

移栽机械发展现状与展望^{*}

于晓旭¹ 赵 匀^{1,2} 陈宝成¹ 周脉乐¹ 张 昊¹ 张智超¹
(1. 东北农业大学工程学院, 哈尔滨 150030; 2. 黑龙江省粮食产能提升协同创新中心, 哈尔滨 150030)

摘要: 阐述了移栽农艺对中国农业发展的重要意义,指出移栽机特别是钵苗移栽机将是大幅度提高粮食单产的农机装备,说明了移栽对北方寒地粮食增产和农民致富的积极作用。简述了国际移栽装备的发展史,提出了移栽机械发展一般经历3个阶段:初级阶段的滑道机构;中级阶段的杆机构;高级阶段的回转机构。综述了国内外移栽机械发展现状和研究水平,对其发展方向做出了展望,强调钵苗移栽研究若要进入回转机构研究阶段,研究人员须掌握机构学等系列理论基础、计算机专业知识和熟练掌握现有的市场软件,以及具备对这些市场软件二次开发的能力。对当前国内一些移栽装置重要发展方向提出了系列建议。

关键词: 全自动移栽机 移栽 现状 发展

中图分类号: S223.94; TH112.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)08-0044-10

引言

用科技创新提升粮食生产能力,是确保国家粮食安全的核心。随着人口数量增长,工业化和城镇用地增加,土地沙漠化面积扩大,人均可耕地面积正逐年减少,粮食产量可持续增长成为农业发展的主要难题。在中国,由于土地资源稀缺,依靠增加耕种面积较大幅度的提高粮食产量,难以实现。采用品种改良和新的农艺方法提高粮食作物的单产,将是提高粮食总产的有效手段。通过多年来水稻农艺专家的实践验证,移栽技术是大幅度提高粮食单产的有效途径之一^[1-5]。

在北方寒地,同一作物的不同品种各有其适应的积温带:高积温带的品种植于低积温带不能确保粮食成熟,如果遇到霜早的年头,甚至会造成绝产;低积温带的品种植于高积温带,浪费了土地资源。南方水稻地区积温高,为了充分地利用土地资源,增加复种指数,例如:双季稻种植;玉米和小麦连种;水稻和油菜连种。移栽通过温室育秧延长生长期、便于苗期管理、培育壮苗,从而提高产量和品质,也是我国中南部地区增加复种指数的重要农艺保证。移栽主要分3类:钵苗、毯状苗和裸苗移栽。裸苗移栽成活率较低,仅局限用于个别移栽成活率较高的作物;毯状苗移栽主要用于水稻,比直播增加生长期

20 d左右,无论人工或者机械插秧,由于在取秧过程中撕裂毯状根系,需要5~7 d缓苗期。中国水稻研究所朱德峰教授等发明了半钵毯状苗,比插秧提高产量5%~10%。钵苗移栽既可以用于水稻也可以用于旱田移栽,实践证明与插秧比较可以提高产量6.2%~9.3%^[6]。除此之外,在黑龙江省钵苗移栽不但可以提高产量,而且可以将省内优质水稻品种“稻花香”由黑龙江的第一积温带北移。

除水稻以外,旱田移栽包括玉米、棉花、油菜以及新疆用于工厂生产罐头食品的辣椒、西红柿等大田作物和蔬菜、甜菜、烟草、花卉等经济作物,可以不同程度地提高产量和改善品质。在国外,由于现有的移栽装备效率低、成本高、结构复杂,只能用于经济作物。在中国,机械化移栽刚刚起步,一般用在蔬菜移栽,采用半自动移栽机,由人工送秧。

与其他农机作业不同,机械化移栽工作过程是一个大的系统工程,包括3个缺一不可的子系统:移栽装备和技术、育秧装备和技术、整地装备和技术。子系统中的任何一个环节的装备和技术出现问题,都会影响移栽作业的成败。除了核心工作部件——移栽机构外,动力底盘(特别是水田动力底盘)、移栽后的注水机构和侧深施肥装置等,对移栽的效率、成本、成活率以及钵苗养分供给都具有重要的意义。有些装备和技术的走向在学界也还存在着重大分

收稿日期: 2014-01-06 修回日期: 2014-01-24

^{*} 国家自然科学基金资助项目(51175073)、公益性行业(农业)科研专项资助项目(201203059-01)和东北农业大学博士启动基金资助项目(2012CRB56)

作者简介: 于晓旭,初级实验员,主要从事农业机械设计与应用研究,E-mail: 2999902@qq.com

通讯作者: 赵匀,教授,博士生导师,主要从事农业机械设计和理论分析与机构动力学和优化研究,E-mail: zhaoyun@neau.edu.cn

歧,例如:水田插秧机和钵苗移栽机的自走底盘是采用液力驱动无级变速还是纯机械的传动。

1 移栽机械的发展

国外移栽机械生产开始于 20 世纪中期,与其他农业机械相比较起步较晚,由于其工作对象为柔嫩的秧苗,参数多且满足工作部件轨迹和姿态要求的目标多而复杂,系列参数与各目标之间的函数关系耦合性强,优化设计难度大^[9-13]。初期设计的移栽机械都是半自动型,由人工完成取秧和送秧,仅栽植动作依靠机械完成。而后在相对简单的移栽机械——插秧机上首先完成了全自动插秧:由一个机构完成取秧、输送和栽植 3 个动作,但是在钵苗移栽机上,用一个机构依次完成取秧、输送和栽植的创新优化设计难度大,近 30 年一直由 3 套机构分别完成。

移栽装备的核心工作部件——移栽机构的发展过程代表了移栽装备水平提高的过程。50 年代中国在国际上最早发明了水稻移栽装备,采用滑道机构移栽裸苗。日本在 60 年代发明了曲柄摇杆式分插机构和旱育(毯状苗)稀植方法,取代了滑道机构(图 1)和裸苗移栽。日本 70 年代在久保田、洋马、佐藤、井关等农机公司的不断改进下,增加了推秧机构^[14-20],曲柄配重等装置,使插秧机工作可靠性和效率提高,在杆机构插秧装置上趋于完美。一种机构的完美意味着该机构开始走向消亡。

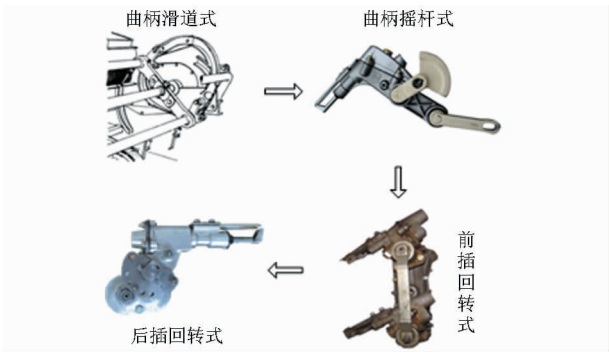


图 1 水稻分插机构发展过程

Fig. 1 Development process of rice transplanting mechanism

为了提高效率,日本在 80 年代末由山野征男、小西达也等发明了前插回转式行星轮系分插机构^[21-24],用于乘坐式插秧机上,使工作效率提高了近一倍,取代了曲柄摇杆式分插机构,诞生了高速插秧机^[25]。浙江理工大学在 2006 年发明和开发了后插回转式行星轮分插机构,用于步行插秧机,并进入市场。其结构简单,振幅大约相当于曲柄摇杆式的 1/4。

移栽装备的发展史分为 3 个阶段:滑道机构、杆

机构、回转机构。滑道机构复杂、成本高、效率低,优化设计容易;回转机构简单、成本低、效率高,优化设计难度大;杆机构居中(图 2)。日本在水田毯状苗移栽装备方面已经进入到回转机构发展阶段,但是日本的水田和欧洲的旱田钵苗移栽装备 30 年来一直止步于杆机构的初级阶段;国内以东北农业大学和浙江理工大学移栽机械协同创新团队,通过所建立的创新优化设计技术平台,在水稻钵苗移栽装备产业化方面已进入杆机构的高级阶段,与企业合作生产了较大批量的双曲柄五杆机构钵苗移栽机;进而又在各种移栽机械核心工作部件上全面进入了回转机构研究阶段。

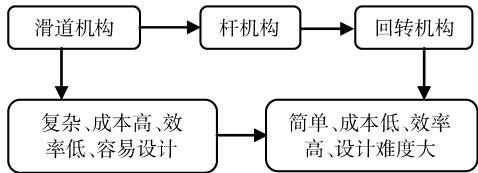


图 2 移栽机构发展历程及特点

Fig. 2 Development process and characteristics of transplanting mechanism

2 国外移栽机械的现状

移栽机械主要分为半自动和全自动。按其作业的对象分为水稻和旱田移栽装备。水稻移栽装备主要是插秧机、钵苗移栽机和育秧系统。插秧机用于毯状苗移栽;钵苗移栽机用于钵苗移栽。日本在水田移栽装备方面处于国际领先;旱田移栽主要是钵苗移栽,欧洲目前占领了旱田移栽装备方面的大部分国际市场。

2.1 国外水田移栽装备

日本的水稻移栽装备主要有 2 种形式:毯状苗插秧机和钵苗移栽机。毯状苗插秧机有 2 种机型:高速乘坐式和步行式。高速乘坐式采用双栽植臂回转式行星轮系分插机构,行数从 4 行到 8 行,用得较多的是 6 行机,8 行机次之。近些年来,青壮年劳动力从农村向城市转移,考虑到中老年农民的需求,企业增加了 4 行高速乘坐式插秧机的产量,用以替代步行机中产量最多的 4 行机,目前在日本步行插秧机数量与高速乘坐插秧机约占 1%。

在国际上,日本是水稻全自动钵苗移栽装备最早进入市场的国家,机型有乘坐式和步行式。采用与欧洲旱田钵苗移栽机械相同的 3 套装置分别完成取秧、输送和栽植 3 个动作,其取秧装置分为:取出式和顶出式,采用杆机构取出或顶出一排钵苗到输送带上,输送带将钵苗送至一侧,由栽植机构将钵秧苗植入田中。由于钵苗移栽没有缓苗期,适宜寒冷

地区水稻种植,日本北海道钵苗移栽机已有 50% 占有率^[37]。但是,在中国使用,稻农难以承担机器和秧盘的价位。其机型分为乘坐式和步行式,主要厂家有井关(PZP-80 型水稻全自动钵苗移栽机,图 3)、洋马和日本实产业株式会社等。



图 3 日本井关 PZP-80 型水稻全自动钵苗移栽机
Fig. 3 Japanese Iseki PZP-80 rice potted-seedling transplanting machine

美国、澳大利亚等国的水稻种植不采用移栽方式,而是在连片的水稻田上用飞机直播,虽然装备成本高,但由于效率高而降低了单位面积的机械化作业成本。选育与飞机播种相适应的水稻品种和采用适宜的农艺措施,形成了一套与亚洲完全不同的水稻种植模式,由于气候和土地适宜,水稻单产高、品质好,且生产成本低。

2.2 国外旱田移栽装备

国外的半自动钵苗移栽机通常采用人工送秧。常见的穴栽方式是由人工将钵苗放入下端封闭、缓慢运动的圆周分布的圆筒中,当圆筒运动至鸭嘴式杆机构栽植器上方,封闭口打开,钵苗落入鸭嘴栽植器,栽植器入土后,鸭嘴张开,钵苗留在穴坑中,后边紧跟覆土器和镇压轮(图 4)。

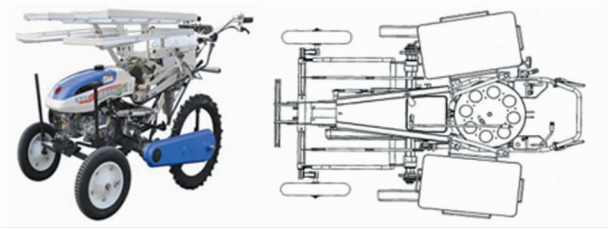


图 4 井关 PVH1TC 烟草移植机
Fig. 4 Iseki PVHR2-E18 tobacco transplant

另外一种穴栽装置是夹持式栽植器,人工将钵苗或裸苗放入张开的夹子中,夹子闭合,当夹子运动到土壤中张开,秧苗留在土壤中,后边紧跟覆土器与镇压轮(图 5)。

另有一种结构更为简单的柔性圆盘栽植器^[26]: 一对柔性圆盘在工作周期中时而张开时而夹紧,将钵苗或裸苗放入圆盘的张开部分,柔性圆盘夹紧秧苗转入开出的土壤沟槽中,圆盘转至下端时张开,钵苗或裸苗落入沟槽中,随后三角式扶土器将两侧土

壤推向沟槽,将秧苗固定,而后镇压轮镇压(图 6)。

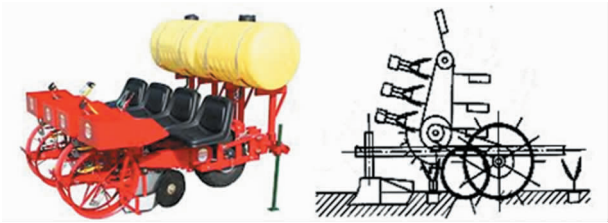


图 5 美国玛驰尼克 1000-2 指夹式双行移栽机
Fig. 5 American Nick Ma Chi 1000-2 finger clip type double transplanting machine

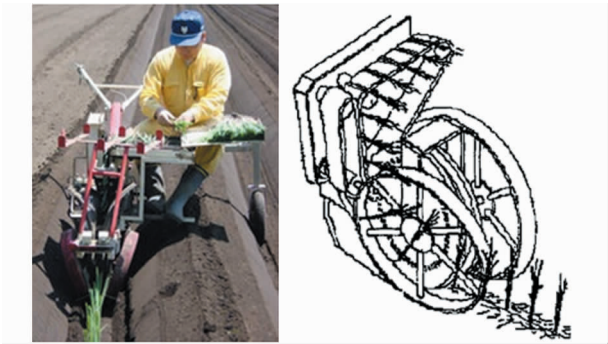


图 6 日本久保田半自动大葱移栽机
Fig. 6 Japanese Kubota semiautomatic scallions transplanting machine

该机构结构简单、效率高,但人工喂秧难以保证株距均匀,只能采取沟灌,用水量大于穴注水。如果能够辅以自动喂秧装置,则可提高效率、保证株距均匀性、减轻劳动强度^[27-32]。

近些年来,在人工喂秧方面,为了减轻劳动强度、提高效率,发明了便于成排取秧的秧盘(图 7),例如:日本日立株式会社公司和意大利 Ferrari 公司将方形压缩基质置于秧盘中,当秧苗长大后在田间作业时,用条型铲取出一行钵苗放在输送带上,其效率接近于全自动移栽机,减少了送秧的次数,也就减轻了送秧的劳动强度(图 8)。

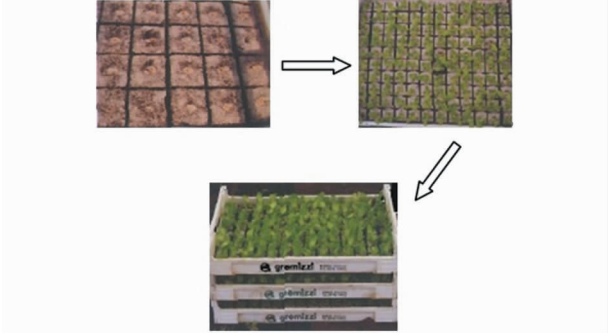


图 7 方形压缩基质幼苗生长过程
Fig. 7 Square compression matrix seedlings

欧洲的旱田全自动钵苗移栽机最先采用 4 套机构完成 4 个动作的工艺流程,由电磁阀触发气缸工作,气缸推动机械手成排顶出或取出钵苗:钵苗由机械手排列在输送带上,依靠输送带送至一侧,由栽植



图 8 Ferrari 的 Rotostrapp 型移栽机

Fig. 8 Ferrari's rotostrapp type transplanting machine

机构植入土壤;或者机械手取出钵苗后,90°转向,向下送至输送器的钵杯中,钵杯底部定时开启,钵苗落入栽植器,植入土壤中。两种取样机构均由单片机控制电磁阀,电磁阀启动气缸,气缸作用机械手完成间歇动作。其工艺流程和装备与日本水稻钵苗移栽装备相似,且先于日本进入市场。但同样存在结构复杂、成本高、效率低的问题,只能用于经济作物,例如:花卉、烟草、蔬菜、甜菜等,未见用于大田作物(图 9)。



图 9 意大利 Ferrari 旱田全自动移栽机

Fig. 9 Italian Ferrari dry field automatic transplanting machine

如图 10 所示为法国 Pearson 公司的旱田全自动移栽机,成排夹秧机构将一排秧苗从秧盘中取出,整齐排放在输送带上,输送带将秧苗运送至一侧,或者通过做回转运动的夹子,将秧苗栽植在土壤中,或者通过四杆机构进行膜上移栽。覆土镇压轮紧随栽植器对植于土壤中的钵苗进行覆土、镇压,确保钵苗的直立度。

类似机型的生产厂家有英国的 Massey Ferguson 公司、意大利的 Checchi & Magli 公司、法国的 Picador 公司。日本为了简化机构,用两套机构完成 3 个动作,将取秧和输送过程的复杂动作由一套装置完成,然后将钵苗投入鸭嘴栽植装置,该装置依靠四杆机构完成其栽植过程。取秧和输送装置是回转和滑道机构的结合体(图 11),虽然可以完成复杂的取秧和输送动作,但是滑道机构的应用限制了回转机构的转动速度:取秧时间超过了秧爪在钵土中限定的连续移箱时间上限,不得不由连续移箱变为间

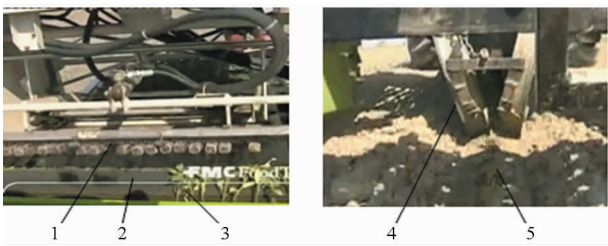


图 10 法国 Pearson 旱田全自动移栽机

Fig. 10 French Pearson dry field automatic transplanting machine

1. 夹秧机构 2. 输送带 3. 输送带上的钵苗 4. 镇压轮 5. 植于土壤的钵苗

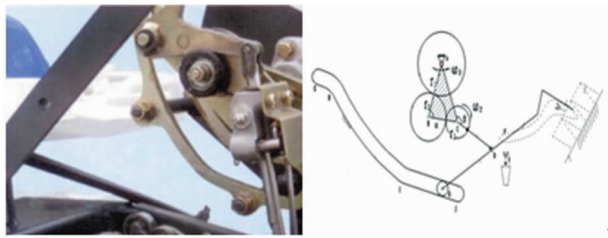


图 11 日本旋转滑道式全自动移栽机

Fig. 11 Japan's rotating chute type automatic transplanting machine

歇式移箱,延长了工作周期,整机工作效率大大降低。

3 国内移栽机技术和装备发展现状

3.1 国内水田移栽装备发展

3.1.1 水稻插秧装备

国际上,我国的水稻移栽装备起步最早,50 年代后期以南京农机化所、浙江农科院和浙江大学机械系为主合作开发,开始研制裸根苗移栽机以及拔秧装备,形成了一定的批量,可惜在 60 年代终止,其原因是:①经济发展水平限制了机械化发展。②或者是在方案确定时过于草率,或者是研究者受机构学理论基础的限制,所采用的滑道式移栽装备和裸苗移栽的方案过于落后,日本在 60 年代发明插秧机时采用了曲柄摇杆分插机构,很快取代了我国的滑道机构,旱育稀植钵状苗取代了裸苗。③科学研究不科学,把插秧机研究变成了一场政治运动。该项研究一哄而起,又一哄而散,浪费了大量的人力和财力。但是这种曲柄滑道式插秧机的发明得到了国际农业机械界的公认:中国是最早发明插秧机并进入市场的国家!

80 年代开始随着改革开放,插秧机的研究又形成了一个高潮,其中最突出的是四平农机研究所李道椿高级工程师所带领的课题组开发了三轮底盘普通乘坐式插秧机,其分插机构采用了日本曲柄摇杆式^[33]。1982 年由延吉插秧机厂开始生产。该机型

更适合中国北方水稻田作业,其生产工艺符合当时的国内工艺水平,配置合理,成本低,为寒温带地区稻农在冰冷的水田中弯腰弓背插秧解除了劳役之苦,推动了东三省以至全国水田机械化的发展,在中国水稻机械化道路上做出了里程碑式的贡献。

80年代后期到本世纪初,农业机械化发展水平处于一个相对停滞的状态,例如水稻种植机械化在1995年为2.3%^[34-36],到2002年仅增加到3.96%,7年时间增长了1.66%,平均每年增长0.24%。

从21世纪初开始水稻移栽机械开始进入第三个高潮。由于政府对农机补贴力度增大,国内水稻栽植机械化在短短的8年内,由3.96%(2002年)^[37]增长到20%^[38](2010年),平均每年增长2%^[39]。水稻机械化是农业机械化的瓶颈,而水稻种植机械化又是水稻机械化的瓶颈。这一情况已得到初步的改善,但水稻栽植装备产业形势依旧严峻:日本久保田和洋马的高速插秧机在中国市场占有率有78.41%(2010年)^[39],日本井关、韩国东洋和大同株式会社约占17.59%(2010年),在国产高速插秧机中,唯独中机南方的销售额占有一席之地,也仅为4%(2010年);步行插秧机中国外机型约占有销售额的2/3(2010年)^[39]。农机补贴推动了中国农业机械化事业的发展,对农机产业的发展带来新的机遇和提出了新的课题:如何利用补贴政策推动我国农机自主创新研究和产业发展?例如:按某种产品价格比例发放补贴,相对价格高的外资企业同类产品对农民更有吸引力,特别是那些自己不用而把机器转卖给其他稻农的农民。可否同类产品补贴价格相同,让外资企业产品与国内产品公平竞争。

3.1.2 水稻钵苗移栽装备

从20世纪80年代开始我国开始研究水稻钵苗移栽装备,其中中国农业大学宋建农研究的2ZPY-H530型水稻钵苗行栽机^[40-42],构思巧妙、结构简单,最接近产业化,如图12所示。

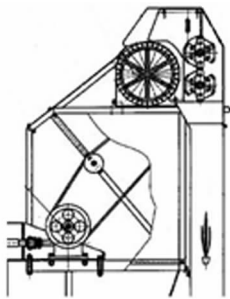


图 12 2ZPY-H530 型水稻钵苗行栽机
Fig. 12 2ZPY-H530 rice potted-seedling transplant

朱德峰等发明的半钵毯状秧盘^[43-44],根的下半部是钵体,上半部连接为毯状,可以用普通插秧机完

成移栽过程,比普通毯状苗机插在取秧过程中减少了伤根,缩短了缓苗期,在全国得到了大面积推广。其主要问题是纵向送秧的积累误差造成取秧钵体不完整,已找到了解决的方案,正在形成样机。

黑龙江农垦科学院曾经组织力量并投入资金在日本水稻钵苗移栽机的基础上,开发水稻钵苗移栽装备,于1996年10月立项,1999年结题。由于结构复杂、价格昂贵、工艺和材质要求高,未能形成产品。

东北农业大学与鑫华裕农机装备有限公司联合研制的双曲柄五杆机构钵苗移栽机(图13),是国际上唯一进入市场的轻简化钵苗移栽机。双曲柄五杆栽植臂由两个曲柄、两个连杆组成,其中一个主动曲柄,通过一组圆齿轮或者非圆齿轮将动力传递到被动曲柄,主动和被动曲柄分别连接连杆1和连杆2,两连杆另一端互相铰接。与主动曲柄连接的连杆作为移栽臂。与曲柄摇杆机构的连杆形成的栽植臂比较,能够形成更加复杂的轨迹和姿态,满足钵苗移栽的要求。用一个机构完成移栽的三个动作,相比较处于杆机构初级阶段的日本钵苗移栽机杆机构取秧装置,该项研究成果处于杆机构的高级阶段。



图 13 2ZB-630 型水稻钵苗移栽机
Fig. 13 2ZB-630 rice seedling transplanting mechanism

2013年在依兰县迎兰乡(第三积温带)相邻地块,用2ZB-630型水稻钵苗移栽机和日本久保田SPW-48C型手扶式插秧机试种“稻花香”水稻,图14为15d后水稻生长情况的比较照片。左侧为钵苗移栽后的生长情况,根系平均长度在10cm以上;右侧为机插秧苗,根系平均长度在1~2cm,有的甚至刚刚显露白根(新根)。从照片看,由于没有缓苗期,钵苗移栽的秧苗与机插秧苗比较更加壮硕。根系和秧苗的生长状态不同,直接影响了后期的水稻产量。

同种机型同年在宁夏开展800亩钵苗移栽试验示范,并做钵苗移栽和插秧的对比试验,大部分试验点增产幅度在10%以上^[7-8]。在黑龙江省通过钵苗移栽,将第一积温带的“稻花香”水稻向第二第三积温带试种,以便扩大精品粮种植面积,同时也为稻农致富创造条件。其价格是日本行数相同机型的1/8,但是其振动大,进一步提高效率受到限制。

超级稻培育和推广是袁隆平通过品种改良为我



图 14 钵苗移栽与机插秧苗比较(朴志德高工拍摄)

Fig. 14 Pot seedling transplanting compared with machine plug seedlings

国水稻单产提高做出的巨大贡献,其特点是依靠分蘖增产,每穴株数超过 3 棵则达不到增产效果,稀植毯苗则不能成毯;钵体苗 1~3 棵/穴仍然可以成钵。2008 年作者使用插秧机在袁隆平的试验田试插超级稻,为了成毯 35 棵/穴,插秧效果很好,但是秋后测试减产;2013 年马旭在广东省惠州国家水稻试验中心使用双曲柄钵苗移栽机栽插超级稻,增产效果明显,解决了机械化移栽超级稻这一难题,但是其效率太低。该项试验表明只要解决了效率问题,钵苗移栽是超级稻移栽的发展方向。

东北农业大学和浙江理工大学联合研制的回转式钵苗移栽机,其回转钵苗移栽机构空转转速可达 420 次/min,工作速度可达 250 次/min,如图 15 所示。

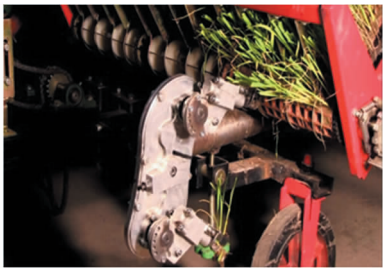


图 15 回转式水稻钵苗移栽机构

Fig. 15 Rotary rice potted-seedling transplanting mechanism

3.2 国内旱田移栽装备发展

国内旱田钵苗移栽机研究始于 70 年代后期,轻工部甜菜糖业研究所应用法国柔性圆盘式半自动移栽技术和装备研制了甜菜钵苗移栽机,采用了日本可降解蜂巢状纸质钵盘。由于钵盘成本太高,该项研究成果未能产业化。21 世纪开始,旱田钵苗移栽装备的研发真正形成规模,富来威农机公司是最早着手开发旱田钵苗移栽装备的企业之一,所开发的半自动钵苗移栽机已进入市场,形成了一定的批量,用于蔬菜、烟草和油菜的移栽^[45~49]。浙江理工大学、东北农业大学最早开始回转式全自动轻简化钵苗移栽机研究,发明和开发系列回转式旱田钵苗移

栽机构、系列试验台架以及由于摄像机固定而得到清晰核心工作部件作业录像的旋转环形土槽。为了解决多目标、多参数、强耦合性钵苗移栽机构复杂优化问题,发明了“参数导引”启发式优化算法,解决了以上优化难题,建立了移栽机械创新优化设计平台^[50~51]。该平台的核心技术是优化设计软件,已达到全自动优化和利用变形设计软件自动生成二维、三维图。利用该平台技术体系将欧洲的旱田和日本的水田钵苗移栽核心装备从杆机构的初级阶段发展到回转机构,由 3 套装置完成取秧、输送、栽植 3 个动作,发展到一个回转机构同时完成以上 3 个动作,可以达到了高效、低成本、轻简化的目标。

系列旱田回转式钵苗移栽机构的研究,已完成移栽机的优化设计,目前处于虚拟样机和部件研制阶段。

4 移栽装备展望

4.1 需求与发展前景

几十年来农艺专家的试验研究证明,移栽可以大幅度提高粮食的产量和品质,移栽装备可以提高移栽作业质量和降低成本;移栽可以充分利用中国有限的土地资源增加复种指数,例如:山东的小麦收获之后的玉米移栽、南方水稻收获之后的油菜移栽,延长了玉米和油菜的生长期,突破了复种后的本积温带对玉米和油菜两种作物生长期限制;黑龙江的优质大米稻花香等品种只能在本省的第一积温带种植,通过钵苗移栽可以将其种植到第二、第三甚至第四积温带,2013 年东北农业大学和吉林鑫华裕农机装备有限公司利用合作生产的钵苗移栽机,将稻花香水稻种植在依兰县朝鲜族乡(第三积温带),与机械化插秧比较提前半个月成熟,且提高产量 10% 以上。鑫华裕农机装备有限公司的钵苗移栽机 2012 年和 2013 年通过全国各地多点试验,当地农业部门组织农业专家测产结果显示,提高水稻产量 10%~20%。

水稻宽窄行插秧,在不减少单位面积穴数的前提下增加光照和通风,可以预防病害、减少倒伏和增加产量,是发展绿色农业的重要手段,已得到稻农和政府的普遍认可。开发初期的斜取秧等缺陷已解决,宽窄行插秧装备的产业化技术已趋成熟,可以满足大批量生产的要求。

通过多年农艺专家的移栽对比试验和本文作者各种移栽装备的田间作业实验,可以得出结论:移栽可以大幅度提高粮食产量和品质,减少病害和倒伏。移栽装备在中国特别是北方寒地,有着广泛应用前景。

4.2 掌握现代优化设计技术

移栽装备的创新优化设计的理论基础是机构学、创新学和信息科学等。移栽机构的发明有一定的创新规律,更好地掌握和应用这些规律需要我们不断的总结,其中包括发明要素、实施方案和计算机仿真;移栽机构虽然面对柔嫩的秧苗和特性变化很大的土壤等物料学知识,但其研究内容总体来说是一项规律性很强,理论分析和演绎为主,试验归纳为辅的学科,研究过程中数学、力学相关的机构学知识应用较多,研究人员应该具备较好的基础理论知识^[52-53];熟练地运用计算机知识开发优化、仿真、设计软件的能力;市场软件通过几十年的开发和完善,功能越来越强大,是每个研究人员必须掌握的工具,同时还需具备根据研究项目的不同要求选择不同市场软件进行二次开发的能力。浙江理工大学和东北农业大学协同创新团队通过多年的努力,建立了移栽机械创新优化设计平台,国内同行可以在此基础上应用和完善平台技术体系,解决系列移栽机械研发中的问题,平台技术体系也是未来研究移栽机械必不可少的工具。

4.3 移栽机械发展方向探讨

4.3.1 回转移栽机构是未来的发展方向

正如 1.1 节所述,移栽机的核心工作部件的发展展现了其装备的发展水平。在水田毯状苗插秧机方面日本首先完成了滑道机构向杆机构、杆机构向回转机构的跨越,应用在插秧机上,使高速插秧机得以进入市场。回转式分插机构由于其振动小、效率高、成本低,在高速插秧机上已替代了曲柄摇杆式,在不久的将来,步行式 and 中国的普通乘坐式的曲柄摇杆分插机构也将逐渐被回转式替代。日本生工所在水稻田地头用拖拉机高速牵引插秧机,以增加其行走速度,最高速度可达 4.17 m/s(传统速度 0.8 ~ 1 m/s),回转式插秧部件仍能满足插秧要求。这一试验结果表明回转式移栽机构惯性力小,具有较大的提速潜力;钵苗移栽与其他移栽方式相比能够大幅度提高粮食和作物产量和品质。综上所述,回转式钵苗移栽机构应该也是未来各种移栽机构的发展方向。

目前市场的全自动钵苗移栽装备复杂、成本高、效率低,严重影响了移栽农艺的推广。钵苗移栽机由半自动向全自动机型的发展过程中,正值信息化、机电一体化和机器人技术应用于各行各业的时代。为了完成全自动移栽作业的分秧动作,采用了杆机构作为机械手;为了完成分秧过程的各项复杂的目标,应用了机电一体化和机器人技术,尽管如此,输送和栽植不得不依靠其他装置完成,使得结构复杂、

成本高,气缸和继电器的使用也限制了效率的提高,难以用于大田作物,只能用于经济作物。

日本发明了用单一的回转机构完成了水稻毯状苗的分秧、输送和栽植动作的分插机构,并形成产品,在高速插秧机上替代了曲柄摇杆式分插机构。尽管日本发明了回转式分插机构,在旱田方面却仍然袭用欧共体的以杆机构为分秧机构的移栽装备形式,表明了回转式钵苗移栽装备的创新难度更大。通过机构学知识的应用,借助于计算机,采用新的优化方法,是可以简单的回转机构替代传统的杆机构,并同时完成输送和栽植工作,达到高效、轻简化的目标。

一旦我国自主研发的水、旱田回转式全自动钵苗移栽机研发成功并进入市场,将突破移栽装备不能用于大田作物的现状,也将大大推动国内移栽装备的产业化。

4.3.2 宽窄行移栽和深施肥

无论是何种插秧机型,在短时间内产品的可靠性和外观难以与国外机型竞争,为提高竞争力,其发展方向是改进现有机型,开发出适合中国农艺要求的插秧机,增加其优越性,例如:发展宽窄行插秧机,并且将斜取秧改为直取秧:由所取菱形秧块改为矩形秧块,使取秧过程中,秧爪和秧门的相对位置对秧根的切断作用更加合理;内插式宽窄行分插机构装在普通乘坐式插秧机上,其后插的边行与已插的边行之间距离由 30 cm 增加到 40 cm,大大缓解了该机型易造成的壅泥、壅水的问题,用在步行机上可以将行走宽度由 30 cm 增加到 40 cm,便于行走与操作;宽窄行移栽方式也可用于钵苗移栽。

应解决侧深施肥过程中肥料潮湿后的堵塞问题。无论是插秧机或是钵苗移栽机,在未来的产品中都应该附加侧深施肥装置,侧深施肥至少可以减少原施肥量的 1/3;缓解化肥施量过大和流失引起的土壤板结和下流水域富营养化问题。

4.3.3 高速自走底盘的产业化方向

在未来的水田插秧和水、旱田钵苗移栽机械开发中,高速是未来的重要方向。在水田动力机械上,高速自走底盘开发是关键突破口。日本的自走底盘在上世纪 70 ~ 90 年代用机械式传动,到 21 世纪前 10 年全部改为液力驱动无级变速,液力驱动消耗了大约 1/3 的动力为热能,是一项浪费能源而又无多大意义的改进,目前发动机由原来 8.8 kW 增加到 13.23 ~ 14.71 kW。中国的部分企业在开发自走底盘中完全照搬国外样机,由于工艺水平的限制,预计在近十年之内其液力驱动无级变速装置只能高价引进,不但受制于人,也使自走底盘价格居高不下。事

实上,高速插秧机在田间行驶到地头转向之前没有任何阻挡,与汽车在公路上行驶工况完全不同,基本上不需要变速。另外建议底盘的动力装备改用柴油机,虽然增加了噪声,在空旷的田野上作业对驾驶员影响不大,其使用安全,动力消耗成本低,而且柴油机具有超负荷性能,同样功率下其越埂和防陷能力更强。与汽油机相比柴油机质量略大,有利于减少配重。通过测试,前轮分担的动力为后轮的 $1/4$ 左右^[54-55],日本机型的前桥采用铸钢也是为了增加配重,有柴油机配重,可以改为高压铸铝。日本新一代的自走底盘已经开始采用了柴油发动机作动力。

4.3.4 移栽灌水

旱田作物移栽前后灌水是必不可少的,即使新疆的辣椒和西红柿移栽后要在土壤中配置滴灌设备,但滴灌设备与移栽不能同时进行,因而必须在移栽后即刻灌水,否则由于气候干燥和阳光充分,其成活率也会大大降低。灌水分3种:穴注水、植苗前沟灌和漫灌。穴注水方式最省水,但是未见成熟的装备;植苗前沟灌主要用于开沟移栽,相对容易实现,用水量大于穴注水的3~5倍;漫灌在欧洲用于穴坑移栽,用水量大,用于经济作物移栽尚可,用于大田移栽,取水本身就是一个难题。建议开展穴注水装备的研究。

4.3.5 国内加工工艺与产业化配套问题

国外的制造工艺和材料先进,机器作业时间相对国内少得多。国内设计时要根据国内的工艺水平和材料,在产业化方面考虑机器的耐久性和成本,不能够完全仿造国外工艺,应该加大材料和工艺方面的投入和研究,例如:行星轮不等速传动机构中的各种不等速传动齿轮奇形怪状,采用线切割价格昂贵,笔者与粉末冶金企业合作,通过一年多的研究,在设计、材料和工艺上采取了系列措施,顺利通过了各种

破坏性试验,大大降低了市场成本,国内的链条工业落后,多年前课题组已将输送动力到分插机构的链条传动改为锥齿轮传动,近几年日本在中国销售的插秧机也逐渐改为锥齿轮传动,表明日本企业已认识到在中国销售的产品,必须按照中国国情在设计上做适当的修正;日本的小轴方键采用合金钢,加工精度高,长期使用不存在问题,而国内一般采用A3材料,由市场购得,精度不高,长期使用可靠性得不到保证,因而在国内必须改为花键连接。

5 结论

(1) 纵观移栽机械的发展史,近30~40年,移栽机械在工艺、材质和工业设计上有突飞猛进的发展,但是在性能上基本保持以往的水平。半喂入移栽机保持着60年前的移栽方式:依靠人工喂秧,栽植部件主要采用挠性圆盘、夹持式和鸭嘴式等栽植器。全自动移栽机则采用机械手、单片机、电磁阀和气动装置,保持30年前的水平,用3套机构完成取秧、输送和栽植3个动作。

(2) 尽管信息和机电一体化等先进技术进入移栽机械的发展领域,但是由单片机控制的机械手作为执行机构用于田间作业,在目前的发展水平下,达不到高效、低成本、轻简化的目标。

(3) 作者提出移栽机核心工作部件——移栽机构的发展分为3个阶段:滑道机构、杆机构和回转机构。指出目前国际上钵苗移栽机构仍然处于杆机构的初级阶段。对于农业机械的核心工作部件,包括水、旱田钵苗移栽机构,在可以预见的未来,钵苗移栽机构的发展方向应该是机械式回转机构,国内应避免模仿国外模式,越过欧洲和日本的杆机构阶段,把资金和人力放在自主开发“回转式”钵苗移栽机构上。

参 考 文 献

- 1 杨孝楫,史文卫.玉米营养钵壮苗移栽突出优势及栽培技术[J].玉米科学,2004(增刊):79-80.
- 2 封俊.玉米钵苗移栽的机械化[J].中国农村科学,2002(2):10-11.
- 3 卢永涛,李亚雄,刘洋,等.国内外移栽机及移栽技术现状分析[J].新疆农机化,2011(3):29-32.
- 4 张冕,姬江涛,杜新武.国内外移栽机研究现状与展望[J].农业工程,2012,2(2):21-23.
- 5 张会娟,胡志超,吴峰,等.国内育苗移栽机械概况与发展思考[J].江苏农业科学,2010(6):570-572.
- 6 陈巧敏,尹国洪.我国水稻生产机械化现状、发展机遇和前景[J].中国农机化,1997(3):26-30.
- 7 谢洪钧.中国水稻生产机械化技术的推广研究[J].中国农机化,2000(3):15-17.
- 8 袁钊和.我国水稻插秧机械化动态剖析[J].种植机械专辑,1997(9):4-6.
- 9 余亚新,骆春晓,俞高红,等.椭圆-不完全非圆齿轮行星轮系取苗机构参数优化[J].农业机械学报,2013,44(6):62-68.
Yu Yaxin, Luo Chunxiao, Yu Gaohong, et al. Oval-incomplete non-circular gear planetary taking seedlings mechanism parameters optimization[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(6): 62-68. (in Chinese)
- 10 俞高红,陈志威,赵匀,等.椭圆-不完全非圆齿轮行星系蔬菜钵苗取苗机构的研究[J].机械工程学报,2012,48(13):32-39.
Yu Gaohong, Chen Zhiwei, Zhao Yun, et al. The research on oval-incomplete non-circular gear planetary system vegetables pot taking seedling mechanism[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2012, 48(13): 32-39. (in Chinese)

- 俞高红,钱孟波,赵匀,等. 偏心齿轮-非圆齿轮行星系分插机构运动机理分析[J]. 农业机械学报,2009,40(3):81-84.
Yu Gaohong, Qian Mengbo, Zhao Yun, et al. The analysis on eccentric-non-circular gear planetary system motion mechanism[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2009,40(3):81-84. (in Chinese)
- 徐洪广,赵匀,张允慧,等. 水稻钵苗移栽机变性卵形齿轮分秧机构的运动机理分析[J]. 农业工程学报,2012,28(11):9-15.
Xu Hongguang, Zhao Yun, Zhang Yunhui, et al. The analysis on the rice pot seedling transplanting machine degeneration of seedling with oval gear movement mechanism[J]. Transactions of the CSAE,2012,28(11):9-15. (in Chinese)
- 叶秉良,俞高红,陈志威,等. 偏心齿轮-非圆齿轮行星系取苗机构的运动学建模与参数优化[J]. 农业工程学报,2011,27(12):7-12.
Ye Bingliang, Yu Gaohong, Chen Zhiwei, et al. Eccentric-non-circular gear planetary system taking seedling mechanism kinematics modeling and parameter optimization[J]. Transactions of the CSAE,2011,27(12):7-12. (in Chinese)
- [日]清水一史. 水稻插秧机的最新产品开发动向[J]. 机械化农业,1996(3):5-7.
- [日]津贺幸之介. 乳苗育苗插秧机[J]. 机械化农业,1993(3):4-6.
- [日]小西達也. 新しい田植への技術[J]. 農業機械学会誌,1997,59(4):123-126.
- [日]松岛省三. 实用水稻栽培[M]. 秦玉田,译. 北京:农业出版社,1984:189-210.
- [日]伊藤尚胜,清水修一,和田俊郎,等. 移植机的苗移植机构:中国,ZL 99118740. 7[P]. 2000-05-03.
- [日]木谷收. 21 世纪农业机械化[J]. 农业机械学会志,1997,59(6):4-9.
- [日]田坂幸平. 水稻育苗的新技術[J]. 農業機械学会誌,1997,59(4):120-123.
- [日]小西达也. 密植 Z 形插秧机的开发[J]. 机械化农业,1997(3):15-18.
- [日]山野征男,小西达也. 采用回转式栽植机构的高速水田栽植机的开发研究[J]. 农业机械学会志,1990,52(3):2.
- [日]小西达也,津贺幸之介. 水稻插秧机之字型分插机构的开发(第一报)[J]. 农业机械学会志,1998,60(5):91-99.
- [日]小西达也,津贺幸之介. 水稻插秧机之字型分插机构的开发(第二报)[J]. 农业机械学会志,1999,61(1):179-185.
- Azhar Iqbal Muftik, Abdul Shakoor Khan. Performance evaluation of yanmar paddy transplanter in pakistan[J]. AMA,1995,26(1):31-36,40.
- 胡军. 挠性圆盘式大葱移栽机的优化设计与试验研究[D]. 北京:中国农业大学,2003.
Hu Jun. Flexible disc type design and experimental study on the optimization of green Chinese onion transplanting machine[J]. Beijing: China Agricultural University, 2003.
- Lawrence M J, Buckmaster D R, Lamont W J Jr. A pneumatic dibbling machine for plastic mulch[J]. Applied Engineering in Agriculture,2007,23(4):419-424.
- Brewer H L. Conceptual modeling automated seedling transfer from growing trays to hiping modules[J]. Transactions of the ASAE,1994,37(4):1043-1051.
- Walter L Moden Jr, James W Garthe, Frank H Pitkin. A mechanically fed containerized seedling transplanter[J]. Transactions of the ASAE,1977,20(1):38-41.
- Chen B, Tojo S, Watanabe K. Detection algorithm for traveling routes in paddy fields for automatic managing machines[J]. Transactions of the ASAE,2002,45(1):239-246.
- Choi W C, Kim D C, Ryu I H, et al. Development of a seedling pick-up device for vegetable transplanters[J]. Transactions of the ASAE,2002,45(1):13-19.
- Glancey J L. Vegetable production machine design[M]//Heldman D R. Encyclopedia of Agricultural, Food, and Biological Engineering, New York: Marcel Dekker, Inc,2003:1105-1115.
- 王清媛,刘德仁,李道椿,等. 连杆式水稻插秧机分插机构的分析与综合[J]. 吉林工业大学学报,1985(3):70-91.
Wang Qingyuan, Liu Deren, Li Daochun, et al. Connecting rod type rice transplanter mechanism analysis and synthesis[J]. Journal of Jilin University of Technology,1985(3):70-91. (in Chinese)
- 宋建农,庄乃生,王立臣,等. 21 世纪我国水稻种植机械化发展方向[J]. 中国农业大学学报,2000,5(2):30-33.
Song Jiannong, Zhuang Naisheng, Wang Lichen, et al. The rice planting mechanization development direction in China in the 21st century[J]. Journal of China Agricultural University,2000,5(2):30-33. (in Chinese)
- 吕巧美. 我国水稻种植机械化概况及发展方向[J]. 湖南农机,2010,37(2):3-4.
- 罗国福. 21 世纪我国水稻种植机械化发展方向[J]. 吉林农业,2012(263):119-120.
- 包春江,李宝筏. 日本水稻插秧机的研究进展[J]. 农业机械学报,2004,35(1):162-166.
Bao Chunjiang, Li Baofa. The research progress of rice transplanter in Japan[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2004,35(1):162-166. (in Chinese)
- 何金均,王立臣,宋建农,等. 水稻种植机械化发展现状及制约因素分析[J]. 农机化研究,2009(2):1-4.
- 陈景怀,钟伟文. 试谈水稻机械栽植的推广[J]. 现代农业装备,2007(2):67-69.
- 王立臣,王坪,李益民,等. 2ZPY-H530 型水稻钵苗移栽机试验研究[J]. 中国农业大学学报,2002,7(4):21-24.
Wang Lichen, Wang Ping, Li Yimin, et al. The test and research on 2ZPY-H530 rice potted-seedling transplant[J]. Journal of China Agricultural University,2002,7(4):21-24. (in Chinese)
- 宋建农,王苹,魏文军,等. 水稻秧苗抗拉力学特性及穴盘拔秧性能的力学试验研究[J]. 农业工程学报,2003,19(6):10-13.
Song Jiannong, Wang Ping, Wei Wenjun, et al. The experimental study on rice seedlings applied properties and hole tray pulling

of seedling performance mechanics[J]. Transactions of the CSAE,2003,19(6):10-13. (in Chinese)

42 宋建农. 水稻钵苗行栽机:中国,99243671.0[P]. 2000-06-21.

43 徐一成,朱德峰,陈惠哲. 钵形毯状秧苗育秧盘:中国,200710066907.8[P]. 2007-08-01.

44 徐一成,朱德峰,陈惠哲. 水稻秧苗育秧盘:中国,200720105923.9[P]. 2008-03-05.

45 宋建农,黄育仕,魏文军,等. 水稻钵苗对辊式拔秧机构[J]. 江苏大学学报:自然科学版,2006,27(4):291-294.
Song Jiannong, Huang Yushi, Wei Wenjun, et al. The rice pot seedling of roller pulling[J]. Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition,2006,27(4):291-294. (in Chinese)

46 韩长杰,杨宛章,张学军,等. 自动移栽技术现状与分析[J]. 新疆农机化,2011(5):5-6.

47 于向涛,胡良龙,胡志超,等. 我国旱地移栽机概况与发展趋势[J]. 安徽农业科学,2012,40(1):614-616.

48 吴畏,孙松林,肖名涛. 我国移栽机械的现状与发展趋势[J]. 农业技术与装备,2013(12):7-10.

49 耿端阳,董越波. 鸭嘴-偏心轮式钵苗栽植器的设计[J]. 农机化研究,2009(12):100-116.
Geng Duanyang, Dong Yuebo. Design on duck mouth-eccentric wheel pot seedling planting apparatus[J]. Agricultural Mechanization Research,2009(12):100-116. (in Chinese)

50 赵匀. 农业机械分析与综合[M]. 北京:机械工业出版社,2008.

51 赵匀. 机构数值分析与综合[M]. 北京:机械工业出版社,2005.

52 赵匀,赵雄,张玮炜,等. 水稻插秧机现代设计理论与方法[J]. 农业机械学报,2011,42(3):65-68.
Zhao Yun, Zhao Xiong, Zhang Weiwei, et al. The theory and method on rice transplanter modern design[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2011,42(3):65-68. (in Chinese)

53 赵匀. 水稻插秧机分插机构的动力学分析[J]. 农业机械学报,1991,22(3):20-24.
Zhao Yun. The research on dynamics analyses and testing of four linkage rice transplanting mechanism[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,1991,22(3):20-24. (in Chinese)

54 张娜娜. 小型多功能底盘框架的有限元分析和轻量化设计[D]. 杭州:浙江理工大学,2010.
Zhang Nana. The design on small multi-function chassis frame finite element analysis and lightweight[J]. Hangzhou: Zhejiang Sci-Tech University,2010. (in Chinese)

55 张娜娜,赵匀,刘宏新. 高速水稻插秧机车架的轻量化设计[J]. 农业工程学报,2012,28(3):55-59.
Zhang Nana, Zhao Yun, Liu Hongxin. The design on lightweight of high-speed rice transplanter[J]. Transactions of the CSAE, 2012,28(3):55-59. (in Chinese)

Current Situation and Prospect of Transplanter

Yu Xiaoxu¹ Zhao Yun^{1,2} Chen Baocheng¹ Zhou Maile¹ Zhang Hao¹ Zhang Zhichao¹

(1. School of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China
2. Heilongjiang Province Grain Production Capacity of Collaborative Innovation Center, Harbin 150030, China)

Abstract: This paper describes the significance of transplanting agronomy for the development of China agriculture, and points out that the transplanting machine, especially the potted-seedling transplanting machine, will be the one to substantially increase the per unit area yield of grain and play the positive role of transplanting for increasing grain production in North China Cold Area and promoting farmers to get rich. After reviewing the history of transplanting equipments in the world, it is indicated that the development of transplanting machinery is generally divided from low to high into three stages, the slide-mechanism stage, bar-mechanism stage, and rotary-mechanism stage. This paper analyzes the development status and research level of the transplanting machinery at home and abroad, and forecasts the prospects of development trend. It is emphasized that in order to enter the rotary-mechanism stage of the potted-seedling transplanting machinery, the researchers must master the mechanism and related theories, computer knowledge and the operation, and secondary development skills of commercial software. The paper also puts forward a series of proposals on some current domestic important development trend.

Key words: Automatic transplanting machine Transplanting Status Development