

编者按:

植物工厂是现代设施农业发展的高级阶段,是一种高投入、高技术、精装备的生产体系,集生物技术、工程技术和系统管理于一体,按计划周年性进行植物产品生产的工厂化农业系统,是农业产业化进程中吸收应用高新技术成果最具活力和潜力的领域之一,代表着未来农业的发展方向。

目前我国植物工厂的应用正处于起步阶段,以位于北京市通州区的北京农业机械研究所试验示范基地建设的中国第一家大型植物工厂为例,北京京鹏环球科技股份有限公司的张晓慧对植物工厂应用的研究及展望进行了阐述,由此可以直观的了解植物工厂的发展历程、应用现状和未来发展趋势。

植物工厂关键技术研究与应用

张晓慧¹, 周增产², 王峻峰², 卜云龙², 李秀刚¹, 黄益长¹

(1. 北京京鹏环球科技股份有限公司, 北京 100094; 2. 北京农业机械研究所, 北京 100096)

摘要: 通过了解植物工厂的发展历史和趋势, 阐述通州植物工厂的总体设计与关键技术, 包括工厂化育苗系统、移栽收获机器人、植物生理生长检测系统、环境智能化控制系统、工厂化育苗系统、浅层地能利用、太阳能发电系统等先进技术, 并从种植规模、科技水平、成本收益等方面对植物工厂的前景进行分析与展望。

关键词: 植物工厂; 工厂化育苗; 环境调控; 新能源

中图分类号: S 62 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2010)04-0204-04

植物工厂作为目前最高水平的设施农业生产方式, 是继温室栽培之后发展而成的一种高度专业化、现代化的设施农业。由于受自然条件影响小, 作物生产计划性强, 生长速度快、周期短, 自动化程度高, 无污染, 同时多层次立体栽培方式可以节省 3~5 倍的土地, 已经成为近年来研究的重点。近年来, 日本、美国等发达国家在植物工厂方面进行了开发, 并取得了很大的成功。目前, 我国在此领域的研究还相对滞后, 尚属起步阶段, 迫切需要植物工厂环境控制关键技术的研究和探索, 为缩短我国与发达国家的技术差距作出贡献^[1]。

由北京农机所和北京京鹏环球科技股份有限公司共同设计建成的通州植物工厂, 主体结构采用单层轻钢结构, 非采光区采用夹芯彩钢板, 采光区采用钢化自清洁中空玻璃。自清洁玻璃不仅美观, 使用安全可靠, 而且保温性能强, 更重要的是其自清洁功能可以提高植物工厂的透光率, 为植物工厂创造良好的光照条件。植物工厂主体为南北排跨, 总建筑面积为 1 289 m², 形状像一艘航空母舰, 象征着我国农业率先向现代农业最先进技术扬帆起航, 象征着北京农机所在产、学、研的方向上驶向成功的彼岸。

第一作者简介: 张晓慧(1980-), 女, 硕士, 工程师, 现主要从事农业工程研究工作。

收稿日期: 2009-12-20

1 国内外植物工厂发展现状

植物工厂的诞生是从 20 世纪 40 年代开始的。第一座植物工厂是在 1957 年丹麦约克里斯顿农场里建成。早期的植物工厂建设规模小, 主要局限在实验室内, 且种植作物品种单一, 采用人工气候室进行完全控制, 运行成本较高。在 20 世纪 70 年代初至 80 年代中期, 植物工厂真正开始发展起来。在这一时期, 世界上许多国家如美国、日本、英国、挪威、希腊、利比亚等国家的企业都纷纷投入巨资与科研机构联手进行植物工厂关键技术的开发, 为植物工厂的快速发展奠定了坚实的基础。此时的植物工厂应用范围较广, 自动化控制系统逐渐完善, 示范效果明显。进入 20 世纪 80 年代以后, 植物工厂迅速发展起来, 一些发达国家相继成立了植物工厂协会, 极大地推动了植物工厂的普及与发展。目前, 植物工厂已成为 21 世纪高科技农业的重要发展领域^[2]。

进入 21 世纪以来, 我国一些科教单位先后在无土栽培和植物工厂方面进行了一些研究与开发, 并取得了阶段性的成果。随着通州植物工厂的建成, 我国植物工厂将进入崭新的阶段, 它标志着我国农业进入工厂化种植的时代。

2 通州基地植物工厂总体设计

2.1 平面布局

通州植物工厂总体思路是在有限的面积之内尽可

能全面和深入地对国际前沿的一些植物工厂新技术新装备进行研究试验和展示。对于提供完整的植物工厂生产模式。按照以上思路,新建植物工厂主体结构采用太阳光和人工光并用的形式,但内部分区包含了闭锁型苗生产系统和一个小型的人工光利用型植物工厂,并引入先进的 LED 栽培箱。在栽培方面,以水培生菜为主,同时设置小面积的果菜生产区。

植物工厂内部分为四大区域:组培播种区、育(练)苗区、生产收获区和包装储藏区。组培播种区北侧区域由西向东依次为:控制室、催芽室、闭锁型育苗室、人工光利用植物工厂。组培播种区南侧区域由西向东依次为化验室、接种组培室、LED 栽培箱、精密播种育苗、移栽生产线、人工光灌溉施肥首部区等,如图 1 所示。

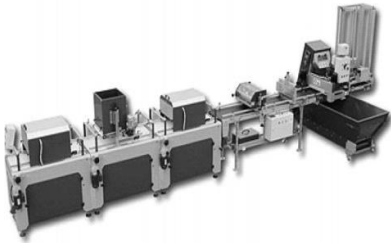
2.2 结构形式与覆盖材料的描述

通州植物工厂总建筑面积为 1 289 m²,主体结构采用单层轻钢结构,非采光区采用夹芯彩钢板,采光区采用钢化自清洁中空玻璃。自清洁玻璃不仅美观,使用安全可靠,而且保温性能强,更重要的是其自清洁功能可以提高植物工厂的透光率,为植物工厂创造良好的光照条件。植物工厂主体为南北排跨,形状像一艘航空母舰,象征我国农业率先向现代农业最高档技术扬帆起航,象征着农机所的产学研正驶向成功的彼岸。

填料质地的疏密程度和需要 配有调节选择部件,可以使用大小不同的播种盘;精密打孔机可以依据种子和穴盘孔大小的不同,在每个孔穴的正中心完成一个压实点,其自动感应功能可精确调节打孔的位置,以保证打孔的准确性和均匀性,便于下一步的精确播种操作;精密播种机利用传感器精密探测孔穴的位置,然后进行播种,播种率可达到 95%;自动覆土机可以在播种后的穴盘上自动均匀地覆盖上 1 层基质,覆土后可对播种盘的表面进行修饰与整理,多余的覆土可以循环利用。自动淋水机能使播种盘内的基质和覆土保持适宜种子萌发的湿度。全自动育苗播种生产线具有多种功能,可使播种速度大大提高,劳动强度显著降低。

3.2 自动移栽(收获)机器人

在传统农业方式中,移栽和收获往往是很费工时的作业,主要采用人工移栽收获作业,劳动强度大,作业效率低,而且常常会由于作业者操作不慎造成产品受伤,影响商品的品质 and 经济效益。



自动移栽(收获)机器人由横梁、机身和机头组成。横梁机身长度与温室跨度基本相同,可沿架设在跨间支柱上的轨道做南北向移动,机头则可以在横梁上左右行走。机头上装有气动机械手,由计算机来控制它的作业方式,操作者只需提前将自己的作业意图依次输入到计算机内,机器人就可以按照计算机的指令进行工作。此外,该机器人有一套安全控制系统,包括视觉传感系统。当机器人在运行中遇到前方障碍物时,它就会通过视觉传感器传递给计算机,由计算机判断处理。机器人就会按照指令放慢速度直到停下来。移植及自动收获机器人通过计算机系统确定作业位置、速度,具有安全、快速等特点,提高了栽培空间利用率,工作效率^[3]。

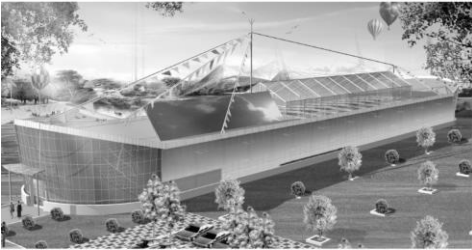
3.3 滚动式苗床自动传输装置

循环式栽培床输送装置放置于温室中,用于栽植花卉或蔬菜的栽培床使用,该装置包括循环式栽培床架、开间支撑导轨、横向位移驱动装置、纵向位移驱动装置、气动驱动装置等,其特征在于通过 PLC 控制器、传感器和气动驱动装置实现栽培床横向和纵向输送的自动转换。该装置实现栽培床循环式自动输送,操作方便,减少了温室生产用工量,提高了温室劳动生产率,降低了劳动成本,同时由于栽培床紧密排列,通过相互作用力



图 1 植物工厂示意图

注: 1. 接待控制室; 2. 催芽室; 3. 密闭型育苗室; 4. 人工光利用型植物生产车间; 5. 气调室; 6. 施肥首部; 7. 气调室; 8. 包装区; 9. 成品菜库; 10. 种子库; 11. 果菜生产车间; 12. 叶菜生产车间; 13. 练苗车间; 14. 移栽机; 15. 育苗生产线; 16. 水处理间; 17. 培养室; 18. 药品室; 19. 化学分析室; 20. 更衣室; 21. 缓冲间。

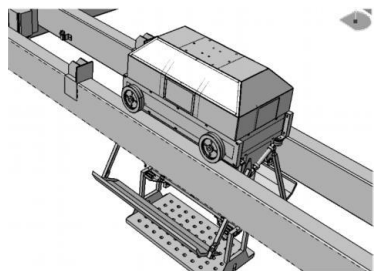


3 通州植物工厂关键技术的应用研究

3.1 全自动育苗生产成套设备

育苗生产成套设备包括轻基质填料机、精密打孔播种机、自动覆土机、自动淋水机。基质填料机可以根据

移动,增加了有效使用面积,提高了温室空间的利用率。该实用新型的循环式栽培床输送装置设计合理、结构紧凑、自动化程度高,必将大幅提高我国温室生产的自动化水平。



3.4 温室环境智能化控制系统和植物生理生长检测系统

利用内嵌以太网 PICNIC 芯片开发基于有线/无线(WiFi)局域网的温室环境调控系统,利用获取的温室内外环境条件的实时数据和历史数据,建立能够同时反映能耗指标和环境调控结果的能耗与环境评价模型,确立以最低能耗和适度环境控制为控制目标的温室单环境架子/多环境因子的预测型环境调控战略,实现适用于温室生产的节能预测型温室环境智能调控^[4]。

基于嵌入网络式温室无线监控装置和植物成长图像检测系统,可实现对温室生产中的环境和植物信息进行实时动态监测;利用基于误差逆向传播算法的人工神经网络技术建立能同时反馈温度、光照、CO₂等多环境因子和部分生理生态指标的植物生理环境反馈模型,利用遗传算法预测达到下一时刻的植物生理信息目标的最适环境条件,从而确定执行机构动作,建立基于植物生理信息预测反馈的最适控制算法;以作物种植环境反馈为研究目标确立基于植物生理信息预测反馈型的最适环境调控技术^[5]。



3.5 密闭式工厂化育苗系统

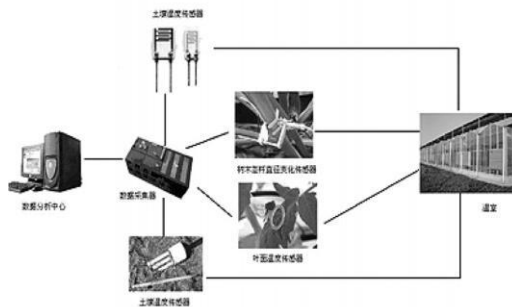
密闭式工厂化育苗系统是一种采用不锈钢辐射(日光)的绝热壁板围成的空间,此空间可将系统内外的物质和热能的交换控制在最小限度范围内,室温采用空调机维持设定,光照采用灯具提供植物成长所需,对于苗

或株高较小的植物,系统内可采用多层栽培架^[6]。

密闭式工厂化育苗系统的其它主要组成部分有:空气搅拌风机,促进光合成的 CO₂ 施用装置,灌溉设备以及环境调控设备。密闭式工厂化育苗系统具有显著优点:①系统封闭性极好,换气次数少,将系统内外的物质(水蒸气、CO₂等)和热能的交换降低到最小限度。②营养液使用循环供液系统,没有多余的营养液向外排出,有利于环境保护。③可采用人工光源提供植物生长所需的光照。利用多层立体培养架,提高空间利用率和单位面积产量。④缩短生产周期,提高植物品质^[7]。

3.6 浅层地能利用

新型浅层地能是可再生能源,能源利用高,零排放、无污染,是各国发展比较迅速而又鼓励发展的一种新能源。采用地下埋管技术利用浅层地能,以大地作为冷源和热源,通过中间介质作为热载体在埋设于大地中的封闭环路中循环流动,从而实现与大地进行热量交换的目的。由于较深层的地层中常年保持恒定的温度,冬暖夏凉,通过特制的换热装置,与周围土壤发生热交换,从而达到制冷和制热的效果^[8,9]。



3.7 太阳能发电系统

太阳能发电系统由太阳能电池组、太阳能控制器、蓄电池(组)组成。如输出电源为交流 220 V 或 110 V,还需要配置逆变器。



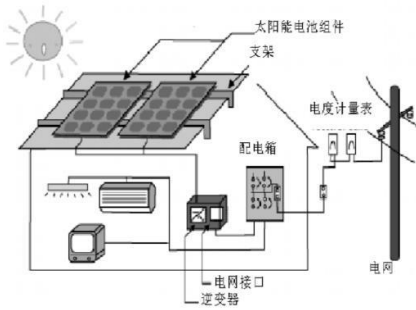
太阳能电池板是太阳能发电系统中的核心部分,也是太阳能发电系统中价值最高的部分。其作用是将太阳的辐射能力转换为电能,或送往蓄电池中存储起来,或推动负载工作。太阳能控制器的作用是控制整个系统的工作状态,并对蓄电池起到过充电保护、过放电保

护的作用。蓄电池一般为铅酸电池,其作用是在有光照时将太阳能电池板所发出的电能储存起来,到需要的时候再释放出来。太阳能的直接输出一般都是 12、24、48 VDC。为能向 220 VAC 的电器提供电能,需要将太阳能发电系统所发出的直流电能转换成交流电能,因此需要使用 DC—AC 逆变器^[10]。



4 植物工厂的展望

在植物工厂半个多世纪的发展过程中,建设规模也随着技术的不断成熟而扩大,由小型到中型逐渐向大型化方向发展。与以前的植物工厂相比,今天的植物工厂不仅规模越来越大,而且内部设施也今非夕比,即使是 20 世纪 50 年代几座规模较大的植物工厂与今天相比,内容上也有了很大差异,通州植物工厂就是一个典型的例子,可见,建设规模大型化已经成为植物工厂发展的必然趋势。



植物工厂所生产出的农产品不仅产量高而且质量好。由于植物工厂管理智能化,一方面,农产品从播种

到收获的生长周期缩短了,从而提高了农业的生产效率,而且,植物工厂不会因为季节的因素而影响到作物的生长,可实现周年生产;另一方面,由于植物工厂内的环境可以人工调控,因此还可以各种特色蔬菜、花卉以及经济价值较高的作物,其经济效益非常可观。此外,植物工厂完全采用机械自动化和计算机信息技术,大部分作业是在舒适环境下的轻劳动,所以极大地提高了劳动生产率,有效地节省了人力和物力,从而可以节约经济成本。

未来 10 a 影响中国经济最重要的因素,是土地及土地相关的各种问题。中国其实正处在土地资本化的过程当中,我们还没有很好地、非常有意识地组织这个资本化的过程,现在经济中的很多问题由此而发。植物工厂可以采用多层次栽培,其单位面积的植物生产面积可达到温室的 3 ~ 5 倍以上,有效地节约了土地资源。因此,植物工厂属于一次性投资,终身受益的投资产品,具有很好的发展趋势和推广前景。

参考文献

[1] 刘水丽. 人工光源在闭锁式植物工厂中的应用研究[D]. 北京: 中国农业科学院硕士学位论文, 2007.
[2] 杨其长, 张成波. 植物工厂概论[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2005.
[3] 杨仁全, 王峻峰, 张栋, 等. 机器视觉技术在自动移栽机上的应用[J]. 长江蔬菜, 2009(2): 15-18.
[4] 徐津, 杜尚丰, 赵兴炳, 等. 基于 CAN 总线的温室智能控制节点的开发[J]. 仪器仪表学报, 2004 25(4) 增刊: 522-523.
[5] 江儒秀, 林开颜, 吴军辉, 等. 基于 Zigbee 技术的温室群控系统的设计与研究[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2008, 26(5): 440-444.
[6] 崔瑾, 徐志刚, 邱秀茹, 等. LED 在植物设施栽培中的应用和前景[J]. 农业工程学报, 2008 24(8): 249-254.
[7] 魏灵玲, 杨其长, 刘水丽. LED 在植物工厂中的研究现状与应用前景[J]. 中国农学通报, 2007 23(11): 408-411.
[8] 方肇洪, 刁乃仁, 于明志, 等. 埋管式地源热泵技术的研究及其推广应用[J]. 机电信息, 2005(21): 19-23.
[9] 江耀, 卜云龙, 周增产, 等. 浅层地能热泵技术在农业设施中的应用研究[J]. 内蒙古农业大学学报, 2007 28(3): 28-36.
[10] 太阳能发电系统 EB/OI, <http://baike.baidu.com/view/1686432.htm>.

Research and Application of the Plant Factory Key Technologies

ZHANG Xiao-hui¹, ZHOU Zeng-chan², WANG Jun-feng², BU Yun-long², LI Xiu-gang¹, HUANG Yi-chang¹

(1. Beijing Jingpeng International Hi-Tech Corporation, Beijing 100094; 2. Beijing Agricultural Machinery Institute, Beijing 100096)

Abstract: By understanding plant development history and trends, we explain the overall design and key technologies of Tongzhou plant factory, including factory-style breeding system, transplanting and harvesting robot, plant physiology detection systems, environmental intelligent control systems, factory nursery system, underground geothermal energy and such advanced technologies as solar power generation system, and from plant size, technological level, cost—benefit plants in terms of prospects for the plant factory analysis and outlook.

Key words: plant factory; factory breeding; environmental regulation; new energy