



设施菜地重金属 累积特征与防控对策

◎ 李莲芳 等 著



中国农业科学技术出版社



设施菜地重金属 累积特征与防控对策

◎ 李莲芳 等 著



中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

设施菜地重金属累积特征与防控对策 / 李莲芳等著. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2016. 12

ISBN 978 - 7 - 5116 - 2907 - 4

I. ①设… II. ①李… III. ①菜园 - 土壤污染 - 重金属污染 - 污染防治 IV. ①X53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 318066 号

责任编辑 徐定娜
责任校对 贾海霞

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)82106626(编辑室) (010)82109702(发行部)
(010)82109709(读者服务部)
传 真 (010)82109707
网 址 <http://www.castp.cn>
经 销 者 各地新华书店
印 刷 者 北京科信印刷有限公司
开 本 710mm × 1 000mm 1/16
印 张 9.5
字 数 166 千字
版 次 2016 年 12 月第 1 版 2016 年 12 月第 1 次印刷
定 价 36.00 元

课题资助说明

本专著出版得到以下课题资助：

- “十二五”国家科技支撑计划课题“重金属超标农田原位钝化/固定与农艺调控技术研究（2015BAD05B01）”
- 国家自然科学基金课题“高风险农田中砷的生物有效性及微生物调控机制（41001187）”
- 国家基础性工作专项“我国大宗农产品加工原料重金属污染调查（2015FY111300）”
- “十二五”水体污染控制与治理科技重大专项“南淝河流域农村有机废弃物及农田养分流失污染控制技术与示范课题（2013ZX07103 - 006）”

《设施菜地重金属累积特征与防控对策》

著 作 人 员

主 著：李莲芳

副主著：朱昌雄

著 者：（按姓氏拼音排序）

黄宏坤 李 峰 李红娜 李莲芳

李晓华 吴翠霞 叶 婧 朱昌雄

前 言

如何增加食物的生产来养活日益增加的人口是未来世界面临的最大挑战之一，这其中很大程度上需要依靠集约化农业来增加食物的生产和供应量。自 1860 年美国建立世界上第一个温室栽培试验站至第二次世界大战结束，随着廉价聚乙烯塑料的推广使用，全球设施农业得到快速发展，无论是发达国家还是发展中国家都纷纷加大了设施农业的发展力度，建造了大批各种不同类型的温室用于蔬菜的生产，以提高产量和效益。集约化设施农业的蓬勃发展，给世界农业的发展带来了新的机遇，也给我国传统农业注入了生机与活力。

据有关资料统计，目前全世界拥有温室种植的总面积为 397.9 万公顷，其中亚洲、地中海各国、北欧各占全球温室总面积的 84.7%，31.7% 和 2.2%。设施栽培农业也因此成为全球最重要的农业生产方式之一，发达国家中尤以日本、荷兰、美国、以色列等国处于国际领先水平。虽然我国的设施农业的发展起步较晚，但其在丰富百姓的菜篮子、米袋子及加快农民致富等方面发挥了不可低估的作用，也为稳定农业的基础地位、推动国家“三农”建设及满足人们日益增长的生活需求方面，发挥了不可低估的作用。当前，我国的设施蔬菜栽培面积已占世界设施栽培总面积的 50% 以上，无论是种植面积、产量还是产值均居世界首位。至 2010 年我国设施蔬菜总产量超过 1.7 亿 t，占蔬菜总产量的 25%。设施农业已成为我国现代农业的重要组成部分，设施蔬菜与广大民众的生产生活及身体健康密切相关。事实上，我国早在两千多年前就有蔬菜、花卉的温室栽培记载，但是直到 20 世纪末才得到较大的发展，当前我国设施蔬菜面积已占菜地面积高达 30% 以上，设施蔬菜的总产量超过 1.7 亿吨，占蔬菜总产量的 25%，年产值超过 4 000 亿元，据预测，到 2050 年，人均蔬菜消费将增长 50%，需求增长 75%。蔬菜作为老百姓日常生活中各种营养物质的重要来源，其品质安全不仅关系到我们每个人的生命健康，还关系着我国粮食的自给程度，蔬菜产业的发展与国家食品质量和数量双重安全等涉及重大国计民生的需求相关，正如习近平总书记所说“中国人的饭碗要牢牢地掌握在自己手中”，维持设

施栽培农业的健康有序发展,对解决我国当前的十三亿人口的吃饭问题提供了有力保障。

值得注意的是,随着设施栽培农业的不断发展,其带来的诸多环境问题也逐渐引起业界人士的广泛关注。我国的设施蔬菜产业普遍存在依靠超高量的农业投入品以维持设施栽培产业稳定增收的现象,由此也带来了农业产地中作物连作障碍、病虫害加剧、土壤盐渍化、土壤酸化、土壤养分累积及淋溶风险等新的环境问题,其中土壤蔬菜系统重金属累积与安全风险增加是其中最为突出的环境问题之一,成为业界关注的焦点和难点。由于重金属一旦进入土壤,就很难去除,重金属污染具有累积的长期性、隐蔽性、潜在危害性和不可逆性,且其能通过食物链放大作用进入人体,重金属污染土壤的修复一直是世界性难题,确保蔬菜的安全无污染理应成为我国食品安全建设的重中之重,设施菜地重金属的累积已成为威胁设施菜地环境安全的重要因素。以往诸多研究涉及传统露地蔬菜种植及菜地的重金属污染及风险等相关方面,尤其是对受工矿活动影响、“三废”直接排放、污水灌溉及垃圾农用等引发的菜地及蔬菜重金属污染问题关注较多,而对于设施土壤植物系统尤其是设施菜地蔬菜系统中重金属的累积、运移规律及相关机制方面的关注尚少。

在当前机遇和挑战并存的新形势下,设施土壤尤其是设施菜地的产地环境质量是否健康安全,已成为影响我国设施农业可持续发展及土地资源可持续利用的重要瓶颈。本书籍以此为契机,在国家科技支撑计划等课题的支持下,重点在对山东寿光、河南商丘和吉林四平典型区域菜地土壤及蔬菜中的重金属累积过程系统深入研究的基础上,对设施土壤蔬菜系统重金属的累积特征进行了阐述,揭示了设施菜地重金属的来源,并提出了相应的防控对策,为下一步设施菜地重金属累积防控及蔬菜的安全生产提供依据。本研究的相关成果不仅丰富了农业环境学科的理论和方法,对高等院校、科研单位从业人员及开展农业环境保护的基层工作人员,也具有一定的借鉴作用和参考价值。

限于作者水平等诸多因素限制,一定存在很多不足甚至错误之处,尤其在一些观点的表达及有关机理的探讨方面显得肤浅,参考文献的引用上也会存在不少疏漏,敬请广大同行专家及读者提出批评意见。

著 者

2016 年 10 月

目 录

第一章 设施农业概述	(1)
一、设施农业的内涵	(1)
二、设施农业的特征	(2)
三、国际设施农业发展历程	(3)
四、我国设施农业发展现状	(7)
小 结	(9)
第二章 设施栽培产业土壤环境问题	(10)
一、土壤盐渍化问题	(10)
二、土壤养分累积与淋溶	(10)
三、土壤酸化明显	(11)
四、连作障碍加剧	(11)
五、重金属累积	(11)
六、研究发展态势	(12)
小 结	(12)
第三章 山东寿光设施菜地重金属的累积规律	(14)
一、不同农业利用方式对土壤重金属累积的影响	(15)
二、设施菜地重金属的含量特征	(17)
三、设施菜地土壤重金属随时间的演变趋势	(19)
四、多元统计分析	(21)
小 结	(24)
第四章 河南商丘设施菜地重金属的累积特征	(25)
一、不同农业利用方式下土壤重金属的含量特征	(26)

二、设施菜地土壤重金属含量	(28)
三、设施菜地土壤重金属随时间的累积趋势	(30)
四、各重金属含量间的相关关系与主成分分析	(32)
小 结	(34)
第五章 吉林四平设施菜地重金属的累积规律	(36)
一、不同农业利用方式下土壤重金属含量特征	(38)
二、设施菜地土壤中重金属含量	(39)
三、设施菜地土壤重金属随时间的演变趋势	(40)
四、设施菜地各重金属含量间的相互关系	(43)
小 结	(46)
第六章 设施菜地重金属在土壤剖面的迁移	(48)
一、山东寿光设施土壤剖面中重金属的迁移特征	(50)
二、甘肃武威设施菜地重金属的迁移	(54)
三、设施菜地土壤剖面中重金属迁移的原因分析	(61)
小 结	(62)
第七章 设施菜地重金属累积的驱动力分析	(63)
一、典型区域设施蔬菜种植基本情况	(64)
二、典型区域重金属的驱动力分析	(65)
三、设施菜地投入品中重金属含量状况	(78)
四、畜禽粪便等有机肥中重金属含量超标问题	(81)
五、肥料施用对设施菜地重金属累积的贡献	(82)
小 结	(84)
第八章 设施菜地重金属的平衡估算	(86)
一、蔬菜试验地概况	(89)
二、设施菜地重金属的输入	(90)
三、设施菜地重金属的输出	(94)
四、设施菜地重金属的平衡估算	(98)

小 结	(102)
第九章 设施土壤重金属累积与农产品质量	(103)
一、蔬菜重金属含量状况	(103)
二、设施年限对设施土壤和蔬菜累积重金属的影响	(105)
三、施肥制度对设施土壤和蔬菜累积重金属的影响	(106)
四、不同蔬菜对重金属富集能力差异	(109)
小 结	(109)
第十章 设施菜地重金属累积防控策略	(111)
一、源头监控	(111)
二、过程阻控	(117)
三、土壤重金属污染修复	(119)
小 结	(122)
参考文献	(124)
后 记	(139)

第一章 设施农业概述

设施农业是运用现代工业技术成果和方法为农产品生产提供可以人为控制和调节的环境条件,使光、热、水、土、气、肥等资源得到充分利用,也使植物或动物处于最佳的生长状态,从而更加有效地保证农产品产量,提高农产品质量、生产规模和经济效益,以促进农业现代化发展的一种新型生产方式。设施农业集工程技术、信息技术、生物技术、环境技术为一体,具有农机与农艺融合、农机化与信息化融合,技术装备化、过程科学化、方式集约化、管理现代化的特点,可有效增强农业综合生产能力、抗风险能力和市场竞争力,显著提高土地产出率、资源利用率和劳动生产率。促进设施农业科学健康发展,对发展农业现代化、繁荣农村经济、促进农民增收、保障农产品有效供给都具有十分重要而深远的意义。

设施农业需采用具有特定结构和性能的设施、工程技术和和管理技术,改善或创造局部环境,为种植业、养殖业及其产品的储藏保鲜等提供相对可控制的最适宜温度、湿度、光照度等环境条件,以期充分利用土壤、气候和生物潜能,是在一定程度上摆脱对自然环境的依赖来进行有效生产的农业。它是获得速生、高产、优质、高效的农产品现代农业生产方式,是世界各国用以提供新鲜农产品的主要技术措施,与动植物生产相关的设施养殖和设施栽培是设施农业的主体。

一、设施农业的内涵

设施农业是在不适宜生物生长发育的环境条件下,通过维护结构设施,把一定的空间与外界环境隔离开来,形成具有一定程度的封闭性系统,在充分利用自然环境条件的基础上,人为地创造生物生长发育的温度、湿度、光照、水分、养分等环境条件,实现高产、高效和优质生产的现代化农业生产方式。

设施农业从广义上讲可分为设施栽培和设施养殖两种类型,设施栽培主要是指蔬菜、花卉及瓜果类等作物的设施栽培,设施包含各类塑料棚、

温室、人工气候室以及相关配套设备；设施养殖主要是指家畜、家禽、水产品 and 特种动物的设施养殖，设施包含各类保温、遮荫棚舍和现代集约化的饲养畜禽舍及相关配套设施设备。设施农业从狭义上讲主要包括塑料大棚、温室和植物工厂3种不同技术层次的设施类型，我国应用较为广泛的是塑料大棚、日光温室和连栋温室。其中，节能日光温室为我国独创，其节能栽培技术居国际领先地位，能够在不用人工加温或者仅有少量加温的条件下进行黄瓜等喜温性蔬果的生产，当前栽培种类也由蔬菜扩展到花卉、观赏木本植物及草莓、葡萄、桃等园艺植物。

二、设施农业的特征

设施农业是一种新的生产技术体系，属于高投入、高产出，资金、技术密集型的产业，是农业生态系统的一个子系统，因此，它除具有农业生态系统的一般特征之外，与传统农业相比较，还具有下列显著特征。

1. 科技含量高，抗灾能力强

设施农业是先进的生物技术、工程技术、机械技术、现代信息技术、通信技术和管理技术的高度集成，涵盖了建筑、材料、机械、通信、自动控制、环境、栽培、管理与经营等学科领域的系统工程，科技含量高。与此同时，设施农业对农业生产的各个环节都进行人为的干预和控制，使农业生产及农产品的储藏不再受到自然条件的限制，从而增强了抵御灾害的能力。

2. 反季节生产成为可能

设施农业能够根据不同生物种类或者同一生物在不同生育阶段对温度、湿度、光照等环境因子的需求进行人为的控制，使其完全摆脱自然条件的束缚，从而克服了严寒、炎热等不利气候影响，实现周年生产、均衡上市，而且使产量成倍增长、品质大幅度提高。

3. 高投入与高产出

设施农业打破了传统农业地域和季节的自然限制，在一个相对封闭的环境中，通过采暖设备、通风与降温设备、光照设备、CO₂气体调节设备等各种调控设备的综合运用，能够为动植物生长提供一个最佳的生长条件，

以最大限度地提高产量。同时,农业设施中动植物的生长环境相对封闭,能够最大限度地减少外界病菌、害虫的侵扰,从而为生产无公害的绿色食品提供保障。

4. 具有经济、社会、生态三重性

首先,设施农业通过对生产环境条件的有效控制,使农业生产摆脱自然环境的束缚,实现周年性、全天候和反季节的规模化生产,产量得到大幅度提高,同时土地周年利用率也明显提高,从而提高经济效益;其次设施农业为人们的餐桌提供新鲜、健康、安全、丰富的农副产品,满足广大人民群众对各种农产品的市场需求,从而取得社会效益;第三,设施农业可使农业资源得到优化配置和高效利用,并改善农业生态环境,从而取得生态效益。

5. 地域差异性显著

设施农业生态系统具有显著的地域差异性,北方和南方的设施大棚的类型、温室结构、设施栽培的作物品系及栽培技术等方面均存在较大差别。

三、国际设施农业发展历程

1. 设施农业发展概况

设施农业的发展历史久远。在国外,公元前4世纪已有著作记述植物被种在保护地上生长;到公元初期的罗马时代,已利用透明的云母片覆盖黄瓜,使之提早成熟;15—16世纪,英国、荷兰、法国和日本等国家就开始建造简易的温室,栽培时令蔬菜或小水果;17—18世纪,法国、英国、荷兰等国家已出现玻璃温室;19世纪初,英国学者开始大量研究温室屋面的坡度对进光量的影响以及温室加温设备问题,英国、荷兰、法国等国家出现了双屋面玻璃温室,这个时期,温室主要栽培黄瓜、甜瓜、葡萄、柑橘、甜橙和凤梨等;19世纪温室栽培技术从欧洲传入美洲及世界各地,中国、日本、朝鲜等国家开始建造单屋面温室。1860年美国建立了世界上第一个温室栽培试验站,到20世纪初,美国已有1000多个温室用于冬季栽培蔬菜,有1100hm²的温室用于生产鲜花和观赏植物,550hm²温室生产蔬菜,生产的蔬菜中番茄占43%,黄瓜占33%。20世纪50—60年代,美国、加拿

大的温室发展与生产达到高峰。20 世纪 60 年代, 美国研制成功无土栽培技术, 使温室栽培技术产生一次大变革。到 70 年代初, 美国已有 400hm^2 无土栽培温室用于生产黄瓜、番茄等。1980 年, 全世界用于蔬菜生产的温室面积达 16.5万 hm^2 , 年总产值达 300 亿美元, 用于花卉生产的温室 5.5万 hm^2 , 年总产值达 160 亿美元, 这个时期的亚洲和地中海地区温室数量迅速增加。欧洲南部的温室主要生产蔬菜, 而北欧的温室则主要生产附加值高的鲜花和观赏植物。这个时期, 中国的塑料大棚面积达到 290万 hm^2 , 主要生产蔬菜和鲜花。

随着果树栽培集约化的发展, 世界各国的果树生产已开始注重果树的设施栽培。18 世纪就开始了果树的设施栽培, 但较大量发展还是近 20 ~ 30 年。果树设施栽培作为露地栽培的特殊形式, 主要是利用温室、塑料大棚或其他设施, 改变或控制果树的生长发育环境条件, 达到果树生产的人工调节。80 年代以来, 果树设施栽培发展迅速, 其主要原因是: 小冠整形与矮化密植栽培技术的推广应用, 包括矮化品种的选育, 果品淡季市场的高额利润, 园艺物资材料的改进; 工业高新技术所带来的环境条件控制自动化及生物技术的广泛应用。由于设施栽培果树可以实现高度集约化管理, 其产量可比露地栽培高 2 ~ 4 倍, 经济效益可提高 3 ~ 4 倍。日本是世界上果树设施栽培面积最大、技术最先进的国家。

目前, 世界上设施栽培中使用最多的一种类型是地膜覆盖, 这在中国、日本、韩国和地中海地区应用最广泛。温室主要集中在荷兰及欧洲一些国家, 中国、日本、美国、意大利等国家广泛应用塑料大棚。设施栽培的园艺作物主要是蔬菜 (黄瓜、番茄等), 中国、日本和地中海国家主要种植草莓和葡萄。鲜花、盆景及观赏植物也是设施栽培的主要园艺作物, 美国 90% 的温室用于生产鲜花和观赏植物。英国、日本、丹麦、中国等国家设施栽培的园艺作物也由单一的蔬菜转向花卉和观赏植物。20 年来, 塑料大棚作为一种简便有效的设施栽培手段在世界许多国家蓬勃兴起。世界上玻璃温室主要集中在北欧国家。玻璃温室因其造价高、更新困难而限制了它的发展。近年来, 采用高强塑料膜 (PVC) 取代玻璃, 用于温室生产已成为世界设施农业发展的一个趋势。塑料温室以其成本低、更新容易等特点得以迅速发展。日本是当今世界上温室面积较大、又集中发展塑料温室的国家, 塑料温室面积占总面积的 96%。除日本外, 西班牙、法国、意大利等地中海沿岸国家塑料温室发展速度也很快。这些国家选择在光热资源较为充足的地区, 建立起大面积的温室群。塑料温室的覆盖材料大多是农用薄

膜,主要品种是聚乙烯(PE)、聚氯乙烯(PVC)和醋酸乙烯(EVA)3种,还有一部分温室选用玻璃纤维树脂板(FRA或FRP)作为覆盖材料。

近年来,受石油危机和国际市场石油价格因素的影响,温室燃料费用大幅度提高。面对这一现实,温室生产大国积极寻求节能对策来降低温室的生产成本。主要是开发温室生产新能源,对温室生产提出了栽培技术、建造结构、环境管理三位一体的发展方针,以尽量减少能源消耗。一些国家在温室生产中十分注重废热利用,主要是利用工业余热和地热资源。在设施农业发展进程中,无土栽培正在改变着设施栽培的传统种植方法,成为当今世界栽培学领域里飞速发展的一项新技术。无土栽培具有节水、节能、省工、省肥、减轻土壤污染、防止连作障碍、减轻土壤传播病虫害等多方面优点,已引起世界各国关注。无土栽培有多种形式,但以简便、实用、投资少、效益高的岩棉培、袋培、浅层营养液培(NET)3种形式应用面积大。据报道,设施栽培面积在1万 hm^2 以上的国家有日本、西班牙、荷兰、韩国、土耳其等;面积在3000~5000 hm^2 的国家有加拿大、美国、意大利、英国、葡萄牙、罗马尼亚、捷克、希腊、哥伦比亚;面积在1500~2000 hm^2 的国家有以色列、德国、比利时、埃及、智利、保加利亚、突尼斯、利比亚等。近年来,随着农业生物环境工程控制技术的突破,大规模的现代设施农业迅速发展起来,发展成为一种集约化程度很高的现代农业生产技术。随着现代工业向农业的渗透和微电子技术的应用,集约型设施农业在荷兰、美国、日本等发达国家得到迅速发展,开发并形成了一套包含品种选育、环境调控、水肥管理等在内的技术和设备体系,并形成了一个强大的支柱产业。因而,国外的设施农业大体上经历了阳畦、小棚、中棚、塑料大棚、普通温室、现代化温室、植物工厂,即由低水平到高科技含量、自动化控制的发展阶段。现代化的植物工厂能在全封闭、智能化控制条件下,按设计流程实施全天候生产,真正实现了农业生产工业化。

2. 典型发达国家设施农业的特点

荷兰国土面积狭小,属于典型的人多地少国家,但是却能依靠现代农业,成为了仅次于美国、法国的世界第三大农业出口大国。荷兰是世界上应用玻璃温室最先进的国家,全国温室总面积达1.2万 hm^2 ,占全世界玻璃温室的1/4,主要用于种植蔬菜和花卉。而且温室技术设施先进,能全面有效地调控温室温度、光照、水分、肥料等环境条件。高效的温室设施使作物生产摆脱了自然气候的束缚,造就了荷兰发达的生态农业,其商品率高

达 90% 以上。

以色列位于中东地区，其中沙漠占 2/3，是世界上淡水资源十分匮乏的国家之一，且大部分地区地下水含盐量过高，利用难度大。根据本国的实际情况，以色列走出一条知识、资本与科技密集型的道路，其中节水灌溉技术处于世界领先地位。节水灌溉集成系统中，现代化的滴灌和喷灌系统都配备有测定温度、湿度、二氧化碳浓度等环境因子的电子传感器和测定分析水、肥需求的计算机，人们在办公室就可进行遥控指挥，并且施肥和灌溉可同时进行。这种封闭的输水和配水灌溉系统有效地减少了田间灌溉过程中的渗漏和蒸发损失，使水、肥的利用率达 80% ~ 90%，农业用水减少 30% 以上，节省肥料 30% ~ 50%，同时也节约了传统灌溉的沟渠占地，使农田单位面积产量成倍增长，原本资源匮乏的以色列现已成为沙漠上的蔬菜出口国。

美国是世界上工业最发达的国家之一，同时也是一个农业非常发达的国家。目前现有温室面积约 1.9 万 hm^2 ，主要种植花卉（面积达 1.3 万 hm^2 ）。据统计，1991 年温室农场总产值 87 亿美元，1992 年为 95 亿美元。设施内设备先进，生产水平一流，多数为玻璃温室，少数为双层冲气温室。目前，覆盖材料采用最先进的 PC（聚碳酸酯）板材温室已进入广泛应用阶段，该板材透光与保温性能好，耐用，不易破损，防火性能强，制成 3 层的中空板，保温性能更佳，目前全世界这种温室面积约 1 万 hm^2 。近年来建成 50 hm^2 多屋顶可以全部启闭的现代温室，该种温室透光性好（无论采用任何覆盖材料，都会降低室内的太阳辐射照度，影响作物生长），屋顶全部可以启闭的温室，可以降低作物产品的硝酸盐含量，这对于生产绿色食品、培育壮苗非常有利；但是建设成本较高，目前正研究如何降低建设成本，以提高其推广应用性。

日本是个岛国，人均耕地资源低于我国。从 20 世纪 60 年代开始，快速发展现代设施园艺业，温室由单栋向连栋大型化、结构金属化发展。直到 1995 年，日本有现代温室 4.88 万 hm^2 ，以塑料薄膜温室为主，而日本的玻璃温室多为门式框架大屋顶双屋面连栋温室。在设施农业工程的研发过程中特别注重各种调控设施科技含量的提升，使其向全智能化的方向发展。其先进的温室配套设施和综合环境调控技术已处于世界领先水平，近年来在组织培养环境调控和封闭式育苗技术等方面取得了令人瞩目的成就。例如，日本开发了适合双方向的远程监视控制系统“OpenPLANET（简称 OP）”，不分时间和地点，只要计算机与互联网相联，便能在异地实现远程遥

控,从而实现更大范围的温室自动化管理;除此之外,设施内产品采摘后,清选、分级、包装、预冷等作业已实现自动化或半自动化。

从设施栽培技术发展来说,国际上也从最初的有土种植向无土栽培、基质栽培等并用的方向发展,一些发达国家纷纷将温室无土栽培技术成功运用于蔬菜和花卉的生产(Hanafi, Papasolomontos, 1999),目前无土栽培比例在荷兰超过70%、加拿大超过50%、比利时超过50%。而地中海沿岸和一些发展中国家,则依然采用成本低廉而简易的塑料薄膜覆盖技术,且大多实施有土栽培种植作物(Pardossi *et al*, 2004)。目前全球已有100多个国家采用无土栽培技术,并主要用于蔬菜和花卉生产,其中仅美国拥有无土栽培种植蔬菜的面积就已超过2 000hm²,荷兰和日本分别有3 500hm²、245hm²的温室从事蔬菜无土栽培(李茜, 2002)。但美国由于国内露地可以满足各种作物生产的需要,对设施农业的要求不迫切,其现有温室12 000多hm²主要用来生产花卉(李萍萍, 2002)。

四、我国设施农业发展现状

我国设施农业发展历史悠久,早在两千多年前就有蔬菜、花卉的温室栽培记载,但是直到20世纪末才得到较大的发展,与发达国家相比,我国在设施农业发展技术方面的差距正不断缩小。20世纪30年代,我国北方地区已经在冬季开始利用不进行人工加温的“日光温室”进行蔬菜生产;到50年代中期,经农业工作者的工作总结,将其命名为“鞍山式日光温室”;到80年代中期,人们对原有的E_t光温室的建筑结构、环境调控技术和栽培技术等方面进行了全面优化,得到了节能型E_t光温室,在高纬度寒冷季节完全不加温或少加温的条件下顺利实现越冬生产,创造出了一条具有中国特色的设施农业的发展道路,为缓解我国不断增长的人口压力与资源供应不足的矛盾,提供了契机。

“八五”期间,为了进一步提高日光温室的采光和保温性能,农业部将“日光温室性能优化与配套栽培技术研究”列入了“八五”科研攻关课题。日光温室由此获得了迅速的发展,成为适应于中国北方地区气候特点的温室形式。“九五”期间,在北京、上海、浙江、辽宁、广东等5省市和国家科技部领导组织下开展的“工厂化高效农业示范工程”的带动下,全国的设施农业得到了继续高速的发展。随后工厂化农业关键技术与示范也被列入国家科技部“十五”国家重点科技攻关项目,2001年“设施园艺可