

PLANT FACTORY: SYSTEM AND PRACTICE

植物工厂

系统与amp;实践

杨其长 魏灵玲 刘文科 程瑞锋 著



963



化学工业出版社

S-39

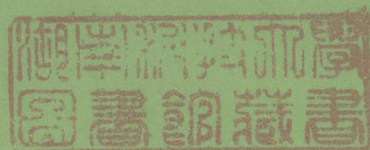
3

KD00957963

植物工厂

系统与amp;实践

杨其长 魏灵玲 刘文科 程瑞锋 著



化学工业出版社

· 北京 ·

植物工厂是解决未来粮食问题的技术方法,受到世界瞩目,发达国家已应用于生产实践。近年来我国植物工厂发展迅速,植物工厂的一些关键技术均取得了重大突破。本书以作者在植物工厂领域各项关键技术方面获得的具有我国自主知识产权的研究成果为核心,分析了植物工厂基本概念、发展意义以及国内外发展历程;介绍了植物工厂的工艺与系统构成、环境控制系统、LED人工光源系统、营养液栽培与控制系统、蔬菜品质调控等相关结构与配套技术体系,并介绍了我国植物工厂领域具体的技术方法、各项创新性研究成果;本书还通过对家庭微型植物工厂、典型植物工厂案例与技术经济分析等内容的介绍,为读者了解我国植物工厂的发展成果、分析技术经济的可行性提供了有价值的参考;此外本书还对植物工厂发展趋势、未来热点领域以及我国今后发展思路进行了阐述。

本书适合植物工厂及园艺生产部门生产管理人员、科研技术人员,涉农部门领导、管理人员,农业科教单位技术人员、学生与广大关心环境与可持续发展的社会大众参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

植物工厂系统与实践/杨其长等著. —北京:化学工业出版社, 2012.8

ISBN 978-7-122-14687-8

I. 植… II. 杨… III. 农业技术-高技术-研究 IV. S-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第145079号

责任编辑:李丽
责任校对:徐贞珍

文字编辑:李瑾
装帧设计:关飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印 装:北京瑞禾彩色印刷有限责任公司
710mm×1000mm 1/16 印张9 字数168千字
2012年11月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:69.00元

版权所有 违者必究

序

若干年前，当植物工厂概念第一次传入中国的时候，很多人还觉得不可思议，因为正是植物工厂技术的出现，第一次把人类几千年来理想化的农耕梦变成了现实。千百年来，人们一直梦想着有朝一日能够在不受气候干扰的条件下进行耕作，在轻松、愉快的环境下按照自己的意愿去生产与收获，农产品可以在程序化的流水线上源源不断地产出，这些梦想都随着植物工厂的诞生而成为可能。

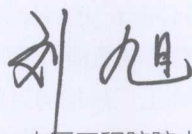
植物工厂是指通过设施内高精度环境控制实现农作物周年连续生产的高效农业方式，是由计算机对植物发育过程的温度、湿度、光照、 CO_2 浓度以及营养液等环境条件进行自动控制，不受或很少受自然条件制约的省力型生产。植物工厂的显著特征是环境可控，受地理、气候等自然条件影响小，可按计划进行生产，作物生长周期短、速度快、污染少，工厂化立体栽培，土地利用率和作物产量可达露地生产的数倍甚至是几十倍。因此，植物工厂又被认为是现代农业的最高级发展阶段，世界各国都对其赋予了更多的期待，希望能够在未来解决人口、资源、环境等突出问题、大幅度地提高农业资源效率，以及在保障航天工程、月球和其他星球探索的食物自给等方面发挥更大的作用。

近年来，植物工厂在我国发展很快，短短几年间全国就有二十几座不同类型的植物工厂相继建成，我院以作者所在的团队为核心，在植物工厂关键技术研发、推广与普及等方面做出了重要贡献，形成了一批具有自主知识产权的技术成果。这本《植物工厂系统与实践》是作者最近 10 年来在植物工厂方面研究成果的结晶，书中通过对植物工厂的基本概念、发展意义以及国内外发展历程的分析，阐明了我国发展植物工厂的重要意义；通过对植物工厂的工艺与系统构成，以及环境控制系统、人工光源系统、营养液栽培与控制系统、蔬菜品质调控等相关结构与配套技术体系的介绍，为读者全面了解植物工厂的技术构成提供了有益的帮助；通过对家庭微型植物工厂、典型植物工厂案例与技术经济分析等内容的介绍，为读者了解我国植物工厂的发展成果、分析技术经济的可行性提供了有价值的参考；此外，还通过对植物工厂的发展趋势、未来热点领域以及我国今后发展思路的阐述，为读者描绘出了一幅美好的发展蓝图。相信该书的出版必将对推动我国植物工厂的发展产生深远的影响。

杨其长博士及其团队长期以来一直从事设施农业领域的研究工作，在设施园艺节能工程、LED 植物光源及其应用、智能植物工厂关键技术研究等方面取得了卓有成效的创新成果。近年来该团队倾力进行智能植物工厂的研究工作，先后在植物工厂 LED 光源、水耕栽培营养液循环与控制、光温耦合节能环境调控以及智能化管理与远程控制等关键

技术方面取得了突破性进展，并实现了在国内的规模化应用与普及推广，有力地推动了中国植物工厂的发展；同时，该团队还利用上海世博会以及国际性的学术交流活动，展示宣传中国植物工厂的技术成就，并得到了国际同行的高度评价，为奠定我国在国际植物工厂领域的优势地位做出了积极贡献。

该书的出版既是作者及其团队多年来在植物工厂关键技术领域研究成果的全面展示，同时又是第一次向国内读者系统地介绍中国植物工厂发展成就的力作。我深信这部倾注作者大量心血的著作一定会对中国植物工厂的发展起到更加有力的推动作用。在《植物工厂系统与实践》即将出版之际，谨向他们表示热烈祝贺，并乐为之作序。



中国工程院院士
中国农业科学院副院长
2012年4月6日

前言

2005年本人所在的团队出版了国内第一本有关植物工厂的著作《植物工厂概论》，重点就植物工厂的定义、类型、发展历程、结构特征、主要配套技术，如营养液栽培、环境控制、关键设备等进行了系统的阐述，并对典型案例进行了分析与评价，对中国植物工厂的发展前景及今后发展方向和总体思路进行了探讨。该书的出版，为中国植物工厂的发展起到了重要的促进作用，很多单位将此书作为系统了解植物工厂的必备教材。然而，由于当时我国植物工厂刚刚起步，对植物工厂的把握主要还是借鉴日本等发达国家的经验，有些案例也基本上是采用国外的资料，时常有一种不踏实的感觉。近年来，我国植物工厂发展迅速，短短的几年间，先后建成了20余座不同类型的植物工厂，植物工厂的一些关键技术，如LED节能光源、制冷-加热双向调温控湿、营养液（EC、pH、DO和液温等）在线检测与控制、数据采集与自动控制以及基于物联网的智能管理技术等，均取得了重大突破，不仅奠定了我国在国际植物工厂领域的地位，而且也真正以我国自主知识产权技术为核心的植物工厂专著的出版提供了可能。

众所周知，植物工厂一般划分为三个类型，即人工光利用型植物工厂、太阳光利用型植物工厂以及太阳光与人工光并用型植物工厂（有些学者把后两种合并为一种类型，即太阳光利用型植物工厂），但在从事植物工厂研究工作的同行普遍意识中，狭义的植物工厂主要是指人工光利用型植物工厂。本书由于篇幅所限，仅对人工光利用型植物工厂进行了系统的阐述。全书共分为9章，具体包括：植物工厂概述、工艺与系统构成、环境控制系统、人工光源系统、营养液栽培与控制系统、蔬菜品质调控、家庭微型植物工厂、典型案例与技术经济分析以及前景展望等。全书的中心放在植物工厂关键技术介绍以及本人所在团队的研究成果与心得等方面，希望通过这些内容的介绍能对关注植物工厂事业的读者朋友们有一定的参考和帮助。

本书从酝酿到正式完稿历经了一年多的时间，是化学工业出版社编辑们的执著精神推动了本书的出版，是同事们的辛勤劳动和无私奉献促成了本书的完成。在成书过程中，中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所巫国栋、张义、葛一峰、滕云飞等同事参与了部分内容的材料整理，研究生王君、刘义飞、邱志平等参与了部分插图的绘制和文字校对工作。在此一并致以谢意！

承蒙中国工程院院士、中国农业科学院副院长刘旭先生在百忙之中为本书作序，并给予诸多鞭策与鼓励，对此，表示衷心的感谢！

植物工厂作为一个崭新的领域，涉及到多学科、多领域的知识与技术。由于我们知

识面及认识水平有限,加之时间仓促,书中疏漏甚至错误之处在所难免,敬请读者朋友们多多指正。同时,我们也更希望通过本书的出版,能够对行业发展起到一定的助推作用,一方面能引起有关部门对我国植物工厂研究的关注和重视,另一方面希望能吸引更多的专家、同行和读者参与到植物工厂的研究与建设事业中来,为共同推进中国植物工厂的发展做出更大的贡献。

杨其长

2012年5月5日于北京

目 录

■ ■ ■ 第1章 植物工厂概述 /001

1.1 基本概念	002
1.2 发展植物工厂的意义	003
1.3 植物工厂历史回顾	004
1.3.1 国际植物工厂的发展	004
1.3.2 国内植物工厂的发展	006

■ ■ ■ 第2章 植物工厂工艺与系统构成 /009

2.1 系统概述	010
2.2 植物工厂生产工艺流程	011
2.2.1 播种、催芽 (2~3天)	011
2.2.2 育苗 (16~18天)	012
2.2.3 定植与栽培 (20~25天)	013
2.2.4 收获 (1天)	013
2.2.5 包装、贮藏 (0.5~3天)	013
2.2.6 上市 (0.5天)	013
2.3 植物工厂系统构成	014
2.3.1 外围护结构与材料	014
2.3.2 植物工厂系统构成	015

■ ■ ■ 第3章 植物工厂环境控制系统 /020

3.1 植物工厂洁净系统	021
3.2 温度环境及其调控系统	023
3.2.1 温度对植物光合生理的影响	023
3.2.2 植物工厂温度调节与控制	024
3.3 植物工厂湿度调节与控制	026
3.3.1 降湿调节	026
3.3.2 加湿调节	027

3.4	CO ₂ 调节与控制	028
3.4.1	CO ₂ 浓度与植物的光合成	028
3.4.2	CO ₂ 气源及其调控技术	029
3.5	智能环境控制系统	030
3.5.1	环境数据检测	031
3.5.2	环境监控系统	031
3.5.3	上位机管理及远程控制系统	033

■ ■ ■ 第4章 人工光源系统 /034

4.1	植物光合作用及其对光的需求	035
4.1.1	光强对作物光合的影响	035
4.1.2	光质对作物光合的影响	036
4.1.3	光周期对植物的影响	037
4.2	光照强度的表示方法	038
4.3	各种人工光源及其特性	041
4.3.1	植物对人工光源的要求	041
4.3.2	植物工厂主要人工光源	041
4.3.3	各种人工光源性能分析	047
4.4	LED在植物工厂的应用	048
4.4.1	LED在叶菜植物工厂的应用	049
4.4.2	LED在植物育苗工厂的应用	052
4.4.3	LED光源装置及控制方式	056

■ ■ ■ 第5章 营养液栽培与控制系统 /059

5.1	营养液栽培的发展	060
5.2	营养液栽培的方法与分类	062
5.2.1	按照有无固体基质材料的分类	062
5.2.2	按照营养液的供给方式进行分类	064
5.3	营养液的管理	064
5.3.1	营养液的组成	065
5.3.2	营养液的配制	066
5.3.3	营养液的调节与控制	067
5.4	营养液循环与控制技术	071
5.4.1	必要性分析	071
5.4.2	养分及理化性状调控	072

5.4.3	微生物去除技术	073
5.4.4	自毒物质去除技术	074
5.5	营养液栽培与控制系统应用案例	077
5.5.1	营养液栽培与控制系统构成	077
5.5.2	营养液自动监控系统及功能	080
5.5.3	控制时序及计算机界面	083
5.5.4	控制参数及主要设备	085
5.5.5	营养液控制效果	086

■ ■ ■ 第6章 植物工厂蔬菜品质调控 /088

6.1	植物工厂蔬菜品质调控的技术需求	089
6.1.1	硝态氮调控的技术需求	089
6.1.2	维生素C调控的技术需求	090
6.1.3	次生营养物质的调控需求	091
6.2	光环境品质调控技术	091
6.2.1	光对硝酸盐与维生素C含量的调控	092
6.2.2	光对次生代谢物质的影响	092
6.2.3	基于LED的蔬菜品质调控技术	093
6.3	营养液氮素品质调控技术	095
6.3.1	断氮调控技术	095
6.3.2	氮素水平与光照协同调控	097
6.3.3	氮素形态调控	097
6.4	植物工厂蔬菜营养品质的调控策略	097

■ ■ ■ 第7章 家庭微型植物工厂 /099

7.1	家庭植物工厂关键技术	100
7.1.1	人工光源技术	100
7.1.2	人工环境控制技术	101
7.1.3	营养液循环与控制技术	102
7.1.4	远程监控(物联网)技术	103
7.2	家庭植物工厂的开发应用	103

■ ■ ■ 第8章 典型案例与技术经济分析 /105

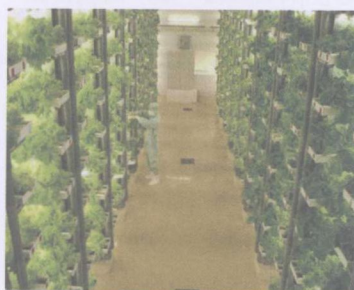
8.1	植物工厂典型案例	106
8.1.1	长春智能数字植物工厂	106

8.1.2	上海世博会“低碳·智能·家庭植物工厂”	107
8.1.3	山东寿光LED植物工厂	108
8.1.4	辽宁沈阳小韩村蔬菜工厂	110
8.1.5	南京汤山翠谷智能数字植物工厂	111
8.2	植物工厂技术经济分析	112
8.2.1	植物工厂的成本构成	113
8.2.2	人工光源生产成本估算	113
8.2.3	生产运行成本与设备成本的公式化	114
8.2.4	不同生产规模的经济性评价	115
8.2.5	实际生产成本的分析案例	117

■ ■ ■ 第9章 前景展望 /119

9.1	国际趋势	120
9.1.1	技术发展趋势	120
9.1.2	热点领域	121
9.2	国内发展战略	124
9.2.1	植物工厂具有广泛社会需求	124
9.2.2	植物工厂发展面临的问题	125
9.2.3	我国植物工厂发展战略	126
9.3	未来展望	127

■ ■ ■ 参考文献 /129



第1章

植物工厂 概述

1.1 基本概念

植物工厂是一种通过设施内高精度环境控制,实现作物周年连续生产的高效农业系统,是由计算机对作物生育过程的温度、湿度、光照、 CO_2 浓度以及营养液等环境要素进行自动控制,不受或很少受自然条件制约的省力型生产方式。由于植物工厂充分运用了现代工业、生物科技、营养液栽培和信息技术等手段,技术高度密集,多年来一直被国际上公认为设施农业的最高级发展阶段,是衡量一个国家农业高技术水平的重要标志之一。同时,由于植物工厂可不占用农用耕地,产品安全无污染,操作省力,机械化程度高,单位面积产量可达露地生产的几十倍甚至上百倍,因此又被认为是 21 世纪解决人口、资源、环境问题的重要途径,也是未来航天工程、月球和其他星球探索过程中实现食物自给的重要手段。

目前,有关植物工厂的定义与分类方式还有不少争论,欧美与亚洲的意见也不一致,欧美人很少把具有人工补光的温室、内部采用水耕栽培或岩棉培植的蔬菜花卉工厂化生产方式称为太阳光利用型植物工厂,而在亚洲尤其是日本,就将其划分为太阳光利用型植物工厂之列。笔者曾经与日本植物工厂学会理事长、原千叶大学校长古在丰树教授探讨过这一话题,古在先生说,目前日本也未有统一的定论,普遍接受的意见是植物工厂可分为两种主要类型,即人工光利用型和太阳光(有补光或无补光)利用型植物工厂。人工光利用型植物工厂是指在完全密闭可控的环境下采用人工光源与营养液栽培技术,在几乎不受外界气候条件影响的环境下,进行植物周年生产的一种方式。其主要特征为:①建筑结构为全封闭式,密闭性强,屋顶及墙壁材料(硬质聚氨酯板、聚苯乙烯板等)不透光,隔热性较好;②只利用人工光源,光源特性好,如高压钠灯、高频荧光灯(Hf)以及发光二极管(LED)等;③采用植物在线检测和网络管理技术,对植物生长过程进行连续检测和信息处理;④采用营养液水耕栽培方式,完全不用土壤甚至基质;⑤可以有效地抑制害虫和病原微生物的侵入,在不使用农药的前提下实现无污染生产;⑥对设施内光照、温度、湿度、 CO_2 浓度以及营养液 EC(电导率)、pH、DO(溶氧浓度)和液温等要素均可进行精密控制,明、暗期长短可任意调节,植物生长较稳定,可实现周年均衡生产;⑦技术装备和设施建设的费用高,能源消耗大,运行成本较高。太阳光利用型植物工厂是在半封闭的温室环境下,主要利用太阳光或短期人工补光以及营养液栽培技术,进行蔬菜周年生产的一种方式。其主要特征为:①温室结构为半封闭式,建筑覆盖材料多为玻璃或塑料(氟素树脂、薄膜、PC 板等);②光源主要为自然光,但在夜晚或白天连续阴雨寡照时,也采用人工光源补充;③温室内存有多种环境因子的监测和调控设备,包括温度、湿度、光照、 CO_2 浓度等环境因子的数据采集以

及顶开窗、侧开窗、通风降温、喷雾、遮阳、补光、保温、防虫等环境调控系统；④栽培方式以水耕栽培和基质栽培为主；⑤生产环境易受季节和气候变化的影响，生产品种有一定的局限性，主要为叶菜类和茄果类蔬菜，有时生产不太稳定；⑥设施建设成本较人工光植物工厂要低得多，运行费用也相对低一些。

1.2 发展植物工厂的意义

近年来，植物工厂受到了前所未有的关注，原因是多方面的，但最为突出的有以下几个方面的考虑：①人口的飞速增长，可耕地的不断减少。据联合国预测，到2050年全球人口将达95亿，人类的食物需求也将要比现在增加70%~100%，而人均耕地面积在最近30年却已从 0.33hm^2 下降至 0.22hm^2 以下，降幅达31.7%。到2050年，我国人口将达到16.4亿，而耕地面积则由目前的9600万公顷下降到7300万公顷。如何利用有限的耕地资源满足人们日益增长的社会需求，已经成为世界各国尤其是资源紧缺国家必须面对的严峻问题，资源高效利用型植物工厂被认为是解决这一问题的重要途径之一。②药残超标问题日益突出，食品安全越来越受到大众关注。目前，杀虫剂和农药的使用仍非常普遍，药残超标的现象时有发生，随着人们生活水平的不断提高，对安全食品的需求也越来越迫切。植物工厂由于不使用或少用农药，所生产的蔬菜洁净无污染，正在受到社会的广泛追捧。③农业从业人口老龄化，年轻人不愿务农的现象日趋严重。据统计，日本2006年从事农业的劳力中60岁以上的人口占68.9%，而40岁以下仅占5%。预计到2016年，农业劳力60岁以上的人口将占82.8%，40岁以下的人口下降至4.7%。我国目前从事农业劳力中60岁以上老人也已经占60%以上，吸引年轻人务农将是很多国家面临的社会难题。植物工厂以其舒适的工作环境和工厂化的生产方式进行农事操作，将是吸引有知识的年轻人参与农业生产的重要方式。

此外，植物工厂作为技术高度密集、资源高效利用的农业生产方式，还具有其他农业模式无法比拟的优势，具体表现为：

① 作物生产计划性强，可在不受外界环境影响的条件下，实现周年均衡生产，叶菜类蔬菜一年可收获15~18茬。

② 单位面积产量高，资源利用率高。生菜年产量可达 $150\text{t}/1000\text{m}^2$ ，为露地栽培的30~40倍。

③ 机械化、自动化程度高，劳动强度低，工作环境舒适，可吸引一大批有知识的年轻人从事农业生产。

④ 不施用农药，产品安全无污染。通过人工环境控制手段，可有效阻止病虫害侵入，生产过程不用或少用农药。

⑤ 多层式、立体栽培。人工光植物工厂的栽培层数可达 8 ~ 10 层, 甚至更高, 显著地提升了土地利用效率。

⑥ 可在非可耕地上生产, 不受或很少受土地的限制。在城郊荒地, 建筑物屋顶或地下室, 楼宇之间的空地, 沙漠、戈壁、岛礁, 甚至在空间站及其他星球上都可以进行植物生产。

⑦ 可建立在城市周边或市区, 蔬菜就近生产、就近销售, 减少了中间环节, 既能保持蔬菜尤其是叶菜类蔬菜的新鲜度, 又可大幅度缩短产地到市场的运输距离, 减少物流成本和碳排放。

因此, 植物工厂被认为是未来解决人口增长、资源紧缺、新生代劳动力不足、食物需求不断上升等问题的重要途径, 尤其是以植物工厂技术为基础的“垂直农业”或“摩天大楼农业”, 更是为未来人类的食物供给找到了一条希望之路。

我国是一个农业大国, 人口多, 耕地少, 人均资源相对不足。我国农业的发展正面临着人口、资源、环境的巨大压力和社会需求不断上升的严峻挑战。如何利用有限的资源满足人们日益增长的对食物和纤维的需求, 实现农业的可持续发展, 是新时期我国农业发展面临的重大挑战。植物工厂作为资源高效利用型农业生产方式, 在我国的广泛应用和推广普及必将对缓解人口、资源、环境压力, 大幅度提高单位资源的利用效率, 提升我国农业现代化水平, 具有十分重要的意义。

1.3 植物工厂历史回顾

1.3.1 国际植物工厂的发展

植物工厂的发展始于 20 世纪 50 年代欧美等一些发达国家, 自诞生以来, 历经了半个多世纪的发展历程, 目前已经成为现代农业高技术产业的重要组成部分。植物工厂的基础主要来自于两项技术的突破, 一项被称之为“营养液栽培技术”, 20 世纪 40 年代以来以“矿质营养学说”为理论基础的营养液栽培技术的应用与推广, 为植物工厂的发展提供了重要的技术支撑; 另一项就是“人工模拟环境与控制技术”, 以 1949 年美国植物生理和园艺学家 F.W. Went 教授在加州帕萨迪纳建立的第一座人工气候室为标志, 引发了“人工模拟生态环境”领域的革命性突破。世界上第一座植物工厂出现于 1957 年的丹麦约克里斯顿农场, 面积为 1000m², 属人工光和太阳光并用型, 栽培作物为水芹, 从播种到收获均采用全自动传送带流水作业, 随后于 1963 年在奥地利的卢斯那公司建成了一座高 30m 的塔式人工光植物工厂, 利用上下传送带旋转式的立体栽培方式种植生菜, 光源采用人工光。20 世纪 70 年代以来, 随着水耕栽培技术的不断创新与突破, 为植物工厂的发展提供了重要动力。1973 年

英国温室作物研究所 Cooper 教授提出了营养液膜法 (nutrient film technique, 简称 NFT) 水耕栽培模式, 大大简化了栽培结构, 降低了生产成本。同时, 日本在这一阶段还研制出了深液流栽培法 (deep flow technique, 简称 DFT), 并形成了 M 式、神园式、协和式、新和等量交换式等水耕栽培模式, 大大推进了植物工厂栽培技术的进步。第一个完全依赖人工光的植物工厂最早于 1960 年由美国通用电气公司开发成功, 到 1970 年陆续有通用食品公司、赛纳拉鲁米勒斯公司及依法德法姆公司等多家公司开始进行研发; 1974 年日本日立制作所中央研究所高辻正基所在的研究组开始进行人工光植物工厂的研究, 但真正在日本用于实际生产的第一个人工光植物工厂是 1983 年静冈三浦农场推出的平面式和三角板型植物工厂, 当时的光源主要采用高压钠灯 (图 1-1), 栽培方式采用气雾培育与水耕栽培。随后, 荷兰、美国、奥地利、挪威等国家, 以及一些著名企业如荷兰的飞利浦、美国的通用电气、日本的日立和电力中央研究所等也纷纷投入巨资与科研机构联手进行植物工厂关键技术的研究, 为植物工厂的快速发展奠定了坚实的基础。



图 1-1 日本的人工光植物工厂

左图为1983年在静冈三浦农场建立的三角板型植物工厂, 右图为无菌植物工厂

20 世纪 80 年代以来, 植物工厂进入了快速发展时期, 仅日本就建成了 50 多座各类型号的植物工厂, 1989 年 4 月日本还专门成立了植物工厂学会。近年来, 日本政府针对本国土地资源少、年轻人不愿务农、居民对高品质农产品需求旺盛的现实, 提出了大力发展植物工厂、振兴现代农业的计划, 由农林水产省出资 1000 亿日元、经济贸易工业省出资 500 亿日元补助科研单位、企业和农户, 计划新增 100 座大型植物工厂, 以解决日本农业面临的问题; 同时, 为了抢占国际农业高端技术市场, 支持三菱、丰田等公司开发植物工厂配套产品, 计划出口到中国、中东、欧美等国家和地区; 韩国自 2009 年以来, 开始进行人工光植物工厂的研发, 两年多的时间内推出了多个型号的植物工厂产品; 美国一方面通过植物工厂的研究希望为空间站和星球探索提供食物保障, 另一方面还提出了“摩天大楼农业”的构想, 希望利用植物工厂资源高效利用技术解决未来农业和空间探索的食物供给难题; 欧洲各国也在

从节能和降低运行成本的角度进行植物工厂的研发,尤其是利用计算机系统实现植物工厂的智能化监控,使运行成本大为降低,劳动生产率显著提高,极大地推动了植物工厂的普及与发展。

目前,国际上植物工厂技术研发极为活跃,一方面不断引入和应用高新技术,朝着更加高端的方向发展;另一方面朝着更加节能和低运行成本的实用化方向发展,实现技术的普及化。人工光植物工厂已经能够实现对植物生长的环境要素(温度、湿度、光照、 CO_2 浓度等)和营养液离子浓度进行在线实时检测和智能化监控;植物工厂叶类蔬菜实现了多层立体栽培,栽培层数可达到8~10层,空间利用率大幅提高;同时,LED节能光源以及太阳能与新能源技术正在开发应用,大大降低了系统能耗与运行成本。此外,通过现代装备工程技术的引入和智能化监控手段的应用,植物工厂已经能够实现从育苗、定植、栽培管理与收获的全程机械化操作,劳动生产率显著提高。

1.3.2 国内植物工厂的发展

我国植物工厂起步较晚,1998年和1999年分别从加拿大引进过两套太阳光利用型植物工厂:一套放置在深圳,面积为 1.33hm^2 ;一套放置在北京顺义,面积为 1.5hm^2 。主要采用深池水培系统进行波士顿奶油生菜的栽培生产,深圳的一套系统由于使用单位缺乏对技术的把握以及外方核心技术保密,建成后一直未能得到有效运转;北京的一套系统放置在北京顺义三高农业示范区内,近年来交由北京顺鑫农业股份有限公司经营,技术上也进行了一些改进,一直运行得不错(图1-2)。



■ 图1-2 太阳光利用型植物工厂

北京顺义

国内植物工厂的研究起步于2002年前后,由作者所在的课题组在科技部“植物水耕栽培装置及其营养液自控系统研究”、“植物无糖培养工厂化综合调控系统的研究”等项目的支持下,开始进行密闭式人工光环境控制系统以及水耕栽培营养液在线检测和智能控制系统的研究。在这两个课题的支持下,植物工厂的相关研究取得