doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2025.10.028

自动装钵机岩棉钵分离调向装置设计与试验

辜　松[1]　严来旺[1]　杨　旭[1]　初　麒[2]　辜美章[2]　杨艳丽[2]　刘国维[3]　牟英辉[1]

(1.华南农业大学工程学院,广州 510642;2.广州实凯机电科技有限公司,广州 510642;
3.珠海益品农业科技有限公司,珠海 519100)

摘要:为了提高岩棉钵装盘作业效率,提出一种采用群体岩棉钵单层供给、倾斜立置输送带柔性分离调向及水平橡胶双圆带调向合体输出方法,设计了岩棉钵分离调向装置。对岩棉钵分离调向装置开展结构与参数设计,开展了作业性能试验。该装置调向带速度与橡胶圆带速度显著影响分离调向成功率,其次是岩棉钵供给量,调向带倾角的影响最小;岩棉钵在分离调向装置内的分离调节距离与岩棉钵供给量成正比,与调向带速度和橡胶圆带速度成反比;岩棉钵分离调向成功率可达 95%。该装置提高了岩棉钵装盘作业效率。

关键词:自动装钵机;岩棉钵;群体分离;调向输送

中图分类号:S126　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-1298(2025)10-0332-08　　**OSID**:

Design and Experiment of Rockwool Plug Redirecting-Separating Device for Rockwool Plug Loader

GU Song[1]　YAN Laiwang[1]　YANG Xu[1]　CHU Qi[2]　GU Meizhang[2]　YANG Yanli[2]　LIU Guowei[3]　MU Yinghui[1]

(1. *College of Engineering*, *South China Agricultural University*, *Guangzhou* 510642, *China*
2. *Guangzhou Sky Mechanical and Electrical Co.*, *Ltd.*, *Guangzhou* 510642, *China*
3. *Zhuhai Eponic Agriculture Technology Co.*, *Ltd.*, *Zhuhai* 519100, *China*)

Abstract: In order to improve the efficiency of rock wool bowl loading, a method is proposed that uses a single layer supply of group rock wool bowls, flexible separation and orientation adjustment of inclined vertical conveyor belts, and combined output of horizontal rubber double circular belts. A rock wool bowl separation and orientation adjustment device is designed. Structural and parameter design were carried out for the rock wool bowl separation and orientation device, and operational performance tests were conducted. The speed of the directional belt of the device significantly affects the success rate of separation and directional adjustment, followed by the supply rate of the rock wool bowl, and the influence of the inclination angle of the directional belt is the smallest; The separation and adjustment distance of the rock wool bowl in the separation and adjustment device is directly proportional to the supply rate of the rock wool bowl, and inversely proportional to the speed of the adjustment belt and the rubber circular belt; The optimal operating parameters for the separation and fragrance mixing device are: $\alpha=75°$, $Q=3$ bowl/s, $v_1=0.16$ m/s. At this time, the success rate of rock wool bowl separation and direction adjustment can reach 95%. After optimizing the structural parameters and operating parameters, the device can provide stable material supply for the rock wool bowl coiling machine and ensure its stable operation.

Key words: rockwool plug loader; rockwool plug; group separation; directional transport

0　引言

机械化幼苗移栽过程中,在指夹作用下,传统的三合一育苗基质(泥炭土、珍珠岩和蛭石)容易破裂。虽然指铲式基质抓取可以降低破碎率,但仍有接近 30%的基质残留[1]。岩棉钵是由岩棉经过压

收稿日期:2025-06-03　修回日期:2025-07-10
基金项目:国家重点研发计划项目(2021YDF2000700)
作者简介:辜松(1963—),男,教授,博士,主要从事机械嫁接与智能设施装备技术研究,E-mail:sgu666@sina.com
通信作者:牟英辉(1975—),男,副教授,博士,主要从事农机农艺结合与智能农机装备研究,E-mail:youhymoon@scau.edu.cn

制而成的小型栽培基质，与传统的育苗基质相比具有吸水和保水性强、无毒无菌、结构稳定、重量轻等特点[2-3]，在移植手指夹作用下仍能保持良好的完整性[4]。因此，岩棉钵在蔬菜育苗生产中已得到广泛应用[5-6]。岩棉钵是直径为 22 mm 左右、高度为 27 mm 左右的圆柱形小岩棉块，在种苗生产过程中需完成将岩棉钵放入育苗穴盘的装盘作业[7-8]。目前，岩棉钵装盘作业主要依靠人工完成，不仅作业效率低，还会对作业人员身体健康造成影响，岩棉钵碎屑接触皮肤会造成过敏[9]，长期接触会产生粉尘肺[10-11]。

欧洲设施蔬菜生产广泛采用基于岩棉栽培载体的无土栽培技术，开发出蔬菜种苗大块岩棉钵播种、移植、插扦作业生产线[12-16]，这种大块岩棉钵为规则的近似正方体，无需装盘，在种苗生产中以单个钵体为单位进行机械化播种和输送作业，基本不需操作人员接触岩棉钵体。但是，对于植物工厂育苗所用小岩棉钵的装盘作业，国内外还没有此类机型[17-18]。因此，迫切需要开发岩棉钵高效自动装盘机。

岩棉钵柔软、密度小、空隙度大、受冲撞易塑性变形[19-20]，岩棉钵装盘机开发的技术难点是如何分离群体岩棉钵，并进行调向输送。针对物料调向分离供料技术，已有研究人员进行了一系列相关研究，实现了圆锥轴承套圈[21]、克氏原螯虾[22]、苹果[23-24]、大枣[25]等物料的调向作业。上述研究的输送对象大多为具有一定质量、刚性较好的物料，而对于质量轻、易变形的岩棉钵并不适合。

针对岩棉钵特性，本研究提出一种采用倾斜立置输送带配合水平双圆橡胶带构成的分离调向输送机构，实现对质量轻、易变形岩棉钵个体分离和调向输送，并对设计的岩棉钵分离调向输送机构进行个体分离与调向输送作业性能试验，考察关键结构参数与作业参数对群体岩棉钵分离与调向作业成功率的影响，优化关键结构参数，为岩棉钵装钵机提供稳定连续的物料供应，以满足其作业需求。

1　岩棉钵特性参数

图 1a 为育苗用岩棉钵，岩棉钵凹锥侧是播种面，另一侧为平面，装盘时将岩棉钵播种面朝上装填进育苗盘穴孔中。从市场批量购买的岩棉钵中随机选取 100 个正常样本，利用精度 0.01 g 电子秤和分辨率 0.02 mm 游标卡尺测量样本岩棉钵和特征参数，结果为直径（22 ± 0.48）mm、高度（27 ± 0.23）mm、质量（0.80 ± 0.13）g、凹锥面深度（7 ± 0.25）mm。采用智取 ZQ－PT880 型压力试验机测定岩棉钵受压变形特性，结果如图 1b 所示，岩棉钵受轻微压力会产生较大变形，在压力 1 N 下会产生 5 mm 的变形。

岩棉钵其总体形态呈圆柱形，具有单向滚动特性，重量轻，不宜通过振动、刚性导向调向输送。

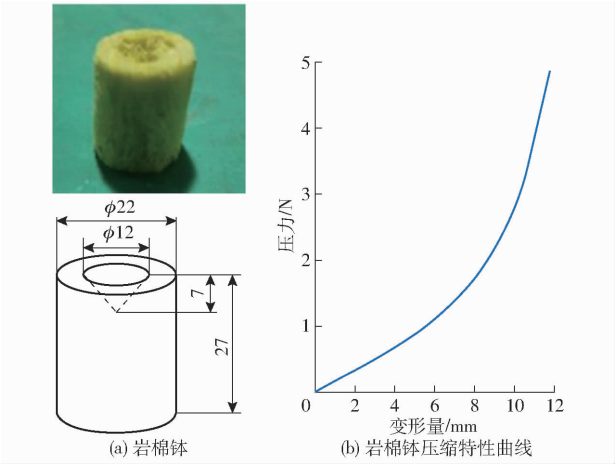


图 1　岩棉钵特性

Fig. 1　Characteristics of rockwool plug

2　分离调向装置设计

2.1　分离调向装置工作原理

分离调向装置功能主要是将群体岩棉钵分离成个体和将个体岩棉钵方向调整为与橡胶圆带的运动方向一致，该装置由分离调向机构（由图 2 中部件 1、2、3 构成）与喂入输送机构（由图 2 中部件 4、5、6 构成）组成。为保证分离和调向效果，橡胶圆带的速度大于调向带的速度，二者速度方向一致，若二者相反不利于顺畅输送个体岩棉钵，会导致在输送带下方的调向带与固定挡板区域内堆积。

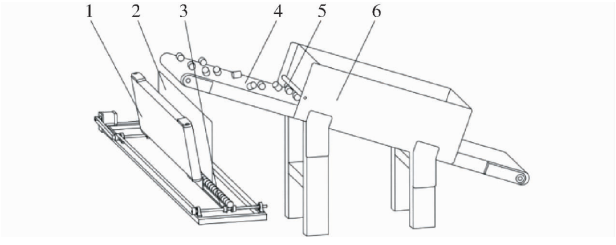


图 2　岩棉钵分离调向装置结构示意图

Fig. 2　Separating-redirecting device for rockwool plug

1. 调向带　2. 固定挡板　3. 橡胶圆带　4. 输送带　5. 限量辊　6. 料箱

群体钵分离成个体的过程，是依靠限量辊保证由料箱输出到输送带上的岩棉钵是单层形式，此情况下由输送带送入调向带与固定挡板之间的岩棉钵呈线性分布，在调向带和橡胶圆带速度差的作用下，呈线性分布的岩棉钵得到进一步分离。

岩棉钵调向主要依靠调向带与固定挡板的协同导向、调向带和橡胶圆带相对固定挡板的速度以及

橡胶圆带与调向带间的速度差完成。如图 3a 所示，岩棉钵在调向带与固定挡板之间空间内有 4 种姿态，包括 3 种水平姿态（姿态 1、姿态 2 和姿态 3）和 1 种直立姿态（姿态 4）。3 种水平形态的岩棉钵在受调向带与固定挡板给予的摩擦力后，形成相应的调向转矩实现调向，其轴线与橡胶圆带前进方向相同。岩棉钵调向后落入橡胶圆带实现调向输送，橡胶圆带是弹性体，对落到其上的岩棉钵可起到缓和载荷冲击作用。姿态 4 还可衍生出如图 3b 所示的姿态 4－1、姿态 4－2 及姿态 4－3 的 3 种姿态，其表示落入橡胶圆带不受调向带和固定挡板作用的岩棉钵姿态。分析岩棉钵在竖直状态下的旋转调向，其动力主要是依靠自身重力和橡胶圆带靠摩擦力带动岩棉钵运动形成惯性力的作用。姿态 4－1 岩棉钵在橡胶圆带摩擦力带动下，其惯性力和重力形成 2 个顺时针转矩 M_{F4-1}、M_{G4-1}，使岩棉钵以顺时针方向倒向橡胶圆带；姿态 4－2 岩棉钵在橡胶圆带摩擦力带动下，其惯性力与重力形成 2 个方向相反的转矩 M_{F4-2}、M_{G4-2}，当橡胶圆带对其产生的输送加速度足够大时，惯性力转矩 M_{F4-2} 大于重力转矩 M_{G4-2}，可使岩棉钵以顺时针方向倒向橡胶圆带；姿态 4－3 岩棉钵在橡胶圆带摩擦力带动下，其惯性力与重力形成的转矩形式与姿态 4－2 相似。但是，转向方向要视岩棉钵的倾角和橡胶圆带对其产生的惯性力大小，这导致岩棉钵受力情况复杂多变。

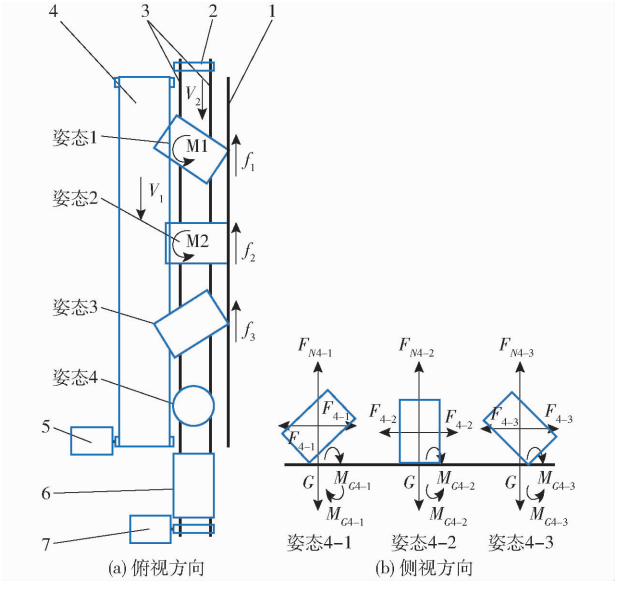


图 3 岩棉钵调向工作原理图

Fig. 3 Separating-redirecting principle of rockwool plug

1. 固定挡板 2. 橡胶圆带从动轮 3. 橡胶圆带 4. 调向带 5. 调向带驱动电机 6. 调向成功岩棉钵 7. 橡胶圆带驱动电机

2.2 喂入输送机构

喂入输送机构主要由输送带、限量辊、料箱和支架构成（图 2），将岩棉钵投入料箱中落在输送带上，启动输送带将岩棉钵带出料箱，通过调节限量辊的高度，可以保证岩棉钵单层输出，输送带将岩棉钵抛入分离调向机构。根据岩棉钵物理特性和分离调向技术要求，对岩棉钵喂入输送机构关键参数进行设计。

2.2.1 输送带尺寸及速度

如图 2 所示，岩棉钵储存于输送带上方料箱内，为确保岩棉钵供给量，输送带设计为长 1 200 mm、宽 300 mm 的常规输送带。

岩棉钵在输送带上群体输送时，输送带运行速度过高，料箱出料处限量辊会对岩棉钵造成损伤，速度过低会影响输送量，影响岩棉钵装盘机总体作业效率。因此，输送带线速度 v_S 设定为 0.1 ~ 0.3 m/s，动力由三相异步电机提供，功率为 0.18 kW。

2.2.2 输送带仰角

呈圆柱形的岩棉钵具有滚动性，输送带采用水平输送会造成不稳定，难以实现定量供料。使输送带仰角输送随机摆放的岩棉钵，依据与输送方向同向岩棉钵的相互接触摩擦，可对滚动岩棉钵起到阻碍作用，可以稳定岩棉钵输送量。对输送带上与输送方向一致的岩棉钵进行受力分析（图 4），岩棉钵受自身重力 G、输送带摩擦力 f 及输送带支持力 F_N 共同的作用，为保证输送带对同向岩棉钵稳定运输，输送带摩擦力 f 应大于重力在 x 方向的分力 $G\sin\theta$，即

$$f \geqslant G\sin\theta \tag{1}$$

式中 θ——仰角

利用测力计测定 30 个岩棉钵在输送带上的摩擦力 f 为（0.12 ± 0.03）N，岩棉钵质量为 0.8 g，由式（1）计算出仰角 $\theta \leqslant 30.7°$。

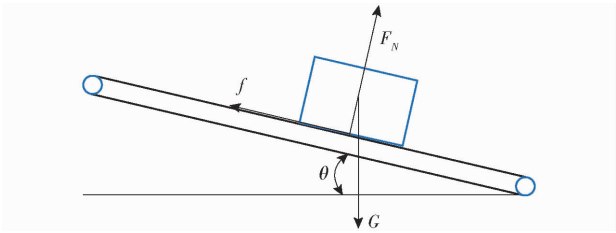


图 4 岩棉钵在输送带上的受力分析

Fig. 4 Force analysis of rockwool plug on conveyor belt

2.2.3 限量辊高度

为了保证由料箱排放到输送带上的岩棉钵不出现堆叠，仅为单层。限量辊高度 H 为限量辊最低点到输送带的间距。根据岩棉钵几何参数，为使岩棉钵单层出料，限量辊高度 H 应大于岩棉钵高度 H_Y，小于 2 倍岩棉钵直径 D_Y，由岩棉钵 D_Y 为 22 mm、H_Y 为 27 mm 可知，H 的取值范围为 27 ~ 44 mm。结合预试验效果，当 H 为 40 mm、θ 为 20°时，群体岩棉钵平铺送料性能最优。

2.3　调向分离机构

调向分离机构主要由调向带、调向带角度调节器、驱动电机和固定挡板构成(图 5)。为全面覆盖由输送带群体输送岩棉钵的所有落点,调向带宽度设计为 150 mm;为保证有足够的调向距离,调向带长度设为 1 000 mm。固定挡板的作用是与调向带形成分离调向空间,约束岩棉钵调向分离,其高度与调向带对应设定为 150 mm。

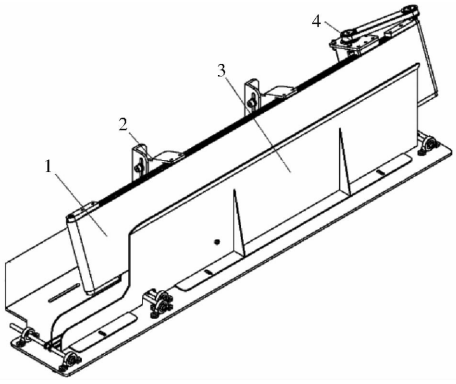


图 5　岩棉钵调向分离机构结构示意图

Fig. 5　Separating-redirecting device of rockwool plug

1. 调向带　2. 角度调节器　3. 固定挡板　4. 驱动电机

2.3.1　调向带速度与倾角

调向带速度 v_1 与调向带倾角 α 是影响调向分离的重要因素,为了便于调节速度,选用步进电机驱动调向带,其型号为 57H521(1.8 N·M)。

2.3.2　橡胶圆带

调向和输送个体岩棉钵的橡胶圆带是分离调向装置的另一重要部分,橡胶圆带的功能是进一步分离靠在一起的岩棉钵,调整个体岩棉钵的方向与其输送方向一致,兼具高效输出落入分离调向空间内个体岩棉钵,避免岩棉钵在区域内堆积影响分离与调向的作用。水平输送带输送圆柱形岩棉钵稳定性差,本装置采用两根橡胶圆带托送岩棉钵,具有良好的稳定性,因其具有一定弹性,在对岩棉钵分离、调向时发生碰撞不会损伤钵体。

(1)橡胶圆带间距

为保证托举输送岩棉钵的稳定性,避免岩棉钵脱落,落钵宽度 W_1 应大于岩棉钵直径 D_Y,小于岩棉钵高度 H_Y(图 6)。为保证落入橡胶圆带时对岩棉钵的稳定导向,落钵宽度 W_1 取 24 mm。两橡胶圆带间距 W_2 决定橡胶圆带输送岩棉钵的稳定性,间距越大稳定性好,但 W_2 的最大值应小于岩棉钵直径 D_Y。另外,受橡胶圆带抖动变形的影响,W_2 不宜过大,否则会由于橡胶圆带变形使 W_2 大于设定值,导致岩棉钵从两根带间滑落。通过试验,W_2 取18 mm。

(2)输送速度

橡胶圆带速度 v_2 决定了分离与调向性能,v_2 应

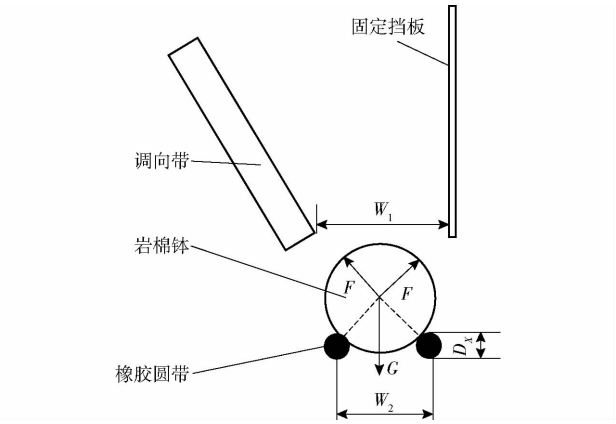


图 6　岩棉钵在橡胶圆带上的受力分析

Fig. 6　Force analysis of rockwool plug on rubber round belt

保证输送带供给的岩棉钵全部送出,因此,$v_{2\min}$ 为

$$v_{2\min} = QH_Y \tag{2}$$

式中　Q——岩棉钵供给量,钵/h

在实际分离调向过程中,仅考虑 $v_{2\min}$ 是完全不够的,因橡胶圆带不仅仅具有输送功能,还具有一定的调向功能,需要橡胶圆带速度大于调向带速度。因此,综合考虑其分离调向和输送功能,取 $v_2 = 2v_S$。

3　岩棉钵调向分离试验

为探究影响岩棉钵调向分离装置作业性能的主要因素及其相应作业性能,进一步确定各设计参数,使用设计的岩棉调向分离装置进行分离调向试验(图 7)。

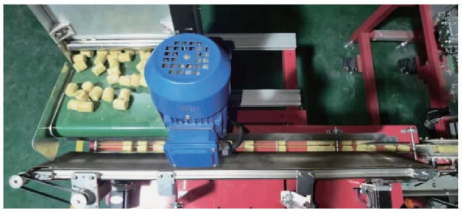


图 7　岩棉钵分离调向装置性能试验

Fig. 7　Performance test of rockwool plug separating-redirecting device

3.1　试验设计

基于岩棉钵装盘机结构和工作参数(图 8),结合调向分离预试验,调向带速度 v_1 水平值分别取 0.1、0.15、0.20 m/s;调向带倾角 α 水平值取 70°、75°、80°;岩棉钵供给量 Q 水平值取 2、3、4 钵/s。试验采用因素组合试验,共 27 组试验,重复 5 次,每个条件组合试验岩棉钵量为 100 钵。为考察岩棉钵分离调向作业过程与效果,采用千眼狼 QYL 型高速摄像机全程拍摄各影响因素组合条件的作业过程,拍摄帧率为 1 000 f/s。

3.2　结果与分析

3.2.1　分离调向失败的岩棉钵

根据对试验过程高速摄像观察,未成功分离调

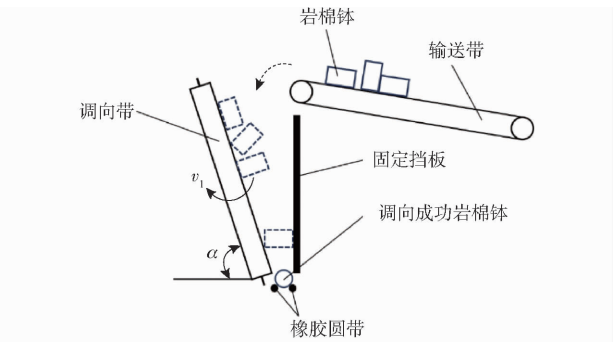


图 8 调向分离试验影响因素示意图

Fig. 8 Influencing factors on separating-redirecting test

向的岩棉钵在橡胶圆带上表现为 3 种形式,分别是:岩棉钵叠加置、岩棉钵横置及岩棉钵立置(图 9)。岩棉钵保持叠加和立置状态输出后,会影响后续的装填作业;横置状态会导致岩棉钵在分离调向机构内堆积,导致堵塞。

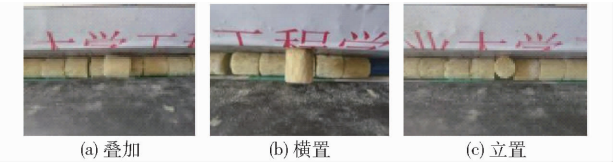


图 9 岩棉钵分离调向失败类型

Fig. 9 Separating-redirecting failure type of rockwool plug

总体来看,未分离调向成功的岩棉钵中叠加占比最大,其次是横置,立置的占比最小(图 10)。随着调向带倾角 α 的增大,岩棉钵立向占比及次数减少。在角度 70°、75°下影响波动大,α 为 80°时,对岩棉钵立向影响波动减小,v_1 为 0.10、0.15 m/s 时,岩棉钵立置较多,速度越大,立置次数和占比越小,在 0.15、0.20 m/s 影响波动小。出现岩棉钵立置的原因主要是岩棉钵没有受到调向带调向的影响,竖直落入橡胶圆带且保持姿态 4 - 2 输送(图 3b)。在 Q = 3 钵/s 和 α = 70°条件下,分离调向失败率最小,这说明适中的岩棉钵供给量 Q 和调向带倾角 α 可以促进群体岩棉钵分离和调整落至橡胶圆带上岩棉钵方向与运动方向一致,避免岩棉钵在分离调向空间内堆积。为避免岩棉钵出现分离调向失败,调向带和橡胶圆带要具有足够的运动速度,使岩棉钵在分离调向时通过与调向带和橡胶圆带的碰撞获得足够的动能,克服岩棉钵间由于相互运动形成的摩擦阻力,促进岩棉钵分离调向。另外,控制岩棉钵供给量,也是避免分离调向失败率过高的重要方法。

3.2.2 分离调向成功率影响因素

由分离调向试验方差分析结果可知,调向带倾角 α、调向带速度 v_1、供给量 Q 及二者的交互作用 v_1Q 显著影响岩棉钵分离调向成功率(S),影响岩棉钵调向分离成功率的试验因素显著性由大到小顺序为 v_1、Q、α,说明调向带速度 v_1 对岩棉钵分离调向效果影响最大。

分离调向成功率 S 随调向带速度增加而提高

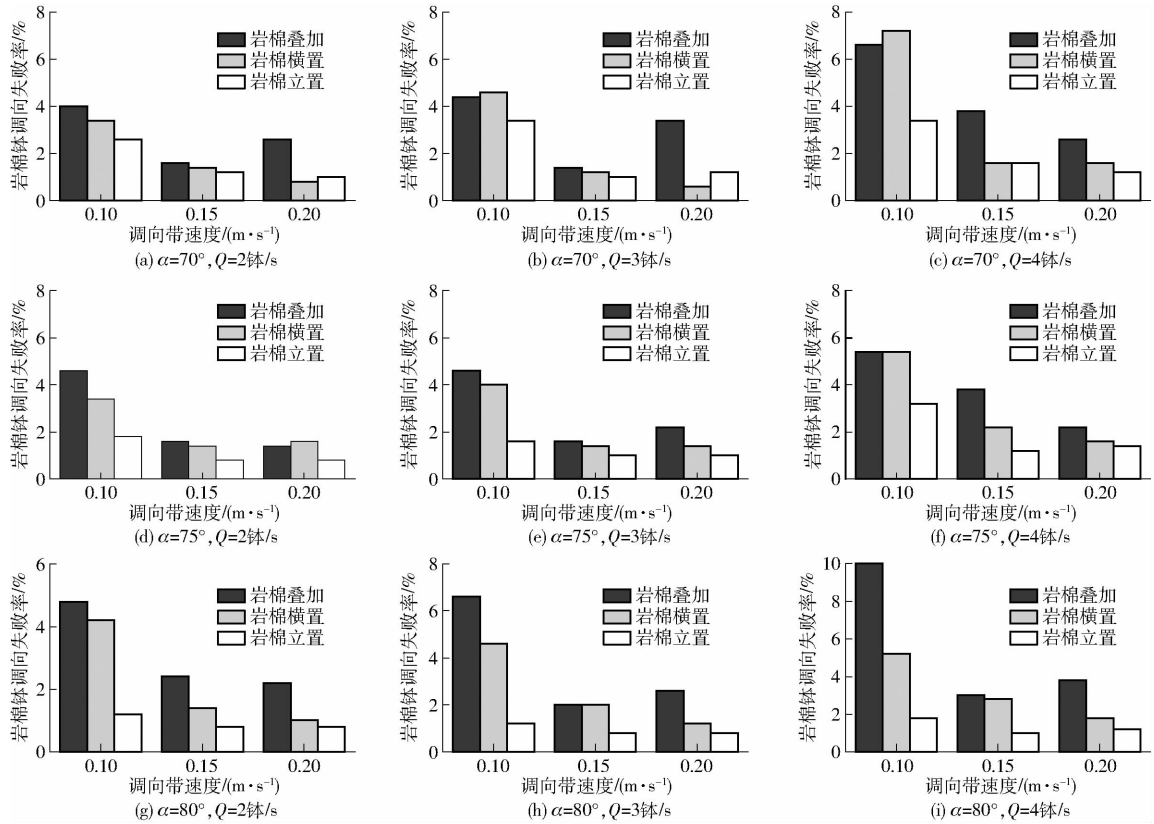


图 10 调向带速度、岩棉钵供给量和调向带倾角对调向失败率的影响

Fig. 10 Effects of supply rate, directing velocity, and elevation angle on failure rate

(图 11),当调向带速度为 0.10 m/s 时,部分条件下成功率达到 90%,但分离调向成功率整体上标准差较大,这说明低速时岩棉钵分离调向作业的稳定性不佳;当调向带速度提升到 0.15 m/s 时,岩棉钵分离调向成功率均显著提升,除低供给率,其他条件下分离调向成功率均达到 95%;当速度由0.15 m/s 提升到 0.20 m/s 时,分离调向成功率标准差加大,同时分离调向成功率增加缓慢甚至降低,说明调向带速度达到 0.20 m/s 后,不仅作业稳定性变差,分离调向成功率也没明显提高。对试验分离调向过程进行分析,当 v_1 为 0.2 m/s 时,由输送带上落下的岩棉钵与调向带碰撞较强烈,减缓了其在分离调向空间内下落至橡胶圆带上的过程,并且,分离调向路径的不确定性增加,这说明 v_1 过快会导致岩棉钵分离调向不稳定的情况。综上所述,v_1 应设定在 0.15 m/s 附近,以获得较高的分离调向成功率;虽然岩棉钵供给量 Q 决定整个装置作业生产率,但是根据图 11 中试验结果,考虑到 Q 由 3 钵/s 提高到4 钵/s 后,分离调向成功率的标准差增加,作业稳定性下降。因此,确定岩棉钵供给量 Q 为 3 钵/s。

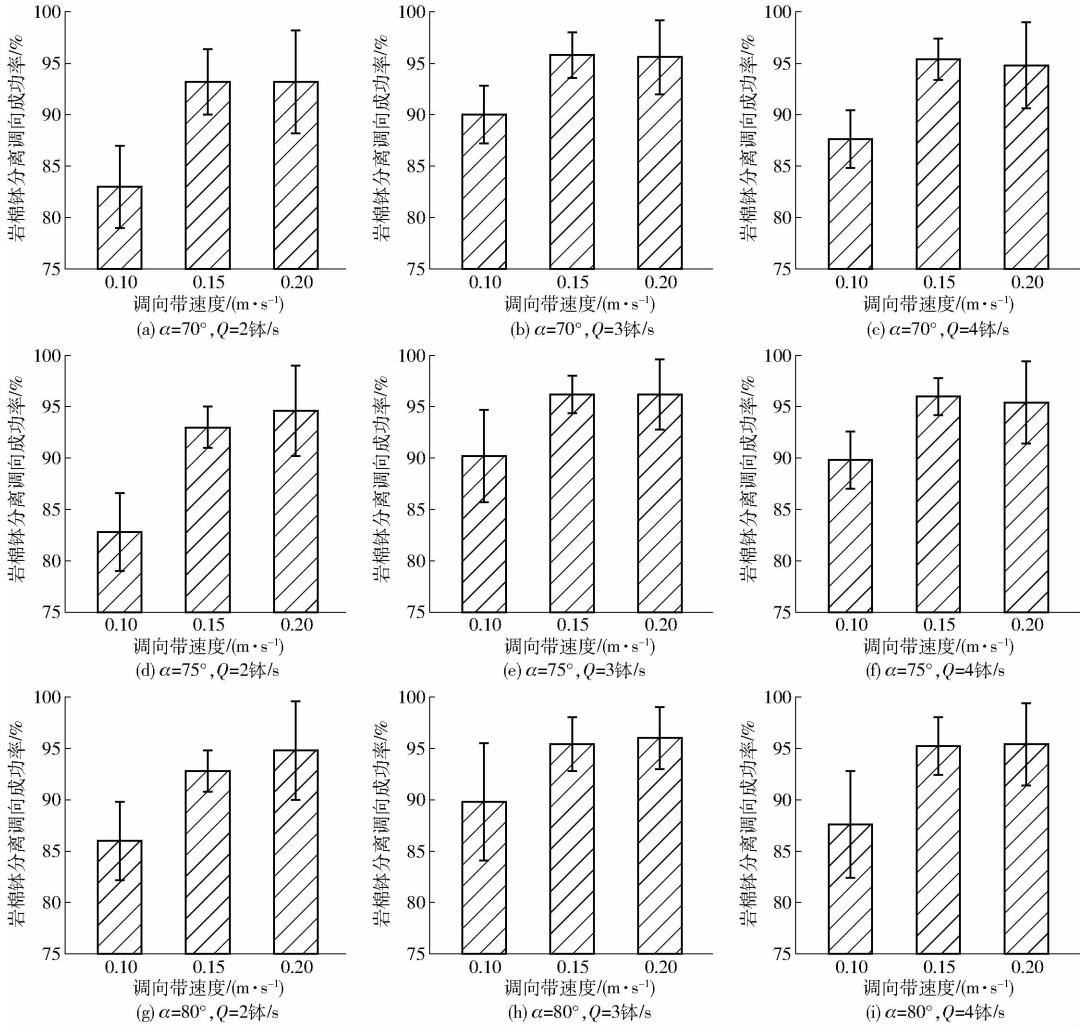


图 11　供给量、调向带速度和倾角对分离调向成功率的影响

Fig. 11　Effects of supply rate, redirecting velocity and elevation angle on success rate

3.2.3　岩棉钵分离调向距离

岩棉钵分离调向后的分离间距 L 指岩棉钵落至调向带上的点与调向分离成功点到橡胶圆带上投影的间距,L 的长短可以说明分离调向难易程度。基于已确定的 $\alpha = 75°$,分析该条件下分离调向作业试验高速摄像视频,将岩棉钵从上端输送带落下后接触调向带瞬间的姿态分为点接触、线接触、面接触 3 种形式。其中,岩棉钵接触调向带瞬间的实际姿态中,点接触姿态占多数(图 12)。并且点接触分离调向距离均小于线接触和面接触的分离调向距离,这说明岩棉钵接触形式对分离调向距离有显著影响。

从岩棉钵接触调向带瞬间不同姿态的受力情况来看,3 种姿态均受到自身重力 G 和调向带施加给岩棉钵的支撑力 N,对于点接触姿态,岩棉钵在 G 和 N 的作用下会形成逆时针旋转力矩 M_T,而对于线接触和面接触,由于分别存在岩棉钵圆柱面以线和面与调向带接触,约束了 2 种情况下的旋转运动,因

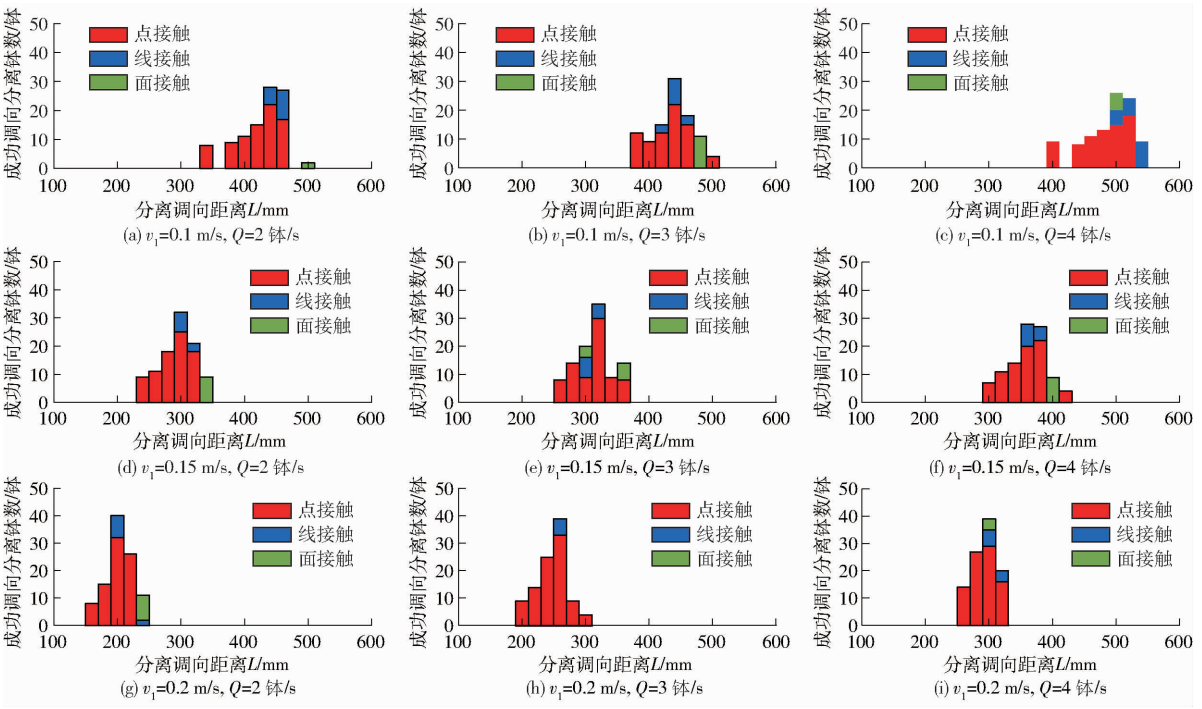


图 12 不同调向带速度和岩棉钵供给量时成功调向分离钵数

Fig. 12 Number of successfully oriented separation bowls at different belt speeds

此,点接触在旋转转矩 M_T 的作用下促进了分离调向,其分离调向能力优于线接触和面接触,从而使点接触分离调向距离缩短。L 随 v_1 的增加而缩短,对于调向带速度 0.10、0.15、0.20 m/s,L 分别处于 250 ~ 550 mm、230 ~ 460 mm 及 160 ~ 320 mm。3 个区间宽度分别为 300、230、160 mm,区间宽度越大表明分离调向作业性能越不稳定。另外,L 会随着 Q 的增加而增加,这是因为 Q 的增加使得分离调向空间内的岩棉钵数增加,岩棉钵相互干扰了各自的分离调向动作,总体延长了分离调向距离 L。

综上所述,L 随 v_1 增加而缩短,作业稳定性提高;L 随 Q 增加而增加,作业稳定性下降。另外,所有条件下 L 最大值为 540 mm,2.2.1 节中设计的输送带带宽为 300 mm,橡胶圆带长度为 1 200 mm,2.3 节中设计调向带长为 1 000 mm,依据图 2 中输送带、调向带及橡胶圆带的相对安装布局,输送带宽度(300 mm)加上分离调向距离最大值(540 mm)小于调向带长度(1 000 mm)和橡胶圆带长度(1 200 mm)。因此,输送带、调向带及橡胶圆带设计尺寸合理,符合分离调向作业要求。

3.3 调向带速度优化

基于上述试验结果,当 v_1 为 0.15 m/s 时可以获得较好的岩棉钵分离调向成功率:当 v_1 为 0.2 m/s 时 S 有所下降,S 的峰值点并不明确。为进一步探明适宜的调向带速度,在 $\alpha = 75°$、$Q = 3$ 钵/s 条件下,将 v_1 设定为 0.13、0.14、0.15、0.16、0.17、0.18、0.19 m/s,测定 S,试验重复 5 次,$v_1 - S$ 关系曲线如图 13 所示。在 0.13 ~ 0.16 m/s 区间内 v_1 显著影响 S,在 0.16 ~ 0.19 m/s 区间 v_1 对 S 影响不显著,当 v_1 为 0.16 m/s 时,S 达到最大值 97%。

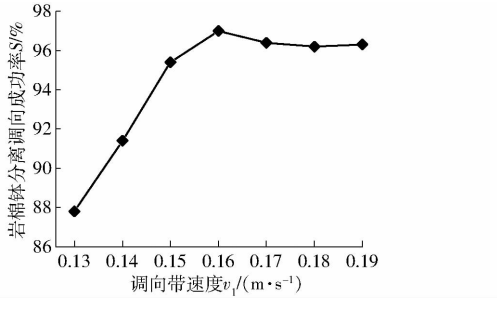


图 13 不同调向带速度时分离调向成功率变化曲线

Fig. 13 Success rate curve of separating and adjusting direction at different belt speeds

4 结论

(1)针对岩棉钵装盘机群体岩棉钵分离调向装置技术要求,提出的群体单层供给、倾斜立置调向带与水平双橡胶圆带输送协调分离调向的方法,实现了对岩棉钵柔性分离调向作业,可以满足岩棉钵装盘机对群体岩棉钵个体分离与调向输出的技术要求。

(2)岩棉钵分离调向装置对群体岩棉钵进行分离调向作业时,调向带速度与橡胶圆带速度对岩棉钵分离调向成功率影响最显著,其次是岩棉钵供给率,调向带倾角的影响最小。提高调向带速度与橡胶圆带速度有助于岩棉钵分离调向,岩

棉钵供给量过高会造成岩棉块在分离调向空间内岩棉钵堵塞。

(3)岩棉钵在分离调向装置内的分离调节距离体现分离调向性能,分离调节距离与岩棉钵供给量成正比,与调向带速度和橡胶圆带速度成反比。

(4)分离调向装置的最优作业参数为:$\alpha = 75°$,$Q = 3$ 钵/s,$v_1 = 0.16$ m/s。此时,岩棉钵分离调向成功率可达 95% 以上。

参 考 文 献

[1] 童俊华,石虎峰,武传宇,等.穴盘移栽指铲式末端执行器苗钵基质抓取仿真与试验[J]. 农业机械学报, 2019, 50(8): 107 – 116.
TONG Junhua, SHI Hufeng, WU Chuanyu, et al. Simulation and test of seedling pot grabbing by spade end-effector[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(8): 107 – 116. (in Chinese)

[2] 秦黎,徐凡,郭文忠,等.废旧岩棉处理方式对基质理化性质及蔬菜生长的影响[J]. 北方园艺, 2022(24): 1 – 10.
QIN Li, XU Fan, GUO Wenzhong, et al. Effects of waste rock wool and cutting on the physicochemical properties of substrates and vegetable growth[J]. Northern Horticulture, 2022(24): 1 – 10. (in Chinese)

[3] 司雨,梁普兴,梁见冰,等. 南方温室樱桃番茄高效岩棉栽培技术[J]. 农业科技通讯, 2019(5): 301 – 303.
SI Yu, LIANG Puxing, LIANG Jianbing, et al. Efficient rock cotton cultivation techniques for cherry tomatoes in southern greenhouses[J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2019(5): 301 – 303. (in Chinese)

[4] 童俊华,刘珂,刘霓红,等. 植物工厂岩棉块种苗移植机移植部件设计与试验[J]. 农业机械学报, 2024, 55(3): 106 – 114.
TONG Junhua, LIU Ke, LIU Nihong, et al. Design and test of rock wool block seedling transplantation mechanism in plant factory[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2024, 55(3): 106 – 114. (in Chinese)

[5] 郭世荣. 固体栽培基质研究、开发现状及发展趋势[J]. 农业工程学报, 2005, 21(增刊 2): 1 – 4.
GUO Shirong. Research progress, current exploitations and developing trends of solid cultivation medium[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(Supp. 2): 1 – 4. (in Chinese)

[6] 周斌,周长吉,张书谦. 岩棉在我国温室栽培中的应用现状和发展前景分析[J]. 温室园艺, 2004(2): 57 – 60.
ZHOU Bin, ZHOU Changji, ZHANG Shuqian. Analysis of the current application status and development prospects of rock wool in greenhouse cultivation in China[J]. Greenhouse Horticulture, 2004(2): 57 – 60. (in Chinese)

[7] 辜松,杨艳丽,张跃峰,等. 荷兰蔬菜种苗生产装备系统发展现状及对中国的启示[J]. 农业工程学报, 2013,29(14): 185 – 194.
GU Song, YANG Yanli, ZHANG Yuefeng, et al. Development status of automated equipment systems for greenhouse vegetable seedlings production in Netherlands and its inspiration for China[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(14): 185 – 194. (in Chinese)

[8] 齐飞,魏晓明,张跃峰. 中国设施园艺装备技术发展现状与未来研究方向[J]. 农业工程学报, 2017, 33(24): 1 – 9.
QI Fei, WEI Xiaoming, ZHANG Yuefeng. Development status and future research emphase on greenhouse horticultural equipment and its relative technology in China[J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(24): 1 – 9. (in Chinese)

[9] 朱晓俊,陈永青,李涛. 人造矿物纤维绝热棉对作业工人皮肤的刺激作用[J]. 环境与职业医学, 2014, 31(4): 267 – 271.
ZHU Xiaojun, CHEN Yongqing, LI Tao. Irritation effects of man-made vitreous fibre insulation wools on workers' skin[J]. Journal of Environment and Occupational Medicine, 2014, 31(4): 267 – 271. (in Chinese)

[10] 朱晓俊,陈永青,李涛. 人造矿物纤维绝热棉对作业工人呼吸系统的影响[J]. 环境与职业医学, 2014, 31(4): 262 – 266.
ZHU Xiaojun, CHEN Yongqing, LI Tao. Adverse effects of man-made vitreous fibre insulation wools on workers' respiratory system[J]. Journal of Environment and Occupational Medicine, 2014, 31(4): 262 – 266. (in Chinese)

[11] 邢春生,方玉香,韩名禄,等. 车间空气中岩棉粉尘卫生标准的研究[J]. 工业卫生与职业病, 1995, 21(3): 153 – 155.
XING Chunsheng, FANG Yuxiang, HAN Minglu, et al. Study on hygienic standard of rock wool fiber in workplaces[J]. Industrial Health and Occupational Oiseases, 1995, 21(3): 153 – 155. (in Chinese)

[12] 申茂向,何革华,张平. 荷兰设施农业的考察与中国工厂化农业建设的思考[J]. 农业工程学报, 2000, 16(5): 1 – 7.
SHEN Maoxiang, HE Gehua, ZHANG Ping. Investigation of dutch facility agriculture and consideration on improving industrialized agriculture of China[J]. Transactions of the CSAE, 2000, 16(5): 1 – 7. (in Chinese)

[13] 齐飞,李恺,李邵,等. 世界设施园艺智能化装备发展对中国的启示研究[J]. 农业工程学报, 2019, 35(2): 183 – 195.
QI Fei, LI Kai, LI Shao, et al. Development of intelligent equipment for protected horticulture in world and enlightenment to China[J]. Transactions of the CSAE, 2019, 35(2): 183 – 195. (in Chinese)

[14] 尹义蕾,陈永生,程瑞锋,等. 荷兰设施园艺智能化生产技术装备考察及启示[J]. 农业工程技术, 2018, 38(34): 75 – 81.
YIN Yilei, CHEN Yongsheng, CHENG Ruifeng, et al. Investigation and enlightenment of intelligent production technology and equipment for facility horticulture in the Netherlands[J]. Agricultural Engineering Technology, 2018, 38(34): 75 – 81. (in Chinese)

[15] 束胜,康云艳,王玉,等. 世界设施园艺发展概况、特点及趋势分析[J]. 中国蔬菜, 2018(7): 1 – 13.
SHU Sheng, KANG Yunyan, WANG Yu, et al. Overview, characteristics, and trend analysis of world facility horticulture development[J]. Chinese Vegetable, 2018(7): 1 – 13. (in Chinese)

(下转第 409 页)

[20] 康建明,解臣硕,王小瑜,等.滚筒筛式膜杂风选机筛孔清堵装置设计与试验[J].农业机械学报,2022,53(9):91－98.
KANG Jianming,XIE Chenshuo,WANG Xiaoyu, et al. Design and test of screen hole clearing device for trommel sieve type membrane miscellaneous wind separator[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2022,53(9):91－98. (in Chinese)

[21] 万星宇,武安阳,廖庆喜,等.气力机械组合式藜蒿脱叶机设计与试验[J].农业机械学报,2023,54(8):132－142.
WAN Xingyu,WU Anyang,LIAO Qingxi,et al. Design and experiment of pneumatic-mechanical combined leaves removing machine for *Artemisia selengensis*[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2023,54(8):132－142. (in Chinese)

[22] 朱磊磊,陈军,白晓鸽,等.基于曲柄滑块机构原理导航的农业机器人设计[J].农业机械学报,2009,40(增刊):33－36.
ZHU Leilei, CHEN Jun, BAI Xiaoge, et al. Design of agricultural robot navigated by the slider-crank mechanism[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2009,40(Supp.):33－36. (in Chinese)

[23] 王尚斌,孙宇,彭斌彬.曲柄滑块机构转速波动与动态静力综合分析[J].华中科技大学学报(自然科学版),2014,42(1):28－33.
WANG Shangbin,SUN Yu,PENG Binbin. Comprehensive analysis of revolving speed fluctuation and dynamic statics of slider-crank mechanism[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology (Nature Science Edition),2014,42(1):28－33. (in Chinese)

[24] 潘东彪,吴雪梅,苏国樟,等.滚刷式烟叶铺平装置刷毛参数与结构设计[J].中国农机化学报,2016,37(8):91－95.
PAN Dongbiao,WU Xuemei,SU Guozhang,et al. Brush hairs parameters and structure design of the roiler brush type tobacco leaves paving device[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization,2016,37(8):91－95. (in Chinese)

[25] 郑俊强.柔性纸币的平整化技术研究[D].贵阳:贵州大学,2016.
ZHENG Junqiang. The research on flexible banknote's levelling technology[D]. Guiyang: Guizhou University, 2016. (in Chinese)

[26] 湖北省烟草科学研究院.一种测量雪茄烟叶叶面平展度的方法:CN202211571977.X[P].2023－03－21.

(上接第 339 页)

[16] 辜松. 蔬菜工厂化嫁接育苗生产装备与技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.

[17] 张跃峰,杨艳丽,初麒,等. 设施园艺种苗生产装备系统[J]. 农机化研究, 2018, 40(10): 257－261.
ZHANG Yuefeng, YANG Yanli, CHU Qi, et al. Equipment system of facilities horticulture for seedling production[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2018, 40(10): 257－261. (in Chinese)

[18] 辜松. 设施园艺现代生产装备与技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015.

[19] 秦黎. 岩棉再利用栽培蔬菜的效果评价[D]. 太原: 山西农业大学, 2022.
QIN Li. Evaluation on the effect of rock wool reusing cultivated vegetables[D]. Taiyuan: Shanxi Agricultural University, 2022. (in Chinese)

[20] 刘湘伟,谢沅沛,杜莉雯. 椰糠与岩棉作为栽培基质的对比研究[J]. 农业工程技术, 2019, 39(34): 77－79.
LIU Xiangwei, XIE Yuanpei, DU Liwen. Comparative study on coconut bran and rock wool as cultivation substrates[J]. Agricultural Engineering Technology, 2019, 39(34): 77－79. (in Chinese)

[21] 任焕琴. 圆锥轴承套圈上料剔除定向装置[J]. 轴承, 1998(10): 19－20, 44.
REN Huanqin. Directional device for material removal of tapered bearing rings[J]. Bearing, 1998(10): 19－20, 44. (in Chinese)

[22] 吴电建,张三强,杨光友. 克氏原螯虾头尾自动定向装置参数优化及试验[J]. 农业工程学报, 2022, 38(9): 44－52.
WU Dianjian, ZHANG Sanqiang, YANG Guangyou. Parameter optimization and experiment for the automatic head and tail orientation device of *Procambarus clarkii*[J]. Transactions of the CSAE, 2022, 38(9): 44－52. (in Chineses)

[23] BANEH N M, NAVID H, KAFASHAN J, et al. Development and evaluation of a small-scale apple sorting machine equipped with a smart vision system[J]. Agri. Engineering, 2023, 5(1): 473－487.

[24] SOFU M M, ER O, KAYACAN M C, et al. Design of an automatic apple sorting system using machine vision[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2016, 127: 395－405.

[25] 史鹏涛,文怀兴,王宁侠. 大枣全自动输送定向切片机设计与应用效果[J]. 农业工程学报, 2012, 28(24): 28－34.
SHI Pengtao, WEN Huaixing, WANG Ningxia. Design and application effects of automatic conveying and directional slicer for jujube[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(24): 28－34. (in Chineses)