

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.12.010

# 秸秆粉碎覆盖玉米免耕施肥播种机设计\*

张军昌<sup>1</sup> 闫小丽<sup>1</sup> 薛少平<sup>1</sup> 朱瑞祥<sup>1</sup> 苏光远<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学机械与电子工程学院, 陕西杨凌 712100; 2. 陕西省农业机械鉴定站, 西安 710065)

**【摘要】** 设计了2BMQ-180/3型秸秆粉碎覆盖玉米免耕施肥播种机, 提出了在破茬开沟器前安装驱动立轴旋转式秸秆粉碎装置, 将秸秆和杂草粉碎并抛撒在地表的防堵措施, 并进行了田间播种性能试验。试验结果表明, 该机通过性良好; 种、肥覆土深度变异系数分别为23.7%、20.8%, 粉碎秸秆长度小于10 cm的达到90%以上, 出苗率超过90%, 提高了播种质量; 实现了秸秆粉碎还田和免耕播种的联合作业方式, 较好地满足了我国北方一年两熟区保护性耕作技术发展的需求。

**关键词:** 玉米免耕播种机 秸秆粉碎 保护性耕作 防堵 设计

中图分类号: S223.2<sup>+</sup>6 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2012)12-0051-05

## Design of No-tillage Maize Planter with Straw Smashing and Fertilizing

Zhang Junchang<sup>1</sup> Yan Xiaoli<sup>1</sup> Xue Shaoping<sup>1</sup> Zhu Ruixiang<sup>1</sup> Su Guangyuan<sup>2</sup>

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

2. Identification of Shaanxi Agricultural Machinery Station, Xi'an 710065, China)

### Abstract

2BMQ-180/3 type no-tillage maize planter with stalk mulch smashing and fertilizing was developed. The anti-blockage measures when using the smashing straw endings machine-driven by vertical shaft rotary to smash the straw and weeds and throw them on the surface of the fields before the opener to plough the ditch was put forward. Then, the machine's work performance was tested. The results showed that the planter performed very well. Its variation coefficients of sowing fertilizer cover depth were 23.7% and 20.8%. The smashed stalk length was less than 10 cm which was up to more than 90%. The germination rate was more than 90%. This improved the germinative rate of the seeds and achieved the joint practices model of smashing the straw and no-tillage sowing. The model also meets the requirements of conservation tillage technology in the area.

**Key words** No-tillage maize planter, Stalk smashing, Conservation tillage, Anti-blockage, Design

### 引言

保护性耕作是一种先进的农业生产技术,在不引起土壤全翻转的耕作条件下,将大量的作物秸秆和残茬覆盖在地表,将耕作量减少到能保证种子发芽即可,具有蓄水保墒、增产增收和培肥土壤等优势<sup>[1]</sup>。保护性耕作技术是建立在机械化基础上的,如秸秆粉碎、免耕播种施肥、深松等关键作业,目前

推广与应用保护性耕作技术的核心是免耕播种机<sup>[2]</sup>。

防堵是设计免耕播种机的关键。目前我国免耕播种机的防堵措施主要有被动式和动力驱动式防堵装置。被动式防堵装置主要有分禾器式、限深切草轮和分禾器组合式以及轮齿式等,具有结构简单、制造成本低,可满足一年一熟地区免耕施肥播种要求等特点。但当秸秆覆盖量较大,特别是在一年两熟

收稿日期: 2012-07-12 修回日期: 2012-07-27

\*“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2012BAD14B11)和陕西省农机局科研开发资助项目(201102040490)

作者简介: 张军昌, 讲师, 主要从事农业机械设计及发动机性能研究, E-mail: zhangjunchang@126.com

通讯作者: 闫小丽, 副教授, 主要从事旱作农业技术及其装备研究, E-mail: yxl9212@nwsuaf.edu.cn

地区前茬作物收获后立即播种,秸秆含水率较高时,其防堵效果就会受到较大影响。动力驱动式防堵装置主要有旋耕、直刀粉碎破茬、斜置驱动原盘、带状粉碎和水平拨草轮等,大多存在对土壤扰动大、消耗功率大、作业效率低,结构复杂,机具结构不够紧凑等问题。国外免耕播种机一般采用多横梁以增大开沟器间距和自身重力切削秸秆或根茬等措施解决免耕播种机的堵塞问题,其机具转弯半径大、需要地头长,不适宜我国小地块作业,在秸秆量大或种植窄行作物时也存在机具堵塞和播种质量差等问题<sup>[3-8]</sup>。

目前北方一年两熟地区实际常采用的播种方法有两种:用秸秆还田机先把小麦秸秆粉碎后再用免耕播种机进行播种以及利用秸秆捡拾机或人工把麦秸捡拾清理后再进行播种。这些方法增加了机器作业成本、减低了生产效益、延长了作业时间,极大地影响了保护性耕作技术的推广和作物的稳产高产。

为解决上述问题,本文设计2BMQ-180/3型秸秆粉碎覆盖玉米免耕施肥播种机,在开沟破茬装置前安装立轴旋转式秸秆粉碎装置,一次进地完成秸秆粉碎还田覆盖和免耕施肥播种两项作业,同时解决免耕播种机工作时的堵塞问题。

## 1 总体结构与工作原理

### 1.1 总体结构

2BMQ-180/3型秸秆粉碎覆盖玉米免耕施肥播种机主要由机架、三点悬挂装置、动力传动装置、秸秆粉碎刀辊、尖铲式施肥开沟器、双圆盘式播种开沟器、种肥箱、播后镇压轮、地轮以及排种排肥传动系统等组成,如图1所示。

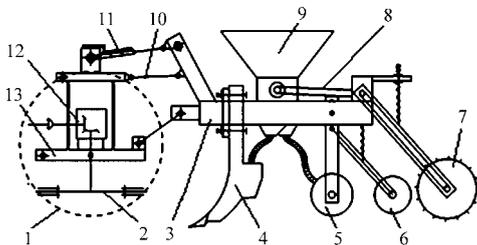


图1 2BMQ-180/3型秸秆粉碎覆盖玉米免耕施肥播种机机构简图

Fig.1 Structure of type 2BMQ-180/3 no-tillage maize planter

1. 限深轮 2. 旋转刀架 3. 播种机机架 4. 破茬开沟器 5. 圆盘开沟器 6. 镇压轮 7. 地轮 8. 传动链条 9. 种肥箱 10. 连杆 11. 液压油缸 12. 变速箱 13. 粉碎装置机架

整机用44 kW以上拖拉机驱动,秸秆粉碎装置与拖拉机的悬挂装置挂接,免耕施肥播种机则是通过液压油缸与四杆机构挂接在立轴式秸秆粉碎装置的后部。秸秆粉碎装置的动力来源于拖拉机的后动力输出轴,施肥播种机动力来自地轮。

### 1.2 工作原理

免耕播种玉米时,拖拉机的动力输出轴将动力传递给变速箱,然后由变速箱的输出轴将动力传递到其下方的立轴式秸秆粉碎装置,带动刀盘及刀片高速旋转。粉碎刀轴上的刀片离地有一定距离,工作时刀片不入土,主要用于破碎和抛洒小麦秸秆而不灭根茬。工作时高速旋转的刀盘、刀片将开沟器正前方的秸秆、杂草切割、粉碎成较短长度的秸秆,同时将其抛向开沟器两侧和周围,在粉碎和抛洒的双重作用下在开沟器前方形成清洁施肥播种带,防止秸秆残茬在铲柄处堵塞,从而达到秸秆粉碎还田和防堵的目的。在开沟器完成开沟施肥后,其后的播种覆土装置在肥沟上二次开沟播种、覆土,实现种肥同沟垂直分施。最后,由镇压轮完成镇压作业。

### 1.3 技术参数

2BMQ-180/3型秸秆粉碎覆盖玉米免耕施肥播种机主要适用于一年两熟小麦秸秆覆盖地的玉米免耕播种,主要技术参数如表1所示。

表1 2BMQ-180/3型秸秆粉碎覆盖玉米免耕施肥播种机主要技术参数

Tab.1 Main technical parameters of type 2BMQ-180/3 no-tillage maize planter

参数	数值
结构型式	悬挂式
外形尺寸(长×宽×高)/mm×mm×mm	2 500×1 900×1 200
整机质量/kg	600
配套动力/kW	45~66
作业行进速度/km·h <sup>-1</sup>	3~5
作业幅宽/m	1.8
行数与行距/行×mm	3×600
播种深度/mm	50~60
施肥深度/mm	60~80
排种器型式	12齿标准外槽轮式
排肥器型式	6齿标准外槽轮式
镇压器型式	凸圆柱面镇压轮
施肥开沟器	尖铲式破茬开沟器
播种开沟器	双圆盘式开沟器
生产效率/hm <sup>2</sup> ·h <sup>-1</sup>	0.3~0.75
粉碎刀盘转速/r·min <sup>-1</sup>	1 800
粉碎刀盘数目	3
秸秆粉碎长度要求	粉碎后长度小于10 cm 的秸秆大于等于90%

## 2 关键部件设计

### 2.1 立轴旋转式秸秆粉碎装置

#### 2.1.1 整体结构

立轴旋转式秸秆粉碎装置的整体结构由锥齿轮

变速传动箱、传动轴、切割器、悬挂机架及限深轮组成,如图 2 所示。拖拉机输出轴的动力通过万向节传递给中部锥齿轮变速箱,经变速和转向后,通过刀架轴和横向传动轴分别驱动 3 个刀架和刀片进行高速旋转。在刀架与刀片的一个铰接点上可垂直铰接 2~3 个刀片。为了避免刀片碰撞,相邻两个圆盘 90°错位且反向旋转。刀架轴通过刀架轴承支撑在机架上,整个装置通过悬挂机架与拖拉机悬挂装置挂接。工作时,可根据地块秸秆覆盖量通过限深轮调节刀盘离地高度,其最小离地高度为 30 mm。

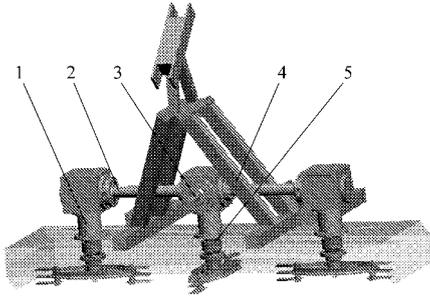


图 2 立轴旋转式秸秆粉碎装置结构示意图

Fig. 2 Structure of smashing straw of vertical shaft rotary

- 1. 刀架轴 2. 横向传动轴 3. 锥齿轮变速箱 4. 悬挂机架
- 5. 刀架轴承

### 2.1.2 粉碎刀架、刀片的参数设计

如图 3 所示,刀片上一点对地面的运动轨迹为余摆线,刀片刃线扫过地面的面积为余摆带,其宽度与刃部长度相近似<sup>[9]</sup>。刀片  $a$ 、 $b$  点的运动方程式为

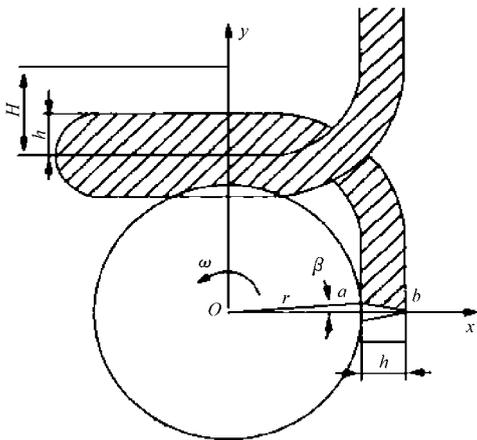


图 3 刀片运动轨迹

Fig. 3 Moving track of blade

$$\begin{cases} x_a = r \cos(\omega t + \beta) \\ y_a = v_m t + r \sin(\omega t + \beta) \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} x_b = R \cos \omega t \\ y_b = v_m t + R \sin \omega t \end{cases} \quad (2)$$

式中  $r$ ——刀片内端点半径

$\omega$ ——刀架回转角速度

$\beta$ ——刀片内、外端点对刀架回转中心的连线

夹角

$t$ ——刀架转过时间

$v_m$ ——机器前进速度

$R$ ——刀片外端点半径

在任一瞬时,  $a$  点的绝对速度为

$$v_a = \sqrt{r^2 \omega^2 + 2r\omega v_m \cos(\omega t + \beta) + v_m^2}$$

当  $\omega t + \beta = \pi + 2\pi k$  ( $k = 0, 1, \dots, n$ ) 时,  $v_a = v_{amin} = r\omega - v_m$ , 则刀架的转速计算公式为

$$n = \frac{30(v_a + v_m)}{\pi r} \quad (\text{r/min}) \quad (3)$$

设计中为了防止漏割,取相邻两刀盘上刀片的轨迹重叠量 0.06 m, 则  $R = 0.28$  m。取刀片伸出刀架高度  $h = 0.05$  m, 则  $r = R - h = 0.23$  m。

根据文献[10],切割含水率较高的麦秆时,刀刃根部  $a$  点最低极限速度  $v_a$  为 40 m/s, 机组前进速度  $v_m$  为 2 m/s, 将上述参数代入式(3), 计算得到刀架转速为 1 775 r/min, 取  $n = 1 800$  r/min。

刀片的切豁图是由多条余摆带所形成的, 其带宽近似为伸出刀架高度  $h = 0.05$  m, 刀片数是根据割刀进距  $H$  (刀架转一周时机器前进距离) 与在一个进距中各刀片余摆带的纵向宽度之和与  $h$  相等

而定。由于  $H = mh$ ,  $H = \frac{60v_m}{n}$ , 则

$$m = \frac{60v_m}{hn} \quad (4)$$

式中  $m$ ——刀片组数

代入相关参数得刀片组数为 1.33。由于考虑到制造的方便和运转的平衡问题,刀片组数确定为 2。为了达到更好的粉碎效果,每组 3 个刀片,2 个刀片间距为 5 mm。刀片厚度为 4 mm,切割刀片用 65Mn 钢制造,刀刃部分经过热处理。

### 2.2 开沟器

保护性耕作要求作业时开沟器尽量减少对土壤的翻动。在土壤不进行全翻转的耕作条件下,开出种肥沟,引导种肥进入沟内,并使湿土覆盖种子和肥料。在对样机进行计算和试验的基础上最终确定施肥用尖铲破茬开沟器(图 4),播种用双圆盘开沟器<sup>[11]</sup>。

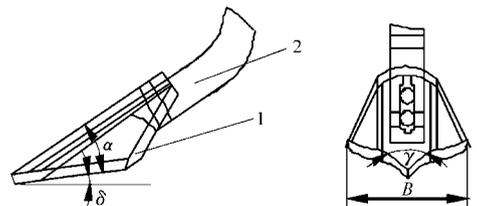


图 4 开沟器结构简图

Fig. 4 Structure of opener

- 1. 铲头 2. 铲柄

### 2.2.1 尖铲破茬开沟器

#### (1) 入土角 $\alpha$

为了减小阻力,以免翻土过多,综合考虑并经试验确定尖铲破茬开沟器的入土角  $\alpha$  取  $40^\circ$ 。

#### (2) 入土隙角 $\delta$

入土隙角为铲面底面与地面之间的夹角,它有利于入土。一般为  $5^\circ \sim 10^\circ$ ,过小入土性能变差,增加摩擦阻力;过大易造成土壤提前回落,使沟底不平,实际取入土隙角  $\delta$  为  $8^\circ$ 。

#### (3) 斜切角 $\gamma$

一般为  $60^\circ \sim 75^\circ$ ,此角不能过大,以保证残茬、土粒、杂草沿刃口滑过,而不致发生缠绕、拥堵;过小时,切断草根的能力减弱,设计中取  $\gamma$  为  $60^\circ$ 。

#### (4) 开沟宽度 $B$

开沟宽度一般为  $30 \sim 60$  mm,设计中取  $B$  为  $40$  mm。

### 2.2.2 双圆盘开沟器

立轴旋转式秸秆粉碎装置解决了开沟器铲柄的堵塞问题,为防止粉碎后的秸秆、杂草在播种机构间产生壅堵,因此播种机构采用通过性好的双圆盘开沟器。圆盘直径为  $450$  mm,圆盘夹角为  $14^\circ$ ,聚点的位置用  $\varepsilon$  角表示,设计中取  $60^\circ$ ,开沟宽度为  $27.5$  mm。播种机施肥用尖铲破茬开沟器为整体仿形,当地表不平整时,对施肥深度影响较大。为保证播种深度均匀性,双圆盘播种单体采用平行四连杆机构单体仿形。镇压轮采用脱土性能强的凸圆柱面镇压轮,同时起仿形和限深作用。播种深度通过调节镇压轮的高度来实现。镇压力可通过调整加压弹簧的压力来实现,以适应不同土壤和不同压实要求。

## 3 田间试验

### 3.1 试验条件

2011年6月14日在陕西渭南市临渭区下吉镇进行了玉米免耕施肥播种机性能试验。试验地为小麦收获机收获后的茬地,小麦产量为  $6600$  kg/hm<sup>2</sup>,残茬平均高度为  $22.9$  cm,秸秆覆盖量为  $2.23$  kg/m<sup>2</sup>,土壤类型为壤土,土壤坚实度为  $19.2$  kPa,土壤含水率为  $12.3\%$ ,动力机械为东方红70拖拉机。

### 3.2 试验方法

#### 3.2.1 通过性

根据农业部农机试验鉴定总站的测试要求,机具通过性合格标准为:在刚收获的茬地,植被覆盖量为  $2.0 \sim 4.0$  kg/m<sup>2</sup>,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。本试验在地表覆盖状况下各测试6次。

#### 3.2.2 秸秆粉碎

测定方法:在往返单程内交错抽取5个小区,每小区行数为6行。对每个行程在测区长度方向上轮辙之间测定两点,在  $1.5$  m  $\times$   $1$  m 范围内任意取100根粉碎后秸秆进行测量。按农艺要求,长度小于  $10$  cm 的秸秆为合格。

#### 3.2.3 种肥覆土深度

国家机械行业标准《谷物播种机 技术条件》,用播深合格率评价播深稳定性。在往返单程内抽取5个小区,每小区内每行测5点,测定行数为6行,选左、中、右各2行。以镇压后的地面为基准,用铲刀在该点取一个纵剖面,测种肥上部覆土层的厚度,每行连续测40个种肥深度。

## 3.3 试验结果与分析

### 3.3.1 通过性和秸秆粉碎

在6次通过性测试过程中没有发现堵塞,通过性良好。试验中测得秸秆粉碎长度小于  $10$  cm 的达到  $90\%$  以上。试验结果表明,该机在秸秆覆盖量较大情况下,采用动力驱动立轴旋转式秸秆粉碎装置具有对秸秆和杂草粉碎、抛洒双重作用,防堵效果明显。同时粉碎效果也达到秸秆粉碎还田的农艺要求,能满足我国一年两熟区秸秆覆盖地免耕播种玉米的要求。

### 3.3.2 种肥覆土深度

试验结果如表2所示,种、肥覆土深度变异系数分别为  $23.7\%$ 、 $20.8\%$ ,种深的变异系数明显比肥深的变异系数大。原因是:肥料直接落入沟底,施肥深度与开沟深度有关,但播种深度同时要受开沟深度和落种前回土量的影响。本机播种机构采用双圆盘播种镇压单体仿形,因此种肥深变异系数相差不大。

表2 2BMQ-180/3型秸秆粉碎覆盖玉米免耕施肥播种机性能试验结果

Tab.2 Performance experiment results of type 2BMQ-180/3 no-till maize planter

测定项目	平均值 /mm	合格率 /%	方差 /mm	变异系数 /%
播种平均深度	52.4	93.4	5.16	23.7
施肥平均深度	71.2	91.5	14.8	20.8
种肥间距	51.6	89.6	8.41	16.3

### 3.3.3 出苗率

2011年7月20日在试验地进行了出苗率测定,出苗率超过  $90\%$ ,基本无缺苗断垄。秸秆粉碎免耕播种机采用尖铲破茬开沟器破茬开沟施肥,双圆盘在肥沟上进行二次开沟播种,在播种过程中双

圆盘能将秸秆、杂草推开,将种子直接播进土壤中,能够创造良好的种床。

## 4 结论

(1) 提出了在破茬开沟器前采用动力驱动立轴旋转式秸秆粉碎装置,将地表秸秆和杂草粉碎并均匀地抛撒在地表,解决了秸秆、杂草对开沟器缠绕问题,提高了机具通过性,防堵效果显著。

(2) 提出了秸秆粉碎还田覆盖和免耕施肥播种

联合作业方式,机具进地一次即可完成秸秆粉碎还田、施肥、播种、覆土和镇压等多道作业工序。

(3) 2BMQ-180/3 型秸秆粉碎覆盖玉米免耕施肥播种机在小麦收获后前茬地秸秆覆盖的情况下播种覆土平均深度为 52.4 mm、施肥覆土深度在 71.2 mm、种肥深度合格率达 90%,粉碎秸秆长度小于 10 cm 的达到 90% 以上,出苗率超过 90%,播种质量完全满足秸秆粉碎覆盖免耕施肥播种的农艺要求。

## 参 考 文 献

- 1 李安宁,范学民,吴传云,等. 保护性耕作现状与发展趋势[J]. 农业机械学报, 2006, 37(10):177~180.  
Li Anning, Fan Xuemin, Wu Chuanyun, et al. Situation and development trends of conservation tillage in the world[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(10): 177~180. (in Chinese)
- 2 高焕文. 保护性耕作技术与机具[M]. 北京:化学工业出版社, 2004.
- 3 廖庆喜,高焕文,舒彩霞. 免耕播种机防堵技术研究现状与发展趋势[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1):108~112.  
Liao Qingxi, Gao Huanwen, Shu Caixia. Present situations and prospects of anti-blocking technology of no-tillage planter[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(1):108~112. (in Chinese)
- 4 姚宗路,高焕文,王晓燕,等. 2BMX-5 型麦-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)
- 5 张喜瑞,何进,李洪文,等. 水平拨草轮式玉米免耕播种机设计和试验[J]. 农业机械学报, 2010, 41(12):39~43.  
Zhang Xirui, He Jin, Li Hongwen, et al. Design and experiment on no-till planter in horizontal residue-throwing finger-wheel type for maize[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(12):39~43. (in Chinese)
- 6 He J, Li H W, Wang X Y, et al. The adoption of annual subsoiling as conservation tillage in dry land maize and wheat cultivation in northern China[J]. Soil & Tillage Research, 2007, 94(2):493~502.
- 7 高焕文,李洪文,姚宗路. 我国轻型免耕播种机研究[J]. 农业机械学报, 2008, 39(4):78~82.  
Gao Huanwen, Li Hongwen, Yao Zonglu. Study on the Chinese light no-till seeders[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(4): 78~82. (in Chinese)
- 8 姚宗路,高焕文,李洪文,等. 一年两熟区玉米覆盖地小麦免耕播种机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2007, 38(8): 57~61.  
Yao Zonglu, Gao Huanwen, Li Hongwen, et al. Experiment on no-till wheat planter under the bestrow of the maize stubble in double cropping area [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(8): 57~61. (in Chinese)
- 9 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册[M]. 北京:中国农业科学技术出版社, 2007.
- 10 张晋国. 带状粉碎免耕播种机的试验研究[D]. 北京:中国农业大学, 2001.  
Zhang Jinguo. Study on the strip chopping anti-blocking no-till planter [D]. Beijing: China Agricultural University, 2001. (in Chinese)
- 11 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)