

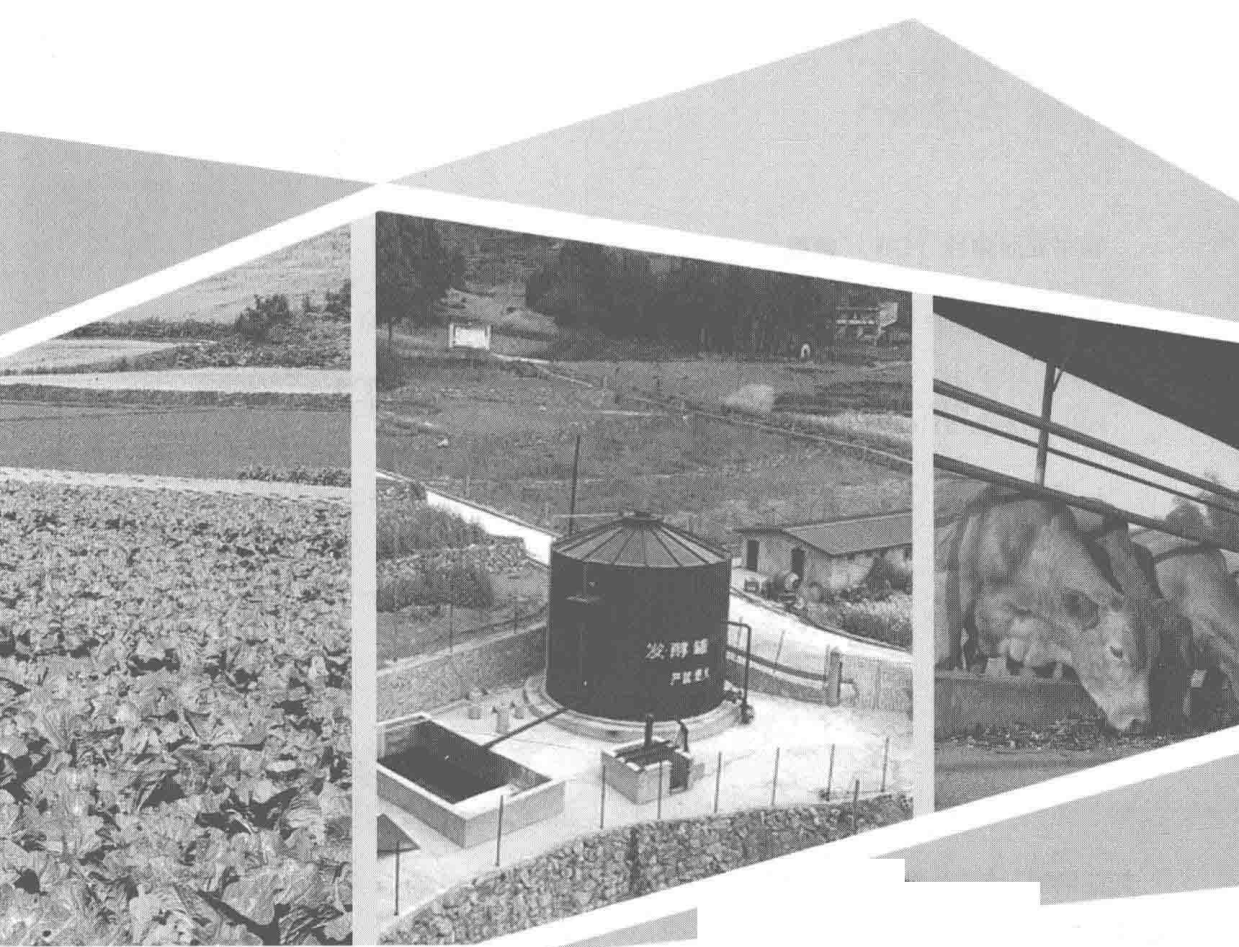


# 菜—沼—畜

## 循环农业模式与技术

◎ 全国农业技术推广服务中心 组织编写

中国农业科学技术出版社



# 菜—沼—畜

## 循环农业模式与技术

© 全国农业技术推广服务中心 组织编写

中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

菜—沼—畜循环农业模式与技术 / 别之龙, 王娟娟主编. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2019. 12

ISBN 978-7-5116-4455-8

I. ①菜… II. ①别…②王… III. ①生态农业-农业模式-研究②生态农业-农业技术-研究 IV. ①S-0

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 230783 号

责任编辑 于建慧

责任校对 李向荣

出版者 中国农业科学技术出版社

北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081

电 话 (010)82109708(编辑室) (010)82109702(发行部)

(010)82109709(读者服务部)

传 真 (010)82106650

网 址 <http://www.castp.cn>

经销者 各地新华书店

印刷者 北京富泰印刷有限责任公司

开 本 710mm×1 000mm 1/16

印 张 13.25

字 数 195 千字

版 次 2019 年 12 月第 1 版 2019 年 12 月第 1 次印刷

定 价 60.00 元

— 版权所有 · 翻印必究 —

# 《菜—沼—畜循环农业模式与技术》

## 编 委 会

主 编：别之龙 王娟娟  
副主编：李 莉 项朝阳  
编 者：朱 进 艾 平 付祖科  
          尚怀国 晏水平 王媛媛  
          贺清尧 王 明 孙丰宝  
          孙静宇 王克健

## 编者的话

种养结合是种植业和养殖业紧密衔接的生态农业模式，是将畜禽养殖产生的粪污作为种植业的肥源，种植业为养殖业提供饲料，并消纳养殖业废弃物，使物质和能量在动植物之间进行转换的循环式农业。它运用物质循环再生原理和物质多层次利用技术，实现较少废弃物的生产和提高资源利用效率，是一种环境友好型农作方式，具有较好的社会效益、经济效益和生态效益。

蔬菜是城乡居民生活必不可少的重要农产品，我国是蔬菜生产和消费第一大国，菜—沼—畜作为种养结合、循环农业的具体表现形式和组成部分，在促进化肥减量增效、提高产品质量效益、保护生态环境等方面发挥了重要作用。

本书全面阐述了我国蔬菜产业发展现状与实现产业绿色发展的有效路径；系统梳理了菜—沼—畜循环农业发展的背景意义、原理方式和应用模式；并结合沼气、沼渣、沼液的产生、运输和循环利用，围绕沼气池建设、发酵、沼渣沼液无害化处理等重点环节建立了一系列技术体系。本书还针对各地不同的设施类型和种植作物种类，收集了菜沼畜相关的应用案例和技术模式。

由于资料繁杂，时间紧迫，水平有限，且菜—沼—畜涉及的领域多，链条长，书中不足和不妥之处在所难免，恳请读者、同行和专家批评指正。

# 目 录

第一章 菜—沼—畜循环农业概述 .....	(1)
第一节 菜—沼—畜循环农业发展背景 .....	(1)
第二节 菜—沼—畜循环农业原理 .....	(4)
第二章 我国蔬菜产业的现状与绿色生产发展策略 .....	(11)
第一节 我国蔬菜产业发展的现状与有关问题 .....	(11)
第二节 我国蔬菜产业实现绿色生产发展的路径与策略 .....	(23)
第三章 沼气发酵的原料与条件 .....	(35)
第一节 沼气的性质与主要成分 .....	(35)
第二节 沼气发酵的条件 .....	(37)
第三节 沼气原料来源 .....	(45)
第四章 沼气沼液沼渣在蔬菜生产中的应用原理 .....	(49)
第一节 沼气在蔬菜生产中的应用 .....	(49)
第二节 沼液在蔬菜生产中的应用 .....	(52)
第三节 沼渣在蔬菜生产中的应用 .....	(54)
第五章 农村户用沼气池的建设与沼液利用 .....	(56)
第一节 农村户用沼气池的沼气发酵工艺 .....	(56)
第二节 农村户用沼气池的建造 .....	(59)
第三节 农村户用沼气池管理与沼肥应用 .....	(79)
第六章 大中型沼气的三沼利用 .....	(84)
第一节 大中型沼气的沼气发酵工艺 .....	(84)

第二节	大中型沼气工程的沼气发酵原料与发酵质量控制 .....	(90)
第三节	大中型沼气工程的沼液沼渣排放与利用 .....	(110)
第七章	沼液无害化处理 .....	(117)
第一节	沼液无害化处理技术 .....	(118)
第二节	沼液深度处理 .....	(135)
第三节	沼液处理案例 .....	(140)
第四节	沼液处理后沼肥工程 .....	(141)
第八章	沼液沼渣在露地蔬菜生产中的应用 .....	(147)
第一节	蔬菜的种类与分类 .....	(147)
第二节	沼液沼渣在露地叶菜上的应用 .....	(153)
第三节	沼液沼渣在露地茄果类上的应用 .....	(158)
第四节	沼液沼渣在其他露地蔬菜上的应用 .....	(162)
第五节	沼肥在蔬菜上推广应用的主要问题 .....	(166)
第九章	设施蔬菜沼气、沼液、沼渣的利用 .....	(169)
第一节	园艺设施的类型和设施蔬菜产业现状 .....	(169)
第二节	“四位一体”生态能源温室的建设与应用 .....	(177)
第三节	沼肥在设施茄果类蔬菜上的应用效果 .....	(184)
第四节	沼肥在设施瓜菜类蔬菜上的应用效果 .....	(189)
第五节	沼肥在设施蔬菜应用中应注意的问题 .....	(192)
参考文献	.....	(194)
附件	参考的标准 .....	(204)

# 第一章 菜—沼—畜循环农业概述

## 第一节 菜—沼—畜循环农业发展背景

随着农业集约化程度的提高和养殖业的快速发展,过量和不合理使用化肥、农药以及畜禽粪便直接排放造成污染的问题越来越突出。2014年,我国化肥施用量达到5 996万t,亩均化肥量远高于世界主要国家施肥水平。畜禽粪便含有农作物所必需的氮、磷、钾等多种营养成分,施于农田有助于改良土壤结构,提高土壤的有机质含量,提升耕地地力,减少化肥施用。1t粪便的养分含量相当于20~30 kg化肥,可生产60~80 m<sup>3</sup>沼气。而仅1年出栏万头猪的规模化养殖场每年就能够产生固体粪便约2 500 t、尿液约5 400 m<sup>3</sup>,可用于生产有机肥料,减少化肥的施用量。

近年来,我国畜禽养殖业发展迅速,由此带来的环境污染问题突出。2010年,公布《第一次全国污染源普查公报》数据显示,畜禽养殖业排放的污染物以化学需氧量累计达到1 268.26万t,占农业源排放总量的96%,总氮和总磷排放量分别为102.48万t和16.04万t,分别占农业源排放总量的38%和56%,全国有24个省份畜禽养殖场和养殖专业户排放的污染物以化学需氧量计占到该省农业源排放总量的90%以上。2015年,中国畜禽粪污产生量已达38亿t,综合利用率仅为60%。

种养结合是种植业和养殖业紧密衔接的生态农业模式,是将畜禽养殖产生的粪污作为种植业的肥源,种植业为养殖业提供饲料,并消纳养殖业废弃物,

使物质和能量在动植物之间进行转换的循环式农业。加快推动种养结合循环农业发展，是提高农业资源利用效率、保护农业生态环境、促进农业绿色发展的重要举措。目前，我国存在种植业和养殖业结合不紧密，资源转化利用率低的突出问题。

党中央、国务院高度重视农业循环经济发展。《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十三个五年规划的建议》要求“树立节约集约循环利用的资源观”“加大农业面源污染防治力度”“推进种养业废弃物资源化利用、无害化处理”。2015年，中共中央国务院一号文件（简称中央一号文件，全书同）明确指出“开展秸秆、畜禽粪便资源化利用和农田残膜回收区域性示范”“加大对生猪、奶牛、肉牛、肉羊标准化规模养殖场（小区）建设支持力度”。2016年，中央一号文件要求“启动实施种养结合循环农业示范工程”。国务院发布的《水污染防治行动计划》明确要求“自2016年起，新建、改建、扩建规模化畜禽养殖场（小区）要实施雨污分流、粪便污水资源化利用”。《畜禽规模养殖污染防治条例》明确“防治畜禽养殖污染，推进畜禽养殖废弃物的综合利用和无害化处理”。《土壤污染防治行动计划》指出，“加强畜禽粪便综合利用，在部分生猪大县开展种养业有机结合、循环发展试点”。《全国农业现代化规划（2016—2020年）》明确要“实施种养结合循环农业工程”。《全国农业可持续发展规划（2015—2030年）》也要求“优化调整种养业结构，促进种养循环、农牧结合、农林结合”。习近平总书记在中央财经领导小组第十四次会议讲话中指出“要坚持政府支持、企业主体、市场化运作的方针，以沼气和生物天然气为主要处理方向，以就地就近用于农村能源和农用有机肥为主要使用方向，力争在‘十三五’时期，基本解决大规模畜禽养殖场粪污处理和资源化问题”。

农业农村部2017年编制了《种养结合循环农业示范工程建设规划（2017—2020年）》（以下简称《规划》）。《规划》明确了建设总体思路，按照“以种带养、以养促种”的种养结合循环发展理念，以就地消纳、能量循环、综合利用为主线，以经济、生态和社会效益并重为导向，采取政府支持、

企业运营、社会参与、整县推进的运作方式，构建集约化、标准化、组织化、社会化相结合的种养加协调发展模式，探索典型县域种养业废弃物循环利用的综合性整体解决方案，形成县乡村企联动、建管运行结合的长效机制，有效防治农业面源污染，提高农业资源利用效率，推动农业发展方式转变，促进农业可持续发展。

《规划》明确提出了针对畜禽粪便循环利用的沼渣沼液还田项目和有机肥深加工项目。规划要求，预计到2020年，建成300个种养结合循环农业发展示范县，示范县种养业布局更加合理，基本实现作物秸秆、畜禽粪便的综合利用，畜禽粪污综合处理利用率达到75%以上，秸秆综合利用率达到90%以上。新增畜禽粪便处理利用能力2600万t，废水处理利用能力30000万t，秸秆综合利用能力3600万t。探索不同地域、不同体量、不同品种的种养结合循环农业典型模式。通过规模化种养加一体示范、种养业废弃物循环利用示范等项目建设，开展种养结合循环农业工程建设，实现“种养结合、废物循环再生、资源高效利用、生产清洁可控、区域种养业废弃物零排放和全消纳”的目标，进一步优化农业产业结构，提升农产品品质，增强农产品的市场竞争力。

蔬菜是城乡居民生活必不可少的重要农产品，我国是蔬菜生产和消费第一大国，2017年我国蔬菜播种面积为1998万hm<sup>2</sup>，蔬菜总产量达到6.9亿t。蔬菜供应基本均衡。随着南菜北运、西菜东调优势区域及设施蔬菜的发展，实现了周年供应，缓解了冬春淡季和夏秋淡季供求矛盾。蔬菜出口势头强劲。据中国海关统计，2018年，我国蔬菜出口数量为1124.6万t，出口金额为152.4亿美元，进口金额为8.3亿美元，蔬菜贸易顺差为144.1亿美元，居农产品之首。蔬菜产业的快速发展，使其从昔日的副食品逐步成为城乡居民生活必不可少的重要农产品，从昔日的“家庭菜园”逐步成为农业农村经济发展的支柱产业，从昔日的“一碟小菜”逐步成为关系社会稳定的重大民生问题。

尽管我国蔬菜产业取得的成绩突出，但生产也面临着不少突出问题，其中，化肥过量施用导致的面源污染就是其中之一，据国家大宗蔬菜产业技术体系养分管理岗位团队对全国蔬菜主产区的分析表明，我国蔬菜化肥养分（N+

$P_2O_5 + K_2O$ ) 用量平均为  $1\ 092.0\text{ kg/hm}^2$ , 是全国农作物化肥养分用量 ( $328.5\text{ kg/hm}^2$ ) 的 3.3 倍, 其中, 设施和露地蔬菜化肥养分用量平均分别为  $1\ 354.5\text{ kg/hm}^2$  和  $859.5\text{ kg/hm}^2$ , 分别是全国农作物化肥养分用量的 4.1 倍和 2.6 倍, 生产中偏施化肥的问题突出, 土壤有机质含量普遍处于中低水平, 土壤硝态氮和速效磷大量积累, 对生态环境构成了严重威胁, 反映了目前蔬菜生产中施肥不合理、有机肥施用不足的问题。

农业农村部制定了《到 2020 年化肥使用量零增长行动方案》和《开展果菜茶有机肥替代化肥行动方案》, 明确提出要按照“一控两减三基本”的要求, 深入开展化肥使用量零增长行动, 加快推进农业绿色发展, 方案中明确提出了要推广“菜—沼—畜”模式。在设施蔬菜集中产区, 依托种植大户和专业合作社, 与规模养殖相配套, 建立大型沼气设施, 将沼渣沼液施于设施蔬菜。

因此, 在蔬菜产业中推广应用“菜—沼—畜”循环农业生产模式, 是促进我国蔬菜产业实现化肥减量增效、产品提质增效、保护生态环境的现实需要, 也是促进我国蔬菜产业实现种养结合、发展循环农业, 实现蔬菜产业绿色可持续发展的需要。

## 第二节 菜—沼—畜循环农业原理

循环农业, 是指在农作系统中推进各种农业资源往复多层与高效流动的活动, 以此实现节能减排与增收的目的, 促进现代农业和农村的可持续发展。通俗地讲, 循环农业就是运用物质循环再生原理和物质多层次利用技术, 实现较少废弃物的生产和提高资源利用效率的农业生产方式。循环农业作为一种环境友好型农作方式, 具有较好的社会效益、经济效益和生态效益。只有不断输入技术、信息、资金, 使之成为充满活力的系统工程, 才能更好地推进农村资源循环利用和现代农业持续发展。

## 一、循环农业的基本原理

### 1. 循环农业的“四 R”原则

循环农业可以概括为“四 R”农业，即实现资源的再使用（Reuse）、再循环（Recycle）和污染或废弃物减量化（Reduce）、可控化（Regulate）的农业。

◎再使用（Reuse）：尽量减少进入生产和消费过程的物质量，节约资源使用，减少污染物的排放。

◎再循环（Recycle）：提高产品和服务的利用效率，减少一次用品污染；

◎减量化（Reduce）：物品完成使用功能后能够重新变成再生资源。

◎可控化（Regulate）：农业系统排放物质的最少输出控制。

### 2. 循环农业的基本特征

◎资源利用节约化：利用高新技术优化农业系统结构，按照“资源—农产品—农业废弃物—再生资源”反馈式流程组织农业生产，实现资源利用最大化。注重农业生产环境的改善和农田生物多样性的保护，并将其作为农业持续稳定发展的基础。

◎生产过程清洁化：提倡农业产业化经营，实施农业清洁生产，改善农业生产技术，适度使用环境友好“绿色”农用化学品，实现环境影响最小化。

◎农业废弃物资源化：延长农业生态产业链，通过废物利用、要素耦合等方式与相关产业形成协同发展的产业网络。

◎生产和生活的无害化：在农村地区实现“清洁”生活和节约型生活方式，倡导现代生活文明。

循环农业有其显著的基本特征或可概括如下。

（1）生态优先 生态循环农业就是一切从创造良好的农业生态环境出发，在良好的生态条件下，首先注重控制污染源头，在农作物种植环节从种植土壤、施用肥料、灌溉用水、病虫害防治到采后处理全程达到清洁生产标准，实行种、养、加，产、供、销整体生态良性循环。实现广义空间上的现代生态循环农业。

(2) 学科交叉 生态循环农业运用可持续发展战略思想,遵循生态学原理和经济学原理,建立起整体良好的农业生态系统,涉及生态学、生态经济学、生态工程学、生态技术学、循环经济学,以及微生物学、营销学、信息学等多领域、多学科。

(3) 物质循环 生态循环农业要求在各个产业链形成良性的物质循环。一是减量化。尽量减少进入生产和消费过程的物质量,节约资源使用,减少污染物排放。二是再利用。提高产品和服务的利用效率,减少一次用品污染。三是再循环。物质完成使用功能后,能够重新变成再生资源。四是可控化。通过全程设计,优化布局接口形成循环链,使上一级废弃物成为下一级生产环节的原料,周而复始,有序循环。

(4) 产业融合 生态循环农业集循环经济、创意经济、服务经济于一体,科技、文化、金融配套支撑,实现种植业、养殖业、微生物产业、加工业、营销业、旅游业等多产业融合发展,发挥各产业功能,整体实现较高的经济、生态、社会效益。

(5) 产品安全 生态循环农业着力做到资源利用节约化,生产过程清洁化,产业链条生态化,废弃物利用资源化,实现农业绿色发展,提供给消费者的农产品达到安全质量标准,不断满足消费者对绿色农产品的需求。

(6) 创新发展 生态循环农业是汲取传统农业精华,吸收国内外先进经验总结发展起来的新型农业发展方式,是大系统综合的新业态,是跨学科跨产业的新模式,是现代重要的战略性新兴产业。需要在实践中通过科技创新、机制创新、管理创新不断加以完善提高,实现健康发展。

## 二、循环农业技术的构建原理

### 1. 减量化 (Reduce) 原则

减量化原则具体到农业生产活动中,就是指“三个尽可能”:尽可能少的投入,尽可能少的排放,尽可能多用再生资源。投入的农业资源少了,产生的废弃物也就少了,这样就达到了控制污染量的目的。减量化原则上应用点主要

体现在农业上，应用减量化原则最科学、灵活的方法就是“九节一减”：

(1) 节地 选用高产优质的农作物新品种，生产同样重量的农产品，土地可大大减少；推行间（套）立体栽培先进技术等，提高复种指数。

(2) 节水 大力发展节水农业，推广先进实用节水技术。值得一提的是，我国水资源和土地资源相对发达国家来说非常紧张。据统计，我国农业灌溉水有效利用系数全国平均为 0.45，渠系利用系数只有 0.4~0.6，约有一半的水被浪费。

(3) 节种 种子企业提供高质量的种子，农民科学用种如推广水稻旱育稀植、抛秧技术和农作物营养土（钵）育苗小苗移栽等先进技术。

(4) 节肥 科学施肥，推介生态有机肥，递减化肥用量。

(5) 节药 科学合理使用农药，严禁生产与使用高毒、高残留农药和过量用药，大力推广综合防治、生物防治办法，大力发展沼气，用沼液部分代替农药，运用生态良性循环办法来吸引和繁殖各种鸟类，防治病虫害，采用各种科学的方法减少农药的使用量。

(6) 节电 大力推广各种先进的节电技术、设备、产品、工艺和科学的管理方法，节约广大农村的生产和生活用电。

(7) 节油 农业机械和农用运输设备中推行节油技术。

(8) 节柴（煤） 推广先进实用的省柴灶和用农作物秸秆、稻壳、木屑、竹屑废料加工的清洁碳，大力推广先进适用的节煤技术。

(9) 节粮 采用科学的养殖方法，畜牧提高养殖业的肉料比，节约粮食。

(10) 减人 有效转移农村劳动力，减少从事第一产业的农民。

减少化肥、农药等农用资料使用，节约土地、水等生产要素的使用，利用现代科学技术提高水资源和土地资源的利用效率，提高农业生产效率，这也是循环农业减量化原则贯彻的主要途径。

## 2. 再利用 (Reuse) 原则

再利用原则是指在现有技术经济条件下，尽可能多次及尽可能以多种方式使用资源，即将有利用价值的废弃物都作为资源利用起来，最终实现零排放。

在农业发展中，由于农产品是人类的消费品这一特殊性，被再使用非常困难，但是农业资源可以以初始的形式被多次使用，例如在生态农业综合开发中，将畜牧业与种植业结合在一起，利用生物发酵技术，可将农村中视为垃圾的家禽粪便、植物秸秆等进行发酵，产生的沼气成为用于生活无污染的燃气，沼渣则又成为地里的有机肥料。又如畜禽养殖冲洗水可用于灌溉农田，既增加了土地的肥沃，又没有随意排放污水。再使用原则在农业中的应用：一是要好做好农业废弃物肥料化工作，加快有机肥料的生产；二是要做好农业废弃物能源化工作。

### 3. 再循环 (Recycle) 原则

再循环原则是指将无法再利用的废弃物变成资源，重新转入生产领域再次利用，再次循环。农业再循环的链接形式有两类：一类是农产品在未使用的过程中质量就发生了变化，这种情况多见于在储存的过程中由于储存条件的变化发生霉变，或者在运输过程中发生意外，这样就不能按原用途消费，但可经过处理改变用途，既可以减少农业通过最终产品向系统外输出污染物，又能增加可利用的物质与能量来源，例如淀粉类可以加工成酒精。另一类是利用技术将已经发生变质的农产品加工成工业可用品，例如可降解地膜、生物柴油等。

当前再循环原则在循环农业中的应用重点要注意重视微生物在农业中的运用，注意开发白色农业技术和微生物的发酵技术。用再循环原则，大力发展“白色农业”——开发利用微生物资源，可以缓解能源与环保的矛盾。中外专家将微生物视作“宝贝”，给它取了个新名词——“白色农业”。

### 4. 可控制化 (Regulate) 原则

可控化原则，即设计并实施多要素优化组合，促进各个环节之间生产资源的有序链接与递进使用，实现相关接口的优化调控。可控化注重促进有益物质循环，防控有害物质进入循环环节，保障农业绿色生产目标实现。

循环农业的构建原理基本流程如图 1-1 所示。

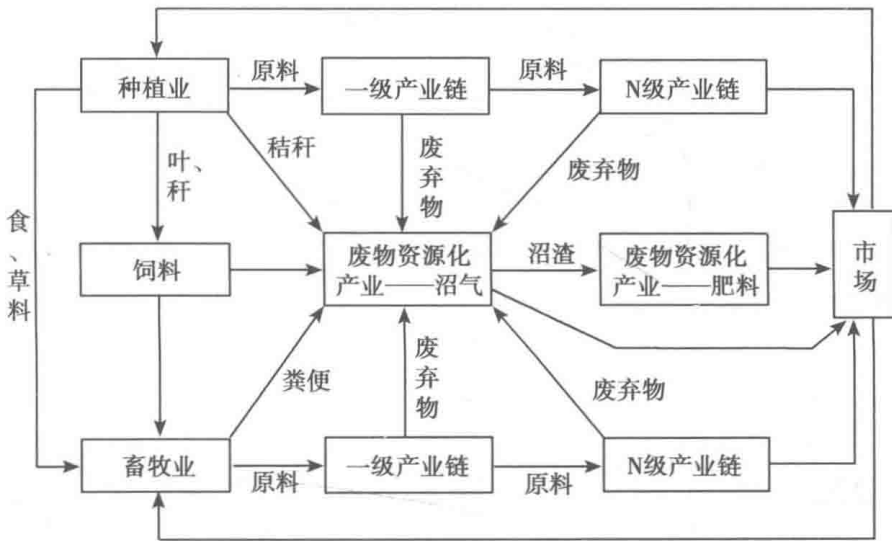


图 1-1 循环农业的基本原理

### 三、菜—沼—畜循环农业构建原理

菜—沼—畜循环农业构建的基本原理是以沼气发酵技术为纽带，将蔬菜种植和畜禽养殖相结合。达到物质循环、节约资源、废物在使用的循环农业模式，符合循环农业的“4R”基本原则，是属于循环农业的一种农业生产方式。其物质循环原理如图 1-2 所示。

蔬菜废弃物是蔬菜种植、收获及生产过程中常见的有机废物，具有产获集中、易腐烂发臭、孳生病菌和不易储存等问题。如处理不当，极易引发环境污染问题，尤其是对地表及地下水资源的污染。通过厌氧发酵方式，可以有效降解果蔬废弃物中的有机物质。一些不易被吸收的粗蛋白、粗纤维和脂肪在厌氧环境中，经过多种微生物作用，进行分解发酵。粗纤维分解成葡萄糖，粗蛋白分解成氨基酸。

养殖场排放的大量粪污，也是环境污染的重要源头之一。同样可以采用厌氧发酵方式来处理养殖粪污，粪污中有机物质被降解转化后，如氮、磷、钾等无机物质则被留在沼液中，刚好是植物生长所需要的营养物质。因此，粪污沼

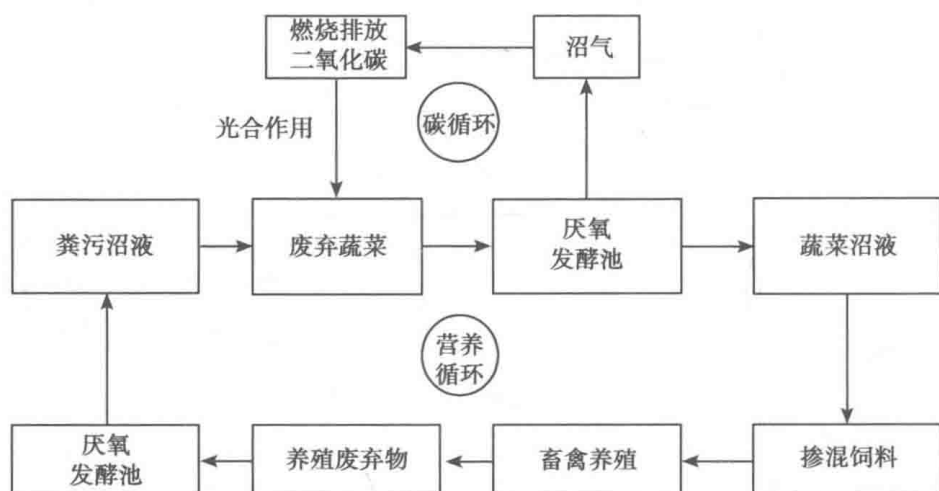


图 1-2 菜—沼—畜循环农业原理示意

液可以用来对果蔬种植进行施肥。但应用沼液进行施肥，必须充分考虑施肥量、施肥季节等因素对作物不同生长阶段的影响，以达到最佳施肥效果。

有机物在厌氧发酵过程中会产生大量的沼气，其主要由甲烷和二氧化碳组成，甲烷燃烧利用后同样可产生二氧化碳，而二氧化碳又可以被植物通过光合作用转化成有机物质。如进行温室果蔬种植，可将沼气通入温室内的燃烧装置，不仅可以向温室提供二氧化碳作为气肥，而且也可对温室进行加热保温，这对于我国北方地区秋冬季节的温室增温有特别意义。

综上所述，在“菜—沼—畜”这一循环农业生产方式中，不仅可达到“营养物质循环”和“碳循环”双重目的，而且在生产过程中无废气、废水、废渣的产生。这完全符合当代循环农业和生态农业的基本要求，即废弃蔬菜再利用、营养物质及碳再循环、果蔬及养殖粪污减量化排放、全过程污染物质可调控，刚好对应循环农业的“4R”原则。