

不对行棉秆拔取收获台设计与试验^{*}

唐遵峰 韩增德 甘帮兴 包春林 郝付平
(中国农业机械化科学研究院现代农装科技股份有限公司, 北京 100083)

【摘要】 针对棉花种植行距不统一,导致目前拔棉秆机适用范围小、效率低、功能单一等问题,设计了具有整理棉秆和分离泥土功能的不对行棉秆拔取收获台。简述了整机结构和工作原理,并对关键部件进行了理论分析、设计计算和选型,对样机的主要性能指标进行了田间测试。试验结果表明,拔茎辊转速 502 r/min、整机前进速度 0.93 m/s 时,生产率为 0.8 hm²/h,拔净率为 97.7%,各项指标达到了设计要求。

关键词: 拔棉秆机 不对行 拔取 设计 试验

中图分类号: S225.91⁺2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)10-0080-06

Design and Experiment on Cotton Stalk Pulling Head with Regardless of Row

Tang Zunfeng Han Zengde Gan Bangxing Bao Chunlin Hao Fuping
(Modern Agricultural Equipment Co., Ltd., Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China)

Abstract

Because of variety of cotton row spacing, there were some problems on cotton stalk pulling machine such as smaller using scope, lower efficiency and function singleness etc. In order to solve the problems, a new cotton stalk pulling head with regardless of row which could rearrange cotton and separate soil was designed. The whole structure and operating principles of the pulling head were introduced, and the critical components were designed by theoretical analysis and calculations. The main performance indexes of a prototype were measured by field tests. The results indicated that production coefficient was 0.8 hm²/h and pulling rate was 97.7%, when rotational speed of the pulling roller was 502 r/min and advance speed was 0.93 m/s, and all main parameter indexes reached their design requirements.

Key words Cotton-stalk pulling machine, Regardless of row, Pulling, Design, Experiment

引言

近几年,我国棉花种植面积不断扩大,约为 559 万 hm²^[1],产 2 000 万 t 棉秆。棉秆根茎较硬不易腐烂、不易粉碎,在土壤里留存很长时间,不利于后续整地作业和农作物生长,达不到精耕细作的农艺要求。但是我国棉秆机械化收获较为落后,农民迫切需要性能优良的拔棉秆机。

我国棉花种植多采用铺膜增温保墒,全国各地气候、土壤、品种差异性较大,棉花的种植行距多种

多样。因此,若能研究出不对行拔棉秆收获机,将大幅提高适收范围,充分利用我国南北纵深长的地理优势开展跨区作业,增加收获面积,增加机收收入。

国外拔棉秆机基本上以对辊式拔棉秆机为主^[2],以一组间隙可调、相对滚动的胶辊(或轮胎)为拔秆部件,对行收获,棉秆拔出直接切断还田。由于受胶辊结构尺寸的限制,适应行距为 100 cm 左右,无法满足我国 40~60 cm 的棉花种植行距。

国内应用较广的机型是水平齿盘式拔棉秆机^[3],通过地轮驱动拔秆齿盘,旋转的拔秆齿盘与

收稿日期: 2010-06-09 修回日期: 2010-06-22
^{*} 科技部科研院所技术开发研究专项资金资助项目(2008EG119159)
作者简介: 唐遵峰,高级工程师,主要从事收获机械产品开发研究,E-mail: tangzunfeng@sohu.com

挡杆构成拔秆部件。该机型只能拔收 2 行,效率低。机器的拔净率受土壤坚实度和棉花的种植行距影响较大,板结地块拔净率较低、被拔秆齿盘切断的棉秆也较多,损失大;另外机器作业后需要二次进地进行捡拾作业,劳动强度大、综合成本高,难以满足我国棉秆综合利用的要求。

刨刀式拔棉秆机也有报道和应用^[4-5]。该机特点是不受行距限制,拔净率高,但功耗高,工作效率低,对土壤结构破坏严重。

近年来,国内外对拔棉秆机的研究有了很大进展,但几乎所有的研究都是基于棉秆拔取方面的,对棉秆的收获方法基本上是“拔后扔、扔后捡”的分段收获模式,缺少联合作业方面的研究,在拔后棉秆的整理、拔后棉秆与泥土的分离等方面的研究目前尚属空白。本文利用拔茎齿刀的推拔作用原理,设计一种具有输送整理和泥土分离作用的不对行棉秆拔取收获台。

1 整机结构和工作原理

1.1 整机结构

不对行棉秆拔取收获台主要由拔茎辊、整理链板、侧向输送链及输送辊、拔茎辊液压调速系统、传动系统、机架等部分组成,挂接到棉秆收割机主机^[6]上构成 4MG-1.5 棉秆拔收机,一次完成拔取、整理、清理泥土、输送、切碎、抛送和集料等作业,如图 1 所示。

1.2 工作原理

拔茎辊采用卧辊形式,在轴线方向安装 3 排拔茎齿刀,由液压马达驱动并实现转速无级可调。整理链板由连接在驱动链条上的 L 形板组成,用于输送棉秆和清理泥土。沿拔茎辊轴线方向布满拔茎齿刀,拔茎齿刀齿间距约为 30 mm,齿刀尖部为半径 3 mm 的圆弧面进行分禾,因此在拔茎辊收获幅宽内的棉秆都能嵌入到拔茎齿刀的刀齿内,实现了不对行拔取棉秆。

棉秆在被拔起瞬间受力情况如图 2 所示。其中拔茎辊对棉秆的推力 F' 、拔茎齿刀对棉秆的静摩擦力 F 、棉秆被齿刀前推变形产生的弹力 N 的合力形成棉秆的拔取力 f' 。回轮的拔茎齿刀在接触棉秆瞬间产生的拔取力 f 克服棉秆与土壤的连结力 f ,棉秆被拔起。拔起的棉秆在离心力、后续棉秆推力、整理链板阻挡等作用下离开拔茎齿刀,脱离拔茎齿刀的棉秆在惯性力的作用下向上、向后运动。由于大部分棉秆根部在下,在整理链板的作用下向前翻转,形成冠在前根在后的姿态进入整理链板向后输送。八字形的侧向输送链条及输送辊将整理链板上的棉

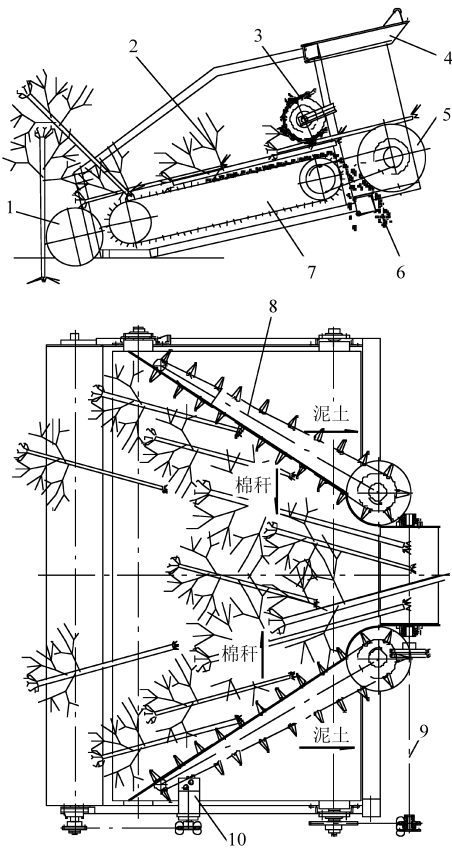


图 1 不对行棉秆拔取收获台工作原理图
Fig.1 Operating principle sketch of cotton talk pulling head with regardless of row

1. 拔茎辊 2. 棉秆 3. 喂入链耙 4. 机架 5. 托辊 6. 泥土
7. 整理链板 8. 侧向输送链及输送辊 9. 传动系统 10. 液压调速系统

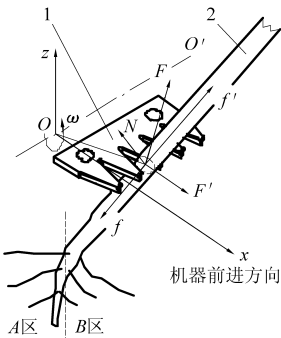


图 2 棉秆受力分析图
Fig.2 Stress analysis sketch of cotton talk pulling
1. 拔茎齿刀 2. 棉秆

秆向中间聚拢,与整理链板、喂入链耙一起将棉秆强制喂入到输送槽。

不对行棉秆拔取收获台主要技术参数如表 1 所示。

表 1 主要技术参数

Tab.1 Main performance indexes and technical parameters

参数	数值	参数	数值
幅宽/mm	2 400	配套动力/kW	64
生产率/hm ² ·h ⁻¹	0.5~0.8	拔净率/%	≥90

2 关键部件选型与设计

2.1 拔茎辊

拔茎辊是拔取棉秆的主要工作部件,由传动主轴、法兰盘、齿刀座板和拔茎齿刀等组成,如图3所示。法兰盘将传动主轴均分成3个工作段,每段由3片齿刀座板围成三棱柱形管轴,3组拔茎齿刀分别安装在管轴外侧的翼板上。这种结构整体稳定性好,刚性大,焊后变形较小,有利于保证拔茎辊拔秆工作时的平衡性。3段管轴两两之间的相位角相差40°,管轴间的相位差主要是减少同一时刻拔取棉秆的株数,减轻拔秆工作形成的交变载荷对拔茎辊的冲击,增强拔茎辊工作的整体稳定性。

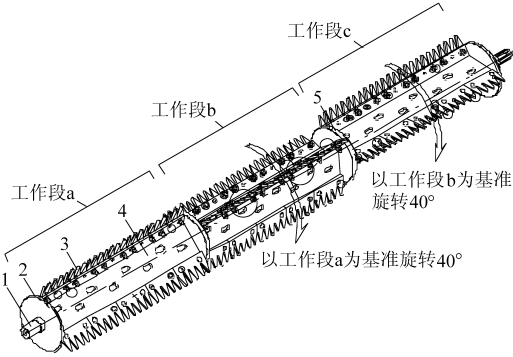


图3 拔茎辊结构示意图
Fig.3 Structure sketch of pulling roller

1. 传动主轴 2. 法兰盘 3. 拔茎齿刀 4. 齿刀座板 5. 中间法兰

2.1.1 拔茎齿刀结构参数

拔茎齿刀是拔茎辊拔取棉秆的关键工作元件,如图4所示。与拔茎刨刀相比,拔茎齿刀有2个工作点,容易抓取棉秆,并能产生较大的拔取力。另一方面,拔茎齿刀在入土拔秆时仅刀齿前端深入地表,降低了齿刀对土壤的翻搅,能耗降低,还能将地表下的农膜打碎或直接带出,有利于后续整地作业和后茬作物生长。

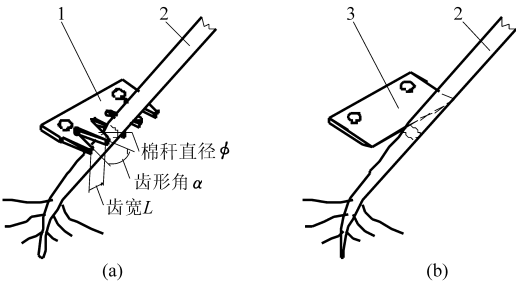


图4 拔茎齿刀结构示意图
Fig.4 Structure sketch of pulling dentate knife
1. 拔茎齿刀 2. 棉秆 3. 拔茎刨刀

由图4可知,齿宽 L 和齿形角 α 是拔茎齿刀的重要结构参数。为保证拔茎齿刀能抓取棉秆并减少齿刀与棉秆间的相对滑移,应满足

$$\begin{cases} L \geq \phi \\ \alpha \leq \alpha_0 \end{cases} \quad (1)$$

式中 L ——齿刀的拔茎齿齿宽,mm
 ϕ ——棉秆主干直径,mm
 α ——齿刀的齿形角,(°)
 α_0 ——棉秆和钢材间摩擦角,(°)

拔茎齿刀的齿形角不能过小,否则容易切断棉秆,也不利于棉秆从刀齿中脱出,造成回带缠辊。经测定棉秆段和钢材间摩擦角 $\alpha_0 = 29.1^\circ$ 。根据天津北辰区的田间调查结果,棉秆地表截面直径范围为17~30 mm,大部分在22 mm左右。因此本设计初定齿刀的拔茎齿齿宽 $L = 25$ mm,齿形角 $\alpha = 26.5^\circ$ 。

2.1.2 拔茎辊回转半径

拔茎辊回转半径是指拔茎齿刀工作点到回转中心的长度。收获台的收获幅宽为2400 mm,决定了拔茎辊轴向长度较大。若回转半径过小,拔茎辊整体刚性差,拔秆时容易变形;回转半径过大,拔茎辊推倒棉秆的趋势加大,起拔点增高,不利于拔秆作业。本设计初定回转半径 $R = 150$ mm。

2.1.3 拔茎辊转速

拔秆运动为拔茎辊的圆周运动与机器前进运动的合成,运动分析如图5所示。其运动方程为

$$\begin{cases} x = v_m t + R \sin \omega t \\ y = H_0 - R \cos \omega t \end{cases} \quad (2)$$

式中 v_m ——前进速度,m/s
 ω ——拔茎辊角速度,rad/s
 R ——拔茎辊回转直径,mm
 t ——时间,s
 H_0 ——拔茎辊离地高度,mm

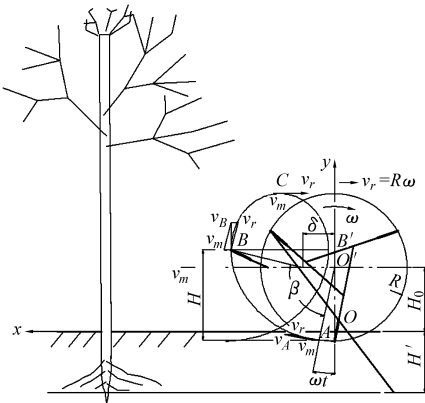


图5 拔茎辊的运动分析图
Fig.5 Motion analysis sketch of pulling roller

由于齿刀的线速度 v_r 远大于拔茎辊的前进速度 v_m ,齿刀任何一点的运动轨迹均为余摆线^[2]。拔茎齿刀从A点开始接触棉秆,齿刀线速度 v_r 与机器前进速度 v_m 同向叠加,对棉秆形成很大的拔取力,拔取棉秆到达B点。B点的齿刀线速度 v_r 在前进方向

的分速度与机器前进速度大小相等、方向相反,棉秆拔取过程结束。在 AB 弧段拔茎齿刀的拔取高度 H 为

$$H = y_B - y_A = R(\cos\omega t_1 - \cos\omega t_2) \tag{3}$$

齿刀的作用区角 β 为

$$\beta = \omega(t_2 - t_1) \tag{4}$$

齿刀作用区角 β 小于齿刀间的夹角 120° ,棉秆拔取高度 H 大于棉秆根深 H' 即为棉秆拔取的运动学条件

$$H = R(\cos\omega t_1 - \cos\omega t_2) \geq H' \tag{5}$$

$$\beta = \omega(t_2 - t_1) \leq 120^\circ \tag{6}$$

假设棉秆起拔点 A 在齿刀运动的最低点,即 $t_1 = 0$,则式(3)简化为

$$H = R(1 - \cos\beta) = R - v_m/\omega \tag{7}$$

由式(7)可知:机器的前进速度必须与拔茎辊转速相匹配,协同工作,才能达到比较好的拔秆效果。在拔茎辊回转半径一定时,机器前进速度越小、拔茎辊的转速越高,拔茎齿刀的拔取高度越大,拔秆效果就越好。但是机器前进速度过小会降低机器的工作效率。拔茎辊的转速也不能过高,否则拔茎齿刀对棉秆的冲击加大,撞断棉秆,导致棉秆拔净率降低。

假设拔茎齿刀的拔取高度与棉秆根深相等,根据田间调查结果棉秆根深一般为 120 mm 左右^[3,7],收获机的工作前进速度一般为 0.4 ~ 1.5 m/s,计算可得拔茎辊对应的转速范围是 $n = (127 \sim 476)$ r/min。

试验表明,保持机器前进速度 $v_m = 0.5$ m/s 不变,拔茎辊转速低于 300 r/min 时,拔茎齿刀的拔秆力显著降低,棉秆拔净率小于 60%;转速高于 500 r/min 时,棉秆开始出现断秆现象,导致拔净率下降。因此本设计拔茎辊转速范围确定为 300 ~ 500 r/min,理论计算转速取为 $n = 375$ r/min。

2.2 拔茎辊液压调速驱动系统

本机采用液压系统直接驱动拔茎辊,并通过优先阀调节拔茎辊的转速,优先阀能使液压系统在不节流的状态下改变供给液压马达的液压油流量,从而达到调节液压马达转速的目的。液压系统原理图如图 6 所示,系统压力选定为 $p = 14$ MPa。

(1) 液压马达

根据试验测定单根棉秆所需拔取力约为 100 N,拔茎辊一次同时拔取 4 根

棉秆,考虑 40% 储备转矩,计算可得拔茎辊的理论工作转矩为 364 N·m,同时根据拔茎辊的理论计算转速 $n = 375$ r/min,液压马达选定为 EATON 公司生产的 J2K-245 型摆线液压马达,其主要技术参数如表 2 所示。

表 2 J2K-245 型液压马达技术参数
Tab.2 Technical parameters of hydraumatic moter

参数	连续工作	断续工作
排量/mL·r ⁻¹	245	
流量/L·min ⁻¹	75	115
转速/r·min ⁻¹	308	462
压力/MPa	17	26
扭矩/N·m	555	820

(2) 液压泵

在本液压回路中不考虑接头体、换向阀和优先阀的流量损失,马达的实际流量即为液压泵的实际流量。液压泵排量为^[8]

$$q_{p0} = \frac{q_0 n_0 \eta_v \eta_p}{n_p} \tag{8}$$

式中 q_0 ——马达排量,已知为 245 mL/r
 n_0 ——马达的额定转速,取 375 r/min
 η_v ——马达容积效率,取 85%
 η_p ——泵容积效率,取 92%
 n_p ——泵的额定转速,取 2 200 r/min

计算得出液压泵的排量 $q_{p0} = 53.45$ mL/r。
依照上述数据,液压泵选定为天机公司生产的 GPC4-63 型齿轮泵。其主要技术参数如表 3 所示。

表 3 GPC4-63 型液压泵技术参数
Tab.3 Technical parameters of hydraumatic pump

参数	数值
排量/mL·r ⁻¹	65.6
额定转速/r·min ⁻¹	2 500
最低转速/r·min ⁻¹	700
压力/MPa	20
输入功率/kW	67.49

由表可以看出,液压泵的排量、额定转速和系统压力均满足液压系统的要求,液压泵相对液压马达具有 22% 的流量储备。

(3) 优先阀

依照液压系统的系统流量和系统压力,调速阀选定为 BRAND 公司生产的 FC51-3/4 型可变流量优先阀。试验测定该优先阀能够调节液压系统流量优先供给液压马达,优先阀 5 ~ 9 挡对应拔茎辊转速为 343 ~ 502 r/min,且线性相关性明显。

2.3 整理链板

整理链板是输送棉秆和清理泥土关键部件。主

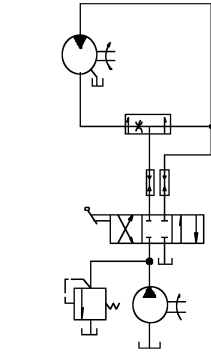


图 6 液压原理示意图
Fig.6 Principle sketch of hydraumatic system

要有驱动辊、从动辊、输送链条和 L 形板条等部分组成,如图 7 所示。拔茎辊拔出棉秆抛到输送链板上,同时拔茎辊掘取的泥土和棉秆根部夹带的泥土随棉秆也被抛送到输送链板上。由于棉秆与泥土的体积质量不同,棉秆支在输送链板的 L 形板条上,泥土落入 L 形板条形成的沟槽内。棉秆和泥土在输送链板的带动下向喂入口运动,沟槽内的泥土在链板翻转时抛洒落到地面上。

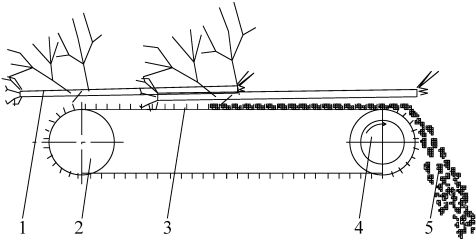


图 7 整理链板结构示意图

Fig. 7 Structure sketch of rearrange chain plank

1. 棉秆 2. 从动辊 3. 输送链板 4. 驱动辊 5. 泥土

(1) 驱动辊转速的确定

为了确保将拔茎辊拔出的棉秆向后输送,整理链板的线速度应稍大于齿刀线速度 v_r , 初定为 $1.25v_r=5.89\text{ m/s}$, 计算得驱动辊转速为 407 r/min 。

(2) 输送链条的选型

由于棉秆体积质量较小,输送链条所受的载荷不大,根据整理链板的线速度选择东华链条集团生产的 ZGS38K1 型联合收获机链,链条节距为 38 mm 。

3 田间试验

3.1 试验目的

通过田间试验,测定不分行棉秆拔取收获台的主要性能指标。

3.2 试验条件

时间 2010 年 4 月 24 日,地点天津市北辰区双桥镇,棉花行距 $400\text{ mm}+800\text{ mm}+400\text{ mm}$,棉花株距 200 mm ,棉秆高度 $950\sim1\,050\text{ mm}$,棉秆根深 $110\sim$

155 mm ,棉秆主干地表截面直径 $15\sim30\text{ mm}$ 。

3.3 性能测定依据

试验主要是根据科技部《棉秆不对行拔取与联合收获技术装备研究项目任务书》。

评价拔秆质量的指标主要有拔净率、拔断率和落地棉秆率。本次试验将拔断棉秆和落地棉秆均作为漏拔棉秆,因此仅将拔净率列为评价指标。

3.4 试验方法

在试验地块随机选择 4 行棉秆作为测定收获对象,每 10 m 长作为一个测区,测出漏拔棉秆的株数,计算棉秆拔净率为

$$\eta = \frac{A - (A_1 + A_2 + A_3)}{A} \times 100\%$$
 (9)

式中 η ——拔净率, %

A ——棉秆总株数

A_1 ——未拔出的棉秆株数

A_2 ——拔断的棉秆株数

A_3 ——落地棉秆株数

连续 3 个测区测定一次收获时间,计算出机器前进速度

$$v_m = L' / \Delta t$$
 (10)

式中 L' ——测区长度,取为 30 m

Δt ——收获时间, s

按上述方法重复取样 5 次,将计算结果取平均值作为最终试验结果。

3.5 试验结果及分析

试验测定结果如表 4 所示。从试验结果可以看出,在各种工况下,收获台的拔净率均能达到任务书要求。随着拔茎辊转速的提高,拔净率也随之增加,但是提高机器前进速度,拔净率增加的趋势变缓。

在试验中发现:①机器低挡位工作时,拔茎辊入土 $10\sim20\text{ mm}$ 拔秆效果较好,但这种工况能耗较高,生产率较低,这表明拔秆工作时应尽量提高机器的前进速度。②机器高挡位工作,拔茎辊转速为

表 4 试验结果
Tab. 4 Results of field tests experiment

参数	拔茎辊转速/ $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$								任务书规定值
	343	473	486	502	343	473	486	502	
	机器低挡位工作				机器高挡位工作				
拔净率/%	90.4	92.4	96.3	98.1	91.5	92.5	94.4	97.7	≥ 90
作业速度/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	0.48	0.48	0.48	0.48	0.93	0.93	0.93	0.93	
纯小时生产率/ $\text{hm}^2\cdot\text{h}^{-1}$	0.41	0.41	0.41	0.41	0.8	0.8	0.8	0.8	0.5 ~ 0.8
幅宽/mm	2 400								2 400 ~ 2 600
配套动力/kW	64								64.7 ~ 83.8

502 r/min 时不需要入土或入土 0 ~ 10 mm, 拔净率就能达到 97.7%, 且整机流程通畅, 工作平稳, 作业效果较为理想。

4 结论

(1) 设计了一种具有整理棉秆和分离泥土功能

的不对行拔取收获台, 各项性能指标均达到任务书要求。

(2) 不对行拔取收获台挂接到棉秆收割机主机上流程通畅、工作平稳。拔茎辊转速在 502 r/min, 前进速度为 0.93 m/s 时, 生产率为 0.8 hm²/h, 拔净率为 97.7%, 作业效果较为理想。

参 考 文 献

1 中华人民共和国国家统计局. 2007 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2008.

2 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册: 下册[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007: 903 ~ 906, 1 051.

3 贾健. 拔棉柴机的设计研究[J]. 山西农业大学学报, 2005, 25(3): 268 ~ 269, 274.
Jia Jian. Design on machines of dialing cotton stem[J]. Journal of Shanxi Agricultural University, 2005, 25(3): 268 ~ 269, 274. (in Chinese)

4 赵东波. 棉花拔秆清膜旋耕机研究设计[J]. 新疆农机化, 2004(4): 34 ~ 35.

5 艾力哈斯木, 张学军. 棉柴收获机起拔滚筒运动及性能分析[J]. 新疆农机化, 2009(4): 14 ~ 15.

6 王锋德, 陈志, 董世平, 等. 自走式棉秆联合收获机设计及试验[J]. 农业机械学报, 2009, 40(12): 67 ~ 70.
Wang Fengde, Chen Zhi, Dong Shiping, et al. Exploiture and experiment of self-walking cotton-stalk combine harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(12): 67 ~ 70. (in Chinese)

7 花俊国. 浮压双链夹持式拔棉秆机的研究[J]. 河南农业大学学报, 2006, 40(5): 549 ~ 552.
Hua Junguo. Study on floating double-chain tongs cotton-stalk puller[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2006, 40(5): 549 ~ 552. (in Chinese)

8 成大先. 机械设计手册: 第 4 卷[M]. 3 版. 北京: 化学工业出版社, 1994.

(上接第 57 页)

6 Smart P L, Laidlaw I M S. Evaluation of some fluorescent dyes for water tracing[J]. Water Resources Research, 1977, 13(1): 15 ~ 33.

7 Pouliquen H, Algoet M, Buchet V, et al. Acute toxicity of fluorescein to turbot (scophthalmus maximus)[J]. Veterinary and Human Toxicology, 1995, 37(6): 527 ~ 529.

8 Wang H, Lu L, Zhu S, et al. The phototoxicity of xanthene derivatives against Escherichia coli, staphylococcus aureus, and Saccharomyces cerevisiae[J]. Current Microbiology, 2006, 52(1): 1 ~ 5.

9 Carré J, Joyeux M, Montiel A. Health risks associated with fluorescent tracers used in hydrology[J]. Environnement, Risques et Sante, 2007, 6(6): 443 ~ 452.

10 Ikeya T, Horimoto N, Kashino Y. A practical method for sensitive determination of the fluorescent water-tracer uranine by reversed phase HPLC under alkaline conditions[J]. Talanta, 2009, 79(3): 818 ~ 823.

11 Macintyre-Allen J K, Tolman J H, Scott-Dupree C D, et al. Confirmation by fluorescent tracer of coverage of onion leaves for control of onion thrips using selected nozzles, surfactants and spray volumes[J]. Crop Protection, 2007, 26(11): 1 625 ~ 1 633.

12 张宝棣, 王继波, 刘玉兰, 等. 荧光素钠注射液荧光猝灭的研究[J]. 光谱学与光谱分析, 1994, 14(3): 105 ~ 110.
Zhang Baodi, Wang Jibo, Liu Yulan, et al. A study of the fluorescence quenching of sodium fluorescein injecta[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 1994, 14(3): 105 ~ 110. (in Chinese)

13 李红军, 何雄奎, 曾爱军, 等. 环境因素对荧光素钠溶液荧光强度的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2008, 30(1): 49 ~ 51, 63.
Li Hongjun, He Xiongkui, Zeng Aijun, et al. Effect of environment on fluorescence analysis of fluorescein sodium[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2008, 30(1): 49 ~ 51, 63. (in Chinese)

14 祁力钧, 赵亚青, 王俊, 等. 基于 CFD 的果园风送式喷雾机雾滴分布特性分析[J]. 农业机械学报, 2010, 41(2): 62 ~ 67.
Qi Lijun, Zhao Yaqing, Wang Jun, et al. CFD simulation and experimental verification of droplet dispersion of air-assisted orchard sprayer[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(2): 62 ~ 67. (in Chinese)