

驱动圆盘刀切断玉米秸秆和根茬的土槽试验*

马洪亮 高焕文 李洪文 魏淑艳

【摘要】 通过动力驱动和平圆盘和缺口圆盘切断玉米秸秆和根茬的土槽试验研究表明,随着刀轴转速和机器前进速度增加驱动圆盘刀功率消耗随之增加。当刀轴转速为 350 r/min、机器前进速度为 0.65 m/s 时,在有秸秆和根茬土壤地表上缺口圆盘刀消耗的功率是平圆盘刀的 45%。当刀轴转速大于 350 r/min 即圆盘圆周速度大于 7.4 m/s 时,缺口圆盘刀秸秆切断率和根茬切断率达到 97% 以上。

关键词: 免耕播种机 驱动圆盘刀 防堵装置 试验

中图分类号: S223.2+6

文献标识码: A

Experimental Study on Corn Stalk and Rootstalk Cutting by Driven Disc

Ma Hongliang^{1,2} Gao Huanwen² Li Hongwen² Wei Shuyan¹

(1. Agricultural University of Hebei 2. China Agricultural University)

Abstract

The mechanism of cutting corn stalk and rootstalks by using two kinds of discs in a soil bin have been experimentally studied in order to investigate the performance of cutting off corn stalk and rootstalks. The soil bin experiments demonstrated that when the rotational speed of the discs was 350 r/min, running speed was 0.65 m/s and there were corn stalk and rootstalk on the soil surface, the power consumption of the tooth-disc was 0.45 times of the disc, more than 97 percent of corn stalks and rootstalks on the row were cut off when the rotational speed of the disc was higher than 350 r/min, namely the velocity of cutting straw was higher than 7.4 m/s. The tooth-disc has the capability to treat the corn residue.

Key words No-till drills, Driven disc, Anti-block mechanism, Experiment

引言

在推广保护性耕作技术中,一年两熟种植区收获玉米后种植小麦,将在有大量玉米秸秆和根茬覆盖的未耕地上实施免耕播种。被动式圆盘破茬刀能够改善播种机的防堵性能,但当没有足够压力以及在秸秆量大或土壤坚硬时,破茬刀很难入土。动力驱动型防堵装置主要存在刀轴转速高、机器振动噪声大、作业环境差、安全性差、对秸秆和根茬不能同时处理等问题^[1-6]。小麦免耕播种机播种窄行密植作

物,行距一般为 15~20 cm,保护性耕作的技术要求表土破土量要小于 30%~40%。田间试验证明,如果不采用宽窄行播种,在 15~20 cm 范围内利用旋耕刀进行带状旋耕,表土破土量几乎达到 100%;若实行宽窄行播种,在 2 个窄行小麦播种开沟器前面加装旋耕刀具,表土破土量也达到 50%。现阶段国内免耕播种机的被动式圆盘刀垂直压力不能切断秸秆和根茬,而移动式开沟器易发生堵塞。因此对动力驱动圆盘刀进行试验研究是非常必要的。

收稿日期:2006-06-08

*“十五”国家科技攻关计划资助项目(项目编号:2004BA524B03-01)

马洪亮 河北农业大学机电工程学院 副教授 博士生(中国农业大学),071001 保定市

高焕文 中国农业大学工学院 教授 博士生导师,100083 北京市

李洪文 中国农业大学工学院 教授 博士生导师

魏淑艳 河北农业大学机电工程学院 工程师

1 试验设备

土槽试验台由土槽、台车、可控硅整流装置、数据采集卡与计算机控制系统组成。为了测量旋转部件工作时的功耗,采用 AKC-205 型扭矩传感器,通过测量传动轴所受扭矩和转速计算出旋转部件的功耗。为了在室内土槽上对驱动圆盘刀进行试验研究,设计制作了驱动圆盘刀试验装置,如图 1。

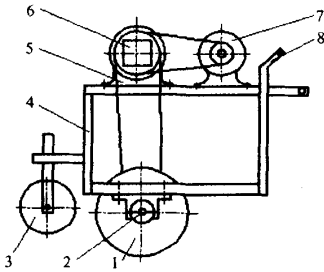


图1 驱动圆盘刀试验装置结构示意图

Fig.1 Sketch diagram of cutting corn stalk and rootstalk mechanism

1. 圆盘刀 2. 驱动轴 3. 限位轮 4. 机架 5. 轴承座 6. 扭矩传感器 7. 直流调速电动机 8. 悬挂臂

被动式圆盘刀有平圆盘刀、波纹圆盘刀和缺口圆盘刀等。由于平圆盘刀和缺口圆盘刀易于加工制造,因此选择这两种作为对比试验圆盘刀。平圆盘刀和缺口圆盘刀结构如图 2。

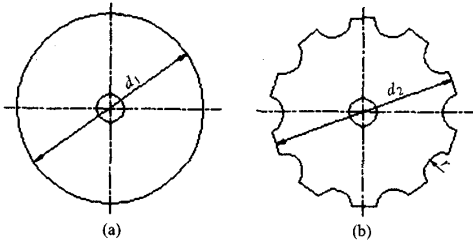


图2 驱动圆盘刀结构图

Fig.2 Sketch diagram of driven disc

(a) 平圆盘刀 (b) 缺口圆盘刀

平圆盘刀圆盘外径 $d_1=403$ mm。缺口圆盘刀圆盘外径 $d_2=403$ mm, 缺口圆半径 $r=40$ mm, 缺口圆的圆心在缺口圆盘刀外圆上, 在圆盘刀上均匀分布 10 个缺口。

2 试验条件

为使土槽土壤状况与田间实际情况尽量一致,采用的整土工艺为:人工翻土整平—人工洒水—埋入根茬—压实—土壤表面铺上秸秆。试验时采用较大秸秆覆盖量。土壤、秸秆和根茬试验条件见表 1 和表 2。

表1 土壤试验条件

土壤性质	土壤平均 含水率/%	不同深度土壤坚实度/MPa			
		50 mm	100 mm	150 mm	平均
砂壤土	12.3	1.46	2.88	3.36	2.57

表2 秸秆、根茬试验条件

秸秆平均 直径/cm	秸秆平均 含水率/%	秸秆量 /根·m ⁻¹	根茬平均 含水率/%	根茬株 距/cm
2.0	20.5	10	15.6	25

3 试验结果与分析

3.1 主要工作参数对功耗影响

影响驱动圆盘刀作业质量与功率消耗的因素有圆盘刀结构形式、机器前进速度、圆盘刀直径及转速、土壤条件等。试验时各因素及水平如表 3 所示。台车最大前进速度由土槽设备决定,刀轴转速根据驱动圆盘刀田间实际工况确定。入土深度 $H=10$ cm 固定不变。为了考察各个因素对功耗和作业质量的影响,进行单因素试验。

表3 试验因素及水平表

试验水平	台车前进速度/m·s ⁻¹	刀轴转速/r·min ⁻¹
1	0.35	250
2	0.45	350
3	0.55	450
4	0.65	550

3.1.1 刀轴转速

保持台车前进速度为 0.65 m/s 不变,使用平圆盘刀和缺口圆盘刀进行对比试验。土壤地表条件为有秸秆和根茬。

测得刀轴转速 n (r/min) 与功耗 P (W) 之间关系曲线如图 3 所示。2 种圆盘刀在地表有秸秆、有根茬时功率消耗与刀轴转速之间关系拟合方程为

$$P=2480.5-0.42n+0.009n^2 \quad (1)$$

$$P=1188.4+0.89n+0.0002n^2 \quad (2)$$

试验结果表明,随着刀轴转速的增加,2 种圆盘刀所消耗的功率都在增加。2 种圆盘刀功率消耗相差较大,平圆盘刀功率消耗相对刀轴转速的变化率较大。当刀轴转速为 350 r/min 时,平圆盘刀和缺口圆盘刀的功率消耗分别为 3.37 kW 和 1.52 kW,缺口圆盘刀消耗的功率仅是平圆盘刀的 45%。当刀轴

转速由 350 r/min 提高到 450 r/min 时,平圆盘刀和缺口圆盘刀所消耗的功率分别增加 0.81 kW 和 0.13 kW。

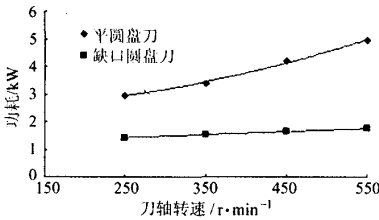


图3 有秸秆和根茬时刀轴转速与功耗关系曲线

Fig. 3 Power consumption of different rotational speed

3.1.2 机器前进速度

保持刀轴转速为 350 r/min 不变,对平圆盘刀和缺口圆盘刀进行对比试验。

测得前进速度 v_m (m/s) 与功耗 P (W) 之间关系曲线如图 4 所示。2 种圆盘刀在地表有秸秆和根茬时功率消耗与刀轴转速之间关系拟合方程为

$$P = 2\,492.1 + 198v_m + 1\,750v_m^2 \quad (3)$$

$$P = 306.31 + 1\,874v_m - 25v_m^2 \quad (4)$$

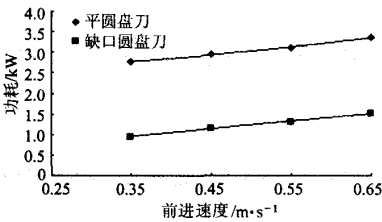


图4 有秸秆和根茬时前进速度与功耗之间关系

Fig. 4 Power consumption of different running speed

试验结果表明,随着前进速度的增加,2 种圆盘刀消耗的功率都在增加。2 种圆盘刀的功率消耗相差较大,当前进速度为 0.55 m/s 时,平圆盘刀和缺口圆盘刀的功率消耗分别为 3.21 kW 和 1.3 kW,缺口圆盘刀消耗的功率仅是平圆盘刀的 41%。平圆盘刀功率消耗对前进速度的变化率较大,如当前进速度由 0.55 m/s 提高到 0.65 m/s 时,平圆盘刀和缺口圆盘刀所消耗的功率分别增加 0.27 kW 和 0.20 kW。

3.2 作业质量

为了避免秸秆和根茬堵塞开沟器,安装在开沟器正前方的驱动圆盘刀仅对播种带上的玉米秸秆和根茬进行切断,不考虑对覆盖地表秸秆的切碎程度。圆盘刀的作业质量可用播种带秸秆切断率和播种带根茬切断率 2 个指标来衡量。

$$\eta = \frac{n_1}{m_1} \times 100\% \quad (5)$$

$$\rho = \frac{n_2}{m_2} \times 100\% \quad (6)$$

式中 η ——秸秆切断率

n_1 ——考察范围内秸秆切断的数量

m_1 ——考察范围内秸秆的总数量

ρ ——根茬切断率

n_2 ——考察范围内根茬切断的数量

m_2 ——考察范围内根茬的总数量

播种带的开沟情况主要测量开沟深度和地表破土宽度。试验结果见表 4。表中的数据是在机器前进速度为 0.65 m/s 测定的。

表4 2种圆盘刀作业质量对比

Tab. 4 Effects of two kinds of discs

圆盘类型	刀轴转速 /r · min ⁻¹	秸秆切断率 η /%	根茬切断率 ρ /%	沟深 /mm	地表破土宽度/mm
平圆盘	250	87	78	100	9.6
	350	95	96	100	10.0
	450	96	95	100	10.0
	550	98	97	100	10.7
缺口圆盘	250	98	86	100	12.2
	350	100	100	100	12.4
	450	100	100	100	13.2
	550	100	100	100	13.5

试验表明:刀轴转速越高,秸秆根茬的切断率越高,当刀轴转速大于 350 r/min 即圆盘圆周速度大于 7.4 m/s 时,平圆盘刀的秸秆和根茬切断率大于 95%,缺口圆盘刀秸秆和根茬切断率达到 100%。刀轴转速越高,开沟地表的宽度越大,但相差很小,可以忽略。平圆盘刀开出沟的地表宽度为 10 mm,缺口圆盘刀开出沟的地表宽度平均为 13 mm。

3.3 分析与讨论

圆盘两侧面与秸秆、根茬和土壤复合体之间的应力包括法向应力 σ 和切向应力 τ ,圆盘与土壤接触的底面之间法向应力 σ_1 和切向应力 τ_1 ^[7-8],平圆盘和缺口圆盘的受力如图 5 和图 6。 σ 与 τ 的关系以及 σ_1 与 τ_1 关系为

$$\tau = c + \sigma \tan \delta$$

$$\tau_1 = c + \sigma_1 \tan \delta$$

式中 c ——切向附着力

δ ——圆盘与复合体接触面的摩擦角

如图 5 和图 6 所示, τ 的方向与圆盘侧面上点 A 的绝对速度 v_A 方向相反。由于机器前进速度相对圆盘上点绕刀轴的线速度要小的多, v_A 方向可以近似认为垂直于 A 点的半径方向。 τ_1 的方向与圆盘和土壤接触底面上点的绝对速度方向相反。圆盘承受的阻力矩 M 为

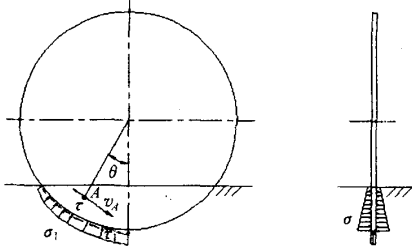


图5 驱动平圆盘受力示意图

Fig. 5 Acting force on disc

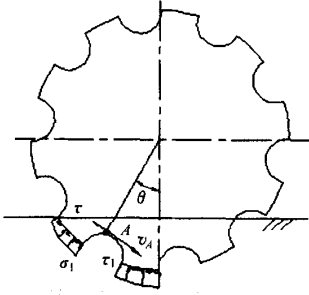


图6 驱动缺口圆盘受力示意图

Fig. 6 Acting force on tooth-disc

$$M = 2 \iint \tau r dA + \iint \tau_1 R_0 dA_1$$

$$M = 2 \iint (c + \sigma \tan \delta) r dA + \iint (c + \sigma_1 \tan \delta) R_0 dA_1$$

其中 $dA = r dr d\theta$ $dA_1 = h_d R_0 d\theta$

式中 θ ——圆盘上任意点 A 的角度

r ——圆盘上任意点 A 的半径

R_0 ——圆盘半径

h_d ——缺口圆盘的厚度

得圆盘承受的阻力矩

$$M = 2 \iint (c + \sigma \tan \delta) r^2 dr d\theta + \int (c + \sigma_1 \tan \delta) R_0^2 h_d d\theta \quad (7)$$

圆盘工作过程中消耗的功率为

$$P = M\omega \quad (8)$$

式中 ω ——刀轴的角速度

平圆盘在工作过程中对两侧和底部土壤进行挤压,各点法向应力 σ 是深度 h 的函数,即 $\sigma = \sigma(h)$,并且 h 越大 σ 越大,同理圆盘与土壤接触的底面 $\sigma_1 = \sigma_1(h)$ 。缺口圆盘两侧面的法向应力 σ 和底面的法向应力 σ_1 也是深度 h 的函数。由于缺口的存在,缺口圆盘在转动过程中与土壤接触面积不断变化,缺口圆盘与土壤接触的 2 个侧面的接触面积总是比平圆盘的接触面积小,并且减少的面积主要在较高法向应力的圆盘外缘。缺口圆盘与土壤接触的底部面积也比平圆盘的接触面积小。通过计算可以得出试验所用缺口圆盘和土壤平均接触面积与平圆盘的

平均接触面积比值约为 0.66。

根据朗肯的被动土压力理论^[9~10],设圆盘两侧面各点法向应力 σ 和与土壤接触的底面之间法向应力 σ_1 是深度 h 的线性函数,切向附着力 c 是常数。在式(7)中切向附着力 c 和法向应力产生的摩擦力 $\sigma \tan \delta$ 和 $\sigma_1 \tan \delta$ 所引起阻力矩可分别进行求解。根据式(7)可近似求解出 $\sigma \tan \delta$ 和 $\sigma_1 \tan \delta$ 所引起的缺口圆盘和平圆盘阻力矩(或两圆盘功耗 P)的比值约为 0.50;同样也可以求解出由切向附着力 c 产生的缺口圆盘和平圆盘阻力矩(或两圆盘功耗 P)的比值约为 0.62;它们的均值为 0.56。

上述计算是在假设圆盘的两侧面以及与土壤接触的底面承受法向应力分布规律和大小相同的条件下得出的。但缺口圆盘齿容易入土,刺入土中后对土壤进行强力撕拉,然后向上挑动。而平圆盘对土壤主要是挤压,土体受到平均压应力(球应力或八面体正应力)要比缺口圆盘对土体的平均压应力要高^[11],如果考虑此因素,根据式(7)和式(8)求解出的缺口圆盘和平圆盘阻力矩(或两圆盘功耗 P)的比值小于 0.56,与土槽试验的结果是相近的。

缺口圆盘地表开沟宽度比平圆盘地表开沟宽度大 2~3 mm。主要是由于缺口圆盘对土壤进行撕拉和向上挑动的作用。

4 结论

(1) 随着刀轴转速的增加,两驱动圆盘刀功率消耗都随之增加。在机器前进速度为 0.65 m/s,地表有秸秆、有根茬情况下刀轴转速由 350 r/min 提高到 450 r/min 时,平圆盘刀和缺口圆盘刀所消耗的功率分别增加 0.81 kW、0.13 kW。

(2) 随着前进速度的增加,各种驱动圆盘刀功率消耗都随之增加,在刀轴转速为 350 r/min,地表有秸秆、有根茬情况下,当前进速度由 0.55 m/s 提高到 0.65 m/s 时,平圆盘刀和缺口圆盘刀所消耗的功率分别增加了 0.27 kW、0.20 kW。

(3) 平圆盘刀和缺口圆盘刀的对比试验表明,缺口圆盘刀的功率消耗小于平圆盘刀,在刀轴转速为 350 r/min,机器前进速度为 0.65 m/s 时,土壤地表为有秸秆、有根茬情况下缺口圆盘刀消耗的功率是平圆盘刀的 45%。

(4) 驱动圆盘刀轴转速越高,秸秆根茬的切断率越高。当刀轴转速大于 350 r/min 即圆盘圆周速度大于 7.4 m/s 时,缺口圆盘刀秸秆切断率和根茬切断率达到 97% 以上。

(下转第 54 页)

保护性耕作地需要 323.01~699.11 元/hm², 实行保护性耕作后, 用于补充风蚀损失全氮的化肥即可节省 300~700 元/(hm²·a)。

2.4.2 损失时间估算

对于传统耕作在不补充肥料的情况下, 如果每年进行翻耕并整地, 按表 5 损失率计算, 耕层 20 cm 土壤有机质和养分损失 50% 所经历的时间约为: 有机质 5.65 a, 全氮 6.72 a, 全磷 5.31 a, 全钾 11.7 a。按此推算 100 a 后有机质及养分基本上全部损失。

3 结论

(1) 土壤风蚀过程中, 保护性耕作比传统耕作可以减少风蚀量 50.44%, 有机质损失减少 48.80%, 全氮损失减少 49.04%, 全磷损失减少 48.51%, 全钾损失减少 50.52%。

(2) 传统耕作和保护性耕作各物质损失中全磷的损失最大, 分别为 12.24% 和 5.93%; 其次是有机质的损失, 分别为 11.53% 和 4.31%。土壤损失率分别为 5.29% 和 2.62% 时, 全磷损失率是相应土壤损失率的 2.31 倍和 2.26 倍; 有机质损失率是相应土壤损失率的 2.18 倍和 1.65 倍。

(3) 不补充肥料的情况下, 每年进行翻耕并整地, 耕层 20 cm 土壤有机质及养分大约经过 5~10 a 就仅剩余目前含量的 50%。100 a 后有机质及养分基本上全部损失。

(4) 风蚀对土壤营养物质及有机质的流失高于土壤的流失, 风蚀是土壤退化的重要原因, 采取相应的措施控制风蚀可以在一定程度上减少有机质和养分的损失, 减轻土壤粗化的程度, 从而控制农田的沙漠化。

参 考 文 献

- 1 王涛. Land use and sandy desertification in north China[J]. 中国沙漠, 2000, 20(1): 103~108.
- 2 肖洪浪, 赵雪, 赵文智. 河北坝缘简育干润均腐土耕种中的退化研究[J]. 土壤学报, 1998, 35(1): 129~134.
- 3 苏永中, 赵哈林, 张铜会, 等. 科尔沁沙地旱作农田土壤退化的过程和特征[J]. 水土保持学报, 2002, 16(1): 25~28.
- 4 Larney F J, Bullock M S, Janzen H, et al. Wind erosion effects on nutrient redistribution and soil productivity[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1998, 53(2): 133~140.
- 5 Zobeck T M, Fryrear D W. Chemical and physical characteristics of windblown sediment II. chemical characteristic and total soil and nutrient discharge[J]. Transaction of the ASAE, 1986, 29(4): 1 037~1 041.

(上接第 50 页)

参 考 文 献

- 1 张晋国, 高焕文. 免耕播种机新型防堵装置的研究[J]. 农业机械学报, 2000, 31(4): 33~35.
- 2 廖庆喜, 高焕文, 王世学, 等. 免耕播种机新型锯切防堵装置的试验研究[J]. 农业机械学报, 2003, 34(6): 91~95.
- 3 吴建民, 高焕文. 免耕播种机锯齿式防堵切刀的试验[J]. 农业机械学报, 2006, 37(5): 51~56, 82.
- 4 郑东旭, 姜海勇, 李兵, 等. 玉米整秆覆盖下小麦免耕播种机的研究[J]. 河北农业大学学报, 2003, 26(增刊): 285~287.
- 5 姚宗路, 王晓燕, 李洪文, 等. 2BMD-12 型小麦对行免耕施肥播种机改进与试验研究[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 9(5): 46~51.
- 6 马洪亮, 高焕文, 李洪文, 等. 斜置驱动圆盘免耕播种机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2006, 37(5): 45~47, 66.
- 7 张守勤, 左春桂, 马成林. 圆盘开沟器受力模型[J]. 农业机械学报, 1998, 29(增刊): 108~110.
- 8 张守勤, 马旭, 马成林, 等. 圆盘开沟部件的受力及计算机模拟[J]. 农业工程学报, 1995, 11(4): 52~55.
- 9 曾德超. 机械土壤动力学[M]. 北京: 北京科学技术出版社, 1995.
- 10 [美] 吉尔 W R, 范德伯奇 G E. 耕作和牵引土壤动力学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1983.
- 11 林金天. 土壤动力特性与节能耕作及机具设计[J]. 农业机械学报, 1996, 27(增刊): 38~42.

驱动圆盘刀切断玉米秸秆和根茬的土槽试验

作者: [马洪亮](#), [高焕文](#), [李洪文](#), [魏淑艳](#), [Ma Hongliang](#), [Gao Huanwen](#), [Li Hongwen](#), [Wei Shuyan](#)

作者单位: [马洪亮, Ma Hongliang](#) (河北农业大学机电工程学院, 071001, 保定市), [高焕文, 李洪文, Gao Huanwen, Li Hongwen](#) (中国农业大学工学院, 100083, 北京市), [魏淑艳, Wei Shuyan](#) (河北农业大学机电工程学院)

刊名: [农业机械学报](#) 

英文刊名: [TRANSACTIONS OF THE CHINESE SOCIETY FOR AGRICULTURAL MACHINERY](#)

年, 卷(期): 2007, 38 (5)

被引用次数: 9次

参考文献(11条)

1. 张晋国;高焕文 [免耕播种机新型防堵装置的研究](#)[期刊论文]-[农业机械学报](#) 2000(04)
2. 廖庆喜;高焕文;王世学 [免耕播种机新型锯切防堵装置的试验研究](#)[期刊论文]-[农业机械学报](#) 2003(06)
3. 吴建民;高焕文 [免耕播种机锯齿式防堵切刀的试验](#)[期刊论文]-[农业机械学报](#) 2006(05)
4. 郑东旭;姜海勇;李兵 [玉米整秆覆盖下小麦免耕播种机的研究](#)[期刊论文]-[河北农业大学学报](#) 2003(zk)
5. 姚宗路;王晓燕;李洪文 [2BMD-12型小麦对行免耕施肥播种机改进与试验研究](#)[期刊论文]-[干旱地区农业研究](#) 2005(05)
6. 马洪亮;高焕文;李洪文 [斜置驱动圆盘免耕播种机设计与试验](#)[期刊论文]-[农业机械学报](#) 2006(05)
7. 张守勤;左春桢;马成林 [圆盘开沟器受力模型](#)[期刊论文]-[农业机械学报](#) 1998(zk)
8. 张守勤;马旭;马成林 [圆盘开沟部件的受力及计算机模拟](#)[期刊论文]-[农业工程学报](#) 1995(04)
9. 曾德超 [机械土壤动力学](#) 1995
10. 吉尔 W R;范德伯奇 G E [耕作和牵引土壤动力学](#) 1983
11. 林金天 [土壤动力特性与节能耕作及机具设计](#) 1996(zk)

本文读者也读过(8条)

1. [魏冰阳](#), [蔺公振](#), [杜新武](#) [双立轴圆盘刀玉米秸秆切碎器正交试验](#)[期刊论文]-[洛阳工学院学报\(自然科学版\)](#) 2002, 23(2)
2. [马洪亮](#), [高焕文](#), [魏淑艳](#), [Ma Hongliang](#), [Gao Huanwen](#), [Wei Shuyan](#) [驱动缺口圆盘玉米秸秆根茬切断装置的研究](#)[期刊论文]-[农业工程学报](#)2006, 22(5)
3. [蒋金琳](#), [高焕文](#), [龚丽农](#), [Jiang Jinlin](#), [Gao Huanwen](#), [Gong Linong](#) [免耕播种机玉米根茬处理装置破茬性能试验](#)[期刊论文]-[农业机械学报](#)2007, 38(9)
4. [赵祚喜](#), [罗锡文](#), [Zhao Zuoxi](#), [Luo Xiwen](#) [土槽遥控系统的设计与制作](#)[期刊论文]-[农业机械学报](#)1999, 30(3)
5. [于艳](#), [尚书旗](#), [刘晓红](#), [YU Yan](#), [SHANG Shuqi](#), [LIU Xiaohong](#) [新型土槽试验平台及测控系统的设计与应用](#)[期刊论文]-[东北农业大学学报](#)2011, 42(2)
6. [李艳洁](#), [徐泳](#), [赵东](#), [LI Yanjie](#), [XU Yong](#), [ZHAO Dong](#) [微型土壤动力学试验土槽装置的研制](#)[期刊论文]-[机械工程学报](#)2010, 46(15)
7. [马爱丽](#), [廖庆喜](#), [田波平](#), [黄海东](#), [周善鑫](#), [MA Ai-li](#), [LIAO Qing-xi](#), [TIAN Bo-ping](#), [HUANG Hai-dong](#), [ZHOU Shan-xin](#) [螺旋式果园开沟装置的设计及土槽试验](#)[期刊论文]-[湖北农业科学](#)2009, 48(7)
8. [高爱云](#), [曹艳玲](#), [付主木](#), [甄济营](#) [双立轴式圆盘刀玉米秸秆切碎器参数的选择](#)[期刊论文]-[拖拉机与农用运输车](#) 2003(1)

引证文献(9条)

1. 杨帆, 李问盈, 李洪文, 苏艳波. 免耕播种机缺口圆盘刀有限元静强度分析[期刊论文]-[农业机械学报](#) 2010(6)
2. 陈恩明, 赫慧云, 魏作见, 马根众. 小麦玉米两用免耕播种机研究与设计[期刊论文]-[农机化研究](#) 2009(3)
3. 孙茸茸, Li Wenying, 李洪文. 垄作玉米免耕播种机破茬装置设计与试验[期刊论文]-[农业机械学报](#) 2008(8)
4. 李耀明, 秦同娣, 陈进, 赵湛. 玉米茎秆往复切割力学特性试验与分析[期刊论文]-[农业工程学报](#) 2011(1)
5. 吕霞. 新型玉米免耕播种机破茬装置的设计[期刊论文]-[农业科技与装备](#) 2012(10)
6. 林静, 刘安东, 李宝筏, 李博, 赵德芳, 吕长义. 2BG-2型玉米垄作免耕播种机[期刊论文]-[农业机械学报](#) 2011(6)
7. 安凤秀, 孟宪章, 王雪莲, 刘庆福. 玉米免耕播种机免耕播种试验研究[期刊论文]-[吉林农业大学学报](#) 2008(6)
8. 胡晓丽, 刘庆福. 免耕玉米播种机播种试验[期刊论文]-[农业与技术](#) 2010(1)
9. 崔涛, 刘佳, 张东兴, 杨丽. 摘穗与秸秆粉碎复式作业机构设计与试验[期刊论文]-[农业机械学报](#) 2012(10)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_nyjxxb200705012.aspx