

水稻钵苗输秧拔秧机构参数优化

陈旭暄 宋建农 刘建军 魏青

(中国农业大学工学院,北京 100083)

摘要 针对中国农业大学工学院研制的 2ZPY-H530 型水稻钵苗行栽机在生产应用中出现的秧苗机械损伤问题,对其关键部件——自动输秧拔秧机构进行了分析研究。以秧苗倾角为目标函数建立了秧苗拔取过程的数学模型,并对自动输秧拔秧装置的结构尺寸进行了参数优化。优化结果为:当输秧辊与拔秧辊的水平中心距 h_1 为 180 mm,输秧辊与上拔秧辊间的垂直圆心距 h_2 为 120 mm,上下拔秧辊半径 r 为 50 mm 时,秧苗拔取倾角为 13.7° 。通过摄像设备对改进后的输秧拔秧装置的拔秧过程进行了观察,结果表明被拔出的秧苗没有发生明显的机械损伤,达到预期的优化设计目的。

关键词 水稻栽植;秧苗;输秧;拔秧;参数优化

中图分类号 S 223.91

文章编号 1007-4333(2005)02-0019-03

文献标识码 A

Parametric optimization of a transporting and evulsing mechanism of potted rice seedlings

Chen Xuxuan, Song Jiannong, Liu Jianjun, Wei Qing

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

Abstract An auto-transporting and -evulsing mechanism for potted rice seedlings was developed to overcome the shortcoming of seedlings damage during evulsing of the 2ZPY-H530 potted rice seedling transporter made in CAU. Taking the seedling bend angle as the objective function, the math model of the potted-seedling process was built, and the structural parameters of this mechanism were optimized. The optimized parameters are that the distance between the horizontal centers of the transport mechanism and the evulsing mechanism is $h_1 = 180$ mm; that between the vertical centers $h_2 = 120$ mm; the radius of evulsing mechanism $r = 50$ mm; and the seedling bend angle $= 13.7^\circ$. The observation of the working process of the new mechanism showed that the damages on the seedlings were not found, and the evulsing performance was improved.

Key words rice transplanting; potted rice seedling; transplanting; evulsing; parametric optimization

随着水稻钵苗移栽技术的应用,我国自主研发的各种类型的有序抛(摆)栽机械发展迅速^[1-7],然而在取秧或抛(摆)栽秧方面还存在着一些问题。由中国农业大学工学院研制的 2ZPY-H530 型水稻钵苗行栽机^[4],采用栅状滚筒式输送机构和螺旋排列对辊式拔秧机构,实现了水稻穴盘育苗的自动拔秧和成行抛栽,已在生产上应用。

笔者对 2ZPY-H530 型水稻钵苗行栽机在使用过程中出现的秧苗机械损伤问题进行了研究,对其

主要影响因素:上下拔秧辊直径,及拔秧辊与输秧辊间的定位尺寸进行了优化分析,并提出了改进建议。

1 自动输秧拔秧机构工作过程分析

1.1 目标函数的建立与分析

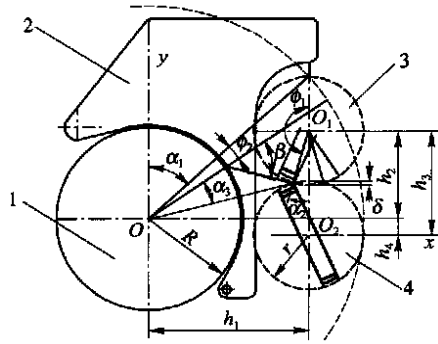
2ZPY-H530 型水稻钵苗行栽机输秧拔秧装置主要由输秧辊、压秧板、上下拔秧辊等组成(图 1)。其工作原理是:拔秧辊按一定传动比带动输秧辊转动。当上下拔秧辊的夹秧板对接时,靠夹秧板外缘

收稿日期:2004-10-10

基金项目:国家“九五”重点科技项目专题(9680180103)

作者简介:陈旭暄,硕士研究生;宋建农,教授,主要从事农业装备工程研究,E-mail:songjn@cau.edu.cn

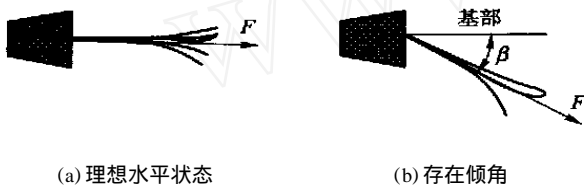
弹性材料变形产生的夹紧力,将位于上下拔秧辊中间的钵苗夹持并带动其一起运动,最后使得钵苗与育秧盘脱离;当上下拔秧辊转过一定角度后夹秧板松开,钵苗落入分秧斗,完成拔秧工作。在拔秧过程中,当秧苗进入上拔秧辊转过一定角度后,被上下拔秧辊夹持,在存在倾角的状态下拔出(图2)。



1. 输秧辊;2. 压秧板;3. 上拔秧辊;4. 下拔秧辊

图1 输秧拔秧机构示意图

Fig. 1 Transporting and evulsing mechanism of potted rice seedling



(a) 理想水平状态 (b) 存在倾角

图2 拔秧时秧苗状态示意图

Fig. 2 Schematic diagram of seedling evulsing

在存在倾角的状态下拔秧时,所需拔秧力大于理想水平状态下的拔秧力,在此状态下对秧苗基部的损伤也较大。拔秧辊直径的大小,及拔秧辊与输秧辊之间的定位关系是决定秧苗倾角大小的主要因素。为了降低秧苗的机械损伤,以利于抛秧机作业质量的提高,建立秧苗倾角的目标函数。

秧苗作为柔性体^[8],在机械拔秧过程中对拔秧性能的影响很小,故建立模型时忽略其分叶对拔秧性能的影响。以输秧辊圆心为坐标轴原点O,水平方向为x轴,建立上下拔秧辊外圆的轨迹方程:

$$\left. \begin{aligned} (x - h_1)^2 + (y - h_2)^2 &= r^2 \\ (x - h_1)^2 + (y + h_4)^2 &= r^2 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中: h_1 为输秧辊与拔秧辊的水平圆心距, h_2 为输秧辊与上拔秧辊的垂直圆心距, h_3 为上下拔秧辊的圆心距, r 为上下拔秧辊半径。求得交点坐标为

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= h_1 - \sqrt{r^2 - (h_2 + h_4)^2/4} \\ y_0 &= \frac{h_2 - h_4}{2} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

则 $a = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}$, $\phi_1 = \arctan \frac{h_1}{h_2 + r}$, $\phi_2 = \arctan \frac{h_2 - y_0}{h_1 - x_0}$, $\alpha_3 = \frac{\pi}{2} - \phi_1 - \phi_2 - \arctan \frac{y_0}{x_0}$, $h_4 = h_3 - h_2$, $h_3 = 2r - h_2$, $\phi_1 = \phi_2$, $\phi_2 = 1/18$ 。式中: ϕ_1 为上拔秧辊从与秧苗接触到夹持时转过的角度, ϕ_2 为输秧辊从秧苗与拔秧辊接触到被夹持所转过的角度, σ 为两夹秧板夹秧时弹性材料的变形量($\sigma = 5 \text{ mm}$)。在投影图(图1)中, a 为上下拔秧辊交点到输秧辊圆心的距离, ϕ_1 为秧苗接触上拔秧辊时与 y 轴的夹角, ϕ_2 为上下拔秧辊交点与上拔秧辊圆心 O_1 的连线与 y 轴的夹角, α_3 为秧苗夹持点和输秧辊圆心 O 的连线与钵体中心线之夹角。因此,目标函数为

$$\min \theta = \arccos \frac{R^2 + l^2 - a^2}{2Rl} \quad (3)$$

1.2 约束条件

2ZP Y-H530 型水稻钵苗行栽机适应的秧苗高度为 100 ~ 150 mm, 为避免拉断秧苗, 秧苗最低夹持点应距秧苗基部 30 ~ 70 mm, 即

$$30 \text{ mm} < l = \sqrt{R^2 + a^2 - 2Racos \phi_3} < 70 \text{ mm} \quad (4)$$

秧苗钵体高度为 20 mm, 为保证钵体脱离, 拔秧辊从夹住秧苗到使秧苗脱离育秧盘的横向移动距离即拔秧距离 s 为

$$s = 2 \sqrt{r^2 - (h_2 + h_4)^2/4} > 20 \text{ mm} \quad (5)$$

拔秧辊直径应保证秧苗顺利从其中心穿过落下, 即

$$2r > 70 \text{ mm} + 20 \text{ mm} = 90 \text{ mm} \quad (6)$$

为了避免输秧辊与拔秧辊之间发生干涉, 必须保证输秧辊与下拔秧辊圆心之间的距离

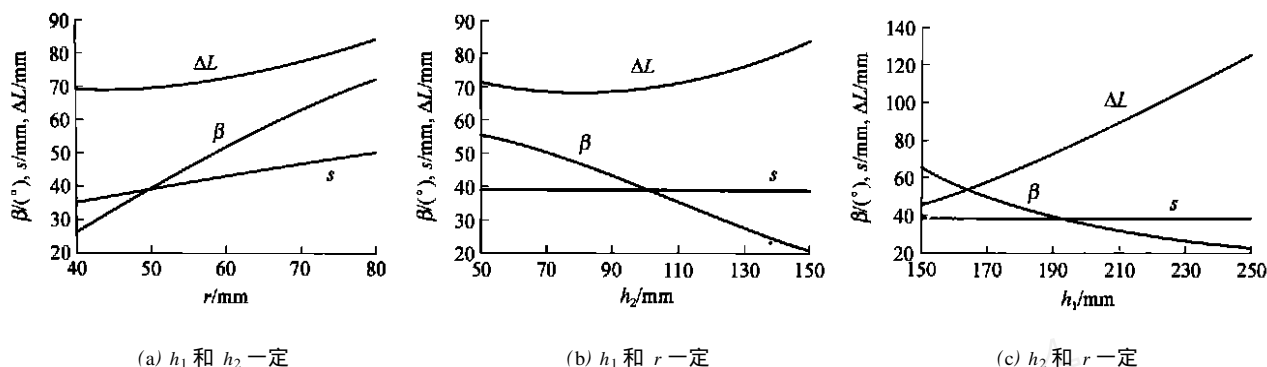
$$d = \sqrt{h_1^2 + (h_3 - h_2)^2} > R + r$$

1.3 各参数的变化关系

在该水稻钵苗行栽机的设计中, 为保证输秧与拔秧动作的相互协调, 每次每行只拔 1 穴秧苗, 考虑秧盘可弯曲的最小曲率半径, 取滚筒半径 R 为 114.6 mm。输秧辊与拔秧辊传动比为 1/18, 由齿轮传动机构保证。自动输秧拔秧机构的整体结构尺寸主要由输秧辊与拔秧辊之间的水平圆心距 h_1 、输秧辊与上拔秧辊之间的垂直圆心距 h_2 和上下拔秧辊半径 r 确定, 各参数对秧苗倾角、夹持点到秧苗基部的距离 l 及拔秧距离 s 的影响见图 3。可见, 拔秧辊半径 r 及输秧辊与上拔秧辊间的垂直圆心距 h_2 对秧苗倾角的影响显著。为了减小 θ 值, 降低

对秧苗的损伤,应选择较小的拔秧辊半径,并且使拔秧辊尽早拔秧(用较大的 h_2 值保证)。输秧辊与拔秧辊间的水平圆心距 h_1 对夹持点位置的影响较大,

h_1 的选择必须以控制秧苗夹持点到秧苗基部的距离在 30~70 mm 为根据。



h_1 —输秧辊与拔秧辊的水平中心距; h_2 —输秧辊与上拔秧辊间的垂直圆心距; r —上下拔秧辊半径; β —秧苗倾角。

图 3 输秧辊与拔秧辊结构尺寸对秧苗倾角、夹持点到秧苗基部距离 L 及拔秧距离 s 的影响

Fig. 3 Effect of structure dimension on bending angle, location of nipped L and distance of evulsed seedling s

2 优化结果及试验验证

以秧苗倾角为目标函数,所建立的秧苗拔取过程的数学模型,是具有不等式约束函数的非线性数学模型。约束函数和目标函数没有导数,采用约束坐标轮换法^[9]来求解此优化设计问题。采用 C 语言编程解算,优化前后结构设计参数见表 1。

表 1 优化前后辊式拔秧机构设计参数

Table 1 Comparison of design parameters of mechanism before and after optimization

方案	设计参数			
	h_1 /mm	h_2 /mm	r /mm	β (°)
优化后	180	120	50	13.7
优化前	185	95	60	36.8

对改进后的输秧拔秧装置进行室内试验。通过摄像设备对秧苗的拔取过程进行观察分析:秧苗拔取过程与理论分析基本一致,被拔出的秧苗没有发生明显的损伤情况,达到了预期的优化设计目的;但是在试验过程中也发现,当前后苗高差距较大时,存在漏秧、重拔现象,对此有待进一步研究和改进。

3 结束语

本研究以取秧时的秧苗倾角为目标函数建立了秧苗拔取过程的数学模型,对 2ZPY-H530 型水稻钵苗行栽机的自动输秧拔秧机构进行了结构参数优化。试验结果表明,优化方法合理可行。所建立的

数学模型,尚未考虑秧苗的力学物性。拟考虑以上因素,可进行自动输秧拔秧机构的机械动力学分析,寻找出更合理的设计参数。

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] 魏文军,张绍英,宋建农. 旋转锥盘式水稻抛秧机工作参数优化设计[J]. 农业工程学报,1998,14(4):108-112
- [3] 王玉兴,罗锡文,唐艳芹,等. 气力有序抛秧机输秧机构动态模拟研究[J]. 农业工程学报,2004,3(2):109-112
- [4] 王立臣,李益民,王苹,等. 2ZPY-H530 型水稻钵苗行栽机试验研究[J]. 中国农业大学学报,2002,7(4):21-25
- [5] 杨坚,阳潮声,陈兆耀,等. 2ZB-8 电磁振动式小型水稻钵苗移栽机的研究[J]. 农业工程学报,2002,18(6):84-87
- [6] 吴崇友,卢晏,涂安富,等. 播秧机工作原理与使用经济效益[J]. 农业工程学报,2000,16(5):60-63
- [7] 陈桓高,田金和,宋来田,等. 机械手式水稻抛秧机研究[J]. 农业机械学报,1998,29(3):48-52.
- [8] 马瑞峻,区颖刚,赵祚喜,等. 水稻钵苗机械手取秧有序移栽机的改进[J]. 农业工程学报,2003,19(1):113-116
- [9] 刘惟信. 机械最优化设计[M]. 北京:清华大学出版社,1994. p448