

# 高效生态农业产业化主导型循环经济模式研究

## ——以宁RR乡县超级杂交稻生态工程为个案

李林杰<sup>1</sup>, 许振成<sup>2</sup>, 罗琳<sup>1</sup>, 李劲松<sup>3</sup>, 曾北危<sup>4</sup>, 罗闰良<sup>5</sup>

(1.湖南农业大学 资源环境学院, 湖南 长沙 410128; 2 环境保护部 华南环境科学研究所, 广东 广州 510655; 3.湖南师范大学 伦理学研究所, 湖南 长沙 410081; 4.湖南省环境保护局, 湖南 长沙 410007; 5.国家杂交水稻工程技术研究中心, 湖南 长沙 410125)

**摘要:** 分析了中国农业面源污染全面超过工业污染和城市污染且仍被轻视的严峻形势, 探讨了环境经济安全战略主动引导下, 基于高效生态农业产业化主导型循环经济模式的超级杂交稻生态工程的实验研究方法, 且以建议项目“宁乡县超级杂交稻生态工程”为个案, 阐明了清洁生产技术路线。其主要结论认为, 该模式是一个促进物质多层分级利用的节能、降耗、清洁生产的资源—能源—环境一体化多联生产工艺系统。与传统的生产单一产品比较, 单位数量合格产品的成本可降低约20%。其成败关键是技术路线的合理化与可操作性, 以及产品的优质低成本清洁生产工艺。

**关键词:** 环境经济安全战略; 可持续发展; 生态农业产业化; 循环经济模式; 系统优化控制; 超级杂交稻生态工程  
中图分类号: F323.3 文献标识码: A 文章编号: 1009-2013(2009)01-0045-06

## On the Circular Economy Mode Oriented by High-Efficiency Ecological Agriculture Industrialization ——A Case Study of Ningxiang Paddy Rice Chemical Factory

Li Lin-jie<sup>1</sup>, Xu Zhen-cheng<sup>2</sup>, Luo Lin<sup>1</sup>, Li Jin-song<sup>3</sup>, Zeng Bei-wei<sup>4</sup>

(1.College of Resource and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2.South China Institute of Environmental Science, State Environmental Protection Administration, Guangzhou 510655, China; 3.Ethics Research Institute, Hunan Normal University, Changsha 410081, China; 4.Hunan Environmental Protection Bureau, Changsha 410007, China; 5.China National Hybrid Rice R&D Center, Changsha 410125, China)

**Abstract:** Due to the grim situation that non-point source pollution in agriculture in China has exceeded industrial pollution and urban pollution on an overall scale while remains still underestimated and neglected, this article, with a case study of clean production of proposed Ningxiang Paddy Rice Chemical Factory, has herein explored the experimental research method of county-level hybrid rice ecological engineering—knowledge/information systems integration method, and illuminated clean production technical route and recycling economy mode oriented by ecological agricultural industrialization, and come to the conclusions that this mode is a resource-energy-environment-integrated multi-joint-production technical system characteristic of energy conservation, consumption reduction and clean production. Compared with traditional production of single product, the cost of qualified products of unit quantity can be reduced at a rate of 20%, while the key to its success or failure lies in reasonableness, rationalization and operability, and cost-effective quality clean production process.

**Key words:** environmental economic safety strategy; sustainability; ecological agricultural industrialization; recycling economy development mode; system optimization control; super hybrid rice ecological engineering

发展经济的同时要保护好环境。日益恶化的环境问题已经成为影响人类社会生存和发展的重大安全问

题。随着我国经济的快速发展, 环境经济安全日益受到社会各界的广泛重视<sup>[1]</sup>。

收稿日期: 2008-12-12

作者简介: 李林杰(1974-), 男, 湖南湘乡人, 博士研究生, 主要研究方向为污染系统优化控制与超级杂交稻生态工程。

环境经济安全的主要目标是生态系统健康, 这是指居民的衣食住行环境及其赖以生存的生命支持系统的代谢过程和服务功能的健康程度, 包括居民的生理

和心理生态健康,产业系统和城市系统代谢过程的健康;景观、区域生态系统格局和生态服务功能的健康;以及人类生态意识、理念、伦理和文化的健康。生态系统健康是一个社会—经济—自然复合生态系统尺度上的功能概念,涉及水、能、土、气、生、矿等自然过程,生产、消费、流通、还原、调控等经济过程,以及认知、体制、技术、文化等社会过程。生态系统健康旨在推进这样一种系统方法,即将人与环境视为相互关联的系统而不是孤立地处理问题,它要通过生态恢复、保育和建设去促进人、生物和生态系统相互依赖的健康。总之,生态系统健康是人与环境关系的健康,不仅包括个体的生理和心理的健康,还包括人居物理环境、生物环境和代谢环境的健康,以及产业、城市和区域的生态系统健康,后者即环境经济安全<sup>[2]</sup>。其中,农业是稳民心安天下的战略产业,要切实维护国家粮食安全,花大力气解决农民增收与农业发展问题。

### 一、环境经济安全战略主导下的生态农业

联合国秘书长潘基文在《2009年的三大挑战》一文指出,应对气候变化、重建全球金融体系、促进可持续发展,2009年的关键在于找到三者之间的联系。中国新近宣布的5 860亿美元经济刺激计划的三分之一将流入绿色发展和基础设施领域。中国人抓住机遇同时应对几项挑战——创造就业机会、节约能源和应对气候变化。决策者们知道对于替代能源和有益环境的技术的投资将带来巨大的未来收益,创造出更加安全的环境、让能源独立和可持续发展变为现实。他们也知道绿色发展可以创造出就业机会,成为经济发展的动力。我们所面临的第三个考验是务实地促进可持续发展的原则问题。气候变化和全球金融不是我们惟一面对的危机。事实上,它们与其他威胁结合在一起:粮食安全、不稳定的能源和商品市场,以及贫困问题的可怕延续。没有哪个国家能幸免于难,但最贫困的国家却能最深刻地体会到这样的打击。如果处理不当,今天的金融危机将会演变成明天的人类危机。社会不安和政治动荡将不断发展,恶化其他所有问题。最终的危险是所有危机叠加在一起,相互助长彼此的力量,可能给所有人带来毁灭性的后果。《中共中央国务院关于2009年促进农业稳定发展农民持续增收的若干意见》指出,要把保持农业农村经济平稳较快发展作为首要任务,围绕稳粮、增收、强基础、重民生,进一步强化惠农政策,增强科技支撑,加大投入力度,优

化产业结构,推进改革创新,千方百计保证国家粮食安全和主要农产品有效供给,千方百计促进农民收入持续增长,为经济社会又好又快发展继续提供有力保障。为呼应联合国环境署提出的2007年世界环境日主题“冰川消融,后果堪忧”,国家环保总局将同年世界环境日中国主题确定为“污染减排与环境友好型社会”。面对2009年1月27日珠峰第一高峰圣母峰没有积雪、主峰山理纹脉清晰可见的照片;以及与今年持续的北方大旱有关的“长江三源”之一的当曲源头已无冰川了,“固体水库”在此消失了,长江在这里失踪了,这涉及诸多方面。根据国家环保总局发布的检测和调查数据,农业面源污染2002年首次全面超过工业污染和城市污染,成为最大的环境污染源;2005年全国的总污染负荷中的N、P两项污染,面源污染的贡献率超过50%;COD(化学需氧量)污染中面源污染贡献占到近40%。主要包括三个方面:一是过量施用化肥和农药造成的土壤和水体污染;二是农业生产废弃物造成的污染;三是农业温室气体排放,在三大温室气体中,N<sub>2</sub>O是氮肥迁移转化产生的,CH<sub>4</sub>的大部分由水稻种植和反刍动物养殖产生<sup>[3]</sup>。生态经济成为可持续发展的关键,而生态农业又是生态经济的重要一环。

生态经济是指既能满足当代人的需求又不会危及子孙后代需求的一种经济形态,意味着一切经济活动必须具有生态与环保性质,既要安全、节能、低耗、无公害、不损害生态与环境、不损害人身健康,又要有更好的经济效益,这是21世纪的主流经济形态和经济运行方式。而本质上为生态经济的循环经济,是指一种建立在资源回收和循环再利用基础上的经济发展模式。按照自然生态系统中物质循环共生的原理来设计生产体系,将一个企业的废物或副产品用作另一个企业的原料,通过废弃物的交换和使用将不同企业相联系,形成“自然资源→产品→资源再生利用”的物质循环过程,使投入的自然资源最少,将人类生产和生活对环境的危害或破坏降到最小程度。它要求以“减量化、再使用、再循环”作为经济活动的行为准则,被称为“3R原则”,即“减少原则(Reduce),再用原则(Reuse),循环原则(Recycle)”。

可以肯定,中国生态农业是实现面源污染减排最重要的通道,是中国农业可持续发展的必由之路。然而在现实中,生态农业建设面临着许多困难。首先是生态农业模式生产出的优质农产品在市场上尚未显现

其价值,其次是整体环境改善的效益尚未在生产环节得到承认和体现,从而打击了中国生态农业发展的积极性。在通常情况下,生态农业模式工序比较复杂;费时费工(如间套作)较多;在启动期或病虫害爆发期以及其他特殊情况下,生态农业系统产量略低。多投入、低效益,或增产不增收的困境,使生态农业失去吸引力。因此,以高效益、低成本、少排污为主要特征,兼顾经济效益、社会效益与生态效益的丰产增收工程——高效生态农业产业化主导型循环经济模式便应运而生。

高效生态农业产业化主导的循环经济模式是指以家庭承包经营为基础,以生态农业“龙头”企业及各种中介组织为依托,以公司与农户合作的方式,以经济效益为中心,兼顾社会效益与生态效益,立足于当地资源的开发,确立生态农业主导产业和主导产品,通过各种利益机制,在经济和组织上结成一个完整的产业系统,形成农副产品生产、加工、销售有机结合的机制,实现农户与市场的有效对接,推进生态农业向商品化、专业化、现代化转变,充分利用高科技成果和手段,降低农业生产过程的资源、物质投入量和废物的排放量,达到三种效益的最大化。

笔者以宁乡县超级杂交稻生态工程为例,研究县域环境经济安全战略主动引导下的高效生态农业产业化主导型循环经济模式的制定与实施。这对于农业面源污染减排与建设资源节约型、环境友好型社会具有典型示范意义。

## 二、基于高效生态农业产业化主导型循环经济模式研究

### 1. 本模式的实验研究方法概述

生态农业工程的实验研究,相当于在实验室内对系统作实验。环境系统工程是在环境科学的基础上,利用系统工程的原理和方法,研究人类社会发展与环境保护之间的关系。生态工程是应用生态系统中物种共生与物质循环再生原理,结构与功能协调原则,结合结构最优化方法设计的促进物质分层多级利用的生产工艺系统。其目的是促进自然界良性循环的前提下,充分发挥资源的生产潜力,防治环境污染,达到经济效益与生态效益同步发展,它可以是纵向的层次结构或横向的网状工程系统。系统建模是指将一个实际系统的结构、功能、输入—输出关系用数学模型、逻辑模型等描述出来,用对模型的研究来反映对实际系统

的研究。建模过程既需要理论方法又需要经验知识,还要有真实的统计数据及有关资料。有了系统模型,再借助于计算机就可以模拟系统和功能,此即系统仿真。通过系统仿真可以研究系统在不同输入下的反应、系统的动态特性以及未来行为的预测等,此即系统分析。在分析的基础上,进行系统优化,优化的目的是要找出为使系统具有我们所希望的功能的最优、次优或满意的结论、政策和策略。由此获得的定量结果,由环境学家、生态学家、经济学家、社会学家、系统工程专家共同再分析、讨论和判断,其结果可能是可信的或不可信的。如为后者,还要修正模型和调整参数。这样的重复可能有许多次,直到各方面专家认可,再作出结论和政策建议。

### 2. 设计思路:基于多产品间歇化工过程数学模型的流程优化和参数优化

大型连续化与精细化是工业型农业的两大发展趋势。后者具有小批量、多品种、高附加值、技术密集等特点,稻谷深加工产品之一的生物化工产品肌醇颇具代表性。精细间歇化过程同大型连续化过程相比,具有更高的弹性与操作灵活性,同时也更具复杂性。在市场竞争的条件下,不仅要求工厂的基建投资(含设备)低,且要求降低物耗与能耗,二者常常是矛盾的。例如管径的选择,管径大则物流流速低,阻力小,能耗低,但基建投资多。故必有一管径,使得总成本最低,这是工艺参数优化的一个实例。设计优化包括流程与参数优化。考虑到增强市场应变能力与转产的需要,新建装置应适合于生产方法相似的两个以上的产品。在确定的生产任务下,选取设备单元与最佳流程,使总投资最少。这一类问题可归纳成一个混合整数非线性规划模型(MINLP)在计算机上求解。在多种解法中,将模拟退火法(Simulated Annealing)与启发法(Heuristics)相结合,得到一种混合优化算法。前者保证了算法的全局最优,后者加快了局部寻优进程,算法简明,收敛性好,计算速度快,且自动确定了中间罐的最优数量和位置。该法对初值要求低,参数控制简单,所需内存小,与严格数学规划法相比,相对误差小于0.5%。因此,采用Modi等<sup>[4]</sup>所提出、许锡恩等<sup>[5,6]</sup>修正的多产品间歇化工过程数学模型,被认为是最优设计,其任务在于给定生产要求,对各设备尺寸及数量进行计算,使得设备总投资最小。

### 3. 流程模拟

流程模拟(Flow sheeting)就是应用能足够准确地

描述整个生产过程的数学模型(由物料平衡、能量平衡与相平衡等方程组成),在计算机上求解,以便得到该过程的全部信息,如各物流的组成及状态,各单元设备的状态变量等。

#### 4. 计算基准

设计任务通常是指定年产量,如笔者参与的河北吴桥医药化工厂与浙江中洲化工厂工业性试验中设计60t/a肌醇。而设计计算一般以h或以设备为单位进行,故须用合适方法使二者关联。在物料衡算中,可采用t、kg、m<sup>3</sup>作为计算单位,一般以每批产量作为计算基准。因此,既要考虑年操作时(小时处理量等于年产量除以年操作时),还要根据关键设备(如水解反应釜)的操作时间表,确定平均每小时的投入、产出及设备、管道能力。前后设备、管道能力应与之匹配,不得造成瓶颈(薄弱环节)。

#### 5. 软件应用

流程模拟软件是化工过程合成、分析和优化不可缺少的工具,否则,就不可能得到技术先进合理、生产成本最低的化工装置设计。应用流程模拟软件,可以有效地优化流程结构和工艺参数,消除瓶颈(薄弱环节);用流程模拟软件分析投产后的实际数据,可以确定最佳工艺参数,达到改进操作技术,提高肌醇收率的目的。

#### 6. 设备设计

设备设计见《工艺设备一览表》及《设备规格说明书》,后者含所有工艺要求,即性能、操作条件、工艺计算决定的设备尺寸材质和设备设计规范,并附小样图。肌醇收率与水解釜容积设计的关系亦具有一定的函数关系。

#### 7. 流程设计

流程设计见生产流程示意图,详见工艺物料流程图(Process Flow Diagram)及带控制点管道流程图(Piping and Instrumentation Diagram)。

总之,基于系统科学的五项基本理论原则(整体性、联系性、有序性、动态性、最优化)的生态农业工程的实验研究。其工作步骤是系统建模与仿真、系统分析与优化。由此获得的定量研究结果,基于理论方法与经验知识,请相关学科专家再分析、讨论和判断,可能仍是不可信的,需反复修正模型,调整参数(其数据来源有三:一是同行实验室历年测试结果;二是本文第一作者参加河北吴桥医药化工厂、浙江玉环中洲化工厂60t/a肌醇工程工业性试验获得的系列数据;三是依调整参数需求拟新测的数据),直至专家们认可为

止,故能获得有足够科学依据的结论。

### 三、实证分析——宁乡县超级杂交稻生态工程清洁生产技术路线及其实施

2007年12月14日,国务院批准长株潭城市群为全国资源节约型和环境友好型社会建设综合配套改革试验区。2008年,长沙市委、市政府从社会经济发展全局出发,作出了建设长株潭城市群“两型社会”综合配套改革试验区长沙大河西先导区的战略决策。预计2020年基本建成核心区,形成节约能源资源与保护环境和生态的产业结构、增长方式和消费模式,成为支撑长沙、带动全省、辐射全国的重要发展引擎。先导区包括规划区、核心区与起步区等三个层级。其中规划区用地总面积约1200平方公里,包括宁乡县的夏铎铺镇、玉潭镇、城郊乡、历经铺乡、金洲乡。因此,基于高效生态农业产业化主导型循环经济模式的宁乡县超级杂交稻生态工程典型示范意义在于既增产又增收:一是促进袁隆平院士倡导的超级杂交稻“种三产四”丰产工程,即运用超级杂交稻技术成果,用3hm<sup>2</sup>土地产出现有4hm<sup>2</sup>土地所能产出的粮食,节余25%的土地面积即增加25%的粮食耕地;二是大力推广稻谷精深加工增效增收。通过增产增收工程的实施,可大幅度提高现有水稻单产和总产,提高农民种粮的经济效益,确保国家粮食安全<sup>[7]</sup>。基于高效生态农业产业化主导型循环经济模式的“双增工程”——宁乡县超级杂交稻生态工程清洁生产技术路线及其实施包括以下几个方面:

#### 1. 产品品种设计和生产规模

首先,杂交水稻生态工程主导产品的品种设计应坚持“两先”,即先进行市场调研,了解现有市场需求与潜在市场需求;先做技术经济可行性研究,了解产品利润空间。超级杂交稻田是增产优质稻谷的主战场,而农民增收的实现还有赖于稻谷精深加工提高其附加值。我国是全球以米糠为原料生产肌醇、甾醇等生化原料药及其制剂的第一原料大国,且产品畅销,与肌醇出口大国日本各占全球市场份额的40%左右。肌醇对菲汀(植酸钙镁)收率的理论值为19.7%,日本工业装置收率已达16%以上,而国内平均收率仅6.5%左右。故发展潜力与利润空间诱人。肌醇作为医药及化妆品原料、食品及饲料添加剂,因其市场潜力大、具出口创汇优势、有国际竞争力,已选入《中国高新技术产品目录》(11050201)及《中国国际高新技术成果深圳

交易会项目信息系统》(990826QA06912)<sup>[8, 9]</sup>。据市场调研预测,农产生物医药产品肌醇、甾醇、谷生素等发展前景广阔。其中甾醇为抗非典特效药类甾醇糖皮质激素甲泼尼松的关键中间体,是2003年广东省非典死亡率3.7%(低于越南的8%、新加坡的12%、加拿大多伦多的13.5%)的“秘密武器”,2003年底台湾非典治疗仍使用类固醇及抗生素<sup>[10]</sup>。其次,主导产品应能充分利用优势资源,有较高的资源利用率。第三,产

品不得危害人体健康,对环境与生态无不良影响。第四,经济适度的规模。例如笔者参与策划设计的以“肌醇优质低成本清洁工艺”示范厂为中心且与30万头/a集约化养猪工程配套的“多联产”项目,粗糠油13500 t/a、糠粕饲料70000 t/a、肌醇900 t/a、磷酸氢钙5400 t/a的工业型农业-宁乡县超级杂交稻生态工程,据项目可行性研究,可吸引投资约16亿元,年产值约30亿元,年利税约4亿元(图1)。

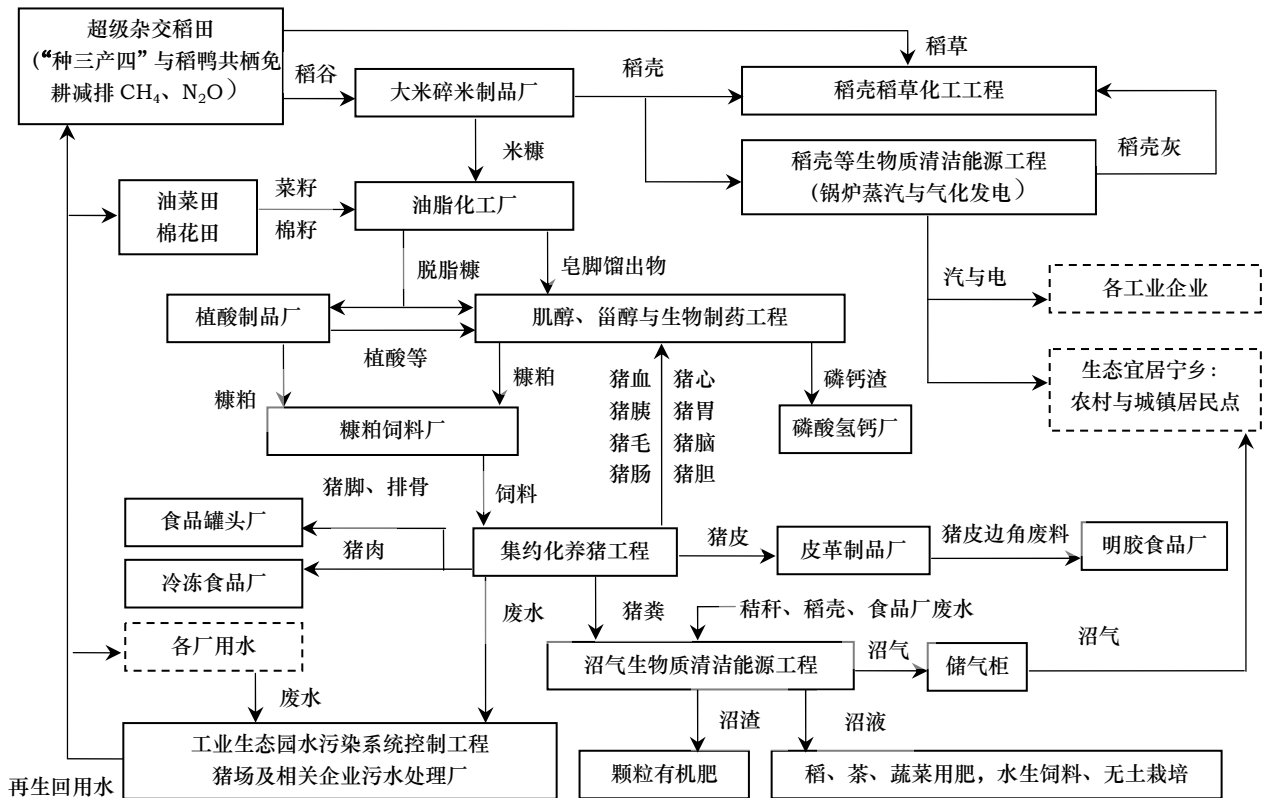


图1 基于高效生态农业产业化主导型循环经济模式的宁乡县超级杂交稻生态工程技术路线

2. 原料选择

首先,原料路线的选择与主导产品的成本及污染物产出量密切相关,必须经过周密调查分析和环境、经济全面评价后再确定。其次,原料的纯度很重要,它直接影响主导产品的收率及反应后废弃物的产出量。如果原料中所含杂质较多,生产过程会生成大量副产品或废渣,不仅增加了主产品的物耗与终端治理费用,还增加了原料及废渣的运输费用。因此,笔者将提高肌醇收率的技术要领归纳为“三大法宝”,其中首要的是提高原料菲汀的纯度与收率<sup>[11]</sup>。

3. 生产工艺过程及设备

工艺技术路线是污染物产生的决定性因素之一,

新建项目应首先考虑采用无废、少废的清洁生产工艺,选择高效、节能、防腐蚀、易维修的设备。

4. 改进操作和加强管理

一是开展调研和废物审计,查清从原料(含辅助材料、催化剂)到成品生产全过程的物料消耗、能量利用、废物产出情况。二是以减少生产过程废物产出为目标,建立健全劳动组织和规章制度。三是将节能、降耗、减污的目标和考核,量化并分解到企业的各个层次。四是保证设备的完好率,防止和减少跑冒滴漏。五是有效的指挥调度、严格的监督、公平的奖惩。六是组织安全文明生产,培养环境意识,把生态文明观念渗入企业文化中心。

#### 5. 辅以必要的终端治理

终端治理并不排斥继续推行清洁生产,以逐步缩小终端治理的规模。随着技术和管理水平的提高,可逐步实现零排放。

综上所述,基于高效生态农业产业化主导型循环经济模式的工业型农业建议项目“宁乡县超级杂交稻生态工程”,是一个促进物质多层分级利用的节能、降耗、清洁生产的资源—能源—环境一体化多联产工艺系统。与生产单一产品比较,生产单位数量合格产品的成本一般可降低20%左右。其成败的关键在于技术路线的合理化与可操作性,以及肌醇、甾醇等生物医药产品的优质低成本清洁生产工艺。

#### 四、结语

基于高效生态农业产业化主导型循环经济模式的超级杂交稻生态工程在面源污染减排,促进经济效益、社会效益与生态效益同步增长与解决“三农”问题中的作用可概括如下:

(1) 本模式特别重视地力维持,也就是注重提高土壤的养分供应能力和维护土壤健康。最重要的渠道就是利用腐熟的有机肥,如图1中的沼渣等颗粒有机肥与沼液肥料。它能改善土壤结构,提高土壤供肥能力,优化肥料代谢与转化的微环境,使得土壤养分的利用效率显著提高,化肥使用需求量和有害物质产量显著降低。

(2) 本模式强调提高农业生态系统的多样性,例如禾豆间作与免耕稻鸭复合系统,均可减少病虫害与农药的使用。

(3) 本模式非常重视物质循环利用。农林牧废弃物被合理利用之后,不仅不会形成污染,还能够优化生产系统,提高生产效率<sup>[12]</sup>。

(4) 本模式利用系统多因子耦合,能显著提高生产综合效益,以绿色发展创造就业机会,扩大内需,增强经济发展动力,促进农民增收与农业、农村的可持续发展。

#### 参考文献:

- [1] 陆忠伟. 非传统安全论[M]. 北京: 时事出版社, 2003: 3.
- [2] 蒋正华, 李蒙. 生态健康与科学发展观[M]. 北京: 气象出版社, 2005: 2-3.
- [3] 朱万斌, 王海滨, 林长松, 等. 中国生态农业与面源污染减排[J]. 中国农学通报, 2007, 23(10): 184-187.
- [4] Modi A K, Reklaitis G V. Comput Chem Eng, 1989, 13(1-2): 127.
- [5] 许锡恩, 郑国文, 成思危. 多产品间歇化工过程最优设计的研究——启发法[J]. 化工学报, 1993, 44(4): 442.
- [6] 王春峰, 权红印, 许锡恩. 多产品间歇化工过程最优设计——混合模拟退火法[J]. 化工学报, 1996, 47(2): 184.
- [7] 袁隆平. 实施超级杂交稻“种三产四”丰产工程的建议[J]. 杂交水稻, 2007, 22(4): 1.
- [8] 李林杰, 李劲松, 李亚文. 抗非典药皮质激素的关键中间体甾醇项目可行性探讨[J]. 精细化工中间体, 2004, 34(1): 8-10.
- [9] 李亚文, 李林杰, 李劲松. 肌醇厂的优化设计与工业性试验[J]. 中国粮油学报, 1997, 12(5): 40-44.
- [10] Li Yawen, Li Linjie, Li Jinsong. A Study on the Raise of the Inositol Yield(II)--The Optimized Design and Industrialized Test of the Inositol Factory[C]. Book of Abstracts for Fifth Eurasia Conference on Chemical Sciences. Guangzhou: Zhongshan University Press, 1996: 323.
- [11] 李林杰, 李亚文. 提高肌醇收率的技术进展[J]. 广东化工, 1997(3): 36-38.
- [12] 何智能. 试论循环经济与旅游业发展[J]. 湖南农业大学学报: 社会科学版, 2005(6): 34-36.

责任编辑: 李东辉