

## 步进式水田中耕除草机的研制与试验

齐龙<sup>1,2</sup>, 马旭<sup>1,2\*</sup>, 谭祖庭<sup>2</sup>, 谭永炘<sup>2</sup>, 丘巧东<sup>2</sup>, 杨程<sup>2</sup>, 张稳成<sup>3</sup>

(1. 华南农业大学南方农业机械与装备关键技术教育部重点实验室, 广州 510642;  
2. 华南农业大学工程学院, 广州 510642; 3. 肇庆市农科所, 肇庆 526070)

**摘要:** 为解决水田的除草问题, 增加现有机具的作业功能, 该文在步进式插秧机底盘结构的基础上, 研制了一种步进式水田中耕除草机。该机由步进式插秧机底盘提供动力, 主要由机架、传动系统、仿形及耕深调节机构以及复合式除草部件指辊和刀辊等组成, 可实现对杂草的拉拔和埋压。田间试验结果表明: 该机配备复合式除草部件、工作速度为 0.5 m/s、除草深度为 50 mm 时, 行间除草率为 83.7%, 伤苗率为 4.1%, 可在草量多、杂草高的水田中进行有效除草。

**关键词:** 农业机械, 环保, 试验, 水田, 中耕除草机, 复合部件

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.14.005

中图分类号: S224.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-14-0031-05

齐龙, 马旭, 谭祖庭, 等. 步进式水田中耕除草机的研制与试验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(14): 31-35.

Qi Long, Ma Xu, Tan Zuting, et al. Development and experiment of marching-type inter-cultivation weeder for paddy[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(14): 31-35. (in Chinese with English abstract)

### 0 引言

稻田杂草是导致水稻产量下降的主要因素之一, 据统计每年由草害引起的水稻产量损失率约在 15% 以上<sup>[1]</sup>。利用化学药剂除草是目前最常用的一种除草方式, 然而除草剂的大量使用也带来了许多负面问题, 如杂草的抗药性、土壤和水源的污染以及稻米品质的降低等<sup>[2]</sup>。机械除草是一种无污染的除草方式, 同时, 具有增加氧气、提高地温、利于秧苗生长等优点<sup>[3]</sup>。

日本在水田中耕除草机的研制方面具有领先优势, 已相继有不同型号的机具在水稻生产中应用。步进式的有和同产业生产的 MSJ 型水田除草机<sup>[4-5]</sup>和美善株式会社研发的 SMW 型水田中耕除草机<sup>[6]</sup>; 乘坐式的有洋马 SJVP 系列、久保田 SJ-6(8)N 系列、井关 SJ-6(8)IVZ 系列<sup>[7-9]</sup>、三菱 LVW-8 型<sup>[10-11]</sup>和实产业公司的 RW-50 型水田中耕除草机<sup>[12]</sup>。此外, 还有日精电机研制的机械气力式水田除草机<sup>[13]</sup>和石井农机公司发明的机械液力式除草机<sup>[14]</sup>。

中国在 20 世纪 80 年代就有水田中耕除草机的研究, 如徐瑞良<sup>[15]</sup>设计的立旋式水稻中耕除草机; 杨广林等<sup>[16]</sup>研制的 SZD-6 型旋耕式水田中耕除草机。此

后, 随着化学除草剂的广泛应用, 水田机械除草方面的研究在一段时间内几乎绝迹。近年来, 随着人们对环保和食品安全的重视, 水田机械除草技术又重新被重视起来, 代表性机型有王金武等<sup>[17]</sup>研制的 3ZS-150 型步进式水田中耕除草机、吴崇友等<sup>[18]</sup>研制的 2BYS-6 型乘坐式水田中耕除草机以及延吉市农机推广中心研制的 3ZS-1 型水田除草机<sup>[19]</sup>。目前国内外现有水田中耕除草机的行间除草部件大多采用从动或驱动的单—除草部件, 在土壤条件较好、杂草较小、草量较少时可满足除草要求, 但对于草量过多、杂草过高时作业效果并不理想。

本文研制的水田中耕除草机由步进式插秧机底盘提供动力, 在不改变插秧机结构和传动系统的情况下, 卸掉秧箱和插秧部件, 安装相应的传动系统、耕深调节装置及除草部件, 即可进行除草作业。除草关键部件是由指辊和刀辊组合而成的新型复合式机构, 可实现指辊拔除、刀辊埋压杂草的双重作用<sup>[20]</sup>, 以期在草量多、杂草高的作业情况下能够有效进行水田除草。

### 1 整机结构设计

#### 1.1 整机结构和工作原理

本文研制的水田中耕除草机整机结构如图 1 所示, 主要由发动机、液压系统、变速箱、仿形及耕深调节机构、机架、传动系统以及复合式除草部件指辊和刀辊等组成。

工作前, 根据稻苗的生长高度, 通过液压系统将机体升高, 提高地隙(400 mm)以防止机具压苗; 同时根据除草深度要求, 调节仿形及耕深调节机构保证耕深。工作时, 机具以一定速度前进, 利用插秧机底盘提供动

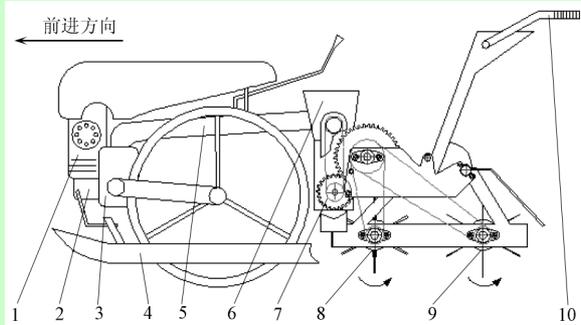
收稿日期: 2011-12-19 修订日期: 2012-05-18

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金资助农办科[2011]25 号; 广东省高等学校人才引进基金资助 2008[86]

作者简介: 齐龙(1979—), 男, 汉族, 黑龙江哈尔滨人, 博士, 副研究员, 主要从事现代农业智能装备与精准农业方面的研究。农业工程学会会员。广州 华南农业大学南方农业机械与装备关键技术教育部重点实验室, 510642。

\*通信作者: 马旭(1959—), 男, 汉族, 辽宁沈阳人, 教授, 博士生导师, 主要从事现代农业技术装备方面的研究。农业工程学会高级会员。广州 华南农业大学南方农业机械与装备关键技术教育部重点实验室, 510642。

力输出, 通过传动系统把动力传递给除草部件, 使之在水稻行间沿前进方向的铅垂平面内作余摆线运动, 除草部件的运动方向如图 1 所示。其中, 指辊将杂草拉拔、扯断后将杂草向后抛出, 然后由布置在其后方的刀辊埋压杂草, 从而达到除草目的。此外, 指辊还能翻松土壤, 刀辊能够起到碎泥整地作用。



1. 发动机 2. 液压系统 3. 变速箱 4. 仿形及耕深调节机构 5. 机架  
6. 换向器 7. 传动系统 8. 指辊 9. 刀辊 10. 扶手

图 1 步进式中耕除草机总体结构

Fig.1 Structure of marching type inter-cultivating weeder

## 1.2 仿形及耕深调节机构

仿形及耕深调节机构的工作原理如图 2 所示。浮板可通过滑道根据地形起伏上下滑动调节, 使机具不会产生下陷壅土。在耕深调节板上设计不同高度的定位孔可调节除草部件与浮板的相对位置, 从而满足不同时期、不同除草深度的要求。选择耕深调节板最上面的孔与机体相连, 除草部件相对浮板即泥面的距离最小, 即工作深度最浅; 反之则工作深度增加, 除草深度的调节范围一般为 10~50 mm。

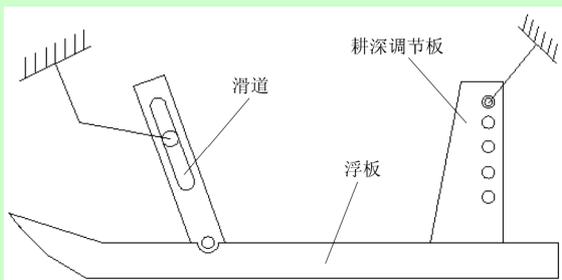


图 2 仿形及耕深调节机构

Fig.2 Mechanism of profiling and depth control

## 1.3 动力传递系统

动力传递系统工作原理如图 3 所示。插秧机动力输出轴经换向器将动力传递到中间轴 1 上, 然后由链轮传至中间轴 2, 在不改变插秧机原有传动系统的基础上, 通过一级圆柱齿轮将动力减速传给中间轴 3, 从而带动上面的 3 个主动链轮, 并通过链传动将动力传递给除草部件, 使除草部件在平行于插秧机运动方向的平面上作旋转运动, 达到除草目的。

## 2 关键部件设计

复合式除草部件由指辊和刀辊 2 种除草部件组合而

成。指辊旋转除草部件主要由指齿穿入轮毂构成; 刀辊旋转除草部件则是由刀片焊接在轮毂上而成。在旋转工作时, 可达到拉拔、埋压杂草的双重除草效果, 还能起到一定松土和整地作用。除草部件两边装有护苗板, 减少部件旋转运动时对秧苗的损害, 结构如图 4 所示。

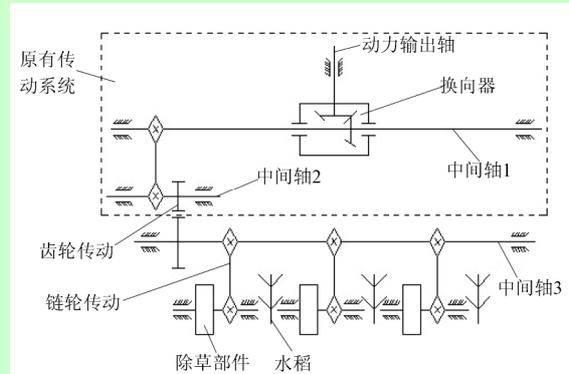


图 3 动力传递系统工作原理

Fig.3 Work principle of power transmission system

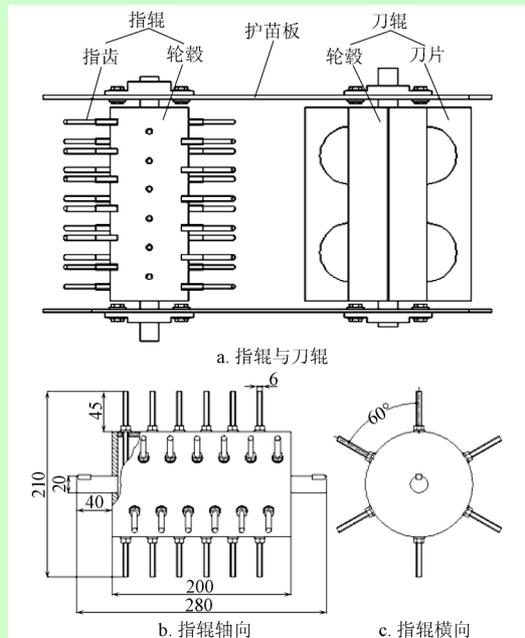


图 4 复合式除草部件

Fig.4 Complex weeder

### 2.1 轮毂的设计

按照插秧机插秧时 300 mm 的行距要求, 设计轮毂的长度为 220 mm。轮毂的厚度应考虑强度和质量的影, 通过参数优化选取轮毂厚度为 4 mm。为保证工作时不缠草, 轮毂周长必须不小于杂草高度, 即

$$2\pi r \geq l \quad (1)$$

式中,  $r$  为轮毂半径, mm;  $l$  为杂草高度, mm。

根据调查, 水稻生长封垄前杂草高度一般不超过 250 mm, 代入上式, 得  $r \geq 39.8$  mm, 故轮毂直径选取 80 mm, 可满足不缠草要求。

### 2.2 指齿及刀片的设计

要保证工作时沿机具前进方向不漏除, 轮毂上所有指齿或刀片的除草作用长度之和应大于轮毂旋转一周时

插秧机前进的距离，即

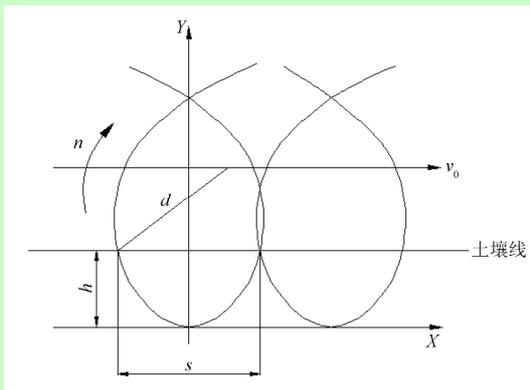
$$Ns > v_0 \frac{60}{n} \quad (2)$$

式中， $N$  为指齿排数或刀片个数； $s$  为一排指齿或一个刀片在旋转一周时作用于泥土的距离， $m$ ； $v_0$  为除草机前进速度， $m/s$ ； $n$  为除草部件的转速， $r/min$ 。根据测定，除草机的前进速度  $v_0=0.5 \sim 0.9 m/s$ ；除草部件的转速  $n = 140 \sim 220 r/min$ 。

指齿和刀片长度由耕深确定，长度为  $60 mm$ 。式 (2) 中  $s$  与指齿 (或刀片) 的长度和除草深度有关，当除草深度最浅 ( $10 mm$ ) 且每排指齿或刀片的  $s$  刚好相切时 (见图 5)， $s$  的计算公式为<sup>[21]</sup>

$$s = 2\sqrt{d^2 - (d-h)^2} - 2\frac{60v_0}{2\pi n} \arccos(1 - \frac{h}{d}) \quad (3)$$

式中， $d$  为指齿或刀片顶点到轮毂中心的距离，即指齿或刀片长度 ( $60 mm$ ) 加上轮毂半径 ( $40 mm$ )，取值为  $0.1m$ ； $h$  为除草深度，最浅时为  $0.01m$ 。将式 (3) 代入式 (2)，求得  $N > 4.7$ ，取整数  $N=6$ 。轮毂上设计安装 6 排指齿或 6 片刀片，使得每排指齿 (或刀片) 的  $s$  有部分重叠，满足杂草不漏除的要求。



注： $n$  为除草部件的转速， $r/min$ ； $h$  为除草深度， $m$ ； $d$  为指齿或刀片顶点到轮毂中心的距离， $m$ ； $s$  为一排指齿或一个刀片在旋转一周时作用于泥土的距离， $m$ ； $v_0$  为除草机前进速度， $m/s$ 。

图 5 指齿 (或刀片) 端点轨迹

Fig.5 Endpoint trajectory of finger or blade roller

指辊轮毂上每排安插 6 根指齿，相邻 2 排指齿相交  $60^\circ$  并且相互错开，使得部件旋转时指齿间的最小间隙为  $4 mm$ ，这样既可减少部件轴向的漏除现象，又可以降低工作阻力；对于刀辊而言，每个刀片在与轮毂连接处分别切有 2 个半圆形缺口 (见图 4)，以减少部件质量和降低工作阻力。

为使除草机部件能够正常进行除草，指辊或刀辊顶点的运动轨迹必须为余摆线，即其作用点的旋转线速度必须大于插秧机的前进速度。

指辊和刀辊顶点线速度  $v (m/s)$  为

$$v = 2\pi d \frac{n}{60} \quad (4)$$

计算求得

$$v = 1.47 \sim 2.30 m/s > v_0$$

这样，指辊和刀辊运动轨迹符合余摆线的要求，此

时，指齿与泥土有相对运动，指齿能起到拉拔和扯断杂草的作用，布置在其后面的刀辊能够埋压杂草。具体的设计参数如表 1 所示。

表 1 设计参数表

Table 1 Design parameters

参数	设计值
轮毂直径/mm	80
轮毂长度/mm	220
轮毂厚度/mm	4
刀片数/个	6
每排指齿数/个	6
指齿长度/mm	60
刀片长度/mm	60

### 3 田间试验与结果分析

#### 3.1 试验条件

试验在位于广东省肇庆市怀集县冷坑镇楼边村的国家水稻产业技术体系肇庆综合试验站机插水稻田中进行。选择的田块长度约为  $50 m$ ，宽度约为  $23 m$ ；泥脚深度为  $250 mm$  左右，最深达  $350 mm$ 。试验在插秧后 20 d 时进行，水稻品种为野丝占，水稻秧苗平均株高  $350 mm$ ，长势良好，未见明显病、虫害。试验田栽插后未进行化学除草和人工除草，稻田杂草主要以水田稗、千金子、丁香蓼和酸模叶蓼等杂草为主，杂草平均高度约  $80 mm$ 、行间杂草密度约  $10 株/m^2$ ，危害较严重。

#### 3.2 试验方法

在机具前进方向每  $15 m$  作为一个测区，机具进入测区前预留  $5 m$  起步区，以保证机具进入测区后速度均一。

除草率和伤苗率是决定中耕除草作业质量的主要指标。因此，选择除草率  $Cr$  和伤苗率  $Ir$  作为水田中耕除草机作业质量的评价指标。

##### 1) 除草率

除草率计算公式如下

$$Cr = \frac{Q-H}{Q} \times 100\%$$

式中， $Cr$  为行间除草率，%； $Q$  为测区内除前行间杂草数； $H$  为测区内除后行间杂草数。

##### 2) 伤苗率

伤苗是指在除草作业过程中，秧苗被机具打折、除掉或掩埋不能正常生长的稻苗。伤苗率计算公式如下

$$Ir = \frac{Ms}{Mz} \times 100\%$$

式中， $Ir$  为伤苗率，%； $Ms$  为测区内伤苗总数； $Mz$  为测区内秧苗总数。

为了综合评价中耕除草机的工作性能，探明影响其作业效果的主次因素，根据中耕除草作业评价指标，选择除草部件类型、作业速度、除草深度 3 因素 3 水平正交试验。试验因素水平如表 2 所示。

表2 试验因素与水平表  
Table 2 Table of experimental factors and levels

因素水平	部件类型	作业速度/(m·s <sup>-1</sup> )	除草深度/mm
1	指辊	0.50	20
2	刀辊	0.65	35
3	复合式	0.85	50

### 3.3 试验结果分析

试验结果见表3。

表3 正交试验结果  
Table 3 Results of orthogonal experiment

试验序号	除草部件类型	作业速度/(m·s <sup>-1</sup> )	除草深度/mm	试验指标	
				除草率/%	伤苗率/%
1	指辊	0.50	20	71.2	3.6
2	指辊	0.65	35	76.5	3.9
3	指辊	0.85	50	74.1	4.9
4	刀辊	0.50	35	73.4	3.7
5	刀辊	0.65	50	72.8	4.1
6	刀辊	0.85	20	70.5	4.0
7	复合式	0.50	50	83.7	4.1
8	复合式	0.65	20	72.6	3.9
9	复合式	0.85	35	80.6	5.2
K <sub>1</sub>	73.9/4.1	76.1/3.8	71.4/3.8		
K <sub>2</sub>	72.2/3.9	74.0/4.0	76.8/4.3		
K <sub>3</sub>	79.0/4.4	75.1/4.7	76.9/4.4		
R	6.8/0.5	2.1/0.9	5.5/0.6		

注：上述均值与极差数据分别对应为：除草率/伤苗率(K为均值，R为极差)。

表3的试验结果表明：各因素影响除草率的主次顺序为除草部件类型>除草深度>作业速度，最优组合为复合式除草部件、作业速度0.5 m/s、除草深度50 mm(除草深度为50 mm时，可在保证除草率的同时有效疏松泥土)；各因素影响伤苗率的主次顺序为作业速度>除草深度>除草部件类型，最优组合为刀辊、作业速度0.5 m/s、除草深度20 mm。

由以上结果分析可知：在保证一定除草深度的情况下，复合式除草部件的除草率最高，且机具在中低速工作时，复合式除草部件较单一除草部件的伤苗率并没有明显增大。对于本研究所设计的除草机而言，应用复合式除草部件，机具工作速度为0.5 m/s且除草深度为50 mm时行间除草率最高，可达到83.7%，此时伤苗率为4.1%。

## 4 结论

1) 研制了一种步进式水田中耕除草机，该机由步进式插秧机底盘提供动力，驱动除草部件进行除草作业。该机的特点是不改变插秧机的固有结构，可实现插秧、除草2种用途。

2) 研制的除草机除草部件为指辊和刀辊组成的复合式结构。指辊将杂草拉拔、扯断后，并将杂草向后抛出，然后由布置在其后方的刀辊埋压杂草。田间试验结果表明：复合式除草部件比单一除草部件的除草效果好。在

作业速度为0.5 m/s，除草深度为50 mm时，使用复合式除草部件的行间除草率可达到83.7%，伤苗率为4.1%。

### 【参考文献】

- [1] 于改莲. 稻田除草剂的正确施用方法[J]. 农药, 2001, 12(40): 43—45.  
Yu Gailian. Fit method of spraying herbicide in paddy field[J]. Agrochemicals, 2001, 12(40): 43—45. (in Chinese with English abstract)
- [2] 刘延, 刘波, 王险峰, 等. 中国化学除草问题与对策[J]. 农药, 2005, 44(7): 289—293.  
Liu Yan, Liu Bo, Wang Xianfeng et al. Problems and solutions for chemical weed control in China[J]. Agrochemicals, 2005, 44(7): 289—293. (in Chinese with English abstract)
- [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 Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(6): 162—168. (in Chinese with English abstract)
- [4] 和同産業株式会社. 水田の草取り機[P]. 日本专利: 4057492, 2007-12-21.
- [5] 石井博和, 佐藤正憲. 3 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.  
ISHII Hirokazu, SATHO Masanori. 3 Performance of paddy weeding machine and improvements in the performance[J]. The Crop Science Society of Japan, 2006, 21: 22—23. (in Japanese with English abstract)
- [6] 株式会社美善. 水田除草兼用溝切り機[P]. 日本专利: 2007105006, 2007-04-26.
- [7] 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構, 株式会社クボタ, 井関農機株式会社. 水田除草機[P]. 日本专利: 3965430, 2007-06-08.
- [8] 宮原佳彦, 戸崎紘一, 市川友彦. 高精度水田用除草機の開発(第1報): 試作機の構造概要と作業性能[J]. 農業機械学会年次大会講演要旨, 2001, 60: 37—38.
- [9] 権騰昭博. 水田の条間・株間同時除草機械[R]. 日本埼玉: 生研機構・生産システム研究部, 技術の窓 No.1054.
- [10] 三菱農機株式会社, 株式会社キエウホー. 除草機[P]. 日本专利: 2007105006, 2007-04-26.
- [11] 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プ型除草機の除草効果[J]. 東北雑草研究会, 2009, 9: 38—41.  
Usui T, Ito Katsuhiko, Osato Tatsuro. Weed control by fixed tine type weeding machine in paddy rice[J]. Tohoku Weed Journal, 2009, 9: 38—41. (in Japanese with English abstract)
- [12] みのる産業株式会社. 除草機[P]. 日本专利: 4038538, 2007-11-16.
- [13] 日精電機株式会社, 株式会社エムケー. 水田除草機[P]. 日本专利: 2008022722, 2008-02-07.

- [14] 株式会社石井農機. 水田除草装置[P]. 日本专利: 2010068776, 2010-04-02.
- [15] 徐瑞良. 立旋式水稻中耕机的研究设计[J]. 农业机械学报, 1981, (4): 29—39.  
Xu Ruiliang. Study and design of vertical rotary cultivator for use in paddy field[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1981, (4): 29—39. (in Chinese with English abstract)
- [16] 杨广林, 范蕴哲. 旋耕式水田中耕除草机的结构与技术参数的探讨[J]. 东北农学院学报, 1985, (3): 69—73.  
Yang Guanglin, Fan Yunzhe. Determination of the structure and the parameters of the rotary hoe for paddy field[J]. Journal of Northeast Agricultural College, 1985, (3): 69—73. (in Chinese with English abstract)
- [17] 王金武, 牛春亮, 张春建, 等. 3ZS-150 型水稻中耕除草机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2011, 42(2): 75—79.  
Wang Jinwu, Niu Chunliang, Zhang Chunjian, et al. Design and experiment of 3ZS-150 paddy weeding-cultivating machine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(2): 75—79. (in Chinese with English abstract)
- [18] 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-6type paddy weeding-cultivating machine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(7): 51—54. (in Chinese with English abstract)
- [19] 李钟哲. 一种水田动力除草机[P]. 中国专利: 01220661.X, 2001-03-27.
- [20] 齐龙, 马旭, 谭祖庭. 基于 ProE 的复合式水田除草器设计与运动仿真分析[J]. 吉林农业大学学报, 2011, 33(4): 455—458, 468.  
Qi Long, Ma Xu, Tan Zuting. Design and motion simulation for complex paddy weeder using proE[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2011, 33(4): 455—458. (in Chinese with English abstract)
- [21] 段武茂, 孙升. 卧式旋耕机耕作重叠量的理论计算和分析[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(2): 922—923.  
Duan Wumao, Sun Sheng. Theoretical calculation and analysis on farming overlaps of horizontal rotary cultivator[J]. Journal of An Hui Agricultural Science, 2010, 38(2): 922—923. (in Chinese with English abstract)

## Development and experiment of marching-type inter-cultivation weeder for paddy

Qi Long<sup>1,2</sup>, Ma Xu<sup>\*1,2</sup>, Tan Zuting<sup>2</sup>, Tan Yongxin<sup>2</sup>, Qiu Qiaodong<sup>2</sup>, Yang Cheng<sup>2</sup>, Zhang Wencheng<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment (South China Agricultural University), Ministry of Education, Guangzhou 510642, China; 2. College of Engineering, South China Agricultural University, Guang Zhou 501642, China; 3. Agricultural research institute of Zhaoqing, Zhaoqing 526070, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of mechanical weeding in paddy field and enhance the function of the exiting agricultural machine, a marching type inter-cultivating weeder was designed and tested in the paddy field by refitting a marching-type transplanter in this study. The designed machine was powered with the chassis of a marching type transplanter and composed of frame, power transmission system, mechanism of profiling and depth control and complex weeder including finger roller and blade roller which realized functions of pulling and bury-pressing on weeds during operation. Results of the field experiment showed that under the conditions that the forward velocity of the weeding machine was equipped with complex weeder 0.5 m/s and the weeding depth 50 mm, the cleaning rate was 83.7% and the injury rate of rice seedlings was 4.1%, and work effectively in paddy fields with large and high weeds.

**Key words:** agricultural machinery, environmental protection, experiments, paddy field, inter-cultivating weeder, composite components