

钵体苗带式供苗移栽机的设计与试验

马锶宏 李南 李涛 陈子文 袁挺 李伟*

(中国农业大学 工学院/北京市现代化农业装备优化设计重点实验室,北京 100083)

摘要 针对目前移栽机通用性差,造价高,不利于推广应用等问题,设计一种由输送带喂入钵体苗并输送钵苗的移栽机,重点设计一种开沟植苗器。该开沟植苗器集扶苗、导苗和开沟功能于一体,主要由扶苗板、导苗通道和改进的靴型开沟器组成。扶苗板由2块薄板组合而成,可根据钵苗大小调整扶苗板位置、角度及长度,使处于最佳扶苗状态,保证钵苗竖直进入导苗通道;开沟器开出横截面近似V型沟壑,有利于钵苗竖直下落至沟壑时立正扎稳。在温室内进行移栽甘蓝和玉米的试验,结果表明:前进速度为0.254 m/s时,株距变异系数 $<25\%$,移栽直立度合格率 $>90\%$ 。该移栽机结构简单,移栽行距、株距可调节;对不同农作物钵苗具有一定的调节适应性。

关键词 移栽;扶苗;开沟;输送带

中图分类号 S 223.9

文章编号 1007-4333(2015)03-0216-07

文献标志码 A

Design and experiments on a transplanter with belt feeding on block seedling

MA Zeng-hong, LI Nan, LI Tao, CHEN Zi-wen, YUAN Ting, LI Wei*

(College of Engineering/Beijing Modern Agricultural Equipment Optimize Design Laboratory,

China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract For the problems of low generality and high manufacturing cost of the existing transplanters, a transplanter with belt feeding on and conveying block seedling was designed, especially the design of a furrowing-planting device. The device combines the functions of supporting seedling, guiding seedling and furrow opening, which is conducted by seedling-supporting plate, seedling-guiding channel and improved boot type furrow opener respectively. The position, angle and length of the seedling-supporting plate consisting of two thin plates can be adjusted according to the seedling size, so that the seedling-planting plate can be in its optimal working state to ensure transporting block seedling into seedling-guiding channel. The improved boot type furrow opener can produce approximate V-section gully, which guarantees that block seedling can be implanted into soil stably when falling vertically to the falling-seedling area. Experiments of transplanting cabbage and maize in Multi-span Greenhouse showed that the variation coefficient of plant spacing was less than 25% and qualified rate of upright degree was more than 90% when forward speed was 0.254m/s. The new transplanter has the advantages of simple structure, adjustability of row spacing and plant spacing, and applicability by adjustment according to different crops block seedlings.

Key words transplant; supporting seedling; furrow opener; conveyor belt

随着育苗移栽技术的发展和广泛应用,育苗移栽的优越性日益凸显。育苗移栽可改善作物栽培农艺;提前农作物播种期、延长农作物生育期;有助于

壮苗、保证幼苗存活率;提高农作物抵抗寒冷、干旱、盐碱和病虫害的能力;从而有效提高农作物的品质和产量^[1-3]。育苗移栽技术适用于玉米、棉花、甘薯、

收稿日期:2014-07-24

基金项目:国家科技支撑项目(2012BAF07B02);国家自然科学基金项目(31101079);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2013XJ004)

第一作者:马锶宏,博士研究生,E-mail:mzhsss@126.com

通讯作者:李伟,教授,主要从事智能农业装备、农业机器人研究,E-mail:liww@cau.edu.cn

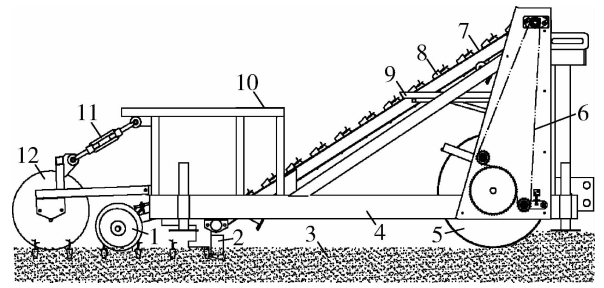
甜菜、蔬菜、烟草等多种农作物^[2-3]。国内移栽基本以手工移栽和半自动移栽为主,手工移栽劳动强度大、工作重复性高、工时消耗长,增加了劳动力成本投入,降低了农业生产经济效益^[4-5]。

国内外移栽机种类繁多,且无统一的分类标准,比较全面具体的分类是,按照栽植器的机构类型将移栽机分为:钳夹式、挠性圆盘式、吊篮式、导苗管式和鸭嘴式等。我国开展移栽机研究时间较晚,研究开发的移栽机机型大部分参照国外先进移栽机,不能很好地适应我国耕地及农艺特点;目前我国农民整体经济情况偏低,对农机具造价要求也相对偏低。针对国内移栽机存在的通用性差,结构复杂,造价高,不利于推广等问题,本研究旨在设计一种旱地钵苗移栽机,应具有结构简单,操作方便,造价低的特点;移栽行距、株距可调节;对多种农作物具有一定的通用性。

1 整机结构与工作原理

1.1 整机结构设计

移栽机主要由链传动装置、带传输装置、开沟植苗器、覆土轮组成(图1)。移栽机整机由前端镇压辊和后端限深轮支撑,镇压辊一侧安装有链传动。移栽机中间部分主要由输送带组,多条输送带平行放置,且由前端上方向后端下方倾斜。输送带末端依次安装开沟植苗器(扶苗、导苗及开沟一体化)、覆土轮、限深轮。



1. 覆土轮 Soil-covering wheel; 2. 开沟植苗器 Furrowing-planting device; 3. 土壤 Soil; 4. 主机架 Main frame; 5. 镇压辊 Press roller; 6. 链传动 Chain drive; 7. 输送带 Conveyor belt; 8. 钵苗 Block seedling; 9. 钵苗托盘 Pallet for block seedling; 10. 操作平台 Operation platform; 11. 限深调节拉杆 Adjustable pull rod for depth-control; 12. 限深轮 Depth wheel

图1 移栽机整体结构图

Fig. 1 Structure diagram of the transplanter

1.2 工作原理

移栽机工作时,镇压辊在拖拉机的拖动下沿着土壤表面滚动前进,同时将土壤表面压实平整。通过链传动,镇压辊带动输送带运动,人工均匀投放钵苗到输送带,输送带输送钵苗斜向下运动至开沟植苗器入口,钵苗进入开沟植苗器后,在扶苗板作用下,钵苗竖直通过导苗通道下落到开沟形成的沟壑中,同时开沟回流土壤从两侧掩埋钵苗根部营养块,随后V型覆土轮进一步掩埋压实钵苗根部营养块,从而完成钵苗移栽^[6]。本研究确定移栽机主要设计参数见表1。

表1 移栽机主要设计参数

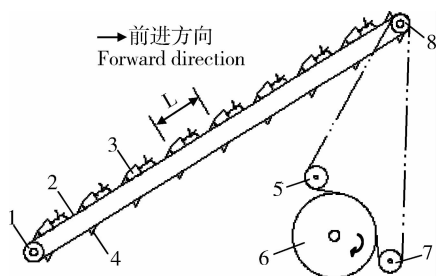
Table 1 Design parameters of the transplanter

参数 Parameter	数值 Value
配套拖拉机动力/kW Matched power	≥25
作业速度/(km/h) Operation speed	0.8~1.5
外形尺寸(长×宽×高)/m Shape size(length×width×height)	2.80×2.00×1.25
质量/kg Quality	300~400
作业幅宽/m Operation width	1.5~2.0
移栽行数 Row number of transplant	4
行距调节范围/mm Range of row spacing	300~500
株距调节范围/mm Range of plant spacing	200~500
直立度合格率/% Qualified rate of upright degree	≥90
株距变异系数/% Variation coefficient of plant spacing	≤25

2 主要工作部件结构与参数选择

2.1 钵苗喂入输送机构

钵苗输送机构由链传动与同步带传动串联组成。链传动主动轮与移栽机镇压辊同轴,链传动从动轮与同步带传动主动轮同轴。移栽机镇压辊向右直线滚动前进,链传动主动轮顺时针转动,带动输送带上表面斜向下运动(图2)。为防止钵苗在传输过程中相对输送带滑移,输送带上表面粘贴一层带有间距均匀凸齿的胶带。人工喂苗时,每个钵苗营养块底端靠在凸齿上侧,因此喂苗间距即为凸齿间距。根据该移栽机适合移栽钵苗高度,确定胶带凸齿间距为150 mm。



1. 输送带从动轴 Driven shaft of conveyor belt; 2. 输送带 Conveyor belt; 3. 钵苗 Block seedling; 4. 凸齿 Convex teeth; 5. 中间链轮 Media sprocket; 6. 链传动主动轮 Driver of chain drive; 7. 张紧链轮 Tightener sprocket; 8. 链传动从动轮 Driven wheel of chain drive

图2 钵苗输送机构示意图

Fig. 2 Schematic of conveying mechanism for block seedling

设拖拉机前进速度为 v ,则移栽钵苗株距 X_r 为

$$X_r = v\Delta t \quad (1)$$

式中:人工喂苗频率 Δt 为

$$\Delta t = \frac{L}{v_d} = \frac{L}{\frac{v_g z_2 d}{D z_1}} = \frac{D z_1 L}{v_g d z_2} = \frac{D z_1 L}{v d z_2} \quad (2)$$

式中: L 为输送带上胶带凸齿间距; v_d 为输送带速度; v_g 为镇压辊圆柱面上线速度; D 为镇压辊直径; z_2 为与镇压辊同轴的链轮齿数; z_1 为与输送带同轴的链轮齿数; d 为输送带带轮直径。将式(2)代入式(1)得

$$X_r = \frac{D z_1 L}{d z_2} \quad (3)$$

由式(1)可知,在株距设定的情况下,拖拉机前进速度越大,人工喂苗频率越大。增大人工喂苗频率可以提高移栽效率,但同时会增加人工劳动强度,

因此拖拉机前进速度不宜过大。

由式(3)可知,理论株距 X_r 最终取决于链传动的齿数比,因此,可制定一系列不同齿数比的链轮,根据实际需要更换不同齿数比的链轮,从而实现移栽钵苗株距可调。

通过以上分析及链传动设计确定 $L=150$ mm, $D=480$ mm, $d=60$ mm,代入式(3)可得

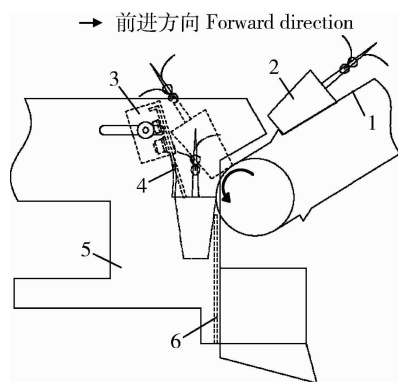
$$X_r = 1\ 200 \frac{z_1}{z_2} \quad (4)$$

取 $z_2=60$,设计 $z_1=10\sim 25$ (整数),代入式(4)可得移栽机株距调节范围为200~500 mm。

2.2 扶苗与导苗

钵苗通道由前挡板、侧挡板及扶苗板组成(图3)。钵苗通道上部分实现钵苗扶正,下部分实现钵苗导向。前挡板及侧挡板均竖直放置,扶苗板由上、下扶苗板组成。上扶苗板通过螺栓安装在侧挡板上,侧挡板两侧对称开有长形孔,可通过松开螺栓调节水平安装位置及角度,下扶苗板采用弹性良好的薄钢板制成并通过螺栓安装在上扶苗板上,下扶苗板上开有纵向长形孔,可通过松开螺栓调节纵向安装位置,从而实现扶苗板长度调节。

导苗通道主要有前挡板及侧挡板组成。钵苗在导苗通道的导向作用下竖直下落至开沟形成的落苗区内。钵苗在导苗通道中自由下落,因此不易伤苗,且导苗通道保证钵苗较好的直立度。



1. 输送带 Conveyor belt; 2. 钵苗 Block seedling; 3. 上扶苗板 Upper seedling-supporting plate; 4. 下扶苗板 Lower seedling-supporting plate; 5. 侧挡板 Side plate; 6. 前挡板 Front plate

图3 扶苗与导苗结构示意图

Fig. 3 Structure diagram of supporting and guiding seedling

扶苗工作原理:输送带输送钵苗至输送带末端,钵苗先做逆时针翻转,钵苗下端靠在输送带末端,钵苗上端靠在上扶苗板上。随后,钵苗与输送带接触

点随着输送带圆弧部分向下移动,钵苗作顺时针转动^[7-8]。当钵苗与输送带接触压力接近为零时,钵苗接近为竖直状态,且钵苗与扶苗板的接触点由上扶苗板下移到下扶苗板。由于下扶苗板为弹性薄钢板,钵苗在自身重力作用下撑开下扶苗板竖直进入导苗通道。

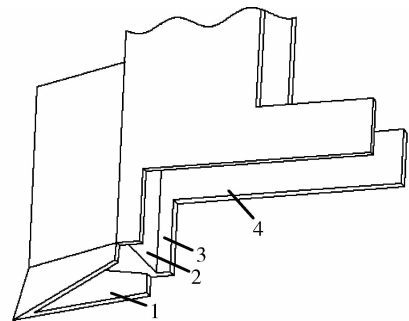
分别以钵苗触碰和脱离扶苗板瞬间为研究时刻,对钵苗进行受力及运动分析(图 4)。钵苗触碰扶苗板瞬间,主要受到自身重力及扶苗板和输送带对其作用力,此后钵苗在竖直平面内运动,水平方向上,与移栽机前进速度相同作匀速直线运动;竖直方向上,以初速度为零作加速度递增的变加速直线运动;同时,在扶苗板和输送带对其作用力下,顺时针方向作角速度递减的变加速旋转运动。钵苗脱离扶苗板瞬间,在扶苗板和输送带对其作用力为零,钵苗只受自身重力作用。此后,水平方向上继续与移栽机前进速度相同作匀速直线运动;竖直方向上作初速度不为零的自由落体运动^[8]。钵苗脱离扶苗板后进入导苗通道,钵苗相对导苗通道作自由落体运动直至下落到开沟形成的沟壑中。

2.3 开沟

根据移栽机工作原理,设计开沟器应具有以下特点:

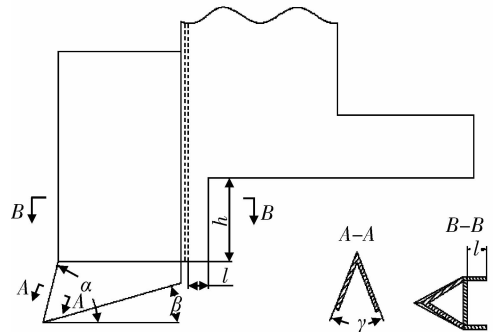
- 1)入土性能好,沟壑宽度深度均匀;
- 2)沟壑截面上宽下窄,近似 V 型,有利于钵苗下落至沟壑后更好扎稳;
- 3)沟壑两侧土壤能够均匀回流到沟壑。

基于以上特点,本研究采用改进的靴型开沟器如图 5 所示,其三维视图为从二维视图右下角向左上角投影所得。



1. 入土刀 Penetration knife; 2. 前挡板 Front plate; 3. 回土挡板 Plate for soil refluxing; 4. 侧挡板 Side plate

(a) 三维视图 Three dimensional view



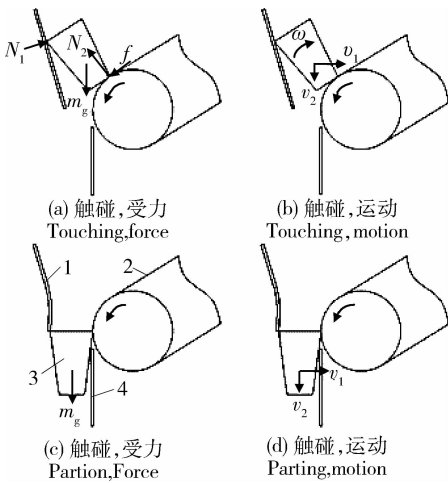
(b) 二维视图 Two dimensional view

1. 入土刀 Penetration knife; 2. 前挡板 Front plate; 3. 回土挡板 Plate for soil refluxing; 4. 侧挡板 Side plate

图 5 开沟器结构示意图

Fig. 5 Structure diagram of furrow opener

图 5 中, α 为开沟器入土角,主要影响开沟器入土性能及土壤流动状况,根据经验 α 取为 75° ; β 为入土隙角,主要影响入土性能及沟壑截面 V 型角度,一般取 $5\sim 10^\circ$ ^[9],入土隙角大,易造成沟内土壤提前回流,且易形成 V 型沟壑,为了增大沟壑截面 V 型角, β 取为 15° ; γ 为开沟器迎面切角,主要影响开沟器入土性能及土壤流动状况,根据经验 γ 取为 45° 。 l 为开沟器回土挡板长度,主要影响土壤回流位置及回流状况。 h 为开沟深度,主要影响钵苗营



1. 扶苗板 Seedling-supporting plate; 2. 输送带 Conveyor belt; 3. 钵苗 Block seedling; 4. 前挡板 Front plate
 N_1 ,扶苗板对钵苗支撑力 Support force on block seedling from seedling-supporting plate; N_2 ,输送带对钵苗支撑力 Support force on block seedling from conveyor belt; f ,输送带对钵苗的摩擦力 Friction force on block seedling from conveyor belt; Mg ,钵苗重力 Gravity of block seedling; ω ,钵苗平面转动角速度 Rotational velocity in-plane of block seedling; v_1 ,钵苗水平方向的速度 Horizontal velocity of block seedling; v_2 ,钵苗竖直方向的速度 Vertical velocity of block seedling。
 图 4 钵苗触碰和脱离扶苗板瞬间受力和运动示意图
 Fig. 4 Diagram of force and motion when seedling touching with and parting from seedling-supporting plate

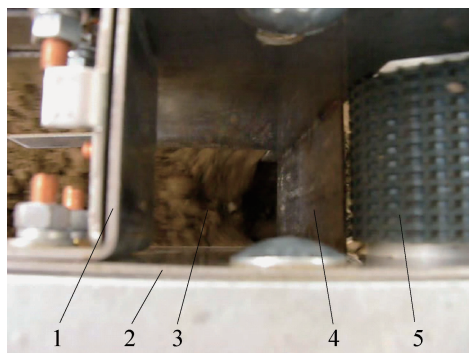
钵苗掩埋深度。

目前国内常用 128 穴穴盘钵苗营养块尺寸为:顶面 $30\text{ mm}\times 30\text{ mm}$,底面 $13\text{ mm}\times 13\text{ mm}$,高 45 mm 。

移栽试验发现,当钵苗下落到沟壑瞬间,回流土壤从钵苗营养块两侧中间掩埋,钵苗能更好地立正扎稳。考虑到移栽过程中拖拉机前进速度一般不大,可忽略钵苗下落过程中空气阻力,因此钵苗下落过程中水平方向相对开沟器无位移,钵苗沿着开沟器前挡板自由下落,进一步假设土壤回流位置即为回土挡板末端,则 l 应该为钵苗营养块最大截面沿水平前进方向宽度的一半,根据上述钵苗营养块尺寸大小可得 l 应该为 15 mm ,而实际移栽试验中发现土壤回流位置总是滞后回土挡板末端,最终确定 l 为 10 mm 。

开沟器工作深度以侧面挡土板下边沿略高于地表为宜,侧面挡土板在一定程度上可防止土壤表层大土块、石子及杂物等进入沟壑。钵苗覆土深度一般要求覆盖钵苗营养块 15 mm ,结合上述钵苗营养块尺寸大小可得开沟器理论开沟深度为 60 mm ,考虑到开沟器前方入土刀至少为 10 mm 开沟深度,因此确定 h 为 50 mm 。

移栽工作时,开沟器向前运动,由前挡板、回土挡板以及绕过回土挡板的回流土壤形成一个狭小的落苗区,同时,由于入土隙角的作用,落苗区竖向截面上宽下窄。目前国内常用穴盘孔穴一般具有一定的拔模斜角,使得钵苗营养块上大下小,有利于钵苗竖直下落至沟壑落苗区内立正扎稳,与此同时开沟回流土壤从两侧掩埋钵苗营养块。移栽工作过程中,从开沟植苗器进苗口俯视开沟器可清晰看到开沟形成落苗区及土壤回流情况(图 6)。



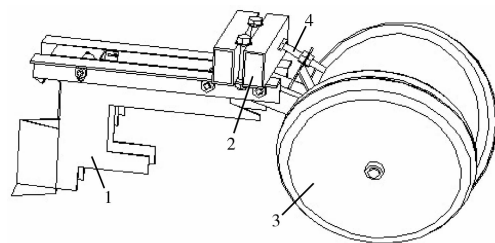
1. 扶苗板 Seedling-supporting plate; 2. 侧挡板 Side plate; 3. 回流土壤 Refluxing soil; 4. 前挡板 Front plate; 5. 输送带 Conveyor belt

图 6 开沟及土壤回流俯视图

Fig. 6 Top view of opening furrow and soil refluxing

2.4 覆土

覆土轮应该转动灵活,不粘土,覆土深度、镇压力度可调节^[10](图 7)。本设计采用 V 型覆土轮,安装在开沟植苗器末端,同时覆土轮上方安装有调节螺栓,覆土轮工作时螺栓顶住移栽机主机架,形成覆土压力。因此调节螺栓安装位置可调节覆土轮与土壤接触深度和力度,从而实现覆土轮调节覆土深度、镇压力度。



1. 开沟植苗器 Furrowing-planting device; 2. 主机架 Main frame; 3. 覆土轮 Soil-covering wheel; 4. 调节螺栓 Bolt for adjustment

图 7 V 型覆土轮安装示意图

Fig. 7 Installation schematic of V-shaped soil-covering wheel

2.5 栽植深度

影响栽植深度的因素主要有开沟深度、覆土深度。本设计中,栽植深度调节由粗调与微调组成。粗调通过调节限深调节拉杆(图 1)长度控制限深轮上升或下降,从而直接影响开沟深度;微调通过调节 V 型覆土轮上调节螺栓(图 7)的安装位置控制覆土轮与土壤接触深度和力度。

3 试验及结果分析

3.1 试验条件及测试指标

本试验在北京通州国际种业园区连栋温室内进行。钵苗采用 128 穴的苗盘培育,钵苗营养块尺寸为:顶面 $30\text{ mm}\times 30\text{ mm}$,底面 $13\text{ mm}\times 13\text{ mm}$,高 45 mm 。移栽作物:甘蓝,苗龄 30 d ,平均苗高(含营养块) 120 mm ;玉米,苗龄 30 d ,平均苗高(含营养块) 160 mm 。

试验场地为旋耕并作畦后的土壤,畦高约 15 cm ,畦面宽约 1.6 m ,试验当天土壤温度 $13.4\text{ }^{\circ}\text{C}$,土壤湿度 18.7% 。所有的试验均在同一块土壤上进行,且每次试验后需重新旋耕并作畦。

钵苗移栽的性能指标包括栽植均匀度、栽植状态、水处理、适应、经济性以及自动化程度等^[11-12]。本研究以株距变异系数和直立度合格率为试验指

标。株距变异系数^[13] CV 反映钵苗移栽后株距均匀性。

$$CV = S/\bar{X}$$

式中: S 为株距标准差, \bar{X} 为株距平均值。综合不同的农艺要求, 以栽植角 $\alpha \geq 45^\circ$ 为直立度合格^[14], 直立度合格率^[15] ξ 反映钵苗移栽后直立状态

$$\xi = n_1/n$$

式中: n_1 为钵苗栽植角合格的株数, n 为移栽总

株数。

3.2 试验结果及分析

对每种农作物分别在 3 种不同前进速度下各进行 1 次试验, 每次试验移栽不少于 50 株。试验时, 一人驾驶拖拉机, 一人坐在移栽机上喂苗, 移栽超过 50 株后, 停止移栽, 用钢卷尺和量角板分别测量株距和栽植角并记录, 每次试验测量记录有效数据不少于 35 个。试验结果见表 2。

表 2 甘蓝和玉米移栽试验结果

Table 2 Experimental results of transplanting cabbage and maize

作物 Crop	速度/(m/s) Velocity	株距平均值/mm Average of plant spacing	株距变异系数/% Variation coefficient of plant spacing	栽植角平均值/(°) Average of Planting angle	直立度合格率/% Qualified rate of upright degree
甘蓝 Cabbage	0.254	450.3	24.38	65.38	97.50
	0.302	499.1	40.18	50.83	77.78
	0.435	502.9	34.02	28.95	44.19
玉米 Maize	0.254	454.9	22.09	60.35	90.70
	0.302	434.8	16.36	51.22	75.61
	0.435	428.5	26.34	47.63	55.00

注: 理论株距为 440 mm。Note: Theoretical plant spacing is 440 mm.

由表 2 可知, 速度对移栽株距和栽植角度均产生一定的影响, 且对甘蓝和玉米的影响不同。速度对甘蓝株距平均值及株距变异系数的影响比玉米较大。甘蓝和玉米的栽植角及直立度合格率均随速度增大而下降, 且速度较低时, 甘蓝比玉米直立度好, 速度较高时, 玉米比甘蓝直立度好。

玉米钵苗呈长条形, 移栽过程中玉米钵苗能够较好地由输送带输送进入开沟植苗器并下落, 而甘蓝钵苗呈宽大形, 输送带输送钵苗到开沟植苗器并下落整个过程中更容易出现相对输送带移动、脱离输送带及卡苗等现象, 因此玉米移栽的株距均匀性整体比甘蓝好。钵苗下落到沟壑瞬间, 钵苗底端速度为 0, 而顶端因为惯性继续向前运动而使钵苗产生倾斜, 因此速度增大, 移栽栽植角及直立度合格率均减小。由于玉米钵苗比甘蓝钵苗长, 因此玉米钵苗因为惯性而产生的倾斜现象会更为明显, 但另一方面当速度增大时, 开沟土壤回流的速度也会增大, 如果在钵苗因为惯性而前倾的过程中开沟土壤回流及时, 则钵苗的栽植角也可以达到合格状态, 而这种现象会因速度增大及钵苗高度增大而更加明显。因此在低速和高速时, 甘蓝和玉米在栽植角及直立度

合格率上大小比较会有不同的变化。

JB/T 10291—2001 对导苗管式、输送带式和其他型式栽植机的株距变异系数要求不大于 25%^[13]; NY/T 1924—2010 对导苗管式移栽机立苗率要求不小于 85%^[15]。由表 2 可知当前进速度为 0.254 m/s 时, 移栽机株距变异系数和直立度合格率满足标准要求。

一般导苗管式移栽机上安装有与栽植器匹配运动的喂苗器, 喂苗器则由多个喂苗筒按一定方式排列放置组成。本研究中移栽机可归类为导苗管式移栽机, 通过在输送带上表面粘贴一层带有间距均匀凸齿的胶带形成喂苗器, 简化了移栽机结构。导苗管式移栽机钵苗下落到沟壑瞬间, 钵苗受前进运动惯性影响易产生向前倾斜, 一般导苗管式移栽机出苗口前端装有往复运动的推苗装置, 用以扶正钵苗^[8,16-17]。本研究中改进设计的靴型开沟器, 配合可调节的扶苗板和导苗通道, 使钵苗下落到沟壑瞬间开沟回流土壤及时掩埋钵苗, 保证钵苗直立度。实际上, 对于人工喂苗的移栽机, 前进速度正比于人工喂苗频率, 受限于人工劳动强度极限, 移栽机前进速度不能过高^[18]。

4 结束语

1)本研究设计的旱地移栽机,采用输送带喂入和输送钵苗;采用开沟植苗器进行扶苗、导苗及栽植。可实现移栽行距、株距调节;通过改变各栽植单元的间距调节移栽行距;通过改变链传动的齿数比调节移栽株距。其中开沟植苗器可开出横截面近似V型沟壑,且可根据钵苗大小调整扶苗板位置、角度及长度,增强了移栽机性能和通用性。对比甘蓝和玉米的移栽试验分析表明,该移栽机能够移栽多种农作物,更适合移栽长条形农作物,且移栽钵苗不宜过长。

2)与现有的导苗管式移栽机相比,本研究中将喂苗器与输苗带一体化设计,简化了移栽机结构;同时,本研究中移栽机出苗口前端无推苗装置,而是通过改进设计的开沟植苗器使开沟回流土壤及时回流保证钵苗下落到壑瞬后的直立度,移栽过程中,土壤情况及前进速度大小对移栽钵苗直立度影响较大。因此,该移栽机适合在沙壤土中较低速工作。

3)温室内移栽甘蓝和玉米的试验结果表明,前进速度为0.254 m/s时,株距变异系数 $<25\%$,移栽直立度合格率 $>90\%$,符合移栽机相关标准要求。随着前进速度增大,株距平均值及株距变异系数因作物不同呈现不同变化趋势,但栽植角及直立度合格率均呈下降趋势。

参 考 文 献

- [1] 张冕,姬江涛,杜新武,等.国内外移栽机研究现状与展望[J].农业工程,2012,02(2):21-23
- [2] 刘存祥,李晓虎,岳修满,等.我国旱地移栽机的现状与发展趋

势[J].农机化研究,2012(11):249-252

- [3] 于向涛,胡良龙,胡志超,等.我国旱地移栽机械概况与发展趋势[J].安徽农业科学,2012,40(1):614-616
- [4] 韩长杰,张学军,杨宛章,等.旱地钵苗自动移栽技术现状与分析[J].农机化研究,2011(11):238-240
- [5] 杨帅,宋建农,王继承,等.洋葱移栽机夹苗机构的设计与运动仿真[J].中国农业大学学报,2011,16(5):133-137
- [6] 张国忠,许绮川,潘玉龙,等.影响机械移栽钵苗栽直率的因素分析[J].华中农业大学学报,2004,23(4):463-466
- [7] 耿端阳,张铁中.2ZG-2型半自动钵苗栽植机扶正器的研究[J].农业机械学报,2002,33(2):129-130
- [8] 彭旭,宋建农,皇雅斌,等.蔬菜钵苗在导苗管中的动力学分析[J].农机化研究,2006(8):54-59
- [9] 王庆杰,姚宗路,高焕文,等.楔刀型免耕开沟器设计与试验[J].机械工程学报,2008,44(9):178-182
- [10] 万霖,汪春,车刚,等.蔬菜移栽机的覆土镇压器设计[J].黑龙江八一农垦大学学报,2012,24(3):16-18
- [11] 封俊,顾世康.栽植机的性能评价指标与检测方法[J].农业工程学报,1998,14(2):73-77
- [12] 万霖,汪春,车刚,等.小型蔬菜移栽机的改进设计与试验[J].农业工程学报,2011,27(6):117-122
- [13] 中国农业机械学会,中国农业大学,山东国泰拖拉机股份有限公司,等.JB/T 10291—2001旱地栽植机械[S].北京:机械科学研究院出版社,2002
- [14] 金诚谦,吴崇友,袁文胜,等.链夹式移栽机栽植作业质量影响因素分析[J].农业机械学报,2008,39(9):196-198
- [15] 南京农业机械化研究所,南通富来威农业装备有限公司.NY/T 1924—2010油菜移栽机质量评价技术规范[S].北京:中国农业出版社,2010
- [16] 董哲,林选知,张瑞勤,等.导苗管式移栽机的烟苗移栽质量影响因素分析[J].农机化研究,2012(4):38-41
- [17] 周德义,孙裕晶,马成林.移栽机凸轮摆杆式扶苗机械设计与分析[J].农业机械学报,2003,34(5):57-60
- [18] 何扬清,尹文庆,章士秀.3种旱地移栽机栽植器的性能分析[J].安徽农业科学,2006,34(24):6722-6723,6725

责任编辑:刘迎春