

吊杯式栽植器运动轨迹优化与试验

刘洋^{1,2}, 王士国^{1,2}, 毛罕平³, 李斌^{1,2}, 王涛^{1,2}, 李亚雄^{1,2}, 韩绿化³

(1.新疆农垦科学院机械装备研究所,新疆石河子 832000;2.农业农村部西北农业装备重点实验室,新疆石河子 832000;
3.江苏大学现代农业装备与技术教育部重点实验室,江苏镇江 212013)

摘要:针对吊杯式移栽机膜上成穴移栽时膜面穴口大的问题,建立栽植机构的运动模型,通过分析栽植器的运动轨迹特性得出,当栽植器的运动轨迹为余摆线,且余摆线环扣最大横弦的距离等于轨迹线与地膜交点间的距离,栽植器在上拔阶段水平方向零速度点两侧打开,有利于减小膜面穴口尺寸。通过仿真分析和膜上移栽番茄盘苗试验得出,运动轨迹特征系数 λ 对膜面穴口的纵向尺寸影响显著,对横向尺寸和倾斜率影响不明显。随着 λ 值的增大,穴口纵向尺寸先减小然后增大,在移栽频率为50和55株 \cdot min⁻¹时, λ 为1.093的穴口纵向尺寸分别为10.12 cm和9.49 cm,是最小值;两种移栽频率条件下,随着 λ 值的增大,移栽株距分别从39.8 cm减小到33.5 cm和从39.1 cm减小到33.1 cm。该结论可用于指导吊杯式移栽机结构和工作参数的优选。

关键词:吊杯式栽植器;运动轨迹;移栽;膜面穴口

中图分类号:S223.9 **文献标志码:**A

Trajectory optimization and test of basket-type planting devices

LIU Yang^{1,2}, WANG Shi-guo^{1,2}, MAO Han-ping³, LI Bin^{1,2}, WANG Tao^{1,2}, LI Ya-xiong^{1,2}, HANG Lü-hua³

(1. Mechanical Equipment Research Institute, Xinjiang Academy of Agricultural and Reclamation Science, Shihezi, Xinjiang 832000, China;

2. Key Laboratory of Northwest Agriculture Equipment, Ministry of Agriculture, Shihezi, Xinjiang 832000, China;

3. Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China)

Abstract: Given the unwanted large holes on film surface with basket-type planting devices during above-film hole-forming device, and establishing a motion model of the planting mechanism, we analyzed the trajectory characteristics of the planter. It was found that when the trajectory of the planter was the trochoidal line, the distance of the maximum transverse chord of the trochoidal ring buckle was equal to the distance between the intersection of the trajectory line and the film, and the planter was opened in the uplifting stage. It was beneficial to reduce the size of the membrane face. Through simulation analysis and transplanting of tomato seedlings on the film, it was concluded that the trajectory characteristic coefficient, λ , had a significant influence on the longitudinal dimension of hole on the film, the transverse dimension and inclination rate were not obvious. As the λ value increased, the longitudinal dimension of the hole first decreased and then increased. When the transplanting frequency was 50 and 55 plants \cdot min⁻¹, and the λ was 1.093, the longitudinal dimension of the hole was 10.12 and 9.49 cm, respectively, which was the minimum value. Under the two transplanting frequency conditions, as the λ value increased, the transplanting plant distance decreased from 39.8 cm to 33.5 cm and from 39.1 cm to 33.1 cm, respectively. This conclusion can be used to guide the optimization of the structure and working parameters of the basket-type transplanter.

收稿日期:2018-11-01

修回日期:2019-04-10

基金项目:国家自然科学基金项目(51475216,51765059);现代农业装备与技术教育部重点实验室和江苏省农业装备与智能化高新技术研究重点实验室开放基金课题(NZ201607);江苏省普通高校研究生科研创新计划项目(KYZZ16_0329)

作者简介:刘洋(1978-),男,新疆石河子人,副研究员,主要从事农业机械装备及关键技术的研究。E-mail:lyshz@163.com

通信作者:王士国(1977-),男,吉林省吉林市人,研究员,主要从事耕作机械装备研究。E-mail:wansg@163.com

毛罕平(1961-),男,浙江宁波人,教授,主要从事农业机械装备和设施农业环境控制技术研究。E-mail:maohp@ujs.edu.cn

Keywords: basket-type planting device; trajectory; transplanting; the film hole

我国西北干旱地区加工番茄移栽种植普遍需要铺设地膜^[1],机械移栽时必须采用膜上成穴移栽的方法。在成穴移栽机研究方面,金鑫等^[2]设计了曲柄滑槽式移栽机构,李华等^[3]设计了行星轮系五杆移栽机构,俞高红等^[4]研究了椭圆齿轮行星轮系移栽机构,陈建能等^[5-6]研制了变形椭圆齿轮行星系和多杆式零速穴盘苗移栽机构,这些研究利用可视化运动仿真软件,从机构学角度优化出满足蔬菜穴盘苗成穴移栽要求的栽植器运动轨迹和机构结构参数,在机构上可以减小膜面穴口,保证移栽直立,但这些移栽机构的栽植器都是单侧与运动机构连接,受力条件较差,对移栽用地的整地要求较高。吊杯式移栽机对整地水平要求不高,工作可靠性高,在加工番茄铺膜移栽种植过程中得到了应用^[7]。但是吊杯式移栽机在成穴移栽时膜面穴口较大,这会降低地膜保温、保墒的作用^[8-9]。

为了解决吊杯式移栽机成穴时膜面穴口大的问题,李旭英等^[10]优化得出栽植器入土部位为圆形时有利于减小膜面穴口尺寸。封俊等^[11]提出了吊杯式移栽机的设计准则,崔巍等^[12]研究了减小膜面穴口尺寸的约束条件,这对吊杯式移栽机构的设计具有指导意义,但是这些研究都是分析栽植器上一个点的运动轨迹,栽植器入土部位的形状不规则,与土壤是面接触,仅研究一点的运动轨迹是不全面的。为此,本文在分析吊杯式栽植器运动轨迹特性的基础上,进行多轨迹线运动仿真,优化出可以减小膜面穴口尺寸的运动轨迹,并通过移栽试验进行验证,为吊杯式移栽机的设计和性能优化提供参考。

1 栽植器运动轨迹特性

吊杯式栽植器在随移栽机行驶的同时绕定轴转动,始终处于垂直状态,当栽植器转动到定轴下方时在土壤中打开并成穴。此时在移栽机前进方向形成的膜面穴口尺寸为纵向尺寸,在栽植器打开

方向形成的膜面穴口尺寸为横向尺寸,纵向和横向穴口尺寸互相垂直。

1.1 纵向运动轨迹分析

栽植器的运动示意图如图 1 所示。栽植器做平动,取栽植器的下端尖点 e 进行研究。在栽植器的转动中心建立坐标系 xoy ,可以得到点 e 的运动轨迹方程^[12]:

$$\begin{cases} x = v_0 t + R \cos(\omega t) \\ y = -R \sin(\omega t) - l \end{cases} \quad (1)$$

式中, v_0 是栽植器随移栽机行驶的速度; t 是运动时间; ω 是栽植器转动的角速度; R 是栽植器绕定轴转动的半径; l 是栽植器自转的转动中心 p 到点 e 的距离。

对式(1) 求一阶导数可以得到点 e 的运动速度方程:

$$\begin{cases} x' = v_0 - \omega R \sin(\omega t) \\ y' = -\omega R \cos(\omega t) \end{cases} \quad (2)$$

将 $\lambda = \omega R / v_0$ 定义为栽植器运动轨迹的特征系数。

根据零速投苗原理^[13],当 $\lambda \geq 1$ 时可以保持穴盘苗移栽直立。图 2 是 λ 取不同值的运动轨迹曲线。当 $\lambda = 1$ 时,运动轨迹为摆线,在轨迹线的最低

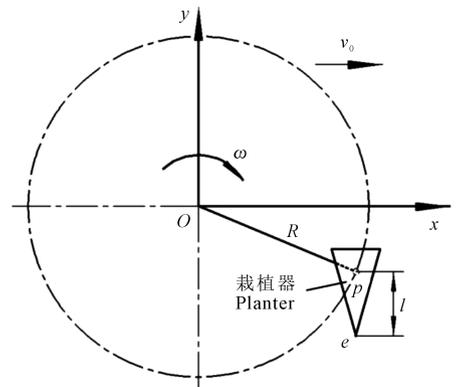


图 1 栽植器运动示意图

Fig.1 Schematic diagram of planting device movement

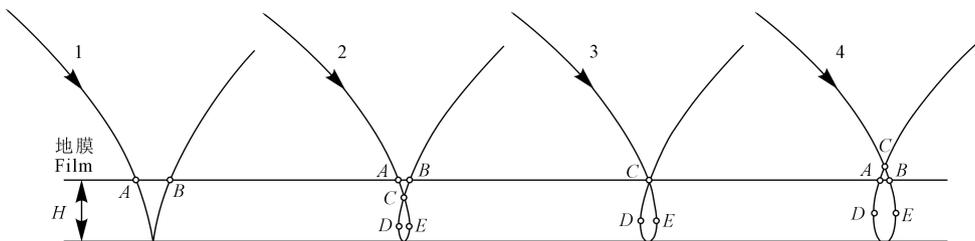


图 2 栽植器的运动轨迹

Fig.2 Motion trajectories of planting device

点有一个速度为0的点(轨迹线1);当 $\lambda > 1$ 时,栽植器的运动轨迹为余摆线(轨迹线2);根据余摆线的性质^[14-15],在余摆线环扣最大横弦处存在速度为零的点 D 和 E 。随着 λ 的增大,点 D 和 E 向上移动,两点间的距离 l_{DE} 逐渐增大(轨迹线3和4)。在相同移栽深度 H 条件下,栽植器的下扎和上拔会与地膜形成两个交点 A 和 B 。随着 λ 的增大,环扣的交点 C 上移,点 A 和 B 间的距离 l_{AB} 逐渐减小,当点 C 上移到与地膜表面相交时(轨迹线3),点 A 和 B 与点 C 重合,此时 $l_{AB} = 0$ 。随着 λ 的继续增大,点 C 会上移到地膜表面以上,此时 l_{AB} 又开始增大(轨迹线4)。可以得出,当 λ 从轨迹线1开始增大时, l_{AB} 先减小然后增大,点 C 与地膜表面重合时是 l_{AB} 变化的转折点。

栽植器始终做平动,膜面穴口的尺寸由地膜表面以下运动轨迹在水平方向的最大距离决定,通过对 l_{AB} 和 l_{DE} 的变化分析可知,存在一条 $l_{AB} = l_{DE}$ 的轨迹线,使地膜穴口的纵向尺寸变化达到一个平衡值。

加工番茄移栽深度一般为60~80 mm^[16]。取最大移栽深度80 mm进行研究,求此时 $l_{AB} = l_{DE}$ 的 λ 值。

栽植深度为80 mm时点 e 的纵坐标 y_1 为:

$$y_1 = -R - l + 80 \quad (3)$$

令 $\theta = \omega t$,由式(1)和(3)可以求得栽植深度为80 mm时,栽植器上点 e 运动到点 A 转动的角度 θ_A 为:

$$\theta_A = \arcsin\left(1 - \frac{80}{R}\right) \quad (4)$$

以课题组研制的吊杯式移栽机为研究对象^[7],相关参数为 $R = 240$ mm, $l = 181$ mm,可以求得 θ_A 为0.7297 rad。

由式(1)可得栽植器上点 e 运动到 A 点的横坐标 x_A 为:

$$x_A = 0.7297 \frac{v_0}{\omega} + 0.7454R \quad (5)$$

因为点 e 运动到点 D 时水平方向的速度为零。由式(2)可知此时

$$v_0 - \omega R \sin\theta = 0 \quad (6)$$

可以得到栽植器上点 e 运动到点 D 时转过的角度 θ_D 为:

$$\theta_D = \pi - \arcsin \frac{v_0}{\omega R} \quad (7)$$

由式(1)可得点 e 运动到 D 点的横坐标 x_D 为:

$$x_D = \frac{v_0}{\omega} \left(\pi - \arcsin \frac{v_0}{\omega R} \right) + R \cos \left(\pi - \arcsin \frac{v_0}{\omega R} \right) \quad (8)$$

因为余摆线是偶函数,呈轴对称^[14]。为了使 $l_{AB} = l_{CD}$,只需要保证点 A 和点 D 的横坐标 x_A 和 x_D 相

等即可,由式(5)和(8)可得:

$$\begin{aligned} \frac{\pi}{\lambda} - \frac{1}{\lambda} \arcsin \frac{1}{\lambda} - \cos \left(\arcsin \frac{1}{\lambda} \right) \\ - 0.7297 \frac{1}{\lambda} - 0.7454 = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

求解式(9)可得 $\lambda = 1.093$ 。

1.2 横向运动轨迹分析

栽植器破膜成穴打开的位置关系到膜面穴口的尺寸和移栽直立状态^[8,12]。栽植器应该在水平方向速度为零的点打开并将穴盘苗投落,但是栽植器从闭合状态到打开足够大,将穴盘苗投落有一个运动过程,因此栽植器应该在水平方向零速度点两侧打开,即摆线的最低点两侧、余摆线的下扎或上拔的最大横弦两侧打开。栽植器在余摆线下扎过程中打开时,回土流和栽植器最下端的土壤会进入栽植器内部将穴盘苗支撑住,穴盘苗不能随着栽植器的下扎继续深入土壤,穴盘苗脱离栽植器的时间较长,这不利于穴盘苗移栽直立;栽植器在上拔阶段打开时,穴盘苗相对栽植器的速度较大,脱离时间较短,利于移栽直立;摆线的打开位置介于余摆线下扎和上拔打开位置的中间。栽植器在打开后要始终处于张开状态,直到穴盘苗完全与栽植器分离后才可以闭合,否则会出现夹带苗现象。张开的栽植器会增大地膜的撕裂,为了减小地膜穴口的尺寸,应该在栽植器入土后尽可能迟些打开。综合考虑穴盘苗移栽直立和膜面穴口尺寸,应该选择余摆线的运动轨迹,在栽植器上拔阶段打开栽苗。

2 栽植器运动仿真分析

通过对1.1节栽植器上一点的运动轨迹进行研究,得出的 λ 值可以用于指导运动轨迹的选择。但是栽植器与土壤是面接触,可以用ADAMS软件仿真分析栽植器的成穴运动,在栽植器下端入土部位的两侧等距离的各选择5个点(图3),仿真得到这10个点的运动轨迹包络线,用包络线来研究膜面穴口的尺寸。

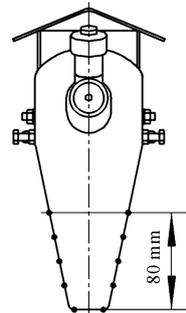


图3 栽植器上仿真取点位置

Fig.3 Simulation point location on the planter

吊杯式移栽机构上一般设置 4 个栽植器,它们的运动轨迹相同,这里只取一个栽植器进行运动轨迹分析(图 4)。利用三维制图软件建立移栽机构的三维模型,为了减少仿真分析时约束副的添加,将移栽机构中相邻两个不发生运动的零件绘制成一个部件,在三维模型中用不同的颜色代表各部件;将三维模型导入 ADAMS 软件中,在支撑盘的转动轴处同时添加平移副和转动副用以驱动整个机构的平移和转动,在支撑盘和支撑板之间添加固定副,在其他部件之间添加转动副,整个移栽机构共添加 1 处平移副、2 处固定副和 6 处转动副(图 4)。吊杯式移栽机为半自动移栽机,移栽频率一般为 45~55 株·min⁻¹,取移栽频率 50 株·min⁻¹进行仿真,此时栽植器转动的角速度 ω 为 1.309 rad·s⁻¹,该 ω 就是支撑盘转动轴处转动驱动副的角速度值,可以计算得不同 λ 值时移栽机的行驶速度 v_0 (表 1),并将 v_0 设置为支撑盘转动轴处平动驱动副的速度值,进行运动仿真后可以得到栽植器的运动轨迹曲线(图 5)。

图 6 是在移栽机构前进方向仿真分析得到的 3 条典型的运动轨迹包络线。可以看到随着 λ 值的增大,包络线中运动轨迹线的环扣都在增大。从运动轨迹的最下端向上测量 80 mm,然后测量该位置水平方向包络线最外侧的距离,从图中可以看到,该处的尺寸是轨迹包络线在地膜以下最大的宽度。将测量结果统计在表 1 中,可以看到,地膜穴口纵向尺寸随着 λ 值的增大,先减小然后增大。 $\lambda = 1.093$ 时,穴口的纵向尺寸最小,为 70.6 mm。

图 7 是栽植器在上拔阶段打开仿真分析得到的运动轨迹包络线。该包络线的最大宽度与栽植器的最大开合度以及打开的位置有关,与栽植器在前进方向的运动轨迹形状没有关系。为了保证番茄穴盘苗可以顺利地栽入栽植器中落下,栽植器的最大张开尺寸设置为 50 mm,测量 80 mm 高度轨迹线的最大宽度为 71.3 mm,这就是膜面穴口横向尺寸的理论值。

3 膜上成穴移栽试验

3.1 试验方法

为了验证理论计算和仿真分析的结果,用吊杯式移栽机进行移栽试验。移栽机构上的支撑板可以控制栽植器在上拔阶段打开(图 8),而栽植器的运动轨迹可以通过改变地轮到栽植器的链轮传动比进行调整。

移栽时,地轮通过链条传动驱动栽植器转动, λ 的计算公式为^[17]:

$$\lambda = \frac{2R Z_1 Z_3}{D Z_2 Z_4} \quad (10)$$

式中, D 是地轮的直径,为 600 mm; Z_1 、 Z_2 、 Z_3 和 Z_4 分别是图 6 中地轮转动轴、中间传动轴和栽植器转动轴位置的链轮齿数; Z_2 为 30 齿, Z_3 和 Z_4 为 22 齿。

理论株距 L 为:

$$L = \frac{\pi D Z_2 Z_4}{4 Z_1 Z_3} \quad (11)$$

通过调整 Z_1 的齿数得到不同的 λ 值,链轮齿数与 λ 值的关系见表 2。

3.2 试验条件

在地面用壤土起垄,垄高 20 cm,垄宽 80 cm,地轮行驶在土垄两侧(图 9);在土壤表面铺设厚度为 0.01 mm、宽度为 100 cm 的聚乙烯地膜;试验时土壤含水率 26.4%,土壤坚实度 450 N·mm⁻²;用 128 孔穴盘培育的穴盘苗进行试验,苗平均株高 16 cm,移栽深度 8 cm,移栽频率取 50 和 55 株·min⁻¹,每组试验移栽番茄穴盘苗 256 株,对膜面穴口的纵向、横向尺寸和株距进行测量,并统计倾斜率,认为当穴盘苗的苗茎与地面夹角小于 30°时^[18],倾斜严重。

表 1 不同 λ 值时的移栽机行驶速度和穴口纵向尺寸

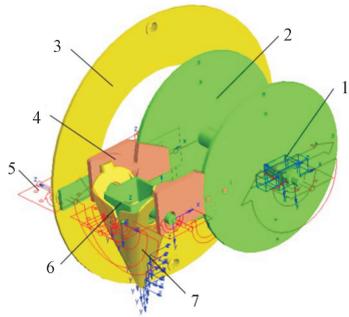
Table 1 Transplanter moving speed and longitudinal dimension of the hole at different λ values

λ 值 λ value	移栽机行驶速度 v_0 Speed of transplanter $v_0/(\text{mm} \cdot \text{s}^{-1})$	穴口的纵向尺寸理论值 Theoretical longitudinal dimension of the film hole/mm
1.013	309.9	74.1
1.040	302.1	73.2
1.067	294.4	71.9
1.093	287.3	70.6
1.120	280.5	72.2
1.147	273.9	74.3
1.173	267.7	77.2

表 2 链轮齿数与 λ 值的关系

Table 2 The relationship between the number of sprocket teeth and the λ value

λ 值 λ value	Z_1 齿数 Sprocket number of Z_1	理论株距 L/cm Theoretical planting distance
1.013	38	37.2
1.040	39	36.5
1.067	40	35.3
1.093	41	34.4
1.120	42	33.6
1.147	43	32.8
1.173	44	31.5



1. 平移副;2. 支撑盘;3. 外盘;4. 支撑板;
5. 转动副;6. 栽植器转动轴;7. 栽植嘴

1. Translational pair; 2. Support dish; 3. Outer disk; 4. Support plate;
5. Rotating pair; 6. Planter axis; 7. Planting nozzle

图 4 吊杯式移栽机构仿真模型

Fig.4 Three-dimensional model of basket-type transplanting mechanism

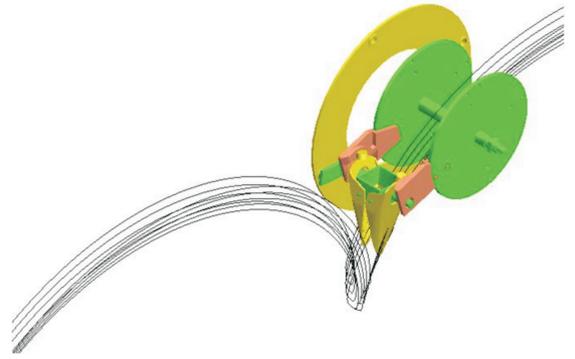


图 5 仿真运动的轨迹线

Fig.5 The trajectories of simulation motion

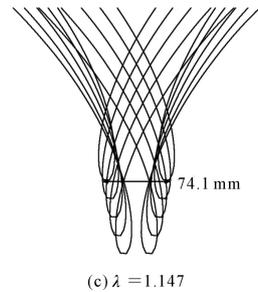
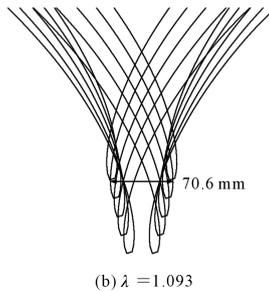
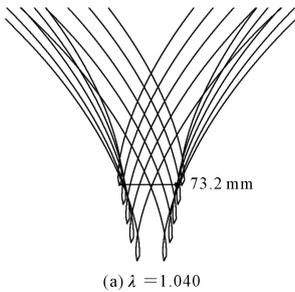


图 6 栽植器运动轨迹包络线

Fig.6 The motion trajectories envelope of planting device

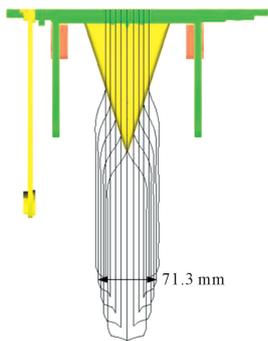
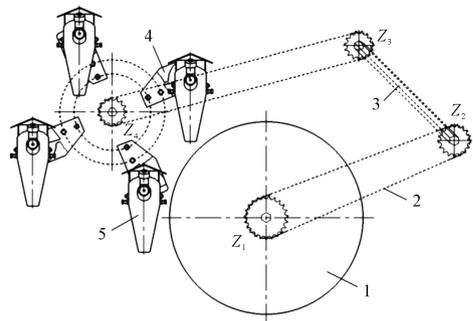


图 7 栽植器打开形成的包络线

Fig.7 The envelope of the planter opening process



1. 地轮;2. 链条;3. 中间轴;4. 支撑板;5. 栽植器
1. Wheel; 2. Chain 3. Intermediate shaft; 4. Support plate; 5. Planter

图 8 吊杯式移栽机的传动示意图
Fig.8 Structure diagram of basket-type transplanter drive system



(a)吊杯式移栽机 Basket-type transplanter



(b)栽植器 Planter

图 9 膜上成穴移栽试验

Fig.9 The experiment of hole-forming transplanting on the film

3.3 试验结果

穴口的纵、横向尺寸见图 10。可以看到,移栽试验测量的膜面穴口纵向尺寸明显大于理论值(图 10(a)),这是因为理论分析得到的穴口尺寸仅是栽植器上选取的点的包络线的宽度,而成穴移栽时栽植器的打开会撕裂地膜,使地膜的穴口沿着机具前进方向扩展,同时移栽机的行驶滑移也会加剧地膜的撕裂。从图 10(a)可以看到,两种移栽频率条件下,地膜穴口纵向尺寸随着 λ 值的增加先减小然后增大,在 $\lambda = 1.093$ 时,移栽频率为 $50 \text{ 株} \cdot \text{min}^{-1}$ 和 $55 \text{ 株} \cdot \text{min}^{-1}$ 的穴口纵向尺寸分别为 10.12 cm 和 9.49 cm ,为最小值; $\lambda = 1.173$ 时,两种移栽频率条件下的穴口纵向尺寸分别为 14.74 cm 和 13.12 cm ,为最大值。试验结果表明 λ 值对膜面穴口纵向尺寸的影响与仿真分析结论一致。移栽频率为 $50 \text{ 株} \cdot \text{min}^{-1}$ 的穴口纵向尺寸始终大于 $55 \text{ 株} \cdot \text{min}^{-1}$ 的尺寸,这是因为地轮会与地面形成摩擦滑移,移栽频率为 $50 \text{ 株} \cdot \text{min}^{-1}$ 时,栽植器在成穴过程中滑移的时间相对较长,导致穴口的纵向尺寸较大^[7]。由图 10(b)可以看出,随着 λ 值的增加,两种移栽频率条件下穴口横向尺寸也有先减小然后增大的趋势,但

是形成的穴口横向尺寸小于理论值,这是因为地膜具有弹性^[19],铺设地膜时为了使膜面平整,在地膜纵向存在一定的张紧力,栽植器扎破地膜离开后,在张紧力的作用下,地膜穴口横向尺寸会收缩减小,可以看到移栽频率为 $50 \text{ 株} \cdot \text{min}^{-1}$ 和 $55 \text{ 株} \cdot \text{min}^{-1}$ 时,穴口的横向尺寸变化范围分别为 $3.07 \sim 4.23 \text{ cm}$ 和 $3.08 \sim 4.05 \text{ cm}$,变化较小。可以得出, λ 值的变化对地膜穴口纵向尺寸影响显著,对穴口横向尺寸影响不明显, $\lambda = 1.093$ 时膜面穴口的尺寸最小。图 11 是 λ 为 1.093 和 1.173 时地膜穴口尺寸对比。

图 12 是不同 λ 值的移栽株距。可以看到,移栽频率为 $50 \text{ 株} \cdot \text{min}^{-1}$ 和 $55 \text{ 株} \cdot \text{min}^{-1}$ 时,株距都随着 λ 值的增大而减小,变化范围分别为 $39.8 \sim 33.5 \text{ cm}$ 和 $39.1 \sim 33.1 \text{ cm}$ 。移栽过程中,地轮与地面之间的滚动摩擦使得移栽机存在滑移,导致移栽株距大于理论值。移栽频率为 $50 \text{ 株} \cdot \text{min}^{-1}$ 的株距始终大于 $55 \text{ 株} \cdot \text{min}^{-1}$ 的株距,说明提高移栽频率,减小地轮滑移时间,可以减小移栽株距与理论值之间的偏差。

表 3 是不同 λ 值时的移栽倾斜率。可以看到,移栽频率为 $50 \text{ 株} \cdot \text{min}^{-1}$ 和 $55 \text{ 株} \cdot \text{min}^{-1}$ 时,倾斜率

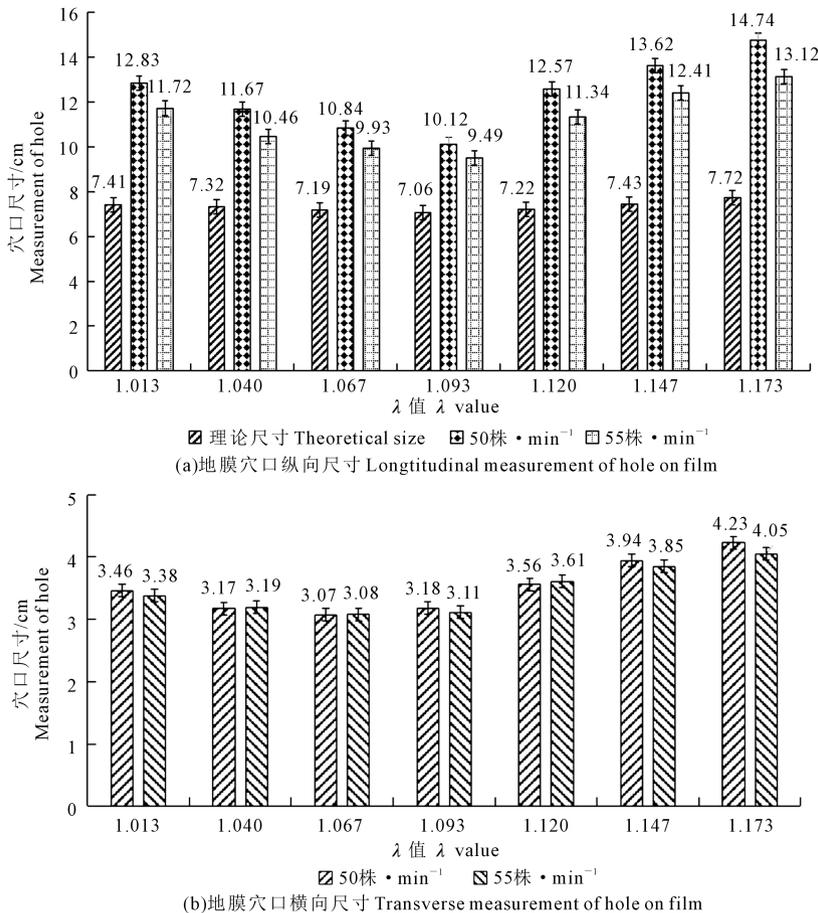


图 10 不同 λ 值时地膜穴口尺寸

Fig.10 The dimension of film hole at different λ value

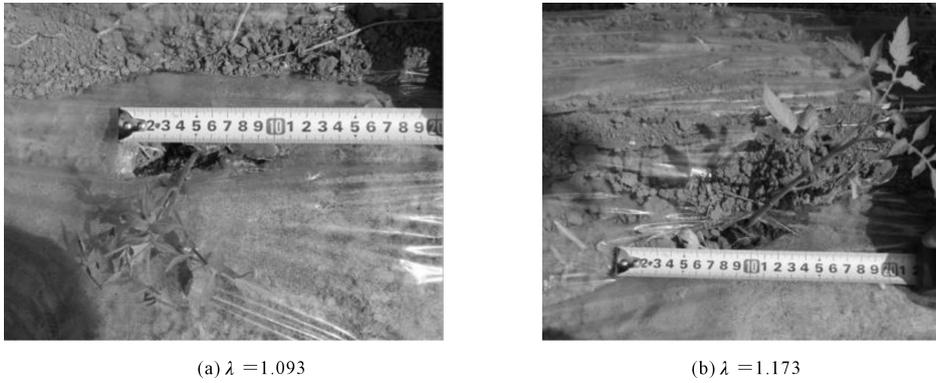


图 11 膜面穴口尺寸对比

Fig.11 Comparison of the film hole dimension

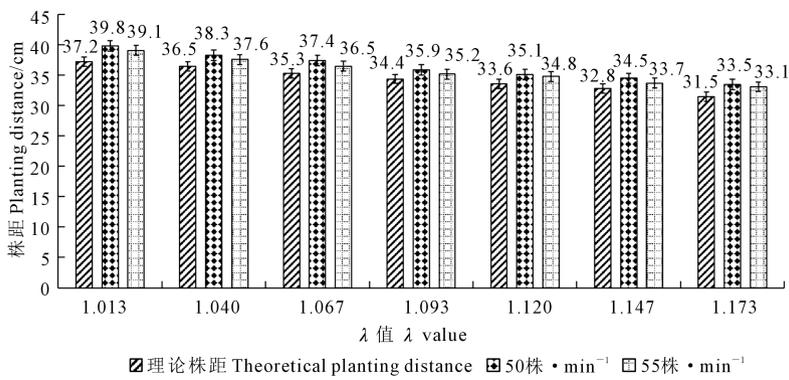


图 12 移栽株距

Fig.12 Transplanting plant spacing

的变化范围分别为 1.93% ~ 3.54% 和 1.73% ~ 3.91%,变化范围非常小。穴盘苗的苗叶有一定的展幅,栽植器投苗时对穴盘苗有挂带现象,成穴时回土流得不均匀,这些都会导致穴盘苗移栽倾斜。但是栽植器是在上拔阶段的零速投苗点两侧打开,无论栽植器的运动轨迹如何变化,穴盘苗被投落时水平方向的速度都非常小,因此 λ 的变化对倾斜率影响不明显。

对于膜面穴口,应该尽可能的小,这样有利于减少土壤中水分的蒸发。但是通过试验可以发现,λ 值对膜面穴口的纵向尺寸和移栽株距影响是不同的,而株距和膜面穴口尺寸都关系到作物的生长和产量,应该根据蔬菜种植的农艺要求选择 λ 值。

成穴移栽时,穴口的尺寸是由栽植器、土壤和地膜的相互作用形成的,这就要求不仅要优化栽植器的结构和 λ 值,还应该提高整地和铺膜质量,使土壤细碎平整,地膜可以与地表土壤紧密地接触在一起,减少地表大颗粒土壤将地膜顶起导致的栽植器扎破地膜的距离大于移栽深度^[20]。同时注重移栽机的工作性能和整地质量才可以达到最佳的移栽效果。

表 3 移栽试验结果

Table 3 The result of transplanting test

测量参数 Measurement parameter	λ 值 λ value						
	1.013	1.040	1.067	1.093	1.120	1.147	1.173
倾斜率/% Slope rate	50 株·min ⁻¹ 2.54	2.03	1.93	2.67	2.89	3.54	2.89
	55 株·min ⁻¹ 2.73	1.95	1.73	2.64	3.13	3.91	3.62

4 结 论

1)对吊杯式栽植器的运动轨迹进行分析得出,当轨迹为余摆线,余摆线环扣最大横弦的距离等于轨迹线与地膜交点间的距离,且栽植器在上拔阶段打开时有利于减小膜面穴口和保证移栽直立,计算得此时运动轨迹的特征系数 λ 为 1.093。

2)膜上成穴移栽结果表明,随着 λ 值的增加,穴口的纵向尺寸先减小然后增大。移栽频率为 50 株·min⁻¹和 55 株·min⁻¹,λ = 1.093 时的穴口纵向尺寸分别为 10.12 cm 和 9.49 cm,穴口尺寸最小;两种移栽频率下,随着 λ 值的增加,穴口横向尺寸的变化范围分别为 3.07~4.23 cm 和 3.08~4.05 cm,变化较小;λ 值的变化对地膜穴口纵向尺寸影响显著,对穴口横向尺寸影响不明显。移栽株距随着 λ 值

增加逐渐减小,提高移栽频率可以减小移栽株距。移栽频率为 $50 \text{株} \cdot \text{min}^{-1}$ 和 $55 \text{株} \cdot \text{min}^{-1}$ 时,倾斜率的变化范围分别为 $1.93\% \sim 3.54\%$ 和 $1.73\% \sim 3.91\%$,变化范围非常小, λ 值对倾斜率的影响不明显。

参考文献:

- [1] Liu C A, Li F R, Zhou L M, et al. Effects of water management with plastic film in a semi-arid agricultural system on available soil carbon fractions [J]. *European Journal of Soil Biology*, 2013, 57: 9-12.
- [2] 金鑫,杜新武,杨传华,等.移栽机曲柄滑槽式栽植机构设计与试验[J].*农业机械学报*, 2016, 47(5): 83-90.
- [3] 李华,曹卫彬,李树峰,等.2ZXM-2 型全自动蔬菜穴盘苗铺膜移栽机的研制[J].*农业工程学报*, 2017, 33(15): 23-33.
- [4] 俞高红,刘炳华,赵匀,等.椭圆齿轮行星轮系蔬菜钵苗自动移栽机构运动机理分析[J].*农业机械学报*, 2011, 42(4): 53-57.
- [5] 陈建能,王英,黄前泽,等.钵苗移栽机变形椭圆齿轮行星系栽植机构优化与试验[J].*农业机械学报*, 2013, 44(10): 52-56.
- [6] 陈建能,王伯鸿,张翔,等.多杆式零速度钵苗移栽机植苗机构运动学模型与参数分析[J].*农业工程学报*, 2011, 27(9): 7-12.
- [7] 刘洋,李亚雄,李斌,等.膜上移栽机关键部件的设计与试验研究[J].*干旱地区农业研究*, 2013, 31(3): 231-235.
- [8] 金鑫,李树君,杨学军,等.膜上移栽钵苗栽植机构运动分析与参数优化[J].*农业机械学报*, 2012, 43(S1): 29-34.
- [9] 贺智涛,郑治华,刘剑君,等.膜上移栽机的发展现状及存在的问题[J].*农机化研究*, 2014, 41(9): 252-255.
- [10] 李旭英,王玉伟,鲁国成,等.吊杯式栽植器的优化设计及试验[J].*农业工程学报*, 2015, 31(14): 58-64.
- [11] 封俊,秦贵,宋卫堂,等.移栽机的吊杯运动分析与设计准则[J].*农业机械学报*, 2002, 33(5): 48-50.
- [12] 崔巍,赵亮,宋建农,等.吊杯式移栽机栽植器运动学分析与试验[J].*农业机械学报*, 2012, 43(S): 35-39.
- [13] 王文明,窦卫国,王春光,等.2ZT-2 型甜菜移栽机栽植系统的参数分析[J].*农业机械学报*, 2009, 40(1): 69-73.
- [14] 肖志民.余摆线轨迹农机具最佳运动规范的确定[J].*黑龙江八一农垦大学学报*, 1985, 5(1): 91-100.
- [15] 竺开华,陈文钦.余摆线在农业机械上的应用[J].*数学的实践与认识*, 1975, 5(3): 11-16.
- [16] 赵丽霞,张广生.加工番茄机械起垄铺膜移栽与田间配套作业技术要求[J].*现代农业科技* 2013, 22(15): 129-130.
- [17] 刘洋,李亚雄,吕新民,等.吊篮式裸根钵苗膜上移栽机的设计[J].*西北农业学报*, 2010, 19(12): 202-206.3.
- [18] 胡建平,张建兵,何俊艺,等.移栽机行星轮转臂式栽植器运动分析与试验[J].*农业机械学报*, 2013, 44(10): 57-61.
- [19] 谢建华.垄作残膜捡拾机脱卸装置的研究[D].北京:中国农业大学, 2014.
- [20] 温浩军,牛琪,纪超.地膜机械化技术现状及分析[J].*中国农业大学学报*, 2017, 22(3): 145-153.

(上接第 290 页)

- [9] 李海同,万星宇,王华,等.油菜联合收获机集成式纵轴流脱离装置设计与试验[J].*农业机械学报*, 2017, 48(5): 108-115.
- [10] 陈红琳,陈尚洪,沈学善,等.不同收获方式对油菜子粒损失、含油量及种植效益的影响[J].*作物杂志*, 2015, (5): 74-79.
- [11] 金诚谦,吴崇友.油菜收获技术基础研究现状与发展[J].*农机化研究*, 2010, 1(1): 5-9.
- [12] Pari L, Assirelli A, Suardi A, et al. The harvest of oil seedrape (*Brassica napus* L.): The effective yield losses at on-farm scale in the Italian area[J].*Biomass and bioenergy*, 2012, 46: 453-458.
- [13] 梁苏宁,沐森林,汤庆,等.收获方式对油菜收获损失构成特征的影响[J].*农机化研究*, 2018, (3): 134-140.
- [14] 吴崇友,肖圣元,金梅.油菜联合收获与分段收获效果比较[J].*农业工程学报*, 2014, 30(17): 10-16.
- [15] 孟倩.筛选适合于机械化收获的油菜品种研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学, 2013.
- [16] 陈立,廖庆喜,宗望远,等.油菜联合收获机脱出物空气力学特性测定[J].*农业机械学报*, 2012, 43(增刊 1): 125-130.
- [17] 熊永森,王金双,陈德俊,等.小型全喂入双滚筒轴流联合收获机设计与试验[J].*农业机械学报*, 2011, 42(增刊 1): 35-38.
- [18] 陈度,王书茂,康峰,等.联合收割机喂入量与收获过程损失模型[J].*农业工程学报*, 2011, 27(9): 18-21.
- [19] 李海同,廖庆喜,李平,等.油菜联合收获机分体组合式割台的设计[J].*华中农业大学学报*, 2014, 33(5): 111-116.
- [20] 李宝筏.高等农业机械学[M].北京:中国农业出版社, 2003.
- [21] 李耀明,孙韬,徐立章.油菜多滚筒分离装置的性能试验与分析[J].*农业工程学报*, 2013, 29(8): 36-43.
- [22] 黄鹏,廖庆喜,宗望远,等.油菜联合收获机不同脱粒元件对脱粒性能的影响试验[J].*农业机械学报*, 2013, 44(增 2): 47-51.
- [23] 徐立章,李耀明,王成红,等.切纵流双滚筒联合收获机脱离分离装置[J].*农业机械学报*, 2014, 45(2): 105-108.
- [24] 中国农业机械化科学研究院.农业机械设计手册(下册)[M].北京:中国农业科学技术出版社, 2007.
- [25] 张敏,金诚谦,梁苏宁,等.风筛选式油菜联合收割机清选机构参数优化与试验[J].*农业工程学报*, 2015, 31(24): 8-15.
- [26] 江涛,吴崇友,伍德林.油菜联合收获风筛选的研究动态及发展趋势[J].*中国农机化学报*, 2014, 35(5): 288-291.
- [27] 兰心敏,李民.油菜联合收获机割台损失率测定方法的研究[J].*中国农机化*, 2011, (4): 70-74.
- [28] 中华人民共和国农业部. NY/T 1231-2006 油菜联合收获机质量评价技术规范[S]. 2006.
- [29] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 8007-2008 收获机械 联合收割机 试验方法[S]. 2008.