

# 植物组培继代培养机器人研究进展与展望

孙 刚<sup>1,2</sup>, 郑文刚<sup>1</sup>, 乔晓军<sup>1</sup>, 姜 凯<sup>1</sup>, 郭 瑞<sup>1</sup>, 杨 丽<sup>2</sup>

(1. 国家农业智能装备工程技术研究中心, 北京 100097; 2. 中国农业大学 工学院 北京 100083)

**摘 要:**简述了植物组织培养的作用和主要生产环节,重点综述了国内外植物组织培养中继代培养机器人的相关研究成果和最新进展。随着劳动力成本的逐渐增加,组培生产作为一种劳动密集型产业急需采用自动化生产技术,以提高作业效率和作业质量。机器人技术的应用将对组培产业的发展起巨大的推动作用。

**关键词:**植物组织培养; 继代培养; 机器人  
**中图分类号:** Q 94-331 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001—0009(2010)15—0045—05

植物组织培养是以 Haberlandt 提出的细胞全能性作为理论依据,采用环境控制方法创造出适于植物组织或细胞生长的理想条件,对离体的植物器官、组织、细胞及原生质体进行培养,获得完整植株或组织器官的技术<sup>[1-2]</sup>。经过一个多世纪的研究,植物组培技术已经广泛应用于植物育种、脱毒与快繁、次生代谢产物生产、种质资源保持与交换、遗传、生理生化 and 病理研究等领域<sup>[3-8]</sup>。该技术不仅是现代植物生物技术必不可少的研究手段之一,而且成为农业生产中的一项实用化生产技术。特别是植物组织培养在快速繁殖名、优、特、新品种方面得到了广泛应用,实现 1 000 多种经济作物、园林花卉、水果等的快速繁殖和工厂化育苗<sup>[9]</sup>,极大促进了优良品种的推广,并创造了巨大的经济效益。

植物脱毒和快速繁殖是目前植物组织培养应用最多、最有效的一项技术。当前组培生产尚未实现机械化与自动化,仍以人手工操作为主,存在污染率高、速度慢、劳动强度大、成活率低、生产成本高等问题<sup>[10]</sup>。据统计,发达国家的劳动力成本占组培生产总成本的 60%~70%,使组培产业在成本与效益的维持上出现困难<sup>[11]</sup>,已有部分公司将组培生产转移到人力成本较低的国家进行生产。因此,目前国内外相继都开展了组培自动化生产技术的研究,研发相应的自动化生产设备和机器人,以期以机械化和自动化生产代替人工作业,来达到提高生产效率和组培质量、降低成本的目的。

## 1 组培流程和各环节成本分析

因培养目的不同,植物组培生产的操作步骤也不尽相同,但从外植体选择到培育出独立个体的健壮小植株,大体上可分为 6 个阶段:从母株上获得外植体、外植体消毒、诱导培养、继代培养、生根培养和健化栽培。整个作业需要大量人工,尤其在继代培养阶段,更需要多次重复作业。Harrell 和 Simonton(1986)分析了人工在继代培养操作中的各项动作(包括准备、夹取、切割、移植、消毒)所占时间中,以切割作业所占比例最高,达到 52.8%,其次为移植作业占 19.4%。Zandvoort 和 Holdgate(1991)归纳指出:在印度人工成本占组培苗总成本约 13%~41%,在美国约为 60%~85%,欧洲约为 70%。Chu(1995)分析了传统组培苗生产过程中各项作业成本所占比例,其中人工成本约占 50%,作业成本最高的项目为继代培养,占人工成本的 60.2%,并指出继代培养作业对机械化和自动化的需求程度明显大于其它作业<sup>[12]</sup>。在国内,吴纲等对蝴蝶兰组织培养工厂化育苗的成本进行了分析,指出单株苗的人工成本约占总成本的 51.98%,并着重指出目前人工成本仍有不断上升的趋势<sup>[13]</sup>。高昂的人工成本减弱了组培苗在市场上的竞争力,而应用机械化和自动化技术与装备从事组培生产,特别是在继代培养环节应用机器人技术,是降低组培生产成本的有效方法之一。

## 2 继代培养生产流程

继代培养是将诱导产生的不定芽、叶、原球茎、愈伤组织等培养物反复多次重新分割、移植到新鲜培养基或其它培养基上进一步扩大培养的过程。该过程是植物组织培养快速繁殖中决定繁殖速度快慢、繁殖系数高低的关键阶段。

继代培养的操作如图 1 所示,工作车间环境如图 2 所示。

第一作者简介:孙刚(1978-),男,在读博士,工程师,研究方向为生物生产自动化。E-mail: bpesun@163.com。  
通讯作者:郑文刚(1976-),男,副研究员,现主要从事农业自动化研究工作。E-mail: zhengwg@nrcita.org.cn。  
收稿日期: 2010-04-06

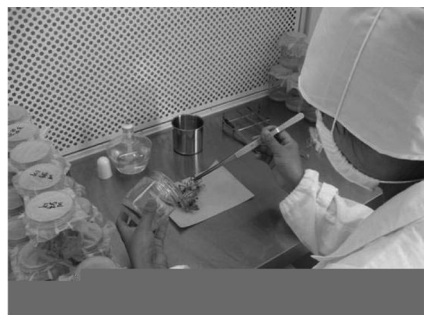


图1 组培继代培养操作

Fig. 1 Operation of plant tissue culture



图2 组培继代培养操作车间

Fig. 2 Operation room of micropropagation

继代培养主要的操作步骤包括: 自培养室搬运培养瓶至操作间; 将培养瓶放置于工作台上; 利用液体酒精、火焰等消毒培养瓶表面、剪刀、镊子与夹子等工具; 打开培养瓶; 剪刀深入瓶中, 进行分割作业; 将装有继代培养基的新培养瓶放在工作台上; 用镊子进行移植作业; 新培养瓶移植完成后加盖。

上述继代培养作业往往需要多次重复进行, 工作环境相对较差(消毒剂浓度高、湿度较高等), 组培苗的切割移植作业单调乏味、工作量大, 需要投入大量的人力和时间, 是整个组培过程中的重要质量控制点和劳动聚集点, 是最需要实现机械化与自动化的作业过程。

上述作业中, 切割和移植作业直接对苗株进行操作, 由于植株性状的不规则性以及空间位置的随机性, 导致自动化难度加大, 因此继代培养机器人的开发需要结合组培苗本身的特点, 包括组织培养苗本身的形状(单枝条状、丛生状、球根状及地毯状), 不同作物或品种其组织培养苗的形状、位置、单株分割点等差异较大; 另外, 组织培养苗通常是幼小且脆弱的, 机械系统作业需足够精密, 否则易造成苗本身的伤害; 最后, 组织培养操作过程需要在无菌状况下作业, 对机械设备上需要考虑增加无菌环境及消毒处理等问题<sup>[6]</sup>。

机器人应用最直接的好处一是降低劳动成本, 二是有可能为组培生产创造一个易于控制的没有人工扰动的干净环境, 正如 Holdgate 和 Zandvoort (1992) 所指出的

应用机器人和自动化后的其它好处: 维持生产的一致性和高质量, 降低污染水平, 消除人工操作可能产生的错误、提升产品控制能力。

### 3 继代培养机器人研究进展

#### 3.1 国外继代培养机器人研究进展

20 世纪 80 年代末到 90 年代早期, 国际上出现以日本为主体的研究组培机器人的热潮, 在 1992 年日本召开的国际移植产品系统大会上曾提出了 5 种继代培养机器人样机。凭借其先进的机器人技术, 国外开发的继代培养机器人一般采用工业机器人“手臂+特殊末端执行器”的模式。下面将根据组培对象的形态不同进行分别介绍。

**3.1.1 鳞球型的继代培养机器人** 日本三菱重工开发出针对百合的鳞球型的继代培养自动化作业系统, 包括进料用机械手臂、去根、剥瓣装置、图像处理装置、移植用机械手臂及培养瓶输出装置等<sup>[14]</sup>。系统工作流程如下: (1) 输送臂自外界容器取出球根并放置于球根鳞片分离器; (2) 分离器利用附在直径 10cm 滚筒上的回转碟刀切开表皮, 再以离心力刮离鳞片; (3) 球根鳞片分离后, 单一小鳞片个别输送至皮带上; (4) 图像处理器测定球根鳞片的大小、形状、方向与圆心位置等; (5) 移植手臂检取球根鳞片并移植至栽培介质内。其中图像处理器包含 CCD 照相机、旋转盘和计算机。该型移植设备具有 4 双手指用于同时挟取 4 片鳞片, 每一收取容器经两次移植放入 8 片鳞片, 每次移植动作需 18 s, 每天工作量为 4 800 片。

**3.1.2 丛生型的继代培养机器人** 日本 Kirin Brewery 公司开发了 TOMOCA 系统, 主要应用于丛生状组培苗, 系统包括培养瓶输送带、直角坐标机械手臂、切割刀、过滤装置和控制单元等, 一次可将培养瓶里面的组培苗分割成 26 块, 并以每 9 块为一个单元移植到新的培养瓶中, 其工作效率比人工高 10 倍。Kurata K 介绍了一种组培机器人, 该系统安装在无菌操作台内, 包括切割与移植机械手臂、培养瓶供应及输出装置、激光切割刀、消毒系统、图像处理装置和控制单元等, 应用于菊花、西红柿组培苗的继代培养<sup>[15]</sup>。

**3.1.3 直立条型的继代培养机器人** 日本小松公司开发了一种无机器视觉的适合马铃薯等直立芽苗株继代培养机器人系统, 系统包括消毒设备、分割与移植机构、培养容器、培养盘及培养室。培养盘内有溶液供应设备、栽培液滴下设备与紫外光灯。该系统工作原理为: 利用 0.4% 过酸溶液的喷雾动作进行消毒作业; 利用微电脑控制分割与移植装置; 分割动作利用多重极薄刀片于预设高度以多行切割方式切下所需节点, 再送至收取容器; 割取动作与割草机割取草地相似, 切刀一次割取

数百个芽点再送至收取容器。

日本东芝公司开发了一套基于机器视觉的直立芽组培植系统, 该型系统适用于马铃薯、康乃馨、美国杉木等作物。其主要机构为两具机器手臂: 第一具手臂为移植手臂, 共有 6 轴, 利用剪刀型切刀进行割取作业, 并由夹持器进行捡拾、计数与输送动作, 最大线速度 1 m/s; 第 2 具手臂为 3 轴相互垂直的测量手臂, 配有激光发生器、激光扫描仪、反射光聚焦器和位置感应装置, 再配合 32 位计算机进行图像处理, 用以确定植株节点的 X、Y、Z 轴位置。该系统的作业流程为: (1) 输送已有培养母株的培养瓶与待移植的新培养瓶; (2) 确认母株的节点位置; (3) 导引方向, 夹持植株; (4) 切下节点并夹持; (5) 消毒收取容器; (6) 移植节点至收取容器; (7) 重新定位节点位置, 重复 (2) ~ (6) 步骤; (8) 收取容器插满后加盖置于培养盘, 再送到栽培室, 每次切割动作割取一块组织, 所需时间约 10 ~ 15 s<sup>[16]</sup>。

3.2 国内继代培养机器人研究进展

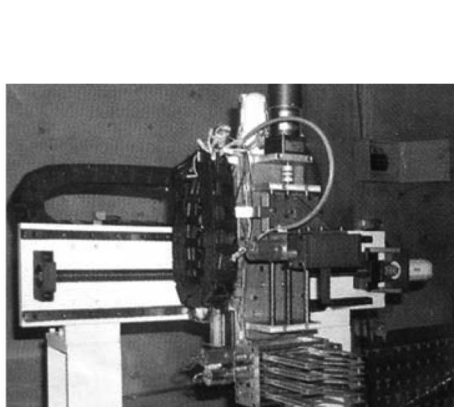
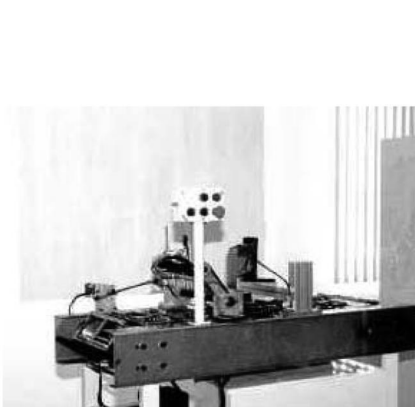
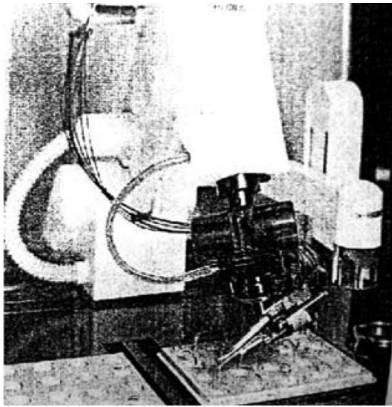


图 3 东芝公司开发的组培机器人

图 4 国立台湾大学组培机器人外观

图 5 中兴大学组培机器人

Fig. 3 Micropropagation robot of toshiba

Fig. 4 Micropropagation robot of National Taiwan University

Fig. 5 Micropropagation robot of National Chung Hsing University

我国台湾国立中兴大学农业机械工程学系谢礼丞开发出一套条状苗的自动化生产系统。该系统主要由苗瓶移送机器人、开关瓶盖机构、苗瓶消毒机构、苗株移植机器人、手端机构、分株机构及镇压机构等 7 部分组成。其中, 苗株移植机器人采用 X、Y 两自由度直角坐标, 可以在水平和垂直两个方向运动, 各轴分别由滚珠丝杠配合伺服马达驱动。手端机构由取苗夹爪和苗株提升夹爪 2 个部分组成, 作业时由苗株提升夹爪将苗提起, 使苗株与培养瓶分离, 取苗夹爪将苗卡住, 然后由分株机构 (在垂直方向平行设置等间距的 3 个锯齿圆盘薄片) 沿取苗夹爪之间的缝隙将苗切断。整个装置可以完成苗瓶移送、开关瓶盖、苗瓶消毒、抓取苗株、提升苗株、截取苗株、将截株放入新的培养瓶并压入培养基

国内对组织培养继代培养机器人的研究最早是从台湾开始的, 在 1998 年前后曾达到一个高潮, 主要研究对象为台湾的百合、兰花等优势花卉。大陆从 2002 年也开始组培继代培养机器人的研究, 取得了一些初步成果。

国立台湾大学林达德等进行了百合鳞球组织培养增殖作业的机械化作业规划和包括剥瓣与移植作业的组培机器人的设计开发。通过对种苗场、生技中心与台糖研究所 3 个进行百合组织培养单位进行调查分析, 结果显示在整体百合鳞球增殖作业中所占时间比例最高的 3 项工作分别为鳞球去根去叶分级、鳞球剥瓣和鳞片移植, 所占时间比例为 95.3% 到 73.2%。在进行计算机仿真与作业分析基础上设计开发了百合鳞球剥瓣机及移植机, 该机采用真空吸力针式平行移植方式, 使离心剥瓣后的百合鳞片能正确移植入组织培养容器中, 大量节省了人工, 克服作业瓶颈<sup>[12]</sup>。图 4 所示为国立台湾大学针式百合鳞片继代培养机器人。

等动作。该装置加工一瓶约 10 min 20 s, 若以 1 d 工作 8 h 计算, 此系统每天可完成 127 瓶, 比人工作业 (110 瓶) 略快。

中国农业大学杨丽、张铁中开发了一套针对条状苗的组培苗分割移植机器人系统。该系统采用嵌入式机器视觉技术对瓶中每株苗进行识别定位, 采用自行研制的 5 自由度关节式切割移植机器人将苗从瓶中分别取出, 再进行切割、移植。该机器取苗成功率为 70.5%, 剪苗成功率为 71.8%, 整机工作性能不太理想, 机器人的运动定位精度有待提高<sup>[17-20]</sup>。

我国台湾国立嘉义大学黄鹰任等介绍了一种基于机器视觉引导的蝴蝶兰组培苗自动抓取系统。提出了一种基于双目立体视觉的图像处理算法, 利用此算法用

来确定合适的抓取点。另外,开发了一套末端带有镊子的机器人抓取系统,该机器人基于日本三菱公司的6轴工业机器人手臂。结合上述的双目立体视觉定位算法和机器人抓取系统组建了一套组培苗抓取系统的抓取的成功率为78.2%<sup>[21]</sup>。图6为该机器人的结构图。

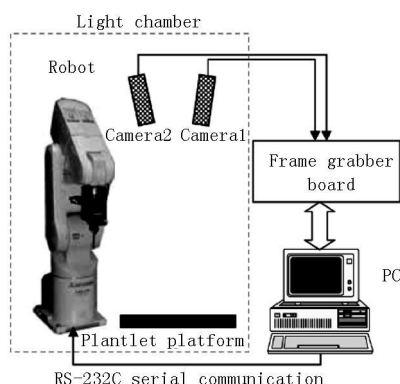


图6 国立嘉义大学机器人结构图

Fig. 6 Micropropagation robot of National Chiayi University

在继代培养机器人的辅助作业设备研究方面,王之王等(2001)研究了一套经济实用的自动化设备,用于从洗瓶、冲瓶、淋瓶、烘干,到灌装,进而高压灭菌,及一体化传输到运输至超净工作线的自动化设备。但是该设备仅仅是继代培养的辅助设备,并未涉及继代培养环节的自动化。中国农业大学石志超、张铁中设计了一种组培苗自动输送系统,该系统根据手工操作过程,确定了组培苗移植机器人的工作流程和实现机构,并选择了既符合组培要求、又适于机械手操作的培养瓶。根据生产实际,设计出针对组培苗瓶的排队等距间隔机构、开盖机械手和瓶体机械手,实现对瓶盖的自动开启,为后续作业流程中机器人对培养苗的操作创造了条件。开盖机械手结构中使用电磁铁作为直线运动驱动元件并设计了四杆机构转化电磁铁的运动,使结构简单紧凑,满足了工作需求。试制结果表明,所研制的组培苗自动输送系统能够完成所需工作要求<sup>[22]</sup>。

### 3.3 总结

针对直立苗株进行组培机器人较多,技术也较成熟,针对根球作物进行研究的较少。日本开发的机器人智能化程度较高,一般都具有图像识别系统,能对苗的位置进行识别,并由工业机械臂进行分割、移植。国外机器人设备一般都是针对宽口培养盒进行开发的,空间大,苗直立状态生长,有利于苗的识别和抓取<sup>[23-27]</sup>。我国台湾对组培的机械化进行了一系列的研究,在技术上也逐渐引入视觉系统以提高智能化水平。我国大陆目前只有中国农业大学对组培机器人进行了初步研究,该研究出于成本考虑没有采用工业机器臂作为执行机构。

早期对继代培养机器人的研究,比较少的涉及到机器人的性能价格比即成本效益<sup>[2,14]</sup>。

尽管人们对继代培养机器人的研究已经进行了20多年,但是到目前为止还没有一套可商业化运行的继代培养自动化生产机器人系统。

## 4 继代培养机器人前景展望

### 4.1 组织培养技术的进步将为研制组培机器人提供更多的便利条件

在很长一段时间内,科学家们都注重于研究组培苗的内部生理机制,寻找促成器官形成的激素,完善培养基的营养配比,以及探索不同的离体培养途径和组织培养技术,但很少研究由于组培过程中特殊的生长环境对组培苗生长造成的生理影响,对在组培过程中实施微生态环境调控也不够重视。直到20世纪70年代末至80年代初,才开始有学者提出改善组培苗生长环境的观点,而真正引起普遍重视和实质性研究则是在20世纪80年代末以后<sup>[28-29]</sup>。传统组培为了阻止微生物侵入,通常使用小玻璃容器,这不利于自动化控制、管理和操作以及不利于组培苗生产的规模化和商品化。此外,由于传统的组培容器小,且密封要求严格,造成对环境因子的测量和调控十分困难。而以开放组培和无糖组培为代表的植物组织培养新技术以高品质试管苗和规模化生产为目的,采用波长固定、光强可调的发光二极管作为光源,采用具有高透气性、低透湿性、耐高温、易于加工成型的聚四氟乙烯树脂膜制成的培养容器,岩棉块作为培养基支持体,外施CO<sub>2</sub>替代蔗糖作为试管苗生长所需碳源<sup>[30-39]</sup>。这些新的组培培养方式中的培养盒的空间相对较大,入口处也宽敞,机械容易工作,而且采用培养盒培育的苗间距规则,不易产生弯曲现象,基本呈直立状态生长,有利于识别和抓取,为机器人操作提供了便利条件。

### 4.2 机器人的在继代培养中的应用将不断得到扩展

随着农业劳动力的减少以及劳动成本的增加,未来的组培生产对机械化与自动化的需求不断增强。空间立体机器视觉技术、自适应夹持技术和快速移动机械手臂技术是继代培养机器人的关键技术,随着计算能力的提高和机器人成本的下降,机器人朝着更加智能化和实用化的方向发展,继代培养机器人将会具有很高的性能价格比。可以预见,基于机器人技术的组培生产全程机械化和自动化生产将得到广泛应用。

### 参考文献

- [1] 陈菁瑛,蓝贺胜,陈雄鹰. 兰花组织培养与快速繁殖技术[M]. 北京: 农业出版社, 2004.
- [2] S. Dutta Gupta, Yasuomi Ibaraki. Plant Tissue Culture Engineering [M]. Netherlands: Springer, 2006.
- [3] 郝玉华. 我国植物组织培养的发展现状与前景展望[J]. 江苏农业科

学, 2008(4): 20-23.

[ 4] 张娅香, 高年春. 园艺植物组织培养现状及产业化前景分析[ J] . 江苏农业科技, 2002(5): 29-30.

[ 5] 梁一池, 杨华. 植物组织培养技术的研究进展[ J] . 福建林学院学报, 2002, 22(1): 93-96.

[ 6] 陈健妙. 我国植物组织培养的现状与前景[ J] . 海南大学学报(自然科学版), 2002, 20(4): 332-333.

[ 7] 胡选萍. 我国植物组织培养研究进展[ J] . 安徽农业科学, 2008, 36(10): 4095-4097.

[ 8] 张春丽, 郭宇珍, 何松林. 植物组培环境调控与规模化育苗技术研究进展[ J] . 河南农业科学, 2007(6): 22-25.

[ 9] 梁称福. 植物组织培养研究进展与应用概况[ J] . 经济林研究, 2005, 23(4): 99-105.

[ 10] 杨丽琴, 李瑞, 王俊, 等. 植物组织培养的三大难题[ J] . 北方园艺, 2008(4): 104-107.

[ 11] 杨丽, 张铁中. 组培苗自动化生产技术的进展[ J] . 农机化研究, 2006(10): 25-28.

[ 12] 谢清禄, 林达德. 百合鳞球组织培养剥瓣与移植机械之研发[ C] . 中华农业机械论文发表论文摘要集. 北市: 中华农业机械学会, 1997: 153-154.

[ 13] 吴纲, 陶义明, 储海霞, 等. 蝴蝶兰组织培养工厂化育苗的成本预算[ J] . 江苏林业科技, 2009, 36(1): 36-39.

[ 14] Indra K. Vasil. Automation of plant propagation[ J] . Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 2004, 39(2): 105-108.

[ 15] Jenny Aitken-Christie, Toyoki Kozai, Mary Ann Lila Smith. Automation and environmental control in plant tissue culture[ M] . Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1995.

[ 16] 谢清禄, 陈文辉, 蔡瑜卿, 等. 百合小鳞球组织培养增殖作业之模拟与分析[ J] . 晨华机械学刊, 1998, 7(3): 1-17.

[ 17] 杨丽. 组培苗分割移植机器人系统的研究[ D] . 北京: 中国农业大学, 2005.

[ 18] 杨丽, 刘恩托, 张铁中. 组培苗移植机器人机械臂的设计[ J] . 农机化研究, 2009(1): 103-105.

[ 19] 杨丽, 张铁中, 张凯良. 组培苗移植机器人育苗作业规划[ J] . 农业机械学报, 2009, 39(9): 112-117.

[ 20] 杨丽, 张铁中. 组培苗移植机器人的运动学求解[ J] . 农业机械学报, 2007, 38(7): 94-98.

[ 21] Ying-Jen Huang, Fang-Fan Lee. An automatic machine vision-guided grasping system for phalaenopsis tissue culture plantlets[ J] . Computer and Electronics in Agriculture, 2010, 70: 42-51.

[ 22] 石志超. 组培苗自动输送系统研究[ D] . 北京: 中国农业大学, 2005.

[ 23] Breat T, Carle v. Development of an Automated Plant Culture System[ J] . Plant Cell Tissue Culture, 1985, 5(2): 107.

[ 24] Meyer G E, Davion D A. An Electronic Image Plant Growth Measurement System[ J] . Transaction of ASAE, 1987, 30(1), 242-248.

[ 25] Shimizu H, Heins R D. Computer-Vision-Based System For Plant Growth Analysis[ J] . Transaction of the ASAE, 1995, 38(3): 959-946.

[ 26] Schaufler D H, Walker P N. Micropropagated Sugarcane Shoot Identification Using Machine Vision[ J] . Transactions of the ASABE, 1995, 38(6): 1919-1925.

[ 27] Wang Z, Heinemann P H, Walker P N, et al. Automated micropropagated sugarcane shoot separation by machine vision[ J] . Transactions of the ASABE, 1999, 42(1): 247-254.

[ 28] 李盟, 高亦珂. 植物组织培养新技术研究进展[ J] . 广东农业科学, 2009(3): 152-154.

[ 29] 丁永前. 组培苗微生态环境中CO<sub>2</sub> 控制的研究[ D] . 南京: 南京农业大学, 2000.

[ 30] Kozai T, Xiao Y, Nguyen Q T, et al. Photoautotrophic(sugar-free medium) micropropagation systems for large scale commercialization[ J] . Propagation of Ornamental Plants, 2005, 5(1): 23-34.

[ 31] 马明建, 宋越冬. 基于环境控制的组培苗无糖培养系统[ J] . 农业工程学报, 2009, 25(6): 192-197.

[ 32] 刘文科, 杨其长. 环境控制技术在植物无糖组织培养中的应用[ J] . 农业工程学报, 2005, 21(S2): 45-49.

[ 33] 管道平, 杨其长, 刘文科, 等. 植物光自养微繁殖技术研究进展[ J] . 园艺学报, 2006, 33(3): 680-686.

[ 34] 徐志刚, 丁为民, 丁永前, 等. 规模化组培育苗设施环境与控制的研究进展[ J] . 农业机械学报, 2002, 33(1): 106-110.

[ 35] Toyoki Kozai, Chieri Kubota. Developing a Photoautotrophic Micropropagation System for Woody Plants[ J] . Journal of Plant Research, 2001, 114(4): 527-537.

[ 36] 屈云慧, 熊丽, 吴丽芳, 等. 无糖组培技术的应用及发展前景[ J] . 中国种业, 2003(12): 17-18.

[ 37] 刘再亮. 密闭式人工光组培室的环境控制与洁净技术的研究[ D] . 北京: 中国农业大学, 2004.

[ 38] 李传业, 滕光辉, 曲英华. 基于PLC 的无糖组培微环境控制系统[ J] . 中国农业大学学报, 2004, 9(4): 30-34.

[ 39] 崔刚, 单文修, 秦旭, 等. 植物开放式组织培养研究初探[ J] . 山东农业大学学报(自然科学版), 2004, 35(4): 529-533.

Research Progress and Prospect of Micropropagation Robot in Plant Tissue Culture

SUN Gang<sup>1,2</sup>, ZHENG Wen-gang<sup>1</sup>, QIAO Xiao-jun<sup>1</sup>, JIANG Kai<sup>1</sup>, GUO Rui<sup>1</sup>, YANG Li<sup>2</sup>

(1. National Engineering Research Center for Intelligent Equipment in Agriculture, Beijing 100097; 2. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083)

**Abstract:** The applications and the main process of plant tissue culture were summarized. The present study condition of micropropagation robot for plant tissue culture all over the world were reviewed. Along with the increase of labor cost, tissue culture production as a kind of labor-intensive industries need the adoption of automated production technology to improve the working efficiency and quality. The development of tissue culture industry will be impelled consequentially if traditional handwork is replaced by automatic equipments or robots.

**Key words:** plant tissue culture; micropropagation; robot