

## 洋葱移栽机夹苗机构的设计与运动仿真

杨帅 宋建农\* 王继承 王冲 李永磊 董向前

(中国农业大学 工学院,北京 100083)

**摘要** 针对我国洋葱移栽作业全部由人工完成,劳动强度大、生产效率低、栽植质量差、生产成本高的问题,设计一种洋葱移栽机的夹苗机构。对夹苗机构进行设计计算和理论分析,利用 Pro/E 进行三维建模和运动学仿真, MATLAB 软件进行曲线拟合和数据分析,优化结构和运动参数。结果表明:影响移栽效果的 3 个主要因素分别为夹苗机构水平方向的运动范围、开合夹具顶端的开合范围和升降气缸与伸缩气缸活塞杆运动速度之比,优化得到各参数依次为 0~53.3 mm、0~27.8 mm 和 1.0。取苗过程中,升降气缸上升到优化位置时,开合夹具在伸缩气缸作用下顺利伸出并打开,在回位弹簧作用下夹取洋葱苗;栽苗过程中,升降气缸下降到栽苗位置,两夹子打开,洋葱苗落入苗沟。夹苗机构满足设计和实际操作要求。

**关键词** 移栽机; 洋葱; 夹苗机构; 虚拟设计; 运动仿真

中图分类号 S 223.92

文章编号 1007-4333(2011)05-0133-05

文献标志码 A

## Design and kinematic simulation of clip seedling mechanism for an onion seedling transplanter

YANG Shuai, SONG Jian-nong\*, WANG Ji-cheng, WANG Chong, LI Yong-lei, DONG Xiang-qian

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract** At present, transplantation of onion is done artificially in china, which causes labor-intensive, low productivity, poor quality planting and high production cost. In order to improve the efficiency of onion transplantation, a clip seedling mechanism was designed for transplanter of onion seedling. First, design calculations and theoretical analysis of clip seedling mechanism were carried on. And a 3-D parametric model and kinematic simulation of clip seedling mechanism were built up with Pro/E. Curve fitting and data analysis were built up with MATLAB. Then structure and motion parameters of the mechanism were optimized. The results show that the three main factors, influencing the effect of transplantation, are the range of motion of clip seedling mechanism, the opening-closing scope of opening-closing fixture and speed ratio of the lifting cylinder to telescopic cylinder. The corresponding parameters got by optimization are 0 - 53.3 mm, 0 - 27.8 mm and 1.0, respectively. Feasibility of program for the clip seedling mechanism is verified. This article provides a theoretical support for the design and testing of transplanter of onion seedling.

**Key words** transplanter; onion; clip seedlings mechanism; virtual design; kinematic simulation

穴盘育苗是蔬菜现代化育苗体系中的主要育苗技术,移栽是生产过程中的重要环节<sup>[1-3]</sup>。蔬菜盘育苗移栽机的研究是现代农业机械发展的一个重要方向。目前,国内外洋葱苗移栽机基本上都由人工取苗,存在生产效率低、难以实现大面积作业等弊端,制约了穴盘育苗技术的发展<sup>[4-7]</sup>。欧美国家以及韩

国和日本对洋葱移栽机械的研究较早,以半自动化移栽机为主<sup>[8]</sup>。1999年,日本兵库县开发出性能较高、质量较轻、操作简便的小型洋葱移栽机,其特点是人工取苗,每次移栽1行,基本没有倒伏和缺苗,移栽0.1 hm<sup>2</sup>需要2~3 h,工作效率约为人工的10倍<sup>[9]</sup>。目前,我国基本上人力种植洋葱,劳动强度

收稿日期: 2011-02-22

基金项目: 国家“863”计划项目子课题(2010AA101401-3)

第一作者: 杨帅, 硕士研究生, E-mail: yangshuai439@163.com

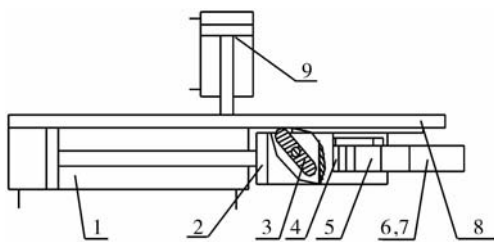
通讯作者: 宋建农, 教授, 博士生导师, 主要从事农业装备工程及农业机械设计理论研究, E-mail: songjn@cau.edu.cn

大、栽植质量差、生产成本低<sup>[10-11]</sup>。自从研究移栽机械以来,陆续开发和引进了多种洋葱的栽植机械,但均因不适应国内移栽条件,育苗技术落后、配套性差、综合效益低等原因,未得到推广应用。随着科学技术的发展,蔬菜生产自动化及智能化水平的不断提高,有多种新型栽植机械出现,但由于目前我国研制使用的移栽机械以半自动为主,人工费用仍然占有很大的比例。总体上,我国洋葱移栽机尚处在研究起步阶段,移栽自动化程度较低,还没有成熟的机型。

本研究旨在设计一种结构合理,能自动取苗和栽苗的夹苗机构,以期提高洋葱移栽机的作业速度和洋葱移栽质量,并为夹苗机构的研制提供合理的设计参数。

## 1 夹苗机构结构设计及工作原理

夹苗机构主要包括气缸组和开合夹具。气缸组主要包括伸缩气缸、升降气缸和升降平台;开合夹具包括伸缩平台、夹具顶杆、夹具滑块、夹具连杆、左夹子和右夹子等(图1)。夹苗机构的升降气缸固定在机架上,伸缩气缸通过升降平台与升降气缸的活塞杆相连。开合夹具固定在伸缩平台上。



1. 伸缩气缸;2. 伸缩平台;3. 夹具顶杆;4. 夹具滑块;5. 夹具连杆;6,7. 左夹子和右夹子;8. 升降平台;9. 升降气缸。

图1 夹苗机构结构示意图

Fig.1 Structure of clip seedlings mechanisms

夹苗机构的气缸组实现水平与竖直方向上的移动,同时开合夹具实现从育苗盘中的取苗和栽苗。在升降开关控制下,升降气缸活塞杆开始上升。在伸缩开关控制下,伸缩气缸活塞杆伸出夹具顶杆上端受到夹具平台挤压作用,下端顶向夹具滑块,滑块与活塞杆同方向运动,并带动夹具连杆绕滑块轴向外转动。两夹子对称向外打开,并分别移向穴盘中洋葱苗两侧。当开合夹具移动到夹具平台一端缺口时,在夹具弹簧作用下回位,两夹子快速闭合夹住洋

葱苗。升降气缸活塞杆继续上升,伸缩气缸活塞杆收缩,开合夹具跟随运动,完成取苗动作。升降气缸活塞杆下降,伸缩气缸活塞杆伸出,开合夹具2次打开,完成栽苗动作。升降气缸活塞杆再次上升,伸缩气缸活塞杆收缩,开合夹具闭合,完成1次工作循环;然后继续上述过程进行下一颗洋葱苗的移栽。

## 2 夹苗机构虚拟设计

利用Pro/E软件的零件设计模块建立夹苗机构三维零件模型。零件建模完成后,利用Pro/E软件的装配模块进行装配。Pro/E软件提供的零件装配方式有放置和连接2种类型,放置类型包括匹配、对齐、插入、坐标系、相切、线上的点、曲面上的点、曲面上的边以及自动约束等;连接类型包括固定、销钉、滑块、圆柱、平面等方式<sup>[12-13]</sup>。

根据夹苗机构各个部件的实际装配关系选择合适的放置位置完成Pro/E装配图。具体装配要求如下:升降运动采用升降气缸作为动力源,要求竖直装配,确保夹苗机构在竖直方向上受且仅受此气缸控制。伸缩运动采用伸缩气缸作为动力源,要求水平装配。开合运动受开合夹具各零部件共同影响,要求伸缩平台与升降平台在接触面上紧密装配,从而实现开合夹具的开合运动。

## 3 运动仿真及结果分析

### 3.1 运动仿真

由于PRO/E具有强大的仿真功能,能够对现实运动过程模拟并进行动力学的分析,故采用POR/E仿真分析获得夹苗机构的运动规律。把装配模型导入到机构模块中进行运动学仿真。夹苗机构的升降运动和伸缩运动通过两支气缸来实现,因而要使得夹苗机构工作,必须对气缸的动作进行有效的控制,气缸的活塞杆运动相对于为气缸体为往复直线运动,可通过添加伺服电机对工作状况进行仿真,要求伺服电机的参数设置与实际情况一致。开合夹具各部分机构同伸缩气缸协同运动完成开合动作,夹具顶杆随着与升降平台接触位置变化而准确运动,最终完成夹苗机构取苗与放苗的仿真过程。

初始条件设定为取苗过程的起点位置,通过编程控制伺服电机工作。设置机构分析控件时,选择分析类别为运动学,分析时长为3s,帧频100,其他选项使用系统默认。伺服电机由开始工作至结束,完成3个工作循环,故最终停止在初始位置。

对仿真数据进行分析,选择右夹顶端参考点 PNT0 点为分析点,对该点 3 个坐标轴方向的位移进行测量,将运动仿真数据导出,利用 MATLAB 软件进行曲线拟合。

### 3.2 结果分析

影响夹苗机构移栽效果的主要因素有:夹苗机构在水平方向上的运动范围、开合夹具顶端的开合范围和升降气缸与伸缩气缸活塞杆运动速度之比。

#### 3.2.1 夹苗机构水平方向的运动范围

夹苗机构在水平方向上包括气缸伸缩距离  $s$  和两夹子开合时所产生的水平方向分位移  $s'$ 。因为位移  $s'$  是通过开合夹具零部件传递伸缩气缸的运动产生的,所以  $s'$  也是由气缸伸缩距离  $s$  决定的。 $s+s'$  影响着夹具夹苗位置的深度。当距离过小会使夹具无法取苗,当距离过大取苗位置过深造成夹具压损幼苗,都达不到移栽目的。通过分析位置关系可得取值范围为:

$$a + \frac{b}{2} < (s + s')_{\max} < a + b \quad (1)$$

式中: $a$  为夹具顶端到育苗盘穴的水平距离; $b$  为育苗盘穴正方形上端面的边长。

根据夹苗机构的理论数据,进行夹苗机构伸缩运动仿真,并由所得仿真数据拟合曲线(图 2)。可见,曲线的最大值为 507.8 mm,最小值 454.5 mm,夹苗机构在水平方向上的最大运动距离是最大值与最小值之差 53.3 mm,从而得到夹苗机构在水平方向上的运动范围  $s+s'$  为 0~53.3 mm,在取值范围内,符合设计要求。由于伸缩气缸的伸出距离即是气缸行程,由此确定了伸缩气缸的行程参数。

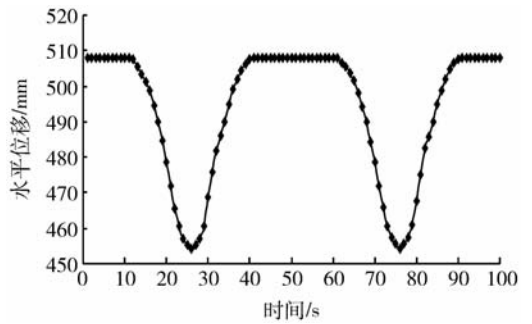


图 2 夹苗机构水平位移与运动时间的关系

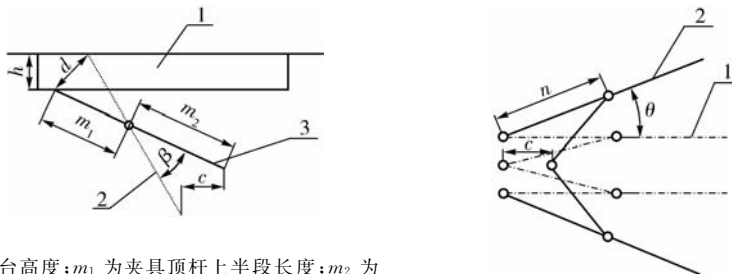
Fig. 2 Horizontal displacement-time diagram of clip seedlings mechanism

#### 3.2.2 开合夹具顶端的开合范围

夹具开合角度是指左夹子和右夹子打开时所成的最大角度  $\alpha$ 。因为开合夹具为对称开合,所以左夹子和右夹子各自开合角为  $\alpha/2$ 。开合角过小降低夹具夹苗的准确率,过大则干扰相邻幼苗,均不能顺利取苗。开合夹具顶端的开合范围可根据开合夹具工作原理(图 3)进行计算。夹具开合角度  $\alpha$ /rad 计算如下:

$$\alpha = 2\theta = 4\arcsin \frac{c}{n} \quad (2)$$

式中: $\theta$  为左夹子转动角度,rad。 $n$  为左夹子下半段长度,mm。 $c$  为夹具顶杆下顶点移动距离,mm, $c = \frac{m_2}{m_1} \sqrt{d^2 - h^2}$ 。 $m_1$  为夹具顶杆上半段长度,mm; $m_2$  为夹具顶杆下半段长度,mm; $h$  为伸缩平台上伸出厚度,mm; $d$  为夹具顶杆上顶点移动距离,mm, $d = 2m_1 \sin \frac{\beta}{2}$ ,其中  $\beta$  为夹具顶杆转动角度,rad。



$h$  为伸缩平台上凸台高度; $m_1$  为夹具顶杆上半段长度; $m_2$  为夹具顶杆下半段长度; $d$  为夹具顶杆上顶点移动距离; $c$  为夹具顶杆下顶点移动距离; $\beta$  为夹具顶杆转动角度。1. 伸缩平台伸出部分;2. 夹具顶杆初始位置;3. 夹具顶杆工作位置。

$n$  为左夹子下半段长度; $\theta$  为左夹子转动角度。  
1. 左夹子闭合位置;2. 左夹子打开位置。

(a) 夹具顶杆

(b) 左夹子与右夹子

图 3 开合夹具工作原理示意图

Fig. 3 Working principle of opening-closing fixture

计算可知,伸缩平台上凸台高度  $h$  对夹具开合角度  $\alpha$  有决定性作用,进而影响两夹子顶端的开合范围  $e$  在取苗过程中,要求夹具须在一个幼苗的育苗盘穴中运动,不影响其他育苗盘穴中的幼苗,确定  $0 < e < b$ ,通过此范围验证开合角度  $\alpha$  是否合适。综合考虑夹苗机构各零件的尺寸要求和位置要求,经过优化选取  $h=2$  mm,并由所得仿真数据得到夹苗机构开合位移与运动时间的拟合曲线(图4)。可知单个夹子开合范围为  $0\sim 13.9$  mm,  $e$  为  $0\sim 27.8$  mm,育苗盘穴边长  $b=50$  mm,符合设计要求。

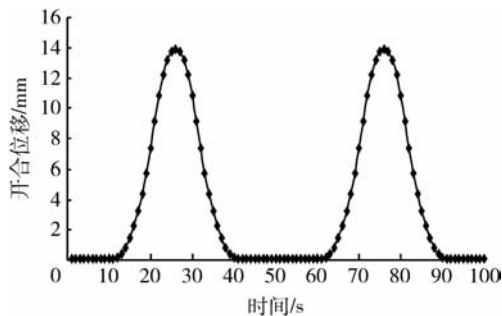


图4 夹苗机构开合位移与运动时间的关系

Fig. 4 Opening-closing displacement-time diagram of clip seedlings mechanism

### 3.2.3 升降气缸与伸缩气缸活塞杆运动速度比

升降气缸与伸缩气缸活塞杆运动速度比为:

$$\lambda = \frac{v_2}{v_1} \quad (3)$$

式中:  $v_1$  为伸缩气缸活塞杆的运动速度;  $v_2$  为升降气缸活塞杆的运动速度。

当夹苗机构伸缩气缸与升降气缸的运动控制开关固定于机架上时,两气缸运动范围确定,开合夹具的运动轨迹由升降气缸与伸缩气缸活塞杆运动速度比  $\lambda$  决定。取苗过程中,当  $\lambda$  过小时,伸缩气缸带动夹具过早伸出,使夹具与育苗盘发生干涉,无法完成取苗。当  $\lambda$  过大时,升降气缸带动夹具快速上升,夹具夹苗位置升高。随着夹苗位置的上升,洋葱苗被拉断数量大大增加。

采用 Instron-3342 型万能材料试验机进行洋葱苗拉断试验<sup>[14-16]</sup>,此万能材料试验机测定力范围  $0\sim 500$  N,测量精度为  $0.005$  N。试验采用单因素重复试验方法,选择苗龄分别为 50、55、60 d 的洋葱苗为试验苗。试验苗平均高度为 146.4、159.8 和 164.1 mm,平均直径为 1.297、1.456 和 1.593 mm。对每一组苗龄的洋葱苗的不同夹持位置重复进行

10 次试验,测定洋葱苗抗拉断力,取其平均值。在进行拉断试验时,下苗夹夹持洋葱苗根部,上苗夹夹持位置距洋葱苗营养钵上表面的距离分别取 10、20 和 30 mm。在苗夹的内侧,衬垫有 5 mm 厚的泡沫片,以防止硬物损伤洋葱苗。试验结果见表 1。夹苗位置 10 mm 处苗抗拉断力是 30 mm 处的 2.9 倍,由此可知评价最优速比的指标为开合夹具的夹苗位置  $k$ 。在夹具与育苗盘不发生情况下,夹苗位置越低越好。

表 1 洋葱苗抗拉断力试验结果

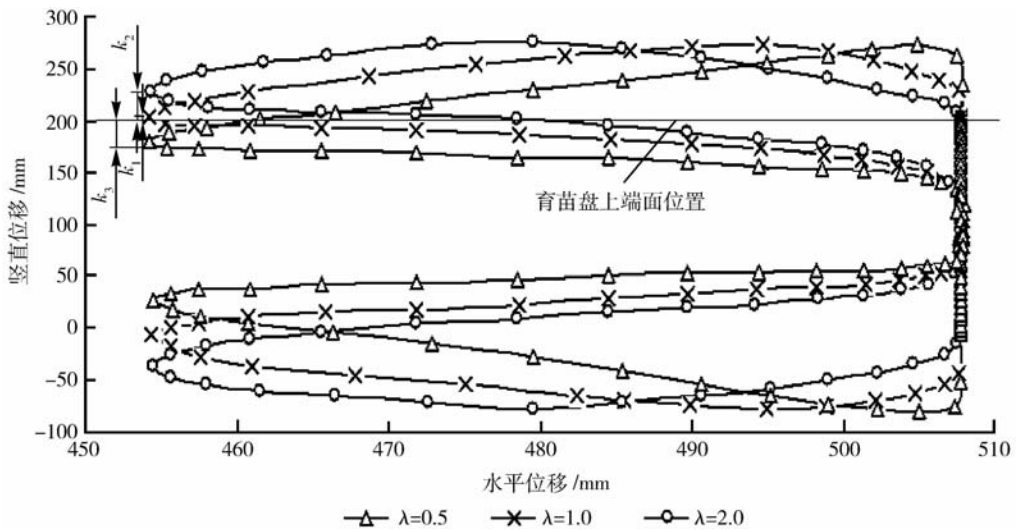
Table 1 Results of test on force of breaking onions seedlings

夹苗位置/mm <sup>①</sup>	苗龄/d	抗拉断力/N	平均值/N
10	50	3.1	3.9
	55	3.9	
	60	4.6	
20	50	1.5	2.1
	55	2.3	
	60	2.5	
30	50	1.0	1.3
	55	1.4	
	60	1.5	

注:① 夹子与洋葱苗营养钵上表面的距离。

当夹苗机构在水平方向上运动范围为  $0\sim 53.3$  mm,伸缩平台上凸台高度  $h=2$  mm 时,在不同速度比条件下对夹苗机构的右夹子顶端点进行运动轨迹仿真。图 5 示出  $\lambda$  分别为 1.0、2.0 和 0.5 时右夹子顶端点的轨迹曲线,不同的线型代表不同  $\lambda$  下的轨迹,得夹苗机构夹苗位置分别为 3.6、31.6 和  $-24.3$  mm。可见,随着速比的减小,夹苗位置在不断降低。虽然速比为 0.5 时,  $k$  最小,但此时开合夹具在育苗盘上端面之下,无法取苗;速比为 2.0 时,夹苗位置较高苗抗拉断力较小,增加幼苗损伤率。速比为 1.0 时,夹苗位置较低苗抗拉断力较大,降低幼苗损伤率。

从气缸运动原理上分析升降气缸与伸缩气缸活塞杆运动速度比  $\lambda$  的影响因素。考虑到实际情况为了便于计算与控制,使气缸运动速度主要受到各自通过气体流量的影响,伸缩气缸与升降气缸宜选取同型号同内径的气缸。虽然两气缸活塞杆速度的具



$k_1$ 、 $k_2$  和  $k_3$  分别为  $\lambda$  为 1.0、0.5 和 2.0 时右夹子顶端点与育苗盘上端面的距离

图 5 不同速度比下夹苗机构右夹子顶端点的运动轨迹

Fig. 5 Movement track of different speed ratio

体运算和实际运动中较难达到很高准确率,但是较容易为两气缸提供相同的通气量,使两气缸运动速度相等,即  $\lambda=1.0$  时,夹苗机构符合设计要求。

#### 4 结 论

本研究对洋葱移栽机的夹苗机构进行仿真,分析了影响移栽效果的主要因素。主要结论如下:

1) 夹苗机构在水平方向的运动范围  $s+s'$  为  $0\sim 53.3$  mm,符合设计要求。

2) 伸缩平台上凸台高度  $h=2$  mm 时,开合夹具两夹子顶端的开合范围  $e$  为  $0\sim 27.8$  mm,小于 50 mm 符合设计要求。

3) 取苗过程中,开合夹具的运动轨迹由升降气缸与伸缩气缸活塞杆运动速度比  $\lambda$  决定。当  $\lambda=0.5$  时,伸缩气缸带动夹具过早伸出,使夹具与育苗盘发生干涉,无法完成取苗。当  $\lambda=2.0$  时,夹具夹苗位置升高,洋葱苗被拉断数量大大增加。升降气缸与伸缩气缸活塞杆运动速度比为  $\lambda=1.0$  时,夹苗机构满足机构设计和实际操作要求。

#### 参 考 文 献

[1] 陈风. 钵苗移栽机输送、分苗系统的研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2005  
 [2] 任玉刚. 果蔬菜苗移栽器的设计研究[J]. 山西农业大学学报: 自然科学版, 2006, 26(1): 77-79

[3] 张立彬, 计时鸣, 胥芳. 农业机器人的主要应用领域和关键技术[J]. 浙江工业大学学报, 2002, 30(1): 36-41  
 [4] 刘磊, 陈永成, 毕新胜, 等. 吊篮式移栽机栽植器运动参数的研究[J]. 石河子大学学报: 自然科学版, 2008, 26(4): 504-506  
 [5] 李其昀. 机械化育苗移栽的现状与展望[J]. 农机化研究, 2006 (3): 26-27  
 [6] 田素博, 邱立春, 张诗. 基于 PLC 的穴盘苗移栽机械手控制系统设计[J]. 沈阳农业大学学报, 2007, 38(1): 122-124  
 [7] 陈明. 蔬菜移栽机的发展概况及结构特性[J]. 农村牧区机械化, 2010(1): 29-30  
 [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] 弋征. 日本研制成洋葱移栽机[J]. 中国蔬菜, 2000(4): 53  
 [10] 孙国祥, 汪小潜, 何国敏, 等. 穴盘苗移栽机末端执行器设计与虚拟样机分析[J]. 农业机械学报, 2010, 41(10): 38-53  
 [11] 徐金苏. 蔬菜钵苗移栽机构的创新设计、参数优化与动态仿真分析[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2009  
 [12] 邹田, 任光胜. 基于 Pro/E 的跨座式单轨转向架分离装置运动仿真分析[J]. 机械设计与制造, 2010(4): 229-231  
 [13] 张朋举, 张纹, 陈树人, 等. 八爪式株间机械除草装置虚拟设计与运动仿真[J]. 农业机械学报, 2010, 38(5): 56-59  
 [14] 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  
 [15] 桑永英, 张东兴, 张梅梅, 等. 马铃薯碰撞损伤试验研究及有限元分析[J]. 中国农业大学学报, 2008, 13 (1): 81-84  
 [16] 陈旭暄, 宋建农, 刘建军, 等. 水稻钵苗输秧拔秧机构参数优化[J]. 中国农业大学学报, 2005, 10(2): 19-21

(责任编辑: 刘迎春)