

珠江三角洲农田 典型循环农业 模式与技术

主 编 王建武
副主编 蔡昆争



ZHUJIANG SANJIAOZHOU NONGTIAN
DIANXING XUNHUAN NONGYE
MOSHI YU JISHU

中国环境科学出版社

本书是国家科技支撑计划“珠江三角洲集约化农田循环高效生产技术集成研究与示范(2007BAD89B14)”和广东省科技计划项目“珠江三角洲农田资源循环模式与规模化配置技术研究(2008A020100011)”的研究成果。

珠江三角洲农田典型循环农业模式与技术

主 编 王建武

副主编 蔡昆争

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

珠江三角洲农田典型循环农业模式与技术/王建武,
蔡昆争主编. —北京: 中国环境科学出版社, 2010.8
ISBN 978-7-5111-0336-9

I. ①珠… II. ①王…②蔡… III. ①珠江三角洲—
农业经济—经济模式 IV. ①F327.65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 144378 号

责任编辑 付江平
责任校对 刘凤霞
封面设计 龙文视觉

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
联系电话: 010-67112765 (总编室)
发行热线: 010-67125803

印 刷 北京东海印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2010 年 8 月第 1 版
印 次 2010 年 8 月第 1 次印刷
开 本 880×1230 1/16
印 张 16.5
字 数 500 千字
定 价 78.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

序

循环农业是针对大进大出的工业化农业方式提出来的一种农业生产方式。循环农业的主导思想就是要在农业中建立循环利用种植业和养殖业废弃物的体系，建立循环利用生活和工业有机废弃物的体系，再加上资源节约型的科学种养技术推广，减少农业的资源消耗和环境污染，增加食品安全性和农业的生态效益。由于减少了对化肥农药等投入的依赖，循环农业成为实现低碳农业的一种重要方式。循环农业由于减少了浪费，实现了物质循环利用，因此也有利于减少支出，增加农民的收入。

本书针对珠江三角洲的农业实际，提出了一些实用的循环农业模式和技术措施。作者们在本书总结了“鸭稻共作”、“菜—稻—菜”、“稻—稻—马铃薯”、“稻—稻—甜玉米”、大豆间套作和蔬菜—水稻周年轮作六种高效模式，水稻、蔬菜和香蕉减量化生产技术，农业废弃物无害化处理与综合利用模式和技术，以及重金属和农药污染农田的修复技术，并用图文并茂和通俗易懂的方式，力图方便农业技术人员和农民阅读，让更多的人能够参照开展有关循环农业的实践。

华南农业大学与广东省农业科学院组成的项目组在承担科技部“农田循环高效生产模式关键技术集成研究与示范”支撑计划项目的重要组成部分“珠江三角洲集约化农田循环高效生产技术集成研究与示范”中构建了农田种植业内部的循环、农牧业之间的循环、废弃物资源化利用和农田污染修复等模式，并在广东惠东县、高要市和番禺区开展大面积示范，并逐步实现了有模式结构，有配套技术，有比较效果，有现场示范的要求。这本书正是在这个基础上编写而成的。

《中华人民共和国循环经济促进法》已经在 2009 年 1 月 1 日生效。其中第二十四条提出：“县级以上人民政府及其农业等主管部门应当推进土地集约利用，鼓励和支持农业生产者采用节水、节肥、节药的先进种植、养殖和灌溉技术，推动农业机械节能，优先发展生态农业。”第三十四条提出：“国家鼓励和支持农业生产者和相关企业采用先进或者适用技术，对农作物秸秆、畜禽粪便、农产品加工业副产品、废农用薄膜等进行综合利用，开发利用沼气等生物质能源。”本书的出版无疑将有利于促进我国循环农业和循环经济的发展。

骆世明

2010 年 4 月 27 日

前言

循环农业是基于循环经济理论之上的一种新型农业发展模式，讲求通过系统组成成分耦合关系的优化、新型亚系统的拓展以及系统与系统互作关系的正确应用，挖掘系统内涵潜力，实现生态、经济和社会效益的同步提升，是未来农业现代化的必然选择。

珠江三角洲城镇化水平已达 73%，国内生产总值占全省的 74%，是广东省乃至全国最富裕、最发达的区域之一。珠江三角洲地区经济发达，城乡一体化程度高，农业光热水资源丰富，但耕地资源短缺，人地矛盾十分突出。该地区现代化集约农业起步早，创汇型现代种植业效益高，集约化高投入引起的资源浪费和生态环境问题突出。随着现代农业规模化、产业化发展，一方面，蔬菜、水果等经济作物面积迅速扩大；另一方面，种植制度向单一化方向发展，水田和菜地等连作障碍问题突显。集约化农业对外部资源的依赖程度很高，高投入引起的生态环境问题严重，同时，快速城市化和工业化导致的外源污染和畜牧业大规模发展引起的内源污染对农田生态系统的健康、农产品的安全和区域生态环境安全的威胁日益扩大。针对珠江三角洲现代农业发展中的问题，开展现代高效益农田资源循环生物模式优化和配置，多元化农田农用化学品减量、有害物质减排，城乡废弃物纳入农田循环的清洁化处理等技术集成研究与示范，构建该区域集约化农田循环高效生产模式与技术体系，对促进珠江三角洲地区循环农业模式的形成和经济社会可持续发展具有重要的意义。

2008 年，科技部启动了“农田循环高效生产模式关键技术集成研究与示范”支撑计划项目，我们荣幸承担了“珠江三角洲集约化农田循环高效生产技术集成研究与示范(2007BAD89B14)”的任务，在研究与示范的过程中深感缺乏一本面向基层农业技术人员和农民的通俗易懂、图文并茂的技术参考书。为了便于技术推广和普及，课题组组织华南农业大学和广东省农业科学院参与循环农业课题的成员组专门编写了此书。全书共分五章，第一章概述了珠江三角洲农田生态系统的特点及循环农业体系建立的基本原则。第二章重点介绍了“鸭稻共作”、“菜—稻—菜”、“稻—稻—马铃薯”、“稻—稻—甜玉米”、大豆间套作和蔬菜—水稻周年轮作六种模式和技术。第三章介绍了水稻“三控”施肥技术、常年菜地综合减量化技术和香蕉减量化生产技术。第四章介绍了畜牧业废弃物堆肥技术、猪场废水无害化处理与综合利用模式与技术、秸秆综合利用模式与技术和城市污泥农业综合利用模式与技术。第五章以典型案例介绍了重金属污染农田以及农药和

持久性有机污染的修复与治理技术。

全书的总撰稿人为王建武，负责本书整体结构和内容安排，拟定撰写提纲，并完成书稿统稿。参编人员包括华南农业大学蔡昆争、曹先维、胡开林、李就好、李小琴、廖新倮、廖宗文、刘可星、林威鹏、年海、唐湘如、王建武、吴启堂、章家恩，广东省农业科学院陈汉才、顾文杰、匡石滋、李康活、徐培智、杨少海、张发宝、钟旭华、周少川。各章、节的具体编写人员已在章末、节末标注。

首先，感谢骆世明教授长期以来对本人研究工作的指导。广东省科学技术厅农村处的刘家平处长和黄江康副处长，一直关注和支持循环农业方面的研究工作。中国农业大学高旺盛教授、中科院沈阳应用生态研究所武志杰研究员、中国农科院环发所曾希伯研究员、广东省农业科学院廖森泰副院长为本项目的开展提出了大量的建设性意见和建议。华南农业大学农学院苏雄武书记、张桂权院长、年海副院长、陈勇副院长、蔡昆争副教授在我科研工作繁重的情况下分担了许多行政事务。华南农业大学热带亚热带生态研究所的全体同仁为本项目的开展提供了重要支撑。谨此一并致以诚挚的谢意。

珠江三角洲循环农业模式与技术涉及农学、园艺学、生态学、土壤肥料学等众多的学科，知识面广、发展迅速，限于作者的知识水平和研究深度，书中难免有缺点和错漏与不当之处，敬请读者批评指正。

王建武

2010年4月26日于广州华南农业大学

目 录

第一章 珠江三角洲农田生态系统与循环农业	1
第一节 循环农业理论与技术原则	2
第二节 珠江三角洲的自然地理环境	5
第三节 珠江三角洲的农业生产	8
第四节 珠江三角洲的耕作制度	11
第五节 珠江三角洲发展循环农业的目标和关键技术	13
第二章 农田耕作制的模式与技术	15
第一节 “鸭稻共作”模式	15
第二节 “菜—稻—菜”模式	23
第三节 “稻—稻—马铃薯”模式	41
第四节 “稻—稻—甜玉米”模式	65
第五节 “大豆间套作”模式	80
第六节 蔬菜—水稻周年轮作模式	97
第三章 主要作物减量化生产技术	123
第一节 水稻“三控”施肥技术	123
第二节 常年菜地综合减量化技术	130
第三节 香蕉减量化生产技术	145
第四章 废弃物农田循环利用的模式与技术	163
第一节 畜牧业废弃物堆肥技术	163
第二节 猪场废水无害化处理与综合利用模式与技术	193
第三节 秸秆综合利用模式与技术	213
第四节 城市污泥农业综合利用模式与技术	221
第五章 污染农田修复与治理的模式与技术	227
第一节 重金属污染农田的修复与治理	227
第二节 农药和持久性有机污染的修复与治理	238
参考文献	251

第一章

珠江三角洲农田生态系统与循环农业

循环农业是基于循环经济理论之上的一种新型农业发展模式，讲求通过系统组成成分耦合关系的优化、新型亚系统的拓展以及系统与系统互作关系的正确应用，挖掘系统内涵潜力，实现生态、经济和社会效益的同步提升，是未来农业现代化的必然选择。

2006 年中央一号文件明确提出要发展循环农业，2007 年、2008 年的中央一号文件继续强调鼓励发展循环农业。农业部 2007 年开始实施循环农业促进行动，制定了《循环农业促进行动实施方案》。科技部“十一五”期间启动了“农田循环高效生产模式关键技术集成研究与示范”、“清洁生产与循环经济的关键技术与示范研究”等与循环农业相关的重大科技支撑项目，我国循环农业的理论与技术研究逐步迈向新的阶段。理清面向现代化的循环农业结构体系，并对这种结构体系在现实生产中的指导作用进行实证研究，对推进循环农业技术的应用将产生积极的指导作用。

珠江三角洲城镇化水平已达 73%，国内生产总值占全省的 74%，是广东省乃至全国最富裕、最发达的区域之一。珠江三角洲地区经济发达，城乡一体化程度高，农业光热水资源丰富，但耕地资源短缺，人地矛盾十分突出。人口和产业高度聚集占用了大量的农田，目前人均耕地面积不足 0.02 hm^2 。该地区现代化集约农业起步早，创汇型现代种植业效益高，集约化高投入引起的资源浪费和生态环境问题突出，农产品质量安全状况堪忧。珠江三角洲地区每年消费化肥 NPK 养分总量超过 200 万 t，化肥使用量在 30 t/km^2 左右，远远超过发达国家为防止化肥对土壤和水体造成危害而设置的 22.5 t/km^2 的安全上限，例如，水稻每亩施氮量高达 12.6 kg ，氮肥利用率仅为 24%，肥料利用率低，大量养分流失进入环境，成为重要的面污染源，造成水体污染、土壤污染和大气污染以及农产品污染。

随着现代农业规模化、产业化发展，一方面，水稻种植面积大幅度下降，蔬菜、水果等经济作物面积迅速扩大；另一方面，种植制度向单一化方向发展，水田和菜地等连作障碍问题突显。集约化农业对外部资源的依赖程度很高，高投入引起的生态环境问题严重，同时，快速城市化和工业化导致的外源污染和畜牧业大规模发展引起的内源污染对农田生态系统的健康、农产品的安全和区域生态环境安全的威胁日益扩大。大量化学农药和化肥的投入，单一化的农作物种植，使农田生态环境污染日趋严重，农业生物多样性不断下降，病虫草害频繁暴发，农田生态系统的结构和功能日益退化。

按照循环经济的理念，发展循环农业，是建设现代农业、推进新农村的重大需求，也是建设资源节约型、环境友好型社会不可或缺的重要组成部分。针对珠江三角洲现代农业发展中的问题，开展现代高效益农田资源循环生物模式优化和配置，多元化农田农用化学品减量、有害物质减排，城乡废弃物纳入农田循环的清洁化处理等技术集成研究与示范，构建该区域集约化农田循环高效生产模式与技术体系，对促进珠江三角洲地区循环农业模式的形成和经济社会可持续发展具有重要的意义。

第一节 循环农业理论与技术原则

一、循环农业的概念

循环农业（Circular Agriculture）作为一种新型的农业发展理念，它用生态系统的观点把农业经济活动与自然生态循环融为一体，注重农业清洁生产和废弃物综合利用，以循环经济和生态学原理为指导，通过物质能量的多级循环利用，达到节约资源与减轻污染的目的，促使农业生态系统和经济系统逐渐向良性循环方向转变，实现农业生产的可持续发展。并通过农业生产方式与生产环境的改善，以科学技术为依托的农业资源合理利用，使得农业成本大幅度下降而生产力显著提高，农民收入稳步增长，促进农业、农村、农民的发展和进步（贾大明，2001；周玉梅，2002）。按照这种理念，循环型农业是一种生态效益、社会效益与经济效益并重的新型农业，有利于解决目前我国农业和农村发展中出现的资源浪费、环境污染、投入高、收益低等诸多问题，是农业可持续发展和社会进步的必然选择（周震峰等，2004）。

当前国内对循环农业的认识还在讨论之中。“循环农业”一词最早是由陈德敏、王文献于 2002 年提出的（陈德敏，王文献，2002）。高旺盛等认为循环农业是按照循环经济理念，通过农业生态经济系统设计和运行，实现物质能量资源的多层次、多级化的循环利用，达到农业系统的自然资源利用效率最大化、购买性资源投入最低化、可再生资源高效循环化、有害生物和污染物可控制化的产业目标。倡导一种以循环经济学原理为指导的农业生产和农业资源循环利用模式，概括了循环农业的基本内涵（高旺盛等，2007）。发展循环农业的关键是资源的综合循环利用。

二、循环农业的基本原则

循环经济模式所采取的实施原则，一般倡导“3R”原则，即减量化（Reduce）、再利用（Reuse）、再循环（Recycle）。循环农业理念源于循环经济理论，其宏观依据是“3R”理论。但不同于经济系统，现代农业系统的运转除受经济规律的制约外，生物与生物、生物与环境间的互作关系均是调控系统的重要理论依据。

循环农业与传统农业的主要区别在于：

（1）在产业发展理念上，循环农业更加注意把循环经济理念应用到农业生产中，提倡农业生产全过程和农产品生命周期的过程控制。

（2）在生产方式方面，循环型农业摒弃了常规农业一味地追求高投入、高产出、高消耗、高排放的生产方式，注重建立资源利用高效率、外部投入最低化、污染排放最少化的生产目标。

（3）在产业模式上，常规传统农业往往局限于农业系统内部的小产业，忽略与相关产业的链接和循环。循环农业从整体角度构建农业及其相关产业的物质循环产业体系，使农业系统与生态工业系统相互交织构成大产业系统。

建立循环农业体系，应主要依据以下基本原理：

（1）能量耗散低熵原理。合理投入是人类对农业系统加强控制的关键途径，不能将循环农业理解为低投入甚至不投入的农业。那种认为只要依靠循环就可以实现耗散系统平衡的认识是非科学的。

（2）资源循环再生原理。农业系统的资源类型可以划分为四种类型：一是光热水等自然资源，需要周年高效循环利用；二是化肥、农药、机械等系统外购买性资源，需要尽量减少不合理投入并提高效率；三是秸秆、粪便等农业生产中间废弃资源，需要再生利用；四是农业系统排放到大气和地下的

有害物质和温室气体等，要实现可预见、可控制，减少无效排放。因此，农业系统内循环和系统外反馈循环相结合，才能提高能量转化率和物质循环利用率。

(3) 物质组链加环原理。利用不同营养级的动物和微生物，分级、分次反复循环和利用，使上一级循环转移到下一级的物质，再次转化为能够为人们直接利用的生物产品和生物质能。因此，通过食物链加环、组链，减少非生产循环，增强生产循环，提高物质循环周转率，生产出更多的产品，减少废弃物排放。

(4) 生物互相作用原理。发展循环农业产业体系，要充分利用这种复杂的生态作用，合理配置生物的生态位，利用生物之间自身的相互作用，设计资源利用最大立体种植、生物固氮、生物防治、生物干预等生态化技术，实现循环农业的目标。

(5) 生态经济协调原理。在特定条件下，农业的经济功能往往和生态功能处于矛盾之中，因此，需要按照生态经济协调的原则设计循环农业产业体系，既要获得合理的生产力，又要将其建立在资源环境可承受范围之内，形成一种“经济高效、技术可行、生态安全、环境友好、社会认可”的可持续农业模式。

高旺盛等(2007)认为，循环农业的核心技术原则应当是坚持“4R 原则”，即减量化(Reduce)、再循环(Recycle)、再利用(Reuse)、可控化(Regulation)原则。

(1) 减量化(Reduce)原则：我国目前农业生产过程中外源购买性能源投入居高不下，能源消耗大。化肥、农药、农膜、灌溉、农机等现代人工能量的投入，大大加速了农业生产的发展水平，但也同时扩大了对化石能源的消耗，增加了生产成本。发展循环农业，必须根据减量化的原则，尽量减少农业系统外部购买性资源的投入量，实现源头输入技术的科学化。

(2) 再循环(Recycle)原则：我国是光热资源相对比较丰富的国家，尤其是大部分高产农田地区具有充分利用光热资源，但是目前农业生产对光热等可更新自然资源利用效率总体不高，发展循环农业需要按照再循环的原则，对光热水等可更新资源尽量进行周年循环化高效能地利用。发展农田循环种植模式的潜力。

(3) 再利用(Reuse)原则：我国农业生产中的废弃物种类繁多，数量巨大，但仅有 1/5 农业废弃物被利用。发展循环农业必须按照再利用的原则，对农业生产过程中残留剩余的秸秆、粪便等中间资源，要尽量多级化地再利用。

(4) 可控化(Regulation)原则：我国农业生产过程化肥、农药、农膜等现代化学能源投入强度大，造成温室气体排放、面源污染、硝酸盐污染、重金属污染及农药残留等重要环境问题。因此，发展循环还要注重对于农业系统向界面外部排放的有害、有毒的各种物质要实现技术的可控制化，减少污染排放。

三、现代循环农业的技术联结体系

(一) 农田内循环模式

最常见的模式之一是搭配不同作物，形成间套复合群体、复种体系、轮作体系，通过不同作物品种在资源需求种类、数量和时空上的互补，提高农业资源的转化效率；第二种模式是农田尺度上的作物的动物之间的配搭，如稻田养鸭、养鱼、养蟹、养青蛙等动物取食农田杂草和小动物，动物粪便回田成为作物肥料；第三种模式是作物与土壤微生物之间的合理搭配，即通过开发专用微生物菌肥，提高作物对土壤养分的吸收利用效率，提供化学投入物减量化的基础；第四种模式是以秸秆为纽带的前后茬作物间的搭配，即在充分考虑秸秆分解物的化学成分、数量前提下，结合堆肥、微生物辅助降解等手段，提高系统内废弃物的资源化水平。

（二）“产业链”模式

“产业链”模式是循环农业技术最简单的结构模式，主要功能是将传统生产或低效益生产方式中非循环的、短链的结构，通过生物接口或工业接口组装为高综合效益的长链循环结构。在生产实践中，该模式最普遍的连接方式是“种植—养殖—种植”，但在不同区域，应气候条件、农业生产方式、产业结构的不同，形成的产业链形式多样、各具特色，例如北方地区形成的“小麦、玉米—牛—双孢菇”、华南地区的“水稻、玉米—牛—双孢菇”、“蔗—牛—菇”，南北方大面积应用的“猪—沼—菜”、“猪—沼—果”等模式均是科学配置反刍类动物、草腐菌、厌氧微生物，将废弃物转化为供人类直接消费的产品，同时将农田产出物闭路回返土壤，形成了农业生产投入物减量化的重要基础。

依托工业的循环链拓展模式。农业生产过程中产生的许多非目标性产品，在无法通过动物、微生物转化为供人类利用的产品或者转化效率较低时，借助工业手段将其转化为高附加值的产品，延长了产品链、创造了经济效益。例如作物秸秆气化作为燃料，将棉花、向日葵、葡萄等作物的秸秆或枯枝作为建筑材料原料等多样化的工业加环模式已普遍存在。这些模式虽未形成闭合循环链，但创造了通过经济途径补偿农田输出物质的可能，提高了农业的现代化水平。

（三）“链—网”模式

农业生产过程中的非目标性产品，在其被再次资源化的过程中，往往会产生大量的次级废弃物，沿次级废弃物设计新的拓展链条自然会形成不同产业链构成的产业网。同时，以废弃物资源化产品为平台，也容易衍生出新的农业或非农产业链条，提供建立产业群、产业网的基本元素。农业生态系统中，当不同产业链构成网状结构时，容易形成多样化的循环亚系统，可从不同途径优化物质、能量投入的结构，并使其功能显著提高。“链—网”模式是循环农业模式的高级形式，多会涉及高附加值产业的参与，特别是现代工业的融入。例如广西贵糖（集团）股份有限公司创造了多门类工业和种植业相结合的产业网系统：甘蔗园是起点，生产出工业原料甘蔗，由甘蔗发展出糖、纸、酒精、建材等产品，而终级废弃物与煤灰被制作为肥料重新回到了蔗田。

（四）“单元系统→多元系统”模式

农业产业内部的循环模式最为常见，这种模式能够满足以生产食物、加工原料为主要目标的传统农业需求，而难以满足现代社会对农业功能多样化的要求，建立与工业、市场、旅游服务行业相结合的多元系统循环，将对促进农业生产的高效化、持续化、多功能化产生积极促进的作用。事实上，以“种植—养殖—工业—营销系统”、“农业—工业—旅游业系统”等跨系统循环生产模式在现代农业中的应用越来越普遍，例如蚌埠丰原集团以玉米为起始点，可带动淀粉、制药、燃料酒精、食品和专用饲料生产的发展，同时可带动畜禽养殖、食用菌栽培、有机蔬菜产业；再如沈阳市的辽宁亚洲红集团集葡萄栽培园、酿造和制药厂以及葡萄园观光为一体，形成种植业、现代农产品加工业、观光旅游业有机结合的复合系统。

农业循环模式由“产业链”、“链—网”模式向“多元系统的升级”，不仅创造了同一产业内部形成循环链、提高产业功能的可能，同时形成了在不同产业、不同系统内部寻求最佳循环生产模式的条件，更容易提供现代科技成果物化的平台，在产业融合点不断增多的现代社会中具有更为广泛的应用前景，也将是未来循环农业战略体系构建重点考虑的方向。

四、现代循环农业的功能体系

（一）增效作用

在循环农业模式的运转过程中，以物质为载体，带动了能量的多层次流动和价值流的扩增，同时形成了接纳劳动力的各种接口，实现了经济、生态和社会效益的同步提高。在不同类型的循环模式中，由于接口技术性质的不同，延伸产业功能的不同，各模式体现出的三大效益间存在较大区别，在选择特定区域主导模式时，应根据试区农业发展的需求、面临的重大障碍进行针对性筛选，以突出某一方面的功能。

（二）产业融合作用

现代循环农业的最终目标是在投入减量化的前提下实现综合效益的提高，保证这一目标实现的支撑点在于科学技术、市场、服务、保障机制等多种要素的融合，而循环农业的发展提供了不同产业融合的坚实平台。其中，现代生物技术、工业技术、信息技术等高新技术在循环农业模式中的融入，不仅增殖了新型循环途径，同时使循环模式的功能趋向高效、多元化；市场、服务和保障机制的建立健全，形成了循环模式高效运转的非物质支撑体系，增大了循环模式与社会需求之间的吻合度，丰富了农业发展的补偿渠道。

（三）生态保护作用

以优化物质投入、阻控有害物质产生、资源化利用废弃物为主要调控切入点的循环农业，充分考虑了农业生态系统的承载潜力以及对有害物质的自净能力，有利于生态环境的保护。事实上，循环农业在农田层次上考虑了通过种间作用提高养分利用效率，进而降低化学投入物的策略；在产业链模式的设计中，考虑了通过不同途径多元利用有机物质，减小有害物质向大气、土壤系统的释放；在不同产业系统之间考虑了产业链的交叉互补，减小了对资源系统的压力，即循环农业从农田、涉农产业、产业群及相关辅助系统构成了生态环境的保护体系。

（四）可持续发展保障作用

不可更新资源的减量化投入，农业生产过程有害物质的有效减少，产业或产业群与社会需求吻合度的提高，使得循环农业具备可持续利用资源环境、可持续产生经济效益和社会效益的功能，是农业可持续发展的重要保障之一。

第二节 珠江三角洲的自然地理环境

一、地理位置及行政区划

珠江三角洲是组成珠江的西江、北江和东江入海时冲击沉淀而成的一个三角洲，位于广东省大陆的中南部，地理上位于东经 $111^{\circ}59' \sim 115^{\circ}26'$ ，北纬 $21^{\circ}27' \sim 23^{\circ}56'$ ，绝大部分属于热带范围。珠江三角洲地区包括广州、深圳、珠海、佛山、江门、中山、东莞和惠州市的惠城区、惠阳、惠东、博罗及肇庆市的瑞州区、鼎湖区、高要、四会等地（图 1-1）。全区共辖 326 个镇，5 480 个行政村。珠江三角洲是中国人口密度最高的地区之一，也是中国南部的经济和金融中心。



图 1-1 珠江三角洲区域示意图

二、土地资源与人口分布

珠江三角洲全区土地总面积 4.17 万 km^2 ，占全省总面积的 23.2%，其中耕地 69.93 万 hm^2 ，园地 25.49 万 hm^2 ，林地 118.99 万 hm^2 ，建设用地（包括城市建设用地、建制镇建设用地和村庄建设用地）76.04 万 hm^2 ，未利用土地 34.72 万 hm^2 。耕地中，灌溉水田面积 51.75 万 hm^2 ，占耕地面积的 74%；水浇地面积 1.24 万 hm^2 ，占耕地面积的 1.77%；旱地面积 13.01 万 hm^2 ，占耕地面积的 18.6%；菜地面积 3.70 万 hm^2 ，占耕地面积的 5.29%。近年来实现国内生产总值占全省国内生产总值的 70% 左右。珠江三角洲是全国经济发展最迅速的地区之一。随着经济的快速发展，该地区的社会发展呈现出农村工业化程度高、城乡一体化进程快等特点。

2008 年珠江三角洲地区常住人口为 5 323.63 万，乡村人口 1 593 万，其中从事农林牧渔业的人数为 429.08 万人，占常住人口的 8%。2008 年全区产值 33 496.03 亿元，农业产值 583.98 亿元，占总 GDP 的 1.7%。2008 年全区耕地面积为 1 029.11 万亩，人均 0.19 亩。

珠江三角洲从地形界限看，罗平山脉是它的西面和北面的界限，即罗平山脉以西为西江谷地区，习惯上称为粤西山地；山脉以北为北江水系，或称为粤北山地。东侧罗浮山区是三角洲的东界。

三、地形与地貌

珠江三角洲原是一个多岛屿的海湾，由西、北、东三江夹带泥沙在海湾内不断堆积，逐渐淤高成平原。目前，东、西、北三面被山地围绕，南临南海，构成一个马蹄形海湾形状。该区域地势总体低平宽广，但区内地貌形态多样，主要有山地、丘陵、台地、河流冲积平原、三角洲和滨海平原，其中

平原占 80%，丘陵山地占 20%。

珠江三角洲地形地貌中最主要的是土壤肥沃的冲积平原，这也是我国最大的亚热带平原。较大的地貌有潭江冲积平原、台山滨海平原、高要盆地、四会绥江下游冲积洼地和冲积平原、广花平原、东江冲积平原洼地、深圳滨海平原、三角洲平原。

另外，还有约 1/5 的面积为丘陵、低山、台地和残丘等，越近南部河口，山岭越高，最高山峰达 500 多 m。三角洲平原的西、北、东三面为山岭包围，低山、丘陵、台地和河谷平原相间。在珠江口外还环列许多大大小小的岛屿，复杂多变的地形和复杂的土壤构成，形成经济的多种经营。肥沃而土层深厚的广大冲积平原适宜发展耕作业：平缓的丘陵、台地和海岛等适宜种植亚热带水果。散布在平原上的山丘，地势较高，不易水淹，地质基础也好。

四、自然气候

珠江三角洲绝大部分地区在北回归线以南，属亚热带季风气候，终年温暖湿润。年均温 21~23℃，最冷的 1 月均温 13~15℃，最低气温在 -1℃ 左右，最热的 7 月均温 28℃ 以上，年最高气温在 36.7~38.7℃ 之间。6~10 月，常有台风影响，降雨集中，天气最热。多年均降雨量在 1 600~2 300 mm 之间，最大为 2 250~2 850 mm，最小在 1 000 mm 左右，雨量集中在夏季，冬季较少，雨季旱季分明。该地区日照时数年达 1 900~2 200 小时，多雨季节与高温季节同步，土壤肥沃，河道纵横，对农业有利。降水比较集中在 4~9 月，占年总降雨量的 80% 以上。

夏秋多台风雨，在三角洲地区破坏性不大，因四周有山丘保护，且对秋旱有助，这也是热带气候特点。侵入三角洲台风每年只有 1~2 次，1 次为期只有 4 天，但带来的雨量正好可以缓解秋旱。加上每年有 5~6 次台风影响三角洲区，故旱灾一般比水灾要轻。如加上台风、寒潮等，则风、寒、水、旱都是三角洲的灾害性因素。

夏季雨量由锋面、雷雨、对流雨、台风所成，暴雨时发（日雨量大于 50 mm）都可成灾，尤以前汛期和后汛期联合，使“龙舟水”和“慕仙水”连接起来时，成灾最大。旱灾主要由稳定高压所成，如 1964 年 11~12 月连续晴天达 43 天，故同前冬旱与早春旱相连，形成灾害。

由于三角洲广种热带性作物和果木，故寒害为患亦大。早春寒流日均温连续 4 天小于 10℃，即可烂秧；低于 15℃ 连续 5 天以上，早造死苗，返青亦慢；晚秋日均温低于 20℃ 一连 3 天以上即寒露风吹扬水稻花粉，致空粒减产；冬日低于 5℃ 即使热带作物受害，称为“暗霜”。

此外，龙卷风亦可造成灾害，群众称“屈尾龙”。1878 年 3 月白鹅潭起龙，毁屋 1 500 多家，覆舟死人数百，雾日不多，如广州雾日年均 4.8 天，因三角洲地面低层空气高温之故。

五、成土母质与土壤类型

（一）成土母质

珠江三角洲边缘的山地丘陵以及散布的岛状残丘出露有震旦系至下第三系的各类沉积岩以及不同时期侵入的花岗岩。平原上广泛分布着第四系沉积：三角洲顶部、边缘和丘陵地带为冲击洪积层，以粗颗粒的砂层和砂性土为主；中层及下部为海河交互沉积，以黏性土和淤泥为主；海岸带为海相沉积，以淤泥和淤泥质土为主。

珠江三角洲土壤的成土母岩、母质复杂，主要有河流沉积物、宽谷沉积洪积物、三角洲沉积物、滨海沉积物、花岗岩、砂页岩等。

（1）河流沉积物：珠江三角洲河流众多，水网密布，河流沉积物多分布于河流中下游沿河沿岸较近的地带，河流沉积物形成土壤的特点是土层深厚，质地均匀，土壤养分较丰富。

(2) 宽谷沉积洪积物：主要分布在珠江三角洲低丘中的宽谷平原或山间盆地，形成的土壤养分含量中上，各种养分含量较为协调。

(3) 三角洲沉积物：分布于高、中砂田和围田地区，形成的土壤熟化程度较高，保肥供肥性能好，质地较为黏重。

(4) 滨海沉积物：主要分布在江门、惠州、珠海等地，主要形成咸田、咸酸田、反酸田和滨海碱性砂田，土层深厚，养分含量丰富，潜在肥力高，但受海潮影响，土壤含盐量较高。

(5) 花岗岩：分布在珠江三角洲的谷地，多发育成坑田、垌田、梯田；旱地则发育成花岗岩赤红壤。

(6) 砂页岩：分布于广州北部、博罗、惠阳、东莞、增城、南海、新会、高要等地的低丘和盆地，发育的质地较为黏重。

(二) 土壤类型

珠江三角洲平原土地肥沃，耕地集中连片，河网密布，灌溉便利，运输方便，且气温温和，雨量充沛，水热同步，有利于稻谷、甘蔗、蚕桑、水果、花卉、蔬菜等喜温作物以及塘鱼的生长。农作物复种指数高，产量高。珠江三角洲平原周围的低丘地带，发展耕作条件稍逊于珠江三角洲，但部分坡度平缓，土地比较深厚的低丘地适宜亚热带果树的生长，东莞、增城、广州市郊、开平的等地，是重要的水果产地。这种优越的自然条件为珠江三角洲商品经济提供了有利的条件。

受气候、地形地貌、水文、成土母质以及人为活动的综合影响，土壤类型多样，分布复杂。根据全国第二次土壤普查结果，珠江三角洲范围的土壤可分为 5 个土类，包括水稻土、赤红壤、石灰土、紫色土和潮土，面积约 154.6 万 hm^2 (图 1-2)。其中水稻土为 129.9 万 hm^2 ，占 87.25%，赤红壤为 14.9 万 hm^2 ，占 10.05%。

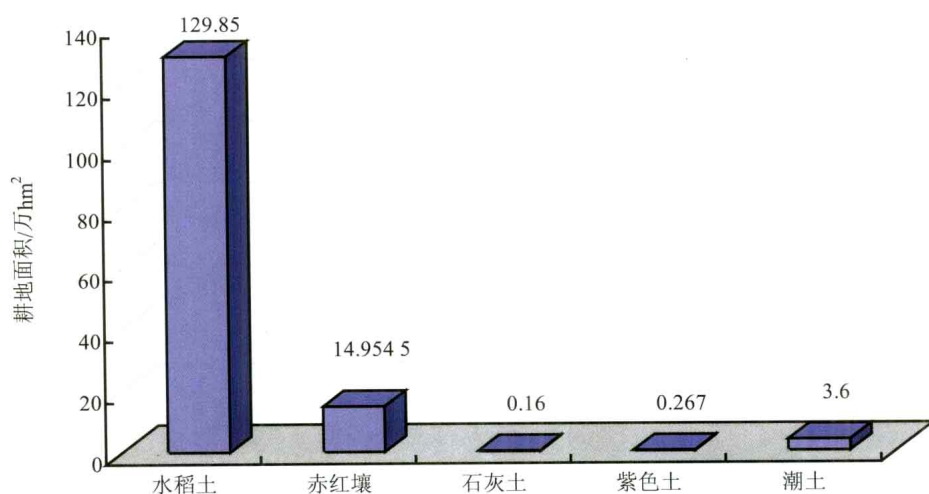


图 1-2 珠江三角洲耕地土壤类型面积

第三节 珠江三角洲的农业生产

一、珠江三角洲的农业生产发展历史

珠江三角洲地区水网密布，水土环境独特，当地劳动者在长期的生产实践中，积累了丰富的耕作

经验,形成了基塘农业等独具特色的农业生产形式,迄今已有几百年历史。其做法是将低洼易有洪患之处挖成池塘饲养鱼类,挖出的塘泥堆于周围,称为“基堤”,基堤上种植桑树、果树、甘蔗、花卉等,与鱼塘结合分别称为桑基鱼塘、蔗基鱼塘、果基鱼塘、菜基鱼塘。如此既能防洪,又能增加收入,而农作物在加工过程中产生的物料,尚可投入池中作为饲料,是一种具有生态特色的农业经营方式。比如,“基”上种植桑树,桑树可以养蚕,蚕沙投入池塘又可成为鱼的饵料,鱼类及微生物分解后的塘泥又成为“基”面上作物的肥料,两者相互促进,互为利用构成基、塘互养的水陆物质循环体系,提高了资源利用率和经济效益,这是我国农业生产上充分利用土地资源,变不利条件为有利条件,改造自然的突出典型。

随着农业生产部门的多样化和商品农业的发展,基塘农业的“基”和“塘”都发生了新的变化,表现为“基”上作物多样化,传统的种植桑树、果树、甘蔗等,已慢慢让位于蔬菜、花卉等利润高的结构类型,“塘”鱼养殖科学化,由传统的四大家鱼逐步转向养殖名贵和经济价值高的水产品。

珠江三角洲地区一直是我国重要的农业生产区,素以盛产粮、油、蔗、桑、鱼、水果著称。20世纪60~70年代,珠江三角洲是全国十大商品粮基地之一,三大蚕桑基地之一,最大的蔗糖基地和塘鱼基地,生产的荔枝、香蕉远近闻名。热带、亚热带水果有荔枝、柑橘、香蕉、菠萝、龙眼、杨桃、杧果、柚子、柠檬等50多种。

二、珠江三角洲的农业产值和种植业结构变化情况

(一) 农业产值情况

从1980—2008年,珠江三角洲的农业总产值不断提高(图1-3),种植业的产值也逐步提高,但比重却在不断下降,从1980年的67.7%下降到1994年的41%,1994年后一直稳定保持在40%左右。

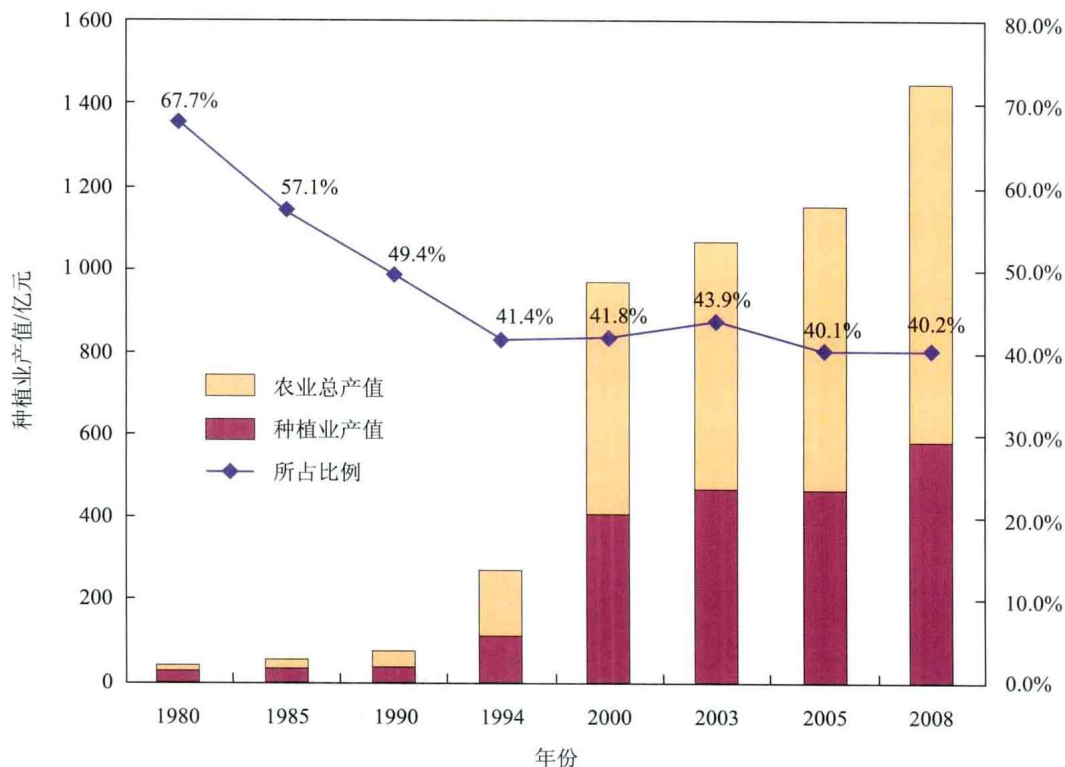


图 1-3 珠江三角洲 1980—2008 年种植业产值

(二) 种植业结构变化

自改革开放以来,珠江三角洲农业结构由传统的种植业为主向以城市市场与出口创汇为导向,以优质高效为目标的农林牧渔综合方向发展。

2008 年与 1980 年相比,粮食种植面积减少 68.64%,而蔬菜种植面积则增加 20.9%。其中粮食种植面积减少幅度较大的有东莞、南海和白云区,蔬菜种植面积增长幅度较大的有花都、惠阳、增城、南海、从化,蔬菜向大城市郊区扩展的趋势十分明显。

另外一个变化趋势是珠江三角洲的传统优势经济作物糖蔗、花生、蚕桑等由于产值较低其种植面积已大幅度缩减,昔日的“桑基鱼塘”生态循环模式已不复存在。与 1980 年相比,2008 年珠江三角洲糖蔗面积减少 94.7%,花生减少 71%、蚕桑减少了 90%以上。

与此同时,水果种植面积大幅度增加,2008 年主要水果种植面积(如荔枝、香蕉、柑橘、龙眼等)比 1980 年增长了近 5 倍。

2008 年珠江三角洲地区农作物种植结构中粮食作物和经济作物播种面积之比为 4.6:1,农业经营形成了以水稻、蔬菜、水果种植为主,花生、甘蔗、花卉和药材等多种作物种植为辅的生产格局。

三、珠江三角洲的耕地及农作物播种面积

(一) 耕地情况

根据广东省国土资源厅公布的数据统计,2004 年年末,珠江三角洲地区耕地面积为 699 344 hm^2 ,其中水田占 74%,旱地占 18.60%,菜地占 5.29%,水浇地占 1.78%,望天田占 0.33%。耕地面积较大的区域有江门市、广州市、江门市、肇庆市、惠州市等地。

改革开放以来,随着珠江三角洲地区经济的高速发展,该区域的耕地面积在急剧下降。据统计,从 1980—2004 年,珠江三角洲耕地面积从 96.77 万 hm^2 减少到 69.93 万 hm^2 ,减少 38.4%。从 1980—1996 年耕地减少严重的区域有白云区、东莞市、新会区、花都区、番禺区、高明区 6 个区(市),减少率达 30%以上;1996—2004 年耕地减少严重的区域有南海、东莞,减少率达 50%以上。这些都是珠江三角洲的核心区,而珠三角外围的从化、增城、台山、博罗、惠阳等市县耕地流失的速率相对较低。

(二) 农作物播种面积

根据广东省农村统计年鉴的数据统计,2008 年年末,珠江三角洲地区农作物的播种面积为 1 077 457.5 hm^2 ,其中稻谷占 48.55%,大豆占 0.8%,甘蔗占 0.53%,花生占 5.98%,木薯占 1.83%,蔬菜占 42.31%。农作物播种面积较大的区域有肇庆市、江门市、广州市、惠州市等地(表 1-1)。

表 1-1 2008 年年末珠江三角洲主要农作物播种面积

单位: hm^2

行政区域	稻谷	大豆	甘蔗	花生	木薯	蔬菜	总和
广州	69 492.3	959.3	258.9	6 012.7	279.2	136 940.7	213 943.1
深圳	0.0	0.0	0.5	1.3	0.0	6 534.9	6 536.7
珠海	5 581.7	97.5	1 418.5	264.5	11.3	6 108.0	13 481.6
佛山	13 756.7	181.3	4.7	1 765.9	77.3	57 964.6	73 750.5
惠州	84 680.2	2 573.0	970.4	20 308.5	79.0	83 472.7	192 083.8
东莞	1 252.1	29.5	22.7	39.1	0.0	19 174.5	20 517.9
中山	9 092.1	319.5	221.7	104.1	0.7	25 876.3	35 614.3
江门	172 323.5	2 342.7	2 078.8	11 770.9	3 287.5	54 022.7	245 826.1
肇庆	166 897.5	2 127.1	693.9	24 195.2	15 985.5	65 804.2	275 703.4
总和	523 076.1	8 630.0	5 670.3	64 462.3	19 720.5	455 898.5	1 077 457.5