

导管式水稻分秧栽植机构的秧苗运动分析及参数优化

宋建农 王苹 王清旭

(中国农业大学 工学院,北京 100083)

摘要 为了获得导管式水稻分秧栽植机构的最佳抛栽效果,对抛栽过程中的秧苗运动进行了分析,并针对实例进行了参数优化。结果表明:秧苗在分秧栽植机构抛栽过程中的运动由分秧段自由落体运动、沿导秧管壁的滑动和脱离导秧管的抛栽运动构成,导秧管边行抛栽性能最差。在初始参数确定后,影响抛栽性能的主要因素是导秧管倾角以及导秧管垂直高度 h_2 与秧苗脱离导秧管后的垂直落差 h_3 的分配比率。以获得最大抛栽速度为目标的参数优化结果为:当 $\alpha = 48^\circ$ 时,抛栽速度达到最大,抛栽效果最好;各参数值为: $h_2 = 0.133 \text{ m}$, $v_z = 4.46 \text{ m s}^{-1}$, $\alpha = 75.1^\circ$, $H_d = 1.02 \text{ m}$ 。

关键词 水稻;栽植机构;导秧管;运动分析

中图分类号 S 233.94; S 511.044

文章编号 1007-4333(2004)01-0071-04

文献标识码 A

Movement analysis of seedlings and parameter optimization of the set of distributing and transplanting seedlings with channel pipe

Song Jiannong, Wang Ping, Wang Qingxu

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract In order to obtain the optimal transplanting effect, the seedlings movement was analyzed and the parameters of the set of distributing and transplanting seedling with channels were optimized. The analysis results showed that the movement of the seedlings can be separated to the free fall when seedlings was parted, the glide along the channel and the throw movement separated from the channel. The side-channels have the worst capacity of throw seedlings. After the original parameters was fixed on, the main factor affecting the capacity throwing seedlings of the machine are the angle of the canal (α) and the ratio of h_2/h_3 . In order to get the most speed throwing seedling, the parameters was optimized. When $\alpha = 48^\circ$ the speed throwing seedling is the most and the transplanting result is the best; and the parameters are $h_2 = 0.133 \text{ m}$, $v_z = 4.46 \text{ m s}^{-1}$, $\alpha = 75.1^\circ$, $H_d = 1.02 \text{ m}$.

Key words rice; transplanter; seedlings guide-channel; movement analysis

水稻抛秧栽培技术是我国水稻增产的一项技术措施,具有栽植深度浅,秧苗返青快且低节位有效分蘖多,成穗率高,增产效果显著等优点^[1]。目前该技术已在全国推广应用,但以人工作业为主。近年来,国内外学者开始对水稻钵苗栽植机械进行研究,其类型主要有旋转锥盘式水稻抛秧机、水稻播秧机和水稻钵苗行栽机等。水稻钵苗行栽机采用导管式水稻分秧栽植机构,既可发挥水稻抛秧的技术优势,又可实现水稻钵苗的有序成行栽植,解决了目前水稻无序抛秧秧苗分布不匀,密度不易控制等问

题^[2],且成本低增产效果显著。为获得最佳抛栽效果,笔者对导管式水稻分秧栽植机构的参数及秧苗运动规律进行了分析研究。

1 导管式水稻分秧栽植机构

导管式水稻分秧栽植机构由分秧斗和导秧管构成,拔秧机构从育秧盘中拔取的下部带有营养钵体的秧苗由分秧斗按一定规律分送到各行导秧管中,由导秧管将秧苗导入栽植位置,秧苗借助于营养钵体下落时的能量贯入呈泥浆状的田间,完成栽植作

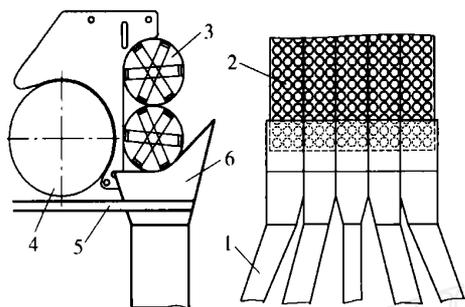
收稿日期:2003-06-19

基金项目:国家“十五”科技攻关资助项目(2001BA504801-04)

作者简介:宋建农,教授,博士生导师,主要从事农业装备工程研究。

业,实现水稻钵体苗的成行有序抛栽。

导管式水稻分秧栽植机构配置在拔秧装置的下方,其结构及位置见图1。本文中讨论的栽植机构采用均匀配置的5个分秧斗,每斗对应育秧盘上3列秧苗,育秧盘共有秧苗15列。本机构作业行数为5行,导秧管一端配置在分秧斗下方,另一端对应于秧苗作业行的栽植位置。



1. 导秧管;2. 拔秧辊;3. 分秧斗;4. 输秧辊;5. 机架;6. 秧苗盘

图1 导管式水稻分秧栽植机构结构位置简图

Fig.1 The structure and position of the set of distributing and transplanting seedling with channel pipe

2 导管式分秧栽植机构中秧苗的运动分析

由于边行导秧管性能最差,受制约因素较多,因此,本文中主要研究边行导秧管中秧苗的受力问题。图2示出抛栽过程中秧苗的运动过程。秧苗的运动由3部分构成:分秧段的垂直下落运动,沿导秧管的下滑运动和抛栽段的抛物线运动。

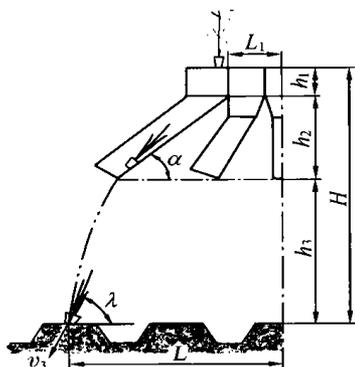


图2 秧苗运动过程示意图

Fig.2 The movements of the seedlings

H 为栽植机构总高度即秧苗总落差, H 由 h_1 , h_2 和 h_3 组成,分别为分秧斗垂直高度、导秧管垂直高度和秧苗脱离导秧管后的自由落差; L 为边行秧苗栽植位置距机具中心距离, L_1 为边行分秧斗距机具中心距离。影响边行栽植质量的主要因素是导秧

管倾角 和秧苗总落差 H 。 h_1 主要由结构设计决定,基本为一定值,因此,本文中主要分析导秧管倾角 以及 h_2 与 h_3 的分配比例对秧苗栽植时落地速度的影响。

2.1 分秧段秧苗的垂直下落运动

秧苗在分秧段的运动为自由落体运动,其运动方程为

$$\begin{cases} h_1 = \frac{1}{2} g t_1^2 \\ v_1 = g t_1 \end{cases}$$

则

$$v_1 = \sqrt{2 g h_1}$$

式中: g 为重力加速度, $g = 9.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$; t_1 为分秧段秧苗下落时间; v_1 为分秧段秧苗最终速度,也是其下一阶段运动的初速度。

2.2 秧苗沿导秧管的下滑运动

秧苗在导秧管内的受力及运动分析见图3。由力平衡原理得

$$N = m g \cos \alpha, F = N \cdot f = m g \cos \alpha \cdot f_d$$

式中: m 为秧苗质量, g ; N 为导秧管反力, N ; F 为滑动摩擦力, N ; f 为摩擦因数; f_d 为秧苗钵体与导秧管的动摩擦因数。

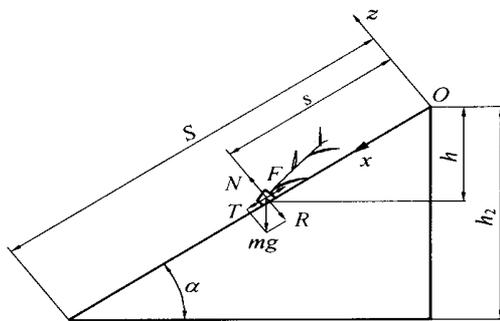


图3 导身管内秧苗的受力分析

Fig.3 Analysis of the forces applied on the seedlings

由牛顿动力学方程可得秧苗沿导秧管下滑的运动方程

$$m a = m g \sin \alpha - F = m g \sin \alpha - m g \cos \alpha \cdot f_d$$

秧苗沿导管运动的加速度

$$a = g (\sin \alpha - f_d \cos \alpha)$$

则秧苗沿导管的运动方程为

$$\begin{cases} s = v_{20} t_2 + \frac{1}{2} a t_2^2 = h_2 / \sin \alpha \\ v_2 = v_{20} + a t_2 = v_1 \sin \alpha + a t_2 \end{cases}$$

式中: s 为秧苗下滑距离; S 为导秧管总长度; v_{20} 为

秧苗沿导秧管方向的初速度, $v_{20} = v_1 \sin \alpha$; v_2 为秧苗在导秧管段运动的最终速度; t_2 为秧苗在该段的运动时间。

2.3 抛栽段秧苗的运动分析

抛栽段秧苗的运动为具有初速度 v_2 的抛物运动, 其运动方程为

$$\begin{cases} v_x = v_2 \cos \alpha \\ v_z = v_2 \sin \alpha + gt_3 \\ x = v_x t_3 = v_2 \cos \alpha \cdot t_3 \\ z = v_2 \sin \alpha \cdot t_3 + \frac{1}{2} g t_3^2 = h_3 \end{cases}$$

式中: v_x 和 v_z 分别为秧苗脱离导秧管后做抛物运动时运动速度的水平分量和垂直分量; t_3 为其落地时间; x, z 分别为其做抛物运动时水平方向和竖直方向的移动距离。

抛栽速度 v_3 由 v_x 和 v_z 构成。 v_x 的作用使秧苗抛栽后有一微小侧移, 影响抛栽行距, 但对抛栽深度影响不大, 可以忽略; 因此, 影响抛栽深度的主要因素是 v_z 。将 v_z 转换为等效抛栽高度 H_d , $H_d = v_z^2 / (2g)$ 。为满足抛栽深度的要求, 对于一般土壤类型, 在水田整地质量满足农艺要求的条件下, H_d 一般应大于 0.75 m, 以保证抛栽深度在 0~15 mm 之间^[3]。抛栽段结束, 秧苗以最终速度 v_3 被定植于田间。

3 导秧管参数的优化

为了获得最大抛栽深度, 达到最佳作业效果, 需要对导秧管参数进行优化。根据秧苗落差与栽植深度关系的研究结果, 秧苗的栽植深度随其落差的增大而增大, 且应满足 $H_{d \min} \geq 0.75 \text{ m}$ ^[3,4]; 因此, 寻求获取最大抛栽深度的问题就转化为在秧苗总落差和行距一定的条件下, 以等效抛栽高度最大为目标的导秧管参数优化问题。由于影响抛栽深度的主要因素是 v_z , 故将 v_z 转换为等效抛高 H_d 。

由秧苗运动分析可知, 当秧苗总落差即机具总高度 H 及分秧管高度 h_1 确定后, v_z 的大小主要取决于导秧管倾角 α 以及 h_2 与 h_3 的分配比率。同时 h_2 和 h_3 的选取应满足秧苗总落差一定和秧苗落点行距准确, 即

$$\begin{aligned} H &= h_1 + h_2 + h_3 \\ L - L_1 &= s \cos \alpha + x \end{aligned}$$

导秧管倾角 α 的变化范围应在 $\alpha_{\min} \sim \alpha_{\max}$ 之间,

其中

$$\alpha_{\min} = \tan^{-1} f_d, \quad \alpha_{\max} = \tan^{-1} [(h_2 + h_3) / (L - L_1)]$$

则秧苗脱离导秧管时的速度

$$\begin{aligned} v_2 &= [v_1^2 \sin^2 \alpha + 2g(\sin \alpha - f_d \cos \alpha) \cdot (h_2 / \sin \alpha)]^{1/2} = \\ &= [4g^2 h_1^2 \sin^2 \alpha + 2g(\sin \alpha - f_d \cos \alpha) \cdot (h_2 / \sin \alpha)]^{1/2} \end{aligned} \quad (1)$$

秧苗抛栽段运动速度

$$v_x = v_2 \cos \alpha = \cos \alpha [4g^2 h_1^2 \sin^2 \alpha + 2g(\sin \alpha - f_d \cos \alpha) \cdot (h_2 / \sin \alpha)]^{1/2} \quad (2)$$

$$v_z = [v_2^2 \sin^2 \alpha + 2gh]^{1/2} \quad (3)$$

秧苗入土角, 即秧苗入土速度与地面的夹角

$$\lambda = \tan^{-1} (v_z / v_x) \quad (4)$$

等效抛栽高度

$$H_d = v_z^2 / (2g) = (v_2^2 \sin^2 \alpha + 2gh_3) / (2g) \quad (5)$$

本文实例中, 机具高度 $H = 1.25 \text{ m}$, 分秧斗高度 $h_1 = 0.20 \text{ m}$; 作业行数 5 行, 行距 0.3 m, $L = 0.60 \text{ m}$; 育秧盘宽度 0.34 m, $L_1 = 0.10 \text{ m}$; $f_d = 0.7$; $35.0^\circ \sim 64.5^\circ$ 。将以上参数代入式(1)~(5)并整理, 利用计算机优化方法进行分析计算^[5], 得到秧苗等效抛栽高度 H_d 和秧苗入土角 λ 与导秧管倾角 α 的关系曲线(图 4)。当 $\alpha = 48^\circ$ 时, 抛栽速度达到最大, 即抛栽效果最好。此种情况下, $h_2 = 0.133 \text{ m}$, $v_z = 4.46 \text{ m s}^{-1}$, $\lambda = 75.1^\circ$, $H_d = 1.02 \text{ m}$ 。

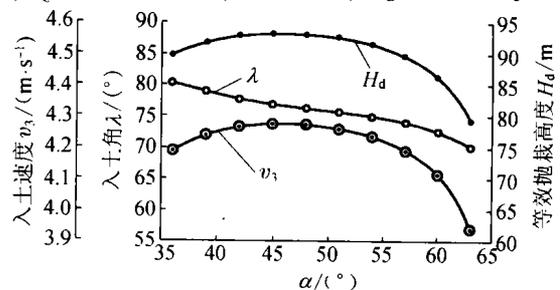


图 4 抛栽性能与导秧管倾角 α 的关系
Fig. 4 The relationship between transplanting performances and the canal obliquity

4 结论

1) 秧苗在导管式水稻分秧栽植机构抛栽过程中的运动由分秧段自由落体运动、沿导秧管壁的滑动和脱离导秧管后的抛栽运动构成。

2) 边行导秧管的倾角最小, 故其抛栽性能最差。在导管式分秧栽植机构的初始参数 H, h_1, L, L_1 和 f_d 确定后, 影响抛栽性能的主要因素是导秧管倾角 α 以及 h_2 与 h_3 的分配比率。

3) 当机具总高度和行距一定时, 参数优化的目标由获得最大栽深转化为获得最大抛栽速度。实例计算结果表明: 当 $\alpha = 48^\circ$ 时, 抛栽速度达到最大, 即抛栽效果最好。此时, $h_2 = 0.133 \text{ m}$, $v_z = 4.46 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, $\beta = 75.1^\circ$, $H_d = 1.02 \text{ m}$ 。

参 考 文 献

- [1] 宋建农, 庄乃生, 王立臣, 等. 21 世纪我国水稻种植机械化发展方向[J]. 中国农业大学学报, 2000, 5(2): 30 ~ 33
- [2] 宋建农, 魏文军, 王立臣. 对水稻钵体苗有序栽植机械的研究[J]. 中国农机化, 1999(5): 38 ~ 40
- [3] 马瑞峻. 穴盘育秧水稻机械手拔抛秧机理的研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2001
- [4] 宋建农, 王苹, 王立臣, 等. 水稻钵苗下坠高度及导管摩擦对栽深的影响[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 48 ~ 51
- [5] 陈立周. 机械优化设计[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1982. 55 ~ 58

科研简讯

“一年两熟地区保护性耕作关键技术与配套机具研究”通过课题验收和成果鉴定

2003 年 10 月, 工学院李洪文教授主持完成的“十五”国家科技攻关课题“一年两熟地区保护性耕作关键技术与配套机具研究”通过了由农业部组织的课题验收和科技成果鉴定。为了解决一年两熟地区收获玉米后免耕播种小麦这一国际难题, 本课题研制了新型小麦对行免耕播种机、带状粉碎浅旋免耕播种机和玉米秸秆带状切碎灭茬机三种机型。其两种免耕播种机是国际上仅有的能在玉米直立秸秆覆盖状态下不经任何处理而直接免耕播种小麦的机具。鉴定委员会认为, 课题研究成果整体技术居国际先进水平, 在中小型机具免耕播种作业性能方面处于国际领先水平。

十五攻关项目“高效施药技术”达国际先进水平

2003 年 10 月, 我校何雄奎博士主持的国家“十五”科技攻关项目“高效施药技术与机具研究开发”成果顺利通过农业部组织的专家鉴定和验收。本课题在国内进行了开创性研究, 完成新产品 2 个, 新技术 6 项, 申请专利 2 项。其中, 应用光机电一体化、自动化控制等技术研制的“果园自动对靶喷雾机”和“水田风送低量喷杆喷雾机”属国内首创, 成果总体达到国际先进水平。

我校科研成果“牧草干燥技术”达到国际先进水平

2003 年 10 月, 我校刘德旺教授和王德成教授共同主持的国家“十五”科技攻关项目“牧草种子产后处理成套设备研制”两项成果“5HCCX-1.6 型冲击穿流循环式干燥设备”和“9ZZ-500 型牧草种子加工成套设备”通过农业部组织的验收和专家鉴定。鉴定委员会一致认为: 设备结构新颖, 干燥技术先进, 用途广泛, 其总体技术达到国际先进水平, 在牧草干燥领域居国际领先。

5HCCX-1.6 型冲击穿流循环式干燥设备已被受理两项国家专利。该设备的研制解决了牧草种子干燥缺少适用设备的难题, 而且性能稳定、用途广泛, 也可用于其他种子和果蔬等农特产品的干燥。

9ZZ-500 型牧草种子加工成套设备主要由 5HCCX-1.6 型冲击穿流循环式干燥设备、9CM-300 型除芒机、5X-5.0 型清选机、5XZJ-3.0 型精选机、5XZ-5.0 型比重分级机等组成。工作工艺参数调整范围宽、适应性强, 主要用于粮食种子、蔬菜种子和林木种子等的加工。

(科技处供稿)