

管卫兵,王丽. 陆基生态渔场的概念、理论与实践[J]. 江苏农业科学,2014,42(9):197-200.

# 陆基生态渔场的概念、理论与实践

管卫兵<sup>1</sup>, 王丽<sup>2</sup>

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306; 2. 江苏省淮安市苏泽生态农业有限公司, 江苏淮安 223218)

**摘要:**当前,世界天然渔业资源已面临严重的衰退,而目前的水产养殖又呈现不可可持续发展的态势。总体来看,世界农业和水产养殖业都表现出明显的石油农业的特征,人口的急剧增长对生态和食物产生了双重挑战,新的高效生态可持续的农牧业或水产业以复合农林生态系统或多营养层次的综合养殖出现。将有有机稻田系统与其他养殖系统并联,组合成一个多营养层次的综合养殖系统,该复合生态养殖新模式的实现给水产养殖带来革命性进步,并将资源生态、生态学原理、水产养殖多营养级养殖等理论整合到一起,实现一个陆基渔场的目标,并实现水产养殖高效、生态、节水、有机等众多目标。该复合养殖系统包括生态系统水循环技术、复合生态系统构建技术、精准养殖技术、生物综合防治技术等4项核心技术。结果表明,在45 hm<sup>2</sup>的试验农场可以形成投入100 t 饵料鱼、产出150 t 植物和75 t 动物模式,该系统既可取得较高的经济收入,又可获得较高的生态系统服务功能,将生态农业的综合功能发挥到最大化,是一种新型的复合生态循环农业形式,是蓝色革命和绿色革命相结合的、集成创新的、可持续农业的发展形式。

**关键词:**陆基生态渔场;复合生态农业系统;多营养层次;综合养殖

**中图分类号:** S964.1   **文献标志码:** A   **文章编号:** 1002-1302(2014)09-0197-03

近年来,湖泊、近海和海洋资源接近枯竭。无论是传统的池塘业,还是工厂化养殖,或者海区的网箱养殖等水产养殖业对野生资源及环境的影响都比较大;此外,农牧业的发展对渔业的发展也具有很大的负面作用,其中畜禽饲料所需的鱼粉成分较高,对野生资源也是较大的掠夺;而水稻等种植业的生产则不但会消耗有限的水资源,而且由于过多氮肥的应用,对江河湖泊、近海的污染及温室气体的排放都有很大的责任。

目前面临的所有问题均涉及渔业资源、水产养殖、畜牧业、种植业、生态保护等多个学科领域,而且它们之间是相互作用、相互影响的,因此只有系统地整合各个学科领域的知识,整体上解决这些领域的共性问题,才能实现真正的生态文明或可持续发展。随着过度捕捞的进行,环境污染、全球气候等因素导致世界各个渔场资源在衰退,天然渔业资源已不足以支撑相关农业行业的发展,例如我们很难再用秘鲁渔场的沙丁鱼作为养猪饲料中的鱼粉来源,只能采用蚕豆或大豆等植物蛋白来代替。所有这一切都表明,粗放型的农业生产方式难以继续。在温饱型生产供给的市场模式下,粗放型生产严重影响了生态环境与产品品质,甚至威胁到居民的身心健康,例如水产养殖业中的高耗能、过度用料、大量排污;水稻种植业中的过度用肥,大量施药;蓄、禽养殖业中的过度速成、高农药残留等不健康的生产方式直接威胁农业发展。

当前,全球可收获净初级生产力(NPP)约47%,人类消耗了约38%,未来人类可利用的NPP空间不足10%。人口的急剧增长对生态和食物产生了双重挑战:我们需要更好的生态环境来保证净初级生产力规模,又需要更好的效率以保

证食品供给平衡。很多人认为,地球上的海洋面积很大,为人类提供蛋白质和脂肪等营养物质的潜力非常大,但是在渔业生态系统崩溃的情况下,尽管潜力很大,所有的营养物质是溶解形式的,不能被人类所利用而白白沉入了大海,例如,磷元素从河口流入大海,给近海带来短暂的赤潮以后,就沉入海底,等待下一个地质运动后才能被人类所利用。在全球气候变暖的情况下,海洋表面的氮循环速度加快,从而减少了氮营养的固定。此外,全球海洋初级生产力也呈现下降趋势<sup>[1]</sup>。目前,生态力最高的2种海洋生态系统,一是珊瑚礁生态系统,二是河口的盐沼生态系统,但是它们都面临着被严重破坏的危险。在这种情况下,海洋固定的太阳能效率逐渐降低,因此农业必将回归提高生态系统效率的理性发展之路。现在的问题不是人类能否达到全球NPP的极限,而是我们能做什么,因此国际社会都在寻求农业生产方式的变革,而探求可持续的生态、有机农业是农业生产的未来发展方向。

当前的农业发展方式是远远达不到上述要求的,因为农业生产已脱离了学科发展的本质,正如王松良提出的,传统农学学科与专业源于近代试验科学的还原论思维,并在工业革命巨大成功的推动下不断分化,失去了对农业生物与资源环境关系即农业生态系统机制的整体把握<sup>[2]</sup>;此外,由于过多依赖外源化石能源的投入和若干高产作物品种的单一栽培,农业内部的可持续性正在不断丧失,使人类面临粮食安全和食品安全的双重危机,这是现代农业出现众多问题的根本所在。因此王松良进一步提出,以农业生态学为核心理论、农业生态系统管理为核心技术,特别提出了创建生产生态学,认为只有让生态学与农学携同发展,才能满足不断增长的人口需求,让人类重新接近食物权利,解除未来粮食安全的威胁,同时能够减缓气候变化的影响,应对石油、水和表土等资源的短缺<sup>[2]</sup>。

## 1 新概念提出的背景

新的高效的、生态可持续的农牧业或水产业以复合农林

收稿日期:2013-12-02

基金项目:上海市科委重大项目(编号:09DZ120010C);上海市重点学科建设项目(编号:S30702)。

作者简介:管卫兵(1972—),男,江苏淮安人,博士,副教授,从事渔业资源生物及恢复生态研究。E-mail:wbguan@shou.edu.cn。

生态系统或多营养层次的综合养殖(integrated multi-trophic aquaculture, IMTA)的形式出现,包括海洋或湖泊开放海岸、沿海陆基、淡水陆基等形式。多营养层次的综合养殖并不是新的概念,几个世纪前,中国和东南亚国家就开始进行池塘混养(poly-culture ponds),但是将单养系统转变成综合系统肯定是困难的。过去30年研究的焦点主要集中于独立的单养系统(independent monoculture systems),而不是整合养殖系统(integrated farming systems)或废物利用等养殖形式。

在渔业资源养护机制得不到有效执行和保证的情况下,开放海区(近海、湖泊、大洋)渔业资源的过度捕捞得不到有效控制,渔业资源衰竭的命运终将难以改变。对于中国这样的大人口国家而言,这种高强度的水产养殖对野外资源的掠夺,类似的增殖渔业和海洋牧场建设都难以改变现状。此外,由于众多管理上的原因,导致共享资源得不到有效的控制。此时,中国面临的唯一道路就是生态的、可持续的水产养殖,而陆基的综合多营养层次的养殖是必然选择,中国传统的稻田养殖就是其中一种形式。历史上,勤劳、智慧的中国人民发明、实施了稻田养鱼(生态养殖)、鱼类池塘混养(多营养层次综合养殖)、桑基鱼塘(循环经济)模式<sup>[3]</sup>,这些思想对解决目前的问题肯定是有借鉴意义的。

中国稻田养殖有着1 000年的历史,新中国成立后,稻田养殖理论体系得到了新的发展;在最近20年更是取得了长足的发展进步,涌现出如盘锦河蟹养殖、潜江龙虾模式、浙江青田稻田养鱼、稻田混养泥鳅和黄鳝等各种形式,为农民增产增收、提高稻田的综合效益起了很大的作用。稻田养殖具有“不与人争粮、不与粮争地”的特点,在陆地资源可利用空间日趋紧张的情况下,建立“立体复合生态农业”生态模式,实现“水系、陆系、空系”三态平衡生产,可以为构建水产食品安全体系、创新现代渔业发展模式拓展一定的空间。

在这些稻田养殖模式中,都以稻田的混养(连作或共生)为主要形式<sup>[4]</sup>,并没有将稻田系统作用与其他养殖系统并联或串联,从而形成一个更好的IMTA形式。其中一个原因就是,稻田养殖中要兼顾水稻水产,往往会施用一定的化肥和农药;同时,中国稻田基本上由低洼地改造过来,已经将原有的池塘填平,难以实现池塘养殖和稻田种植结合的综合营养级养殖,因而很少有类似的报道。另外,有报道表明,稻田养殖者往往在经济利益驱动下,大量投喂饵料<sup>[5]</sup>,稻田养殖系统也会成为富营养化的来源,与历史上环境友好的复合生态养殖方式差别越来越大。在很多单位进行池塘标准化改造时,除了提高了池塘的硬件设施外,还增加了人工湿地的面积以达到消除污染的目的<sup>[6]</sup>,如果能够将稻田养殖系统代替这样的人工湿地,不仅可以减少对土地的利用,而且能够获得真正的综合养殖效果。

以稻田作为IMTA的前提,首先要实现无化肥、农药的生产方式,其实就是有机水稻的种植生产,这样才能高质量利用鱼类养殖或其他高密度养殖系统排放的污染,最终组合成一个IMTA的养殖系统。同时,在围堤上应开展类似果基鱼塘、菜基鱼塘、桑基鱼塘等形式,而长江和珠江流域原有的这种生产方式在现代难以继续的原因,主要是由于工厂化大棚蔬菜生产方式有更高的经济收入,且操作方便,离城市较近,易于用工和机械化生产,但是如果发展基塘有机农业,将有较高经

济回报,能够破解劳动力成本较高的这一发展难题。

研究表明,有机农业和有机水产业是发展有机农业以及我国控制农业面源污染的有效途径之一。有机农业是人类在反思常规农业对生态环境的危害后建立起来的一种持续稳定的环境友好型的农业生产体系<sup>[7]</sup>;有机水产养殖可以有效降低养殖水体的化学需氧量(COD)、无机氮和无机磷的浓度,有机海水养殖控制污染物排放的效果较有机淡水养殖更明显<sup>[8]</sup>。因此,开展以稻田为核心的生态养殖是实现水稻种植的生态化或有机标准生产的基础。

生态农业是第2次绿色革命的必然选择,IMTA就是一种生态循环农业。大力发展中国特色的生态循环型现代农业,有利于突破我国农业进一步发展的瓶颈,解决资源、环境等问题,走出一条具有中国特色的现代农业发展道路,从而引领世界农业的未来<sup>[9]</sup>。

生态农业有最大的绿色植被、最高的生物产量、最合理利用的光合产物、最好的经济效益、最佳的动态平衡<sup>[10]</sup>。对于水产行业来说,健康生态养殖必然带来整个水产养殖业思想观念上的大转变,并可以使其彻底摆脱一直困扰水产养殖业的恶性循环,保证水产养殖走上持续发展、良性循环的道路<sup>[11]</sup>。有机农业是生态农业的高级形式,它是一个整体管理系统,可最大限度地减少或消除人工合成化肥、农药和转基因生物,从而保护水土资源,优化相互依存的植物、动物和人类的健康及生产力。总体看来,有机农业是可持续的系统,最大限度地减少了与其他生态系统服务的冲突。

## 2 陆基生态渔场概念及核心内容

在上述结论的基础上,笔者提出陆基生态渔场的基本概念框架。在成功实现有机稻或其他有机水生蔬菜如莲藕生产的基础上,以水稻田或水生蔬菜种养殖池塘作为净化系统,在实现水稻、蔬菜、鱼、虾蟹等共生的前提下,将其他高密度养殖系统中如甲鱼、黑鱼、虾类等高密度养殖产生的池塘污染进行循环利用。同时,其他养殖系统也应尽量以复合生态养殖系统形式出现,如甲鱼和菱角混养,河蟹和水生植物共生,四大家鱼混养;所有养殖系统在养殖过程中如发生病害、水质恶化时可以自主地进入或退出整个养殖系统。在整个种养殖过程中,可以全部采用生物综合防治技术(IPM)进行病虫害的防治;在养殖过程中,应减少对增氧机的利用,使得营养物质得到循环利用,避免化肥、农药等试剂的运用,从而减轻农业和水产业的大量面源污染,减少水产养殖业或畜牧业对野生渔业资源的掠夺,从而全面提高生态效益。这一大规模的生产过程被称为“陆基生态渔场”,该模式可以在淡水水域实施,如在稻田中,可以称之为“稻田渔场”;此外,也可以在沿海滩涂上发展海水模式,尤其是海洋模式,使其能够与真正的大洋渔场相比。

该复合生态养殖新模式将实现水产养殖的革命性进步,将资源生态、生态学原理、水产养殖多营养级养殖等理论整合到一起,实现一个陆基渔场的目标。该方式将形成一种真正的健康生态养殖,实现水产养殖高效、生态、节水、有机等众多目标,即实现水稻等粮食的安全生产,也将通过水产养殖的高效益和高蛋白实现经济价值和食品安全。该复合生态养殖新模式包括水产养殖、渔业资源、海洋和湖沼学、农林科学、生态

学等众多学科背景,是交叉学科研究内容,核心是渔场形成机制、生态农业、池塘养殖等领域的基本原理。董双林提出,研究、发展高效低碳的准精养水平的陆基综合养殖模式是中国水产养殖工作者今后的重要责任<sup>[12]</sup>。陆基生态渔场整合了养殖种类综合型(species integration)、不同水基系统、水基与陆基系统相关融合等方面,这是一种全新高效低碳的养殖方式,其核心内容包括以下 4 个方面。

### 2.1 生态系统水循环技术

陆基生态渔场采用独特的水系统规划技术,将资源生态、生态学原理、水产养殖多营养级养殖等理论整合到一起,实现陆基渔场三级(水、陆、空间)立体生态优化的目标。采用专利技术实现大规模的、不同模块的水产、作物和蔬菜、畜禽以及林业的综合生态利用,形成以水产为主体的“立体复合农业生态系统”,从而实现高品质水产蛋白质食品的生产与供给。

### 2.2 复合生态系统构建技术

陆基生态渔场实现复合式种养循环,构建水生植物和水生动物生态圈。在此系统中,水生植物为鱼、虾、蟹等水生生物提供饲料和肥料,水生生物在养殖过程中的肥水又成为农业生产中的肥源,互相结合,互相补充,以此提升农场生态系统的初级生产力能级,向光合作用系统、产品品质、降低化学能耗要效益。我国 1.2 亿  $\text{hm}^2$  耕地中 66% 以上是旱涝、盐碱等中低产地,要提高中低产田的产量,必须要依靠科技的力量。陆基生态渔场可以充分利用这些原生态的多样化景观进行复合生态系统地构建,而不需要整理成均一化的土地,因而有充足的土地资源发展空间。

### 2.3 精准养殖技术

陆基生态渔场利用陆源的优势,在生态化学计量学的基本生态学原理指导下,充分利用陆地生态系统立体农业形式,高效率固定碳源,同时充分利用大豆等豆科作物中的氮源以及饵料鱼中的氮源和磷源,实现最高效率的物质循环利用。例如,现在流行的鱼菜共生系统中,1 kg 鱼食至少能生产 0.8 kg 鱼肉,但同时也会生产 50 kg 蔬菜,其中 50 kg 蔬菜就是 IMTA 养殖方式比传统单一养殖系统多出的产品或效益。

### 2.4 生物综合防治技术

陆基生态渔场模仿自然资源生产方式,不使用任何药物,仅靠资源本身的免疫能力抗病,维持自然的死亡过程。该系统探求了一种生物防治法控制稻飞虱等水稻害虫,通过大量培育蜘蛛(尤其是水生蜘蛛),成功实现对稻飞虱等水稻害虫的有效控制,从而减少或避免农药的使用;通过黄鳝、泥鳅和莲藕的混养,达到控制莲藕种植业主要的敌害金花虫;对于鱼类主要采用天然植物成分,如用樟树皮-杨树叶-楝果(楝杨楝)组合形成的天然植物原料进行一些病害的防治。

由于不用杀虫剂和除虫剂等农药,陆基生态渔场系统中保持着较高的生物多样性,存在大量蜘蛛、蜜蜂等昆虫,众多的鸟类常年在此栖息,不仅有吃鱼的白鹭、吃粮食的麻雀,还有多种吃虫的鸟类。

总之,陆基生态渔场解决了各种循环农业形式中营养循环效率低、高成本这 2 个生态循环农业难题。耿晨光等建立了长三角平原水网区循环农业圈层发展模式<sup>[13]</sup>,模式为以城乡为中心构建同心圆的圈层循环农业发展模式,包括以城乡

结合部为第 1 圈层的早-稻模式,以蚕桑、苗木、经济林等多年生农林产业及水产畜牧业为主的第 2 圈层的种-养-加模式,以及以优质高产粮油、蔬菜生产基地为主的第 3 圈层规模农业模式。而如何将这 3 个圈层整合在一起,就需要陆基生态渔场这种模式来进行生态农业景观的设计和规划。

## 3 初步实践结果

在 45  $\text{hm}^2$  的试验基地上,系统被分成很多模块,以河蟹、甲鱼、水稻为主要产出品种,其他品种还有小麦、龙虾、莲藕、鳊鱼、常规鱼类等。总计投饵约 100 t 的饵料鱼,可产出 55 t 水稻、30 t 小麦、25 t 莲藕,总体植物生产量 110 t;动物品种有 7.5 t 甲鱼、15 t 河蟹、7.5 t 龙虾、7.5 t 鳊鱼、12.5 t 其他鱼类,动物品种总生产为 50 t 左右。与理想状态相比,动物产能还有很大的提高可能,在 75 t 左右。所有产品以有机产品形式销售,总体上可取得较高的经济效益。在产能投入加大、系统物质循环效率提高的情况下,会获得更大的产出。此外,总生产中在堤埂上种植的油菜、高粱、大豆、南瓜、菊芋、牧草等经济植物约有 40 t,这样就形成 100 t 饵料鱼-150 t 植物-75 t 动物的生产模式。

在本试验中不用任何调节水质的底改或其他试剂、饲料、化肥、农药等,只进外源水,极少排放内源水,仅在洪水暴雨季节排放系统中循环过后的清水。在水稻种植季节以降雨作为主要的水源,实现初步雨养农业功能,从而节约水资源,减少对外源的污染。同时,系统中的生物多样性非常高,大量昆虫、鸟类等天敌的出现,使植物病虫害得到真正的控制,很容易就获得了 13.33  $\text{hm}^2$  规模的有机水稻和小麦的生产。由于田埂上不用任何除草剂,各种杂草自由生长,充满了多样性,同时人工撒播了野绿豆、苕子、紫花苜蓿等固氮植物以增加系统中的氮源,堤埂上植物的大量覆盖,减少了水土流失。

总之,本系统既取得了较高的经济收入,又获得了较高的生态系统服务功能,将生态农业的综合功能发挥到最大化,是一种新式的复合生态循环农业形式,是蓝色革命和绿色革命相结合的集成创新的未来可持续农业发展形式。

## 4 结论

当前,世界渔业和农牧业资源的发展处于一种退化状态,不能满足人口增长及人类进一步发展的需要,因而迫切需要一种新的资源发展形式,即更高生态效率的农业发展形式以满足人类的需要。

IMTA 是一种高生态效率的农业发展形式,是一种真正的生态农业形式。在自然渔场已被严重破坏并难以为继的情况下,陆基生态渔场是代替海洋或湖泊天然渔场的必然选择。

陆基生态渔场模式的实施实现了水产养殖革命性的进步,构建了一种真正的健康生态养殖生产系统,可实现水产养殖节能、高效、生态持续、健康适需的产品价值目标。同时,该模式为市场供给多样性的生态有机产品,其优越的品质更是受到了市场的欢迎。在 45  $\text{hm}^2$  研究基地的试验过程中,笔者成功实现有机稻、有机莲藕、有机水芹、有机菖蒲等水生植物的生产;同时生产了如有机河蟹、克氏螯虾、中华鳖、泥鳅、黄鳝、四大家鱼、鲫鱼、黑鱼等众多水生动物;此外,堤埂上还种植大量的作物,如大豆、高粱、菊芋、南瓜等,还有大量的杨树资源。

陈 鹏,郭成金. 金针菇原生质体制备和再生探究[J]. 江苏农业科学,2014,42(9):200-204.

# 金针菇原生质体制备和再生探究

陈 鹏, 郭成金

(天津师范大学霉菌研究所/天津市植物动物抗性实验室,天津 300387)

**摘要:**采用正交试验方法对影响金针菇 [*Flammulina velutipes* (Curt. ;Fr.) Sing.] 原生质体制备、再生的主要因素进行探究,结果表明,金针菇原生质体最佳再生体系为:培养 7 d 的菌丝体,在 1% 溶壁酶、1% 蜗牛酶组成的混合酶中,以 0.6 mol/L  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  作为渗剂,在 30 °C 下酶解 4 h,经过 3 次验证试验,金针菇原生质体再生率高达 0.851 7。最佳制备体系为:培养 9 d 的菌丝体,在 2% 溶壁酶中,以 0.6 mol/L 蔗糖作为渗剂,在 26 °C 下酶解 4 h,此条件下金针菇原生质体的制备率高达  $2.025 \times 10^7$  个/mL。

**关键词:**金针菇;正交试验;原生质体;再生;融合;诱变

**中图分类号:** S646.1<sup>+</sup>50.36 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)09-0200-05

金针菇 [*Flammulina velutipes* (Curt. ;Fr.) Sing.] 别称冬菇、朴菇、构菌、青杠菌、毛柄金钱菌等,隶属担子菌亚门(Basidiomycotina)层菌纲(Hymenomycetes)伞菌目(Agaricales)口蘑科(Tricholomataceae)金钱菌属(*Flammulina*)<sup>[1]</sup>。金针菇菌盖滑嫩、菌柄细长脆质、形美、味鲜,富含多种维生素、矿物质,不含胆固醇,富含赖氨酸、精氨酸,能促进幼儿大脑发育<sup>[2]</sup>。金针菇药用价值很高,金针菇具有抗肿瘤、护肝作用,是世界上著名的观赏菌、食药兼用菌,是目前工厂化生产技术最成熟的菇类之一<sup>[3-4]</sup>。原生质体指将细胞壁破除后由质膜

包裹的裸露的细胞结构<sup>[5]</sup>。1973年,有学者将原生质体融合技术运用到霉菌研究领域。目前原生质体融合技术已成为研究霉菌生理、生化、遗传等基础理论、改良菌种的重要方法。有学者采用单因素试验对金针菇原生质体制备、再生进行了研究,但再生率均不高<sup>[6-7]</sup>。笔者在前人的基础上首次采用正交试验方法对影响金针菇原生质体制备、再生条件进行优化,旨在为开展金针菇原生质体融合、诱变研究提供依据。

## 1 材料与与方法

### 1.1 材料

1.1.1 供试菌种 金针菇保藏种由天津师范大学霉菌研究所提供。

1.1.2 试剂 葡萄糖、蔗糖、甘露醇、 $KH_2PO_4$ 、 $K_2HPO_4$ 、 $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 、维生素  $B_1$ 、KCl、NaCl、琼脂(天津福晨化学试剂厂)、溶壁酶(广东省微生物研究所)、蜗牛酶、纤维素酶(北

States of America,2011,108(50):E1381-E1387.

[5] 丁伟华,李娜娜,任伟征,等. 传统稻鱼系统生产力提升对稻田水体环境的影响[J]. 中国生态农业学报,2013,21(3):308-314.

[6] 陶玲,李谷,李晓丽,等. 复合池塘循环水养殖系统生态足迹分析[J]. 渔业现代化,2010,37(4):10-15.

[7] 徐田伟. 发展有机农业与农业面源污染控制[J]. 环境保护与循环经济,2009,29(4):45-47.

[8] 李廷友,林振山,尹静秋. 基于有机水产养殖减轻农业面源污染的研究[J]. 水生态学杂志,2009,2(6):67-70.

[9] 蒋高明. 中国未来农业向哪里去——“生态农业:试验与前景”专栏主持人语[J]. 工程研究:跨学科视野中的工程,2012,4(1):7-9.

[10] 杨挺秀. 发展绿色革命 建设生态农业[J]. 水土保持通报,1983(4):43-48.

[11] 曹家龙. 健康生态养殖:标本兼治的绿色革命[J]. 内陆水产,2002(10):3.

[12] 董双林. 中国综合水产养殖的发展历史、原理和分类[J]. 中国水产科学,2011,18(5):1202-1209.

[13] 耿晨光,段婧婧,王 灿,等. 长三角平原水网区域循环农业圈层模式研究[J]. 中国生态农业学报,2012,20(7):956-962.

收稿日期:2013-12-03

基金项目:国家星火计划(编号:2012GA610002)

作者简介:陈鹏(1989—),女,天津人,硕士研究生,主要从事霉菌生物学研究。Tel:(022)23765561;E-mail:630261583@qq.com。

通信作者:郭成金,教授,主要从事植物细胞营养及霉菌生物学研究。

Tel:(022)23765561;E-mail:chengjin@vip.sina.com。

通过构建高效复合农业生产系统,陆基生态渔场实现了高效率的有机农产品生态生产,有利于环境保护;同时,通过降耗、增产,实现了增收,保证了生产循环与发展。本研究还发现,本系统的产量较高,随着农业面源污染的减少,农药和化肥的减量或禁用将减少人力和用药成本,从而产生显著的社会综合价值,是生态效率极高的一种生态农业形式,具有极高的生态系统服务价值,同时有较高的经济价值和社会价值,是人类发展的必然选择。

## 参考文献:

[1] Boyce D G, Lewis M R, Worm B. Global phytoplankton decline over the past century[J]. Nature,2010,466(736):591-596.

[2] 王松良. 用生态学思维重构传统农学学科:生产生态学的角色[J]. 应用生态学报,2012,23(8):2031-2035.

[3] 董双林. 高效低碳——中国水产养殖业发展的必由之路[J]. 水产学报,2011,35(10):1595-1600.

[4] Xie J, Hu L L, Tang J J, et al. Ecological mechanisms underlying the sustainability of the agricultural heritage rice-fish coculture system[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United