

移栽机自动分钵式栽植器机构分析与运动仿真*

陈 达¹ 周丽萍² 杨学军¹

(1. 中国农业机械化科学研究院土壤植物机器系统技术国家重点实验室, 北京 100083;

2. 中国农业机械化科学研究院机电技术应用研究所, 北京 100083)

【摘要】 提出了一种移栽机自动分钵式栽植器, 并对分钵原理、栽植器的机构以及钵苗运动轨迹进行了分析与仿真。结果表明, 栽植器两机械手配合准确、运行稳定, 可实现自动连续分钵。田间试验测得, 栽植角度为 $88.08^\circ \sim 88.34^\circ$, 其变异系数为 $2.37\% \sim 2.92\%$; 栽植株距为 $350.67 \sim 351.17$ mm, 其变异系数为 $1.42\% \sim 1.60\%$ 。结果表明该栽植器运行稳定, 不受前进速度的影响。

关键词: 移栽机 自动分钵 栽植器

中图分类号: S223.94 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)08-0054-04

Mechanism Analysis and Motion Simulation of Planting Apparatus with Automatic Distributing Bowl Mechanism for Transplanter

Chen Da¹ Zhou Liping² Yang Xuejun¹

(1. State Key Laboratory of Soil-Plant-Machinery System Technology, Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China 2. Institute of Mechatronics Technology and Application, Chinese Academy of Agricultural

Mechanization Sciences, Beijing 100083, China)

Abstract

An automatic distributing bowl planting apparatus was proposed. The planting-bowl, planting apparatus and the movement trajectory of bowl seedling were analyzed and simulated. The simulation showed that two manipulators could cooperate perfectly and the planting apparatus could distribute bowl seedlings automatically. By field experimentation, the planting angle was from 88.08° to 88.34° . Its coefficient of variation was from 2.37% to 2.92% . The planting row spacing was from 350.67 mm to 351.17 mm. Its coefficient of variation was from 1.42% to 1.60% . It showed that the planting apparatus could be operated normally and hardly be affected by the speed.

Key words Transplanter, Automatic distributing bowl, Planting apparatus

引言

钵苗移栽技术是一项现代农业增产措施, 作物在田间生长期短、收获期早、上市早, 且长势统一, 已在国内外得到了广泛应用^[1-2]。目前, 国内外移栽机采用的栽植器类型有导苗管式、吊兰式(吊杯式)、钳夹式、链夹式等, 它们大多采用人工分钵, 喂入费时、费力, 而且栽植速度低, 劳动强度大^[3-4]。上述栽植器栽植株距的调整往往通过增加或减少栽

植部件来实现, 结构比较复杂, 操作繁琐。采用自动分钵式栽植器则有效地克服了上述缺点。本文研究一种自动分钵、自动栽植的栽植机构, 解决钵苗移栽作业效率低的问题。

1 机构分析

自动分钵式栽植器的主要工作部件为分钵器、取苗机械手、栽植机械手和主动轮。钵苗在滑道内采用输送带传送, 在输送带的末端设置分钵器, 输送

收稿日期: 2010-12-27 修回日期: 2011-02-18

* 国家重点基础研究发展计划(973计划)资助项目(2010CB735707)和“十一五”国家科技支撑计划资助项目(2009BADB5B02)

作者简介: 陈达, 博士生, 主要从事数字化设计与仿真研究, E-mail: da37167@sohu.com

通讯作者: 杨学军, 研究员, 博士生导师, 主要从事农业机械研究, E-mail: camms@263.net

带和分钵器的动作采用 PLC 控制, 主动轮带动取苗机械手与栽植机械手动作。

1.1 整体结构与原理

栽植器的结构如图 1 所示, 通过主动轮带动连杆、栽植机械手摇臂、摇杆进而带动取苗机械手运动。栽植器在整个运动过程中有两个工作位置, 一个是在上位(图 1a), 另一个是在下位(图 1b)。

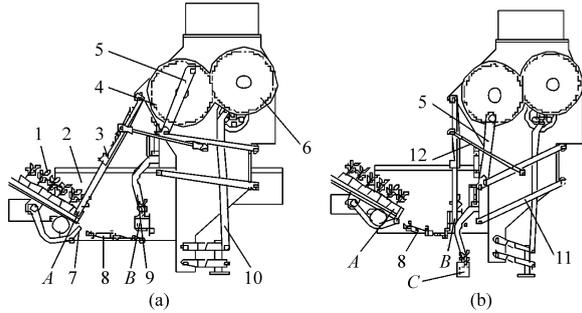


图 1 栽植器的工作位置示意图

Fig. 1 Working location

(a) 夹取钵苗 (b) 栽钵钵苗

1. 钵苗 2. 机架 3. 取苗机械手 4. 主动轮 5. 连杆 6. 从动轮 7. 分钵器 8. 夹持机构 9. 栽植机械手 10. 薄膜开孔机构 11. 平行四边形机构 12. 摇臂

在上位时, 主动轮中心与连杆中心共线, 此时栽植器向上运动到最高点, 即将向最低点运动, 此时运动速度为零, 取苗机械手打开夹取 A 处钵苗, 同时栽植机械手打开夹取 B 处钵苗。在下位时, 栽植器运动到最低点, 即将向最高点运动, 此时运动速度为零, 取苗机械手打开, 将苗放在 B 点, 同时栽植机械手打开, 将钵苗栽植到苗床中。此种栽植方式不会产生钵苗着地时的反弹, 从而避免了由反弹带来的钵苗翻倒现象^[3]。

根据农艺要求, 可以在移栽机上设置铺膜装置。在栽植器上设置薄膜开孔机构, 该机构与栽植机械手运动同步, 即每当栽植机械手栽植钵苗时开孔机构执行开孔任务。

1.2 分钵原理

分钵器的作用是实现连续、自动分钵和连续供苗(图 1a)。当取苗机械手在 A 点夹取钵苗后, 分钵器打开, 取苗机械手离开滑道, 输送带送苗, 分钵器回到原位, 输送带停止运动。

钵苗在滑道内采用输送带传送, 在输送带末端设置分钵机构, 输送带与分钵机构采用 PLC 控制, 传动动力采用气动控制, 每分钵一次输送带传送一次, 这样避免了钵苗由于自身重力下滑造成的钵体摩擦损伤。钵苗由取苗机械手夹取送至下一工位, 等待栽植机械手夹取栽植。

现有移栽机的分钵器往往针对某一种钵体形状

而进行独立设计, 钵苗钵体形状如图 2 所示。

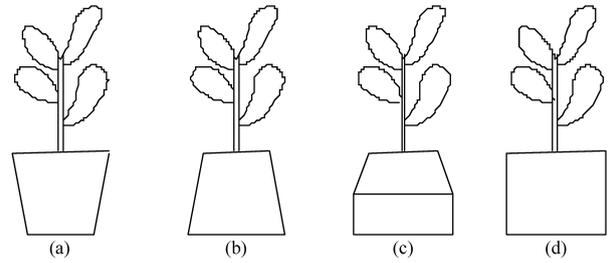


图 2 钵体形状

Fig. 2 Shape of bowl

(a) a 型 (b) b 型 (c) c 型 (d) d 型

针对图 2 中 a 型钵体研究了自动装载输送式分钵器^[5], 针对 b 型钵体研究了输送带式^[3]和直动双挡销式分钵器^[6], 针对 c 型钵体研究了滑道分钵轮式分钵器^[4], 针对 d 型钵体研究了分土靴式分钵器^[7]。本文研究的自动分钵式分钵器不区分钵体形状, 且比上述提到的分钵器分钵准确、不伤苗体、易于控制, 不会造成钵体翻倒和漏载现象, 对钵苗保护较好。

1.3 机构运动过程分析

机构由主动轮提供动力, 它带动连杆和从动轮运动。主动轮转动一周完成一次栽植任务, 为一个工作周期。前半个工作周期为取苗栽植周期, 后半个工作周期为复位周期。图 1a 所示位置为机构在前半个工作周期的起始位置, 也是后半个工作周期的终止位置。图 1b 所示位置为机构在前半个工作周期的终止位置, 也是后半个工作周期的起始位置。

在前半个工作周期内, 主动轮带动连杆与从动轮运动。连杆带动平行四边形机构向下运动, 栽植机械手从 B 处向 C 处运动, 平行四边形机构带动摇臂向右下方运动, 从而带动取苗机械手从 A 处向 B 处运动; 取苗机械手离开 A 处时, 分钵器闭合。从动轮带动薄膜开孔机构向下运动。至前半个工作周期结束时, 连杆中线与主动轮圆心共线(图 1b), 栽植机械手运动至 C 处, 机械手打开, 完成栽植任务; 取苗机械手运动至 B 处, 夹持机构闭合, 机械手打开, 完成取苗任务。

在后半个工作周期内, 连杆带动平行四边形机构向上运动, 栽植机械手从 C 处向 B 处运动, 平行四边形机构带动摇臂向左上方运动, 从而带动取苗机械手从 B 处向 A 处运动。从动轮带动薄膜开孔机构向上运动。至后半个工作周期结束时, 连杆中线与主动轮圆心再一次共线(图 1a), 取苗机械手运动至 A 处, 机械手闭合夹取钵苗, 同时分钵器打开; 栽植机械手运动至 B 处, 闭合夹取钵苗, 同时夹持机构打开; 薄膜开孔机构运动至最高处, 完成一个工

作周期。

连杆带动平行四边形机构运动,栽植机械手安装在平行四边形上,平行四边形机构带动摇臂运动,摇臂带动取苗机械手运动,因此取苗机械手与栽植机械手运动同步。从动轮带动薄膜开孔机构运动,在转动一周内完成一次开孔任务。从动轮与主动轮的传动比为1,保证机构在执行栽植任务的同时,同步执行薄膜开孔任务,从而保证了钵苗准确地放入孔位。

2 钵苗的运动分析

2.1 钵苗的运动轨迹分析

如图3所示,钵苗在A点开始被取苗机械手夹持,与机械手一起以角速度 ω_1 作圆周运动,同时跟随移栽机一起向前运动,到达B点时机械手放开,由栽植机械手夹取,栽植到地面C点完成栽植。因此,栽植速度完全取决于主动轮的转动速度,主动轮每转动一周,栽植一次,避免了其他因素对栽植速度的影响,调控方便。

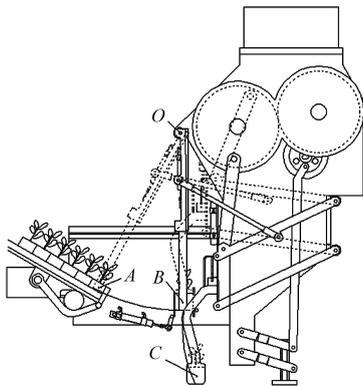


图3 钵苗运动轨迹

Fig. 3 Movement trajectory of bowl seedlings

图3中虚线为取苗机械手与栽植机械手夹取钵苗的位置,实线为取苗机械手送苗位置与栽植机械手栽植位置。从图中可以看出,取苗机械手的送苗位置与栽植机械手的取苗位置重合,保证了栽植器的顺利运行。取苗机械手在A位置时,机械手垂直于滑道输送带。钵苗由A点运动到B点,以O点为圆心以取苗机械手为半径作圆弧运动;到达B点时,取苗机械手在竖直方向,钵苗直立于B点。栽植机械手为平行连杆机构,在整个运动过程中保证了机械手夹持部位处于竖直状态,从而保证了栽植钵苗的直立性。

钵苗在AB段的运动轨迹方程为

$$\begin{cases} x = vt_1 + R_1 \sin(\omega_1 t_1) \\ y = R_1 - R_1 \cos(\omega_1 t_1) \end{cases} \quad (1)$$

钵苗在BC段的运动轨迹方程为

$$\begin{cases} x = vt_2 + R_2 - R_2 \cos(\omega_2 t_2) \\ y = R_2 \sin(\omega_2 t_2) \end{cases} \quad (2)$$

所以,钵苗运动的轨迹方程为

$$\begin{cases} x = vt + R_1 \sin(\omega_1 t_1) + R_2 - R_2 \cos(\omega_2 t_2) \\ y = R_1 - R_1 \cos(\omega_1 t_1) + R_2 \sin(\omega_2 t_2) \end{cases} \quad (3)$$

式中 R_1 ——取苗机械手转动半径

R_2 ——栽植机械手转动半径

v ——移栽机前进速度

ω_1 ——取苗机械手转动角速度

ω_2 ——栽植机械手转动角速度

t_1 ——取苗机械手由A点转动到B点的时间

t_2 ——栽植机械手由B点转动到C点的时间

当钵苗在其运动轨迹的最下端时栽植机械手将返回,此时机械手的运动速度为零,钵苗被垂直放入苗床中,从而避免了钵苗的偏斜^[8]。

从式(3)中可以看出,栽植株距由 x 决定,可以通过两种方式调整,即移栽机前进速度不变,调节主动轮的转动速度来增加或减小栽植株距;或主动轮转动速度不变,改变移栽机的前进速度,通过前进速度增减,调整株距大小。

2.2 输送带的倾角

移栽机采用输送带送苗,如果钵苗与输送带之间有相对运动,则有可能会造成取苗机械手无法夹取到钵苗,导致漏栽。因此,输送带与水平面的倾角选取十分关键。钵苗在输送带上不滑动的条件是

$$\tan\theta < f_s \quad (4)$$

式中 f_s ——钵苗与输送带之间的静摩擦因数

θ ——输送带倾角

3 栽植器运动仿真

在建立栽植器的虚拟样机模型后,可以对取苗机械手、栽植机械手上不同点的参数进行测量,得到真实情况下取苗机械手、栽植机械手上不同点的位移变化情况。通过对测量曲线的分析检查设计是否合理。测量的取苗机械手、栽植机械手位移曲线如图4所示。

从图4a可知,曲线的起点和终点为机械手在夹取钵苗的水平位置,波峰的位置为机械手放置钵苗的水平位置。从图4b可知,曲线的起点和终点为机械手夹取钵苗的垂直位置,波谷为机械手放置钵苗的垂直位置。位置点重合,说明仿真结果与设计的理论分析一致,满足了设计要求。

图4c为两机械手在运动周期内的速度变化曲线,曲线的起点和终点为机械手夹取钵苗的速度,其速度为零,表明在夹取钵苗时能够稳定夹取,不会发生夹取不稳的情况;波谷位置为放置钵苗的速度,其

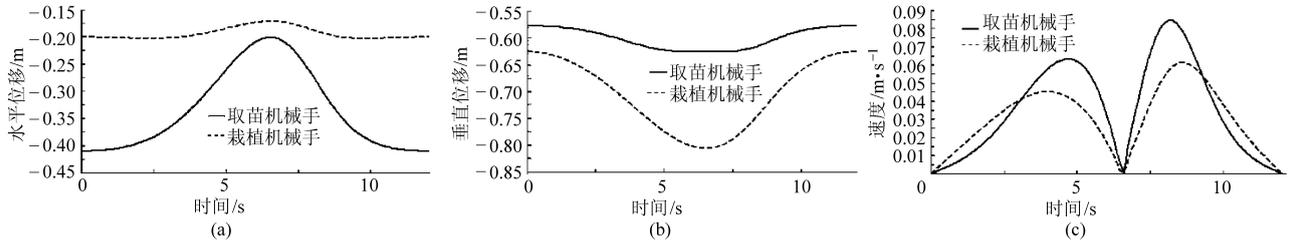


图 4 栽植器运动仿真曲线

Fig. 4 Simulation curves of planting apparatus

速度为零,此时能够稳定地放置钵苗,不会发生钵苗翻倒,保证钵苗的直立性。

4 试验

为考核栽植器的性能,对其立苗率、伤苗率和漏栽率进行了测试。试验时间为 2010 年 4 月 24 日,地点为河北省涿水县中国农业机械化科学研究院生产制造基地,翻耕过的土地平整,以 40 mm × 40 mm × 40 mm 的方形油菜钵苗作为试验对象,苗高为 85 ~ 95 mm,每组测试以 100 钵为单元,每组试验重复 3 次,数据取 3 次试验的平均值,移栽株距为 350 mm。试验结果如表 1 所示。其中,倒伏是指栽植后秧苗主茎与地面的夹角小于 30°^[9]。

表 1 前进速度对栽植角度和株距的影响

Tab. 1 Effects of speed on lodging rate

前进速度 $v/\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	栽植角度			株距		
	平均值 /(°)	标准差	变异系 数/%	平均值 /mm	标准差	变异系 数/%
0.3	88.34	2.09	2.37	350.67	5.12	1.46
0.6	88.08	2.25	2.55	351.12	5.28	1.50
0.9	87.93	4.34	4.94	351.17	4.89	1.42
1.2	88.14	2.44	2.77	351.03	5.64	1.60
1.4	88.13	2.51	2.85	350.78	5.39	1.54
1.6	88.12	2.48	2.81	351.01	5.22	1.49
1.8	88.16	2.57	2.92	351.04	5.24	1.49
2.0	88.24	2.57	2.92	350.75	5.55	1.58

当前进速度为 0.9 km/h 时,一棵苗出现倒伏现象,角度为 25°。经检查该处土壤有杂草,钵苗栽植在杂草上,导致了栽植角度不合格。这也影响了该组试验的倒伏率的结果。

从表 1 可知,除速度为 0.9 km/h 之外,栽植角度为 88.08° ~ 88.34°,变异系数为 2.37% ~ 2.92%,栽植器的栽植角度稳定,基本不受前进速度的影响。设定栽植株距为 350 mm,测试的栽植株距为 350.67 ~ 351.17 mm,变异系数为 1.42% ~ 1.60%,该栽植器的栽植株距稳定,不受前进速度的影响。

该栽植器的漏栽率、伤苗率均为零,说明该栽植器的两组机械手配合稳定,取苗、送苗位置准确,栽植过程中没有伤及钵苗。倒伏率说明栽植机械手在栽植钵苗时是否稳定地将钵苗直立地栽植在土壤中,试验数据表明该栽植机械手栽植稳定,不受前进速度的影响,性能稳定。试验结果验证了仿真结果。

5 结束语

自动分钵式栽植器可用于栽植生菜、油菜、玉米、番茄和棉花等钵苗,既可以直接移栽也可以覆膜移栽。根据生产需要可自动调节栽植速度、栽植株距等参数,工作性能稳定,结构简单实用。

自动分钵式栽植器不仅解决了以往移栽机不能适应多种钵苗形状和栽植速度慢的问题,而且可以覆膜移栽,降低了作业人员的劳动强度。

参 考 文 献

- Shaw L N. Automatic transplanter for vegetable[J]. Proc. Fla. State Hort. Soc., 1997,110:262 ~ 263.
- Schrader W L. Using transplants in vegetable production[R]. The Regents of the University of California, Publication 8013, 2000.
- 董锋,耿端阳,汪遵元. 带式喂入钵苗栽植机研究[J]. 农业机械学报,2000,31(2):42 ~ 45.
Dong Feng, Geng Duanyang, Wang Zunyuan. Study on block seedling transplanter with belt feeding mechanism [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2000,31(2):42 ~ 45. (in Chinese)
- 李其昀,阚建文,孔卓. 滑道分钵轮式栽植器工作稳定性的仿真分析[J]. 农业机械学报,2006,37(3):39 ~ 41,49.
Li Qiyun, Zha Jianwen, Kong Zhuo. Simulation analysis of working stability on a slide-way parting-bowl-wheel transplanter [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2006,37(3):39 ~ 41,49. (in Chinese)

- Transactions of the ASAE, 1995, 37(5): 1 297 ~ 1 303.
- 6 孙家枢. 金属的磨损[M]. 北京:冶金工业出版社,1992:454 ~ 458.
- 7 Reichart D L, Ozkan H E, Fox R D. Nozzle wear rates and test procedure[J]. Transactions of the ASAE, 1991, 34(6): 2 309 ~ 2 316.
- 8 Ozkan H E, Ackerman K D. An automated computerized spray pattern analysis system [J]. Applied Engineering in Agriculture, 1992, 8(3): 325 ~ 331.
- 9 王振松. 固-液搅拌槽内槽底流场的 CFD 模拟[J]. 北京化工大学学报, 2005, 32(4): 5 ~ 9.
Wang Zhensong. CFD modeling of liquid velocity in solid-liquid stirred tanks[J]. Journal of Beijing University of Chemical Technology, 2005, 32(4): 5 ~ 9. (in Chinese)
- 10 宋海生, 谭庆昌, 王聪慧, 等. 搅拌罐内固体悬浮判据研究[J]. 工程与试验, 2009, 49(1): 11 ~ 13.
Song Haisheng, Tan Qingchang, Wang Conghui, et al. CFD simulation of criterion of solids suspension in stirred tank[J]. Engineering & Test, 2009, 49(1): 11 ~ 13. (in Chinese)
-

(上接第 57 页)

- 5 Shaw L N. Apparatus for unloading seedlings from a tray and transporting them else where: United States, 5596938 [P]. 1997-02-28.
- 6 耿端阳, 张铁中. 直动双挡销式分钵落苗系统设计[J]. 吉林大学学报:工学版, 2005, 35(5): 495 ~ 499.
Geng Duanyang, Zhang Tiezhong. Design of detaching and dropping plug seedlings mechanism with straight movement and double stopping pin [J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2005, 35(5): 495 ~ 499. (in Chinese)
- 7 李其昀, 孔卓. 分土靴式栽植器的试验与分析[J]. 农业机械学报, 2007, 38(8): 70 ~ 73.
Li Qiyun, Kong Zhuo. Simulation analysis on disjointed-soil-boots type planting apparatus [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(8): 70 ~ 73. (in Chinese)
- 8 金诚谦, 吴崇友, 袁文胜. 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.
- 9 JB/T 10291—2001 旱地栽植机械[S]. 2001.
JB/T 10291—2001 Transplanter of dry land plant[S]. 2001. (in Chinese)