

长三角平原水网区域城郊循环农业圈层模式研究*

耿晨光^{1,2} 段婧婧^{1,2} 王 灿¹ 章明奎³ 施加春³ 李 汛¹ 段增强^{1**}

(1. 土壤与农业可持续发展国家重点实验室 中国科学院南京土壤研究所 南京 210008; 2. 中国科学院研究生院 北京 100049; 3. 浙江大学环境与资源学院 浙江省亚热带土壤与植物营养重点实验室 杭州 310029)

摘 要 依据循环理念和长三角平原水网地区自身特点,以协调农业生产、环境保育和社会发展关系,促进城郊农业的和谐发展为目标,建立了长三角平原水网区域城郊循环农业圈层发展模式。在系统调查分析和圈层建设基础上,对该模式进行了集成熟化,探索并突出了圈层搭建的主要技术环节和应用参数。本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,包括城乡结合部为第1圈层的旱-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。研究显示,该模式中的循环生产链结具有良好农业生产应用前景,利用园林地-稻田湿地系统接纳生活污水技术,预计长三角地区每年30多亿t农村生活污水将得以接纳,可极大地缓解地区水体环境负荷。该模式组装集成畜禽粪便分散式土地处理、农业秸秆基质化、蚯蚓堆肥等技术要点,具有良好的经济效益、环境效益和社会效益。该模式运行良好,具有重要的理论和实践推广意义。

关键词 长江三角洲 循环农业 圈层发展模式 城乡环境 农业循环经济

中图分类号: S19 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2012)07-0956-07

An agricultural tri-cyclic mode for Yangtze River Delta plain and water regions

GENG Chen-Guang^{1,2}, DUAN Jing-Jing^{1,2}, WANG Can¹, ZHANG Ming-Kui³,
SHI Jia-Chun³, LI Xun¹, DUAN Zeng-Qiang¹

(1. State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture; Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. College of Natural Resources and Environmental Sciences, Zhejiang University; Zhejiang Provincial Key Laboratory of Subtropical Soil and Plant Nutrition, Hangzhou 310029, China)

Abstract Based on the concept of recycling economy and local conditions, an agricultural tri-cyclic mode was built for the Yangtze River Delta plain and water regions. The mode integratively coordinated agricultural, environmental and social benefits. After systematic analysis of the present agricultural conditions and design of the mode, the mode was updated to an advanced stage. The study introduced the main technical parameters and changes required for the mode structure design. The tri-cyclic mode was a recycling agricultural mode consisted of three interconnected circle-like layers with the urban as the center. The three circle-like layers were layers of urban-rural connection area, plantation-cultivation-manufactures and scale agriculture. In the urban-rural connections layer, the main technologies were rotation technology of rice in paddy field and melon/vegetable in dry land, and pollution-free cultivation technology of rice, melon and vegetable. In the second layer, sericulture, nursery, cash forest and aquatic-animal husbandry formed the circulation mode of plantation-cultivation-manufactures. In the third layer, where was far from the city, high quality-high yield grain, oil and vegetable production was the main industries. Based on the study, the agricultural tri-cyclic mode showed great prospects for the Yangtze River Delta plain and water regions. It was estimated that more than 3 billion tons of sewage in the rural areas of the Yangtze River Delta region were absorbable by garden land-paddy wetland systems in a year, which greatly alleviated environmental load of water in the region. The mode assembled and integrated techniques of land decentralization of animal manure, agro-straw utilization, earthworm compost, producing obvious economic, environmental and social benefits. The mode performance was perfect, which was sufficient evidence of academic and practical application. The mode

* 农业部公益性行业项目(200903011)资助

** 通讯作者: 段增强(1964—), 男, 研究员, 博导, 研究方向为植物营养与设施农业。E-mail: zqduan@issas.ac.cn

耿晨光(1986—), 男, 硕士研究生, 研究方向为植物营养与农业环境。E-mail: cggeng@issas.ac.cn

收稿日期: 2011-11-11 接受日期: 2012-03-06

well performance was also of significance for its application and popularization.

Key words Yangtze River Delta, Circular agriculture, Tri-cyclic mode, Urban-rural environment, Agricultural recycling economy
(Received Nov. 11, 2011; accepted Mar. 6, 2012)

我国“十二五”规划纲要中再次指出要大力发展循环农业。循环农业体现了新的农业生产观、系统观、能量观和消费观,是农业经济结构调整的重要内容。2010年5月《长江三角洲地区区域规划》^[1]正式出台,将使这一地域相连、文化相通、经济相近的区域整体实力和国际竞争力实现深度提升。

长三角平原水网区(主要包括江沪地区和浙北冲积平原区)交通区位优势、农业基础优势和科研优势尤其明显。该区农业发展模式研究较多^[2-5],国内外相关研究领域的工作也较为突出^[6-12]。这些研究围绕立体农业模式、四位一体模式、有机农业模式、废弃物与资源循环利用模式、农业产业链延伸模式等进行了有益探索和模式拓展。但多年来长三角地区农业生产及布局方面还存在一些问题,体现在:1)紧连城市的城乡结合部,城乡一体化进程迅速,但大气、水体、土壤等产地环境质量低劣,并传承着以低品质蔬菜(兼有花卉)生产为主的历史格局,同时因政府行为的影响,设施农业(温室大棚)发展迅速,“高投入”、“高产出”的耕作方式使得连作障碍现象频发,并导致农药用量居高不下,硝酸盐、重金属等有害物质含量超标严重,限制了农产品价值的提升,制约了设施蔬菜业的健康发展,更谈不上生态环境的保育;2)城市近郊区以肉、乳、禽、蛋生产,苗木、蚕桑、果树及水产为主,并分散着一定的农产品加工基地,但“种-养-加”普遍脱节,废弃物资源化率不高,养分循环增效链不长,这不但导致环境的污染,且投入产出率没能得到应有的提高;3)城市远郊区目前还是以粮油等大宗农作物生产为主,但传统的绿肥、畜肥及河泥肥多为化肥所取代,过度对化肥、农药的依赖,已使该区域农田耕作层变浅,犁底层增厚,土壤养分失衡,肥力及耕地质量退化,且留守老人粗放的管理方式,不仅导致该区域有限的农业资源严重浪费,且农产品品质难以保证,生态环境难以自觉维护。因此,需要进一步研发和建立适于长三角平原水网地区特色的农业循环经济发展模式。

为了适应城乡一体化进程的发展以及空间上人口聚居区、近郊区、远郊区的布局特点,本研究团队提出了以城乡为中心的同心圆圈层循环农业发展模式,即:一、构建以城乡结合部为第1圈层的旱-

稻模式;二、逐步布局以蚕桑、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;三、发展以优质高产粮油、蔬菜生产基地为主的第3圈层规模农业模式。该循环农业圈层模式在长三角北翼的江苏泰州兴化市陈堡镇千亩基地进行了技术集成熟化及示范。为了对该模式进行理论支持和实际应用印证,本研究团队对不同圈层进行了链条分解和组合,进行了瓜菜稻水旱轮作栽培试验、“种-养-加”农业固体废弃物循环利用试验、园林地-稻田系统农村污水和畜禽粪便养分接纳减排试验、畜禽粪便无害化处理试验和周边高产粮油蔬菜生产调查。该模式运行良好,综合效益明显,具有重要的理论和实践推广意义。

1 长三角圈层模式结构和特点

1.1 试验基地介绍

试验区位于江苏省兴化市陈堡镇曹黄村现代农业基地,占地67 hm²左右。曹黄村登记人口2 631人,所属陈堡镇是江苏省文明乡镇、江苏省新型示范小城镇。地理坐标为北纬32°78',东经119°89'。研究区处里下河地区腹部,地势平坦,土地肥沃,北亚热带湿润气候显著,日照充足,年平均气温15℃左右,降水量1 024.8 mm,日照2 305.6 h,无霜期227 d。该区农作物生产以稻麦轮作和大棚蔬菜为主。试验区土壤为发育于湖积物母质的潜育水耕人为土(群众称为勤泥土、蒜瓣土)。该土壤渗透系数为8 mm·h⁻¹,属壤土质地。基地有养猪场(年出栏200头)、桑蚕虫草养殖加工中心、菇棚、蚯蚓堆肥基地、沼气池(江苏省兴农工程建设)、园林苗木地(16.7 hm²)等设施。试验区农村环境较为整洁,生活污水经由居民自建管道通入河网水系,地表水体水质属于轻度富营养化,水葫芦零散生长。农业生产方面,该试验区农民蔬菜栽培生产历史较长,效益较好,土壤略微有土表盐分积累,pH较低。陈堡镇正在为实现“1头猪、百只禽、千斤粮、万斤果蔬、万元田”发展循环农业,本项目结合地区发展实情开展了相关工作。

1.2 模式构建结构

以城乡为中心的同心圆圈层循环农业发展模式基本结构见图1。构建过程中利用圈层结构搭建农业生产布局,着重城乡环境保育。模式中,不同链结

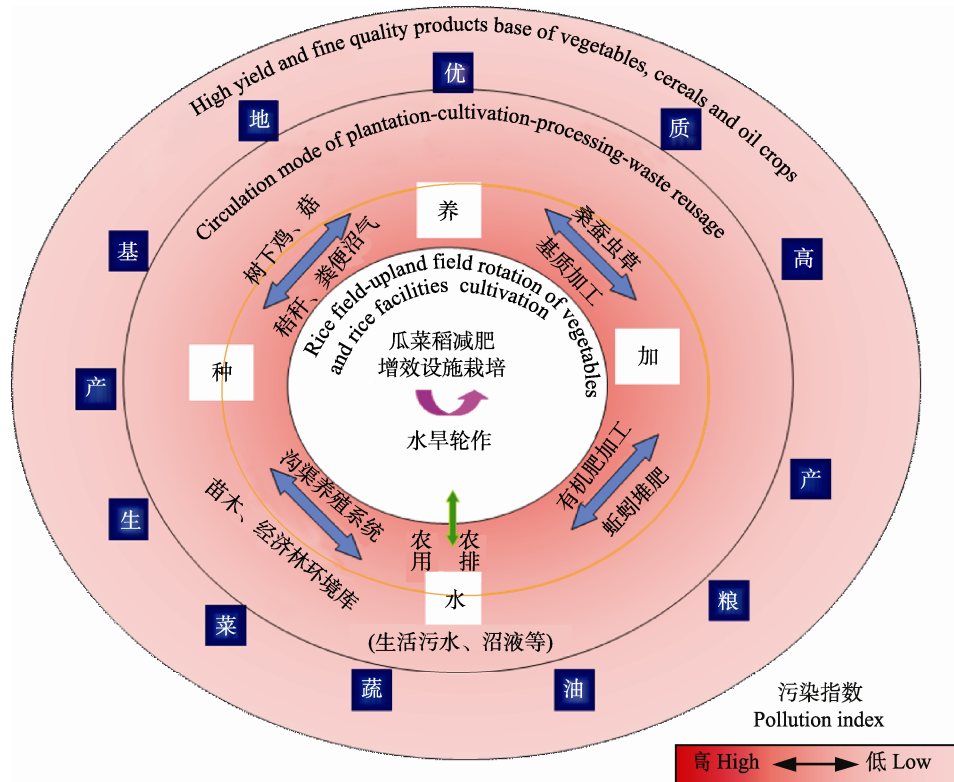


图 1 长三角平原水网区循环农业的圈层模式
 Fig. 1 Tri-cyclic recycling mode of agriculture in Yangtze River Delta plain and water regions

循环而行，养分循环利用，保证能量高效转化，污染物最大化削减，适于长三角平原水网区农业清洁、低碳生产和人民健康要求。

2 模式主要链结及关键技术

2.1 第 1 圈层主要链结及关键技术

第 1 圈层为毗邻城市的城乡结合部地区，该区农业区位优势明显，具有农业生产-社会功能-环境保育综合作用，是城市生活的“米袋子”、“菜篮子”、“果盘子”和“油罐子”。要保证城市鲜活农副产品供给，大力发展瓜菜稻无公害设施栽培和水旱轮作将进一步提升该区农业生产的带动、辐射和示范功能。该圈层主要链结技术包括：

2.1.1 瓜菜稻无公害设施栽培

大棚栽培瓜菜以番茄为例。茬口安排于水稻收获后。注意品种选择和苗期管理。选用适合设施栽培的具有优质、高产、抗病、耐贮运等特性的优良品种。采取穴盘育苗播种，控制好出苗期水分，苗期“断奶肥”、“送嫁肥”推荐使用 8 倍稀释沼液。前茬水稻收割后，及时耕翻晒垄，施商品有机肥 15 t·hm⁻² 或自腐熟畜禽粪便 2~3 t·hm⁻² 后旋耕，栽前 15 d 大棚膜全覆盖，不通风以提高棚内地温，并促进肥料分解。同时搭建拱式内棚，之后覆盖内棚膜、无纺纱等保温材料(增温、抑制草害)，实现三膜式栽

培。外界低温在-5℃以下时再于无纺纱上加盖 1 层薄膜。整枝工作、疏花疏果、肥水管理工作可参看地方无公害生产栽培规程或其他标准开展。番茄需适时采收，根据本地市场销售情况及脱水蔬菜基地生产目标进行销售。

番茄病虫害农业防治上，推广水旱轮作方法，破坏作物生产中遗传病菌生存环境，可有效克制连作障碍。此外，及时通风降温，地膜通体覆盖，降低棚内湿度，加上养鹅除草，一般可在 2 月上旬每 666.7 m² 放养 6~8 只苗鹅，以有效控制灰霉病、叶霉病等的发生。具体瓜菜及水稻生产可参照相关无公害栽培规程或其他标准生产。

2.1.2 水旱轮作养分调控和土壤保育

技术要点是旱季进行瓜蔬无公害设施栽培，稻季进行水稻生产。果蔬收获后，在水稻种植前的空闲期，利用大棚覆膜覆盖进行高温熏蒸，杀死杂草种子、病原菌和害虫。利用蔬菜后较好地力播种。水稻生长季基本不施化肥，施用生活污水及沼液 10 kg·667m⁻²；水稻生长期间全棚覆盖防虫网(30 目)，配套稻鸭共作，每 667 m² 放入 25 只幼鸭，既控制杂草和虫害，其禽粪又可肥田。本区主要种植“淮稻 9 号”等粳稻品种，放鸭时间为栽后 1 周，水肥管理同普通大田，前期浅水活棵长蘖，中期适时晒田，分期轻晒，后期干湿交替。水稻灌浆中期后基本无重

要虫害, 此时揭去防虫网, 以利于增强光照。此种栽培模式, 能有效切断稻飞虱、纵卷叶螟等害虫的外侵源头, 控减病虫对水稻的侵害, 收获稻谷的市场价格很高。实行这种水旱轮作, 既可避免因连作造成的土传病害的发生, 又可改善土壤结构。

2.2 第 2 圈层主要链结及关键技术

第 2 圈层为长三角平原水网区的城郊地区, 为主要的肉蛋禽、苗木花果生产以及水产等的集中地带, 经济效益良好, 然而该地带还存在“种-养-加”生产体系脱节现象, 资源化利用率不高, 养分循环链太短太细等问题。依靠土地利用多样性以及发达的农林产业和水产畜牧养殖业, 发展适宜于城市近郊区多种经营、物质高效循环的“种-养-加”圈层极其重要。该圈层主要构建链结及关键技术如下:

2.2.1 “种-养-加”农业固体废弃物循环利用

此链条的基本结构特征为: (1) 农业种植-秸秆发酵制沼, 生产环节以沼气池建设为纽带; (2) 林下养鸡-鸡粪还田集中式粪便发酵制沼气, 推广沼肥综合利用, 构建循环立体农业; (3) 农林枯枝残叶生产菌棒-(林间)栽种食用菌-市场直销, 建设林、菌结合项目, 完善循环, 采用木屑、柴草、枝条等作为菌棒生产原料, 利用林间荫蔽搭小拱棚, 发展林下经济。农业废弃物综合利用技术重点介绍如下:

2.2.1.1 桑木屑培育香菇技术

菌种按入料袋至发菌成熟, 室内培养 60 d 左右。每 1 m² 可排放 40 个菌袋。发菌场所要求干燥、硬质地面, 保温保湿条件较好, 同时周围环境清洁。灭菌接种设备一般采用饱和蒸汽灭菌法, 农村可采用简易箱式灭菌灶方法进行。生产原料包括桑枝条和桑木屑。长势良好的桑园每 667 m² 地可收获干枝条 500~600 kg, 可制作菌袋 250~300 个。枝条伐下后可在户外堆放, 利用雨水冲刷消除桑枝中的单宁、生物碱等有害物质, 雨季过后晾干堆放, 防止霉

烂变质。需准备的辅料主要有麦麸、生石灰、塑料薄膜袋、消毒剂、酒精、高锰酸钾、漂白粉等。

2.2.1.2 蚕蛹虫草人工培育技术

收茧时选择茧色洁白、发育整齐、蛹体较健康的群体。削茧技术方面要轻拿轻放, 避免蛹受伤, 蛹体适当消毒, 一般用熏毒威 1 g·m⁻³ 熏 15 min, 2~4 d 内一定要削完, 如果超过化蛹第 7 d 接种, 蛹硬化率将大副降低。这样可保证菌种子实体长率高(蚕蛹虫草的有效成分虫草素、虫草多糖主要在有性阶段即子实体生长阶段大量形成)。菌种制备技术首先是菌种培养基, 最好使用固体菌种, 液体菌种易污染, 且感染、致病力弱; 培养基为普通真菌培养基, 将母种移至培养基上, 22 °C 恒温培养 1 个月, 每日 12 h 光照, 待培养基水分将耗尽、菌丝大部分转化为分生孢子时, 置冰箱 5 °C 冷藏 15~30 d 即可(有助于分生孢子的形成及保持菌种的活性)。

2.2.2 园林地-稻田系统农村污水和畜禽粪便养分接纳减排

此链结是本模式中废弃物处理循环利用的一个重要方面。农村生活污水含有植物可以利用的营养元素, 将这些资源用于农业生产并进行零散式处理是一种资源节约-污染减排-循环发展的思路。尤其在长三角平原水网区, 农地以外的土地如园林地具有巨大接纳能力。在土壤-植物-微生物综合作用下, 废水中主要污染物得以去除, 出水从集水系统收集, 再用于农业生产。

园林地土壤净化处理系统整体流程如图 2 所示。生活污水先经过格栅等简单的预处理, 引入贮存池, 然后通过泵抽入园林土地处理系统。土地处理系统中灌溉采取水泵提水和膜孔沟灌相结合的方式。膜孔沟灌即将地膜铺在沟底, 作物种植在垄上, 水流通过地膜上的专门灌水孔渗入到土壤中。灌水沟沟距 70 cm, 沟深 25 cm, 膜孔直径 0.5 cm。排水

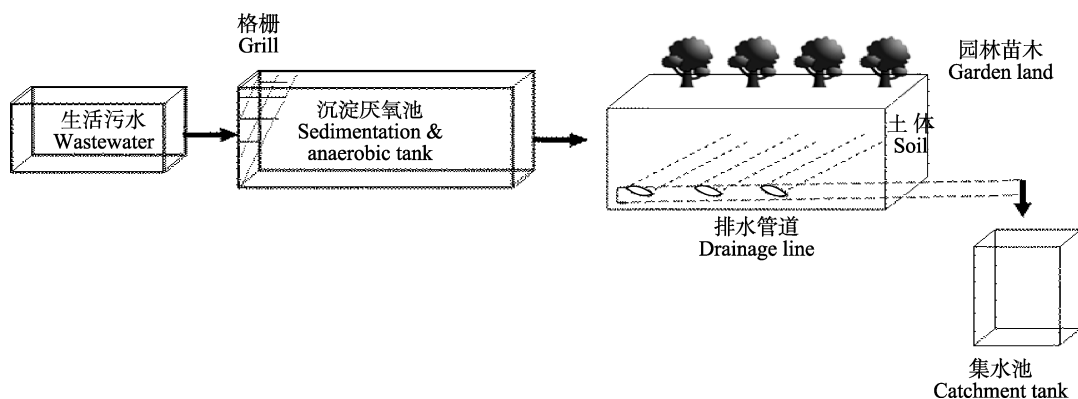


图 2 生活污水土地处理系统流程图

Fig. 2 Flow chart of land treatment system for domestic wastewater

系统包括排水管、集水管和集水井。系统设计排水管道埋深 0.6 m, 排水管和集水管为 HDPE 波纹排水管, 管内径 100 mm, 管外包一层土工膜, 防止堵塞。排水管总长 30 m, 排水管方向垂直于集水管, 集水管比降 1%, 长度约 40 m, 排水管出水经集水管收集到两侧的集水井。集水可排入稻田系统或生态沟渠。

稻田系统紧密结合城乡结合部第 1 圈层的水—旱轮作模式, 通过稻田的湿地功能, 实现城郊生活污水的净化、作物高产及土壤优质的目标, 减少农业污染物排放。以长江三角洲地区污染物平均负荷量为标准(表 1), 计算常规稻季 1 个生长周期所需养分和可接纳的生活污水量, 并以常规稻田生长季节所需的灌溉水量 1 000 mm 为标准, 生活污水和灌溉水按照不同体积比例进行配置接纳。计算得出的生活污水配置接纳量如表 1 所示。

由表 1 可知, 根据总氮得出的稻季灌溉水量最高, 为 578.2 m³·667m⁻², 小于稻季所需灌溉水量, 因此理论上可以将 3 种污染物排放总量进行完全消纳。在试验过程中, 考虑到水稻生长季节的特点和养分量, 本研究按照 COD 浓度为消纳标准进行配置。按照 333 m³·667m⁻²的污水灌溉量进行配置接纳, 以此为标准, 可消纳的生活污水负荷为 COD 1 992.0 kg·hm⁻², 总氮 366.0 kg·hm⁻², 总磷 48.0 kg·hm⁻²。

2.2.3 农业废弃物畜禽粪便无害化处理

将自然生态系统中的分解者——蚯蚓引入到畜禽粪便处理技术中, 用人工控制的方法实现蚯蚓堆肥处理过程。在微生物的协同作用下, 蚯蚓利用自身丰富的酶系统(蛋白酶、脂肪酶、纤维酶、淀粉酶等)将有机物迅速分解、转化成易于利用的营养物质,

加速了堆肥稳定化过程。通过模拟试验, 以蚯蚓存活率、有机物质腐解率、土壤养分为评价指标, 对影响因素进行了优化筛选, 初步获得了蚯蚓堆肥的技术参数; 根据蚯蚓生长需要确定的技术参数进行蚯蚓堆肥, 通过养殖蚯蚓, 消耗粪便, 萃取排泄物中的铜、锌等重金属, 并生产出高蛋白蚓体副产品, 供应动物生产, 促使生物吸收的铜、锌等与高蛋白蚓体重新进入养殖系统循环利用; 同时, 通过蚯蚓和微生物的作用, 可在总量上大大减少铜、锌等重金属含量, 把大量的畜禽粪便转化成无臭、无害、具有生物活性的高品质有机肥(图 3)。

2.2.4 水产养殖业

长三角地区水产养殖业发达, 积累了丰富的养殖和管理经验, 常规养殖、混合养殖以及特种养殖均占据不同消费市场。在水产清洁养殖开发中, 导入循环经济理念, 完善养殖配套系统, 增设尾水收集区、净化区、湿地等功能区域, 利用人工湿地生态系统, 通过曝气复氧、沉淀、水生动植物净化、微生物分解、基质吸附过滤等多种技术手段, 对养殖池塘生产尾水进行逐级净化, 去除水中氮、磷等污染物, 可有效减少污染排放。集水系统可再次回到池塘中循环利用。长三角地区水产养殖的进一步发展需要政策引导和扶持包括提高信贷支持, 在技术引进和推广上加大资金投入; 引导养殖户发展集约化养殖, 以实现规模经济; 以特种水产品销售为引导, 带动当地常规水产品建立品牌优势^[13]。

2.3 第 3 圈层主要链结及关键技术

第 3 圈层为城市远郊区, 目前以粮油等大宗农作物生产为主, 但传统的绿肥、畜肥及河泥肥多为

表 1 长三角郊区生活污水还田施肥当量
Table 1 Equivalent weight of domestic wastewater applied to farmland in the Yangtze River Delta

项目 Item	COD	TN	TP
生活集中区污水浓度 Concentration of domestic wastewater in the living community (mg·L ⁻¹)	398.1	42.2	13.5
长三角污染物平均负荷 Mean concentration of pollutant in the Yangtze River Delta (kg·hm ⁻²)	1 992.0	366.0	48.0
每 667m ² 灌溉水量 Irrigation volume per 667 m ² (m ³)	332.0	578.2	237.0

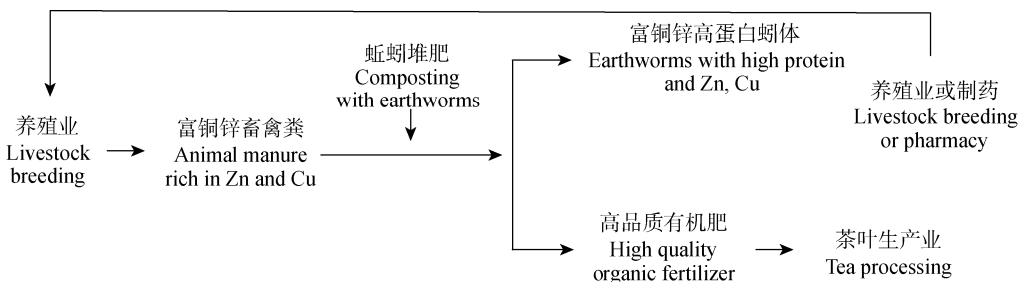


图 3 畜禽粪便资源化循环利用模式图
Fig. 3 Chart of recycling use of livestock manures as renewable resources

化肥所取代, 过度对化肥、农药的依赖, 已使该区域农田耕作层变浅, 犁底层增厚, 土壤养分失衡, 肥力及耕地质量退化; 粗放的管理方式, 不仅导致该区域有限的农业资源严重浪费, 且农产品品质难以保证, 生态环境难以自觉维护。高产粮油、蔬菜生产基地为主的规模农业模式的构建依托地方农业生产技术, 大力发展清洁农业生产, 积极发展外向型农业, 发展过程中减少对化肥、农药等化学品的依赖, 恢复绿肥、畜肥、河泥肥等传统农艺生产。

2.4 圈层搭建和布局安排比例

圈层模式中能量、物质和养分以循环流动方式被各级生产链结利用, 污染物得到最大化削减。圈层概念有理念性圈层和地理性圈层两层含义。一方面, 在区域经济发展过程中产业布局按照地理分布上圈层模式搭建, 另一方面, 3 个圈层可以交织糅合, 形成圈层间的融汇。例如进行水旱轮作为主的第 1 圈层模式可以应用于第 3 圈层中高产粮油蔬菜生产中土壤保护和改良等。地理分布上此圈层模式基本上以城乡结合部为核心, 按照人口、污染物排放和土地生产、接纳成对应关系, 辐射区内能实现循环生产。参照中国城乡地区恩格尔系数和《中国食物与营养发展纲要(2010)》提供的营养标准, 此模式中农村人口(人): 第 1 圈层面积(hm^2): 第 2 圈层面积(hm^2): 第 3 圈层面积(hm^2)为 1:0.05:0.005:0.05。

3 效益分析

3.1 环境效益

发展长三角平原水网区循环农业圈层模式, 符合现代农业中清洁生产趋势, 农产品健康质量得以保证, 有效解决了城镇化发展过程中鲜活农副产品供给和环境保育的协调关系。瓜菜稻生产过程, 减少了农药化肥使用量, 对农村地区面源污染来讲是重要突破。水旱轮作技术也可保证长三角地区 200 多万 hm^2 设施土壤环境质量。秸秆等废弃物综合利用也使农村环境得以改观, 并提高了深加工效益。利用园林地-稻田湿地系统接纳生活污水技术, 长三角地区每年 30 多亿 t 农村生活污水将得以接纳, 可缓解水体环境负荷。该模式组装集成的农业高效

生产-减肥减排、农业废弃物无害化处理、农村生活污水和畜禽粪便分散式土地处理等几条主线, 穿插了水旱轮作-保育土壤、农业秸秆基质化、蚯蚓堆肥等技术要点, 最终促进了区域经济发展。

3.2 经济效益

长三角平原水网区循环农业圈层模式发展过程中, 水旱轮作保证了土地的充分利用, 加上农业废弃物和畜禽粪便等养分资源的回归, 使该区农业经济效益明显提高, 其瓜菜稻生产过程经济效益见表 2。

桑枝等农业废弃物利用过程中, 香菇供应超市最高价格为 14 元· kg^{-1} , 市场香菇存量最高价格也达 6 元· kg^{-1} 左右。按每袋平均出菇 2 kg、平均价格 8 元· kg^{-1} 计算, 示范区所在地香菇产量约为 352.4 t, 蚕农直接收入 281.92 万元。工厂化生产虫草, 示范区创收 39.49 万元, 收益率为 351%。

本模式中不同轮作制度稻田生态系统周年经济效益分析结果见表 3。蚕豆-水稻轮作因麦季收获 3 760 元· hm^{-2} 的青蚕豆后, 1 年总体获得经济效益最高, 为 15 393 元· hm^{-2} , 小麦-水稻轮作经济效益 14 910 元· hm^{-2} , 比蚕豆-水稻轮作经济效益低 483 元· hm^{-2} , 休闲水稻轮作经济效益最低, 为 10 612 元· hm^{-2} 。通常小麦需花费较多人工管理, 在劳动力短缺的长三角地区需要较大成本, 因此小麦-水稻轮作劳动生产率较低。麦季紫云英和蚕豆处理未施化学氮肥, 在保证水稻产量情况下, 稻季其化学氮肥用量比小麦-水稻轮作降低 50%, 从而降低了因施化学氮肥带来的环境风险。

从表 4 看出由于稻田湿地接纳系统节约了化肥开支和污水处理费用, 长三角平原水网区平均节约氮肥 20.34 $\text{kg} \cdot 667\text{m}^{-2}$, 磷肥 2.66 $\text{kg} \cdot 667\text{m}^{-2}$, 仅化肥一项长三角平原水网区便节约费用近 2.40 亿元; 污水处理系统按照成本最为低廉的人工湿地处理方式的 0.12 元· m^{-3} 估算, 长三角平原水网区城市群郊区所产生的生活污水和沼液总量可节约费用 0.76 亿元, 综合可得稻田湿地接纳生活污水和沼液的模式比常规稻田施肥处理能够节约成本约 3.73 亿元, 能够产生极大的经济效益。

表 2 大棚瓜菜稻年度生产经济效益分析

Table 2 Annual economic benefits of greenhouse melons-vegetables-rice growing

项目 Item	平均产量 Mean yield ($\text{kg} \cdot 667\text{m}^{-2}$)	平均产值 Mean output (Yuan· 667m^{-2})	投产比 Cost value ratio
时令蔬菜 Vegetables	2 000	3 000	1:3.6
西瓜 Watermelon	3 500	1 500	
水稻 Rice	500	900	
后茬蔬菜 Subsequent vegetables	2 000	3 500	

表 3 不同栽培模式下稻田经济效益情况
Table 3 Economic benefits of rice fields under different cultivation patterns

栽培模式 Pattern	麦季 Wheat season				稻季 Rice season				年经济效益 Annual output value (Yuan·hm ⁻²)
	施氮量 N fertilization rate (kg·hm ⁻²)	产量 Yield (kg·hm ⁻²)	经济效益 Output value (Yuan·hm ⁻²)	扣除氮磷钾肥费用 Cost without fertilizer (Yuan·hm ⁻²)	施氮量 N fertilization rate (kg·hm ⁻²)	产量 Yield (kg·hm ⁻²)	经济效益 Output value (Yuan·hm ⁻²)	扣除氮肥费用 Cost without fertilizer (Yuan·hm ⁻²)	
紫云英-水稻 <i>Astragalus sinicus</i> -rice	0	2 776	0	0	120	6 553	11 795	11 325	11 325
青蚕豆-水稻 Horsebean-rice	0	2 350	3 760	3 760	120	6 724	12 103	11 633	15 393
小麦-水稻 Wheat-rice	225	3 805	5 479	3 684	240	6 759	12 166	11 226	14 910
休闲-水稻 Idle-rice	0	0	0	0	240	6 418	11 552	10 612	10 612

青蚕豆、小麦、水稻、尿素、普钙和钾肥(氯化钾)分别按照 1.60 元·kg⁻¹、1.44 元·kg⁻¹、1.80 元·kg⁻¹、1.80 元·kg⁻¹、0.60 元·kg⁻¹ 和 3.25 元·kg⁻¹ 计算。The prices of housebean, wheat, rice, urea, ordinary superphosphate and potassic fertilizer (KCl) are 1.60 Yuan·kg⁻¹, 1.44 Yuan·kg⁻¹, 1.80 Yuan·kg⁻¹, 1.80 Yuan·kg⁻¹, 0.60 Yuan·kg⁻¹ and 3.25 Yuan·kg⁻¹, respectively.

表 4 长三角平原水网区基于稻田湿地功能的生活污水和沼液还田效益分析表
Table 4 Economic benefits of domestic wastewater and biogas slurry applied to farmland based on wetland function of paddy field in Yangtze River Delta plain and water regions

项目 Item	支出 Cost		收入 Income			稻田湿地的接纳模式效益 Benefits of rice wetland treatment (10 ⁴ Yuan)
	运输 Transportation	减氮肥 Reducing N fertilizer	减磷肥 Reducing P fertilizer	污水处理 Wastewater treatment		
单位面积金额 Value per unit area (Yuan·667m ⁻²)	25.0	72.8	19.6	30.0		
全部稻田 All paddy field (10 ⁴ Yuan)	0.63	1.84	0.50	0.76		3.73

3.3 社会效益

长三角平原水网区发展圈层模式是面向地区农业生产环境恶化、城郊负担加重等现状,转变经济增长方式、结构调整的必然选择。通过示范区示范、农民技术培训等渠道,带动了农业循环经济相关技术的研发和推广应用,带动了农民生态观念的提升,实现了经济发展“软实力”的提升。同时,实施过程围绕循环经济理论,遵循可持续发展理论,吸纳了生态经济理论,秉承了两型社会理论(资源节约型-环境友好型),为区域农产品安全、长三角区域综合经济发展做出了较大贡献。

4 结论

长三角平原水网区循环农业圈层模式创新了循环理念,发展了区域农业经济,具有广泛应用和推广意义。在循环农业的理论探讨和示范基地建设过程中,农业循环经济的发展迫切需要立法支持,使操作过程有法可依,有章可循。另外,循环-低碳-高值农业支撑技术的配备和推广将是循环农业新的推动力。该区域的农业发展应进一步围绕《长江三角洲地区区域规划》大纲和 2011 年中央 1 号文件,加快转变农业发展方式,推进农业科技进步与创新。

参考文献

[1] 国家发展与改革委员会. 关于印发长江三角洲地区区域规

划的通知[Z]. 发改地区(2010)1243 号

[2] 庄秀琴. 洪泽湖湿地农业循环经济发展模式研究[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(34): 11288-11289

[3] 徐琪. 江苏省农业循环经济发展的实践与创新[J]. 现代农业科学, 2008(20): 292-294

[4] 王永龙, 单胜道. 浙江循环农业发展评价研究[J]. 湖州师范学院学报, 2006, 28(6): 80-86

[5] 龚志山. 上海农场循环农业发展评价[D]. 扬州: 扬州大学, 2007

[6] Dolgen D, Alpaslan M N, Delen N. Agricultural recycling of treatment-plant sludge: A case study for a vegetable-processing factory[J]. Journal of Environmental Management, 2007, 84(3): 274-281

[7] 李文, 马友华, 夏蕾, 等. 安徽省循环农业发展典型案例研究[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(6): 1568-1571

[8] 李兆华, 马清欣, 涂建华, 等. 湖北省循环农业模式[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(6): 1572-1575

[9] 陈豫, 杨改河, 冯永忠, 等. 沼气生态农业模式综合评价[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 274-279

[10] 陶暹光, 刘渊, 涂沁. 九江生态农业观光园的开发模式与发展研究[J]. 中国农学通报, 2010, 26(8): 362-365

[11] 俞菊生, 吴轶韵, 罗强. 上海都市型生态农业模式及对策[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(5): 1002-1006

[12] 路丽, 刘金铜, 李红军, 等. 太行山丘陵区观光农业区域规划与发展模式构想——以河北省为例[J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(1): 192-194

[13] 苏群, 陈智娟. 水产养殖的生产经营状况及成本收益分析——以江苏省淮安市为例[J]. 江苏农业科学, 2008(3): 1-4