

环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书



滕 应 骆永明 著

设施土壤

酞酸酯污染与生物修复研究

Phthalate Esters Pollution and Bioremediation
of Greenhouse Soils



科学出版社



环境科学出版社

设施土壤

盐渍化污染与生物修复研究

Environmental Salinization and Biological Remediation in Protected Soils

王成华 王成华 王成华 王成华 王成华

环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书

设施土壤酞酸酯污染 与生物修复研究

滕 应 骆永明 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统分析了我国设施农业发展过程中农膜和酞酸酯污染、风险评估与生物修复的最新研究成果。全书共九章,分别介绍我国设施农业发展、农膜应用现状及存在问题、土壤与植物中酞酸酯分析方法、设施农业区土壤及植物酞酸酯污染特征、酞酸酯污染生物毒性与健康风险、酞酸酯污染土壤的生物修复以及农膜污染防治与调控对策等,提出了解决我国设施农业土壤环境的关键问题与管理技术,具有重要的学术价值和现实指导意义。

本书可作为土壤学、环境科学、农学、生态学领域的科研工作者、研究生以及技术人员的参考书,也可作为高等院校、研究所相关专业的研究生课程的参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

设施土壤酞酸酯污染与生物修复研究/滕应,骆永明著. —北京:科学出版社, 2014. 7

(环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书)

ISBN 978-7-03-041249-2

I. ①设… II. ①滕… ②骆… III. ①土壤污染-污染防治-生物防治(环境污染) IV. ①X53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 133825 号

责任编辑:魏昌龙 周 丹/责任校对:李 影

责任印制:肖 兴/封面设计:许 瑞

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014年7月第 一 版 开本:B5 (720×1000)

2014年7月第一次印刷 印张:11 3/4

字数:236 000

定价:69.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书

序 言

我国作为一个发展中的人口大国，资源环境问题是长期制约经济社会可持续发展的重大问题。党中央、国务院高度重视环境保护工作，提出了建设生态文明、建设资源节约型与环境友好型社会、推进环境保护历史性转变、让江河湖泊休养生息、节能减排是转方式调结构的重要抓手、环境保护是重大民生问题、探索中国环保新道路等一系列新理念新举措。在科学发展观的指导下，“十一五”环境保护工作成效显著，在经济增长超过预期的情况下，主要污染物减排任务超额完成，环境质量持续改善。

随着当前经济的高速增长，资源环境约束进一步强化，环境保护正处于负重爬坡的艰难阶段。治污减排的压力有增无减，环境质量改善的压力不断加大，防范环境风险的压力持续增加，确保核与辐射安全的压力继续加大，应对全球环境问题的压力急剧加大。要破解发展经济与保护环境的难点，解决影响可持续发展和群众健康的突出环境问题，确保环保工作不断上台阶出亮点，必须充分依靠科技创新和科技进步，构建强大坚实的科技支撑体系。

2006年，我国发布了《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006～2020年）》（以下简称《规划纲要》），提出了建设创新型国家战略，科技事业进入了发展的快车道，环保科技也迎来了蓬勃发展的春天。为适应环境保护历史性转变和创新型国家建设的要求，原国家环境保护总局于2006年召开了第一次全国环保科技大会，出台了《关于增强环境科技创新能力的若干意见》，确立了科技兴环保战略，建设了环境科技创新体系、环境标准体系、环境技术管理体系三大工程。五年来，在广大环境科技工作者的努力下，水体污染控制与治理科技重大专项启动实施，科技投入持续增加，科技创新能力显著增强；发布了502项新标准，现行国家标准达1263项，环境标准体系建设实现了跨越式发展；完成了100余项环保技术文件的制修订工作，初步建成以重点行业污染防治技术政策、技术指南和工程技术规范为主要内容的国家环境技术管理体系。环境科技为全面完成“十一五”环保规划的各项任务起到了重要的引领和支撑作用。

为优化中央财政科技投入结构，支持市场机制不能有效配置资源的社会公益研究活动，“十一五”期间国家设立了公益性行业科研专项经费。根据财政部、科技部的总体部署，环保公益性行业科研专项紧密围绕《规划纲要》和《国家环境保护“十一五”科技发展规划》确定的重点领域和优先主题，立足环境管理中

的科技需求,积极开展应急性、培育性、基础性科学研究。“十一五”期间,环境保护部组织实施了公益性行业科研专项项目 234 项,涉及大气、水、生态、土壤、固废、核与辐射等领域,共有包括中央级科研院所、高等院校、地方环保科研单位和企业等几百家单位参与,逐步形成了优势互补、团结协作、良性竞争、共同发展的环保科技“统一战线”。目前,专项取得了重要研究成果,提出了一系列控制污染和改善环境质量技术方案,形成一批环境监测预警和监督管理技术体系,研发出一批与生态环境保护、国际履约、核与辐射安全相关的关键技术,提出了一系列环境标准、指南和技术规范建议,为解决我国环境保护和环境管理中急需的成套技术和政策制定提供了重要的科技支撑。

为广泛共享“十一五”期间环保公益性行业科研专项项目研究成果,及时总结项目组织管理经验,环境保护部科技标准司组织出版“十一五”环保公益性行业科研专项经费系列丛书。该丛书汇集了一批专项研究的代表性成果,具有较强的学术性和实用性,可以说是环境领域不可多得的资料文献。丛书的组织出版,在科技管理上也是一次很好的尝试,我们希望通过这一尝试,能够进一步活跃环保科技的学术氛围,促进科技成果的转化与应用,为探索中国环保新道路提供有力的科技支撑。

中华人民共和国环境保护部副部长

吴晓青

2011 年 10 月

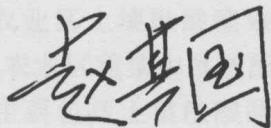
序 言

随着我国设施农业的发展,农膜已经成为我国设施农业生产必需的主要化学产品之一。但是这些农膜在提高农产品产量和质量的同时,由于农膜使用不合理,且降解过程中释放出一种环境激素酞酸酯持久性有机污染物,因而带来了设施土壤农膜及酞酸酯污染问题,严重影响到农产品安全和人体健康及“菜篮子”工程。因此,系统开展设施农业土壤农膜及酞酸酯污染、风险评估与生物修复研究,是农业环境科学与技术研究领域关注的重要内容之一。

《设施土壤酞酸酯污染与生物修复研究》一书认为,设施土壤是农业生态系统中受人类活动影响最为剧烈的环境系统,农膜的大量使用及释放的酞酸酯成为设施农业土壤的重要污染物,研究设施农业土壤农膜及酞酸酯污染、风险评估与生物修复,是我国农业环境科学和土壤修复学研究的重点。全书突出设施农业土壤问题—分析方法—污染风险—生物修复的主题,综合介绍设施农业土壤农膜使用环境问题、酞酸酯分析方法、污染特征、风险评估、植物修复、微生物修复及综合调控对策等方面的最新研究成果,具有重要的科学价值和实践意义。

该书是在“十一五”环保公益性行业科研专项经费项目(No.201109018)资助下,项目组三年来研究成果的系统总结。该书结构完整,内容丰富,图文并茂,具有系统性、前瞻性和指导性,是我国设施农业环境和土壤修复领域的一部系统著作。相信,该书的出版,将有益于土壤学、环境科学、生态学、农学等研究领域的广大科技工作者和研究生,将有力地丰富和推动我国土壤环境科学和土壤修复技术的发展。

中国科学院院士



2013年12月10日

前 言

设施土壤是农业生态系统中受人为活动干扰最为强烈的环境单元,尤其是农用化学品的高频、高剂量投入,是保障城市蔬菜供给与安全生存的重要环境。因此,设施农业土壤环境质量直接关系到蔬菜农产品质量、生态安全和人体健康,是农业环境科学与技术研究领域关注的重点之一。在“十二五”期间,中国科学院南京土壤研究所承担了环保公益性行业科研专项经费项目(No. 201109018),本项目选择我国典型设施农业生产区域,明确了设施农业条件下农膜使用、残留及回收处理处置的现状与主要环境问题,建立了土壤和植物中酞酸酯的分析方法,明确了典型区域设施土壤农膜及酞酸酯的污染状况与风险特征,研发了酞酸酯污染农田土壤的植物和微生物修复技术,提出基于设施土壤农膜污染综合控制对策,为环保部门管理和保障设施农业土壤环境质量提供决策依据和技术支持。项目主要依托于中国科学院南京土壤研究所的中国科学院土壤环境与污染修复重点实验室等。

本书是项目组对设施农业土壤农膜及酞酸酯污染与修复多年研究工作的总结。围绕设施土壤污染特征、风险评估与生物修复的主题,本书综合介绍了我国设施农膜应用现状及存在问题、土壤与植物中酞酸酯分析方法的优化、典型设施农业区土壤及植物的酞酸酯污染特征、酞酸酯污染生物毒性与健康风险、酞酸酯污染土壤的生物修复等研究方面的新进展。全书共分九章。第一章 设施农业发展、农膜应用现状及存在问题,在分析我国设施农业发展的基础上,重点介绍农膜应用现状及存在的主要环境问题;第二章 土壤与植物中酞酸酯分析方法的优化,主要包括土壤及植物样品中酞酸酯的提取方法、净化方法、测定方法以及分析质量控制与保证;第三章 设施农业区土壤及植物酞酸酯污染特征,主要包括我国设施土壤中酞酸酯的来源及污染现状、典型设施农业区土壤酞酸酯残留特征、农膜使用方式对土壤酞酸酯污染的影响、典型设施农业区蔬菜中酞酸酯残留特征等;第四章 设施土壤中酞酸酯的植物毒性效应,主要包括土壤酞酸酯对植物生长的影响和土壤酞酸酯对植物生理生化的影响等;第五章 设施土壤中酞酸酯的动物毒性效应,主要包括酞酸酯急性毒性对赤子爱胜蚓生长指标的影响、酞酸酯亚慢性毒性对赤子爱胜蚓的组织毒性、细胞毒性、基因毒性等;第六章 设施土壤中酞酸酯的污染风险评估,主要包括酞酸酯在生物体内积累状况、酞酸酯污染的健康风险评估方法以及典型区设施土壤酞酸酯污染的健康风险特征等;第七章 酞酸酯污染土壤的植物修复,主要包括豆科与禾本科植物间混作对酞酸酯

污染土壤的修复作用、紫花苜蓿与重金属修复植物间混作对酞酸酯污染土壤的修复作用、植物联合修复酞酸酯污染土壤的应用前景等；第八章 酞酸酯污染土壤的微生物修复，主要包括土壤酞酸酯降解菌的筛选、分离与鉴定、降解特性以及酞酸酯污染土壤的微生物修复效应等；第九章 设施农业中农膜污染防治与调控对策，主要包括设施农业中农膜应用的经济、技术、综合管理对策等。

本书是上述环保公益性行业科研专项经费项目团队的集体成果，其内容框架是由滕应研究员、骆永明研究员主持拟定和完成的。全书九章，具体的撰写分工如下：前言：骆永明；第一章：曹云者，滕应，汪军，柳晓娟；第二章：马婷婷，滕应，任文杰；第三章：滕应，汪军，马婷婷；第四章：马婷婷，滕应，马文亭；第五章：马婷婷，骆永明，滕应，马文亭；第六章：骆永明，滕应，汪军，马婷婷；第七章：滕应，马婷婷，骆永明，任文杰；第八章：汪军，滕应，骆永明；第九章：曹云者，滕应，柳晓娟，汪军。全书由滕应和骆永明统稿、定稿。在本书出版过程中，得到了环境保护部科技标准司领导的关心和指导，得到了赵其国院士的悉心指导和黄标研究员、胡文友博士的帮助，在此一并表示诚挚的谢意！

由于作者水平有限，书中难免存在疏漏之处，敬请各位同仁批评指正。

骆永明

2013年12月于南京

目 录

环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书序言

序言

前言

第一章 设施农业发展、农膜应用现状及存在问题	1
第一节 设施农业的发展现状	1
第二节 农膜分类、应用及残留现状	7
第三节 农膜生产使用及回收过程中存在的问题	12
第四节 我国部分典型设施农业区农膜使用现状调查	15
参考文献	24
第二章 土壤与植物中酞酸酯分析方法的优化	27
第一节 土壤与植物中酞酸酯分析方法概述	27
第二节 土壤中酞酸酯分析方法的优化	29
第三节 植物中酞酸酯分析方法的优化	42
第四节 酞酸酯分析的质量保证措施	44
参考文献	47
第三章 设施农业区土壤及植物酞酸酯污染特征	50
第一节 我国设施土壤中酞酸酯的来源及污染现状	51
第二节 典型设施农业区土壤酞酸酯污染特征	55
第三节 农膜使用方式对土壤酞酸酯污染的影响	59
第四节 典型设施农业区蔬菜中酞酸酯积累特征	62
参考文献	66
第四章 设施土壤中酞酸酯的植物毒性效应	70
第一节 土壤酞酸酯对植物生长的影响	70
第二节 土壤酞酸酯对植物生理生化的影响	75
参考文献	94
第五章 设施土壤中酞酸酯的动物毒性效应	96
第一节 酞酸酯急性毒性对赤子爱胜蚓 (<i>Eisenia foetida</i>) 生长指标的影响	96
第二节 酞酸酯亚慢性毒性对赤子爱胜蚓 (<i>Eisenia foetida</i>) 的组织毒性	98

第三节	酞酸酯亚慢性毒性对赤子爱胜蚓 (<i>Eisenia foetida</i>) 的细胞毒性	114
第四节	酞酸酯亚慢性毒性对赤子爱胜蚓 (<i>Eisenia foetida</i>) 的基因毒性	121
	参考文献	124
第六章	设施土壤中酞酸酯的污染风险评估	127
第一节	酞酸酯在生物体内的积累风险	127
第二节	酞酸酯污染的健康风险评估方法	130
第三节	典型区设施土壤酞酸酯污染的健康风险	135
	参考文献	138
第七章	酞酸酯污染土壤的植物修复	141
第一节	豆科与禾本科植物间作对酞酸酯污染土壤的修复作用	141
第二节	紫花苜蓿与修复植物组合对酞酸酯污染土壤的修复作用	150
第三节	植物与微生物联合修复酞酸酯污染土壤的应用前景	157
	参考文献	158
第八章	酞酸酯污染土壤的微生物修复	160
第一节	酞酸酯降解菌的筛选、分离与鉴定	160
第二节	酞酸酯降解菌的降解特性	163
第三节	酞酸酯污染土壤的微生物修复效应	165
	参考文献	168
第九章	设施农业中农膜污染防治与调控对策	169
第一节	设施农业中农膜应用的经济对策	169
第二节	设施农业中农膜应用的技术对策	171
第三节	设施农业中农膜应用的管理对策	172
	参考文献	174

第一章 设施农业发展、农膜应用现状及存在问题

设施农业属于高投入高产出，资金、技术、劳动力密集型的产业，是利用人工设施使传统农业逐步摆脱自然条件的束缚，实现农业现代化的一种有效方法。我国设施农业主要以日光温室、塑料大棚、小拱棚（遮阳棚）三类为主，也有少量的玻璃/PC板连栋温室。设施农业中大量使用塑料薄膜，农膜残留现象十分突出，残膜回收技术落后，导致较为严重的设施农业区环境污染。因此，本章较为系统地分析我国设施农业的发展、农膜使用现状以及农膜污染的环境问题，对进一步合理发展我国设施农业和优化农田环境管理具有重要的现实意义。

第一节 设施农业的发展现状

一、设施农业的概念、特点及发展历史

（一）设施农业的概念与特点

“设施农业”一词来源于日语中的“设施园艺”，部分欧美发达国家有“温室栽培”一词。随着相应技术的发展，相继出现了“设施园艺”、“设施畜牧业”、“设施水产业”、“设施栽培”等，作为一种新的农业生产类型，便产生了设施农业（毛罕平，2007；郭世荣等，2012）。设施农业是依靠现代科学技术形成的高技术产业，是农业实现规模化、商品化、现代化的集中体现，也是农业高产、优质、高效的有效措施。设施农业的发展程度已成为衡量一个国家农业现代化程度的重要标志之一（张乃明，2006）。

广义的设施农业包括设施种植和设施养殖，而狭义的设施农业指设施种植，通常也称为设施园艺（protected horticulture）或设施栽培（protected cultivation），是指在不适宜园艺作物（花卉、果树、蔬菜）生长发育的寒冷或炎热季节，利用保温、防寒或降温、防御设施、设备，人为地创造适宜园艺作物生长发育的小气候环境，不受或少受自然季节的影响而进行的园艺作物生产。本书论述仅指狭义的设施农业（张乃明，2006；张福墀，2001）。设施农业生产的特点包括：①设施农业的种植环境受到人为干预。设施农业是通过在植物周围人为建造以温室形式为主的设施来改变原本的植物生长环境，本身具有很大的主观能动性，人为干预和控制性强。②设施农业具有一定的地域性。地域差异带来各地气候、水体、土壤等环境的差异，面对不同的自然环境，如何使得当地作物能够更

加优质、多产,必然要求人为设计不同的设施农业条件。③设施农业具有农用物资高投入性。设施农业生产过程中需要投入大量农膜、农药、化肥等农用物资。④设施农业生产具有高科技和高附加值特点,发展设施农业需要相对较高建造及维护成本,也需要一定专业技术支持。现代设施农业已成为世界各国用以克服不利气候条件的影响,大幅度提高农产品产量和品质,实现全年作物生产均衡上市的有效方式。

(二) 设施农业的发展历史

设施农业发展历史悠久,早在18世纪,英国、荷兰就出现玻璃温室,20世纪60年代,美国成功研制无土栽培技术。1980年,亚洲和地中海地区温室数量迅速增加,使得当时全世界用于蔬菜和花卉生产的温室面积达22.0万公顷,期间欧洲南部的温室主要生产蔬菜,而北欧则主要生产附加值高的鲜花和观赏植物(毛罕平,2007)。但当时的设施园艺栽培水平不高,直到二战以后,随着塑料薄膜的出现和玻璃工艺技术的改进,设施园艺才得到快速的发展。

早在两千多年前,中国就开始使用透明度高的桐油纸作覆盖物进行时令蔬菜的栽培。但在真正意义上的设施农业发展较晚,20世纪70年代末,我国开始在一些大城市郊区进行以地膜覆盖、塑料拱棚和日光温室为主的保护地栽培。随后设施农业得到了长足发展,2010年我国园艺设施面积超过350万公顷,其中日光温室面积超过38万公顷;设施蔬菜总产量超过1.7亿吨,占蔬菜总产量的25%。同时,我国设施农业装备体系初步构建,支撑服务体系也已初步形成。发展设施农业得到了国家的高度重视,将加快园艺作物生产设施化、畜牧水产养殖规模化作为新一轮菜篮子工程建设的重点,并把“加快发展设施农业”作为推进农业结构战略性调整和加快发展现代农业的重要内容。可见,发展设施农业已成为我国实现农业现代化和农民创收的重要措施之一。

二、国内外设施农业发展现状与趋势

(一) 国外设施农业发展现状

国外设施农业起步较早,技术较成熟,其中技术最先进的国家有荷兰、日本、以色列、加拿大和美国。发达国家不仅重视高水平的设施建设和能源投入,而且非常注重生态环境保护和资源循环利用,配有先进的设施栽培管理技术,实现作物全天候生产。除此之外,法国、西班牙、澳大利亚和英国等国家的设施农业也具有较高水平。总体上,发达国家设施农业呈现的特点是:具有先进的设施环境综合调控方法、农业机械化技术、新型覆盖材料的开发与应用程度、规范化栽培技术、采收后作物的商品化及营销手段等,并不断向高科技、自动化、智能

化和网络化方向发展。而且设施农业作为支撑本国农业经济的重要产业，十分强调与生态环境相协调发展。表 1-1 和表 1-2 给出了世界部分国家设施农业面积、各设施类型面积的统计数据（郭世荣等，2012）。

表 1-1 世界各国设施农业面积（截至 2010 年底，单位：公顷）

国家	面积	国家	面积	国家	面积
中国	3 500 000	葡萄牙	2700	德国	3300
日本	49 049	塞浦路斯	733	罗马尼亚	7300
荷兰	10 800	埃及	32 800	波兰	6500
韩国	57 440	利比亚	5000	俄罗斯	6200
土耳其	49 746	叙利亚	4422	厄瓜多尔	2500
西班牙	71 698	突尼斯	8895	黑山	2250
意大利	72 800	希腊	14 981	克罗地亚	1410
以色列	26 000	巴西	17 000	匈牙利	5185
加拿大	2300	智利	1500	墨西哥	11 759
阿尔及利亚	6200	法国	26 500	澳大利亚	1300
黎巴嫩	4000	美国	27 000	英国	2419
约旦	3739	南斯拉夫	10 185	合计	4 055 611

表 1-2 主要国家设施农业的类型和面积（截至 2010 年底，单位：公顷）

国家	玻璃温室	塑料温室	拱棚	合计
中国	500	800 000	2 699 500	3 500 000
日本	2039	47 010	—	47 049
韩国	300	1700	55 440	57 440
荷兰	10 800	—	—	10 800
意大利	5800	37 000	30 000	72 800
西班牙	4800	53 843	13 055	71 698
美国	5000	22 000	—	27 000
加拿大	780	1520	—	2300
以色列	—	11 000	15 000	26 000
埃及	1000	6800	25 000	32 800

“—” 未统计或没有数据。

(二) 发达国家设施农业发展现状

1. 日本

目前，日本是世界上设施栽培技术最先进、栽培面积发展最迅速的国家之

一。日本的温室设施类型以塑料温室为主,截至 2010 年底,日本设施农业总面积为 4.9 万公顷,其中塑料温室面积约 4.7 万公顷,占温室总面积的 95.9%,余下的为玻璃温室,其面积为 2039 公顷,占温室总面积的 4.1%。在发展设施农业的过程中,日本十分注重温室结构与性能的改进。目前,日本先进的温室配套设施和综合环境调控技术已处于世界先进行列。日本的温室具有较高的智能化、可控水平,可以通过计算机控制温度、湿度、二氧化碳浓度和肥料等因子,可全天候地监测设施内栽培植物所需的环境条件。而且日本设施农业具有较高的机械化、工业化水平,生产过程中经常使用小型、轻便、多功能、高性能的农业耕作机具和机器人等。据不完全统计,目前日本的植物工厂已达到 150 余家(郭世荣等,2012)。

2. 美国

美国早期的设施温室类型主要以木质结构为主,覆盖材料大多为玻璃。20 世纪 70 年代以后,温室大多为金属骨架材料,并采用了成本较低的覆盖材料,开始使用保温性能更佳的 PC 板,出现了一些自动化控温等技术(郑光华,1999)。截至 2010 年底,美国设施农业总面积为 2.7 万公顷,其中塑料温室 2.2 万公顷,占温室总面积的 81.5%,其余均为玻璃温室,仅占温室总面积的 18.5%。美国的温室多数为大型连栋温室,主要分布在南方的加利福尼亚州、亚利桑那州和东南部的佛罗里达州,美国建有世界最大的单栋温室,面积达 15 公顷。在设施栽培综合环境控制技术、设施园艺设备和生产管理技术等方面,开发的高压雾化降温、加湿系统以及夏季降温用的湿帘降温系统、环境控制传感器设备处于世界领先地位,有 82%的温室使用计算机进行环境控制,有 67%的温室种植者使用计算机,27%的农户还运用了网络技术。美国是无土栽培技术的重要发源地,其无土栽培知识和技术普及程度较高,还应用到探索太空农业和循环可再生生态系统方面(郭世荣等,2012)。

3. 以色列

以色列是一个沙漠面积占国土面积一半的国家,可耕土地有限且淡水资源极为匮乏,因此大力发展节水型设施农业成为以色列农业发展的重中之重。设施温室类型以塑料温室和大中小塑料拱棚为主,截至 2010 年,设施面积分别为 1.1 万公顷和 1.5 万公顷,分别占总设施面积的 42.3%和 57.7%。为了适合沙漠环境,以色列研发出一种适用于沙漠地带的太阳能温室,主要由移动帘幕、太阳能电池和热量处理设备三部分组成,可以达到白天吸收光照,夜间减少温室内部热量散失的作用。为了解决缺水难题,这种温室系统还同时配备计算机程控间歇性喷洒系统或滴灌系统,从而保证有限的水资源得以最合理的利用。此外,以色列

还在温室覆盖材料、构造稳定性方面取得了巨大成就。以色列研制出世界领先的温室覆盖材料,覆盖材料主要包括聚乙烯和聚碳酸酯,材料坚固耐用,能对透过的太阳光进行光谱控制,以影响作物的生长,能防止强风的破坏,使用寿命长。

4. 荷兰

荷兰耕地资源短缺,设施农业是以提高土地单位面积产量和发展高附加值的温室园艺作物为主要特色。截至2010年,荷兰设施农业总面积达到1.1万公顷,且全部为玻璃温室的设施温室类型。设施农业已成为荷兰农业创收的主要支撑点,目前荷兰设施农业创造的农业产值约占全国农业总产值的20%,年出口额达 3.9×10^9 美元,占全国农产品出口额的50.0% (张志斌,2012)。设施农业工业化水平较高,研制出先进的设施环境智能控制系统,例如根据作物对环境的不同需求,设施内的温、光、水、气、肥等环境因子可以全面有效地自动监测与调控,使设施土壤连作障碍不成为影响作物生长的限制因子。同时,荷兰现代化温室的标准化程度也相对较高,表现出高标准的现代农业产业化水平 (张志斌,2012)。

(三) 国外设施农业的发展趋势

近年来,随着农业环境工程技术的突破,集成了现代生物技术和工程技术的设施农业,其技术含量越来越高,并朝着自动化、智能化和网络化方向发展。总体而言,国外设施农业的发展呈现以下趋势:

1. 设施建筑的大型化

发达国家设施农业温室建造正向大型化方向发展。每栋温室的面积基本上都在7.5亩以上,连栋温室得到普遍推广,温室的室高在4.5 m以上,最高达到6 m左右,温室空间扩大后,可进行立体栽培,便于机械化作业。

2. 设施设备的机械化和自动化

发达国家对温度、湿度、光照度等设施内部环境因素的调控已由过去单因子人工控制向多因子机械化和自动化控制系统发展。已建立了较为完备的设施农业的耕作机械设备、播种育苗和灌溉施肥的装置,体现了小型、轻便、多功能、高性能的优点,在设施农业的播种、育苗、定植、管理、收获、包装、运输等方面作业实现了机械一体化。同时,无线传感器网络技术、现代通信技术、智能控制技术、计算机视觉技术和空间技术等也不断应用于设施农业领域,使设施设备不断向自动化、智能化和网络化的方向发展。

3. 新型覆盖材料的研制

北欧国家多用玻璃,法国等南欧国家多用塑料,美国多用聚乙烯膜双层覆盖,日本多应用聚氯乙烯膜。温室覆盖材料呈多样化特点,且材料的保温、透光、遮阳、光谱选择性能渐趋完善,例如聚碳酸酯塑料板透光好,耐冲击强度高,使用寿命长;双层或多层聚碳酸中空板,重量轻、保温好、价格比较便宜。目前一些国家研发并应用可降解薄膜,以避免农膜残留的环境危害。

4. 环保温室节水、防虫技术的开发

为防治温室内部的化学物质的污染,发达国家重视在温室内减少农药使用量,发展超低量喷雾设备,大力发展生物防治技术。同时,十分重视在温室内部使用喷灌或滴灌等节水灌溉系统。各国设施农业的发展重心开始转向节能方向,主要途径包括发展风能、太阳能、地热资源及工业余热利用技术;改善温室结构与覆盖材料、小气候控制等提高能源利用效率的措施等。

(四) 我国设施农业发展现状与趋势

改革开放以来,我国设施农业取得了长足的发展,仅设施栽培面积由 2007 年的 4500 多万亩,发展到 2011 年近 6700 万亩,居世界首位(秦海生等, 2013)。截至 2012 年,设施园艺总面积约为 379 万公顷,日光温室 92.8 万公顷,占 24.5%。2010 年,设施蔬菜 335 万公顷,占 94.9%,设施果树 7.9 万公顷,占 2.6%,设施花卉 6.4 万公顷,占 2.5%(仝芳丽等, 2013)。

我国设施农业紧跟国际先进水平,正在由传统的粗放型向现代集约化转变,由单纯追求数量向追求质量效益型转变。我国设施农业的发展主要呈现出 2 个特点:①设施农业标准化。目前,已大量涌现出一大批因地制宜的设施农业产业园区。以往散户居多的生产形式正逐渐改变为集约化的合作社或公司,形成区域化、系列化、成套化、标准化的建筑设施及相关设备,以及标准化的配套栽培技术。②设施农业的资源合理性发展。高效节能、无公害清洁生产将是设施发展的大趋势。一直以来,农民盲目追求产量使得农药、化肥等农用资源过分使用,尤其在设施农业这种集约型的生产模式下更是严重,直接危害就是土壤受到严重破坏,甚至影响到作物的产量和质量。因此,我国应发展生态型设施农业,以市场为导向,科技为先导,降低生产成本,提高产品质量,发展一条适合我国国情的设施农业生态高值新模式(毛罕平, 2007)。