

链夹式移栽机立苗机理分析与试验

袁文胜 金诚谦 吴崇友 胡敏娟

(农业部南京农业机械化研究所,南京 210014)

摘 要 针对链夹式移栽机用于油菜移栽时存在的对土壤适应性差、易倒伏等问题,对链夹式移栽机结构、栽植部件工作原理及秧苗在栽植过程中的运动特性进行分析。运动特性分析结果表明,在零速投苗位置,秧苗夹持部位绝对运动轨迹为摆线,而根部轨迹为余摆线,上部为短摆线,即秧苗有向机具前进方向倾斜的趋势,特别是对于较大株高的油菜苗更加明显。针对现有移栽机存在的这一问题,采用对比试验的方法,对投苗角度与立苗率的关系进行研究。改变相关零部件的设计参数,设置了提前投苗、零速位置投苗、滞后投苗3种情形的对比试验。结果表明:提前 5° 投苗,秧苗的优良率为45.6%、倒伏率5.3%,均优于零速投苗,且明显优于滞后投苗情形下的相应指标。试验结果与运动学分析结果一致。

关键词 移栽机;链夹式;机理;栽植;秧苗

中图分类号 S 223.92

文章编号 1007-4333(2015)06-0277-05

文献标志码 A

Theoretical analysis and experiments of transplanting mechanism of chain-clamp transplanter for rapeseed seedlings

YUAN Wen-sheng, JIN Cheng-qian, WU Chong-you, HU Min-juan

(Nanjing Research Institute of Agricultural Mechanization, Ministry of Agriculture, Nanjing 210014, China)

Abstract During rapeseed seedling transplanting by chain-clamp transplanter, the seedlings are easy to go lodging, which reduces the quality of transplanting. To solve this problem, transplanting mechanism of chain-clamp transplanter is analyzed in this paper. Firstly, the structure of chain-clamp type transplanting machine is specified, and the working principles of transplanting components are analyzed. Secondly, Motion characteristics of rapeseed seedlings during planting process are analyzed. According to the analysis, absolute motion trajectory of the clamping part of seedling clamp is cycloid, locus of seedling root part is trochoid, and the upper part is a short cycloid. This suggests that seedlings have displayed forward tendency. Tests show that, for tall seedlings like rapeseed seedlings, the forward tendency reduced the vertical degree and standing rate. In order to find the method to solve this problem, comparative tests of three kinds of circumstances are carried out, which are dropping seedlings in zero speed position, advanced position and lagging position. The results show that chain-clamp dropping seedlings at 5 degrees before zero speed position bring a better vertical degree and standing rate for seedling than in zero speed position, and much better than that in 5 degrees behind zero speed position.

Key words transplanter; chain-clamp type; mechanism; transplant; seedlings

油菜是我国南方地区的主要油料作物,长江流域冬油菜种植面积占全国的85%左右^[1-2],是我国油菜的主要产区。长江流域油菜大部分采用与水稻

轮作的种植模式,为了使油菜生长期不因水稻生产而缩短,需要在水稻收获前就进行油菜育苗,水稻收获后再将油菜苗移栽到大田里。资料显示,长江流

收稿日期:2014-12-27

基金项目:国家科技支撑项目(2013BAD08B00);江苏省农机三项工程项目(NJ2011-44; NJ2012-10; NJ2014-28);公益性行业科研专项经费项目(201203057)

第一作者:袁文胜,副研究员,主要从事农作物种植机械化技术研究, E-mail: ywensheng@sohu.com

域冬油菜种植区 70%左右的油菜采用育苗移栽的种植方式^[3-4]。传统的油菜移栽均由人工完成,近年来随着劳动力价格上涨,农民对油菜移栽机械的需求越来越强烈^[5-7]。然而,目前国内还缺乏实用的油菜移栽机具。部分单位在引进基础上改进的链夹式移栽机,在黏重土壤中移栽立苗率低,不能适应南方油菜移栽土壤条件。研究链夹式移栽机的移栽立苗机理,可为适用于稻后油菜移栽的链夹式移栽机改进提供理论基础。

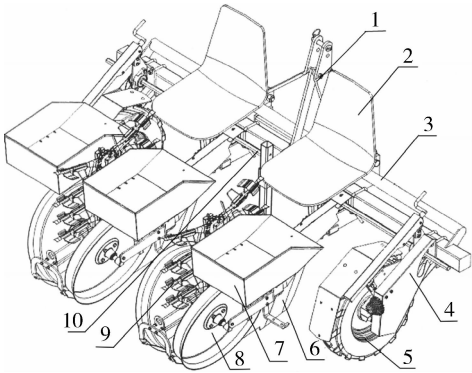
油菜移栽机械化难度大,实际生产中尚缺乏实用机具。许多科研单位针对油菜移栽机械化技术开展了一些的探索研究^[8-12]。农业部南京农业机械化研究所与扬州大学合作开展了油菜毯状育苗、机具自动取苗快速栽插这一全新的油菜移栽方式的研究,在育苗技术和机具研发方面均取得初步成功,目前正在进行技术完善和机具优化设计^[13]。一些科研单位在引进国外链夹式蔬菜移栽机的基础上进行改进设计,用于国内油菜移栽。然而实际应用表明,链夹式油菜移栽机械适应松散土壤条件下的移栽作业,对于水稻收获后的黏重土壤,移栽的立苗率低^[14-16]。由于缺乏对立苗机理的深入分析,用于油菜移栽的链夹式移栽机只是对国外机型进行了整机配置方面的改变,栽植系统的核心部件保持不变,所以不能适应国内黏重土壤。本研究旨在对链夹式移栽机的工作原理进行分析,对移栽过程中秧苗立苗机理进行研究,并且对研究结果进行试验验证,以期探明立苗机理及影响因素,为链夹式油菜移栽机的改进提供依据。

1 链夹式油菜移栽机结构及工作原理

1.1 链夹式移栽机结构及工作过程

链夹式移栽机由机架、行走驱动系统、座椅、苗箱、开沟器、栽植机构、覆土镇压轮和传动系统等部分组成(图 1)。图中三点悬挂机构 1 和横梁 3 构成机架的主要部分,其他工作部件连接在机架上,三点悬挂机构连接在拖拉机三点悬挂装置,牵引移栽机工作。行走驱动系统主要由地轮 5 和地轮高度调节机构等组成,移栽作业时,左右两边的地轮与土壤接触,为移栽机提供支撑,地轮在地表滚动,通过链传动驱动六角轴 10,再传递给栽植机构,为栽植机构提供动力。栽植机构由开沟器 6、栽植部件 9、覆土镇压轮 8 等组成,是移栽机的核心部分,完成开沟、栽植、覆土镇压等关键移栽工作。另外,座椅 2 是供

喂苗人员乘坐的,每行 1 个。苗箱 7 用来存放整理好的秧苗,供喂苗人员抓取。



1. 三点悬挂机构 Three point hitch; 2. 座椅 Seat; 3. 横梁 Cross beam; 4. 传动系统 Transmission system; 5. 地轮 Ground wheel; 6. 开沟器 Furrow opener; 7. 苗箱 Seedlings container; 8. 覆土镇压轮 Soil covering and pressing wheel; 9. 栽植部件 Transplanting parts; 10. 六角轴 Hexagonal axis

图 1 链夹式移栽机结构示意图

Fig. 1 Structure of transplanter with chain-clamp planting apparatus

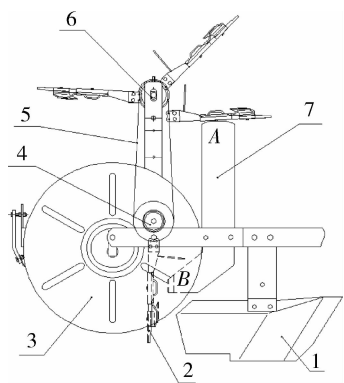
移栽机工作过程为:拖拉机通过三点悬挂机构 1 牵引移栽机前进,地轮 5 在地表滚动,通过传动系统 4 驱动六角轴 10 转动,六角轴 10 将动力分到每行,通过链传动系统驱动栽植部件 9;每行 1 个喂苗人员坐在座椅 2 上,抓取苗箱 7 中的秧苗喂入栽植部件 9 的苗夹中,苗夹运动到下方开沟器 6 开好苗沟内将秧苗释放,随后在覆土镇压轮 8 的作用下覆土压实,完成移栽作业。

1.2 栽植机构工作原理

栽植机构主要由开沟器、秧苗夹持器、链轮链条传动机构、夹持滑道、覆土镇压轮等部分组成(图 2)。开沟器为靴式开沟器,前部开有刃口,以便于将土壤划开,中空结构,工作时秧苗夹持器可从开沟器中间摆过。秧苗夹持器通过一端的苗夹的开合对秧苗进行释放或夹持,秧苗夹持器另外一端固结在链条上。链条 5 由上链轮 6 和下链轮 4 支承,来自于行走驱动机构的动力传输到下链轮 4 上,驱动链条运动,从而带动秧苗夹持器 2 运动。夹持滑道 7 由两块平行的滑道板构成,秧苗夹持器 2 进入两块滑道板之间时,秧苗夹持器 2 上的开合机构受到滑道板的力,使苗夹夹紧。秧苗夹持器在运动过程中,位于夹持滑道 7 上端 A 点至下端 B 点之间时,苗夹处于夹紧状态;当秧苗夹持器脱粒夹持滑道 7

的 B 点以后,苗夹在弹性力作用下自动打开。

移栽机作业过程中,行走驱动机构的动力带动下链轮转动,从而使秧苗夹持器在链条作用下运动。在到达夹持滑道上端 A 点之前,人工将秧苗喂入苗夹。进入夹持滑道之后苗夹夹紧秧苗从上而下运动,到达 B 点时,秧苗夹持器从夹持滑道脱出,苗夹打开将秧苗投入开沟器开好的苗沟内。苗夹打开时处于开沟器尾部,投入苗沟内的秧苗在沟两侧土壤回流作用下直立固定,再由覆土镇压轮将两侧土壤推向秧苗周围并压实,完成秧苗栽植作业。



1. 开沟器 Furrow opener; 2. 秧苗夹持器 Seedling clamp; 3. 覆土镇压轮 Soil covering and pressing wheel; 4. 下链轮 The lower sprocket; 5. 链条 Chain; 6. 上链轮 The upper sprocket; 7. 夹持滑道 Holding slideway

图2 栽植机构示意图

Fig. 2 Structure of transplanting mechanism

2 秧苗运动学分析

绝大多数农作物栽植在地表都要求茎秆呈直立状态,为了达到这一目的,要求定植瞬间秧苗茎秆相对于地面呈静止状态,也就是要保证秧苗在直立状态下覆土镇压。因此要求连续运转的机具在秧苗栽植进土壤的瞬间为秧苗创造一个相对静止状态,这就是栽植机械的零速原理^[17]。

对于链夹式移栽机,机具设计时将秧苗夹持器夹持秧苗的部位在定植瞬时的绝对速度设为零速。如果将秧苗夹持器夹持秧苗的部位看作一个点,不考虑秧苗长度的影响,并且使秧苗重心点与秧苗夹持器夹持点重合,就能保证定植瞬间秧苗零速。秧苗运动轨迹分析见图3。秧苗随移栽机一起以速度 v 向前运动,同时,当秧苗夹持器位于下部时,秧苗随秧苗夹持器绕下链轮中心点以角速度 ω 作圆周

运动。建立如图3所示的坐标系,假设秧苗重心点 K 与秧苗夹持器夹持点重合,则 K 点运动轨迹方程^[17-18]为:

$$\begin{cases} x = vt + R_K \cos \omega t \\ y = R_K - R_K \sin \omega t + h_K \end{cases} \quad (1)$$

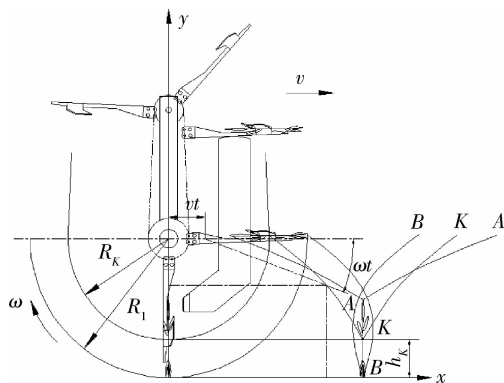
设秧苗重心 K 的速比系数 $\lambda_K = \frac{R_K \omega}{v}$, 则 K 点的运动轨迹方程为:

$$\begin{cases} x = R_K \left(\frac{\omega t}{\lambda_K} + \cos \omega t \right) \\ y = R_1 \left(1 - \frac{R_K}{R_1} \sin \omega t \right) \end{cases} \quad (2)$$

式中: R_K 为秧苗重心点 K 在相对运动中的回转半径; R_1 为秧苗根系最远点的回转半径; h_K 为秧苗重心点 K 至根部最远点的距离。

当 $\lambda_K = 1$ 时, $R_K \omega = v$, 轨迹曲线为摆线; $\lambda_K > 1$ 时, $R_K \omega > v$, 轨迹曲线为余摆线; $\lambda_K < 1$ 时, $R_K \omega < v$, 轨迹曲线为短摆线。

$\lambda_K = 1$, $R_K \omega = v$ 时, 秧苗夹持器夹持秧苗在重心点 K 向后的速度与极具前进速度大小相等、方向相反, 秧苗重心点瞬时绝对速度为零, 符合栽植机械的零速原理。



v , 移栽机前进速度; ω , 秧苗夹持器绕下链轮中心点的角速度; R_K , 秧苗重心点 K 相对于下链轮中心点的回转半径; R_1 , 秧苗根部相对于下链轮中心点的回转半径; h_K , 秧苗重心点 K 至根部最远点的距离。

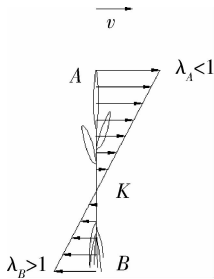
v , Forward speed of transplanter; ω , Angular velocity of the clamp around the sprocket center point; R_K , Gyration radius of gravity center K of the seedling relative to the center of lower sprocket; R_1 , Gyration radius of seedling roots relative to the center of lower sprocket; h_K , The distance between gravity center K of the seedling and seedling roots.

图3 秧苗运动轨迹

Fig. 3 Seedling locomotory track

对于矮小的蔬菜苗,只需使秧苗在零速投苗点保持直立的状态释放秧苗,栽植质量就比较高。对于具有一定长度的油菜大苗,在被释放的瞬间各部分的速度分布见图4。秧苗释放瞬间根部B点接触沟底,速度变为零,则秧苗具有绕根部向机具前进方向倒伏的趋势。如果不考虑其他因素,则栽植后的秧苗都是朝机具前进方向倒伏的,可见,目前链夹式移栽机设计成在竖直位置释放秧苗,虽然满足了零速投苗原理,但是没有考虑具有一定长度的秧苗运动特性,所以整体栽植立苗率没有达到最佳的状态。

当然,根据秧苗栽植过程中运动特性综合分析可知,栽植质量与很多因素有关:秧苗放置在秧苗夹持器上的位置、秧苗尺寸形态、秧苗夹持器与开沟器相互位置关系等,另外还包括栽植过程中土壤运动的不确定性、由于土块造成的苗沟形状不规则等偶然因素。



λ_A , 苗顶部 A 点的速比系数; λ_B , 苗顶部 B 点的速比系数; v , 移栽机前进速度。
 λ_A , Velocity-ratio coefficient at the top A of the seedling; λ_B , Velocity-ratio coefficient at the root tip B of seedling; v , Forward speed of transplanter.

图4 秧苗速度分布图

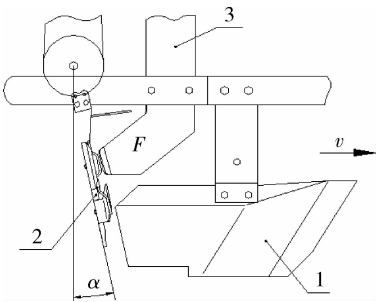
Fig. 4 Seedling velocity profile

3 改进设计与试验

3.1 改进的设计方案

为尽量克服移栽瞬间秧苗的倒伏趋势,本研究提出在苗夹未到达竖直位置之前提前投苗的方案,提前角度为 α (图5)。在倾角为 α 状态下释放秧苗,使秧苗在前倾运动趋势作用下正好保持竖直时进行覆土立苗,从而提高总体立苗率。为使秧苗提前打开,缩短了苗夹夹持滑道下方F端的长度。另外,由于秧苗依靠土壤的回流来直立固定,需要相应的缩短开沟器尾部的长度,使秧苗在被释放的位置土壤可以绕过开沟器尾部回流进沟内使秧苗固定。

根据经验预设提前角度 $\alpha=5^\circ$ 。另外为了使试验对比效果更明显,设置一组 $\alpha=-5^\circ$,即苗夹滞后 5° 释放,开沟器尾部相应延长;另一组 $\alpha=0$ 进行对比试验。提前 5° 投苗和滞后 5° 投苗2种情形下对夹持滑道和开沟器等相关部件分别进行改进设计,装配到移栽机上,在相同的作业条件下分别进行移栽试验。



v , 移栽机前进速度; α , 苗夹在释放时与竖直位置的夹角。
 v , Forward speed of transplanter; α , Advance angle relative to the vertical position when clamp is opened.
1. 开沟器 Furrow opener; 2. 秧苗夹持器 Seedling clamp; 3. 夹持滑道 Holding slideway.

图5 栽植株机构示意图

Fig. 5 Structure of transplanting mechanism

3.2 试验条件

参考农业行业标准 NY/T 1924—2010《油菜移栽机质量评价技术规范》规定的试验方法评价栽植质量。为了表示出栽植后秧苗的直立程度,设秧苗栽植后与地面夹角 $\theta>60^\circ$ 、 $60^\circ\geq\theta\geq30^\circ$ 、 $\theta<30^\circ$ 3个区间,分别代表直立度优良、基本合格和倒伏。对比试验在江苏省农科院试验田内进行,土壤类型为壤土,前茬作物为棉花,经过旋耕机耕整,土壤细碎、松软,含水率 $<8\%$,地表平坦。油菜苗为裸根苗,叶龄4~5叶,苗高200~250 mm。

3.3 试验数据及结果

对于提前投苗角 α 为 5° 、 0° 和 -5° 这3种情况各进行1组试验,每次试验栽植株数为120株,每组试验3次,分别计算出优良、基本合格和倒伏株数的平均值(表1)。

从试验结果可以看出,提前投苗角 $\alpha=5^\circ$ 栽植秧苗的优良率高于 $\alpha=0$ 和 $\alpha=-5^\circ$,倒伏率也明显小于后2种情况。滞后投苗($\alpha=-5^\circ$)情况下,栽植的直立度各项评价指标均较低,倒伏率高于行业标准规定的7%上限,性能指标不合格。试验结果与理论分析基本相符。

表 1 投苗角度与秧苗直立度试验结果

Table 1 Angle of release and seedling perpendicularity experiment data

投苗角度 $\alpha/(^{\circ})$	总移栽株数	优良株数	基本合格株数	倒伏株数	优良率/%	基本合格率/%	倒伏率/%
Seedling release angle	Total number of seedlings	Number of well planted	Number of qualified	Number of lodging	Excellent rate	Qualified rate	Lodging percentage
5	120	54.7	59.0	6.3	45.6	49.2	5.3
0	120	50.3	62.3	7.3	41.9	51.9	6.1
—5	120	47.0	63.7	9.3	39.2	53.1	7.8

4 结 论

1)本研究在分析链夹式移栽机的结构及工作过程的基础上,对栽植过程中的秧苗进行运动学分析。研究表明秧苗在竖直位置虽然满足“零速投苗”的原理,但秧苗具有前倾的运动趋势。对于矮小秧苗,由于栽植时秧苗根部及顶部相相反方向的运动速度较低,栽植后倾斜不太明显,而对于油菜这种相对较高的裸根苗,栽植过程中会在一定程度上造成立苗率降低。

2)为尽可能提高立苗质量,提出提前投苗的方案,并且根据经验预设提前角度为 5°。为验证这一改进的效果,设置现有竖直位置投苗和滞后 5°投苗 2 种对比试验。针对提前投苗、零速投苗、滞后投苗 3 种情形,在相同的试验条件下开展对比试验。试验结果表明,提前 5°投苗,秧苗的优良率为 45.6%、倒伏率 5.3%,优于零速投苗和滞后投苗 2 种情形下的相应指标。试验结果与栽植机理分析结果一致。

参 考 文 献

[1] 宗锦耀.我国油菜生产机械化的发展现状与对策研究[J].农业技术与装备,2008(5):8-9

[2] 吉健安,薛艳凤,陈震.江苏省油菜生产现状及发展对策[J].江苏农业科学,2012,40(4):9-11

[3] 吴崇友,金诚谦,肖体琼,等.我国油菜全程机械化现状与技术

影响因素分析[J].农机化研究,2007(12):207-210

[4] 吴崇友,易中懿.我国油菜全程机械化技术路线的选择[J].中国农机化,2009(2):3-6

[5] 高正路.2ZY-2 型油菜移栽机的设计[J].江苏农机与农艺,2001(1):6-7

[6] 袁文胜,吴崇友.我国油菜移栽机械的现状和发展趋势分析[J].中国农机化,2007(6):61-63

[7] 汤修映,侯书林,朱玉龙,等.油菜移栽机械化技术研究进展[J].农机化研究,2010(4):224-227

[8] 庞晓远.油菜钵苗移栽机取苗输送装置试验研究[D].长沙:湖南农业大学,2013

[9] 陈超,郑松松,胡俊康,等.稻板田秧苗移栽器的设计[J].科技展望,2014(15):109-110

[10] 肖名涛,孙松林,李凯,等.油菜移栽机槽轮间歇式送苗机构的优化设计[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2014,40(2):211-215

[11] 赵志国,刘葛山.稻板田油菜移栽机设计[J].当代农机,2011(4):78-79

[12] 李桂文.棉花裸苗移栽机取喂苗机构设计与试验研究[D].长沙:湖南农业大学,2013

[13] 过国忠,吴锡平,陈森青.我国油菜钵苗培育及机械移栽技术取得突破[N].科技日报,2014-11-5(008)

[14] 袁文胜,吴崇友,于修刚,等.粘重土壤条件下油菜移栽机械化研究前景初探[J].中国农机化,2011,32(1):69-71,77

[15] 于修刚.链夹式稻板田油菜栽植系统的分析与优化[D].北京:中国农业科学院,2010

[16] 方圆.油菜机械化种植[N].江苏农业科技报,2009-9-2(003)

[17] 张波屏.现代种植机械工程[M].北京:机械工业出版社,1997:280-288

[18] 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

责任编辑：刘迎春