

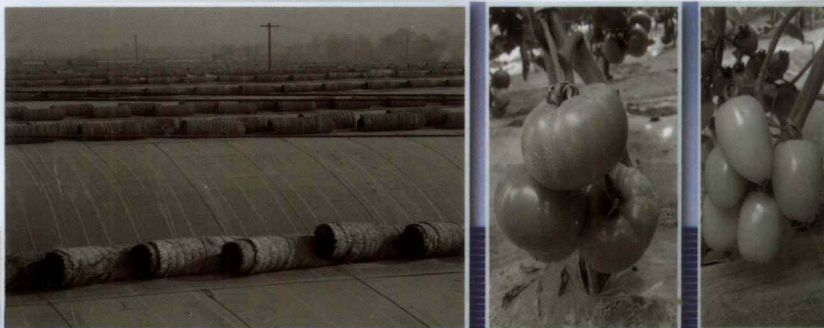


现代农业高新技术成果丛书

设施菜田退化土壤修复与 资源高效利用

Management of Degraded Vegetable
Soils in Greenhouses

王敬国 主编



中国农业大学出版社

CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY PRESS



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

现代农业高新技术成果丛书

设施菜田退化土壤修复与 资源高效利用

Management of Degraded Vegetable
Soils in Greenhouses

王敬国 主编

常州大学图书馆
藏书章

中国农业大学出版社

内 容 简 介

以高投入为主要特征的设施蔬菜栽培体系,在资源浪费较为严重的同时,还引起了土壤物理、化学和生物学等次生障碍因素的发生以及水体、大气和农产品污染等环境和健康问题。针对这些问题,本书系统地总结了课题组自“十五”以来执行的国家攻关计划课题“园艺作物连作障碍综合控制技术与示范”和科技支撑计划课题“设施园艺退化土壤的修复与高效利用技术研究”以及 863 计划专题“连作土壤根际微生物定向调控技术”等相关研究工作。主要内容包括:以改善根际环境和根系生长发育来调控土壤生物群落、干扰作物根系与病原线虫之间的信息传递过程为主的控制土壤生物学障碍因素;水肥调控和管理措施对控制过量肥料投入所带来土壤氮、磷富营养及其对环境造成的潜在危害;利用根际生物修复技术降低土壤中农药的残留,消除农药对农产品污染的风险等方面的研究等。

图书在版编目(CIP)数据

设施菜田退化土壤修复与资源高效利用/王敬国主编. —北京:中国农业大学出版社,2011.4

ISBN 978-7-5655-0254-5

I. ①设… II. ①王… III. ①土壤退化-修复 ②土壤资源-资源利用 IV. ①S15

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 055787 号

书 名 设施菜田退化土壤修复与资源高效利用

作 者 王敬国 主编

策划编辑 孙 勇

封面设计 郑 川

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路 2 号

电 话 发行部 010-62731190,2620

编辑部 010-62732627,2618

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

经 销 新华书店

印 刷 涿州市星河印刷有限公司

版 次 2011 年 4 月第 1 版 2011 年 4 月第 1 次印刷

规 格 787×1092 16 开 19.25 印张 478 千字

定 价 68.00 元

责任编辑 刘耀华 张 蕊 张 玉

责任校对 王晓凤 陈 莹

邮政编码 100193

读者服务部 010-26732336

出 版 部 010-62733440

E-mail cbsszs@cau.edu.cn

图书如有质量问题本社发行部负责调换

现代农业高新技术成果丛书

编审指导委员会

主 任 石元春

副主任 傅泽田 刘 艳

委 员（按姓氏拼音排序）

高旺盛 李 宁 刘庆昌 束怀瑞

佟建明 汪懋华 吴常信 武维华

编写人员

主 编 王敬国 中国农业大学

副主编 陈 清 中国农业大学
李晓林 中国农业大学

参 编 林 杉 中国农业大学
阮维斌 南开大学
周立刚 中国农业大学
左元梅 中国农业大学
慕康国 中国农业大学
任 涛 中国农业大学
宋 贺 中国农业大学
郭景恒 中国农业大学
张福锁 中国农业大学
张俊伶 中国农业大学
董林林 中国农业大学
刘美菊 中国农业大学
樊兆博 中国农业大学
李彦明 中国农业大学
吴凤芝 东北农业大学
贾 尝 南开大学
张伟朴 南开大学
张 韵 浙江大学
师 恺 浙江大学
周艳虹 浙江大学
喻景权 浙江大学
张立丹 华南农业大学
王丽英 河北省农科院
李俊良 青岛农业大学

出版说明

瞄准世界农业科技前沿,围绕我国农业发展需求,努力突破关键核心技术,提升我国农业科研实力,加快现代农业发展,是胡锦涛总书记在 2009 年五四青年节视察中国农业大学时向广大农业科技工作者提出的要求。党和国家一贯高度重视农业领域科技创新和基础理论研究,特别是 863 计划和 973 计划实施以来,农业科技投入大幅增长。国家科技支撑计划、863 计划和 973 计划等主体科技计划向农业领域倾斜,极大地促进了农业科技创新发展和现代农业科技进步。

中国农业大学出版社以 973 计划、863 计划和科技支撑计划中农业领域重大研究项目成果为主体,以服务我国农业产业提升的重大需求为目标,在“国家重大出版工程”项目基础上,筛选确定了农业生物技术、良种培育、丰产栽培、疫病防治、防灾减灾、农业资源利用和农业信息化等领域 50 个重大科技创新成果,作为“现代农业高新技术成果丛书”项目申报了 2009 年度国家出版基金项目,经国家出版基金管理委员会审批立项。

国家出版基金是我国继自然科学基金、哲学社会科学基金之后设立的第三大基金项目。国家出版基金由国家设立、国家主导,资助体现国家意志、传承中华文明、促进文化繁荣、提高文化软实力的国家级重大项目;受助项目应能够发挥示范引导作用,为国家、为当代、为子孙后代创造先进文化;受助项目应能够成为站在时代前沿、弘扬民族文化、体现国家水准、传之久远的国家级精品力作。

为确保“现代农业高新技术成果丛书”编写出版质量,在教育部、农业部和中国农业大学的指导和支持下,成立了以石元春院士为主任的编审指导委员会;出版社成立了以社长为组长的项目协调组并专门设立了项目运行管理办公室。

“现代农业高新技术成果丛书”始于“十一五”,跨入“十二五”,是中国农业大学出版社“十二五”开局的献礼之作,她的立项和出版标志着我社学术出版进入了一个新的高度,各项工作迈上了新的台阶。出版社将以此为新的起点,为我国现代农业的发展,为出版文化事业的繁荣做出新的更大贡献。

中国农业大学出版社

2010 年 12 月

前言

20 世纪末开始的种植业结构调整,极大地促进了我国经济作物的生产,这对加快农村经济发展、增加农民收入和稳定“菜篮子工程”起到了很大的促进作用。其中发展最快的是蔬菜种植,特别是设施蔬菜作物的播种面积大量增加。设施蔬菜播种面积虽然仅占蔬菜总面积的 18% 左右,但其单位面积产值远远超过大田粮食作物和露地蔬菜,在种植业生产中占有极其重要的地位。设施蔬菜种植经济效益高,增加农民收入的作用十分明显。因而,在经济利益的驱动下,资源高投入和土地利用高强度的设施蔬菜栽培模式较为普遍,也是我国的特色。

首先,高投入的设施蔬菜栽培体系,在资源浪费较为严重的同时,还带来了水体污染、一氧化二氮排放量增加等环境问题,以及土壤酸化和表层盐分聚集等土壤物理和化学障碍问题,土壤质量下降。其次,由于轮作倒茬困难和技术因素限制等原因,设施蔬菜生产中连续种植同一种作物的现象非常普遍,由此引起了以土传病害严重发生为主要特征的土壤生物学障碍。再次,设施高湿度和封闭条件,引发蔬菜病害的发生较为频繁。为了控制地上和地下部分的植物病害,化学农用药剂的消费量和施药频率远远高于农田,且农药品种繁杂,不利于农产品质量监管。资源浪费、土壤质量下降和农产品品质下降等问题的出现,严重威胁到设施蔬菜可持续发展、环境安全和人类健康。

针对以设施蔬菜土壤出现土壤生物学障碍和土壤富营养化等土壤退化问题,我们开展了相关的研究和技术示范工作。课题组从 2004 年起,先后承担了“十五”国家科技攻关计划课题“园艺作物连作障碍综合控制技术与示范”(课题编号:2004BA521B04,起止年限为 2004 年 1 月—2006 年 12 月)、“十一五”国家科技支撑计划课题“设施园艺退化土壤的修复与高效利用技术研究”(课题编号:2006BAD07B03,起止年限为 2007 年 1 月—2010 年 12 月)以及“十一五”国家高技术研究发展计划(863 计划)专题“连作土壤根际微生物定向调控技术”(项目编号:2006AA10Z423,起止年限为 2006 年 1 月—2010 年 10 月)。开展了以设施番茄、黄瓜为主要研究对象,通过改善根际环境和根系生长发育来调控根际微生态系统中的生物群落;通过干扰作物根系与病原线虫之间的信息传递过程,控制病原线虫的危害,以消除土壤生物学障碍因素;通过优化水肥调控和管理措施,控制蔬菜生产体系种植结构单一、过量肥料投入等带来土壤氮和磷富营养及其对环境造成的潜在危害;利用根际生物修复技术降低土壤中农药的残留,消除农药对农产品污染的风险等方面的研究。在“十一五”期间,课题组共发表核心期刊文章 36 篇,其中 SCI 文章 7 篇,申请国家发明专利 10 余项,取得专利授权 4 项,并培养了 8 名博士

生和 30 名硕士生。本书较为系统地总结了“十一五”期间课题组的主要研究工作,分析、讨论了设施菜田土壤资源利用和土壤质量方面的一些问题,初步探讨了解决的途径,并对今后这方面的研究工作提出一些设想。

鉴于我们的能力、水平和知识结构的差异,研究工作中还存在着许多不完善之处,敬请各位专家、同行指教。由于本书编著的时间仓促,难免有不足之处,请读者在阅读后,提出宝贵意见。

在本书即将出版之际,本书的编著者非常感谢国家科技部对有关课题的资助、教育部科技司对研究项目的组织工作和提供的各种帮助,感谢果类蔬菜产业技术体系北京市创新团队项目支持,感谢国家出版基金项目的资助;对课题合作研究者的辛勤劳动及同行的帮助表示谢意。

编 者

2010 年 12 月

目 录

第1章 设施蔬菜种植体系的资源投入与环境效应	1
1.1 设施蔬菜的发展与资源投入现状	1
1.1.1 设施蔬菜的发展	1
1.1.2 设施蔬菜的资源投入现状	2
1.2 设施种植体系中养分损失的途径及对环境的影响	5
1.2.1 设施种植体系中养分损失的途径	5
1.2.2 设施种植体系中养分损失对环境的影响	7
1.3 设施菜田的土壤酸化	8
1.3.1 设施园艺土壤酸化现状	8
1.3.2 土壤酸化对设施蔬菜种植体系的危害	9
1.3.3 设施菜田土壤酸化的原因	10
1.4 设施菜田的土壤次生盐渍化	12
1.5 结论	14
参考文献	14
第2章 土壤生物学障碍与调控途径	19
2.1 土壤健康与土壤生态系统服务功能的重要性	19
2.2 从作物连作障碍角度理解土壤生物学障碍的发生	22
2.2.1 连作障碍产生的背景与相关研究	23
2.2.2 植物的化感作用与土壤生物群落结构的改变	24
2.2.3 连作条件下土壤生物学障碍的产生及原因	27
2.2.4 土壤生物学障碍的含义	30
2.3 土壤生物学障碍的调控途径	33
2.3.1 根际调控的理论基础	34
2.3.2 根际调控的具体措施	35

2.3.3 填闲作物与非寄主植物残体引入	36
2.3.4 水肥管理	37
2.4 结论	38
2.5 致谢	39
参考文献	39
第3章 根际调控制剂活性组分的筛选	46
3.1 根际与根际变化	46
3.1.1 根际的概念	46
3.1.2 植物根系分泌物、残体和凋落物	46
3.1.3 作物生长引起根际微生态环境的改变	47
3.2 根际土壤生物因子的调控	48
3.2.1 根际土壤生物因子的直接调控	49
3.2.2 根际土壤生物因子的间接调控	50
3.2.3 根际的生态调控	51
3.3 根际调控制剂活性组分的筛选与应用——以脂肪酸为例	53
3.3.1 研究的总体思路和技术方案	53
3.3.2 具体实施方案	54
3.4 结论	61
3.5 致谢	61
参考文献	61
第4章 黄瓜种子萌发过程中的自毒作用及缓解研究	65
4.1 引言	65
4.2 黄瓜根系浸提液、根系分泌物及苯基羧酸类化合物对黄瓜胚根伸长的抑制作用	66
4.3 黄瓜根系浸提液、根系分泌物及苯基羧酸类化合物对黄瓜细胞周期的影响	67
4.4 蔗糖缓解黄瓜种子萌发过程中的自毒作用	69
4.5 主要结论与展望	70
4.6 致谢	72
参考文献	72
第5章 豆科和藜科植物抗菌活性物质的筛选与应用	75
5.1 引言	75
5.2 豆科植物提取物及其活性成分对植物病原菌的抑制作用	76
5.2.1 盐豆木提取物及其活性成分对植物病原菌的抑制作用	76

5.2.2 刺叶锦鸡儿提取物及其活性成分对植物病原菌的抑制作用	79
5.2.3 白皮锦鸡儿提取物及其活性成分对植物病原菌的抑制作用	80
5.2.4 苦豆子提取物及其活性成分对植物病原菌的抑制作用	81
5.2.5 皂荚提取物及其活性成分对植物病原菌的抑制作用	83
5.3 藜科植物提取物及其活性成分对植物病原菌的抑制作用	83
5.3.1 无叶假木贼提取物及其活性成分对植物病原菌的抑制作用	84
5.3.2 盐穗木提取物及其活性成分对植物病原菌的抑制作用	84
5.3.3 盐爪爪提取物及其活性成分对植物病原菌的抑制作用	85
5.4 植物提取物或组分对植物病害的防治	85
5.5 结论与展望	86
5.6 致谢	86
参考文献	87
第6章 菌根真菌与南方根结线虫相互作用	89
6.1 引言	89
6.2 接种菌根真菌对黄瓜根结线虫病害的效应	90
6.3 接种菌根真菌和施磷对根结线虫的影响	93
6.4 接种菌根真菌和根结线虫对黄瓜防御酶活性的影响	96
6.4.1 过氧化氢酶(CAT)活性	96
6.4.2 过氧化物酶(POD)活性	96
6.4.3 多酚氧化酶(PPO)活性	98
6.4.4 根系苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性	98
6.5 结论与展望	99
6.6 致谢	100
参考文献	100
第7章 非寄主植物与根结线虫相互作用	103
7.1 引言	103
7.2 不同植物对南方根结线虫侵染具有显著的调控能力	104
7.3 不同植物调控南方根结线虫侵染的生物学机制	105
7.4 非寄主植物与寄主植物的合理搭配能够安全有效地防治南方根结线虫侵染	107
7.5 致谢	108
参考文献	108
第8章 间作与轮、套作对土壤生物多样性及黄瓜生长发育的影响	111
8.1 引言	111

8.2 不同作物间作对黄瓜病害及土壤微生物群落多样性的影响	112
8.2.1 间作对黄瓜根际土壤微生物多样性的影响	113
8.2.2 间作对黄瓜根际土壤微生物数量及病情指数的影响	113
8.2.3 间作对黄瓜产量的影响	114
8.3 轮作对土壤微生态环境及产量的影响	115
8.3.1 小麦、毛茛子与黄瓜轮作对土壤速效养分含量的影响	115
8.3.2 小麦、毛茛子与黄瓜轮作对土壤酶活性的影响	116
8.3.3 小麦、毛茛子与黄瓜轮作对土壤细菌、真菌群落结构的影响	117
8.3.4 小麦、毛茛子与黄瓜轮作对黄瓜产量的影响	120
8.4 轮、套作对黄瓜根际土壤细菌种群的影响	120
8.4.1 不同时期不同轮、套作土壤细菌类群的 PCR-DGGE 图谱分析	121
8.4.2 不同轮、套作黄瓜不同时期土壤细菌类群的多样性及均匀度指数的变化	122
8.4.3 黄瓜根际土壤细菌 16S rDNA 片段的序列分析	123
8.4.4 轮、套作对黄瓜产量的影响	124
8.5 主要结论与展望	125
参考文献	125
第9章 TiO_2 光催化降解农药作用研究	129
9.1 引言	129
9.1.1 研究背景及意义	129
9.1.2 TiO_2 光催化降解有机物的研究现状	130
9.1.3 土壤表面农药光化学降解的研究进展	133
9.2 TiO_2 及稀土掺杂纳米 TiO_2 的农药光催化降解作用研究	135
9.2.1 农药的测定方法	135
9.2.2 农药溶液的光催化降解试验	136
9.2.3 玻璃表面农药光催化降解试验	137
9.2.4 土壤表面农药光催化降解试验	137
9.2.5 番茄叶片表面农药光催化降解试验	137
9.3 TiO_2 对农药溶液的光催化降解研究	137
9.3.1 TiO_2 用量对克百威降解的影响	137
9.3.2 pH 值对克百威降解的影响	139
9.3.3 克百威起始浓度对克百威光催化降解的影响	140
9.3.4 克百威光解的动力学分析	141
9.3.5 小结	142
9.4 玻璃表面农药光催化降解的研究	143
9.4.1 克百威的玻璃表面光催化降解	143

9.4.2 多菌灵的玻璃表面光催化降解	144
9.4.3 毒死蜱的玻璃表面光催化降解	145
9.4.4 苯线磷的玻璃表面光催化降解	146
9.4.5 小结	148
9.5 TiO_2 对土壤表面农药光催化降解的研究	148
9.5.1 克百威的土壤表面光催化降解	148
9.5.2 多菌灵的土壤表面光催化降解	151
9.5.3 毒死蜱的土壤表面光催化降解	154
9.5.4 苯线磷的土壤表面光催化降解	157
9.5.5 小结	160
9.6 TiO_2 对番茄叶片表面农药光催化降解的研究	161
9.6.1 毒死蜱的番茄叶片光催化降解	161
9.6.2 苯线磷的番茄叶片光催化降解	163
9.6.3 小结	166
9.7 稀土掺杂纳米 TiO_2 光催化降解农药残留的田间试验	166
9.7.1 番茄叶片表面毒死蜱光催化降解	166
9.7.2 番茄叶片表面乙酰甲胺磷光催化降解	167
9.7.3 番茄叶片表面多菌灵光催化降解	168
9.7.4 土壤毒死蜱光催化降解	169
9.7.5 土壤多菌灵光催化降解	170
9.7.6 土壤克百威光催化降解	172
9.7.7 小结	173
9.8 结论与展望	173
9.8.1 结论	173
9.8.2 研究展望	174
9.9 致谢	175
参考文献	175
第10章 根层养分安全阈值指标体系与反馈调节技术	183
10.1 引言	183
10.2 根层适宜的养分供应是保持养分安全阈值的前提	184
10.3 根层氮素养分安全阈值指标体系的基本理论	184
10.4 蔬菜根层氮素安全阈值指标体系的建立	185
10.5 主要蔬菜作物的氮素供应目标值及其修正	188
10.6 设施番茄、黄瓜根层氮素安全阈值的建立与应用	190
10.6.1 设施番茄根层氮素安全阈值的建立	190

10.6.2 设施黄瓜根层氮素安全阈值的建立	192
10.7 设施蔬菜根层磷素安全供应阈值指标体系的研究与应用	197
10.7.1 设施蔬菜根层土壤磷素安全供应阈值指标体系的基本原理	197
10.7.2 设施番茄根层土壤速效磷农学阈值指标的建立与应用	199
10.7.3 设施蔬菜根层磷素恒量监控技术	200
10.8 根层养分综合调控,发展水肥一体化技术	202
10.8.1 水肥一体化是实践根层养分安全阈值调控的典型技术	202
10.8.2 根层水肥综合调控技术	203
10.8.3 根层调控促进番茄早期根系生长	204
10.8.4 根层调控保持适宜的土壤氮素供应范围	204
10.8.5 根层综合调控技术节本效果及效益分析	206
参考文献	206
第11章 设施蔬菜水分、养分综合管理	209
11.1 引言	209
11.2 设施蔬菜水分管理现状	209
11.2.1 大水漫灌导致养分大量淋失	210
11.2.2 土壤和大棚湿度高,真菌病害加剧	212
11.2.3 作物根系缺氧,抗逆性降低	212
11.2.4 当务之急——科学合理的灌溉	213
11.3 设施蔬菜养分过量现状	216
11.3.1 氮肥投入远远高于作物需求	216
11.3.2 氮磷钾比例失调,氮、钾损失严重	217
11.3.3 表层土壤缺失,有机肥投入量高	217
11.3.4 大水大肥导致土壤质量退化,植物抗逆性下降	217
11.4 以水调氮,以碳调土,设施蔬菜水氮综合管理迫在眉睫	218
11.4.1 试验方案、材料与方法	220
11.4.2 结果与分析	221
11.4.3 大面积推广滴灌施肥的必要性	223
11.5 展望	225
11.6 致谢	226
参考文献	226
第12章 长期高氮素投入对土壤碳氮平衡和土壤性质的影响	230
12.1 引言	230
12.2 材料与方法	231

12.2.1 试验温室及供试作物	231
12.2.2 试验处理	231
12.3 结果与分析	234
12.3.1 长期高氮素投入对设施土壤有机碳和全氮的影响	234
12.3.2 长期高氮素投入对设施土壤有机碳和全氮储量的影响	235
12.3.3 长期高氮素投入对设施土壤有机碳组分的影响	235
12.3.4 长期高氮素投入对设施土壤表层土壤(0~30 cm)无机氮动态变化 的影响	237
12.3.5 长期高氮素投入对收获后深层土壤(90~180 cm)无机氮的影响	238
12.3.6 长期高氮素投入对收获后表层土壤(0~30 cm)固定态铵含量的影响	238
12.3.7 长期高氮素投入对设施土壤全磷、有机磷和无机磷的影响	238
12.3.8 长期高氮素投入对设施土壤全钾、缓效钾和速效钾的影响	240
12.3.9 长期高氮素投入对设施土壤 pH 值、CEC 的影响	241
12.3.10 长期高氮素投入对设施土壤表观碳氮磷钾平衡的影响	243
12.4 结论与展望	245
参考文献	246
第13章 设施菜田退化土壤修复与资源高效利用示范与推广	250
13.1 设施菜田土壤退化的成因分析	250
13.1.1 设施土壤生物多样性发生改变,不利于土壤功能的发挥	250
13.1.2 设施土壤中自毒物质的累积	250
13.1.3 表层土壤养分过量积累及盐渍化和酸化问题突出	251
13.2 设施菜田退化土壤修复与资源高效利用技术	252
13.2.1 盐渍化土壤改良技术	252
13.2.2 设施蔬菜水肥一体化技术	252
13.2.3 设施番茄、黄瓜穴盘培育抗病壮苗技术	255
13.2.4 生物秸秆反应堆技术	256
13.2.5 秸秆还田技术	257
13.2.6 功能生物有机肥和调理剂施用技术	257
13.2.7 石灰氮—秸秆消毒技术	258
13.2.8 设施菜田填闲作物种植土壤改良技术	260
13.3 设施退化土壤修复的综合调控技术效果	261
13.3.1 根层水肥综合调控技术	261
13.3.2 填闲和套作非寄主植物种植的线虫预防技术	263
13.3.3 菜田退化土壤综合修复技术	266
13.4 技术物化与推广	269

13.4.1	筛选高磷启动液和海绿素进行促根	269
13.4.2	菜田退化土壤调理剂的研制与应用	270
13.4.3	设施蔬菜水肥一体化技术的研究与推广	271
13.4.4	提高设施园艺土壤质量和资源高效利用的综合技术规程与示范	272
13.5	展望	274
	参考文献	278
第14章	展望:设施蔬菜高投入种植体系土壤的可持续利用	280
14.1	源头控制资源的高投入	282
14.2	生态学措施综合控制土壤生物学障碍	282
14.3	以有机碳管理为核心的土壤质量提升	283
14.4	养分根层调控与优化养分供应	284
14.5	设施植物废弃物资源的循环利用	285
14.6	环境与经济效益评价	285
	附录	287

第 1 章

设施蔬菜种植体系的资源投入与 环境效应

宋 贺 王敬国 陈 清 林 彬 郭景恒 任 涛

由于种植业结构调整和经济利益驱动,我国经济类作物种植面积增加很快,尤其是蔬菜生产的发展更为迅速,已成为继粮食作物之后的第二大类农作物。据《中国统计年鉴》称,我国蔬菜(不包括瓜类)播种面积 1980 年、1990 年、2000 年和 2008 年分别为 361 万、634 万、1 524 万和 1 788 万 hm^2 ,占农作物播种总面积的 2.2%、3.3%、9.7% 和 11.4%。目前,我国已经基本形成八大重点蔬菜生产区域,即华南冬春蔬菜、长江上中游冬春蔬菜、黄土高原夏秋蔬菜、云贵高原夏秋蔬菜、黄淮海与环渤海设施蔬菜、东南沿海出口蔬菜、西北内陆出口蔬菜以及东北沿边出口蔬菜。2009 年我国蔬菜的播种面积为 1 841 万 hm^2 (农业部网站资料),30 年间增长了 5 倍。目前,我国蔬菜总产量 6.02 亿 t,总产值(含瓜果类)约 8 800 亿元,出口 67.7 亿美元,是我国农产品中的主要出口商品之一(李崇光和包玉泽,2010)。而根据 2009 年《FAO 统计年鉴》,我国 2007 年蔬菜种植面积为 2 372 万 hm^2 ,产量 4.52 亿 t,分别占全球蔬菜种植面积和产量的 45% 和 50%,居世界第一位。毋庸置疑,我国已是全球蔬菜生产大国。

1.1 设施蔬菜的发展与资源投入现状

1.1.1 设施蔬菜的发展

种植蔬菜是我国农民增收的主要途径之一,其经济效益明显优于粮、棉、油(国家发展和改革委员会价格司,2009)。相同种植面积下,蔬菜的产值分别为粮食、棉花和油料作物的 5.5、3.9 和 5.0 倍,净利润为粮食的 10.0 倍和油料的 6.7 倍,成本利润率为粮食的 2.6 倍和油料作物的 1.6 倍(李崇光和包玉泽,2010)。设施蔬菜的经济效益则更高。尽管至今为止,尚无可靠的统计分析数据,但设施蔬菜收益显著高于露地栽培蔬菜是常识,近年来,设施蔬菜种植面积不断扩大就是一个佐证。20 世纪 80 年代以来,我国设施蔬菜种植面积增加很快,从 1980