

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.11.009

水田株间除草机械除草机理研究与关键部件设计*

陶桂香^{1,2} 王金武¹ 周文琪¹ 牛春亮¹ 赵佳乐¹

(1. 东北农业大学工程学院, 哈尔滨 150030; 2. 黑龙江八一农垦大学工程学院, 大庆 163319)

摘要: 针对现有水田株间除草机伤苗率高等问题,进行机理分析和改进设计,采用左、右2组弹齿盘对称安装,通过软轴带动除草弹齿盘旋转,完成除草功能。通过对除草关键部件弹齿盘的运动学和水田植物(水稻稻苗和稗草)的强度分析,建立了弹齿盘的运动学模型以及水田植物的受力模型、应力模型。通过水田植物的应力模型分析,建立了水田植物的强度条件,并根据水田植物(水稻稻苗和稗草)的物理特性、弹齿盘基本参数,获得了除草盘转动角速度、弹齿数量的取值范围,并通过室内土槽试验确定了弹齿盘转动角速度为25.1 rad/s、弹齿数量为5。通过田间性能检测,结果表明,除草率为80%、伤苗率为4.5%,均达到了农艺技术指标的要求。

关键词: 水田 除草弹齿盘 株间 机理 设计

中图分类号: S224.1⁺41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)11-0057-07

Herbicidal Mechanism and Key Components Design for Paddy Weeding Device

Tao Guixiang^{1,2} Wang Jinwu¹ Zhou Wenqi¹ Niu Chunliang¹ Zhao Jiale¹

(1. College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China

2. College of Engineering, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China)

Abstract: In the process of rice growth, the weeds will decrease the quality and yield of rice. At present, both herbicide and manual weed control have many shortages. Chemical weed control causes environmental pollution, reduces crop nutrition and increases weed drug resistance. Manual weed control is labor-intensive, low-efficient and bounds labor. Mechanical weed control is helpful to protect environment and the high efficient will be an irresistible trend. In order to improve the weeding rate and reduce the damage rate of rice seedlings while weeding, the mechanism analysis and improvement of paddy field weeding device was were done. The weeding device was symmetrically installed on the two groups of spring tooth disc (left and right). The two groups of spring tooth disc rotated to complete the weeding by flexible shaft. According to kinematics analysis of the key components of spring tooth disc and the strength analysis of rice seedlings and barnyard grass, the kinematics model of spring tooth disc and stress model of paddy rice seedlings and barnyard grass were established. According to the stress analysis, the strength condition of rice seedlings and barnyard grass were presented. According to physical characteristics of rice seedlings and barnyard grass and the basic parameters of spring tooth disc, the variation range of rotating angular velocity and teeth number of spring tooth disc were obtained. Through various testing on the compaction device, the optimum working parameters of the compaction device were obtained. The test showed that rotating angular velocity was 25.1 rad/s and teeth number was 5. Performance testing in field was carried out for the paddy weeding device. The results showed that weeding rate was 80% and injury rate was 4.5%. The weeding machine had good quality, and had met the agronomic technical requirements when rotating angular velocity was 25.1 rad/s and teeth number was 5.

Key words: Paddy field Weeding spring tooth disc Strains Mechanism Design

收稿日期: 2015-01-02 修回日期: 2015-02-09
* “十二五”国家科技支撑计划资助项目(2014BAD06B04)、黑龙江省博士后资助项目(LBH-Z13030)和黑龙江八一农垦大学科研启动基金资助项目(DXB2013-20)
作者简介: 陶桂香, 博士后, 黑龙江八一农垦大学副教授, 主要从事水稻全程机械化研究, Email: tgx1996@163.com
通讯作者: 王金武, 教授, 博士生导师, 主要从事田间作业机械及机械可靠性研究, Email: jinwu@163.com

引言

有机水稻在生产中完全不使用农药、除草剂等^[1-4],因此水田除草是有机水稻生产面临的一个新问题,水田除草机械的研制是解决有机水稻除草的关键。

水田除草机械主要完成 2 方面的功能,即行间除草和株间除草。在行间机械除草方面,出现了各种型式的保护性耕作农机具,如旋转锄、齿形除草耙、各种形状的除草铲和篮状除草装置等;在株间除草机具方面,提出了指形除草机、扭杆除草机和刷状除草机等机具^[5-9]。我国自 20 世纪 60 年代开始研究株间除草机械,目前株间除草主要工作部件型式有旋转锄式、水平圆盘式、垂直圆盘式、锥形圆盘式、轻耙式、链齿式等^[10-13]。

由于水田株间除草系统涉及水田植物、土壤及作业机械等单元体,单元体间相互作用、动态变化,另外水田植物苗体纤弱、根须错落、形状不规则,在实际除草中,容易受到损伤,因此给有效除草带来难题^[14]。为了解决上述问题,王金武、牛春亮等设计了水田株间除草装置,对其整体结构、驱动系统、扭矩测试系统进行了研究并通过试验方法对装置基本参数进行了优化,但除草效果并不理想,仍存在伤苗率高等问题^[15-20],针对上述装置存在的技术问题,本文以黑龙江省水田环境为背景,根据农艺要求,运用运动学、动力学以及强度理论对主要关键部件机理进行研究,并结合室内土槽试验以及田间性能测试完善除草装置,以期实现株间机械除草。

1 除草环境与农艺要求

1.1 除草环境

除草环境包括稗草、稻苗、土壤、水等,如图 1 所示,其中稻田土壤分为 2 层,即泥浆层和泥土层,其中泥浆层的深度为 0.03 ~ 0.05 m;泥土层的深度为 0.16 ~ 0.18 m。当稻苗插秧后 2 周时,稻苗和稗草的根部分布深度为 0.08 ~ 0.10 m、0.03 ~ 0.05 mm。稻苗株间距离为 0.10 m 或 0.12 m,稻苗行间距为 0.3 m。

1.2 农艺要求

根据农艺要求^[18-20],株间除草率应大于 75%,株间伤苗率应小于 5%。对于黑龙江省而言,6 月上旬以后气温升高,光照足,杂草生长迅速,为杂草的危害高峰期。移栽田和直播田的最佳除草作业时间分别为移栽后 7 ~ 21 d 和 20 ~ 30 d。

2 整机结构与工作原理

水田株间除草机结构如图 2 所示,总共有 2 套

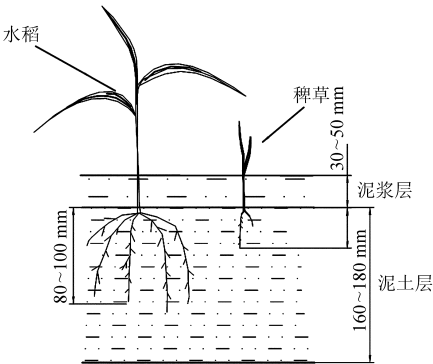


图 1 稻苗、稗草与稻田土壤的结构简图
Fig.1 Structure diagram of rice, barnyard grass and paddy soil

株间除草部件,左右两侧对称安装,弹齿呈曲线型,可以在垂直于前进方向的平面内转动,两盘弹齿旋向和两盘转动方向均相反。每套株间除草部件的两根钢丝软轴之间由一根轴相连接。工作时,在主动链轮的带动下,由球铰万向联轴器将动力传到弯管内的钢丝软轴,钢丝软轴由几层弹簧钢丝紧绕在一起,相邻钢丝层的缠绕方向相反。当软轴工作时,相邻两层钢丝中的一层趋于绕紧,另一层趋于旋松,使各层钢丝相互压紧。最后由软轴带动弹齿盘,将土壤搅动、翻转并连同杂草根部挑出地表、拉断后覆盖,实现从根部去除株间杂草。同时使用球铰联轴器,满足不同行距、不同株距的水稻株间除草要求。

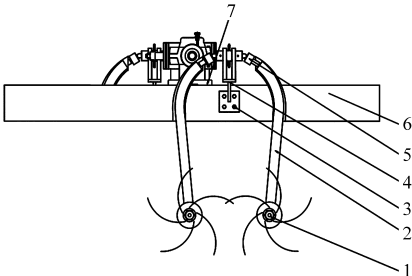


图 2 水田除草机结构简图
Fig.2 Structure diagram of weeding-cultivating machine
1. 弹齿盘 2. 软轴传动弯管 3. 链轮座 4. 球铰联轴器 5. 换向器 6. 机架 7. 悬挂系统

3 关键部件设计

3.1 除草机理

对稻苗、稗草物理特性的研究可知,稻苗主要由主根和次生根组成^[14,21],其中主根十分柔软,只能承受拉力,当弹齿盘工作时,稻苗主根随弹齿转动,当达到一定位置时,次生根会对主根产生拉力作用,主根下端向上弯曲,避开弹齿推力作用,弹齿划离土壤,稻苗根部保持完好。稻苗次生根是一段椭圆状的粗壮根系,力学性质类似于弹性体,受到外力时发生形变较小,如果稻苗次生根与弹齿接触,次生根受

到土壤的阻力和弹齿的推力作用,随弹齿脱离土壤,造成伤苗。稗草由于没有进入分蘖期,只有主根受到土壤阻力与弹齿推力作用,随弹齿转动被打出土壤。如图 3 所示。

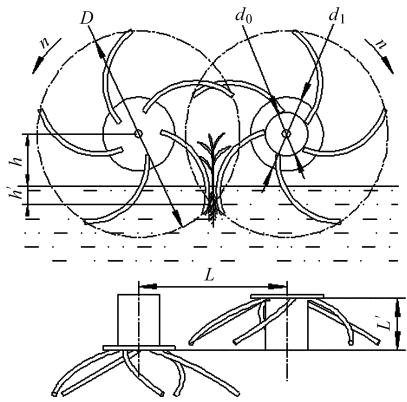


图 3 工作部件工作机理示意图

Fig. 3 Diagram of key components working mechanism

3.2 弹齿盘设计

3.2.1 弹齿盘形状设计

弹齿盘主要由套筒、轮毂、弹齿等组成,其结构示意图及工作原理如图 4 所示。为了减少水稻稻苗损伤,增大除草率,采用圆弧状且向后有一定倾斜角的弹齿盘,工作时,一方面弹齿盘通过旋转将杂草在离心力的作用下沿弧线向外甩出,另一方面弹齿与稻苗不完全接触,可以减少对稻苗的损伤,同时还增加了除草面积,增大了除草率。其中弹齿的形状在 XOZ 面上采取倾斜角式,在 XOY 面上采取圆弧式,通过对其中心曲线的设计,获得中心曲线的函数解析式为

XOZ
$$\left[X + \frac{25}{324} (Z - 36)^2 - 150 \right]^2 + [(X - 75)^2 + (Y + 110)^2 - 133^2]^2 = 0$$

XOY
$$(X - 75)^2 + (Y + 110)^2 = 133^2$$

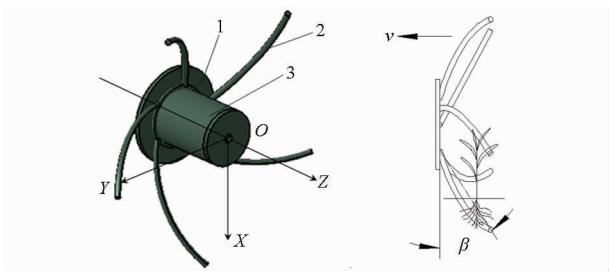


图 4 弹齿盘结构简图

Fig. 4 Structure diagram of spring tooth disc

1. 轮毂 2. 弹齿 3. 套筒

考虑到倾斜角太大则滑移力过大,太小则易伤苗,为了保证弹齿如图顺利,这里倾斜方向与旋转方向相同,倾斜角 β 取 30° 。

3.2.2 弹齿盘运动分析

根据除草机理,获得盘齿端部的速度图如图 5

所示,根据点的合成运动^[22],得出速度关系式为

$$\begin{cases} v_e = v_a \cos \theta \\ v_r = v_a \sin \theta \end{cases} \quad (1)$$

其中 $v_a = \sqrt{v_e^2 + \left(\frac{\omega D}{2} \right)^2}$ $v_r = \omega D/2$ $\tan \theta = \frac{2v_e}{\omega D}$

式中 v_a ——弹齿端实际运动速度, m/s
 v_e ——除草机前进速度, m/s
 v_r ——弹齿盘上盘齿端运动速度, m/s
 ω ——弹齿盘转动角速度, rad/s
 D ——弹齿盘旋转直径, m
 θ ——除草盘运动角, rad

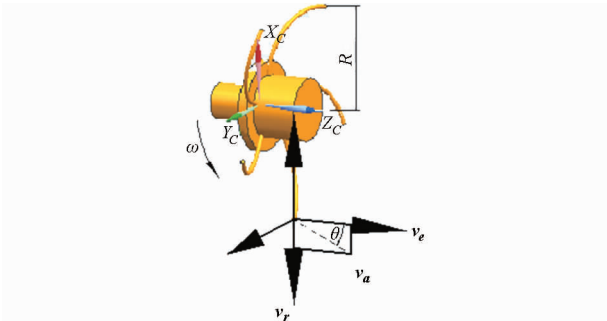


图 5 速度示意图

Fig. 5 Schematic diagram of velocity

由式(1)可知,弹齿盘实际运动速度与除草机前进速度、弹齿盘转动角速度、弹齿盘旋转直径有关,均成正比;除草盘运动角与除草机前进速度成正比,与弹齿盘转动角速度、弹齿盘旋转直径成反比。

根据图 5 弹齿盘运动方向坐标的设定,弹齿端点的运动方程可表示为

$$\begin{cases} x = \frac{D \sin \omega t}{2} \\ y = \frac{D \cos \omega t}{2} \end{cases} \quad (2)$$

从运动方程的表达式可知,弹齿盘的运动方程与弹齿盘转动角速度有关,弹齿盘转动角速度影响弹齿盘运动变化的波动幅度。

3.2.3 水田植物的强度分析

(1) 弹齿盘端除草加速度分析

根据除草机理,获得盘齿端部的加速度图如图 6 所示,根据点的合成运动^[22],得出加速度在坐标轴上的投影表达式为

$$\begin{cases} a_{ay} = a_r^n = \frac{\omega^2 D}{2} \\ a_{ax} = \frac{aD}{2} \\ a_{az} = a_e \end{cases} \quad (3)$$

式中 a ——弹齿盘转动角加速度, rad/s²
 a_e ——除草机前进加速度, m/s²

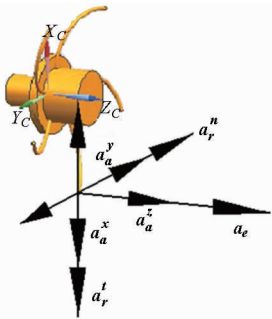


图6 加速度示意图

Fig.6 Schematic diagram of acceleration

(2) 水田植物受力情况分析

根据动量定理^[22],获得了弹齿盘除草过程施加在稻苗、稗草、土壤上的力为

$$\begin{cases} F_x = \frac{maD}{2} \\ F_y = \frac{m\omega^2 D}{2} \\ F_z = ma_e \end{cases} \tag{4}$$

式中 m ——弹齿盘质量,kg

(3) 水田植物的强度分析

弹齿盘对稻苗、稗草作用后,产生的变形如图7所示,稻苗、稗草主要产生的变形为弯曲和轴向拉伸的组合变形。假设地面对稻苗、稗草的约束为固定端。

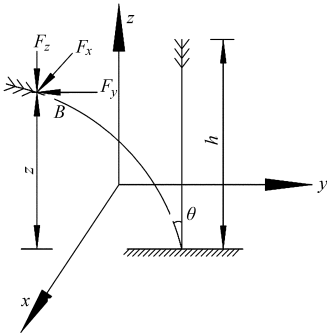


图7 水田植物受力分析图

Fig.7 Force analysis diagram of paddy plants

设任意截面 B 到地面的距离为 z ,则横截面 B 上的弯矩 M 在 x 、 y 、 z 轴下的投影为

$$\begin{cases} M_x = F_z \sin\theta \cos\beta (h - z) + F_y \cos\theta (h - z) \\ M_y = -F_z \sin\theta \sin\beta (h - z) - F_x \cos\theta (h - z) \\ M_z = -F_y \sin\theta \cos\beta (h - z) + F_x \sin\theta \sin\beta (h - z) \end{cases} \tag{5}$$

任意横截面 B 上的轴力为

$$F_z = ma_e \tag{6}$$

式中 h ——稻苗、稗草高度,m

β ——稻苗、稗草运动角,rad

当弹齿盘匀速转动时, $F_x = 0$;当除草机匀速前进时, $F_z = 0$ 。由此获得了水田植物弯曲应力表达式为

$$\sigma_{\max} = \frac{2A_p \omega^3 D^3 h}{\pi d^3 \sqrt{v_e^2 + \omega^2 \left(\frac{D}{2}\right)^2}} \tag{7}$$

为了减少伤苗率,提高除草率,水田植物的强度表达式为:

$$\text{稗草} \quad \frac{2A_{tc} \rho_{tc} \omega^3 D^2 h_c}{\pi d_c^3 \sqrt{v_e^2 + \omega^2 \lambda^2}} > \sigma_{cs} \tag{8}$$

$$\text{稻苗} \quad \frac{2A_{tc} \rho_{tc} \omega^3 D^2 h_c}{\pi d_m^3 \sqrt{v_e^2 + \omega^2 \lambda^2}} \leq \frac{\sigma_{ms}}{n_s} \tag{9}$$

式中 A_{tc} ——弹齿横截面面积,m²

ρ_{tc} ——弹齿材料密度,kg/m³

d_c ——稗草的最小横截面直径,m

d_m ——稻苗的最小横截面直径,m

σ_{cs} ——稗草的屈服极限应力,MPa

σ_{ms} ——稻苗的屈服极限应力,MPa

n_s ——稻苗的安全系数

由式可知,水田植物的强度与水田植物本身屈服强度、水田植物横截面直径、弹齿盘材料、弹齿旋转直径、弹齿盘转动角速度、机器前进速度有关。

3.2.4 弹齿盘转动角速度范围的确定

根据弹齿盘运动分析以及水田植物的强度分析可知,弹齿盘角速度受弹齿长度、除草机前进速度、稗草或稻苗直径、稗草或稻苗弹性模量、稗草或稻苗的高度、稗草或稻苗的屈服应力、弹齿材料密度、弹齿横截面积的影响。

为了减少伤苗率,提高除草率,弹齿盘转动角速度应满足关系为

$$\frac{\sigma_c \pi d_c^3}{2A_{tc} \rho_{tc} D^2 h_c} \leq \omega \leq \frac{\sigma_m \pi d_m^3}{2n_s A_{tc} \rho_{tc} D^2 h_m} \tag{10}$$

由式(10)可知,弹齿盘转动角速度与水田植物基本特性、弹齿材料及直径、弹齿盘旋转直径有关。

(1) 水田植物基本参数的确定

根据前人的研究经验得知,在稻苗插秧后第7天时,稗草萌发率达到第1个高峰,插秧后第10天开始稗草萌发率逐渐下降,插秧后第13天之后稗草基本上不再生长,所以除草的最佳时间为第7天和第13天2次。经测定获得稻苗插秧后第7天、第13天稗草、稻苗的基本尺寸如表1所示。

表1 稗草和稻苗的基本物理特性

Tab.1 Physical characteristics of barnyard grass and rice seedlings

种类	天数 /d	直径 /m	根深 /m	高度 /m	屈服 应力/MPa
稗草	7	0.001 72	0.008 2	0.110 4	0.533
	13	0.002 72	0.013 5	0.156 3	1.290
稻苗	7	0.002 12	0.012 3	0.226 5	1.450
	13	0.002 95	0.025 3	0.330 6	1.560

(2)弹齿材料及直径的确定

镀锌铝合金在土壤中遇到泥土阻力,容易发生变形,Q235 杂质多,并且在刀盘旋转工作时与轮毂焊接处易断裂,弹簧钢在碰到硬质物体不易变形,经过几次试验研究,综合考虑,弹齿材料选择 65Mn 弹簧钢,密度 ρ_{tc} 为 $7.85 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,弹齿直径取 0.005 m ,面积 $A_{tc}=0.000\ 019\ 63 \text{ m}^2$ 。

(3)除草盘旋转直径的确定

根据图 3 所示,除草盘旋转直径应满足

$$D \geqslant 2(h + h_1) \tag{11}$$

式中 h_1 ——耕深,m

根据稻苗和稗草物理特性知,除草深度 $h_{1\max}$ 应达到 $0.015 \sim 0.030 \text{ m}$ 。为了防止出现缠苗或缠草现象,刀盘离地间隙应大于稻苗和稗草高度的 $1/3$,当 $h_{\min}$ 取 0.1 m 、 $h_{1\max}$ 取 0.030 m 时,得 $D \geqslant 0.26 \text{ m}$ 。考虑到弹齿盘旋转直径过大,机器稳定性减弱;直径过小时,影响除草率,因此弹齿盘直径 D 为 0.28 m 。

根据上述参数的确定,获得弹齿盘转动角速度取值范围为

$$19.8 \text{ rad/s} \leqslant \omega \leqslant 29.6 \text{ rad/s}$$

3.2.5 齿数 N 范围的确定

根据弹齿盘的运动过程,为了提高除草率,弹齿盘中弹齿的分布与除草间距存在关系

$$S = \frac{E\omega D}{2v_e} \tag{12}$$

式中 E ——水稻株间距,m

S ——弹齿端间距,m

当除草机前进速度为 0.43 m/s ,弹齿盘旋转角速度为 $19.8 \text{ rad/s} \leqslant \omega \leqslant 29.6 \text{ rad/s}$,水稻株间距为 0.12 m ,弹齿旋转半径为 0.28 m 时,弹齿端间距为 $0.2 \text{ m} \leqslant S \leqslant 0.4 \text{ m}$ 。

根据弹齿数确定公式

$$N = \frac{\pi D}{S} \tag{13}$$

可得弹齿数为 $2.14 \leqslant N \leqslant 8.79$ 。

4 室内土槽试验及结果分析

4.1 试验设备与条件

4.1.1 试验设备与方法

本试验采用由土槽、除草机构、导轨等组成的水田除草试验台,如图 8 所示。工作时,调速电动机通过绳索带动试验台架运动,完成除草机的前进过程。执行电动机传递动力给钢丝软轴,带动除草刀盘旋转。试验时间为 2014 年 3 月 25 日,试验地点为东北农业大学土槽实验室。

试验前,完成土槽内水田环境的设置以及水稻

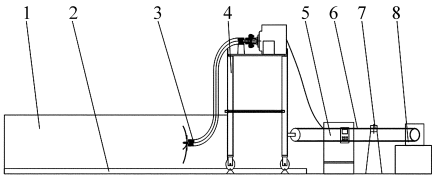


图 8 水田除草试验台示意图

Fig.8 Diagram of weeding-cultivating test bench

- 1.土槽 2.导轨 3.除草机构 4.试验台架 5.变频器 6.链轮传动 7.小滑轮 8.调速电动机

的插秧工作,其中由于试验条件受到限制,杂草采用人工播洒,主要为水田中广泛存在且危害最大的稗草。以弹齿个数、弹齿盘角速度为参数变量,选取除草率和伤苗率作为评价水田除草机株间除草作业的指标,每组数据采集 3 次,取平均值。

株间除草率计算公式为

$$y_1 = \frac{X_1 - X_2}{X_1} \times 100\% \tag{14}$$

式中 y_1 ——株间除草率,%

X_1 ——作业前测试区株间杂草数,株

X_2 ——作业后测试区株间杂草数,株

株间伤苗率计算公式为

$$y_2 = \frac{K_2}{K_1} \times 100\% \tag{15}$$

式中 y_2 ——伤苗率,%

K_1 ——作业前测试区内总稻苗数,株

K_2 ——作业后测试区内伤苗、埋苗总稻苗数,株

4.1.2 试验条件

水稻稻苗直径 $0.002\ 76 \sim 0.002\ 95 \text{ m}$,水稻稻苗高度 $0.26 \sim 0.33 \text{ m}$,稗草直径 $0.002\ 46 \sim 0.002\ 72 \text{ m}$,稗草高度 $0.123\ 23 \sim 0.156\ 25 \text{ m}$,水稻稻苗许用应力 $0.48 \sim 0.52 \text{ MPa}$,稗草许用应力 $0.39 \sim 0.43 \text{ MPa}$,根据以往研究结果^[15-20],弹齿盘旋转直径为 0.28 m ,弹齿直径为 0.005 m ,弹齿材料为 65Mn,除草机前进速度为 0.43 m/s 。

4.2 试验结果与分析

4.2.1 弹齿个数

当弹齿盘转动角速度为 21 rad/s ,弹齿个数分别为 3、4、5、6、7、8 个时,通过试验得出了弹齿盘转动角速度对除草率和伤苗率的影响,如图 9 所示。由图 9a 可知,除草率随弹齿个数的增加而增加,当弹齿个数小于 5 个时,除草率随弹齿个数增加而增加的幅度较大;当弹齿个数大于 5 个时,除草率随弹齿个数增加而增加的幅度较小,趋近于水平线。由图 9b 可知,伤苗率随弹齿个数的增加而增加,综合考虑得出弹齿个数取为 5 个。

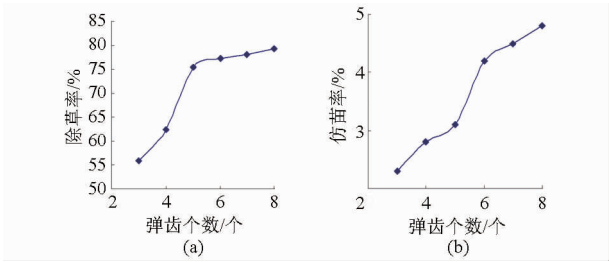


图9 弹齿盘个数对除草率和伤苗率的影响关系曲线
Fig. 9 Effect of spring tooth disc number on weeding and injury rates

4.2.2 弹齿盘角速度

当弹齿个数为 5 个,弹齿盘转动角速度分别为 19、21、23、25、27、29 rad/s 时,通过试验得出了弹齿盘转动角速度对除草率、伤苗率的影响,如图 10 所示。由图 10a 可知,除草率随弹齿盘转动角速度的增加而增加,当弹齿盘转动角速度小于 25 rad/s 时,除草率增加幅度较大;当弹齿盘转动角速度大于 25 rad/s 时,除草率增加幅度较小,趋近于水平线。由图 10b 可知,伤苗率随弹齿盘角速度的增加而增加,当弹齿盘角速度小于 25 rad/s 时,伤苗率随弹齿盘角速度的增加而增加的幅度较小;当弹齿盘角速度大于 25 rad/s 时,伤苗率随弹齿盘角速度的增加而增加的幅度较大,综合考虑得出弹齿盘角速度取 25 rad/s。

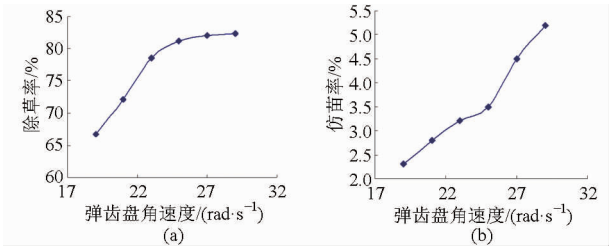


图10 弹齿盘角速度对除草率和伤苗率的影响关系曲线
Fig. 10 Effect of spring tooth disc rotation speed on weeding and injury rates

5 田间试验与结果分析

水田株间除草机的作业性能主要与水田土壤状况有关。通过试验研究,才能确保作业效果达到设计的技术要求^[23]。

2014 年 5 月 20 日,黑龙江农垦农业机械试验鉴定站在东北农业大学园艺学院试验田对研制的水田株间除草机进行了田间作业性能检测,检测条件:稻苗插秧后 7 d,稻苗株间距为 0.12 m,泥浆层深度 0.04 m,泥土层深度 0.165 ~ 0.170 m,稻苗高度 0.17 ~ 0.20 m,稗草高度 0.08 ~ 0.12 m,操作人员操作熟练,机器状况良好。如图 11 所示,除草前后的效果对比图如图 12 所示。检测方法:在试验地块

内,采用结绳标记法划分试验田。在试验田选取 1 m × 1 m 区域为测试区,各测试区应在试验田内均匀分布,在除草试验后用细绳将测试区围住,每组数据采集 3 次,取平均值。通过测试区内的试验指标估测整体指标。株间弹齿刀盘作业时与水稻秧苗会发生直接接触,因而会发生伤苗现象。选取除草率和伤苗率作为评价水田除草机株间除草作业的指标,求解方法同上。检测结果如表 2 所示。



图11 除草机田间作业性能检测
Fig. 11 Performance testing for weeding machine in field

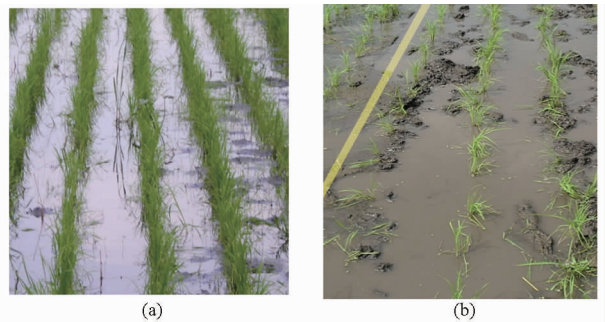


图12 除草前后效果对比图
Fig. 12 Contrast effect before and after weeding
(a) 除草前 (b) 除草后

由表 2 知,当弹齿齿数为 5 个,弹齿盘转动角速度为 25 rad/s,弹齿盘旋转半径为 280 mm,弹齿端面直径为 5 mm 时,除草率为 80%、伤苗率为 4.5%,均符合技术指标。

表 2 田间作业性能检测结果		
Tab. 2 Performance testing results for ridger in field		
检测指标	技术标准	检测结果
整机质量/kg	45	45
除草率/%	≥75	80
作业宽度/m	0.9	0.9
伤苗率/%	≤5	4.5
前进速度/(m·s ⁻¹)	0.5 ~ 0.7	0.5 ~ 0.7
作业深度/m	0.02 ~ 0.05	0.02 ~ 0.05

6 结论

(1) 设计了水田除草机除草装置,首先确定了弹齿盘的形状,最后通过对弹齿盘的运动、动力分析

以及水田植物的强度分析,确定了影响弹齿盘转速的主要因素。

(2) 根据水田植物的基本物理特性的分析以及弹齿盘旋转直径等基本参数,确定了弹齿盘旋转速度与弹齿数量的取值范围,并通过室内土槽试验,确定了弹齿盘旋转角速度为 25 rad/s、弹齿数量为 5 个。

(3) 由检测结果可知当弹齿齿数为 5 个,弹齿盘转动角速度为 25 rad/s,弹齿盘旋转半径为 280 mm,弹齿端面直径为 5 mm 时,除草率为 80%、伤苗率为 4.5%,均符合技术指标。

参 考 文 献

1 汪贞,席运官. 国内外有机水稻发展现状 & 有机稻米品质研究[J]. 上海农业学报,2014,30(1):103-107.
Wang Zhen, Xi Yunguan. The development status of organic rice at home and abroad and study on the quality of organic rice[J]. Agricultural Shanghai, 2014,30(1):103-107. (in Chinese)

2 戴展峰,林金炎,苏国藩,等. 有机水稻生产和栽培技术[J]. 现代农业科技,2007(1):95-96.

3 马旭,齐龙,梁柏,等. 水稻田间机械除草装备与技术研究现状及发展趋势[J]. 农业工程学报,2011,27(6):162-168.
Ma Xu, Qi Long, Liang Bai, et al. Present status and prospects of mechanical weeding equipment and technology in paddy field [J]. Transactions of the CSAE, 2011,27(6): 162-168. (in Chinese)

4 Bond W, Grundy A C. Non-chemical weed management in organic farming systems[J]. Weed Research, 2001,41(5): 383-405.

5 Dedousis A P. An investigation into the design of precision weeding mechanisms for inter and intra-row weed control [D]. Bedfordshire: Cranfield University, 2007.

6 西脇健太郎,大谷隆二,中山壮一. 機械除草と除草剤の部分散布を組み合わせたハイブリッド除草機[J]. 農業機械学会誌,2010,72(1):86-92.

7 Tillett N D, Hague T, Gruny A C, et al. Mechanical with in-row weed control for transplanted crops using computer vision[J]. Biosystems Engineering, 2008, 99(2):171-178.

8 李江国,刘占良,张晋国,等. 国内外田间机械除草技术研究现状[J]. 农机化研究, 2006(10):14-16.

9 白井智彦,伊藤勝浩,大里達朗. 水稻栽培における固定式タイン型除草機の除草効果[J]. 東北雑草研究会,2009(9):38-41.

10 韩豹,吴文福,申建英,等. 水平圆盘式苗间除草装置试验台优化试验[J]. 农业工程学报,2010,26(2): 142-146.
Han Bao, Wu Wenfu, Shen Jianying, et al. Optimization experiment on test-bed of horizontal disk weeding unit between seedlings [J]. Transactions of the CSAE,2010,26(2): 142-146. (in Chinese)

11 胡炼,罗锡文,严乙桢,等. 基于爪齿余摆运动的株间机械除草装置研制与试验[J]. 农业工程学报,2012,28(14):10-16.
Hu Lian, Luo Xiwen, Yan Yi'an, et al. Development and experiment of intra-row mechanical weeding device based on trochoid motion of claw tooth[J]. Transactions of the CSAE, 2012,28(14): 10-16. (in Chinese)

12 张朋举,张纹,陈树人,等. 八爪式株间机械除草装置虚拟设计与运动仿真[J]. 农业机械学报,2010,41(4):56-59.
Zhang Pengju, Zhang Wen, Chen Shuren, et al. Virtual design and kinetic simulation for eight claw intra-row mechanical weeding device [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(4):56-59. (in Chinese)

13 张春龙,黄小龙,耿长兴,等. 智能锄草机器人系统设计与仿真[J]. 农业机械学报,2011,42(7):196-199.
Zhang Chunlong, Huang Xiaolong, Geng Changxing, et al. Design and simulation of intelligent weeding robot system [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011,42(7): 196-199. (in Chinese)

14 刘永军,王金武,陶桂香,等. 栅条式水田行间除草装置运动学分析与试验研究[J]. 农机化研究,2015(5):155-158.

15 杨松梅,王金武,刘永军,等. 水田株间立式除草装置的设计[J]. 农机化研究,2014(12):154-157.

16 张春建,王金武,赵佳乐,等. 水田行间除草装置的设计与试验[J]. 东北农业大学学报,2012,43(2):49-53.
Zhang Chunjian, Wang Jinwu, Zhao Jiale, et al. Design and experimental research on device of weeding between seed-lings from paddy fields[J]. Journal of Northeast Agricultural University,2012,43(2):49-53. (in Chinese)

17 牛春亮,王金武. 一种机械式水田除草机株间除草弹齿的驱动系统[J]. 农业机械,2013(22):138-139.

18 魏从梅,王金武,张影微. 水田除草关键部件扭矩测试试验研究[J]. 东北农业大学学报,2012,43(5):87-91.
Wei Congmei, Wang Jinwu, Zhang Yingwei. Study on torque measurement of key components of weed in paddy field [J]. Journal of Northeast Agricultural University,2012,43(5):87-91. (in Chinese)

19 牛春亮,王金武. 水稻苗间除草装置工作机理分析[J]. 农业工程学报,2010,26(增刊):51-55.
Niu Chunliang, Wang Jinwu. Analysis on working mechanism of paddy weeding device [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(Supp.): 51-55. (in Chinese)

20 陈振歆,王金武,牛春亮,等. 弹齿式苗间除草装置关键部件设计与试验[J]. 农业机械学报,2010,41(6):81-86.
Chen Zhenxin, Wang Jinwu, Niu Chunliang, et al. Design and experiment of key components of trash cultivator's working in paddy rice seeding linges [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(6):81-86. (in Chinese)

21 石井博和,佐藤正憲. 水田中耕用除草機の性能と除草効果向上方策[J]. 日本作物学会関東支部会報,2006(21):22-23.

22 梅凤翔. 关于牛顿力学的力和拉格朗日力学的力:理论力学札记之九[J]. 力学与实践,2011,33(5):63-65.
Mei Fengxiang. On the Newtonian force and mechanical force Lagrange: theoretical mechanics notes nine [J]. Mechanics and Engineering, 2011,33(5):63-65. (in Chinese)

23 吴崇友,张敏,金诚谦,等. 2BYS-6 型水田中耕除草机设计与试验[J]. 农业机械学报,2009,40(7):51-54.
Wu Chongyou, Zhang Min, Jin Chengqian, et al. Design and experiment of 2BYS-6 type paddy weeding-cultivating machine [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(7): 51-54. (in Chinese)