

大蒜栽植机栽植系统优化设计与运动分析^{*}

何岳平 陈青春 何瑞银 於海明

(南京农业大学工学院, 南京 210031)

【摘要】 针对大蒜在栽植过程中保持蒜尖朝上并直立的农艺要求,将水稻插秧机分插机构工作原理作为大蒜栽植机栽植系统的优化设计基础,对大蒜栽植机栽植系统进行适应性改进。对该机构的运动过程进行分析得到了成穴机构的穴宽、穴距和成穴深的表达式,并以穴宽适中为目标函数,增加了已有研究所缺少的约束条件,建立了大蒜栽植机栽植系统的优化数学模型,探讨了机构有关参数对穴宽的影响。利用 Matlab 软件对影响穴宽的因素进行了优化计算,优化结果显示理想穴宽与实际穴宽的误差为 0.02 mm。在 ADAMS 系统环境下,对大蒜栽植机栽植系统进行运动仿真和分析表明,优化后的分插机构工作参数符合大蒜栽植的农艺需求。

关键词: 大蒜栽植机 栽植系统 优化设计 运动分析

中图分类号: S223.94 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)02-0088-06

Optimal Design and Kinematic Analysis for Planting System of Garlic Planting Machinery

He Yueping Chen Qingchun He Ruiyin Yu Haiming

(College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China)

Abstract

To meet the agronomic requirements of maintaining the garlic clove upright with its root downward during the process of garlic planting, operating principles of rice transplanting mechanism was used as the optimal design basis of planting system of garlic planting machinery. Equations of cave width, space, depth were obtained through kinematic analysis. Mathematical optimization model was established with required cave width as objective function and restrained conditions not reported previously. Parameters affecting cave width were discussed, and optimized using Matlab. Optimization results indicated that the difference between desired and actual cave width was 0.02 mm. Planting system of garlic planting machinery was simulated and analyzed using ADAMS. The results showed that the system met the garlic planting requirements.

Key words Garlic planting machinery, Planting system, Optimal design, Kinematic analysis

引言

目前,我国大蒜播种主要靠人工插播,劳动强度大、工作效率低、种植质量差、成本高,成为大蒜产业发展的瓶颈之一。虽然国内现有少数型号的大蒜栽植机能够实现机械化栽(播)种,但是栽植后一般不能保证蒜瓣直立和蒜尖向上,且容易损伤蒜种,导致大蒜出芽率降低,成品蒜头品质下降,难以适应大蒜

生产产业化发展的需要及对出口品质的要求^[1]。因此,设计一种能保证蒜瓣直立且蒜尖朝上、生产率高的大蒜栽植机,对提高大蒜质量及提高大蒜种植出口基地的经济效益具有重要意义。

已有后插式大蒜栽植机研究缺少蒜爪入土角与取蒜角的角度差约束条件,且未分析蒜爪与水平方向夹角的变化规律^[2]。

本文针对大蒜栽植的农艺要求,选择东洋

收稿日期: 2010-05-12 修回日期: 2010-10-26

^{*} 江苏省农机基金资助项目(GXZ06002)

作者简介: 何岳平,硕士生,主要从事现代农业机械研究,E-mail: hyueping2003@126.com

通讯作者: 陈青春,副教授,主要从事农业机械化工程研究,E-mail: chenqc@njau.edu.cn

PF455S 型插秧机的后插式分插机构作为大蒜栽植机栽植系统的研发基础,进行大蒜栽植适应性分析、改进,旨在寻求适合于大蒜栽植机分插机构的结构形式和最优的工作参数。利用复数矢量建立后插式分插机构(曲柄摇杆分插机构)关键机构的数学模型,确定穴宽作为栽植质量评价的目标函数,以蒜爪入土角与取蒜角的角度差作为关键约束条件,利用 Matlab 软件的优化工具求解问题最优解。在 ADAMS 系统环境下,对大蒜栽植机分插机构进行运动仿真和分析,求解分插机构的运动学参数,即蒜爪的运动轨迹、运动速度和加速度,用以评价大蒜栽植机的作业性能。

1 蒜爪运动轨迹的数学模型

蒜瓣在栽植过程中的运动轨迹是大蒜栽植机关键机构设计的核心前提,是决定栽植机特性和工作性能的主要因素之一。大蒜栽植机在蒜瓣栽植过程中,蒜爪运动轨迹分为静轨迹和动轨迹,轨迹特性反映分插机构参数设计是否满足大蒜栽植农艺要求,并直接影响大蒜栽植机的工作性能和栽植质量。轨迹不合理将使得栽植机构不能很好地完成栽蒜的一系列动作,甚至造成两个蒜爪的运动干涉。同时,运动轨迹决定蒜爪在运动中速度的大小和方向以及后插式分插机构的成穴质量。鉴于此,建立分插机构简图(图 1),参照文献[3],以四连杆机构运动链构成的封闭向量回路为基础,建立蒜爪位置 F 点的轨迹方程

$$l_1 e^{i\phi_1} + l_2 e^{i\phi_2} = l_3 e^{i\phi_3} + l_4 e^{i\phi_4} \quad (1)$$

由式(1)得

$$\phi_3 = 2 \arctan \frac{P + \sqrt{K_1^2 + K_2^2 - K_3^2}}{K_1 - K_3}$$

$$\phi_4 = \arctan \frac{K_2 - l_3 \sin \phi_3}{K_1 - l_3 \cos \phi_3}$$

其中 $K_1 = l_1 \cos \phi_1 + l_2 \cos \phi_2$

$$K_2 = l_1 \sin \phi_1 + l_2 \sin \phi_2$$

$$K_3 = -(K_1^2 + K_2^2 + l_3^2 - l_4^2) / (2l_3)$$

蒜爪静态轨迹的运动方程为

$$\begin{cases} x_f = l_1 \cos \phi_1 + l_7 \cos(\phi_4 + \beta_1) \\ y_f = l_1 \sin \phi_1 + l_7 \sin(\phi_4 + \beta_1) + l_2 \end{cases} \quad (2)$$

蒜爪动态轨迹的运动方程为

$$\begin{cases} x'_f = l_1 \cos \phi_1 + l_7 \cos(\phi_4 + \beta_1) + v_m t \\ y'_f = l_1 \sin \phi_1 + l_7 \sin(\phi_4 + \beta_1) + l_2 \end{cases} \quad (3)$$

式中 v_m ——机组前进速度, mm/s

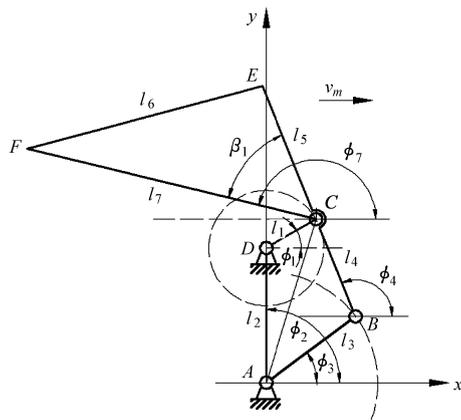


图 1 后插式分插机构简图

Fig. 1 Scheme of rear transplanting mechanism

2 栽植系统的工作参数与成穴参数的关联

成穴参数是确定大蒜栽植机分插机构工作参数的主要依据,其穴距、穴宽、穴深等参数都是影响设计的主要因素。如穴宽过大,蒜瓣难以直立;穴宽过小,蒜瓣易出土或漏播。本文基于后插式分插机构蒜爪运动轨迹方程及蒜爪在入土点、最深点和出土点的 3 个关键位置时曲柄对应的转角参数为参考,建立成穴参数简图(图 2,机架参考点为纵坐标基准点),并根据各参数与栽植技术要求的关系,确定各参数的计算方法及理想范围。

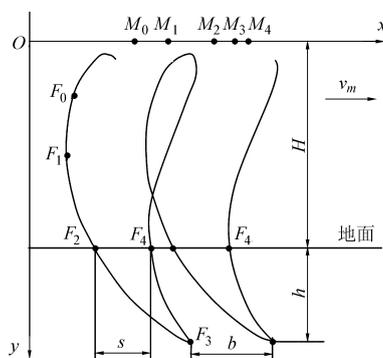


图 2 成穴参数简图

Fig. 2 Scheme of cave formation

2.1 穴距

蒜爪在一个转动周期内,相邻栽植最深点之间的距离为穴距。蒜爪位于相邻最深点时,曲柄转角差为 2π ,由于曲柄和机组均作匀速运动,根据蒜爪的轨迹表达式可得穴距的计算式为

$$b = 2\pi v_m / \omega \quad (4)$$

式中 ω ——曲柄角速度, ($^\circ$)/s

试验表明,大蒜产量在一定范围内随种植密度的增大而增大,但蒜头尺寸随之减小,而蒜头大小是衡量大蒜品质的重要标准之一^[4]。根据蒜头出口标准要求(直径 5 cm 以上)的种植密度,穴距可取 100 ~ 130 mm^[5],且应根据不同作业条件方便调整。

2.2 穴宽

蒜爪 F 点在入土点与出土点之间的水平距离为穴宽。设曲柄以等角速度 ω 转动,曲柄相位角为 30° 时蒜爪 F 点的位置为初始位置 (F_0 点)。经过时间 t_1, t_2, t_3, t_4 后,蒜爪 F 点分别位于 F_1 (取蒜点)、 F_2 (入土点)、 F_3 (最深点)、 F_4 (出土点) (图 2), 相应的曲柄转角分别为 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$, 机架参考点分别位于 M_1, M_2, M_3, M_4 。

蒜爪位于入土点及出土点的水平坐标分别为

$$x'_{F_2} = l_1 \cos \alpha_2 + l_7 \cos(\phi_{4\alpha_2} + \beta_1) + v_m t_2 \quad (5)$$

$$x'_{F_4} = l_1 \cos \alpha_4 + l_7 \cos(\phi_{4\alpha_4} + \beta_1) + v_m t_4 \quad (6)$$

式中 $\phi_{4\alpha_2}, \phi_{4\alpha_4}$ ——关于曲柄转角 α_2, α_4 的变量,可根据式(1)求解, ($^\circ$)

将两横坐标值相减即为穴宽

$$s = l_1 \cos \alpha_4 - l_1 \cos \alpha_2 + l_7 \cos(\phi_{4\alpha_4} + \beta_1) - l_7 \cos(\phi_{4\alpha_2} + \beta_1) + v_m (\alpha_4 - \alpha_2) / \omega \quad (7)$$

2.3 穴深

蒜爪位于入土点、出土点、最深点时坐标值分别为

$$y'_{F_2} = l_1 \sin \alpha_2 + l_7 \sin(\phi_{4\alpha_2} + \beta_1) + l_2 \quad (8)$$

$$y'_{F_4} = l_1 \sin \alpha_4 + l_7 \sin(\phi_{4\alpha_4} + \beta_1) + l_2 \quad (9)$$

$$y'_{F_3} = l_1 \sin \alpha_3 + l_7 \sin(\phi_{4\alpha_3} + \beta_1) + l_2 \quad (10)$$

入土点 F_2 (或出土点 F_4) 与最深点 F_3 的纵坐标之差即为穴深

$$h = l_1 \sin \alpha_2 + l_7 \sin(\phi_{4\alpha_2} + \beta_1) - l_1 \sin \alpha_3 - l_7 \sin(\phi_{4\alpha_3} + \beta_1) \quad (10)$$

$$h = l_1 \sin \alpha_4 + l_7 \sin(\phi_{4\alpha_4} + \beta_1) - l_1 \sin \alpha_3 - l_7 \sin(\phi_{4\alpha_3} + \beta_1) \quad (10)$$

穴深直接决定栽植深度^[6],根据大蒜物料特性及农艺要求,穴深应为 20 ~ 25 mm。

2.4 蒜爪与水平方向的夹角

由于蒜爪与水平方向夹角的大小、方向在栽植过程中处于变化状态,同时作业各阶段对该角度的要求不同,如入土时最好为垂直入土,在种箱内应为垂直取蒜,因此其大小和方向的变化规律分析是确定栽植过程中各作业阶段运动状态是否合适的有效手段。

根据分插机构 E 点和 F 点位置的相互关系,得蒜爪与水平方向的夹角为

$$\gamma_h = \arctan \left(\frac{y'_E - y'_F}{x'_E - x'_F} \right) \quad (11)$$

$$\arctan \left(\frac{(l_4 + l_5) \sin \phi_4 + l_3 \sin \phi_3 - l_1 \sin \phi_1 - l_7 \sin(\phi_4 + \beta_1) - l_2}{(l_4 + l_5) \cos \phi_4 + l_3 \cos \phi_3 - l_1 \cos \phi_1 - l_7 \cos(\phi_4 + \beta_1)} \right) \quad (12)$$

根据上述成穴参数的定义及对所建立方程的分

析,可得如下结论:

(1) 穴距与机组前进速度 v_m 、曲柄角速度 ω 有关,与其他参数无关。

(2) 穴宽与分插机构的结构参数、机组行进速度 v_m 、曲柄角速度 ω 有关,其他参数的影响较小。

(3) 插播深度与分插机构结构参数 l_1, l_7 及机架连杆的安装高度 H 有关,其他参数的影响较小。

(4) 机架安装高度 H 对入土角、出土角和插播深度均有影响。

(5) 分插机构各工作参数对蒜爪与水平方向的夹角均有影响。

3 栽植系统优化设计数学模型的建立

大蒜栽植机的分插机构可以简化为平面四连杆机构。在平面四连杆机构中,连杆尺寸将影响连杆上各点的运动轨迹(连杆曲线)。即使连杆尺寸相同,连杆上不同位置点的运动轨迹也不相同,所以选择各杆件尺寸以保证分插机构具有符合农艺要求的最佳运动特性,尤其应保证蒜瓣入土后直立,成为设计的关键问题。本文采用 Matlab 软件对分插机构的机构参数进行优化设计,以寻求适合于大蒜栽植机分插机构的结构形式和最优工作参数。

3.1 目标函数的确定

根据蒜瓣(以江苏地区主要大蒜品种二水早为例)的物料特性及栽植系统工作参数与成穴参数的关系,为保证蒜瓣栽植过程中的直立状态,确定优化的主要性能指标为穴宽,因此选取栽植过程中实际穴宽 s 与理论穴宽 s_L 偏差最小为目标函数,即

$$\min f(x) = \sqrt{|s^2 - s_L^2|} \quad (13)$$

理论穴宽根据大量蒜瓣(江苏地区主要大蒜品种二水早)测量尺寸的统计结果确定为 20.5 mm。

3.2 设计变量的选择

由成穴参数方程的分析知,曲柄、连杆、蒜爪长度、曲柄初始相位角、曲柄转速等参数的变化均会导致机构运动状态的变化,因此选取整个机构的所有工作参数作为设计变量,即

$$\mathbf{X} = [x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}]^T = [l_3, l_2, l_4, l_1, l_5, l_6, l_7, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, H]^T$$

3.3 约束条件的确定

(1) 入土约束条件

根据蒜爪 F 点位于入土点时 y 坐标等于机架安装高度的要求,得入土约束条件

$$y'_{F_2} = l_1 \sin \alpha_2 + l_7 \sin(\phi_{4\alpha_2} + \beta_1) + l_2 = H \quad (14)$$

同理,得出土约束条件

$$y'_{F_4} = l_1 \sin \alpha_4 + l_7 \sin(\phi_{4\alpha_4} + \beta_1) + l_2 = H \quad (15)$$

(2) 穴深约束条件

根据大蒜栽植的农艺要求,即插播深度不超出要求深度的上、下限范围(20 ~ 25 mm)、穴深公式及入、出土条件,得穴深约束条件

$$20 \leq l_1 \sin \alpha_2 + l_7 \sin(\phi_{4\alpha_2} + \beta_1) - l_1 \sin \alpha_3 - l_7 \sin(\phi_{4\alpha_3} + \beta_1) \leq 25 \quad (16)$$

$$\text{及} \quad 20 \leq l_1 \sin \alpha_4 + l_7 \sin(\phi_{4\alpha_4} + \beta_1) - l_1 \sin \alpha_3 - l_7 \sin(\phi_{4\alpha_3} + \beta_1) \leq 25 \quad (17)$$

(3) 曲柄成立约束条件

要求最短杆与最长杆长度之和不大于其他两杆长度之和,及各杆件参数均为正,得

$$l_1 + l_3 \leq l_4 + l_2$$

$$l_1 + l_2 \leq l_3 + l_4$$

$$l_1 + l_4 \leq l_2 + l_3$$

$$(l_1, l_2, l_3, l_4, \geq 0)$$

(4) 入、出土角度约束条件

依据穴宽的参数方程(式(7))和曲柄旋转一周需完成一个工作过程,得约束条件

$$30^\circ < \alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3 < 360^\circ$$

(5) 机架安装高度约束条件

参考图 1,以 x 轴与地面的垂直距离为机架安装高度。为保证蒜爪能顺利入土,根据东洋 PF455S 型插秧机分插机构秧爪运动轨迹的最高点位置(152.06 mm),初步确定安装高度范围为(以 y 方向坐标值表示)

$$-150 \leq H \leq 0$$

(6) 蒜爪与水平方向的夹角约束条件

由于大蒜栽植属于单颗精密栽植,而蒜爪与水平方向夹角(水平夹角)的角度变化在一定程度上影响蒜爪取蒜的准确性和播量稳定性,因此尽量在蒜爪工作的各个过程中,保证水平夹角满足各特殊位置点直立栽种需要,故在入土点 F_2 、最深点 F_3 、出土点 F_4 时约束条件为

$$\begin{cases} 85^\circ \leq \arctan\left(\frac{(l_4+l_5)\sin\phi_{4\alpha_2}+l_3\sin\phi_{3\alpha_2}-l_1\sin\alpha_2-l_7\sin(\phi_{4\alpha_2}+\beta_1)-l_2}{(l_4+l_5)\cos\phi_{4\alpha_2}+l_3\cos\phi_{3\alpha_2}-l_1\cos\alpha_2-l_7\cos(\phi_{4\alpha_2}+\beta_1)}\right) \leq 90^\circ \\ 85^\circ \leq \arctan\left(\frac{(l_4+l_5)\sin\phi_{4\alpha_3}+l_3\sin\phi_{3\alpha_3}-l_1\sin\alpha_3-l_7\sin(\phi_{4\alpha_3}+\beta_1)-l_2}{(l_4+l_5)\cos\phi_{4\alpha_3}+l_3\cos\phi_{3\alpha_3}-l_1\cos\alpha_3-l_7\cos(\phi_{4\alpha_3}+\beta_1)}\right) \leq 90^\circ \\ 85^\circ \leq \arctan\left(\frac{(l_4+l_5)\sin\phi_{4\alpha_4}+l_3\sin\phi_{3\alpha_4}-l_1\sin\alpha_4-l_7\sin(\phi_{4\alpha_4}+\beta_1)-l_2}{(l_4+l_5)\cos\phi_{4\alpha_4}+l_3\cos\phi_{3\alpha_4}-l_1\cos\alpha_4-l_7\cos(\phi_{4\alpha_4}+\beta_1)}\right) \leq 90^\circ \end{cases} \quad (18)$$

(7) 蒜爪入土角与取蒜角角度差约束条件

合理的取蒜段轨迹以及蒜爪垂直入土,是保证蒜瓣直立栽植的主要指标。考虑蒜瓣形状不规则性的物料特征,为保证在取蒜点只取单颗及减少伤种率,取蒜段尽量与蒜瓣平行并使蒜瓣垂直向下,蒜爪

与水平方向的夹角一般控制在 15° 以内,并要求取蒜轨迹与种箱垂直,利于提高蒜瓣进入蒜爪的稳定性和精确性。同时为保证蒜瓣栽植的直立性,需满足蒜爪垂直入土,因此蒜爪在两种位置时角度差的约束条件为

$$\begin{cases} 65^\circ \leq \arctan\left(\frac{(l_4+l_5)\sin\phi_{4\alpha_2}+l_3\sin\phi_{3\alpha_2}-l_1\sin\alpha_2-l_7\sin(\phi_{4\alpha_2}+\beta_1)-l_2}{(l_4+l_5)\cos\phi_{4\alpha_2}+l_3\cos\phi_{3\alpha_2}-l_1\cos\alpha_2-l_7\cos(\phi_{4\alpha_2}+\beta_1)}\right) - \arctan\left(\frac{(l_4+l_5)\sin\phi_{4\alpha_1}+l_3\sin\phi_{3\alpha_1}-l_1\sin\alpha_1-l_7\sin(\phi_{4\alpha_1}+\beta_1)-l_2}{(l_4+l_5)\cos\phi_{4\alpha_1}+l_3\cos\phi_{3\alpha_1}-l_1\cos\alpha_1-l_7\cos(\phi_{4\alpha_1}+\beta_1)}\right) \leq 80^\circ \\ 5^\circ \leq \arctan\left(\frac{(l_4+l_5)\sin\phi_{4\alpha_1}+l_3\sin\phi_{3\alpha_1}-l_1\sin\alpha_1-l_7\sin(\phi_{4\alpha_1}+\beta_1)-l_2}{(l_4+l_5)\cos\phi_{4\alpha_1}+l_3\cos\phi_{3\alpha_1}-l_1\cos\alpha_1-l_7\cos(\phi_{4\alpha_1}+\beta_1)}\right) \leq 15^\circ \end{cases} \quad (19)$$

从上述建立的优化数学模型看,这是一个 12 维 7 个约束的优化问题,可采用多种约束优化方法求解。本设计以东洋 PF455S 型插秧机的后插式分插机构为改进对象,通过调用 Matlab 优化工具箱中的 fmincon 函数求解所建立的大蒜栽植机栽植系统优化设计数学模型,其最优解如表 1 所示。

表 1 优化后的大蒜栽植系统工作参数

Tab. 1 Working parameters of planting system of garlic planting machinery after optimization

参数	原始数值	优化后数值
l_1/mm	40	41.63
l_2/mm	75	66.53
l_3/mm	80	69.34
l_4/mm	70	78.45
l_5/mm	90	88.79
l_6/mm	120	121.15
l_7/mm	175	172.75
$\alpha_1/(\circ)$	100	97.18
$\alpha_2/(\circ)$	210	205.22
$\alpha_3/(\circ)$	244	227.31
$\alpha_4/(\circ)$	265	253.70
H/mm	-50	-69.11
$\Delta s/\text{mm}$		0.02

根据优化结果,优化后的目标函数最小值为 0.02 mm,说明实际穴宽与理论穴宽非常接近。将最优参数值代入约束条件的相关公式计算,得穴深 21.15 mm,入土、出土时蒜爪末端 y 坐标与机架安装高度的差值为 7.8×10^{-5} mm 和 -3.6×10^{-5} mm,蒜爪在取蒜点、入土点、最深点及出土点位置与水平方向的夹角分别为 12.32° 、 84.45° 、 87.93° 、 88.87° ,可见穴深、穴宽、角度均满足大蒜栽植的农艺要求。

4 栽植系统模型验证与运动特性分析

由于机构较为复杂且设计变量较多,需对优化后的结果进行运动特性分析^[7],即蒜爪及各关键点运动参数的变化情况是否满足蒜瓣直立栽植的要

求。在此基础上,需对影响直立栽植要求的因素进行分析优化,确定大蒜栽植机分插机构的最优工作参数。根据 Matlab 优化后的工作参数,在 ADAMS 的交互式图形环境中建立栽植系统的参数化几何体,添加相应的约束副和驱动副,完成的虚拟样机模型如图 3 所示。

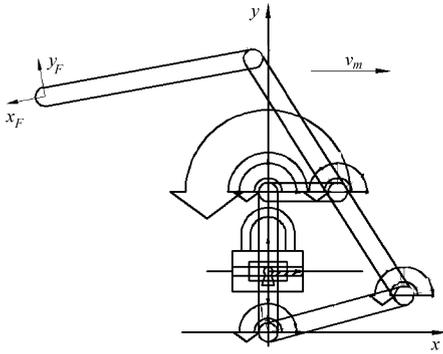


图 3 分插机构模型

Fig. 3 Model of transplanting mechanism

在虚拟样机中,设初始曲柄转速为 180 r/min,折算成 ADAMS/View 中的转速为 1 080°/s。并根据成穴参数方程及大蒜栽植的种植模式(在作业过程中需中低速),确定机组前进速度为零和 300 mm/s,用于分别模拟分插机构的静止和运动状态。仿真时间为 2/3 s,步长 1 000 步。初始条件设定后,对后插式分插机构进行运动仿真计算,并结合大蒜栽植机的主要技术指标及关键点的待分析参数,建立相应的测量函数,以便观察和分析相应参数对大蒜栽植质量的影响。

4.1 蒜爪运动轨迹

蒜爪由取蒜阶段到栽植阶段的运动轨迹是大蒜栽植机关键机构设计的核心前提,是决定栽植机工作性能和栽植质量的主要因素之一。

由图 4 可知,后插式分插机构的静轨迹呈镰刀形,刀尖在插深点处,保证了蒜爪在插深点处停留短暂时间,以满足蒜瓣的稳定性和栽蒜直立的技术要求^[8-10]。从动轨迹看,蒜爪向后运动并抓取蒜种,然后自后向前将蒜种插入土中;之后蒜爪向前上方运动,绕过已栽蒜种,进入回程阶段,保证了顺利脱离已栽蒜种,故动轨迹交叉点高度与蒜瓣长度无关,不影响播种质量。同时蒜爪在运蒜段的轨迹基本与地面垂直,且在接近地面时呈前贴趋势,有利于减少蒜爪入土阻力。

4.2 蒜爪与水平方向的夹角

由于大蒜栽植属于单颗精密栽植,而蒜爪与水平方向夹角(水平夹角)的角度变化在一定程度上影响蒜爪取蒜的准确性和播量稳定性,因此根据式(11)建立蒜爪与水平方向夹角的测量函数,并分

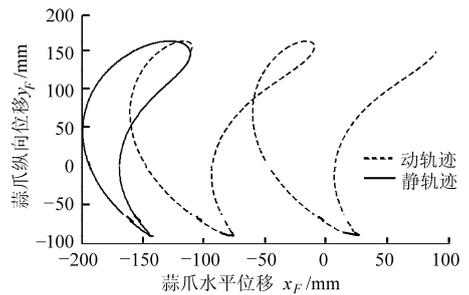


图 4 蒜爪的静、动态轨迹

Fig. 4 Trajectory curves of garlic claw in stationary and moving states

析其变化规律是否满足取蒜要求和栽植要求。

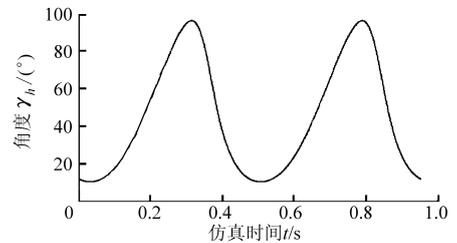


图 5 蒜爪与水平方向夹角的变化

Fig. 5 Variations of horizontal garlic claw angle

分析图 5 所示曲线可知,在一个运动周期内,蒜爪与水平方向的夹角随时间的变化近似于正弦函数曲线。蒜爪运蒜过程中,曲线斜率快速增加,使得水平夹角由初始值(10.21°)迅速增加到蒜爪入土时的 84.45°,在推蒜点则达到 87.93°,至插深点时则基本与地面垂直(88.87°)。水平夹角的这种变化规律符合大蒜栽植的农艺要求,即保持蒜瓣直立。在栽植完成后的回程阶段,水平夹角呈递减趋势,说明蒜爪运动方向开始与机器前进方向相同,为下次取种做准备,有利于避免蒜爪刮伤或带出已栽植的蒜种。

4.3 蒜爪速度、加速度

蒜爪运动学的分析,主要包括蒜爪作业过程中各阶段速度和加速度的变化规律(图 6、7),及对作业性能的影响。

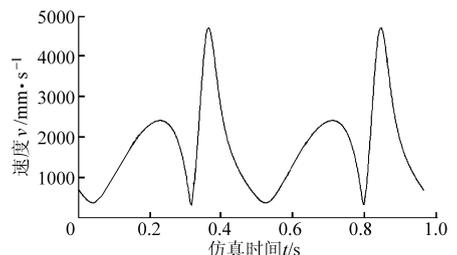


图 6 蒜爪速度变化

Fig. 6 Variations of garlic claw velocity

综合分析图 6、7 可得如下规律:蒜爪在取蒜点位置的速度(0.43 m/s)较小,方向指向蒜瓣,有利于避免伤种。蒜爪在蒜瓣输送阶段的速度呈递增趋

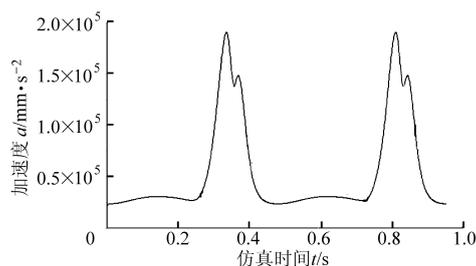


图 7 蒜爪加速度变化

Fig. 7 Variations of garlic claw acceleration

势,到达入土点时速度较大(2.51 m/s)。由于加速度方向向上,此时蒜瓣得到方向向下的惯性力,有助于蒜种脱离蒜爪入土。当蒜爪接近插深点时,脱蒜装置开始推蒜,到最深点完成栽植过程。由静轨迹分析知,蒜爪在最深点处短暂停歇,此时的加速度达到最大值(192.56 m/s²),速度达到最小值(0.39 m/s),有利于蒜瓣插稳插牢。到出土点时蒜爪速度增加到2.92 m/s,而加速度仍较大,有利于蒜种的脱离和防止带出蒜种。

由速度曲线看出,蒜爪在一个运动循环中,其速度产生两次波动。造成波动的原因是,当曲柄与连杆重合时,蒜爪的瞬心点与连杆B点重合,导致蒜爪速度最大;当曲柄与摇杆平行时,蒜爪的瞬心点位于无穷远处,导致蒜爪速度最小。在一个作业周期内,曲柄与连杆两次重合,与摇杆两次平行,因而速度出现两个极大值,两个极小值,符合产生两次波动的规律。后插式分插机构使蒜爪在一个运动循环中速度产生两次波动,满足对蒜瓣栽植质量的农艺要求。

结合对蒜爪运动轨迹及速度变化规律的分析可以看出,蒜爪速度由小到大,方向指向蒜瓣,有利于

取蒜;入土前的蒜爪速度较大且蒜瓣输送阶段轨迹与地面基本垂直(相当于直插),则对迅速下插有利。而蒜爪在取蒜阶段、蒜瓣输送阶段及蒜瓣插播阶段的整个过程中,蒜爪速度的变化特征为增速、减速、增速,该特征符合大蒜栽植过程的农艺要求。

后插式分插机构蒜爪加速度在取蒜及运蒜段比较平稳(25.67~42.08 m/s²),而在栽植阶段接近插深点时快速增加,在插深点附近达到最大值,出土后趋于平稳。蒜爪自最深点到出土点,其加速度方向指向前上方,此时推蒜过程结束,蒜爪与蒜瓣分离,从后方退出不会干扰已栽植的蒜瓣。推蒜点加速度与推蒜方向相反,则有利于脱蒜。

由上述分析知,加速度变化所产生的惯性作用有利于最深点处机构的脱蒜动作,从而保证了栽植的稳定性和直立性。

4.4 成穴参数

根据 ADAMS 运动仿真分析,优化后机构参数对应的穴宽(20.63 mm)和穴深(21.15 mm)与大蒜栽植所要求的穴宽、穴深相吻合。

5 结论

(1)所选东洋 PF455S 型插秧机的秧爪运动轨迹曲线适应大蒜栽植的农艺要求。

(2)以穴宽作为栽植质量的综合评价指标来建立表征穴宽与大蒜栽植机摇杆式分插机构各参数关系的数学模型,可解得分插机构各参数的最佳值。

(3)通过运动仿真分析,改进优化后分插机构关键点速度、加速度在大蒜栽植过程各运动阶段的变化规律满足大蒜栽植要求。

参 考 文 献

- 1 苏钦东. 大蒜生产与出口状况分析及展望[J]. 农产品加工,2008(3):53~55.
- 2 何岳平,陈青春,何瑞银,等. 以穴宽为优化目标的大蒜栽植机关键机构运动仿真及优化设计[J]. 安徽农业科学,2009,37(36):18 161~18 164,18 179.
He Yueping, Chen Qingchun, He Ruiyin, et al. Movement simulation and optimization design of garlic planting machine key institutions aimed at optimization pit width[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37(36): 18 161~18 164, 18 179. (in Chinese)
- 3 华大年,华志宏. 连杆机构设计与应用创新[M]. 北京:机械工业出版社,2008:84~114.
- 4 穆建楼. 大蒜栽培技术[J]. 新疆农业科技,1994(5):15.
- 5 郭新发. 国际市场对中国出口大蒜的质量要求[J]. 中国蔬菜,1995(1):41~42.
- 6 刘彩玲,宋建农,王继承. 花生覆膜穴播机成穴机构研究[J]. 中国农业大学学报,2007,12(3):61~64.
Liu Cailing, Song Jiannong, Wang Jicheng. Study on hole former of peanut hill-drop planter mulching film[J]. Journal of China Agricultural University, 2007, 12(3): 61~64. (in Chinese)
- 7 马世平. 基于 MATLAB 的六连杆打纬机构优化设计及仿真[J]. 纺织学报,2006,27(3):40~42.
Ma Shiping. Optimal design and simulation on 6-link beating construction based on MATLAB[J]. Journal of Textile Research, 2006, 27(3): 40~42. (in Chinese)

- 6 Timmer W A, Vanrooij R P J O M. Summary of the delft university wind turbine dedicated air-foils[C]. 41st Aerospace Sciences Meeting. AIAA Paper AIAA - 2003 - 0352, 2003.
 - 7 张兆顺, 崔桂香, 许春晓. 湍流理论与模拟[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 23 ~ 26.
 - 8 邓枫, 伍贻兆, 刘学强. 用 DES 数值模拟分离绕流的旋涡运动[J]. 计算物理, 2008, 25(6): 683 ~ 688.
Deng feng, Wu Yizhao, Liu Xueqiang. Simulation of vortex in separated flows with DES [J]. Chinese Journal of Computational Physics, 2008, 25(6): 683 ~ 688. (in Chinese)
 - 9 李栋, 焦予秦, Igor Men'shov, 等. Detached-Eddy Simulation 方法模拟不同类型翼型的失速特性[J]. 航空学报, 2005, 26(4): 406 ~ 410.
Li Dong, Jiao Yuqin, Igor Men'shov, et al. Detached-Eddy Simulation for airfoil stall[J]. Acta Aeronautica Et Astronautica Sinica, 2005, 26(4): 406 ~ 410. (in Chinese)
 - 10 李仁年, 李银然, 王秀勇, 等. 风力机翼型的气动模型及数值计算[J]. 兰州理工大学学报, 2010, 36(3): 65 ~ 68.
Li Rennian, Li Yinran, Wang Xiuyong, et al. Aerodynamic model of airfoil for wind turbine and its numeric computation [J]. Journal of Lanzhou University of Technology, 2010, 36(3): 65 ~ 68. (in Chinese)
-

(上接第 93 页)

- 8 龚永坚, 刘丽敏, 俞高红, 等. 水稻插秧机后插式分插机构运动分析与试验[J]. 农业机械学报, 2005, 36(9): 41 ~ 43.
Gong Yongjian, Liu Limin, Yu Gaohong, et al. Study on rearward separate-planting mechanism of rice transplanter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(9): 41 ~ 43. (in Chinese)
- 9 李永奎, 李宝筏, 任文涛, 等. 水稻插秧机分插机构工作过程的计算机模拟与分析系统[J]. 农业工程学报, 1996, 12(1): 76 ~ 80.
Li Yongkui, Li Baofa, Ren Wentao, et al. Computer simulating and analysing system for working process of rice transplanting mechanism with four bar linkages[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 1996, 12(1): 76 ~ 80. (in Chinese)
- 10 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 ~ 70.
Wang Wenming, Dou Weiguo, Wang Chunguang, et al. Parameter analysis of the planting process of 2ZT - 2 beet transplanter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(1): 69 ~ 70. (in Chinese)