

喷洒式肉苁蓉接种机设计与试验

尤佳¹,杨文奇¹,韩长杰¹,高杰³,刘永萍²

(1.新疆农业大学机电工程学院,新疆乌鲁木齐830052;2.新疆林业科学院造林治沙研究所,新疆乌鲁木齐830000;
3.中收农牧机械有限责任公司,新疆乌鲁木齐830052)

摘要:针对肉苁蓉产业化发展对机械播种装备的需求,以提高肉苁蓉接种效率、降低劳动强度,实现肉苁蓉机械化、规模化种植为目的,研制了一种基于液体施种的肉苁蓉接种机。对样机关键部件进行了分析与设计,确定了链式开沟、接种、覆土等装置的结构及工作参数,解析了核心部件作业机理,并进行了初步试验。结果表明,当拖拉机行走速度为 $340\text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$ 、动力输出轴转速为 $540\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 、喷种泵压力 0.2 MPa 时,测得开沟深度为 50 cm 、开沟宽度为 30 cm 时,喷种覆盖面宽度 4 cm ,可满足肉苁蓉的播种农艺要求,且开沟、接种效果良好,覆土平整,能够实现机械化接种。

关键词:肉苁蓉;喷施式接种机;链式开沟;接种量控制系统

中图分类号:S232.9 文献标志码:A

Design and test of sprayed *Cistanche deserticola* seeder

YOU Jia¹, YANG Wenqi¹, HAN Changjie¹, GAO Jie³, LIU Yongping²

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China;
2. Institute of Forestation and Sand Control, Xinjiang Academy of Forestry Sciences, Urumqi, Xinjiang 830000, China;
3. Zhongshou Agricultural and Animal Husbandry Machinery Co., Ltd, Urumqi, Xinjiang 830052, China)

Abstract: Aiming at the demand for mechanical seeding equipment for the industrialization of *Cistanche deserticola* and in order to improve the efficiency of *Cistanche deserticola* inoculation, reduce labor intensity, and achieve the purpose of mechanized and large-scale planting of *Cistanche deserticola*, a *Cistanche deserticola* seeding machine based on liquid seeding was developed, and a prototype test was carried out. The key components of the prototype are analyzed and designed. The structure and working parameters of the chain opener, inoculation, and soil covering device were determined. The operation mechanism of the core components was analyzed and the preliminary test was carried out. The results showed that when the tractor walking speed was $340\text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$, the power output shaft speed was $540\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$, the seed pump pressure was 0.2 MPa , the furrow depth was 50 cm , the furrow width was 30 cm , and the seed spraying coverage width was 4 cm , which could meet the agronomic requirements of *Cistanche deserticola*. The effect of ditching and inoculation was good, and the covering soil was flat, which can realize mechanized inoculation.

Keywords: *Cistanche deserticola*; spraying inoculator; chain trenching; inoculation quantity control system

肉苁蓉(*Cistanche deserticola* Ma),别名大芸,为列当科肉苁蓉属,多年生寄生性草本植物,寄生于沙漠和荒漠地区的梭梭、红柳等植物根部,主要分布在内蒙古和西北地区。肉苁蓉的寄主梭梭根系发达,根向下弯曲生长,抗旱、耐高温、耐寒、耐风

蚀、耐盐碱,是一种重要的防风固沙植物,被称为沙漠卫士^[1]。肉苁蓉富有极高的药用价值,是传统名贵中药材,现属国家二级保护植物。肉苁蓉巨大的市场需求推动了其种植产业的发展,在我国西北自然产区已经成为一种新的栽培作物^[2]。将种植肉苁蓉产

生的经济效益与种植梭梭产生的生态效益相结合^[3],以林养林,对荒漠治理工作有重要意义^[4]。

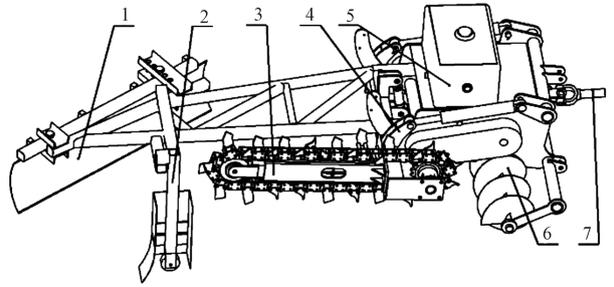
目前种植肉苁蓉多采用人工或工程机械挖沟后再由人工喷施种子或点种,但荒漠中工作环境恶劣,人工种植肉苁蓉效率低、播种成本高、劳动强度大,且挖沟后播种覆土前寄主植物根部直接暴晒于太阳下,会导致一部分根死去,影响了肉苁蓉的接种率^[5-9]。国内也有少数学者研究肉苁蓉接种器,虽在一定程度上缓解了劳动强度,但部分工序还需人工辅助完成,不利于肉苁蓉的规模化种植^[10-12]。目前,针对肉苁蓉种植中的问题研制了肉苁蓉播种机^[13-19]。何磊等^[20]研制出一种气吹式肉苁蓉播种机,通过偏置开沟圆盘在沙土中开出种沟,利用窝眼式排种器排种,采用气吹式将种子吹射入沟内,播种过程中利用沙土的快速回流实现 3 层播种。该机械仅适用于沙土种植肉苁蓉,且采用气吹的方式难以保证种子附着在接种壁,导致种子接种率低;何生明等^[21]设计的肉苁蓉播种机采用犁刀进行开沟,播种机构进行撒播作业,在开沟作业过程中断根导致大部分根被扯断,寄主植物的断根位置大部分不在沟壁上,影响接种成活率,同时直接撒播也造成种子浪费。现有的肉苁蓉种植机械主要采用机械播种和气吹式播种的方式,目前尚未有较为成熟的肉苁蓉播种机在实际生产中得到推广应用。肉苁蓉种子颗粒极小(千粒重只有 0.09 g,1 g 种子约 1.1 万粒),在采用机械化种植过程中导致大部分种子浪费,且未能与寄主林木根系等接触,致使肉苁蓉接种率和产量低。

针对肉苁蓉产业化发展对机械播种装备的需求,结合生产实际,本文研制了一种喷洒式肉苁蓉接种机。该接种机可以在肉苁蓉寄主植物旁侧根处,一次性完成开沟、接种、覆土作业,同时将种子直接接入寄主植物的根部,有效提高接种成活率,实现肉苁蓉的机械化、规模化种植。

1 整机结构及工作原理

1.1 整机结构

肉苁蓉接种机由机架、覆土装置、导向柱及种子喷施装置、链式开沟装置、液压提升装置、种箱、螺旋送土装置、传动箱组件等组成。导向柱及种子喷施装置包括导向板和种子喷施喷头,种子喷施装置位于导向板背侧。工作时与导向板接触的沟壁称为导向壁,另一侧称为接种壁,是种子喷施装置的作用面。肉苁蓉接种机的结构示意图如图 1 所示。



1.覆土装置;2.导向柱及种子喷施装置;3.链式开沟装置;
4.液压提升装置;5.种箱;6.螺旋送土装置;7.传动箱组件
1.Covering device; 2.Guide column and seed spraying device;
3.Chain ditching device; 4. Hydraulic lifting device; 5.Seed box;
6.Screw soil feeder; 7.Gearbox components

图 1 喷洒式肉苁蓉接种机结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of sprayed *Cistanche deserticola* seeder

1.2 工作原理

作业时,链式开沟装置进行开沟作业,通过链传动传递至主动链轮轴,带动开沟器转动,实现开沟链条逆时针转动,开沟器侧端的开沟刀由下而上切削土壤,进行开沟;液压提升装置可以实现开沟器初始入土作业、提升出土及开沟深度的调节;螺旋送土装置将链式开沟装置抛送的土输送至覆土装置一侧,导向柱的导向板紧贴导向壁起到导向作用;种箱中的搅拌装置将从隔膜泵吸出的种子混合均匀,接种量控制器调整喷射时间、间隔时间来控制接种量,由种子喷施装置喷射种子混合液于接种壁之上;接种完成后,覆土装置则将土重新填埋回链式开沟装置所开出的沟中,完成肉苁蓉的接种作业。

1.3 主要技术参数

喷洒式肉苁蓉接种机的主要技术参数如表 1 所示。

2 主要工作部件设计

2.1 开沟装置及工作效率

肉苁蓉种子主要寄生于寄主植物新生出的根部,在植物旁开沟时切割植物的侧根,被切割的根部会生新根,增加接种成功率。因此该机的开沟部分采用链式开沟,使用链式切割开沟可使多数根部断裂面在一个平面上,尽可能保证新根位置相对统一,利于肉苁蓉种子的接种成活^[22-24]。为了使开沟刀更接近宿主植物,将开沟刀部分安装在侧边,开沟链条逆时针转动时,开沟刀从下而上切削土壤,开沟的同时把接种壁上的寄主植物侧根切断,开沟器右端的螺旋输送机将所切沟土输送到沟旁一侧。在作业过程中,开沟器的入土作业、开沟深度的调节及提升出土作业通过驱动液压缸活塞杆的伸缩,

调节提升装置转动一定角度实现。开沟装置如图2所示(见258页)。

开沟刀式开沟机的一个重要部件,开沟刀的性能及开沟刀的空间布置直接影响开沟的作业行性能。开沟时既要保证开沟刀有足够的线速度,又要避免线速度过快导致的强烈振动,开沟装置具体参数如表2所示。

表1 喷洒式肉苕蓉接种机的主要技术参数

Table 1 Main technical parameters of sprayed *Cistanche deserticola* seeder

| 参数 Parameter | 单位 Unit | 数值 Value |
|--|--------------------|------------|
| 外形尺寸(长×宽×高) Dimensions (Length×Width×Height) | m | 4×1.6×0.75 |
| 接种行数 Number of inoculation lines | 行 Row | 1 |
| 整机质量 Overall quality | kg | 850 |
| 配套动力 Auxiliary power | kW | ≥74 |
| 作业速度 Operation speed | km·h ⁻¹ | 0.2~0.5 |
| 开沟深度 Ditching depth | m | 0~0.8 |
| 开沟宽度 Trench width | m | 0.3 |

表2 开沟装置参数表

Table 2 Ditching device operating parameter table

| 作业参数 Operation parameter | 单位 Unit | 参数值 Value |
|---|---------------------|--------------|
| 开沟深度 H Ditching depth H | m | 0~0.8 |
| 开沟宽度 B Trench width B | m | 0.3 |
| 开沟刀线速度 v_c Linear speed of ditching cutter v_c | m·s ⁻¹ | 2 |
| 动力输出转速 n Power take-off speed n | r·min ⁻¹ | 540 |
| 开沟机工作速度 v_s Working speed of ditcher v_s | m·h ⁻¹ | 200~500 |

根据肉苕蓉的种植要求,开沟深度取0.5 m,开沟宽度取0.3 m,同时为了配合种子喷洒系统开沟刀线速度取2 m·s⁻¹,接种机工作速度取500 m·h⁻¹,计算开沟装置理论需要满足的工作效率,选择合适的开沟装置。

开沟装置理论工作效率为 η ,按式(1)计算。

$$\eta = HBV_s \quad (1)$$

式中, H 为开沟深度(m); B 为开沟宽度(m); V_s 为开沟装置工作速度(m·h⁻¹)。

由式(1)得出, $\eta = 75 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$,开沟装置的实际工作效率为90 m³·h⁻¹,满足工作需求。

2.2 覆土装置

覆土装置直接固定在机架上,刮土板距地面高度由螺栓调节,前行时靠自身重力压土。当种子喷

施到种沟后,刮土板将种沟一侧的土覆盖所开种沟。种子喷施时,刮土板位与喷头距离过近使覆回的土从喷头后上方盖入影响喷头喷施,如图3a所示。在作业前,需调整刮土板与喷头距离。同时,刮土板的角度不同,覆土效果将不同。

在不同环境土质和湿度下,开沟后土壤体积不一致,作业前根据土壤物理力学性质将刮土板调至适当角度,保证种沟一侧的土壤能够完全覆盖所开种沟,达到较好的覆土效果,同时保证刮土板与喷头距离合适。刮土板角度与喷头距离通过刮土板一端连接板的螺栓孔位置调节。图3b所示为刮土板位与喷头位置合适且在沙土及土壤松软条件时喷头附近加挡土板保护。

2.3 种子喷施及接种量控制系统

肉苕蓉种子重量轻、体积小,依靠其自重播种难度大,种子损耗多,接种成功率低。若将种子与促进植物侧根生长的营养液体一起混合喷洒到接种沟中进行接种,种子更容易附着且寄主植物新生长的根易向营养液的位置生长,增加接触肉苕蓉种子的机会,寄主植物根系分泌物也可直接刺激肉苕蓉种子萌发,从而有效提高接种成活率。

种子使用量与接种存活率有关,种子用量少接种率低,用量多造成种子浪费。合适的接种量需要通过试验和经验共同判断,一般每10 cm接种段种子数量应大于20粒。种子浓度直接控制较为困难,因此采用改变喷射频率进行控制的方法来控制接种量,同时在种箱中设有搅拌装置,将从隔膜泵吸出的种子混合均匀,保证接种量均匀。

寄主植物人工种植其株距一定,根据种植肉苕蓉的经验,越靠近植物本体主根,肉苕蓉成功生长后体型越大,价值越高。除主根外其它根系生长的肉苕蓉质量低,且周围寄生数越多则对主根寄生肉苕蓉产生不良影响越大^[25-26]。为了提高主根寄生肉苕蓉数量,接种作业时采用定速开沟,根据寄主植物株距及接种距离在喷种作业前调节合适喷射时间及喷射间隔时间,从而保证每段接种量尽可能一致。在喷射作业时,种子尽量喷射在靠近寄主植物的一段距离上,可以有效地提高肉苕蓉长出后的质量,一般最佳接种距离为靠近寄主植株的0~20 cm范围内,如图4所示。在试验过程前,提前设置喷射时间和停喷时间,具体操作:当车速为低速档,速度为 $v = 0.94 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,根据已知的株距 $a = 0.8 \text{ m}$ 和接种段长度 $b = 0.4 \text{ m}$,计算出喷射时间 $T_1 = 0.43 \text{ s}$,停喷时间 $T_2 = 0.64 \text{ s}$ 。

种子喷施使用隔膜泵将种子混合液体吸出,隔膜泵并联安全阀,如图 5 所示。当电磁阀关闭时,种子混合液体在隔膜泵与安全阀形成的回路中循环,可以减少管路压力同时防止种子在管路中沉淀,种箱中有搅拌装置保证隔膜泵吸出的种子混合液体均匀,当电磁阀得电时种子混合液体喷施出。

喷施式肉苁蓉接种机接种量控制器使用自制控制器,电源模块使用 LM2940 稳压降压芯片,可输入 6~26 V 电压。微处理器采用 Arduino nano,其处理器型号为 Atmega 328P,是高性能、低功耗 AVR 8

位微控制器。显示模块使用 8 位共阴数码管,指示灯使用 3 个发光二极管,按键开关使用 3 个微动开关,执行器为继电器控制的电磁阀。

接种量控制器工作前根据植株距离及接种距离调整喷射时间和间隔时间,指示灯指示当前数码管显示的数据是喷射时间或间隔时间,设定后点击开始,控制器运转,调整合适后长按开始键 3 秒保存数据,下次开机自动调取保存的数据,控制器外观如图 6 所示。

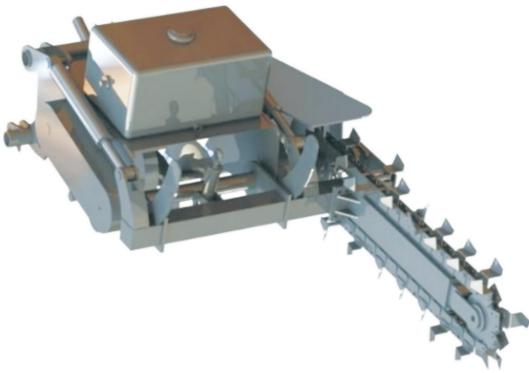


图 2 开沟装置侧移

Fig.2 Ditching device side shift



(a)调整前覆土效果
Covering effect before adjustment



(b)调整后覆土效果
Covering effect after adjustment

图 3 开沟及覆土效果对比

Fig.3 Comparison of trenching and covering effect

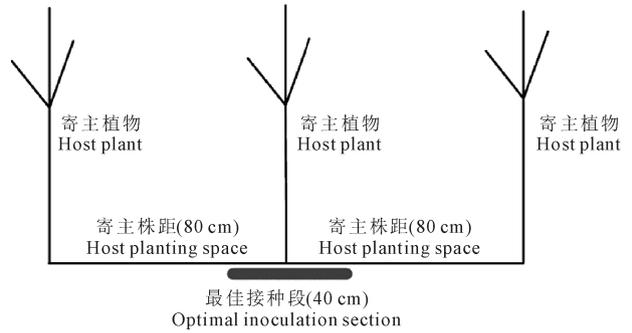


图 4 接种示意图

Fig.4 Vaccination schematic

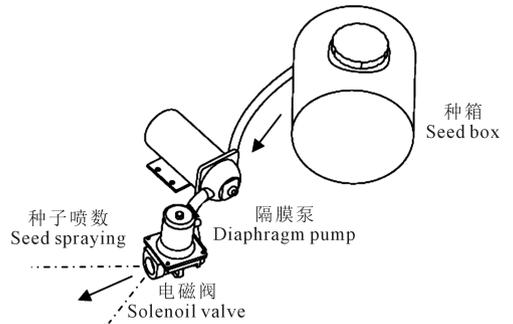


图 5 种子喷施系统简图

Fig.5 Seed sprinkling system diagram

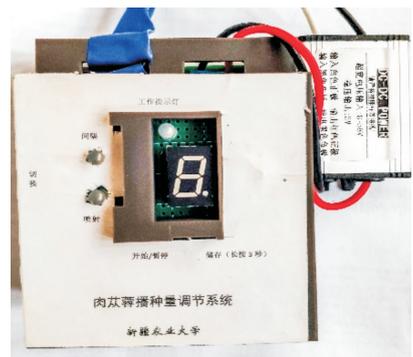


图 6 播种量控制器

Fig.6 Seeding volume controller

3 试验与分析

3.1 接种效果试验

由于在接种时一次性完成开沟、接种并覆土,大田试验时无法直接检测种子喷施的效果,因此在大田试验前对种子喷施效果进行检测试验。

试验时调整喷射时间为 0.5 s,停顿时间为 10 s,使用 10 组 A4 纸(纸后有挡板防止纸被击穿)阻挡喷射出的种子液体,数出纸上种子的数量,对种子喷施的均匀度进行检测试验,试验结果如图 7 所示。

根据试验结果可知,喷种的数量波动标准差为 24.6,最大值为 216 粒,最小值为 134 粒。人工采用撒播方式播种,其撒种量为 $300 \text{ 粒} \cdot \text{m}^{-1}$,试验过程中最小值可以满足肉苁蓉接种的基本需求。喷种数量最大值与最小值相差较大,其主要原因为肉苁蓉种子在混合液中受重力、浮力、粘力的作用,种子会处于下沉、悬浮及漂浮三种状态。种子在混合液中能否悬浮与种子粒重和混合液浓度、密度等有关,加入种子,利用种箱中的搅拌装置充分搅拌混合液,在一定程度上使混合液整体粘度相对均匀化,同时保证种子在混合中悬浮分布相对均匀,但这种均匀化是不恒定的。另外,种子比例变化对混合体也会产生影响,一个是种子分布密度,二是混合体流动性,二者均会影响喷种的种量。

3.2 田间试验

试验地点为新疆维吾尔自治区吐鲁番市沙漠风情园附近人工种植的梭梭林。试验用地较为平坦,土壤类型为沙土,土壤坚实度 1696 kPa ,环境温度为 25°C ,空气湿度 63% 。栽植的梭梭树龄为两年生,梭梭株行距为 $1.5 \text{ m} \times 2.0 \text{ m}$ 。试验用拖拉机型号为东方红 LX1304,配套功率 130 马力,动力输出轴 $540 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$,配备低速档位。

田间试验时拖拉机使用爬行档,前进速度为 $340 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$,开沟深度理论值 50 cm,宽度理论值 30 cm。

在试验过程中随机停车 10 次测量肉苁蓉接种沟的深度和宽度,数据如图 9 所示。

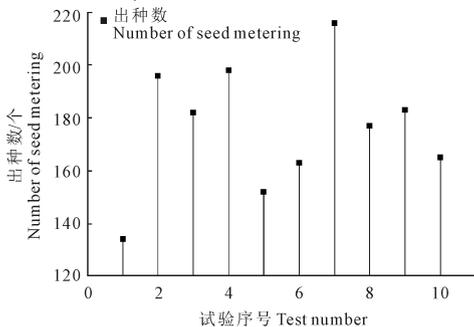


图7 喷种数量垂直线

Fig.7 A vertical line chart of species spray

田间试验表明,该接种机可在距离梭梭根部 40 cm 处开出宽 30 cm、深 50 cm 的接种沟进行液体喷施接种,喷种覆盖面宽度 4 cm,最后完成覆土,该参数符合当地肉苁蓉种植农艺,接种效果较好。接种速度 $340 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$,相比于人工种植速度不足 $100 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$,能够满足肉苁蓉规模化种植的一般需求。

4 结论

1) 喷洒式肉苁蓉接种机代替人工一次完成开沟、接种、覆土等作业。其采用链式开沟装置开沟,利用种子与营养液体一起混合喷洒进行接种,且播种量可调,接种后由覆土装置完成覆土。该机消除了寄主植物根部暴晒于太阳下导致根部死去的问题,同时开沟时割断寄主植物支根,提高肉苁蓉接种率,实现肉苁蓉接种机械化、规模化种植。

2) 通过调整喷射时间和间隔时间,控制肉苁蓉种子的接种量。根据接种结果可知,喷种的数量波动标准差为 24.6,最大值为 216 粒,最小值为 134 粒,喷种覆盖宽度为 4 cm,可以满足肉苁蓉接种的基本需求。

3) 样机田间试验表明,该接种机作业速度为 $340 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$,可在距离梭梭根部 40 cm 处开出宽 30 cm、深 50 cm 的接种沟进行液体喷施接种,播种量可根据农艺要求调整,机具作业效果良好,满足肉苁蓉接种所需的农艺要求。



(a)田间试验
Field trial

(b)开沟接种效果
Ditch sowing effect

图8 田间样机试验

Fig.8 Field prototype test

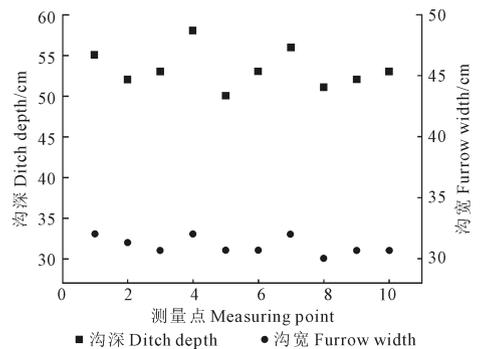


图9 开沟深度与宽度分布

Fig.9 Groove depth and width distribution

(下转第 268 页)