

弧形鸭嘴式大蒜正芽播种机设计与试验

崔荣江¹ 王小瑜² 信嘉程³ 孙良³ 武传宇³

(1. 杭州职业技术学院, 杭州 310018; 2. 山东省农业机械科学研究院, 济南 250100;
3. 浙江理工大学机械与自动控制学院, 杭州 310018)

摘要:为解决大蒜正芽播种问题,设计了弧形鸭嘴式型大蒜正芽播种机,主要由单粒取种装置、鳞芽方向控制装置、直立下栽装置、传动系统以及机架、地轮等部分组成,可一次完成取种、换向、直立栽种和镇压作业。根据大蒜鳞芽外形尺寸参数,对播种机关键零部件进行了优化设计,设计了符合大蒜鳞芽外形尺寸分布的大、中、小3级取种勺;设计了弧形开口换向器,使芽尖弯曲大蒜鳞芽芽尖尽可能露出换向器;设计了中间轴随驱动圆盘同时旋转的直立下栽机构,实现11行下栽鸭嘴同时稳定作业,与弧形换向器配合实现芽尖不小于6 mm大蒜鳞芽的正芽。以苍山四六瓣蒜和金乡杂交蒜为试验对象,进行田间播种性能试验,结果表明:行走速度在0.14~0.19 m/s范围内,金乡杂交蒜的正芽率达到85%左右,苍山四六瓣蒜的正芽率达到90%左右,单粒率均达到93%以上,整体满足大蒜播种农艺要求。

关键词:大蒜;播种机;正芽;排种器;弧形鸭嘴式

中图分类号: S223.9 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2022)11-0120-11 **OSID:** 

Design and Test of Arc Duck-billed Garlic Seed Planter

CUI Rongjiang¹ WANG Xiaoyu² XIN Jiacheng³ SUN Liang³ WU Chuanyu³

(1. Hangzhou Vocational and Technical College, Hangzhou 310018, China
2. Shandong Academy of Agricultural Machinery Science, Jinan 250100, China
3. Faculty of Machinery and Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: The garlic aligning bud seeder, composed of single seed picking device, scale bud direction control device, vertical planting device, transmission system, frame, ground wheel and other parts, was designed in order to solve the problem of garlic aligning bud seeding. It can complete seed picking, reversing, vertical planting and suppression operations at one time. According to the dimension parameters of garlic scale bud, the key parts of the planter were optimized, mainly including the development of large, medium and small seed picking spoons according to the dimension distribution of garlic scale bud. A curved opening commutator was designed to make the bud tip of garlic scale bend and expose the commutator as much as possible. The vertical planting mechanism with the middle shaft rotating simultaneously with the driving disk was designed to realize the simultaneous stable operation of the duck tip in 11 rows, and to realize the normal bud with the bud tip no shorter than 6 mm with the arc commutator. Taking the ‘Cangshan’ garlic and ‘Jinxiang’ hybrid garlic as experimental subjects, the field seeding performance test was carried out on the seeder. The results showed that when the walking speed was in the range of 0.14~0.19 m/s, the normal bud rate of ‘Jinxiang’ hybrid garlic was about 85%, while the ‘Cangshan’ garlic was about 90%, and the single grain rate was more than 93%, which met the agronomic requirements of garlic sowing.

Key words: garlic; seeder; aligning bud; seed-metering device; arc duck-billed

收稿日期: 2021-12-12 修回日期: 2022-01-20
基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(51805306)和杭州职业技术学院高层次人才科研启动项目(HZYGCC202103)
作者简介: 崔荣江(1983—),男,高级工程师,博士,主要从事农业种植机械设计与机构学研究,E-mail: cuirongjiang2009@163.com
通信作者: 武传宇(1976—),男,教授,博士生导师,主要从事机构学、机器人技术和智能农业装备研究,E-mail: cywu@zstu.edu.cn

0 引言

目前中国大蒜种植主要依靠手工进行,原因在于国内大蒜种植要求鳞芽向上(正芽),劳动强度大、生产成本高。欧美国家大蒜种植多以平放为主,其播种方式目前还不能被国内广泛接受^[1-2]。因此,设计一款具有正芽功能的大蒜播种机对中国大蒜产业发展具有重要意义,特别是国内种植面积最广的杂交蒜品种。

正芽播种机一般由单粒取种装置、鳞芽方向控制装置和直立下栽装置组成^[3-4]。单粒取种装置控制播种机的单粒率,主要有链勺式、转勺式、振动式,其中链勺式国内应用最为广泛,但还无法实现多级取种^[5]。大蒜鳞芽方向控制装置是正芽播种机设计的难点,也是目前研究热点,如:李华峰^[6]发明了一种利用水进行大蒜鳞芽方向控制的方法,但湿的鳞芽会造成下栽鸭嘴粘土;荐世春等^[7]设计了一种锥形螺旋导种管定向装置,依靠大蒜鳞芽在螺旋弹簧中碰撞进行鳞芽方向调整,整机工作效率和稳定性较低;韩国 KSF 株式会社提出利用大蒜鳞芽芽尖细长特征进行大蒜鳞芽方向控制的方法^[8]。崇俊等^[9]发明了多层锥碗进行大蒜鳞芽方向控制,针对商河当地外形规范的薑蒜品种适应性较好;耿爱军等^[10]提出种盒式大蒜播种方式,但自动化程度低。除机械式,杨清明等^[11]、LEI 等^[12]、郭英芳^[13]、高迟^[14]、王娟等^[15]、GENG 等^[16]、LI 等^[17]先后提出利用图像处理技术、模式识别技术、光电识别技术和红外线技术进行大蒜鳞芽方向控制,目前光电式鳞芽方向控制方式仍处于实验室阶段。直立下栽装置决定着大蒜鳞芽入土后的姿态,平行四边形机构^[18]、曲柄滑块机构^[19]、五杆机构^[20]和行星轮机构^[21]被用于大蒜鳞芽的直立下栽。

本文以实现大蒜正芽播种为目标,设计弧形鸭嘴嘴式大蒜正芽播种机,对播种机的单粒取种装置、鳞芽方向控制装置、直立下栽装置进行设计,解决现有正芽大蒜播种机对杂交蒜正芽播种效果不理想和播种效率低的问题。

1 大蒜鳞芽外形尺寸参数测定

苍山四六瓣蒜和金乡杂交蒜是中国有代表性的大蒜品种,如图 1 所示。苍山四六瓣大蒜鳞芽芽尖直长、种体形态规则;金乡杂交大蒜鳞芽芽尖短且弯,种体形态相对复杂。本文以两类大蒜品种为研究对象,进行大蒜鳞芽的外形尺寸参数测定,为播种机部件设计提供参数依据。

适于播种的大蒜鳞芽质量一般为 3~6 g,以 1 g 为单位,将每个等级蒜种随机取样 100 颗作为测量



图 1 两种大蒜鳞芽

Fig. 1 Two kinds of garlic scales

样本,统计其长度 L 、宽度 B 、厚度 H 、根部直径 D_1 (根部形状为非圆时,取较窄位置宽度)和芽尖纵向长度 t_1 、芽尖横向长度 t_2 ,鳞芽外形尺寸参数如图 2 所示。根据统计结果对两种大蒜鳞芽的长度 L 、宽度 B 、厚度 H 进行概率分布,将不同的频数除以总频数得到频率。

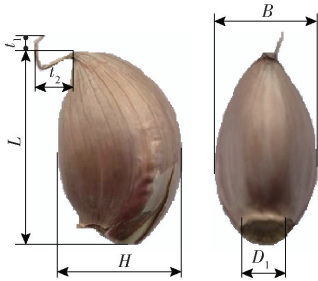


图 2 鳞芽外形尺寸示意图

Fig. 2 Schematic of garlic seed dimensions

由鳞芽外形尺寸均值可知,金乡杂交蒜的长、宽、厚随鳞芽质量增加而均匀增加,而鳞芽芽尖长度增加却不明显,芽尖纵向长度 t_1 和芽尖横向长度 t_2 差距不大,两者均值处于 5.1~6.6 mm 之间,根部最小直径 D_1 的均值大于 6 mm;苍山四六瓣 3~5 g 鳞芽外形尺寸变化不明显,与金乡杂交蒜 3~4 g 鳞芽相近,芽尖纵向长度 t_1 均值达到 14 mm 以上,比芽尖横向长度 t_2 长很多,根部最小直径 $D_1 > 5$ mm。由大蒜鳞芽尺寸频率分布直方图可知,两种品种大蒜鳞芽的外形尺寸在等级内均呈正态分布,尺寸比较集中;不同等级间的蒜种外形尺寸变化比较明显,呈阶梯式增长。本文按鳞芽直径(宽和厚的较大者)将鳞芽分为小、中、大 3 个等级,即 15~18 mm、18~23 mm、23~28 mm。

2 整机结构与技术参数

2.1 整机结构

2BUX-11 型大蒜正芽播种机整体结构如图 3 所示,主要由单粒取种装置(排种器)、鳞芽方向控

制装置(换向器)、直立下栽装置、传动系统、旋耕装置、镇压轮、地轮和机架等组成,可一次完成取种、换向、直立栽种和镇压作业。播种机传动系统如图4所示,地轮轴Ⅰ到地轮轴Ⅱ为一级传动 i_1 ,对应链轮

齿数分别为 $Z_1、Z_2$;地轮轴Ⅱ到下栽装置主动轴为二级传动 i_2 ,对应链轮齿数分别为 $Z_3、Z_4$;下栽机构主动轴到单粒取种装置主轴为三级传动 i_3 ,对应链轮齿数分别为 $Z_5、Z_6$ 。

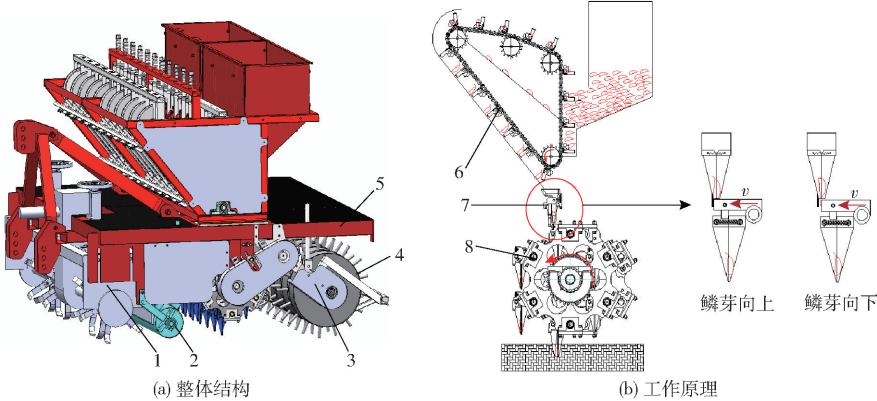


图3 2BUX-11型大蒜正芽播种机

Fig.3 2BUX-11 garlic seeder planter

1. 旋耕装置 2. 镇压轮 3. 传动系统 4. 地轮 5. 机架 6. 单粒取种装置 7. 鳞芽方向控制装置 8. 直立下栽装置

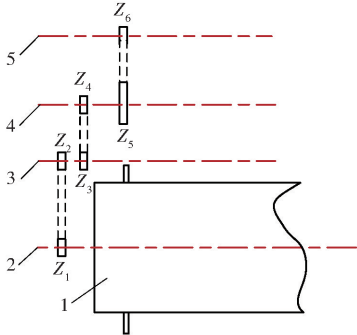


图4 播种机传动系统原理图

Fig.4 Schematic of planter drive system

1. 地轮 2. 地轮轴Ⅰ 3. 地轮轴Ⅱ 4. 直立下栽装置主动轴 5. 单粒取种装置主轴

2.2 工作原理

播种机通过三点悬挂架与拖拉机后悬挂系统挂接,拖拉机牵引机具作业。拖拉机后动力输出连接旋耕装置,将拖拉机轮胎压痕重新旋起,由镇压轮将种植面压平,保证种植深度一致。在拖拉机牵引下,地轮转动,地轮通过传动系统将动力按一定传动比同时传递给直立下栽装置和单粒取种装置。单粒取种装置在动力作用下将鳞芽从种箱逐颗取出,逐颗落入换向器(鳞芽芽尖向上或向下),进行鳞芽方向调整(换向原理见3.2节),直立下栽装置同步转动,下栽鸭嘴与换向器活动半件碰撞,大蒜鳞芽直立落入下栽鸭嘴,由直立下栽装置实现鳞芽入土后的直立栽种,最后地轮完成镇压。

2.3 技术参数

2BUX-11型大蒜正芽播种机主要技术参数为:11行、行距180mm、株距100~150mm可调整、播深10~20mm可调整。

3 关键部件设计

3.1 单粒取种装置

3.1.1 单粒取种装置结构

播种机单粒取种装置结构如图5所示,由种箱、排种链条、取种勺、防漏槽、护种槽、主动链轮、清种链轮、张紧链轮、从动链轮和其它辅助零部件组成。种箱底部设有防漏槽,其高度等于两取种勺间的距离,避免排种时蒜种外漏;取种勺体采用方型、修圆角设计,配合防漏槽结构,避免卡伤蒜种。种箱前端设有高度可调挡板,根据蒜种的大小、湿度,调整挡板高度控制充种区蒜种数量;滑种板与防漏槽配合,实现种箱蒜种排尽;张紧链轮和清种链轮处设有护种盒,避免蒜瓣卡入链轮和链条之间;护种槽下方设有弹簧,避免装配间隙过小,取种勺与护种槽刚性接触。

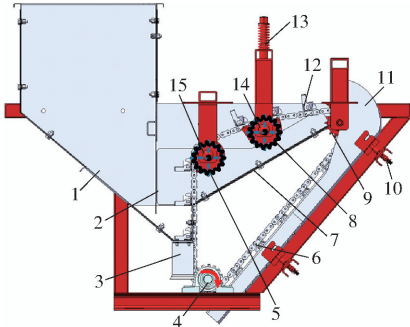


图5 链勺式单粒取种装置结构简图

Fig.5 Chain spoon type single seed collection device

1. 种箱 2. 可调挡板 3. 防漏槽 4. 主动链轮 5. 护种盒1 6. 取种链条 7. 滑种板 8. 护种盒2 9. 排种链轮 10. 防卡弹簧 11. 护种槽 12. 取种勺 13. 张紧弹簧 14. 张紧链轮 15. 清种链轮

3.1.2 单粒取种装置工作原理

作业时,蒜种在取种勺搅动作用下进行分种,形成速度不等的种层,在蒜种自身重力、蒜种间碰撞摩擦力作用下进行充种作业。当取种勺携带蒜种运移到清种链轮时,在离心力作用下,取种勺内位置差的多余蒜种被甩出,落在滑种板回到充种区,完成清种。取种勺带着蒜种越过排种链轮最高点,蒜种在取种勺离心力及自身重力作用下从取种勺掉落至前一取种勺背部,相邻种勺与护种槽间形成封闭空间,进行平稳导种,被运移至投种点时,蒜种离开与护种槽形成的封闭空间,在离心力和重力作用下落入换向器。

3.1.3 单粒取种装置清种角优化

以一级清种角 γ 为例,清种过程中蒜种受力如图 6 所示,鳞芽在取种勺中受重力 mg 、孔壁反力 N_1 及 N_2 和离心力 F_1 作用。

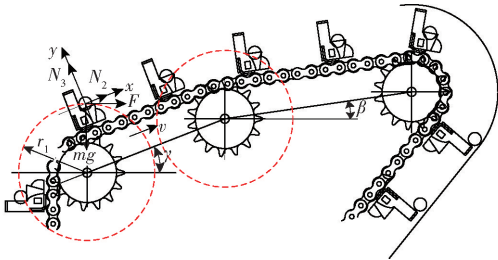


图 6 大蒜种子受力分析
Fig. 6 Stress analysis of garlic seeds

离心力为

$$F_1 = m \frac{v^2}{r_1} \tag{1}$$

式中 v ——链条运动速度, m/s
 r_1 ——蒜种重心与链轮圆心距离, mm
 m ——蒜种质量, g

清种过程中鳞芽受力平衡,即

$$\begin{cases} mgsin\gamma - N_2 = F_1cos\gamma \\ mgcos\gamma = N_3 \end{cases} \tag{2}$$

由式(2)可知,当 $\gamma = 0^\circ$ 时,取种勺对蒜种的支撑力和离心力达到平衡,如果清种角增加,勺体内蒜种在离心力作用下极易被甩出。根据前期研究^[5],二级清种角 β 为 0° 时,清种效果较好,但长期应用后,取种链条会因塑性变形而变长,清种角 β 变大,造成一定漏播。为减少漏播,二级清种角 β 增设预变形角度 5° (预变形角度是排种链条运行 1 个播种季节后得到的经验数据),后续应用试验表明预变形角度可保证排种器清种效果长期稳定。

3.1.4 取种勺结构优化

取种勺是单粒取种装置的核心部件,其结构形状、尺寸参数及布置方式直接影响单粒取种装置性能。为解决取种勺和链条之间卡种问题,取种勺上

方增设凸耳,优化后取种勺如图 7 所示。

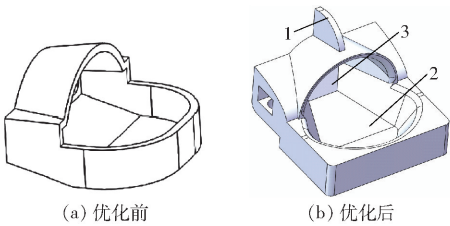


图 7 取种勺
Fig. 7 Seed scoop
1. 凸耳 2. 充种腔 3. 清种腔

充种腔作用是方便鳞芽进入取种勺,清种腔作用是将位置不好的多余大蒜鳞芽清除取种勺。设充种腔体长度为 k_s 、宽度为 b_s 、高度为 h_s ,充种角为 φ ;清种腔体长度为 k_{s1} 、宽度为 b_{s1} 、高度为 h_{s1} ,清种角为 φ_1 ,取种勺结构参数如图 8 所示。

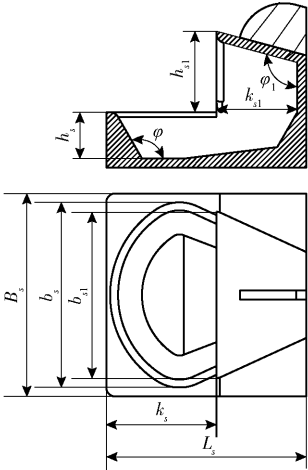


图 8 取种勺结构参数示意图
Fig. 8 Structure size of seed scoop

为提高取种勺适用范围,将取种勺分级设计。在原有中级取种勺^[9]基础上,根据三级大蒜鳞芽长、宽、厚均值阶梯型增加规律,将大和小两级取种勺充种腔和清种腔的长、宽、高增减 2 mm (大勺为增),充种角和清种角增减 2° (大勺为增),为配合防漏槽,各级取种勺外形长 L_s 和宽度 B_s 一致。小、中、大 3 级取种勺如图 9 所示,适用大蒜鳞芽外形尺寸为 $15 \sim 18 \text{ mm}$ 、 $18 \sim 23 \text{ mm}$ 、 $23 \sim 28 \text{ mm}$ 。

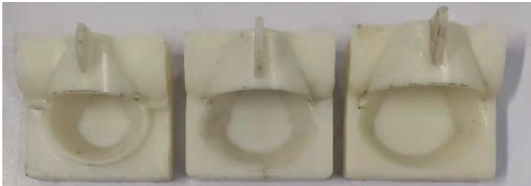


图 9 3 级取种勺
Fig. 9 Three kinds of seed scoops

3.2 鳞芽方向控制装置

3.2.1 鳞芽方向控制装置结构

播种机鳞芽方向控制过程由换向器和下栽鸭嘴

配合完成,换向器主要由固定半件、活动半件、弹簧和接种口组成,如图 10 所示。固定半件通过螺栓固连在机架上,活动半件通过销轴和弹簧与固定半件连接,接种口安装在固定半件上方。

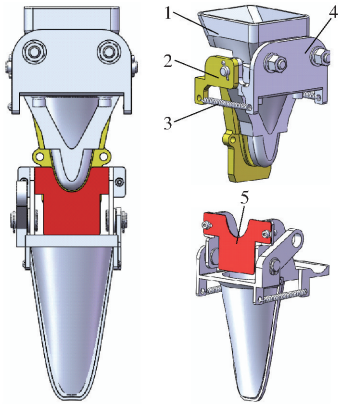


图 10 方向控制装置结构简图

Fig. 10 Structure diagram of direction control device

1. 接种口 2. 活动半件 3. 弹簧 4. 固定半件 5. 碰撞板

3.2.2 鳞芽方向控制装置工作原理

正常作业时,换向器在弹簧作用下闭合,单粒取种装置排出种子通过接种口落入换向器,种子与换向器壁碰撞后静止,鳞芽方向调整受力如图 11 所示,鳞芽在换向器内静态受力方程为

$$\begin{cases} F_{n1} \cos \theta_1 + F_{n2} \cos \theta_2 = G \\ F_{n1} \sin \theta_1 = F_{n2} \sin \theta_2 \end{cases} \quad (3)$$

式中 F_{n1} ——固定半件对鳞芽的支撑力,N
 F_{n2} ——活动半件对鳞芽的支撑力,N
 θ_1 ——支撑力 F_{n1} 与竖直方向夹角,(°)
 θ_2 ——支撑力 F_{n2} 与竖直方向夹角,(°)
 G ——大蒜鳞芽重力,N

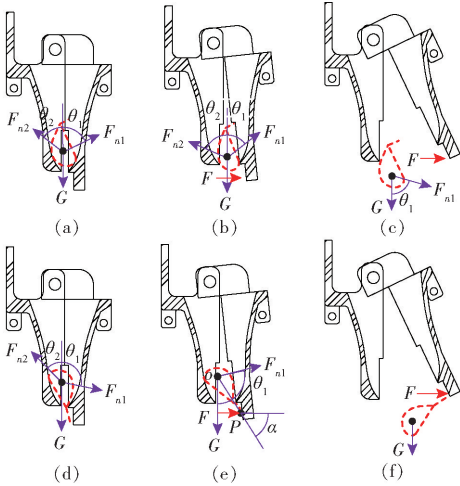


图 11 鳞芽方向调整受力分析

Fig. 11 Analysis of force induced in orientation adjustment of scale bud

鳞芽落入换向器,如芽尖向上,鳞芽根部尺寸大于换向器闭合口,不会露出换向器,如图 11a 所示,

随着换向器活动半件的快速打开,鳞芽会在重力作用下直立落入下栽鸭嘴,如图 11b、11c 所示。如芽尖向下,鳞芽芽尖通过中间闭合口露出换向器,栽植鸭嘴与换向器碰撞板接触,将露出换向器的芽尖夹紧,产生夹紧力 F 。因为芽尖有一定塑性,当活动半件打开时,鳞芽整体绕点 P 产生转动,如图 11e 所示,忽略鳞芽与换向器内壁摩擦力,鳞芽整体绕点 P 转动力矩为

$$M = GL_{OP} \sin \alpha - F_{n1} L_{OP} \cos (180 - \theta_1 - \alpha) \quad (4)$$

式中 L_{OP} ——鳞芽重心到夹持点距离,mm
 α ——鳞芽重心和夹持点连线 OP 与水平方向夹角,(°)

随着活动半件打开,在力矩 M 作用下,大蒜鳞芽翻转 180° 落入栽鸭嘴中,最后换向器在弹簧作用下复位,实现鳞芽方向调整。

3.2.3 换向器结构参数设计

换向器设计要满足以下条件:鳞芽落入换向器芽尖向上或者芽尖向下;芽尖向下时,鳞芽芽尖要尽可能露出换向器;芽尖向上时,鳞芽根部不能露出换向器;换向器适应大、中、小 3 种尺寸鳞芽;芽尖向上时,鳞芽掉出换向器时不能与固定半件发生碰撞。为满足以上要求,换向器型腔采用放样生成方式,形状和结构参数如图 12 所示,分为接种区、仿形区和碰撞接触区。

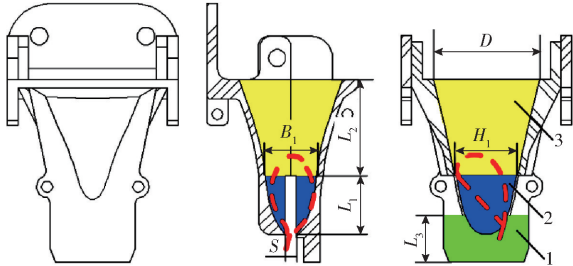


图 12 鳞芽方向控制器结构图

Fig. 12 Structure diagram of the scale bud direction controller

1. 碰撞接触区 2. 仿形区 3. 接种区

接种区要保证鳞芽落入换向器型腔,且不能横躺,接种区以大号鳞芽尺寸为设计基准。有

$$\begin{cases} D > L_{\max} \\ H_1 \geq H_{\max} \\ B_1 \geq B_{\max} \\ L_2 > L_{\max} \end{cases} \quad (5)$$

式中 D ——接种区开口直径,mm
 H_1 ——接种区末端横向宽度,mm
 B_1 ——接种区末端纵向宽度,mm
 L_2 ——接种区长度,mm
 $L_{\max}$ ——大号鳞芽最大长度,mm
 $H_{\max}$ ——大号鳞芽最大厚度,mm

3.3.3 直立下栽装置机构运动方程

下栽鸭嘴的绝对运动由机组的前进运动与栽种机构旋转运动复合而成,如图 16 所示,以点 D 为参考点,其运动方程为

$$\begin{cases} x=R\cos(\omega t)+v_1t \\ y=R\sin(\omega t)+l_4 \end{cases} \quad (8)$$

式中 v_1 ——机组前进速度, m/s
 ω ——栽植器转动角速度(逆时针为正), $(^\circ)/\text{s}$
 l_4 ——下栽鸭嘴栽种轴以下长度, mm
 t ——时间, s

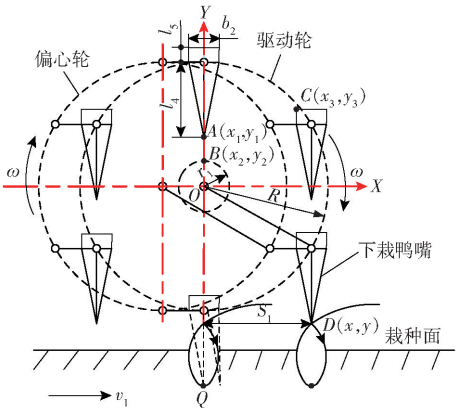


图 16 栽种机构运动轨迹

Fig. 16 Movement trajectory of the planting mechanism

设主轴半径为 r_1 , 为避免运行过程中图 16 中的点 A 与点 B 发生干涉, $l_4 < R - r_1$; 为避免运行过程中点 A 与点 C 发生干涉, 即 $x_1 = x_3$ 时, $y_1 - y_3 > 0$, 代入方程(8), 得

$$\begin{cases} R\cos(\omega t)+v_1t=R\cos(\omega t+60)+v_1t-\frac{b_2}{2} \\ R\sin(\omega t)-l_4>R\sin(\omega t+60)+l_5 \end{cases} \quad (9)$$

式中 l_5 ——栽种轴以上下栽鸭嘴高度, mm
 b_2 ——下栽鸭嘴上部宽度, mm

大蒜鳞芽栽种要满足种体“零速”投种, 轨迹特征参数 $\lambda \geq 1$ ^[20], 栽植轨迹如图 16 所示。大蒜鳞芽形态不具有直立栽种的支撑面, 要依靠下栽鸭嘴来实现, 当下栽鸭嘴沿栽植轨迹入土至点 Q (零速点), 下栽鸭嘴活动半件快速打开, 鳞芽贴上下栽鸭嘴固定半件落入种穴, 鸭嘴打开时土流瞬间将鳞芽定位。根据大蒜栽植系统工作参数与成穴参数的关系^[21], 驱动圆盘半径设定为 $R = 165 \text{ mm}$ 。

3.3.4 下栽鸭嘴

下栽鸭嘴总成如图 17 所示, 主要由碰撞板、鸭嘴左右固定半件、拉伸弹簧、滚动轴承、打开轴、鸭嘴活动半件等组成。鸭嘴左右固定半件固定在栽种轴上, 与鸭嘴活动半件通过销轴和拉伸弹簧连接。打

开轴连接左右鸭嘴活动半件, 滚动轴承安装在打开轴中间, 与鸭嘴打开盘配合控制下栽鸭嘴总成的开合。

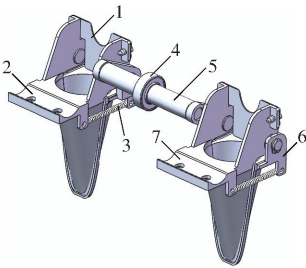


图 17 下栽鸭嘴总成

Fig. 17 Schematic of planting duckbill

1. 碰撞板 2. 鸭嘴左固定半件 3. 弹簧 4. 滚动轴承 5. 连接轴 6. 鸭嘴活动半件 7. 鸭嘴右固定半件

下栽鸭嘴设计要满足以下条件: 鳞芽落入下栽鸭嘴要保持直立; 下栽鸭嘴适应大、中、小 3 种尺寸鳞芽; 鳞芽滑出下栽鸭嘴时不能与固定半件发生碰撞; 下栽鸭嘴入土时, 鸭嘴保持闭合, 且易于入土。下栽鸭嘴形状和尺寸参数如图 18 所示, 分为碰撞接触区、接种区、定位区和入土区。

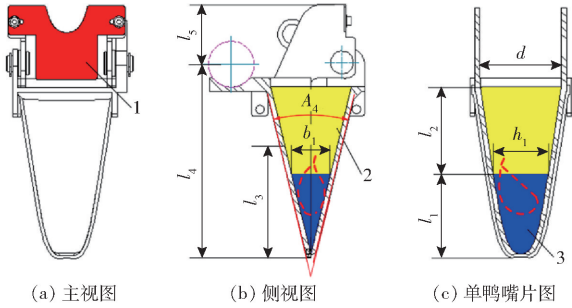


图 18 下栽鸭嘴结构示意图

Fig. 18 Schematics of duckbill structure

1. 接触碰撞区 2. 接种区 3. 定位区

换向器接触碰撞区与鸭嘴接触碰撞区理论上二者尺寸一致, 正芽效果达到最优, 但实际制造、装配误差以及下栽机构的受力变形会影响二者配合间隙。通过强度试验, 换向器接触碰撞区与鸭嘴接触碰撞区间的配合间隙 S_2 设定为 $2 \sim 3 \text{ mm}$, 如图 19 所示。

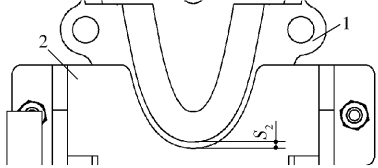


图 19 碰撞区配合间隙示意图

Fig. 19 Collision zone fit clearance diagram

1. 换向器接触碰撞区 2. 下栽鸭嘴接触碰撞区

下栽鸭嘴接种区要保证鳞芽落入下栽鸭嘴型腔, 且不横躺, 接种区以大号鳞芽外形尺寸为设计基准, 即

$$\begin{cases} d > L_{\max} \\ h_1 \geq H_{\max} \\ b_1 \geq B_{\max} \\ l_2 > L_{\max} \end{cases} \quad (10)$$

式中 d ——鸭嘴接种区开口直径,mm
 h_1 ——鸭嘴接种区末端横向宽度,mm
 b_1 ——鸭嘴接种区末端纵向宽度,mm
 l_2 ——鸭嘴接种区长度,mm

下栽鸭嘴定位区要适应各尺寸鳞芽,如果以大号鳞芽尺寸为设计依据,中号和小号鳞芽会有一定角度横躺,影响栽种效果,定位区以中号鳞芽外形尺寸为设计基准,即

$$l_1 \geq L_m \quad (11)$$

式中 l_1 ——鸭嘴定位区长度,mm

下栽鸭嘴入土区高度依据大蒜鳞芽栽植深度来设定,一般为 $L_{\max}$ 加上 10~20 mm。入土角为 α_4 ,由鸭嘴接种口直径和鸭嘴长度确定,即

$$\alpha_4 = 2 \arctan \frac{\frac{d}{2}}{l_1 + l_2} \quad (12)$$

3.3.5 下栽鸭嘴打开盘

下栽鸭嘴打开盘是直立下栽装置的核心部件,控制着下栽鸭嘴的开合时间、地点和速度。下栽鸭嘴打开盘的设计涉及驱动圆盘的转动、机组的前进运动、打开盘自身转动和下栽鸭嘴的打开运动等,通过解析法计算打开盘外形尺寸非常复杂,本文提出一种基于 ADAMS 逆向设计打开盘的方法。

(1) 建立下栽装置的简易三维模型,导入 ADAMS 添加结构和运动约束,设 $v_1 = 120 \text{ mm/s}$, $\omega = 60(^{\circ})/\text{s}$ 。仿真后,生成下栽鸭嘴相对地面的运动轨迹曲线,如图 20 中曲线 a 所示。

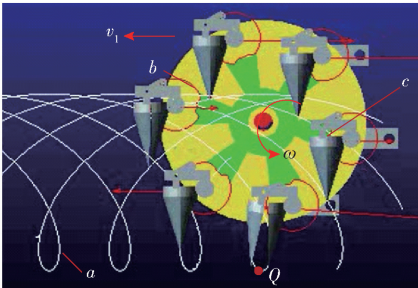


图 20 直立栽种机构仿真结果

Fig. 20 Simulation results of vertical planting mechanism

(2) 当下栽鸭嘴运行到点 Q , 给下栽鸭嘴活动半件添加 STEP 函数, 控制下栽鸭嘴的打开速度和角度。运动仿真后, 生成下栽鸭嘴打开轴相对地面的运动轨迹曲线, 如图 20 中曲线 b 所示。

(3) 提取下栽鸭嘴打开轴运动轨迹曲线数据,

导入三维建模软件, 生成打开盘三维模型, 并导入 ADAMS 仿真模型中。鸭嘴打开盘与驱动轴添加锁定约束, 鸭嘴打开盘与下栽鸭嘴打开轴添加碰撞约束, 删除下栽鸭嘴活动半件的 STEP 函数, 仿真结果如图 20 所示, 与设计预期一致。

4 台架试验

4.1 单粒取种装置台架试验

为确定单粒取种装置的适用速度范围, 以分级金乡杂交蒜和苍山四六瓣为供试品种, 设计大蒜播种机试验台, 进行 3 级取种勺对应级别蒜种的取种试验。试验台由单粒取种装置、换向器、直立下栽装置、电机、变频器和试验架等组成, 如图 21 所示。

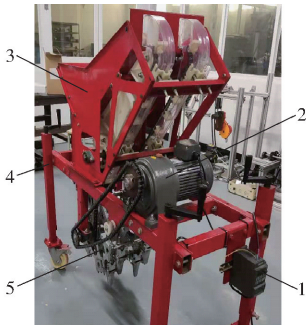


图 21 播种机试验台

Fig. 21 Seeder test stand

1. 变频器 2. 电机 3. 单粒取种装置 4. 试验架 5. 下栽装置

表 1 试验结果
Tab. 1 Test results

大蒜品种	排种速度/ (颗·s ⁻¹)	单粒率 q_1			重播率 q_2			漏播率 q_3			%
		小勺	中勺	大勺	小勺	中勺	大勺	小勺	中勺	大勺	
金乡杂交蒜	1.2	85.5	90.5	94.5	9.0	8.0	2.0	5.5	1.5	3.5	
	1.4	90.2	91.5	92.5	5.5	6.5	4.0	4.3	2.0	3.5	
	1.6	92.5	92.0	94.5	5.0	6.5	1.5	2.5	1.5	4.0	
	1.8	91.5	94.0	94.0	3.5	4.5	1.0	5.0	1.5	5.0	
	2.0	94.5	92.5	93.5	2.0	5.0	2.0	4.0	2.5	4.5	
苍山四六瓣蒜	1.2	81	90.0	91.5	4.0	7.0	5.5	15.0	3.0	3.0	
	1.4	79	90.5	95.0	8.0	7.0	2.5	13.0	2.5	2.5	
	1.6	84	91.5	95.5	2.5	6.0	2.0	13.5	2.5	2.5	
	1.8	82	93.8	94.0	3.0	3.3	2.5	15.0	2.9	3.5	
	2.0	79	90.0	92.0	3.0	2.3	2.5	18.0	7.7	5.5	

4.2 换向器台架试验

影响换向器作业性能的因素主要为鳞芽芽尖纵向长度,对鳞芽芽尖长度进行人工修剪处理,分为4个水平,即4、5、6、≥7 mm;换向器的作业效率由接到种子直至反弹后稳定时间、下载鸭嘴运行到活动半件的时间和活动半件打开直至种子完全落出换向器型腔时间组成,考虑排种效率,将排种速度分为4个水平,即1.2、1.4、1.6、1.8个/s。为明确二者对换向器性能的影响,以正芽率为试验指标,进行二因素四水平正交试验。

供试品种为金乡杂交蒜中号鳞芽(芽尖长度4~5 mm)和苍山四六瓣中号鳞芽(芽尖长度大于等于6 mm),试验台如图 21 所示,试验方案如表 2 所示。试验台稳定运行条件下,每组试验取种 200 次,记录从换向器直立进入下载鸭嘴的大蒜鳞芽数目,

表 2 正交试验方案与结果

序号	试验因素		正芽率 p_4 / %
	芽尖长度/ mm	排种速度/ (颗·s ⁻¹)	
1	4	1.2	65.5
2	4	1.4	71.0
3	4	1.6	72.5
4	4	1.8	71.0
5	5	1.4	74.0
6	5	1.4	76.5
7	5	1.6	77.5
8	5	1.8	73.5
9	6	1.2	89.0
10	6	1.4	88.5
11	6	1.6	88.5
12	6	1.8	82.5
13	≥7	1.2	91.5
14	≥7	1.4	90.5
15	≥7	1.6	87.0
16	≥7	1.8	86.5

每组试验重复 3 次,取平均值为试验结果。

由表 2 可知,芽尖长度对正芽率的影响较大,芽尖长度小于 6 mm 时正芽率最高达到 77.5%,排种速度对正芽率的影响不明显,正芽效果不理想,不能满足大蒜正芽播种农艺要求。芽尖长度大于等于 6 mm 时正芽率有明显上升,均值达到了 85% 左右,与芽尖长度小于 6 mm 的鳞芽对比有阶梯性增长,能够满足正芽播种农艺要求;芽尖长度大于等于 6 mm 时,排种速度对正芽效果影响明显,正芽率随着排种速度的增加而减小。综上,本文研究设计的大蒜播种机适用的鳞芽芽尖长度大于等于 6 mm,适合的排种速度为 1.2~1.6 颗/s。

5 田间试验

5.1 试验条件与材料

2020 年 9 月 20 日,在山东省玛丽亚农业机械有限公司种植试验基地进行了 2BUX-11 型大蒜正芽播种机的田间作业性能试验,如图 22 所示。试验用地为壤土,土地松弛规整,符合大蒜种植农艺要求,试验大蒜品种为人工破瓣的中号金乡杂交蒜(随机统计 100 颗鳞芽,鳞芽尖长度大于等于 6 mm 的比例为 61%)和中号苍山四六瓣大蒜(随机统计 100 颗鳞芽,鳞芽尖长度大于等于 6 mm 的比例为 95%),配套动

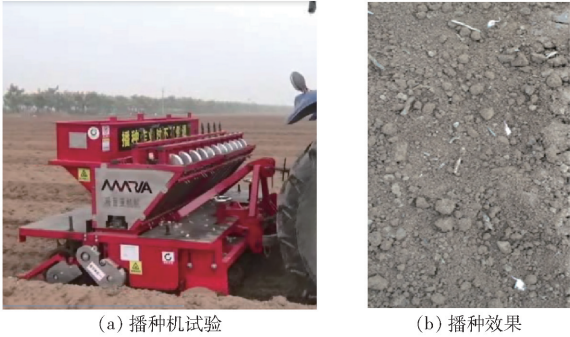


图 22 田间作业性能试验
Fig. 22 Field performance test

力为带爬行挡的东方红 1004 型拖拉机。

5.2 试验方法及指标

试验参照 DB 37/T 3705—2019《大蒜播种机通用技术规范》进行。为降低试验误差,作业区分为启动区、测试区和停止区,启动区和停止区 5 m,测试区 25 m,每组试验重复 3 次,取平均值为试验结果,每组试验连续记录 200 个标准株距,计算单粒率 p_1 、重播率 p_2 、漏播率 p_3 、正芽率 p_4 、株距合格指数 p_5 、播深合格指数 p_6 。

5.3 试验设计及结果分析

5.3.1 行走速度对播种机性能的影响

影响播种机作业性能的主要因素为播种机的行走速度。在株距 $S = 120\text{ mm}$ 条件下,以单粒率、重播率、漏播率和正芽率为试验指标,对播种机性能进行试验。根据换向试验,播种机针对金乡杂交蒜行走速度设定 3 个水平,与 1.2、1.4、1.6 颗/s 排种速度对应,即 0.14、0.17、0.19 m/s,速度误差 $\pm 3\%$,试验结果如表 3 所示。

表 3 不同行走速度时试验结果

Tab.3 Test results at different walking speeds %					
品种	速度/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	单粒率 p_1	重播率 p_2	漏播率 p_3	正芽率 p_4
金乡杂交蒜	0.14	93.4	5.5	2.1	88.2
	0.17	94.2	3.6	2.2	85.4
	0.19	93.3	3.8	2.9	84.6
苍山四六瓣蒜	0.14	93.5	4.5	2.0	91.3
	0.17	93.8	3.7	2.5	90.2
	0.19	94.2	3.1	2.7	88.4

由表 3 可知,3 个速度水平下,机具对金乡杂交蒜和苍山四六瓣蒜的单粒率均达到了 93% 以上,单粒率总体好于台架试验,分析其原因在于播种机的作业振动尤其是旋耕装置的振动降低了排种器的重播率。正芽率方面,金乡杂交蒜达到 85% 左右,基本满足大蒜播种农艺要求;苍山四六瓣蒜的正芽率达到 90% 左右,满足农民的种植农艺需求。综上,2BUX-11 型大蒜正芽播种机的单粒率和正芽率整体满足种植农艺要求。

5.3.2 株距合格指数

在作业速度为 1.4 m/s、理论株距为 120 mm 条件下,连续测量稳定工作状态下 200 穴种子的株距,

计算株距合格指数。对于金乡杂交蒜平均株距为 121.3 mm,株距合格指数为 99.3%,标准差为 1.2 mm,变异系数为 2.1%;对于苍山四六瓣大蒜,平均株距为 120.8 mm,株距合格指数为 98.7%,标准差为 1.3 mm,变异系数为 2.0%。综上,对于两种大蒜,播种机的株距差异较小,表明播种机株距均匀性和稳定性较好。

5.3.3 播深合格指数

在作业速度为 1.4 m/s、理论株距为 120 mm 条件下,连续测量稳定工作状态下 200 穴种子的播种深度,计算播深合格指数。对于金乡杂交蒜,平均播种深度为 17.3 mm,播深合格指数为 91.5%,标准差为 3.8 mm,变异系数为 7.6%;对于苍山四六瓣蒜,平均播种深度为 18.5 mm,播深合格指数为 93.1%,标准差为 3.3 mm,变异系数为 7.2%。综合可知,两个品种的播深合格指数差异较小,表明播种机的播种深度一致性较好。

6 结论

(1)设计了 2BUX-11 型大蒜正芽播种机,主要由单粒取种装置、鳞芽方向控制装置、直立下栽装置、传动系统以及机架、地轮等部分组成,可一次完成取种、换向、直立栽种和镇压作业,显著提高了大蒜播种效率。

(2)优化了播种机单粒取种装置,设计了符合大蒜鳞芽外形尺寸分布的大、中、小 3 级取种勺;设计了弧形开口换向器,使芽尖弯曲大蒜鳞芽芽尖尽可能露出换向器;设计了中间轴随驱动圆盘同时旋转的直立下栽机构,实现 11 行下栽鸭嘴稳定作业,与弧形换向器配合实现芽尖不小于 6 mm 大蒜鳞芽的正芽,初步解决了杂交蒜正芽播种难题。

(3)田间试验结果表明,行走速度在 0.14 ~ 0.19 m/s 范围内,机具对金乡杂交蒜正芽率达到 85% 左右,对苍山四六瓣蒜的正芽率达到 90% 左右,整体满足大蒜播种农艺要求。

(4)形态规则芽尖较长的苍山四六瓣蒜更适合播种机正芽播种,影响该类大蒜正芽率的关键是减少排种器的漏播率和重播率。对于形态多样、鳞芽大小差异较大、鳞芽芽尖短且弯杂的金乡杂交蒜,正芽率受鳞芽芽尖长度影响较大。

参 考 文 献

[1] 崔荣江, 张华, 徐文艺, 等. 我国大蒜机械化生产现状及发展思路探讨[J]. 农机化研究, 2015, 37(3): 264-267.
CUI Rongjiang, ZHANG Hua, XU Wenyi, et al. Discussion on the present situation and development of garlic mechanized production in China [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2015, 37(3): 264-267. (in Chinese)

[2] 林悦香, 尚书旗, 杨然兵, 等. 大蒜直立播种机设计[J]. 农机化研究, 2013, 35(10): 87-89, 94.
LIN Yuexiang, SHANG Shuqi, YANG Ranbing, et al. The design of upright garlic planter [J]. Journal of Agricultural

- Mechanization Research, 2013, 35(10): 87–89, 94. (in Chinese)
- [3] 侯加林, 黄圣海, 牛子孺, 等. 双鸭嘴式大蒜正头装置调头机理分析与试验[J]. 农业机械学报, 2018, 49(11): 87–96.
HOU Jialin, HUANG Shenghai, NIU Zirui, et al. Mechanism analysis and test of adjusting garlics upwards using two duckbill devices[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(11): 87–96. (in Chinese)
- [4] 何岳平, 陈青春, 何瑞银, 等. 大蒜栽植机栽植系统优化设计与运动分析[J]. 农业机械学报, 2011, 42(2): 88–93, 119.
HE Yueping, CHEN Qingchun, HE Ruiyin, et al. Optimal design and kinematic analysis for planting system of garlic planting machinery[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(2): 88–93, 119. (in Chinese)
- [5] 崔荣江, 张华, 徐文艺, 等. 勺链式大蒜取种器的优化设计与试验[J]. 农机化研究, 2017, 39(2): 99–102, 107.
CUI Rongjiang, ZHANG Hua, XU Wenyi, et al. Optimization design and test of take garlic spoon[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2017, 39(2): 99–102, 107. (in Chinese)
- [6] 李华峰. 大蒜播种机: 2007200231828.5[P]. 2008–05–06.
- [7] 荐世春, 赵峰, 李青, 等. 旋转式蒜瓣单粒定向取种器的研究设计[J]. 农业装备与车辆工程, 2009(2): 18–20.
JIAN Shichun, ZHAO Feng, LI Qing, et al. Research and design on rotary garlic single clove directional seed metering device[J]. Transactions of the Agricultural Equipment and Vehicle Engineering, 2009(2): 18–20. (in Chinese)
- [8] KSF 株式会社. 大蒜播种机: 201380008620.3[P]. 2013–05–03.
- [9] 崇峻, 张光辉, 崇璐. 大蒜播种机: 201510449033.9[P]. 2015–07–28.
- [10] 耿爱军, 张兆磊, 宋占华, 等. 蒜种盒机械投放过程运动学分析与参数优化试验[J]. 农业工程学报, 2016, 32(5): 29–35.
GENG Aijun, ZHANG Zhaolei, SONG Zhanhua, et al. Kinematic analysis and parameter optimized experiment of garlic box delivery process[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(5): 29–35. (in Chinese)
- [11] 杨清明, 李娟玲, 何瑞银. 基于图像处理的大蒜鳞芽朝向识别[J]. 浙江农业学报, 2010, 22(1): 119–123.
YANG Qingming, LI Juanling, HE Ruiyin. Recognition of garlic scale bud orientation based on image processing[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2010, 22(1): 119–123. (in Chinese)
- [12] LEI P, DENG S, LIU R. Research on the identification of the roots of garlic base on pattern recognition[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010, 32(5): 26–31.
- [13] 郭英芳. 大大蒜鳞芽植机械中大蒜鳞芽识别方法研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2011.
GUO Yingfang. Study on garlic scale bud recognition method in garlic scale bud planting machinery[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2011. (in Chinese)
- [14] 高迟. 大蒜播种机器人控制系统研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010.
GAO Chi. Research on garlic seeding robot control system[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2010. (in Chinese)
- [15] 王娟, 史留勇, 袁成宇, 等. 大蒜鳞芽识别与转向装置设计[J]. 农机化研究, 2014, 36(6): 94–97.
WANG Juan, SHI Liuyong, YUAN Chengyu, et al. Garlic scale bud recognition and steering device design[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2014, 36(6): 94–97. (in Chinese)
- [16] GENG A, LI X, HOU J, et al. Design and experiment of automatic garlic seed directing device[J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2020, 13(6): 85–93.
- [17] LI Y, WU Y, LI T, et al. Design and experiment of adjustment device based on machine vision for garlic clove direction[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2020, 174: 105513.
- [18] 崔荣江, 王小瑜, 荐世春, 等. 一种连续直立栽种机构: 201510493526.2[P]. 2015–08–12.
- [19] 刘新田, 包建领. 一种大蒜播种机: 201410810579.8[P]. 2014–12–23.
- [20] 耿爱军, 栗晓宇, 侯加林, 等. 自动定向大蒜播种机的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2018, 34(11): 17–25.
GENG Aijun, LI Xiaoyu, HOU Jialin, et al. Design and experiment of automatic directing garlic planter[J]. Transactions of the CSAE, 2018, 34(11): 17–25. (in Chinese)
- [21] 金磊. 大大蒜鳞芽植机械设计[D]. 北京: 中国农业大学, 2007.
JIN Lei. Mechanical design of large garlic scale bud planting[D]. Beijing: China Agricultural University, 2007. (in Chinese)
- [22] 崔荣江, 张华, 徐文艺, 等. 大蒜种体入土后的直立栽种条件研究[J]. 农机化研究, 2015, 37(2): 83–86.
CUI Rongjiang, ZHANG Hua, XU Wenyi, et al. Study on upright planting conditions of garlic seeds after entering the soil[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2015, 37(2): 83–86. (in Chinese)
- [23] 崔荣江, 荐世春, 徐文艺, 等. 大蒜直立栽种器的设计与试验[J]. 农机化研究, 2016, 38(9): 201–205.
CUI Rongjiang, JIAN Shicun, XU Wenyi, et al. Design and test of garlic upright plant[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2016, 38(9): 201–205. (in Chinese)