N	127.35	物理移除 50% Removed physically 50%	63.75		
	排粪 N Faeces N	183.75	物理移除 50% Removed physically 50%	91.8		
	排泄 N Excretion N	732.9	植被和湿地降解 40% Sedimentation in wetland and vegetation 40%	439.8		
	合计 N Total N	1 044		595.35	42.98	
	残饵 P Residual diets P	62.85	物理移除 50% Removed physically 50%	31.35		
	排粪 P Faeces P	161.55	物理移除 50% Removed physically 50%	80.85		
	排泄 P Excretion P	32.1	植被和湿地降解 40% Sedimentation in wetland and vegetation 40%	12.9		
合计 P Total P	256.5		125.1	51.25	中 Middle	
工厂化养殖 Factory	残饵 N Residual diets N	466.95	物理移除 95% Removed physically 95%	23.4		
	排粪 N Faeces N	673.8	物理移除 95% Removed physically 95%	33.75		
	排泄 N Excretion N	2 687.25	植被和湿地降解 40% Sedimentation in wetland and vegetation 40%	1 612.35		
	合计 N Total N	3 828		1 669.35	56.39	
	残饵 P Residual diets P	230.4	物理移除 95% Removed physically 95%	11.55		
	排粪 P Faeces P	592.5	物理移除 95% Removed physically 95%	29.7		
	排泄 P Excretion P	117.6	植被和湿地降解 40% Sedimentation in wetland and vegetation 40%	70.5		
合计 P Total P	940.5		111.75	88.13	高 High	

28.51%和25.63%;集约化养殖的N、P年环境负荷量分别减少了42.98%和51.25%;工厂化养殖的N、P年环境负荷量分别减少了56.39%和88.13%。此外,富含有机物的养殖沉积物还可以用于养殖可口革囊星虫、培育耐盐功能性植物、美化滨海景观,为滨海休闲度假业的发展奠定环境生态基础。

### 4.3 社会效益

生态文明不是单纯的自然保护,应是保护前提下的经济发展与文化进步,因此符合自然法则且高效可控的“人工生态系统”是其科学本质。“虾塘红树林湿地生态农场”构思遵从“道法自然”之理,采用生态化改造方案,将自然保育、养殖与滨海湿地恢复有机结合起来,既造福沿海人民,又符合区域减排和海洋生态文明建设战略。该模式不改变虾塘所有权,保护群众生计,增加红树林面积,提高湿地固碳能力,改善近海环境质量,发展蓝碳经济,符合退塘还林政策,值得研发示范。

“虾塘-海堤-潮间带湿地或红树林”是中国东南沿海的典型景观特征,也是东南亚红树林国家遇到的一个相似问题。在实施UNEP/GEF南中国海项目(2002年—2008年)期间,我们了解到:泰国自1975年起有50%~60%的红树林被转化为养虾场,菲律宾有约50%的红树林已被改造成半咸水鱼塘和虾池,20世纪50年代以来越南失去了50%的红树林。“地理管道原位生态养殖技术”为缓解亚太地区红树林跟滩涂养殖之间的尖锐矛盾提供了一个解决方案<sup>[17]</sup>;本文的“虾塘红树林湿地生态农场”则针对海堤内虾塘提出了红树林重建与产业升级的初步设想。通过上述两者的研究和示范,可在全球率先建立海堤内外红树林一体化保育,促进经济发展的创新技术体系,为落实“一带一路”战略增添一项内容。

## 5 讨论与建议

“虾塘红树林湿地生态农场”建设重要环节所需的技术绝大部分已成熟,只是缺少技术集成和系统层面上的衔接与协同,在理论和技术上不存在重大障碍,具有可行性。当然,生态农场实际建设中一定会遇到一系列理化过程的科学问题、技术与管理难点,因此必须专项支持,建立基地,进行全面的研究与验证,最后形成技术体系和标准。

从市场调查结果看,群众缺少的是可持续、产出稳定的成功模式与信心。很多农户愿意为“高投入高产”、有长期稳定回报的生产模式支付更多的投入,而不愿意坐等虾塘毁弃后的隐形失业甚至致贫。如今突出的问题是科技与需求结合不密切,学科交叉困

难大,创新思路得不到充分重视,群众缺少成功榜样和技术培训。当今,科技引领经济发展的作用日益突出,因此建议有关部门重点支持具有全局性、战略性与民生性的滨海湿地生态经济发展创新项目。

生态农场建设的关键问题是一次性投入较高。在产能过剩的今天,虾塘红树林湿地生态农场建设所需的太阳能、风能和相关设施的价格走低,而生态产品的价格持续上涨,这为生态改造与产业升级赢得了时机,也为供给侧改革提供了消化产能的空间。“虾塘红树林湿地生态农场”建设虽然需要较高的一次性投入,可它将扭转我国东南沿海滨海湿地持续退化、海洋环境生态安全岌岌可危的趋势,迎来更高层次的蓝碳经济,提高人民生活与健康水平。建议大力宣传滨海湿地生态产品质量,促进生态产品价格的适当提升;针对虾塘生态改造出台低息贷款扶持政策,设立财政引导基金,克服生态农场一次性投入较高的问题。

### 参考文献:

- [1] 农业部渔业渔政管理局. 2016 中国渔业统计年鉴[M]. 北京:中国农业出版社,2016.  
Ministry of Agriculture, Administration of Fishery and Fishery Law Enforcement. 2016 China statistical year-book of fisheries[M]. Beijing:China Agriculture Press, 2016.
- [2] 国家海洋局. 2015 年中国海洋经济统计公报[EB/OL]. (2016-03-07). [http://www.soa.gov.cn/zwgk/hygb/zghyjjtjgb/201603/t20160307\\_50247.html](http://www.soa.gov.cn/zwgk/hygb/zghyjjtjgb/201603/t20160307_50247.html).  
State Oceanic Administration. 2015 China statistical bulletin of marine economy[EB/OL]. (2016-03-07). [http://www.soa.gov.cn/zwgk/hygb/zghyjjtjgb/201603/t20160307\\_50247.html](http://www.soa.gov.cn/zwgk/hygb/zghyjjtjgb/201603/t20160307_50247.html).
- [3] 崔和. 我国对虾产销现状与国际对虾市场格局的变化[J]. 中国水产,2014(8):28-29.  
CUI H. Status of shrimp production and sales in China and the change of international shrimp market patterns [J]. China Fishery,2014(8):28-29.
- [4] 周小壮,林小涛,林继辉,等. 不同模式对虾养殖的自身污染及其环境效应[J]. 生态科学,2004,23(1):68-72.  
ZHOU X Z, LIN X T, LIN J H, et al. Sell-pollution of shrimp culture in different patterns and its impact on the environment[J]. Ecologic Science,2004,23(1):68-72.
- [5] 文国樑,曹煜成,徐煜,等. 养殖对虾肝胰腺坏死综合症研究进展[J]. 广东农业科学,2015,42(11):118-123.  
WEN G L, CAO Y C, XU Y, et al. Review on hepatopancreas necrosis syndrome of shrimp [J]. Guangdong Agricultural Sciences,2015,42(11):118-123.
- [6] 广西红树林研究中心. 广西海洋环境污染源调查报告

- (GXZC2014-G3-0552-KLZB)[R]. [S. l; s. n]2015.
- Guangxi Mangrove Research Center. Survey report of Guangxi marine environmental pollution (GXZC2014-G3-0552-KLZB)[R]. [S. l; s. n]2015.
- [7] 范航清,刘文爱,钟才荣,等. 中国红树林蛀木团水虱危害分析研究[J]. 广西科学,2014,21(2):140-146,152.
- FAN H Q, LIU W A, ZHONG C R, et al. Analytic study on the damages of wood-boring isopod, *Sphaeroma*, to China mangroves [J]. Guangxi Sciences, 2014, 21 (2): 140-146, 152.
- [8] CUI B S, HE Q, GU B H, et al. China's coastal wetlands: Understanding environmental changes and human impacts for management and conservation [J]. Wetlands, 2016, 36(S1): 1-9.
- [9] WANG W, LIU H, LI Y Q, et al. Development and management of land reclamation in China [J]. Ocean & Coastal Management, 2014, 102: 415-425.
- [10] UNEP. Strategic action programme for the South China Sea [R]. UNEP/GEF/SCS Technical Publication No. 16, Bangkok, Thailand: UNEP, 2008.
- [11] 农业部渔业渔政管理局. 2014 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2014.
- Ministry of Agriculture, Administration of Fishery and Fishery Law Enforcement. 2014 China statistical yearbook of fisheries[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2014.
- [12] 范航清,黎广钊. 海堤对广西沿海红树林的数量、群落特征和恢复的影响[J]. 应用生态学报,1997,8(3):240-244.
- FAN H Q, LI G Z. Effect of sea dike on the quantity, community characteristics and restoration of mangrove forest along Guangxi coast[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1997, 8(3): 240-244.
- [13] 国家林业局森林资源管理司. 全国红树林资源调查报告[R]. [S. l; s. n], 2002.
- Department of Forest Resources Management, State Forestry Administration. Survey report of mangrove resources in China[R]. [S. l; s. n], 2002.
- [14] 张乔民,施祺,余克服. 珠江口红树林基围养殖生态开发模式评述[J]. 热带海洋学报,2010,29(1):8-14.
- ZHANG Q M, SHI Q, YU K F. Review of eco-development model for mangrove land-based enclosure aquaculture in the Pearl River Estuary[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2010, 29(1): 8-14.
- [15] 李松青. 南美白对虾的氮磷收支及养殖环境氮磷负荷的研究[D]. 广州:暨南大学,2003.
- LI S Q. Studies on nitrogen and phosphorus budgets and environmental N&P loading of white shrimp (*Penaeus vannamei*) [D]. Guangzhou: Jinan University, 2003.
- [16] 李纯厚,黄洪辉,林钦,等. 海水对虾池塘养殖污染物环境负荷量的研究[J]. 农业环境科学学报,2004,23(3):545-550.
- LI C H, HUANG H H, LIN Q, et al. Environmental carrying capacity of the pollutants from the prawn seawater culture ponds[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2004, 23(3): 545-550.
- [17] FAN H Q, HE B Y, PERNETTA J C. Mangrove eco-farming in Guangxi Province China: An innovative approach to sustainable mangrove use [J]. Ocean & Coastal Management, 2013, 85: 201-208.

(责任编辑:陆雁)