

(国外都市农业信息服务平台) 第十八刊



# 国外农业信息

北京市科学技术情报研究所

2011年12月8日

---

## 国外植物工厂及其技术 设备发展概况

## 一、植物工厂与植物工厂机械的概念

植物工厂是通过采用现代农业工程和机械技术，改变自然环境，为动植物生产提供相对可控制甚至最适宜的温度、湿度、光照、水肥等环境条件，而在一定程度上摆脱对自然环境的依赖进行有效生产的农业，有时也把其称为可控环境农业。具有高投入、高技术含量、高品质、高产量、高效益等特点，是最有活力的农业新产业。广义植物工厂包括设施栽培和设施饲养，狭义植物工厂是指设施栽培。本研究项目涉及的植物工厂是狭义植物工厂，即利用设施栽培，它可以充分发挥作物的增产潜力，增加产量，改善品质，并能使作物在相反季节生长，在有限的空间中相对较少的的时间里生产出高品质的作物。

植物工厂机械，是指适合植物工厂耕作、栽培、收获等农艺特点，并在各类设施中工作的农业机械。国外植物工厂起步比较早，作物栽培已具备了成熟成套的技术，植物工厂机械及作业设备也齐全，生产比较规范，产量稳定，质量保证性强，并在向高层次、高科技和自动化、智能化方向发展，将形成全新的技术体系。为适应植物工厂的发展，荷兰、日本、韩国、美国、以色列和意大利等国家加强了植物工厂作业机具的开发、研究、推广和应用。目前其温室生产过程中的耕整地、播种、间苗、灌溉、中耕和除草等作业均已实现机械化。其开发的耕耘机可以在温室中进行耕整地、移栽、开沟、起垄、中耕、锄草、施肥、培土、喷药及短途运输等多种作业，大大提高了机械利用率和生产效率。

## 二、发达国家植物工厂发展的现状

世界上植物工厂与植物工厂机械比较发达的国家主要有荷兰、美国、英国、日本、以色列、意大利和韩国等国家，由于地理情况的限制，这些国家的植物工厂发展都比较早，植物工厂机械及作业装备都已达到了机械化水平，有些甚至都达到了智能化。

## 1. 荷兰

荷兰耕地不足，促使其比任何国家都更注重提高劳动生产率。因此，大多农业企业都采用集约化、规模化的生产方式。荷兰农业主要包括：农田作物，占农业总产值的 10%；畜牧业，占 60%，园艺和林业，占 30%；还有辅助工业如种子、化肥、动物饲料等。荷兰植物工厂，无论是蔬菜还是花卉，一般都是专业化生产，多品种经营。专业生产有利于设施专业配置、降低生产成本，提高产品质量并形成规模效益。同时专业化生产促进了专业领域的研究，使企业长足发展，为企业赢得了市场。专业化不仅体现在生产上，在温室产品的专业经营方面也显露出独特的魅力。追求经济利益的最大化，完全按市场需求决定企业生产经营方向，有效地抑制了相同产业或产品挤占市场“独木桥”的弊端。各园艺生产企业都有自己的经营特色，使市场行为更加规范有序。荷兰植物工厂机械及作业装备在措施方面，主要采取以下几种措施：

### (1) 加温系统的改进

荷兰植物工厂加温系统的改进最早出现在 20 世纪 60 年代初，当时温室设备利用的燃料是从煤发展到油为第一阶段；第二阶段是在 70 年代早期，燃料从油发展到天然气，从而也改进了温室的加热系统。

### (2) 控制方式的改进

在 60 年代中期，荷兰开始了温室模拟气候控制系统的研制、开发，据环境温度和湿度的变化进行加温和通风控制，这就是现今数字计算制的前身。

### (3) 营养液栽培系统的改进

在设施栽培中，荷兰逐渐引进和研究控制植物根系条件和营养的新的生产方式，通过栽培基质的筛选和滴灌技术改良的发展，到今天最先进的可控制的重复循环的营养液栽培系统，如营养液栽培、岩棉栽培、营养液喷雾栽培等。

### (4) 实现计算机控制

80 年代以来，荷兰全面开发计算机自动控制系统，把温室生产提高到了—

个新水平。

荷兰温室农业的发展体现了政府宏观调控的作用。政府在国内农业发展的不同阶段所采用的宏观政策是不同的。就温室农业而言，1983~1993 年十年中，荷兰的温室农业增值一直呈上升趋势，主要因政府实行了补贴政策，从事温室生产的农户均可获得温室建设投资 50% 的政府资助。同从事温室农业的农民收入也成几倍上扬。几年后政府取消了补贴政策，温室农业增值趋缓。在荷兰植物工厂产业处于“亚健康”发展阶段时，政府则会充分发挥其积极作用，稳定生产和市场。

## 2. 美国

美国许多植物工厂技术是从荷兰引进的。例如在美国西南部亚利桑那州沙漠地带建设的文罗式温室设备，达到了国际最高标准设计与制造水平，它耐腐蚀，无锈蚀，使用寿命超长。

文罗式温室实际面积大，净空超高，吊挂能力强、光照充足、抗风力超强，排水性能优异，广泛适合多种气候和四季运作。温控制部分有多种形式可选，可选择智能控制、全自动控制、半自动或手动控制。栽培设施可选择无土栽培、苗床培育等。灌溉方式可选择滴灌、微喷或其他方式。施肥系统可选由计算机中央控制的比例施肥系统，动态 EC 与 PH 检测控制，双回路保险，安全、高效、准确。20 世纪 90 年代以来，美国植物工厂技术有了较大的发展，主要有以下几个方面：

### (1) 建筑材料

美国温室建筑使用聚碳酸酯板（阳光板）已进入实用阶段。这种材料透光与保温性能好、耐用、不易破损、防火性能强，可以制成双层的中空板，保温性能更好。现在每平方米售价大约为 140~180 元人民币。

### (2) 环境综合控制技术的开发

在美国亚利桑那州图森市郊建立的“生物圈 2 号”是一个建筑面积为 1.2 公顷的特殊建筑物。里面模仿地球上的海洋、热带雨林、热带草带、沙漠地带、

灌木丛地带、温带草原和作物集约耕作区，生产食物，自给自足。目前经过了 7 年的环境综合控制技术研发与开发，虽然不算十分成功，但圈内的食物生产比地球上高 16 倍。

### **(3) 太空植物生产技术**

到目前为止，美国对航天飞机上应用的植物生产技术已经进行了 20 多年的研究。美国宇航中心已经采用最先进的无土栽培技术，生产人类在太空中生活必需的食物，并已经获得成功。为了使人类能在太空中生存，美国肯尼迪宇航中心与大学订立研究合同，主要的目的是在失重的条件下，用最小的面积，生产出尽可能多的食物，支持人类在太空中长期生存。最新技术每平方米可种 1 万株小麦，1.2 平方米的小麦就可满足一个人食用，玉米株高仅 40~50 厘米就成熟了，番茄每平方米种 100~120 株，还有绿豆、菜豆和马铃薯等作物都已经试验成功。目前在太空中吃的包括麦、薯、豆、菜等，每人只需 6 平方米就够了，这些作物从种到收一共需 50~60 天。

## **3. 英国**

英国农业部对植物工厂设施的设计和建造是很重视的，在一些农业工程研究中，大量进行温室骨架与荷载、温室光照与材料、温室环境与生理、温室环境的计算机优化、温室节能、温室自动化控制、温室作物栽培与无土栽培等课题的研究。在 70~80 年代，英国的温室的加热方法主要是用燃油炉，后来由于石油价格暴涨，能源产生危机，因此改为使用燃煤，有些地区也采用燃气锅炉和利用工厂余热。温室管理全部采用计算管理，主要控制温度、湿度、光照、通风、营养液供给温度和 PH 值等。在温室群的建设中，英国特别注意温室的防风处理，他们采用以树木作为屏障，这样既美化了环境，又可以防风。

## **4. 日本**

日本是一个岛国，农产品生产水稻为主，日本政府为农民提供大量的补贴，

保证稻谷比世界市场高 2~3 倍的价格水平，促进了水稻产量逐年提高。日本在 60 年代末实现了水稻自给有余，与此同时，日本设施农业也大体完成了机械化。植物工厂主要涉及的领域是蔬菜、花卉和水果。进入 80 年代末以来，日本在这些领域的生产总额跃居为世界第一。

现在，植物工厂生产技术已经在日本普及。植物工厂用钠蒸气灯取代太阳光，并通过计算机将温度、湿度、二氧化碳浓度和肥料等控制在最适合蔬菜生长发育的水平。同旱地栽培相比，蔬菜的生长速度快了 4~5 倍。并且不受气候影响，不施农药，一年四季稳定生产。在寒冷地带、沙漠地带，甚至在宇宙空间和地下空间，也能提供新鲜的蔬菜。现在已能利用植物工厂生产豆芽菜、蘑菇、鸭儿芹、白萝卜和生菜等。如日本的一家公司设计出一种完全自动化的培育生菜的工厂，其生产速度要比通常速度高 3 倍。这对于土地少、需要进口大量蔬菜的日本来说，确实是一项成功的发明。日本在鸟取县的沙漠地带进行塑料大棚的蔬菜种植，取得了良好的效果。日本北海道大棚的育苗灌水实现了自动化，自走喷灌机行走速度和喷水量可自行调节，以达到合理灌水的目的。该机主要优点是解决了大棚灌水费工、喷灌不均匀等问题，从而使水稻大棚育秧实现了灌水机械化。

日本农业生产设施（塑料大棚或温室）内的以移植为前提的茎叶类蔬菜种苗生产过程大体可以分为播种、施肥管理、搬运三个过程。由于种苗生产设施内高温、多湿等不良环境，且从生产过程看又类似于工厂生产的条件，因此，最近日本重视以大田移植苗生产为目的的，设施内播种、苗的接触刺激、苗灌水、不良苗的除去、苗的搬运等作业的自动化、无人化的研究。同时日本也进行有关种苗的特性、优质种苗的选择方法、间苗方法等基础技术的研究。

## 5. 韩国

韩国也是发展以水稻为主的农业，农业机械化也是以水稻生产为中心而进行的。但随着国民收入的增加，生活水平的提高，食品的消费方式从以谷物为中心，逐渐地向以各种高级新鲜的园艺产品发展。设施园艺领域引人注目，特别是从

1992 年开始韩国政府把设施园艺作为重点事业来推进中外植物工厂机械及作业装备的比较研究发展,认为利用小规模耕地来提高竞争力的有效方法就是发展设施园艺。到 1992 年为止,韩国设施栽培面积为:蔬菜 50064 公顷,花卉是 248 公顷,果树是 574 公顷。近年来,暖房、换气、灌水、CO<sub>2</sub>浓度、窗帘自动开闭等环境控制的现代化农业设施的设置面积,占韩国设施农业面积的 10%左右。目前韩国的设施经营规模大部分是小规模的,扩大规模是其发展势。

### 三、国外植物工厂机械及作业装备发展的现状与趋势

#### 1. 植物工厂机械及作业装备发展现状

国外发达国家的植物工厂机械和作业装备已经具有很高的发展水平,作业机具已经是非常成熟的产品,制造工艺讲究,性能质量稳定,因此具有很好效果。

##### (1) 土壤耕整机械

植物工厂比大田农业对作物土壤的要求更高,要保证良好的翻土、碎土性能,耕后地表残茬、杂草和肥料应能充分覆盖。同时要求耕作的深度一致,作业深度达到农业生产的要求。因此,如何使土壤细碎,地表平整,表层松软和下层密实,这就要求小型耕耘机械对作物土壤进行作业,提高土壤团粒性、渗透性和保水性,加深有效表土,使作物根系发育旺盛,促进作物生长。

耕地是植物工厂生产作业中的重要环节,对植物工厂作物要求更高,需要精耕细作,这就要求研制小型多功能的作业机具,而且机具具有灵活方便、污染较小的特点。国外植物工厂耕作机械技术已经非常成熟,作业性能稳定,功能齐全,小巧轻便。日本、意大利、荷兰和以色列等国家的产品广泛用于旋耕、犁耕、开沟、作畦、起垄、中耕、培土、铺膜、打孔、播种、灌溉和施肥等作业项目。

目前国外已有许多生产小型耕耘机的公司,例如专门生产小型拖拉机的美国吉尔森公司,生产的自走式旋耕机,直接由底盘驱动轴带动,机体重量全部压在旋耕刀片上,刀盘直径为 35 厘米,耕地幅度为 30.4~66 厘米,传动形式为链传

动和蜗轮蜗杆传动两种型式，功率为 3.68 千瓦左右，适于花圃、菜园、温室等小地块作业。不进行旋耕作业时，可换上轮子配带其他农具：翻转犁、除草铲、中耕铲、齿耙等作业机具。

意大利 M.B 公司生产一种单轮驱动轴旋耕机，动力为 3.3 千瓦汽油机，单机重量为 40 千克。适于菜园、花圃中耕作业，一次完成旋耕培土两项作业。该公司还生产 5.89~7.36 千瓦多用自走底盘，由驱动轴配带旋耕机完成田间旋耕作业，换上轮胎后又可完成犁耕、运输、喷雾等作业。

日本和韩国的蔬菜育苗、种植、田间管理收获、产品处理与加工等工序，现在基本实现机械化。机具具有精小、耐用的特点，使用起来轻松自如。例如日本生产的适于温室作业的带驱动轮行走式旋耕机，韩国生产的管理机，一台主机配带 40 多种农机具，可用于农田作业，也可用于低矮树枝下、温室大棚等地块作业。

美国、日本、韩国等国家的小型耕耘机多为 2.2~8 千瓦的汽油机力，为减少对室内的空气污染，便研发了用电动机作动力的小型自走耕耘机。现在日本研制出了多种小型电动除草机，不仅能在花圃除草，而能在温室内进行中耕作业。

## (2) 配套栽培机械

**移栽机。**温室设施内钵苗栽植的关键技术是钵苗移栽机，配套机械主要有穴盘育苗设备、高效机械化制钵机等。移栽机能保证移栽深浅一致、均匀，有利于作物成活和生长，促进高产。温室设施栽培包括耕耘、育苗、定植、收获、包装等，需要反复进行的作业种类如摘叶、防除、搬运等作业，需要投入大量的劳动，又由于设施内高温、高湿等不良劳动环境，所以，非常需要发展作业的机械化。

目前，蔬菜、花卉和苗木生产的数量不断增加，育苗中移苗工作需要多个劳动力，而人工成本不断上升，便由此发明了机器人移苗机，用于作物的栽培及育苗工作。进行大量的钵苗移栽的繁重劳动，对机器人是轻而易举的。它通过本身安装的光学系统能辨别好苗与坏苗，具体操作简便，可以把合格的苗准确地移栽

到预定的位置上，把不合格的苗筛选出来。而且机器人移苗机还能保证移栽深浅一致，间距均匀，有利于作物成活和生长，促进高产。机器移苗机还能根据光反射和折射的原理，准确地测定植物需水量和灌溉的控制。为此，一些发达国家也进行了相关种苗的特性、优质种选择、间苗方法等基础技术的研究。德国、意大利等国的小型移栽机广泛应用于设施内作物的栽培，均为 2.94~4.41 千瓦的汽油机。

**种苗的播种成套设备。**植物工厂需要小型精密或精量播种机，要求行距、穴距及播种的深度可以控制准确，能适应设施内的作业要求。这样不仅可以降低劳动强度，提高效率，还有利于培育健壮的钵苗。植物工厂发达国家研制的播种机的播种精度高，能满足播种时行距和穴距可调的要求，且控制准确，能适应设施内的作业要求。与钵盘育苗播种成套设施配套的高效机械化制钵机生产率达 5 万钵/小时，可依次完成钵盘装土、刮平、压窝、播种、覆土和浇水等多道工序。种苗生产是当今世界植物工厂技术的一项高新科技，采用计算机仿真控制技术，使种苗在最佳状态下正常或反季节生产，而且品质优良。植物工厂发达国家早已应用此项技术，种苗的播种成套设备已经广泛应用于蔬菜、花卉、绿化苗的规模生产中。1999 年美国销售的 250 亿株小苗中，有 95%是利用种苗的播种成套设备。

**其它机械。**与耕作及栽培有关的配套植物工厂机械还有地膜（残膜）回收机、农作物嫁接机器等。机械回收残膜有利于降低劳动强度，提高生产率，保护设施内土质，符合环保要求。合理嫁接可培育优良品种，生产名优产品，提高设施效益。目前这些配套机械的研制也处于起步试验阶段。

### **（3）收获机械**

蔬菜的可食用部分有根、茎、叶、花、果实和种子等，多为鲜嫩多汁，不同品种外形和部位差异很大，一般收获机械很难通用，因此，需要根据不同品种研制专用机械化装备。目前，发达国家在块根（茎）菜、叶菜、葱头和加工用果菜以及西瓜、橘子等水果的收获中已基本实现机械化，技术发展趋势是逐步提高选

择性收获机械使用的比例，使得收获过程减少浪费，具有更好的经济效益。

植物工厂作物不像小麦、玉米有固定的成熟期，一年内有多个收获期，劳动强度非常大。为减小人员的劳动强度，一些国家研制了作物收获机械。例如韩国研究了一种采摘西红柿的机器人，通过机器人的识别系统对颜色的判别，能以果实红色的深浅度分辨西红柿的成熟度，有选择地摘取成熟果实；日本也研制出了收获樱桃的机器人，但这种机器人的反应较慢，动作笨拙，离形成产品还有较长的路要走。

#### (4) 节水灌溉设备

美国是目前世界上微灌面积推广最多的国家，1991年就已超过了60万公顷，约占全国当时总灌溉面积的3%，美国公司，雨鸟(Rain-Bird)公司生产流量为ZL/h, 4L/h, SL/h的压力补偿滴头、非压力补偿滴头及应用广泛的紊流压力补偿滴灌带。这种滴灌出水均匀，抗堵塞性较好，压力补偿功能使得出水均匀，长距离可铺达300米。并可埋于地下，减少蒸发损失。

微喷头品种较丰富，主要有折射式和旋转式，每个系列有多种喷嘴和多种喷洒形式，并能方便装拆和清洗。配套产品也很发达，包括多系列的滤网过滤器、压力调节器、化肥-农药注入器及各种型式的控制器。化肥-农药注入器是由泵辅助将溶液连续定量注入微灌管道的专用装置，拥有1~4个流路，注入流量为0~57升/小时，每一路均配有流量计和调节阀。同时也生产系列“文丘里式”的化肥-农药注入器。电磁阀品种规格非常丰富，有的产品带过滤功能，能在运行状态下清洗，还有的产品带调压组件，保证压力恒定，控制器有机械电子式和电子式，交流与直流多种自动控制其中ESP-MC控制器分8、12、16、24、32及40站6种型号，最多可控制个电磁阀，可设置4种控制程序，在温室等处使用自动灌溉控制效果尤为明显。

澳大利亚是世界上推广节水灌溉面积最多的国家。其制造的喷水设备贴压在滴灌带内壁上，可以进行多进口的入口过滤、紊流流道提高了防堵能力，同时减

少了根草侵入。同时还开发出许多补偿式微喷头。微喷头利用均流器使其具有压力补偿作用，当压力变化时保持出水均匀，并提拱各种喷洒图形，满足作物不同生育期和作物大小的灌溉需要。

英国一家灌溉公司生产多喷头式喷管系统。设计是模仿天然降雨，水轻柔，可调喷洒角度，方形水覆盖，适合于架空喷或地面喷。扩散面经过精细打磨，特别平滑，水雾细而密，能创造出一个湿度很高的小气候环境，极适宜育苗床、扦插应用。

法国的 DOSATRON 肥料农药混合器代表了当今国际领先水平。它的原理是水流进入混合器内，驱动主活塞，与之相连的注入器活塞跟随运动，从而吸入需要注入的物品溶液进入混合室，其特点是不用电力依靠水动，能调节浓度，有较好的精度控制。工作压力为 0.3~6.0bar，调整 0.2%~10%的注入比例。流量为 10~20 升/小时。较普通压差式精度有很大提高。

## **2. 植物工厂机械及作业装备发展趋势**

世界上采用塑料大棚栽培作物最多的国家是西班牙、法国、日本等面积达 5000~35000 公顷。玻璃温室是荷兰、英国、法国、德国、日国家发展的一种现代化温室，由于这种温室可以自动控制室内的温度、湿度、灌溉、通风、二氧化碳浓度和光照，每平方米一季可产番茄 30~50 千克，是露地栽培产量的 10 倍以上。荷兰通过大力发展工厂化业，重点发展蔬菜和花卉产业，用 6%的土地创造出 30%的农业总产值，成为世界高效农业发展的典范。今后，植物工厂机械及作业装备发展趋势主要有以下方面：

### **(1) 温室**

单体温室规模大型化、温室高大化、内部设施完善化。由于材料与建筑结构的进步，温室高度逐渐加高。以荷兰为例，20 世纪 60 年代高度为 3 米，1995 年以来，高的温室已经比较常见。温室高度加高，能够利用的上方空间加大，许多机具如自走式喷洒设备、行走式天车输送设备等都可以在上方空间活动，温室

面积越大，机器利用率越高。温室内部设施日趋完善，自然通风、风机降温系统、内外遮荫、加温系统、灌溉系统、施肥等环境控制设备，大都实现了自动化。发展以节能及能源多元化为核心的相关技术。如室内采用变温管理、地下热交换、保温帘、双层玻璃、多层覆盖和利用太阳能等技术措施，节省能源 50%左右。另外，开始加强对温室新能源和工厂余热的开发与利用。

## **(2) 控制技术**

环境目标不仅是满足作物生长的基本需求，也要考虑病虫害的活动环境。在生物防治的应用比例逐渐增加时，利用计算机环境控制技术使作物生长与生物防治的环境需求达到最佳化。荷兰由于应用了生物防治，农药的使用量已经降低了。

## **(3) 种苗生产自动化**

穴盘育苗技术源于美国，历经 20 余年发展，已趋于成熟完善。这种以草炭、蜂石、椰子皮、珍珠岩等轻基质做育苗基质。用穴盘做育苗容器，采用机械化精量、高精度播种、工厂化穴盘育苗在美国等发达国家已形成一个新的行业。它的出现带动了温室制造业、穴盘制造业、基质加工业等一批相关产业的技术进步。机械化育苗采用精量播种，一次成苗。工厂化育苗由于采用机械化播种生产线，高精度的点播技术，使种子在播种深度、压实程度以及基质配比、灌水量等各环节都做到了精确控制，从而保证了种子在穴盘每个穴孔中的生长环境基本一致，再加上进入温室后的规范化管理，使穴盘苗的出苗期和长势都保持了均匀一致。

## **(4) 温室花盆输送和转移装置**

由于劳动力的原因，国外对植物工厂机械及作业装备的研发一直很重视省力这一因素。国外已有公司展示了最新开发的园艺设备，利用微制、自动实现花盆的输送和转移的装置，在温室生产和花卉销售市场可应用。

## **(5) 智能化、完全自动化**

智能型植物工厂大量采用机电一体化技术，如日本研制了收获樱桃、西红柿的机械（机器人），已经研制了根据土壤温度自动控制播种深度的智能型播种机，

可种入最合适的深度。智能型植物工厂机械是智能型温室的基础之一，关键技术包括：作物生长环境的机器识别与诊断；植物生长状态的机器识别与诊断；作物模拟技术的研究及作物生长要求的定量研究及检测，这是定量化和自动化控制管理的关键技术；机器能自动判别选择运行的最优化条件，使机器处于最佳工作状态，满足作物或农艺上的要求。

#### **(6) 智能植物工厂**

目前，高效益的智能植物工厂在一些发达国家迅速发展，实现了工厂化生产蔬菜、食用菌和名贵花木等。荷兰的一家生产观赏园艺植物的现代型自控温室中，50余万盆观赏植物分上下两层置放在栽培床上，从搅拌、装钵、定植、栽培、施肥、灌溉、钵体移动全部实现机械操作，内温度、光照、湿度、作物生长情况、环境等全部由计算机监控。占2.5万平方米的植物工厂内只有5位技术和管理人员。美国现在大力研究利用植物工厂种植小麦、水稻以及进行植物组织培养和快繁技术。

国外的发展经验证明，采用智能化、自动化的作业方式，发展植物工厂是农业生产的必然趋势。世界农业发达国家在采高度自动化的作业机械后，不仅提高了工作效率，降低了作业成本，提高了其农产品在国际市场上的数量和价格的相对优势。如果中国忽视高新技术在农业生产上的应用，那么与农业发达国家在农业机械装备方面的差距会越来越大。

## 参考文献

1. 赵军, 王立志. 发达的荷兰设施农业. 世界农业, 1999, 7:16-17
2. 郑光华. 美国设施农业发展概况. 世界农业, 1999, 3:13-16
3. 于海业, 马成林, 陈晓光. 发达国家温室设施自动化研究的现状. 农业工程学报, 1997, 13 增刊:257-259
4. 杨培林, 郭晶, 马振明. 国内外设施农业的现状与发展态势. 农机化研究, 2003, 1:30-32
5. 樊桂菊, 李汝萃, 杜辉. 国外设施农业机械的发展. 农业装备技术, 2003, 29(2):47-48
6. 马学良, 赵其恒等. 国内外设施农业节水灌溉设备技术现状与发展. 蒸水灌溉, 1999, 2:4-5
7. 中国农业机械化科学研究院. 国内外设施农业装备技术发展趋势. 农机科技推广, 2004, 12:6-8
8. 相俊红, 贾军, 刁承军. 我国设施农业及装备现状. 农机市场, 2002, 6:31-33
9. 梁井林. 农业机械在设施农业中的应用. 北京农业, 2003(6):30-31
10. 龙建明, 李敏科等. 设施农业机械设备及应用. 农机化研究, 2006, 11:51-52
11. 李树林, 杨守起, 李清海. 机械化在设施农业建设中的应用. 农村牧区机械化, 2004, 3:20-21
12. 张凤路, 刘雪春. 农业生产的女性化趋势与农业科技推广研究. 农业现代化研究, 1999, 2:88-90
13. 李基明. 韩国设施园艺的自动化. 日韩交流农业工程研讨会论文集, 1993, 22-30
14. 林森. 新型农业工厂. 农村实用工程技术, 1994, 7:29-30
15. 坂上修. 苗生产用机器人系统的开发. [日本]农业机械学志, 1994, 5:81-88

---

编辑部地址: 北京市科学技术情报研究所  
北京市海淀区紫竹院南路 23 号 国防工业出版社院内  
邮编: 100048  
电话: (010) 68453183, 68451291  
邮箱: vivi3721@sohu.com