

国外设施农业的现状与发展趋势

高峰^{1,2}, 俞立¹, 卢尚琼³, 徐青香², 于莉洁²

(1. 浙江工业大学 信息工程学院, 浙江 杭州 310032; 2. 浙江林学院 现代教育技术中心, 浙江 临安 311300;
3. 浙江林学院 图书馆, 浙江 临安 31300)

摘要: 设施农业是在人为可控环境下进行的高效农业生产方式, 具有抵御风险能力强, 物质和能量投入大, 知识与技术高度密集, 地区差异性显著以及经济、社会和生态三重性等特点。国外设施农业起源于公元前4世纪。20世纪70年代以来, 设施农业发展迅速, 目前已经发展到较高水平, 表现在: 设施园艺、集约化生产已具有相当规模, 形成了成套的技术、完整的设施设备和生产规范。国外设施农业的发展趋势是: 设施标准化、大型化, 作业机械化, 设施环境监控系统自动化、智能化、网络化, 农业生产工厂化, 等。剖析了设施农业的内涵与特征, 回顾了国外设施农业的发展历程, 分析了国外设施农业的发展现状, 指出了全球设施农业发展的新趋势。参 40

关键词: 农业工程; 设施农业; 现状; 发展趋势; 温室; 智能控制

中图分类号: TP2; S-1 文献标志码: A 文章编号: 1000-5692(2009)02-0279-07

Status quo and development trend of facility agriculture in foreign countries

GAO Feng^{1,2}, YU Li¹, LU Shang-qiong³, XU Qing-xiang², YU Li-jie²

(1. College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310032, Zhejiang, China; 2. Modern Educational Technology Center, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 3. Library, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: Facility agriculture is a highly effective agricultural production under the artificial controllable environment. It is characterized by strong risk resistance, large input of material and energy, highly concentrated knowledge and technology, distinct region discrepancy and multiple effects in economy, society and ecology. The facility agriculture can be dated back to the 4th Century BC and has been developing rapidly since the 1970s. It has developed to such a high degree that facility horticulture and intensive production are of considerable large scale and complete technology, equipment and specification. The development trend of foreign facility agriculture is as follows: standardization and large-scaling of agricultural facilities, mechanization of agricultural production, automatization, intellectualization and networking of computer monitoring system for environment of agricultural facilities, industrialized agricultural production, etc. In this paper, the connotation and characteristics of facility agriculture were analyzed, the history of foreign facility agriculture was briefly reviewed, and the status quo of foreign facility agriculture was concluded. In the end, the development trend of the world facility agriculture was also pointed out. [Ch, 40 ref.]

Key words: agricultural project; facility agriculture; status quo; development trend; greenhouse;

收稿日期: 2008-04-15; 修回日期: 2008-07-22

基金项目: 浙江省科技支撑和引导计划面上项目(2008C22G2100030)

作者简介: 高峰, 副教授, 博士研究生。从事无线传感器网络、网络控制系统分析与设计等研究。E-mail: gaofeng@zjfc.edu.cn。通信作者: 俞立, 教授, 博士, 博士生导师, 从事网络环境下的控制系统分析与设计、无线网络的调度与优化控制和鲁棒控制等研究。E-mail: lyu@zjut.edu.cn

intelligent control

设施农业是采用具有特定结构和性能等设施、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,在一定程度上摆脱对自然环境的依赖而进行有效生产的农业。它是获得速生、高产、优质、高效的农产品的新型生产方式,是世界各国用以提供新鲜农产品的主要技术措施。按主体不同,设施农业可以分为2种类型:设施栽培和设施养殖^[1-4]。中国设施农业研究始于20世纪80年代后期,经过几十年的发展,虽然取得了举世瞩目的成就,但与设施农业比较发达的国家相比,仍有较大差距,主要表现在^[5-6]:设施水平低下,抗御自然灾害的能力差;机械化程度低,生产仍以人力为主,劳动强度大,劳动生产率低;设施农业技术不配套、不规范、科技含量低,缺乏量化指标,在技术应用和生产上尚存在相当的盲目性,难以实现设施农业的整体效益功能和较大规模的商品生产;设施栽培技术落后,管理粗放。栽培管理主要依靠经验,致使设施条件下农产品的产量和品质始终在低水平上徘徊。它山之石,可以攻玉。研究分析发达国家在设施农业领域已有的经验、教训和模式,对于推动中国农业科技创新工程实践,促进农业现代化进程,具有十分重要的意义。为此,笔者剖析了设施农业的内涵及其特点,并简单回顾了国外设施农业的发展历程,分析了国外设施农业的现状,指出了全球设施农业发展的新趋势。

1 设施农业的特征

设施农业是农业生态系统的子系统,因此,它除具有农业生态系统的一般特征之外,还具有下列显著特征^[6-8]。①抵御风险的能力强。设施农业对农业生产的各个方面及环节,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的限制,从而增强了抵御风险的能力。②物质和能量的投入大。设施农业是科技含量及集约化程度非常高的现代农业生产方式,自然要求有大量物质和能量的投入。③知识与技术高度密集。设施农业是先进的生物技术、工程技术、信息技术、通信技术和和管理技术的高度集成,是涵盖了建筑、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。④具有经济、社会、生态三重性。设施农业系统是典型的生态经济系统,具有经济、社会和生态综合效益:首先,设施农业通过对环境条件的控制,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生产,产量高且产品品质好,生产周期短,从而提高经济效益。其次,设施农业可为人们提供新鲜、奇特、健康、安全的农副产品,满足城乡居民对农产品的市场需求,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。

2 国外设施农业发展概况

2.1 国外设施农业发展历程

设施农业历史悠久。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^[6];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 *Cucumis sativus*, 甜瓜 *C. melo*, 葡萄 *Vitis vinifera*, 柑橘 *Citrus spp.*, 甜橙 *Citrus sinensis* 和凤梨 *Ananas comosus* 等^[9]。

19世纪后期,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^[9]。20世纪60年代,美国成功研制无土栽培技术,使温室栽培技术产生一次大变革。到20世纪70年代初,美国已有400 hm²无土栽培温室用于生产黄瓜、番茄 *Lycopersicon esculentum* 等。1980年,全世界用于蔬菜生产的温室面积达16.5万 hm²,总产值达300亿美元·a⁻¹;用于花卉生产的

温室 5.5 万 hm^2 ，总产值达 160 亿美元 $\cdot\text{a}^{-1}$ 。

果树的设施栽培开始于 18 世纪。目前，世界各国设施栽培的果树主要是落叶果树，其中以葡萄最多，另外还有草莓 *Fragaria ananassa*，桃 *Prunus persica*，苹果 *Malus pumila*，樱桃 *Cerasus pseudocerasus*，梨 *Pyrus spp.*，李 *Prunus spp.*，杏 *Armeniaca vulgaris*，无花果 *Ficus carica* 等^[9]。树种和品种选择的原则是：早熟，品质优，病虫害少，季节差价大等。

畜禽设施养殖发展较晚。20 世纪 30 年代人工合成维生素的成功和蛋白质工业的出现，20 世纪 40 年代饲料添加剂的问世，促使畜牧养殖业向现代化、集约化方向发展^[10]。20 世纪 50 年代以后开始相继出现工厂化养鸡、养猪和养牛。经过多年实践，设施养殖业的生产方式及工程配套技术逐步成熟，至 20 世纪 80 年代末、90 年代初，已分别形成了各气候区的猪、肉鸡、蛋鸡、牛、羊等的养殖工艺和配套设施标准化设计。

从 20 世纪 60 年代开始，许多国家开始水产养殖的工业化试生产，建造养鱼车间，进行封闭式循环流水养鱼或利用地热和工厂余热开展温流水工厂化养鱼^[10]。美国于 1964 年首次引进网箱养殖技术，1975 年养殖产量达 740 t。前苏联于 1964 年开始利用热电站温排水从事网箱养鲤 *Cyprinus carpio*，到 20 世纪 80 年代初期养殖面积达到 15 hm^2 ，平均单产 80 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 左右。著名的德国施泰勒马蒂克养鱼系统是一全封闭循环温流水设施，建于 1983 年，产鲤鱼，虹鳟鱼 *Salmo gairdneri* 等 100 t，并具有较好的示范性。日本的封闭式循环流水鱼类养殖车间，开始阶段以养鲤为主，后来扩大到养鳗鱼 *Muraenesox cinereus*，鲟鱼 *Acipenser sturio*，香鱼 *Plecoglossus altivelis* 和黑鲷 *Sparus macrocephalus* 等，生产目的也发展为亲鱼培育和苗种繁殖等。

2.2 国外设施农业发展现状

20 世纪 70 年代以来，西方发达国家在设施农业上的投入和补贴较多，设施农业发展迅速^[11]。荷兰、以色列、美国、日本等设施农业比较发达的国家，在设施环境调控、土壤特性演变、肥水管理、专用品种选育等方面进行了全面系统的研究，并形成了完整的设施农业栽培技术体系^[12]。

荷兰是世界拥有最多、最先进玻璃温室的国家，集成化的工业技术在设施农业中被广泛应用，已研制出先进的设施环境智能控制系统，可根据作物对环境的不同需求，由计算机对设施内的环境因子，如温、光、水、气、肥等，进行全面有效的自动监测与调控，使设施土壤连作障碍不成为影响作物生长的限制因子^[12-13]。

以色列的温室设备材料、滴灌技术、种植技术及养殖品种的开发和培育均属世界一流，尤其在设施灌溉技术方面处于世界领先地位，其高效、节水灌溉系统可把设施土壤的盐渍化程度控制在很低水平^[14-16]。

美国的温室多数为大型连栋温室^[17-18]，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；在美国的北部，只发展冬季不加温的塑料大棚，而把温室企业发展中心转移到南方，这样可以节省大量能源。在设施栽培综合环境控制技术方面，所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处于世界领先水平^[19-20]。

日本是世界上果树设施栽培面积最大、技术最先进的国家，也是世界上最先采用工业成套设备从事鱼类养殖的国家之一。在发展设施农业的过程中，日本十分关注国外设施农业的发展动向，注重立足国内的气候和栽培特点，引进、消化、吸收国外先进温室结构和栽培、养殖经验，全面改进和提高日本温室结构与性能，设施农业发展十分迅速^[21]。其先进的温室配套设施和综合环境调控技术处于世界先进行列，近年来在组培环境调控和封闭式育苗技术等方面，取得了令人瞩目的成果。比如：日本的温室设施可以通过计算机将温度、湿度、二氧化碳浓度和肥料等控制在最适合植物生长发育的水平上，所开发的设施栽培计算机控制系统可以比较全面地对设施内栽培植物所需环境进行多因素监测与控制；产品采后清选、分级、包装、预冷等作业实现自动化或半自动化^[22-23]。

综上所述，国外设施农业已经发展到较高水平，设施园艺、集约化养殖生产已具相当规模，形成了成套的技术、完整的设施设备和生产规范，以高投入、高产出、高效益及可持续发展为特征，实现了周年生产和均衡上市。在上述国家，设施农业正以传统农业前所未有的高生产率创造高的经济效

益,并在向自动化、智能化和网络化方向发展,将形成摆脱自然的全新技术体系。

3 国外设施农业发展趋势

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,其内涵越来越丰富,技术含量越来越高,朝着自动化、智能化和网络化方向发展。具体地说,国外设施农业的发展呈现以下显著的趋势。

3.1 设施标准化、大型化

发达国家根据当地的自然条件、农业资源情况、气候和栽培特点等因素,设计适合当地条件,能充分利用太阳辐射的标准型设施、装置及构件,实现了农业设施的系列化和标准化。与此同时,为了节省材料、降低成本,提高采光率、栽培效益及经济效益,发达国家的生产型温室不断向大型化方向发展^[6,24-25]。此外,连栋温室得到普遍推广,温室的室高在4.5 m以上。温室空间扩大后,可进行立体栽培,便于机械化作业。

3.2 作业机械化

设施内生产管理的机械化是设施农业的重要方面。发达国家已经在设施农业中广泛使用小型、轻便、多功能、高性能的设施园艺耕作机械、播种育苗装置、灌溉施肥装置以及自动嫁接装置等,普遍实现了播种、育苗、定植、管理、收获、包装、运输等作业的机械化^[7,20]。

3.3 设施环境监控自动化、智能化、网络化

设施农业的核心是对设施内环境能够有效地调控,营造适于生物生长发育及农产品储藏保鲜的最佳环境条件。为此,许多学者对控制器和控制方法进行了卓有成效的研究,并取得了丰富的成果^[26-32]。如:美国开发了能够辨别秧苗质量并能分拣的温室移苗作业机器人;日本开发了可行走的耕耘施肥机器人、能在设施内完成各项作业的无人行走车,用于组织培养作业的机器人,柑橘和葡萄收获机器人等。目前,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不断应用于设施农业领域,这些技术的有机整合,使得设施环境监控系统朝着自动化、智能化和网络化方向发展。设施管理水平不断提高。

3.4 温室覆盖材料多样化

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^[6]。总之,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。

3.5 生产体系专业化、产业化、国际化

在设施农业发达的国家,设施农业生产完全走专业化、产业化、国际化发展道路。这主要体现在^[6-7,13,20]:①温室围绕市场需要生产,温室产品的商品化率非常高。②采用规范有序的市场经营模式,以市场为导向和生产的拉力源,形成完整的体系。③种苗专用,栽培产品多样化与特色化。④设施农业生产迈入国际化的市场体系。⑤形成健全的市场销售体系。

3.6 农业生产工厂化

美国、法国、日本等一些发达国家对工厂化农业给予了高度的关注,一直在研究“工厂化农业”成套技术。目前,荷兰、奥地利、英国、挪威、伊朗、希腊、利比亚、美国和日本等国家均建有植物工厂,利用植物工厂主要生产莴苣 *Lactuca sativa*, 番茄, 菠菜 *Spinacia oleracea*, 药材和牧草等^[13,20,23,33]。

需要指出的是,对于工厂化农业,以下2个问题亟待解决:①营养液及养殖用水的净化处理及重复利用。解决思路是建立循环水系统,实现封闭式内循环生产。②降低设施、设备成本及能量消耗。

3.7 无土栽培将成为主要的栽培方式

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。在西方发达国家,无土栽培技术的研究取得较大进展,已经成功开发计算机控制的营养液配制和供给的闭路循环系统;目前,无土栽培技术正得到广泛应用,并逐渐成为主要的栽培方式^[34-36]。

3.8 设施生产向节能方向转移

由于能源危机,导致设施农业能源成本不断增加,产品的生产成本提高,经济效益下降,削弱了

与露地生产的竞争力。因此，世界各国发展设施农业的重心开始向节能方向转移，主要途径是^[37-38]：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；针对大型温室夏季室温过高的问题，对其结构形式进行了一系列分析研究，已开发通风换气效率高的温室，并获得推广应用。

3.9 积极发展温室生物防治技术

发达国家发展设施农业，保护环境是前提条件。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，大力发展生物防治技术^[39-40]。如荷兰温室的青椒，生物防治的商品率已经达到 80% ~ 90%^[6]。日本从 1993 年也开始发展温室生物防治。

4 结束语

设施农业在国外发展迅速。荷兰、以色列、美国和日本等设施农业比较发达的国家，已经在设施环境调控、土壤特性演变、肥水管理、专用品种选育等方面进行了全面系统的研究，并形成了完整的设施农业栽培技术体系、成套的技术、完整的设施设备和生产规范，使农业生产不再受到自然的限制，实现了周年生产，均衡上市。

无线传感器网络技术、现代通信技术、智能控制技术、计算机视觉技术及空间技术等的发展和广泛应用，将对设施农业的发展带来极大的影响和巨大的推动，必将加速设施农业自动化、智能化和网络化的进程。

尽管世界设施农业取得巨大进展，但仍有许多问题亟待解决。未来研究的核心目标是：不断改进设施农业环境监控系统的性能和精度，降低其建设、维护与运行成本，提高设施农业的效益；积极寻求设施农业生产新能源，减少各种农业设施、设备的能量消耗，实现节能降耗；深入探索并推广无土栽培技术、温室生物防治技术、营养液及设施农业用水的净化处理与重复利用技术，从而持续增强设施农业的经济、社会与生态综合效益。

与设施农业比较发达的国家相比，中国的设施农业处于后发展阶段。因此，可以借鉴这些国家的经验、教训和模式，包括高效利用农业资源的做法、高效的农业研究方法和科技管理方法等，从而推动中国农业科技创新工程的实践，促进中国设施农业可持续发展，加速中国农业现代化进程。

参考文献：

- [1] 毛罕平. 设施农业的现状与发展[J]. 农业装备技术, 2007, 33 (5): 4 - 9.
MAO Hanping. Status quo and development of facility agriculture[J]. *Agric Equip Technol*, 2007, 33 (5): 4 - 9.
- [2] 刘宏军. 关于我国设施农业、设施园艺业发展现状与对策研究[J]. 农业与技术, 2007, 27 (4): 5 - 8.
LIU Hongjun. Development and strategy of facility agriculture and facility horticulture in China[J]. *Agric Technol*, 2007, 27 (4): 5 - 8.
- [3] 何芬, 马承伟. 中国设施农业发展现状与对策分析[J]. 中国农学通报, 2007, 23 (3): 462 - 465.
HE Feng, MA Chengwei. Development and strategy of facility agriculture in China[J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2007, 23 (3): 462 - 465.
- [4] 李亚敏, 商庆芳, 田丰存, 等. 我国设施农业的现状与发展趋势[J]. 北方园艺, 2008 (3): 90 - 92.
LI Yamin, SHANG Qingfang, TIAN Fengcun, et al. Present status of China's installation agriculture and its development trend[J]. *North Hortic*, 2008 (3): 90 - 92.
- [5] 朱德文, 陈永生, 程三六. 我国设施农业发展存在的问题与对策研究[J]. 农业装备技术, 2007, 33 (1): 5 - 7.
ZHU Dewen, CHEN Yongsheng, CHENG Sanliu. Questions and strategy of development of facility agriculture in China [J]. *Agric Equip Technol*, 2007, 33 (1): 5 - 7.
- [6] 张乃明. 设施农业理论与实践[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 1 - 17.
- [7] 平英华, 胡进鑫, 何生保. 我国设施农业发展体系建设构想[J]. 农业开发与装备, 2007 (3): 42 - 44.
PING Yinghua, HU Jinxin, HE Shengbao. On the construction of facility agriculture development system[J]. *Agric Develop Equip*, 2007 (3): 42 - 44.
- [8] 李文荣. 论设施农业的创新与发展[J]. 农机化研究, 2007 (8): 183 - 186.

- LI Wenrong. The innovation and development of facility agriculture[J]. *J Agric Mech Res*, 2007 (8): 183 – 186.
- [9] 安国民, 徐世艳, 赵化春. 国外设施农业现状与发展趋势[J]. *现代化农业*, 2004 (12): 34 – 36.
- AN Guomin, XU Shiyun, ZHAO Huachun. Present status and development trend of foreign facility agriculture[J]. *Mod Agric*, 2004 (12): 34 – 36.
- [10] 科学技术部中国农村技术开发中心. 设施农业在中国[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007: 3 – 47.
- [11] 高翔, 齐新丹, 李骅. 我国设施农业的现状与发展对策分析[J]. *安徽农业科学*, 2007, **35** (11): 3453 – 3454.
- GAO Xiang, QI Xindan, LI Hua. Current situation and countermeasures of facility agriculture in China[J]. *J Anhui Agric Sci*, 2007, **35** (11): 3453 – 3454.
- [12] TEN BERGE H F M, VAN ITTERSUM M K, ROSSING W A H, *et al.* Farming options for the Netherlands explored by multi-objective modelling[J]. *Eur J Agron*, 2000, **13** (2–3): 263 – 277.
- [13] VERHOEFF K, MOLLEMA C, RABBINGE R. Agricultural science in the Netherlands[M]//LOEBENSTEIN G, THOTTAPPILLY G. *Agricultural Research Management*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2007: 331 – 355.
- [14] QADIR M, BOERS T M, SCHUBERT S, *et al.* Agricultural water management in water-starved countries: challenges and opportunities[J]. *Agric Water Manage*, 2003, **62** (3): 165 – 185.
- [15] YERMIYAHU U, TAL A, BEN-GAL A, *et al.* Environmental science: rethinking desalinated water quality and agriculture[J]. *Science*, 2007, **318** (5852): 920 – 921.
- [16] SINAIA N. Water development for Israel: challenges and opportunities[M]// LIPCHIN C, PALLANT E, SARANGA D, *et al.* *Integrated Water Resources Management and Security in the Middle East*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2007: 65 – 72.
- [17] HOCHMUTH G, HOCHMUTH R. *Design Suggestions and Greenhouse Management for Vegetable Production in Perlite and Rockwool Media in Florida* [EB/OL]. 2004-04-15[2008-04-20] <http://edis.ifas.ufl.edu>.
- [18] BUCKLIN R A. *Florida Greenhouse Design*[EB/OL]. 2008-09-10[2008-04-20] <http://edis.ifas.ufl.edu>.
- [19] SETHI V P, SHARMA S K. Survey of cooling technologies for worldwide agricultural greenhouse applications[J]. *Solar Energy*, 2007, **81** (12): 1447 – 1459.
- [20] SUDDUTH K A. *Current Status and Future Directions of Precision Agriculture in the USA* [R]. Pyeongtaek: Proceedings 2nd Asian Conference on Precision Agriculture, 2007.
- [21] MASUMOTO TAKAO, YUAN XIN, YOSHIDA TAKEO, *et al.* Status quo and perspectives in integrated management of water resource facilities for agricultural water use in the Upper Tone River Basin[J]. *Tech Rep Natl Ist Rural Eng*, 2006, **204**: 115 – 128.
- [22] TSURU H, YOKO Y N, FUJII Y. Toward urban agriculture of new style-plant factory laboratory[J]. *J Ist Electr Eng Jpn*, 2006, **126** (5): 264 – 267.
- [23] TAKATSUJI M. Present status and future prospect of plant factories using LED and LD[J]. *Bio Ind*, 2006, **23** (3): 5 – 9.
- [24] VON ELSNER B, BRIASSOULIS D, WAAIJENBERG D, *et al.* Review of structural and functional characteristics of greenhouses in European Union countries: part I, design requirements[J]. *J Agric Eng Res*, 2000, **75** (1): 1 – 16.
- [25] VON ELSNER B, BRIASSOULIS D, WAAIJENBERG D, *et al.* Review of structural and functional characteristics of greenhouses in European Union countries, part II: typical designs[J]. *J Agric Eng Res*, 2000, **75** (2): 111 – 126.
- [26] TAMAKI K. Agriculture and robot-from the past to the future[J]. *J Agric Sci*, 2006, **50** (4): 83 – 94.
- [27] HEMMING I S, BOT G P A. Simple greenhouse climate model as a design tool for greenhouses in tropical lowland[J]. *Biosys Eng*, 2007, **98** (1): 79 – 89.
- [28] LUKASSE L J S, DE KRAMER-CUPPEN J E, VAN DER VOORT A J. A physical model to predict climate dynamics in ventilated bulk-storage of agricultural produce [J]. *Intern J Refrig*, 2007, **30** (1): 195 – 204.
- [29] CUI Y J, NAGATA M, GUO F, *et al.* Study on strawberry harvesting robot using machine vision for strawberry grown on annual hill top (Part 2)-ripeness judgment and recognition of peduncle using picking camera, and fabrication of the picking hand[J]. *J Jpn Soc Agric Mach*, 2007, **69** (2): 60 – 68.
- [30] 高峰, 俞立, 张文安, 等. 基于作物水分胁迫声发射技术的无线传感器网络精量灌溉系统的初步研究[J]. *农业工程学报*, 2008, **24** (1): 60 – 63.
- GAO Feng, YU Li, ZHANG Wen'an, *et al.* Preliminary study on precision irrigation system based on wireless sensor networks of acoustic emission technique for crop water stress[J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2008, **24** (1): 60 – 63.

- [31] 王建军, 武秋俊. 机器人在农业中的应用[J]. 农机化研究, 2007 (7): 174 - 176.
WANG Jianjun, WU QiuJun. Robots are applied in agriculture[J]. *J Agric Mech Res*, 2007 (7): 174 - 176.
- [32] 田素博. 国内外农业机器人的研究进展[J]. 农业机械化与电气化, 2007 (2): 3 - 5.
TIAN Subo. Research progress of sgricultural robot at home and abroad[J]. *Agric Mech Electrif*, 2007 (2): 3 - 5.
- [33] YASUNO R, MATSUMURA T. Plant factory for GM plant[J]. *Bio Ind*, 2007, **24** (2): 92 - 99.
- [34] MELGAREJO P, MARTiNEZ J J, HERNáNDEZ F, *et al.* Preliminary results on fig soil-less culture[J]. *Sci Hortic*, 2007, **111** (3): 255 - 259.
- [35] 侯小改, 洪亚平. 牡丹无土盆栽研究现状与展望[J]. 安徽农业科学, 2007, **35** (25): 7817 - 7818.
HOU Xiaogai, HONG Yaping. Research dtatus and prospect of doilless vulture of tree peony[J]. *J Anhui Agric Sci*, 2007, **35** (25): 7817 - 7818.
- [36] 董晓宇, 蔡晓红, 翟春峰, 等. 新型有机栽培基质的研究进展及展望[J]. 陕西农业科学, 2007(4): 88 - 90.
DONG Xiaoyu, CAI Xiaohong, ZHAI Chunfeng, *et al.* Research progress and prospect of new organic cultural substrate [J]. *Shaanxi J Agric Sci*, 2007(4): 88 - 90.
- [37] VAN OOTEGHEM R J C. *Optimal Control Design for a Solar Greenhouse*[D]. Wageningen: Wageningen University, 2007.
- [38] FAISAL M S A, DESA A, ABDUL R M S, *et al.* Design and development of a photovoltaic power system for tropical greenhouse cooling[J]. *Am J Appl Sci*, 2007, **4** (6): 386 - 389.
- [39] 杨荣明. 以色列农作物病虫害综合防治现状[J]. 中国植保导刊, 2006, **26** (8): 44 - 46.
YANG Rongming. Present dtatus of integrated control of crop pests in Israel[J]. *China Plant Prot*, 2006, **26** (8): 44 - 46.
- [40] THOMAS C, THOMAS E, RÜDIGER P. Optimal pest control in agriculture[J]. *J Econ Dyn Cont*, 2007, **31** (12): 3965 - 3985.