

动力甩刀式小麦固定垄免耕播种机*

何进¹ 李洪文¹ 王庆杰¹ 张喜瑞² 李慧¹ 张东远¹

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 海南大学机电工程学院, 儋州 571737)

【摘要】 针对我国西北绿洲农业区现有固定垄免耕播种机种类少,且在玉米秸秆地固定垄免耕播种小麦易堵塞、破坏垄形等问题,提出了动力甩刀碎、抛茬和刀刀型开沟器破茬结合防堵及双翼型犁铧修垄的方法。设计了动力甩刀破茬式小麦固定垄免耕播种机,并确定了L型甩刀、开沟器、双翼型犁铧等关键部件的参数。在玉米秸秆覆盖地试验结果表明,动力甩刀破茬式小麦固定垄免耕播种机有效地解决秸秆堵塞问题,具有较强的防堵能力;该机在减少动土量的情况下,其产量与2BMF-5型固定垄免耕播种机基本持平,且修垄效果更好。

关键词: 免耕播种机 固定垄 甩刀 小麦

中图分类号: S223.2⁺5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)10-0051-05

Powered Hammering Blade No-till Wheat Seeder for Permanent Raised Beds

He Jin¹ Li Hongwen¹ Wang Qingjie¹ Zhang Xirui² Li Hui¹ Zhang Dongyuan¹

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. Institute of Electrical and Mechanical Engineering, Hainan University, Danzhou 571737, China)

Abstract

According to the problems of few available no-till seeders and residues-blocking and bed-damaging during the seeding of wheat in maize residues cover fields in permanent raised beds (PRB) in northwest oasis farming areas, the new anti-blocking (residue-chopping and throwing by powered L-type hammering blade and residue-cutting by knife type opener) and bed renovation (bed-reshaping by double-wing plough) ideas were put forward. The powered hammering blade no-till wheat seeder for PRB was designed. The key parameters for L-type hammering blade, opener and double-wing plough were determined. The experiment in maize residue cover fields showed that the seeder was effective in solving residues blocking. Compared with 2BMF-5 no-till wheat seeder, the spring wheat yield was similar and bed renovation effect was better with the decreased soil disturbance.

Key words No-till seeder, Permanent raised beds, Hammering blade, Wheat

引言

固定垄保护性耕作是将垄作免耕、沟灌、秸秆覆盖和固定道等相结合的一项农业技术,具有提高水分利用率、改良土壤结构、降低生产成本等优点^[1-2],在我国西北绿洲农业区的应用有效地促进了当地农业的可持续发展^[3-4]。

在固定垄保护性耕作系统中,玉米秸秆覆盖地

垄作免耕播种小麦时,玉米秸秆和杂草易缠绕在开沟器铲柄上或聚集在相邻开沟器之间造成堵塞,影响机具通过性能。同时,垄作免耕播种时易破坏固定垄垄床,因此解决开沟器铲柄的秸秆堵塞和垄形破坏问题是设计固定垄免耕播种机的关键。目前,国内外研制的固定垄小麦免耕播种机主要是针对小麦、水稻秸秆覆盖地表,如我国的2BFML-5型^[5]、2BMF-5型固定垄免耕播种机^[6],印度的Happy

收稿日期: 2010-11-15 修回日期: 2011-01-04

* 公益性行业(农业)科研专项经费资助项目(200903009)和中国-澳大利亚合作项目(SMC/2002/094)

作者简介: 何进,副教授,主要从事保护性耕作研究,E-mail: hejin@cau.edu.cn

通讯作者: 李洪文,教授,博士生导师,主要从事保护性耕作研究,E-mail: lhwen@cau.edu.cn

seeder^[7]、Turbo seeder 等。对于玉米秸秆覆盖地表,国外未见相关报道,国内研制的固定垄小麦免耕播种机种类较少^[8],且防堵和修垄性能仍有待提高。因此,研制能适应玉米秸秆覆盖地的小麦固定垄免耕播种机已成为亟待解决的问题。

本文针对上述问题,基于动力甩刀抛茬和双翼型犁铧修垄的原理,设计一种动力甩刀式小麦固定垄免耕播种机,并对其抛茬防堵、免耕播种和修垄性能进行测定。

1 整机结构和技术参数

西北绿洲农业区采用春玉米与春小麦的轮作体系。玉米秸秆覆盖地表固定垄作免耕播种小麦的工艺为:春玉米收获、秸秆粉碎覆盖旧垄、修复旧垄和垄作免耕播种春小麦。当地固定垄的垄形尺寸为:垄距 1 000 mm、垄面宽度 650 ~ 700 mm、垄高 150 mm,春玉米行距 450 mm。

动力甩刀式小麦固定垄免耕播种机主要应用于西北绿洲农业区,整机主要由机架、甩刀、刀刀型开沟器、双翼型犁铧、种肥箱等组成(图 1)。机具与拖拉机三点悬挂,配套动力为 15 kW 四轮拖拉机。作业时,双翼型犁铧先修复垄床;其后的动力甩刀碎、抛茬,刀刀型开沟器破茬开沟施肥,实现种肥同沟垂直分施;最后镇压轮进行镇压,使种子和土壤充分接触。该机一次作业能完成修垄、垄上碎抛茬、开沟施肥、播种、覆土、镇压等多道工序。

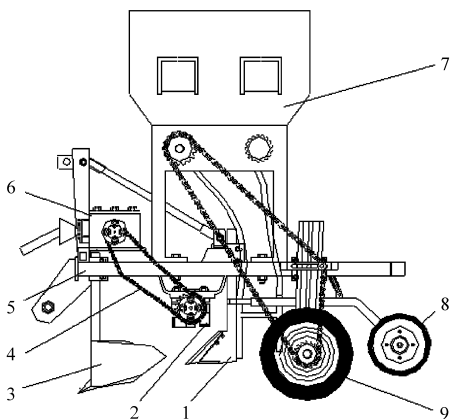


图 1 动力甩刀式小麦固定垄免耕播种机示意图

Fig. 1 Structure of powered hammering blade no-till wheat seeder

1. 刀刀型开沟器 2. 甩刀 3. 双翼型犁铧 4. 驱动链 5. 机架
6. 变速箱 7. 种肥箱 8. 镇压轮 9. 驱动轮

整机的主要技术参数为:整机质量 240 kg、外形尺寸 1 680 mm × 1 080 mm × 1 100 mm、播种幅宽 1 000 mm、播种行数 5 行、播种行距 140 mm、播种深度 350 ~ 500 mm、甩刀转速 1 246 r/min、作业速度 2 ~ 4 km/h,排种、排肥器采用外槽轮式。

2 关键部件设计

2.1 动力甩刀破茬装置

2.1.1 构造与防堵原理

动力甩刀破茬装置主要由 L 型甩刀、驱动轴、驱动链、变速箱、刀刀型开沟器等组成(图 2)。其中,L 型甩刀和刀刀型开沟器是该防堵装置的关键部件。L 型甩刀两两背对组合成“J L”形,通过销铰接在驱动轴刀座上,位于两相邻刀刀型开沟器之间的前方,并可随驱动轴旋转。播种机一次作业播种 5 行春小麦(即包括 5 个刀刀型开沟器),因此整机共有 6 组 L 型甩刀刀座,为保证碎茬效果,每组沿驱动轴径向均布 4 个刀座,共计 24 个刀座。

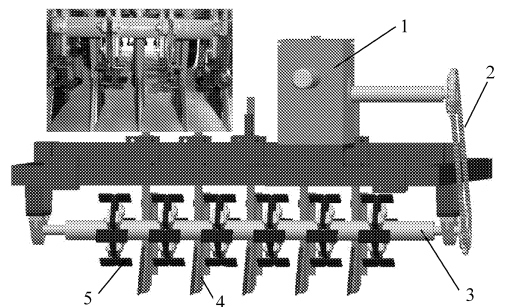


图 2 动力甩刀式破茬装置

Fig. 2 Powered hammering blade residue-chopping device

1. 变速箱 2. 驱动链 3. 驱动轴 4. 刀刀型开沟器 5. L 型甩刀

机具作业时,由拖拉机动力输出轴提供动力给变速箱,变速箱将动力传给驱动链带动驱动轴转动,从而带动 L 型甩刀高速正向旋转(甩刀旋转方向与拖拉机轮旋转方向相同)。L 型甩刀不接触土壤,其不仅能粉碎刀刀型开沟器前方的玉米秸秆,而且能将聚集在相邻开沟器之间的玉米碎秆抛向开沟器后方,形成清洁播种带,便于其后的刀刀型开沟器开出宽约 3 cm、深约 10 cm 的种床。

2.1.2 结构参数分析与确定

(1) L 型甩刀转速 n 及尺寸的确定

L 型甩刀通过销铰接在中空的驱动轴(内径 90 mm,外径 100 mm)刀座上,考虑到春小麦播种行距(140 mm)及开沟器宽度(28 mm),设计 L 型甩刀刀端宽度为 25 mm。免耕播种时,驱动轴高速旋转,由于离心力的作用,甩刀处于径向位置,与驱动轴形成一个旋转整体。L 型甩刀碎茬时,对玉米秸秆的切碎属于无支承切割,因而对动力刀端的线速度要求较高。现有研究表明,对玉米秸秆进行切碎作业时,动力刀端的线速度不小于 30 m/s 时才能达到良好的粉碎效果^[9]。综合室内土槽对当地春玉米秸秆的粉碎特性试验,最终确定 L 型甩刀工作刀端的切割速度为 30 m/s。

L 型甩刀刀轴(驱动轴)的转速为

$$n = 60v / (2\pi r) \quad (1)$$

式中 v ——L 型甩刀刀端的线速度, m/s

r ——L 型甩刀刀端的回转半径, m

L 型甩刀刀端的回转半径 r 为驱动轴半径(50 mm)、刀座与轴管的距离(55 mm)、L 型甩刀刀端与刀座的距离(125 mm)之和, 即 $r = 230$ mm。将 $v = 30$ m/s、 $r = 0.23$ m 代入式(1)得 L 型甩刀刀轴的转速 $n = 1\,246$ r/min。当机具作业速度 $v_m = 2 \sim 4$ km/h 时, L 型甩刀刀端在碎茬时的工作轨迹如图 3 所示, 其碎茬进距 $s = 6.7 \sim 13.4$ mm, 距离地面的最低垂直高度 $h = 20$ mm。

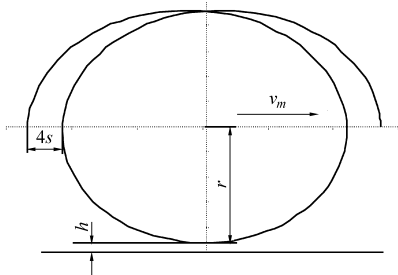


图 3 L 型甩刀的刀端工作轨迹

Fig. 3 Working track of L-type hammering blade's tip

(2) 开沟器

开沟器是动力甩刀式小麦固定垄免耕播种机的关键部件之一。为提高开沟器的破茬入土能力, 减少开沟阻力和创造有利于种子发芽和根系生长的种床, 本文设计的刀刃型开沟器主要由开沟器柄、开沟侧板和刃口刀等组成(图 4), 其主要参数包括入土角 β 、入土隙角 θ 和刃口厚度 B 等。

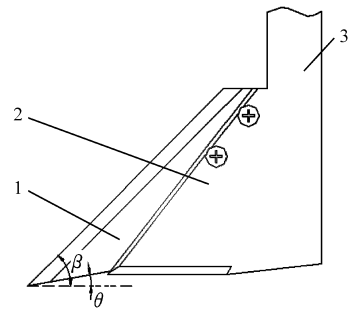


图 4 开沟器结构简图

Fig. 4 Schematic diagram of opener

1. 刃口刀 2. 开沟侧板 3. 开沟器柄

研究表明, 入土角 $\beta < 20^\circ$ 时, 开沟阻力逐渐减小; $\beta > 20^\circ$ 时, 开沟阻力与 β 呈线性关系上升; $\beta = 20^\circ$, 开沟阻力比 $\beta = 45^\circ \sim 60^\circ$ 时降低 35% ~ 50% [10]。为减少垄作免耕播种时的土壤扰动, 降低开沟阻力, 确定 $\beta = 46^\circ$ 。

入土隙角 θ 过小, 入土性能差, 增加摩擦阻力; θ 过大, 易造成土壤提前回落, 使沟底不平, 一般取入土隙角 θ 为 $5^\circ \sim 10^\circ$ [11]。根据实际作业确定 $\theta = 9^\circ$ 。

刃口厚度 B 越小, 刀刃越锋利, 开沟阻力越小。考虑到制造工艺等因素, 确定 $B = 1$ mm。

2.2 双翼型犁铧

双翼型犁铧是完成修垄作业的主要部件, 具有较强的翻土能力和一定的碎土功能, 能将较多的土壤从固定垄沟翻到垄面, 保证垄面土质的均匀, 以利于其后的播种作业。双翼型犁铧左、右侧的犁体曲面一致, 都设计为圆柱熟地型, 这种犁体曲面不仅具有较强的碎土性能, 而且能兼顾翻土。其设计参数主要包括耕深 a 、耕宽 b 和覆土角 δ 等(图 5)。

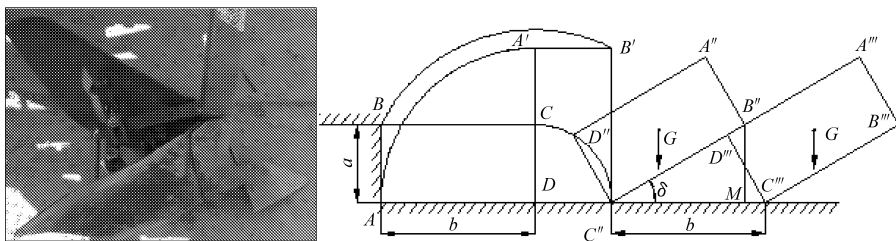


图 5 双翼型犁铧及其翻垡示意图

Fig. 5 Double-wing mouldboard plough and its sketch map of soil inversion

为保证双翼型犁铧稳定翻垡, 其覆土角应满足 $\delta = \arcsin(1/k) < 52^\circ$, 其中宽深比 $k = b/a > 1.27$ [9]。考虑到西北灌溉农业区的土壤为易松散的沙壤土和双翼型犁铧耕作中的土垡变形散碎, k 值可小于 1.27。在西北绿洲农业区的固定垄保护性耕作系统中, 固定垄沟的宽度为 300 ~ 350 mm, 取 $b = 170$ mm, 则双翼型犁铧的开沟宽度 $2b = 340$ mm, 可满足需求。同时, 根据固定垄高为 150 mm, 确定耕深 a 为 150 mm, 根据 a, b 计算得 $\delta = 62^\circ$ 。

3 田间试验及结果

3.1 试验条件

将设计的动力甩刀式小麦固定垄免耕播种机与目前应用较多的 2BMF-5 型驱动圆盘固定垄免耕播种机(图 6)进行了田间通过性、土壤扰动量、修垄效果等对比试验。2BMF-5 型固定垄免耕播种机采用动力圆盘破茬防堵的原理, 通过在开沟器前方斜置安装缺口驱动圆盘, 可在切断玉米根茬的同时

开出约 5 cm 宽、10 cm 深的种沟,保证播种质量。整机主要技术参数为:整机质量 260 kg、播种幅宽 1 000 mm、播种行数 5 行、播种行距 140 mm、播种深度 350 ~ 500 mm、圆盘转速 320 r/min、作业速度 2 ~ 4 km/h、排种、排肥器采用外槽轮式。

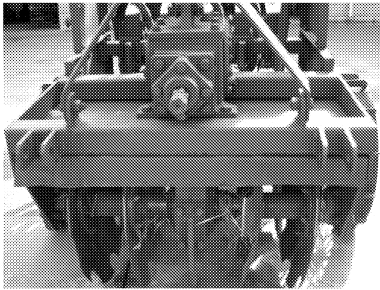


图 6 2BMF-5 型固定垄免耕播种机

Fig. 6 2BMF-5 type no-till seeder

试验于 2008、2009 年(两季)在甘肃省农科院张掖节水试验站进行,试验地土壤质地为沙壤土。两季田间试验地都为一年一熟垄作免耕地,前茬作物为玉米,收获后秸秆粉碎还田(覆盖量约 2.2 kg/m²)。

3.2 试验方法

(1) 机具通过性

机具合格标准为“在刚收获的玉米地,植被覆盖量为 2.0 ~ 4.0 kg/m²,测区长度为 60 m,往返一个行程,不发生堵塞或者有一次轻度堵塞”。

(2) 土壤扰动量

免耕播种后,土壤扰动量计算式为

$$\eta = \frac{D}{S} \times 100\% \quad (2)$$

式中 D ——实际开沟宽度,mm

S ——播种行距,mm

(3) 垄形尺寸

春小麦播种时,分别测定 2 种垄作免耕播种机作业前、后固定垄垄床的垄面宽度、垄沟宽度和垄高。

(4) 土壤含水率和产量

在春小麦出苗期,在 2 种播种机播种试验区通过人工打剖面的方法,使用环刀(高 5 cm,直径 5 cm)分别取 0 ~ 10 cm 和 10 ~ 20 cm 的土样,然后在 105℃ 条件下干燥至恒量,测定土壤质量含水率。

在春小麦收获期,在 2 种播种机播种试验区分别测定 9 个面积为 1 m² 的春小麦产量。

3.3 试验结果及分析

3.3.1 防堵性能

动力甩刀式和 2BMF-5 型固定垄免耕播种机在玉米碎秆覆盖地的田间通过性试验结果如表 1 所示。试验结果表明,动力甩刀式小麦固定垄免耕播种机在玉米碎秆覆盖的固定垄上作业平稳,6 次测

试都未发生秸秆堵塞现象。这主要由于开沟器前方的动力甩刀能有效碎茬并将玉米茬抛向开沟器后方,实现防堵。另外,刀型开沟器的破茬能力也能有效地保证机具的通过性。2BMF-5 型固定垄免耕播种机由于部分玉米碎秆聚集在相邻圆盘刀之间,因而有时出现轻度堵塞现象。

表 1 两种固定垄免耕播种机通过性能测定结果

Tab. 1 Test results of anti-blocking capability of two kinds of no-till seeder

试验序号	动力甩刀式固定垄免耕播种机	2BMF-5 型固定垄免耕播种机
1	无堵塞	无堵塞
2	无堵塞	无堵塞
3	无堵塞	轻度堵塞
4	无堵塞	轻度堵塞
5	无堵塞	无堵塞
6	无堵塞	无堵塞

3.3.2 土壤扰动量

动力甩刀式和 2BMF-5 型固定垄免耕播种机田间试验土壤扰动量如表 2 所示。由表可知,动力甩刀式固定垄免耕播种机的表土动土量为 21.4% (开沟宽度 30 mm),低于 2BMF-5 型固定垄免耕播种机 36.4% (开沟宽度 51 mm) 的表土动土量。

表 2 两种固定垄免耕播种机田间试验土壤扰动量

Tab. 2 Soil disturbance of two kinds of no-till seeder

参数	动力甩刀式固定垄免耕播种机	2BMF-5 型固定垄免耕播种机
开沟宽度/mm	30	51
土壤扰动量/%	21.4	36.4

3.3.3 修垄效果

从表 3 可以看出,动力甩刀式固定垄免耕播种机修垄后,垄床的垄面宽度增加了 43 mm,垄高增加了 19 mm,垄沟宽度缩小了 30 mm;2BMF-5 型固定垄免耕播种机修垄后,垄床的垄面宽度增加了 33 mm,垄高增加了 11 mm,垄沟宽度缩小了 22 mm。

与 2BMF-5 型固定垄免耕播种机相比,动力甩刀式固定垄免耕播种机在增加垄面宽度和垄高、减少垄沟宽度方面的能力更强,因而修垄效果更好。这主要是由于 2BMF-5 型固定垄免耕播种机在播种时出现了轻度堵塞,影响了修垄效果。另外,其在垄作播种时大的动土量也易造成垄床两侧塌陷,减小垄面宽度。

3.3.4 土壤含水率

在 2008 年和 2009 年春小麦出苗期,动力甩刀

表 3 两种固定垄免耕播种机播种前后垄形尺寸

Tab. 3 Bed dimension before and after seeding of two kinds of no-till seeder

机型		垄面宽		垄面高		垄沟宽	
		均值/mm	变异系数/%	均值/mm	变异系数/%	均值/mm	变异系数/%
动力甩刀式固定垄免耕播种机	修垄前	632	7.68	130	9.97	362	6.67
	修垄后	675	4.78	149	5.87	332	3.87
2BMF-5 型固定垄免耕播种机	修垄前	635	7.31	132	9.47	358	6.33
	修垄后	668	5.06	143	6.03	336	3.82

式和 2BMF-5 型固定垄免耕播种机播种地块 0 ~ 20 cm 土层的平均含水率比较接近, 分别为 16.9%、18.2% 和 17.4%、18.2% (表 4)。试验结果表明, 动力甩刀式和 2BMF-5 型固定垄免耕播种机播种的地块都能提供适宜春小麦生长的土壤水分环境。

表 4 两种固定垄免耕播种机播种地块 0 ~ 20 cm 土层土壤含水率 (出苗期)

Tab. 4 Soil moisture in 0 ~ 20 cm depth in plots sowed by two kinds of no-till seeder (seedling stage) %

年份	土层深度 /cm	动力甩刀式固定垄免耕播种机	2BMF-5 型固定垄免耕播种机
2008	0 ~ 10	16.5	17.0
	10 ~ 20	17.3	17.8
	平均值	16.9	17.4
2009	0 ~ 10	17.8	18.0
	10 ~ 20	18.5	18.3
	平均值	18.2	18.2

3.3.5 作物产量

两种固定垄免耕播种机播种地块春小麦产量如表 5 所示。动力甩刀式小麦固定垄免耕播种机播种地块 2008 和 2009 年两年平均产量为 6 370 kg/hm²,

与 2BMF-5 型固定垄免耕播种机的产量 (6 376 kg/hm²) 基本持平。

表 5 两种固定垄免耕播种机播种地块春小麦产量

Tab. 5 Spring wheat yield in plots sowed by two kinds of wheat no-till seeder kg/hm²

年份	动力甩刀式固定垄免耕播种机	2BMF-5 型固定垄免耕播种机
2008	6 398	6 452
2009	6 341	6 299
平均值	6 370	6 376

4 结论

(1) 动力甩刀式小麦固定垄免耕播种机采用动力甩刀碎抛茬和刀刀型开沟器破茬防堵、双翼型犁铧修垄, 机具田间通过性能强、垄形修复效果好, 可满足固定垄保护性耕作条件下玉米秸秆覆盖地小麦免耕播种的要求。

(2) 动力甩刀式小麦固定垄免耕播种机在减少动土量的情况下, 产量与 2BMF-5 型固定垄免耕播种机基本持平, 修垄效果更好。

参 考 文 献

- McHugh A D, Tullberg J N, Freebairn D M, et al. Controlled traffic farming restores soil structure [J]. Soil & Tillage Research, 2009, 104(1): 164 ~ 172.
- He J, Li H W, McHugh A D, et al. Spring wheat performance and water use efficiency on permanent raised beds in arid northwest China [J]. Australian Journal of Soil Research, 2008, 46(8): 659 ~ 666.
- 吴建民. 河西走廊绿洲农业区保护性耕作技术及关键机具的研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2006. Wu Jianmin. Research on technology of conservation tillage and the crucial implement in Hexi Corridor arid oasis agricultural area [D]. Beijing: China Agricultural University, 2006. (in Chinese)
- 何进. 北方灌溉区固定垄保护性耕作技术研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2007. He Jin. Study on permanent raised beds in irrigation areas of northern China [D]. Beijing: China Agricultural University, 2007. (in Chinese)
- 朱国辉, 李问盈, 何进. 2BFML-5 型固定垄免耕播种机设计与试验 [J]. 农业机械学报, 2008, 39(2): 51 ~ 54, 76. Zhu Guohui, Li Wenying, He Jin. Design and experiment on 2BFML-5 no-till planter for permanent raised bed [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(2): 51 ~ 54, 76. (in Chinese)

参 考 文 献

- 1 中华人民共和国农业部畜牧兽医司,全国畜牧兽医总站. 中国草地资源[M]. 北京:中国科学技术出版社,1996.
- 2 闫志坚,陈敏,安渊,等. 大针茅+羊草退化草场改良技术的研究[J]. 中国草地,2002,24(3):7~14.
Yan Zhijian, Chen Min, An Yuan, et al. Study on improving the degenerated grassland of *Stipa gradis* and *Leymus chinensis* region[J]. Grassland of China, 2002, 24(3): 7~14. (in Chinese)
- 3 徐万宝. 草地生产机械化[M]. 呼和浩特:内蒙古人民出版社,2002.
- 4 Snyman H A, Preez C C. Rangeland degradation in a semi-arid South Africa—II: influence on soil quality [J]. Journal of Arid Environment, 2005, 60(3): 483~507.
- 5 Zhao H L, Zhou R L, Zhang T H, et al. Effects of desertification on soil and crop growth properties in Horqin sandy cropland of Inner Mongolia, North China[J]. Soil & Tillage Research, 2006, 87(2): 175~185.
- 6 吕贻忠,李保国. 土壤学[M]. 北京:中国农业出版社,2006.
- 7 Klute A. Methods of soil analysis part 1—physical and mineralogical methods[M]. 2nd ed. Madison, WI: SSSA, 1986.
- 8 Motavalli P P, Anderson S H, Pengthamkeerati P, et al. Use of soil cone penetrometers to detect the effects of compaction and organic amendments in claypan soils[J]. Soil & Tillage Research, 2003, 74(2): 103~114.
- 9 ASAE Standards. S313.3. Soil cone penetrometer[S]. 1999.
- 10 李守仁,林金天. 驱动型土壤耕作机械的理论与计算[M]. 北京:机械工业出版社,1997.
- 11 曾德超. 机械土壤动力学[M]. 北京:科学技术出版社,1995.
- 12 北京农业大学. 农业机械学:上册[M]. 北京:中国农业出版社,1991.
- 13 Maciej M. A torque evaluation for a rotary subsoiler[J]. Soil & Tillage Research, 2005, 84(2): 175~183.
- 14 Jafar Habibi Asl, Surendra Singh. Optimization and evaluation of rotary tiller blades: computer solution of mathematical relations[J]. Soil & Tillage Research, 2009, 106(1): 1~7.
- 15 彭嵩植,吴德光. 旋耕机工作部件设计方法的研究(二)[J]. 江苏工学院学报,1983(1):41~56.
- 16 Lee K S, Park S H, Park W Y. Strip tillage characteristics of rotary tiller blades for use in a dryland direct rice seeder[J]. Soil & Tillage Research, 2003, 71(1): 25~32.
- 17 You Y, Wang D C, Wang G H, et al. Optimization of sliding cutting angle and section shape of the gashing-soil blade[C]. ASABE Annual Meeting Papers No. 1009013, 2010.
- 18 JB/T 9700—1999 牧草收获机械 试验方法通则[S]. 1999.
- 19 李伟,王光辉,尤泳,等. 草地破土切根机检测方法的研究[J]. 中国奶牛,2010(9):60~62.
- 20 You Y, Wang D C, Wang G H, et al. Effects of a soil-gashing and root-cutting mechanism on soil properties and crop yield of grasslands[C]. ASABE Annual Meeting Papers No. 1008636, 2010.
- 21 杨加庆,郭玉明. 牧草复壮促生破土切根机设计[J]. 农业机械学报,2010,41(增刊):78~81.
Yang Jiaqing, Guo Yuming. Design of rejuvenation and acceleration root-cutting machine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(Supp.): 78~81. (in Chinese)

(上接第 55 页)

- 6 李太伟,李洪文,何进. 2BMF-5 固定垄小麦免耕播种机的设计[J]. 农机化研究,2008,30(10):51~53.
Li Taiwei, Li Hongwen, He Jin. Design of 2BMF-5 type no-till wheat planter in ridge field [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008, 30(10): 51~53. (in Chinese)
- 7 Sidhu H S, Singh M, Humphreys E, et al. The happy seeder enables direct drilling of wheat into rice stubble [J]. Australian Journal of Experimental Agriculture, 2007, 47(7): 844~854.
- 8 何进,李洪文,李慧,等. 往复切刀式小麦固定垄免耕播种机[J]. 农业工程学报,2009,25(11):133~138.
He Jin, Li Hongwen, Li Hui, et al. No-till planter with reciprocating powered-cutter for wheat permanent raised beds cultivation [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(11): 133~138. (in Chinese)
- 9 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册:上册[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2007.
- 10 张波屏. 现代种植机械工程[M]. 北京:机械工业出版社,1997.
- 11 姚宗路,高焕文,王晓燕,等. 2BMX-5 型小麦-玉米免耕播种机设计[J]. 农业机械学报,2008,39(12):64~68.
Yao Zonglu, Gao Huanwen, Wang Xiaoyan, et al. Design and experiment on 2BMX-5 no-till wheat-maize seeder [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(12): 64~68. (in Chinese)