

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.06.016

弹齿式苗间除草装置关键部件设计与试验*

陈振歆 王金武 牛春亮 葛宜元 王金峰

(东北农业大学工程学院, 哈尔滨 150030)

【摘要】 设计了一种水田苗间除草作业的弹齿式除草装置,采用钢丝软轴传动,除草盘为弧形。分别在秧苗生长到第7天和第14天时采用二次旋转正交设计进行土槽试验,利用 Design-Expert 软件分析,获得除草盘转速、机器前进速度、耕作深度之间交互作用及对除草率和伤苗率的影响。最终确定第7天作业时除草装置的最佳工作参数为:除草盘转速 230 r/min、机器前进速度 1.02 m/s、耕作深度 18 mm,此时除草率 73% 及伤苗率 0.13%;第14天作业的最优组合为:除草盘转速 230 r/min,机器前进速度 0.48 m/s,耕作深度 27 mm。根据第7天试验最佳工作参数组合进行验证试验,结果表明此参数组合能满足除草率要求,且伤苗率最小。

关键词: 机械式除草机 弹齿 设计 试验

中图分类号: S224.1+5 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2010)06-0081-06

Design and Experiment of Key Components of Trash Cultivator's Working in Paddy Rice Seeding Lines

Chen Zhenxin Wang Jinwu Niu Chunliang Ge Yiyuan Wang Jinfeng

(College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract

A spring-tooth weeding working in paddy field was designed. Weed cutter with arc-shaped bend could reduce the injury rate of seedlings in some extent. The steel soft shaft was selected as transmission parts of the device. The quadratic rotation-orthogonal test was applied in 7 and 14 days respectively. The effects of interaction of cutter rotation speed, forward velocity of machine, buried depth on weeding ratio and seeding injury ratio were attained. The optimal combination in 7 days' test was: the cutter rotation speed was 230 r/min, the forward velocity was 1.02 m/s, the buried depth was 18 mm, weeding rate was 73%, and miller injury rate was 0.13%. The optimal combination in 14 days' test was: the cutter rotation speed was 230 r/min, the forward velocity was 0.48 m/s, the buried depth was 27 mm. The verification test was carried on according to the optimal operational parameters combination. The results showed that this operational parameter combination could fulfils the request of weeding ratio; meanwhile, the seeding injury ratio was the lowest.

Key words Mechanical weeder, Spring-tooth, Design, Experiment

引言

当前国内外水田中耕除草机,主要针对行间杂草,苗间除草很少且除草率相对较低。发达国家研制的中耕除草机大多用计算机控制,以致研制、生产

成本高,并不符合我国当前的国情^[1]。

为了解决机械除草作业中出现的问题,降低环境污染、减轻劳动强度,提高劳动生产率,同时能更好除去作物苗间杂草,本文设计一种机械弹齿式苗间除草装置。该装置采用旋转工作方式,通过钢丝

收稿日期: 2009-04-21 修回日期: 2009-08-19

* 黑龙江省科技攻关资助项目(GB07B106)

作者简介: 陈振歆,硕士生,主要从事水田除草机械研究, E-mail: bds-12100237@163.com

通讯作者: 王金武,教授,博士生导师,主要从事田间机械和机械可靠性研究, E-mail: jinwu@163.com

软轴驱动弹齿除草盘转动,将土壤搅动、翻转并连同杂草翻出地表并将其覆盖,从而完成除草作业。

1 水田杂草的生理特点

黑龙江省春季和初夏时气温低,水田杂草发芽后前期生长缓慢,到6月上旬以后气温升高,光照足,杂草生长迅速。所以,水田杂草的危害期大体上从6月上旬开始。移栽田是在插秧后10~15 d,直播田是在播种后20~30 d,水稻分蘖后期至拔节期达到危害高峰,危害期长达60 d左右。水田杂草以稗草居多,出土时间早,生长速度比稻秧快,出苗后不久便会将稻苗覆盖,与稻苗争水、争肥、争光照,导致稻苗长势差,甚至死亡^[1~2]。

移栽稻苗后,在稻苗返青、扎根、活棵、分蘖期,杂草大量萌生,发生量大。据定点观察,无论抛栽秧田及移栽秧田,均在7~20 d范围内有一个出草高峰,同时在15 d后随着抗药性的增强,杂草很难清除,对于水田稗草的清除,应选择在移苗后的第7~15天进行^[2]。为确定准确的除草时间,试验制定了两次土槽除草方案,分别为移苗后第7天及第14天除草。

2 苗间除草装置结构及部件设计

弹齿式苗间除草装置主要由除草盘、联接头、套管、钢丝软轴、支撑架、联轴器、电动机组成,如图1所示。

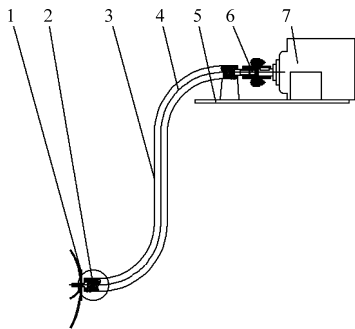


图1 除草装置结构示意图

Fig. 1 Structure diagram of weeding device

1. 除草盘 2. 联接头 3. 套管 4. 钢丝软轴 5. 支撑架 6. 联轴器 7. 电动机

套管和电动机固定在支撑架上,通过联轴器将其连接在一起,除草盘通过联接头配装在钢丝软轴上。工作时,电动机通过钢丝软轴将动力传递到除草刀盘上,从而实现除草刀盘的旋转运动。

2.1 除草盘

除草盘轮毂由Q235钢板加工而成,弹齿由弹簧钢制成,结构如图2所示。除草盘的旋转直径

$$D \geq 2(H + h) \quad (1)$$

式中 H ——轴心与地面的最小距离,mm

h ——最大耕作深度,mm

为避免试验中除草盘旋转轴缠苗,依据秧苗返青后的高度,在试验中 H 取值为80~100 mm;最大耕作深度 h 取值为15~30 mm,此深度能保证杂草从根部清除。当 H 取100 mm、最大耕作深度 h 取30 mm时, $D \geq 260$ mm。当直径过大时,会产生振动,平稳性差;直径过小时,弹齿顶端的切向速度小,影响入土及切向力的大小,所以取 $D = 280$ mm。

弹齿采用弯型设计,弧度半径约为250 mm,焊接时弹齿扭过一定角度,且稍稍前倾。

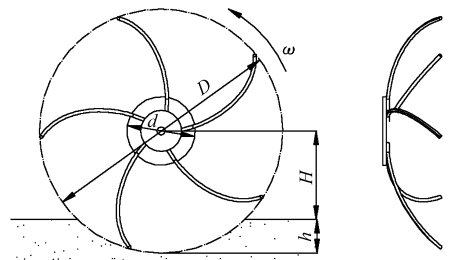


图2 除草盘结构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the cutter head

2.2 轮毂直径 d 、厚度 B 和弹齿数 z

为保证部件在工作时不缠苗,轮毂的周长要大于苗与草高度,且除草盘轮毂中心距离地面应有一定高度。根据试验时秧苗高度,选取轮毂直径 $d = 100$ mm。

轮毂的厚度太大,浪费材料,同时机体笨重;厚度太小,在焊接弹齿时,容易发生变形,影响作业。取厚度 $B = 4$ mm。

为了刀盘工作时不缠苗,弹齿数越小越好,但刀弹齿密度小,在刀盘旋转一周过程中,工作齿减少,除草率降低。经预备试验,弹齿数为3~6时保证不缠草、苗,且能达到良好的除草效果。因此,选择弹齿数 $z = 5$ 。

3 试验方法与材料

试验在室内土槽试验台上进行,除草区长度10 m,宽度2.5 m,土槽深0.4 m,土槽面积25 m²。在现有试验条件下,为增加秧苗及杂草的数量,加大了插秧密度,插秧穴距为75 mm,每穴5株,每行秧苗为665株。泥脚深度120~150 mm,最深达200 mm。田块水层50~100 mm。秧苗在返青后7 d左右,叶龄3叶1心至4叶,秧龄30 d,平均株高120 mm,长势较好,无病、虫、药害。由于在室内进行试验,杂草采用人工播种,主要为水田稗草。

3.1 试验参数

通过预备试验可知,决定苗间除草质量的关键

因素是除草盘回转中心轴与秧苗的水平距离及除草盘的耕作深度。图 3 为除草盘距秧苗水平距离及耕作深度示意图, O 点为弹齿的入土点。第 1 次试验在秧苗返青后第 7 天进行, 通过观察, 此时杂草根系长度为 $10 \sim 20 \text{ mm}$, 为了从根部清除杂草, 同时避免在除草过程中深度过大, 造成伤苗, 所以耕作深度 h' 选择为 $15 \sim 30 \text{ mm}$ 。结合除草盘的设计及多次试验, 最终确定距离 L 为 80 mm 左右, 该距离可以有效地清除秧苗两侧的杂草, 同时能够保证刀齿的耕作深度适宜。当除草盘距秧苗 80 mm 时, 可清除株间及株旁杂草的距离 S 在 $18 \sim 31 \text{ mm}$ 。经预备试验, 确定除草盘转速 $150 \sim 250 \text{ r/min}$, 机器前进速度 $0.3 \sim 1.2 \text{ m/s}$ 。

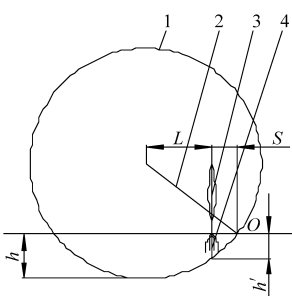


图 3 除草盘距秧苗距离及入土深度
Fig. 3 Distance from cutter head to seedlings and the buried depth

- 1. 除草盘 2. 弹齿
- 3. 秧苗 4. 根系

3.2 评价指标

除草率和伤苗率是决定除草作业质量的关键因素。因此, 选择除草率 C 和伤苗率 η 作为弹齿式苗间除草装置作业质量的评价指标, 除草率为

$$C = \frac{Q - P}{Q} \times 100\% \quad (2)$$

式中 Q ——除草前草株数

P ——除草后草株数

伤苗率为

$$\eta = \frac{M_2}{M_1} \times 100\% \quad (3)$$

式中 M_1 ——测定区内总苗数

M_2 ——测定区内伤苗、埋苗总株数

3.3 试验方法

根据秧苗及杂草的生长特点, 选择在插秧后 7 d 进行第 1 次除草作业。

试验采用 Design-Expert 分析软件进行三因素二次正交旋转试验。选取除草盘转速、机器前进速度和耕作深度 3 个因素对性能指标伤苗率和除草率的影响。试验因素及水平编码如表 1 所示, 试验方案及结果如表 2 所示。

4 试验结果

4.1 除草率

根据表 2 的试验数据, 应用 Design-Expert 软件得出除草率的方差分析结果如表 3 所示。由表 3 得

表 1 因素水平编码

Tab. 1 Code table of factor level

编码	因素		
	除草盘转速 x_1	前进速度 x_2	耕作深度 x_3
	$/\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$	$/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	$/\text{mm}$
1. 682	250	1. 20	30. 0
1	230	1. 02	27. 0
0	200	0. 75	22. 5
-1	170	0. 48	18. 0
-1. 682	150	0. 30	15. 0

表 2 二次正交旋转试验方案及结果

Tab. 2 Experimental plan and results

试验编号	X_1	X_2	X_3	除草率 C_1	伤苗率 η_1
				$/\%$	$/\%$
1	-1	-1	-1	73	0.01
2	1	-1	-1	74	1.74
3	-1	1	-1	68	0.87
4	1	1	-1	73	0.03
5	-1	-1	1	78	2.61
6	1	-1	1	82	10.43
7	-1	1	1	66	2.61
8	1	1	1	78	3.48
9	-1.682	0	0	65	2.61
10	1.682	0	0	78	8.70
11	0	-1.682	0	75	5.22
12	0	1.682	0	68	0.02
13	0	0	-1.682	70	0.01
14	0	0	1.682	81	6.09
15	0	0	0	74	2.61
16	0	0	0	74	2.61
17	0	0	0	73	2.61
18	0	0	0	73	2.61
19	0	0	0	73	3.48
20	0	0	0	73	3.48
21	0	0	0	74	3.48
22	0	0	0	73	3.48
23	0	0	0	73	3.48

出影响除草率的 3 个因素与性能指标的关系为

$$C_1 = 72.83 + 3.13X_1 - 2.47X_2 + 2.52X_3 + 0.99X_3^2 + 1.37X_1X_2 + 1.30X_1X_3 - 1.32X_2X_3 \quad (4)$$

由表 3 方差分析可知, 因素 X_1 、 X_2 、 X_3 极显著, 因素 X_3^2 、 X_1X_2 、 X_1X_3 、 X_2X_3 在水平 $\alpha = 0.05$ 时显著, 其他因素不显著。由分析可知, 影响除草率显著性因素依次为机器前进速度、转速和耕作深度。

表3 各因素对除草率影响的方差分析

Tab.3 Variance influence analysis on each factor to weeding rate

来源	平方和	自由度	均方和	F 值	显著性
X_1	133.59	1	133.59	119.27	<0.000 1
X_2	83.39	1	83.39	74.45	<0.000 1
X_3	70.50	1	70.50	62.95	<0.000 1
X_1^2	3.49	1	3.49	3.11	0.101 2
X_2^2	3.13	1	3.13	2.79	0.118 6
X_3^2	25.39	1	25.39	22.67	0.000 4
X_1X_2	14.93	1	14.93	13.33	0.002 9
X_1X_3	13.55	1	13.55	12.09	0.004 1
X_2X_3	13.86	1	13.86	12.37	0.003 8
误差	14.56	13			
总和	376.59	22			

4.2 伤苗率

根据表2的试验数据,应用 Design-Expert 软件得出伤苗率的方差分析结果如表4所示。根据表4得出影响伤苗率的3个因素与性能指标的关系为

$$\eta_1 = 3.05 + 1.45X_1 - 1.22X_2 + 1.96X_3 + 0.65X_1^2 - 0.43X_2^2 - 1.19X_1X_2 + 0.98X_1X_3 - 0.76X_2X_3 \quad (5)$$

从表4方差分析结果可知,因素 X_1 、 X_3 极显著,因素 X_2 、 X_1^2 、 X_2^2 、 X_1X_2 、 X_1X_3 和 X_2X_3 在水平 $\alpha = 0.05$ 时显著,其他因素不显著。因此,影响伤苗率显著性的因素依次为耕作深度、机器前进速度和转速。

表4 各因素对伤苗率影响的方差分析

Tab.4 Variance influence analysis on each factor to injury paddy rate

来源	平方和	自由度	均方和	F 值	显著性
X_1	28.72	1	28.72	36.55	<0.000 1
X_2	20.18	1	20.18	25.68	0.000 2
X_3	52.45	1	52.45	66.75	<0.000 1
X_1^2	6.63	1	6.63	8.44	0.012 3
X_2^2	2.95	1	2.95	3.75	0.074 8
X_3^2	1.22	1	1.22	1.55	0.235 1
X_1X_2	11.42	1	11.42	14.54	0.002 2
X_1X_3	7.64	1	7.64	9.73	0.008 1
X_2X_3	4.62	1	4.62	5.88	0.030 6
误差	10.21	13			
总和	146.11	22			

4.3 伤苗率响应曲面分析

为了实现最优的除草效果,在保证除草率的前提下,最小化伤苗率,应用响应曲面法分析各因素对伤苗率的影响。将其中一个因素固定在零水平,考察其他两个因素对伤苗率的影响。

(1) 转速和前进速度

为分析刀盘转速与前进速度对伤苗率的影响,将耕作深度设定为 22.5 mm,得

$$\eta_1 = 3.05 + 1.45X_1 - 1.22X_2 + 0.65X_1^2 - 0.43X_2^2 - 1.19X_1X_2 \quad (6)$$

图4为除草盘转速与前进速度对伤苗率影响的响应曲面图。由图可知,性能指标的最小值为 1.37%,在试验水平下转速对伤苗率的影响要比前进速度显著。

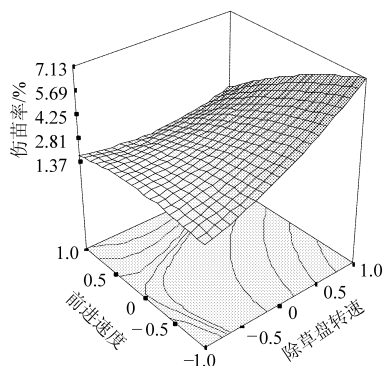


图4 除草盘转速与前进速度对伤苗率影响的响应曲面图

Fig.4 Response surface map of influence on cutter head revolve speed and machine forward speed to seedlings' injury rate

(2) 转速和耕作深度

固定前进速度为 0.75 m/s,得

$$\eta_1 = 3.05 + 1.45X_1 - 1.96X_3 + 0.65X_1^2 + 0.98X_1X_3 \quad (7)$$

图5为除草盘转速与耕作深度对伤苗率影响的响应曲面图。由图可知,性能指标的最小值为 1.00%,除草盘转速与耕作深度增加,伤苗率增加;除草盘转速与耕作深度减小,伤苗率减小。当耕作深度为 18 mm 时,随着除草盘转速的增加,伤苗率先小后大,最小值出现在除草盘转速 185 r/min 附近,说明在除草盘转速小于 185 r/min 时,耕作深度对伤苗率的影响较大。当除草盘转速大于 185 r/min 且耕作深度在 18 mm 时,随着除草盘转速的增加,伤苗率增加,说明在深度较浅的情况下,除草盘转速对伤苗率有较大的影响。

(3) 前进速度和耕作深度

固定转速为 200 r/min,得

$$\eta_1 = 3.05 - 1.22X_2 - 1.96X_3 - 0.43X_2^2 + 0.76X_2X_3 \quad (8)$$

图6为前进速度与耕作深度对伤苗率影响的响应曲面图。由图可知,性能指标的最小值为 0.20%,在试验水平下耕作深度对伤苗率的影响要比前进速度显著。

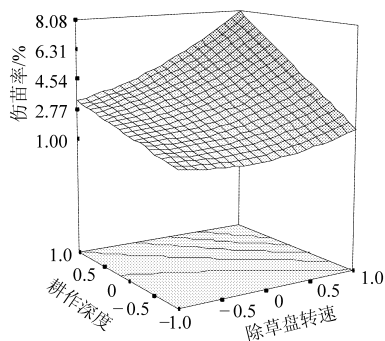


图 5 除草盘转速与耕作深度对伤苗率影响的响应曲面图

Fig.5 Response surface map of influence on cutter head revolve speed and buried depth to seedlings' injury rate

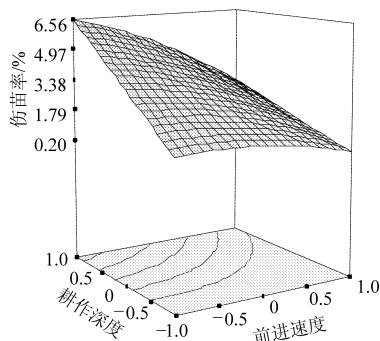


图 6 前进速度与耕作深度对伤苗率影响的响应曲面图

Fig.6 Response surface map of influence on machine forward speed and buried depth to seedlings' injury rate

4.4 最佳参数优化

应用软件分析,得出 9 组最佳参数组合方案,如表 5 所示。此时,除草率为 72% ~ 78%,伤苗率为 0.13% ~ 4.31%。伤苗率尽可能小的前提下,选择除草率大的组合作为最优参数组合,得出因素最佳参数组合为:除草盘转速 230 r/min,机器前进速度 1.02 m/s,耕作深度 18 mm,此时伤苗率为 0.13%,除草率为 73%。

表 5 最佳参数组合方案

Tab.5 The best parameter combination

序号	X_1	X_2	X_3	$C_1/\%$	$\eta_1/\%$	$C_i/\%$
1	1.00	1.00	-1.00	73	0.13	69.6
2	0.95	1.00	-1.00	73	0.10	69.1
3	-1.00	-1.00	1.00	77	3.59	68.3
4	-1.00	-0.98	1.00	77	3.58	68.0
5	-1.00	-1.00	-0.81	76	3.25	67.5
6	1.00	1.00	0.68	77	3.79	67.1
7	0.95	1.00	0.98	78	4.31	66.9
8	-0.69	-1.00	-1.00	72	0.27	64.0
9	-0.43	-1.00	-0.23	74	2.30	63.7

4.5 验证试验

通过上述优化获得了最佳工作参数组合,并进

行验证试验。为了消除随机误差,进行 8 次重复试验。试验结果中除草率最大值 73%,最小值 72%,伤苗率最大值 1.7%,最小值为零,平均值为 0.43%。

通过试验证明,由最佳参数得到性能指标与优化结果接近,能够满足设计要求。

4.6 二次除草多因素试验

由于第 1 次除草的除净率不是很高,需要进行二次除草,根据水田稗草的生理特点,选择插秧后第 14 天进行第 2 次除草。当水稻插秧后 14 d,秧苗返青结束,扎根彻底,进行第 2 次多因素试验,延续第 1 次的多因素试验,目的是提高杂草的除净率。试验结果如表 6 所示。

表 6 第 14 天试验各因素对除草率影响的方差分析

Tab.6 Analysis of variance of the impact of various factors on seeding injury rate of 14 days test

试验编号	X_1	X_2	X_3	除草率 $C_2/\%$	伤苗率 $\eta_2/\%$
1	-1	-1	-1	64.7	0
2	1	-1	-1	75.0	0
3	-1	1	-1	58.4	0
4	1	1	-1	70.0	0
5	-1	-1	1	73.8	0
6	1	-1	1	76.4	0
7	-1	1	1	68.0	0
8	1	1	1	71.8	0
9	-1.682	0	0	56.7	0
10	1.682	0	0	72.9	0
11	0	-1.682	0	70.7	0
12	0	1.682	0	64.1	0
13	0	0	-1.682	67.9	0
14	0	0	1.682	74.7	7
15	0	0	0	65.5	0
16	0	0	0	65.5	0
17	0	0	0	65.5	0
18	0	0	0	65.5	0
19	0	0	0	65.5	0
20	0	0	0	64.7	0
21	0	0	0	64.7	0
22	0	0	0	65.0	0
23	0	0	0	65.0	0

在试验数据中,除草率的最大值出现在除草盘转速为 230 r/min,前进速度为 0.48 m/s,耕作深度为 27 mm 的情况下,除草率为 76.4%,以这组参数作为 14 d 除草的作业参数。

由表 6 可以看出,伤苗率很低,只有在深度最深

的情况下出现伤苗率的最大值为7%。此次试验表明,在秧苗插秧后第14天,秧苗扎根彻底,比杂草牢固,在合理的控制除草盘转速,机器前进速度和耕作深度的情况下,第14天进行第二次机械式除草作业,除草效果最佳。

4.7 总除草率的计算

除草率的计算涉及到两次除草,为更真实地模拟田间的情况,总除草率的计算公式为

$$C_t = 1 - (1 - C_1)(1 - C_2) \quad (9)$$

式中 C_t ——总除草率

C_1 ——第7天的除草率

C_2 ——第14天的除草率

代入第7天和第14天除草率结果,得

$$C_t = 1 - (1 - 0.73)(1 - 0.76) \approx 94\%$$

5 结论

(1) 影响除草率显著性的因素依次为机器前进速度、转速、耕作深度。影响伤苗率显著性的因子依次为耕作深度、机器前进速度、转速。

(2) 通过两次试验,应用响应曲面对影响除草率及伤苗率的因素及其相互作用进行分析,优化后的工作参数为转速 230 r/min、机器前进速度 1.02 m/s、耕作深度 18 mm,此时伤苗率为 0.13%。确定了二次除草作业的最佳工作参数组合为除草盘转速 230 r/min、机器前进速度 0.48 m/s、耕作深度 27 mm。经过两次除草,总除草率达 94%。

参 考 文 献

- 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.
Li Jianguo, Liu Zhanliang, Zhang Jinguo, et al. Review of mechanical weeding technique in field at home and abroad[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2006(10):14~16. (in Chinese)
- 吴竞仑,周恒昌. 稻田杂草化学防除[M]. 北京:化学工业出版社,2003:64~65.
- 明玉岗. 水田中耕除草机试验与研究[J]. 江苏农机化,2006(1):18~19.
- 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]. 东北农业大学学报,1985(3):69~73.
Yang Guanglin, Fan Yingzhe. Determination of the structure and the parameters of the rotary hot for paddy field[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 1985(3):69~73. (in Chinese)
- 李东升,张莲洁,盖志武,等. 国内外除草技术研究现状[J]. 森林工程,2002,18(1):17~18.
- 刘国平,孙仕明,成学思,等. 3ZS-2型中耕除草机的研究设计[J]. 农机化研究,1999(2):49~50.
- 桑正中. 农业机械学[M]. 北京:机械工业出版社,1988.
- 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)

(上接第64页)

- 朱宏宇,任树华. .NET的UG二次开发接口技术的研究和应用[J]. 现代制造工程,2008(12):48~50.
Zhu Hongyu, Ren Shuhua. The research and implement of secondary development technology for UG based on .NET[J]. Modern Manufacturing Engineering,2008(12):48~50. (in Chinese)
- 吴伟伟,唐任仲,侯亮,等. 基于参数化的机械产品尺寸变型设计研究与实现[J]. 中国机械工程,2005,16(3):218~222.
Wu Weiwei, Tang Renzhong, Hou Liang, et al. Research & realization on the variant design of mechanical products based on parametric techniques[J]. China Mechanical Engineering,2005,16(3):218~222. (in Chinese)
- 陈东祥,胡冬梅. 基于Pro/E的自行车参数化快速设计系统[J]. 现代制造工程,2006(3):50~52.
Chen Dongxiang, Hu Dongmei. Bicycle parametric design and development system based on Pro/E [J]. Modern Manufacturing Engineering,2006(3):50~52. (in Chinese)