doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.S2.013

垂直升降式单体仿形棉花打顶机*

何　磊[1]　刘向新[1]　周亚立[1]　赵　岩[1]　胡　斌[2]

(1.新疆农垦科学院机械装备研究所,石河子 832000;2.石河子大学机械电气工程学院,石河子 832003)

摘要:针对棉花打顶的农艺要求及现有打顶机存在仿形效果不理想等问题,设计了一种垂直升降式单体仿形棉花打顶机并论述了其结构和工作原理。采用中心组合优化试验法对影响该机仿形效果与打顶质量的因素进行优化试验研究,建立了相关系数与行走速度、仿形板与切割器距离、液压泵流量间的二次回归模型。对模型响应曲面分析寻优,得到最佳结构及作业参数。结果表明:当行走速度为 0.86 m/s、仿形板与切割器距离为 0.543 m、液压泵流量为 4.69 L/min 时,相关系数为 0.961,仿形效果与打顶质量最佳。经田间试验证明该优化方案可行,为垂直升降式单体仿形棉花打顶机设计提供理论依据。

关键词:棉花打顶机　单体仿形　垂直升降　试验　优化

中图分类号:S224.9　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-1298(2013)S2-0062-06

Vertical Lift Type Single Profiling Cotton Topping Machine

He Lei[1]　Liu Xiangxin[1]　Zhou Yali[1]　Zhao Yan[1]　Hu Bin[2]

(1. *Mechanical Equipment Research Institute*, *Xinjiang Academy of Agricultural and Reclamation Science*, *Shihezi* 832000, *China*
2. *College of Mechanical and Electrical Engineering*, *Shihezi University*, *Shihezi* 832003, *China*)

Abstract: For agronomic requirements for cotton topping and unsatisfactory profiling effect of the existing machine, a kind of vertical lift type single profiling cotton topping machine was designed. Its structure and working principle were proposed. Central composite test was used on the factors which had effect on profiling effect and quality of topping of the proposed machine. The quadratic regression model of correlation coefficient and walking speed, profile plate and cutting distance, and pump flows were built respectively. The optimal structural and operated parameters were obtained by analyzing the response surface of model. The results showed that, when the travel speed was 0.86 m/s, distance profile plate with cutter was 0.543 m, and the pump flow 4.69 L/min, the best profiling effect and topping quality could be achieved with a correlation coefficient of 0.961. The field test showed that the optimized program was feasible, which provided theoretical basis for design of vertical lift type single profiling cotton topping machine.

Key words: Cotton topping machine　Single profiling　Vertical lift　Experiment　Optimization

引言

棉花打顶是棉花丰产的关键环节,目前新疆生产建设兵团(简称兵团)农业生产中耕整地、播种、中耕等机械化水平达到 100%,综合机械化水平 92%,居全国领先水平[1~2]。兵团棉花生产过程从耕到收各环节,除棉花打顶以外基本实现机械化。目前棉花打顶作业主要采用化学打顶与人工打顶,前者受外界条件等不可预见因素影响较大,且对环境有一定污染;后者劳动强度大(兵团棉花每公顷种植密度在 30 万株以上)、效率低、成本高。二者均制约了兵团棉花生产全程机械化的发展[3~4]。而

收稿日期:2013-06-26　修回日期:2013-07-10

*公益性行业(农业)科研专项资金资助项目(201203057)和新疆农垦科学院青年基金资助项目(YQJ201305)

作者简介:何磊,助理研究员,主要从事农业机械设计及性能试验研究,E-mail:hl_sdjd@sohu.com

通讯作者:刘向新,副研究员,主要从事棉花全程机械化研究,E-mail:nkynjslxx@163.com

机械打顶可有效解决化学和人工打顶存在的问题，因此实现棉花机械化打顶的关键在于研究开发性能稳定可靠的棉花打顶机。

现有棉花打顶机[5~12]由于仿形效果不理想，导致机具在作业过程中出现漏打、过打等现象，影响棉花打顶机的作业质量与效果。本文针对上述问题，结合棉花打顶的农艺要求（打顶标准为打去一叶一芯，坚持先打高、后打低的原则）[13]以及兵团棉花的种植模式，借鉴现有机具的优点[14~16]，设计一种垂直升降式单体仿形棉花打顶机，并对其进行试验研究。运用相关系数综合评定棉花打顶机仿形效果和打顶质量，并通过星点设计理论中心组合设计建立起该机关于相关系数的二次回归模型，对模型响应曲面分析寻优，确定垂直升降式单体仿形棉花打顶机的最佳结构及作业参数，为该机的改进及产品定型提供理论依据。

1　总体结构、工作原理及与技术参数

1.1　总体结构

棉花打顶机的结构如图 1 所示，主要由组合式机架、液压系统、电气系统、仿形平台、切割器和传动系统组成。其中，传动系统包括套筒伸缩装置、胶带、固定轴承、升降油缸、大带轮、变速器和中间带轮等，可实现切割器的旋转和垂直升降；仿形平台位于组合机架下部，通过销子和轴承座分别与固定在机架上的升降油缸、套筒伸缩装置内的切割器刀轴连接，在升降油缸与可拆卸导向器作用下垂直升降，其结构包括仿形底座、可拆卸导向器、可移动仿形器、扶禾器、销轴和轴承座等；电气系统包括遥控开关、蓄电池、接近开关 1、2；液压系统包括升降油缸、油管、分配器、电磁换向阀和溢流阀。

1.2　工作原理

棉花打顶机以三点悬挂方式与拖拉机联接，随机车前行，拖拉机动力输出轴通过万向节将动力传递到变速器，与变速器连接的大带轮通过胶带将动力传递到中间带轮，中间带轮再将动力分配到两侧带轮，各带轮处于同一水平位置，以此保证套筒伸缩装置的动力分配；带轮与套筒伸缩装置固定，套筒伸缩装置通过滚动销带动切割器产生旋转运动。伸缩套筒上的导向槽既保证动力的传递，又能保证油缸作用下切割器垂直升降工作。当棉花比较低时，仿形板下降，接近开关 1 导通，并将信号传递到电磁阀，电磁阀控制升降油缸带动仿形平台下降，切割器随之下降；当棉花高时，仿形板上升，接近开关 1 断开，接近开关 2 导通，将信号传递到电磁阀，电磁阀控制升降油缸带动仿形平台上升，与仿形平台连接的切割器随之上升；当棉花高度稳定不变，仿形板处于接近开关 1、2 之间，电磁阀处于中间截止位，升降油缸不动作，仿形平台连接的切割器工作高度不变。从而实现单体棉花的随即仿形，切割器根据棉花高度垂直升降，旋转切除棉花顶尖，完成打顶作业。

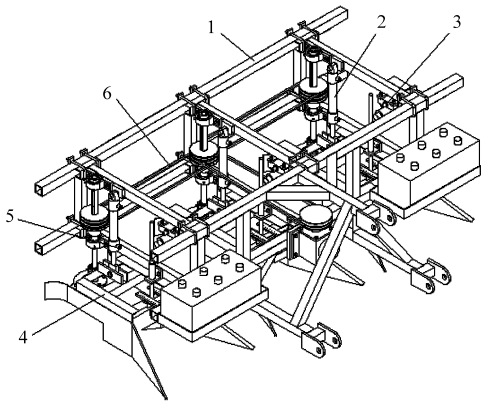

图 1　垂直升降式单体仿形棉花打顶机结构简图

Fig. 1　Sketch map of vertical lift type single profiling cotton topping machine

1. 组合式机架　2. 液压系统　3. 电气系统　4. 仿形平台　5. 切割器　6. 传动系统

1.3　主要技术参数

垂直升降式单体仿形棉花打顶机主要技术参数如表 1 所示。

表 1　垂直升降式单体仿形棉花打顶机主要技术参数

Tab. 1　Main design parameters of vertical lift type single profiling cotton topping machine

参数	数值
长 × 宽 × 高/mm × mm × mm	1 100 × 2 200 × 1 450
整机质量/kg	180
打顶率/%	≥85
作业速度/km · h^{-1}	2.5 ~ 4
打顶量/mm	≤100
作业幅宽/行	6（行距可调）
打顶高度/mm	500 ~ 900
配套动力/kW	>36.8

2　试验设计及结果分析

2.1　试验设计

2.1.1　试验条件及仪器

为了便于观察和分析棉花打顶机各单体自动仿形切割棉花顶尖的过程，搭建了室内试验台，其结构如图 2 所示，主要由变频器、电动机、油泵、机架、台车、切割器、仿形板和传动部件等组成。试验所需仪器有 1.5 m 软尺、5 m 卷尺、压力表、流量表。

调速电动机为台架试验动力源，电压为 380 V 三相电压。机架代替田间作业机架，台车运动模拟田间机车作业速度，棉株按照田间种植模式及自然

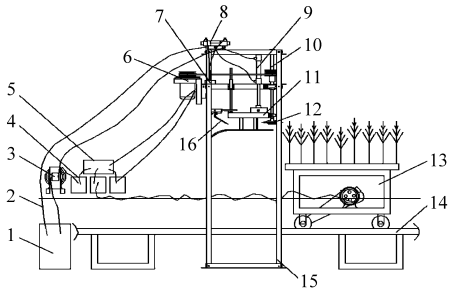

图 2 试验台结构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of experimental platform structure

1. 油箱 2. 油管 3. 电动机与油泵 4. 变频器 5. 电源 6. 动力电动机 7. 遥控开关 8. 电磁换向阀 9. 升降油缸 10. 套筒伸缩装置 11. 仿形平台 12. 切割器 13. 台车 14. 台车导轨 15. 机架 16. 仿形板

高度被夹持在台车上。液压泵的流量控制切割器垂直升降的速度。仿形平台调节仿形板与切割器的之间距离,进而控制切割器的仿形效果。变频器可根据需要无极变速调节油泵动力、台车速度和切割器工作转速。

2.1.2 试验因素

设计自动仿形切割系统的目的是提高打顶率,降低漏打率、过打量,实现仿形打顶最佳效果。通过对打顶机理的研究可得出影响仿形打顶效果的主要因素有:液压泵流量 q、仿形板与切割器距离 d 和台车速度 v。

根据棉花打顶的农艺要求,打顶量应控制在 30 ~ 100 mm[17]。根据前期单因素试验,可以确定液压泵的流量取 3.4 ~ 5.6 L/min,台车速度取 0.65 ~ 1.05 m/s,仿形板与切割器距离取 0.5 ~ 0.6 m,且各参数在此范围内,打顶量满足农艺要求。

2.1.3 试验指标

通常情况下,打顶率作为评价打顶机性能的指标,由于需要对机具仿形效果及打顶质量作综合评定,因此提出相关系数 C(试验区内有效棉株数打顶前、后高度的轨迹曲线拟合度)作为试验的主要指标。相关系数是衡量 2 个随机变量之间的线性相关程度,是无量纲指数,其范围在[-1,1][18~20]。如果 2 条高度轨迹曲线几何形状越接近,对应相关系数越大,说明机具的仿形效果及打顶质量越好,打顶率也就越高。相关系数计算式为

$$C(X,Y)=\frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2\sum(y-\bar{y})^2}} \quad (1)$$

式中 x——试验区内有效棉珠数打顶前高度

$\bar{x}$——棉花打顶前平均高度

y——打顶后高度

$\bar{y}$——打顶后平均高度

2.1.4 试验过程与结果

打顶作业过程中存在很多影响相关系数 C 的非线性因素,通常需要选用二次或更高次的模型来逼近响应,模型可采用响应曲面法来建立[21-22]。假设相关系数 C 与液压泵流量 q、仿形板与切割器距离 d 和台车速度 v 存在函数关系 $C=f(q,d,v)$,应用星点设计理论(Central composite design)安排试验设计[23],进行三因素五水平的响应面分析。对各因素进行水平编码如表 2 所示,按照表 3 方案进行试验设计。表中 X_1、X_2、X_3 为编码值。

表 2 因素水平编码

Tab. 2 Experimental values and coded level

编码	因素		
	液压泵流量 x_1/L·min^{-1}	仿形板与切割器距离 x_2/m	台车速度 x_3/m·s^{-1}
-1.682	3.4	0.50	0.65
-1	3.8	0.52	0.73
0	4.5	0.55	0.85
1	5.2	0.58	0.97
1.682	5.6	0.60	1.05

表 3 试验结果

Tab. 3 Testing results

试验编号	X_1	X_2	X_3	C
1	-1	-1	-1	0.869
2	1	-1	-1	0.897
3	-1	1	-1	0.834
4	1	1	-1	0.935
5	-1	-1	1	0.836
6	1	-1	1	0.814
7	-1	1	1	0.831
8	1	1	1	0.913
9	-1.682	0	0	0.836
10	1.682	0	0	0.882
11	0	-1.682	0	0.825
12	0	1.682	0	0.871
13	0	0	-1.682	0.946
14	0	0	1.682	0.858
15 ~ 20	0	0	0	0.882 ± 0.025

2.1.5 模型的建立与检验

应用 Design-Expert 8.0.6 软件包对表 3 中数据拟合并进行方差分析,得到相关系数 C 与因素编码值的回归方程为

$$C=89.26+1.95X_1+1.28X_2-2.12X_3+2.21X_1X_2-0.86X_1X_3+1.14X_2X_3-1.23X_1^2-1.62X_2^2+0.29X_3^2 \quad (2)$$

方差分析如表 4 所示。从各因素 P 值可以看出,液压泵流量、仿形板与切割器距离以及台车速度对相关系数 C 均有显著性影响,且影响强弱次序

为：X_3、X_1、X_2，即台车速度、液压泵流量、仿形板与切割器距离。从二次项 X_1^2、X_2^2 以及交互项 X_1X_2、X_2X_3 项的 P 值可以看出均显著，因此所选三因素与响应值相关系数 C 之间同时存在二次非线性关系以及因素间的交互作用。

表 4　方差分析

Tab. 4　Analysis of variance

变异来源	平方和	自由度	均方	F	P	显著性
模型	249.64	9	27.74	15.98	<0.000 1	**
X_1	51.95	1	51.95	30.17	0.000 3	*
X_2	22.26	1	22.26	12.93	0.004 9	*
X_3	61.16	1	61.16	35.51	0.000 1	**
X_1X_2	39.16	1	39.16	22.74	0.000 8	*
X_1X_3	5.95	1	5.95	3.46	0.092 7	
X_2X_3	10.35	1	10.35	6.01	0.034 2	*
X_1^2	21.8	1	21.8	12.66	0.005 2	*
X_2^2	37.77	1	37.77	21.93	0.000 9	*
X_3^2	1.22	1	1.22	0.71	0.420 5	
残差	17.22	10	1.72			
失拟值	7.12	5	1.42	0.71	0.644 2	
误差	10.09	5	2.02			
总变异	266.86	19				

注：$P \leqslant 0.000\ 1$ 为高度显著，用 ** 表示；$P \leqslant 0.05$ 为显著，用 * 表示；$P > 0.1$ 为不显著。

模型的显著性检验 $F = 15.98$，$P < 0.000\ 1$，二次回归方程的检验达到了高度显著；失拟性检验 $F = 0.71$ 为不显著，这说明在试验范围内模型的拟合性非常好。Design-Expert 8.0.6 的分析报告给出模型的决定系数 $R^2 = 0.922\ 3$，说明该模型可以解释其响应值 92.23% 的变化。因此，可以用此模型对打顶作业前、后棉花高度的轨迹曲线拟合度——相关系数进行分析和预测。

2.2　试验结果分析

2.2.1　单因素分析

将其中 2 个因素水平定为零，可以得到第 3 个因素相对于相关系数 C 的关系，如图 3 所示。由图 3a可以看出，相关系数 C 随台车速度的增大而减小。因为当仿形板与切割器距离、液压泵流量一定时，速度升高切割器仿形运动滞后，另外当速度过快棉花顶尖被运动的切割器推到一起，出现挤堆现象，切割性能变差。由图 3b 可以看出，随液压泵流量的升高，相关系数 C 先升高后趋于稳定。这是因为液压泵流量的升高直接影响到切割器的仿形反应速度，当小车速度和仿形板与切割器距离一定时，液压泵流量上升到一定高度，虽然切割器的反应速度提高，此时对机具仿形性影响很小，相关系数 C 也就趋于平稳。由图 3c 可以看出，相关系数 C 随仿形板与切割器距离的增大，先增大后减小。这是因为当小车速度和液压泵流量一定时，仿形板与切割器的距离过小时，会出现过度、重复切割现象，还会使仿形板、棉花顶尖、切割器间运动产生干涉；当距离过大时，切割器运动滞后，仿形板的仿形运动与切割器的垂直运动相脱节，仿形性能下降，因此相关系数 C 减小。

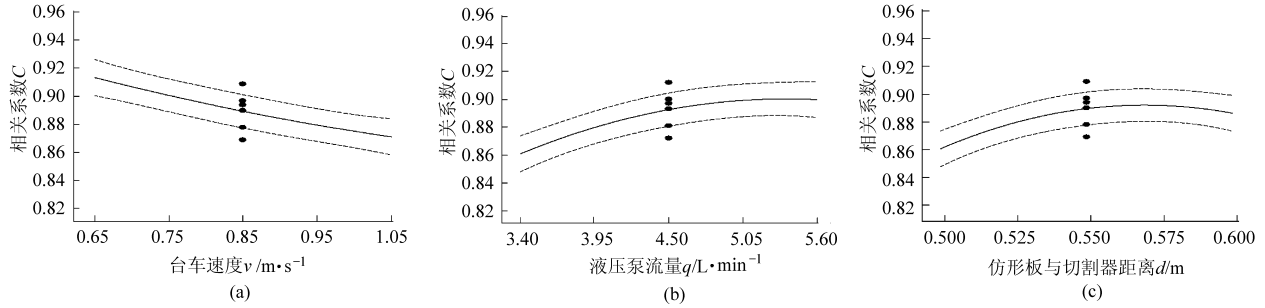

图 3　单因素与相关系数关系曲线

Fig. 3　Relationship of single factor and correlation coefficient

2.2.2　交互作用分析

图 4 为试验范围内仿形板与切割器距离 d、台车运动速度 v 以及液压泵流量 q 相对于相关系数 C 的曲面响应，确定任意一个因素为零水平，研究另外两因素的交互作用，其中 X_1X_2 交互作用最强烈，X_2X_3 次之，X_1X_3 相对较弱。这与前述的方差分析相一致。由图 4a 可以看出，仿形板与切割器距离和液压泵流量对相关系数 C 都有影响，距离增大同时流量升高都可提高仿形作业效果，即提高相关系数 C。由图 4b 看出，降低台车速度和提高仿形板与切割器距离可提高相关系数 C，当距离达到一定值时又开始降低。由图 4c 看出，相关系数 C 的最高点出现在液压泵流量的较高值以及台车速度的较低值处。综合上述变化规律，结合实际试验情况可以得出，相关系数 C 是由三因素的综合作用决定的。为了得到较好的仿形打顶效果可对各因素进行调整：①降低台车速度，减小仿形板与切割器距离，减小液压泵流量。②提高台车速度、增大仿形板与切割器距离、提高液压泵流量。

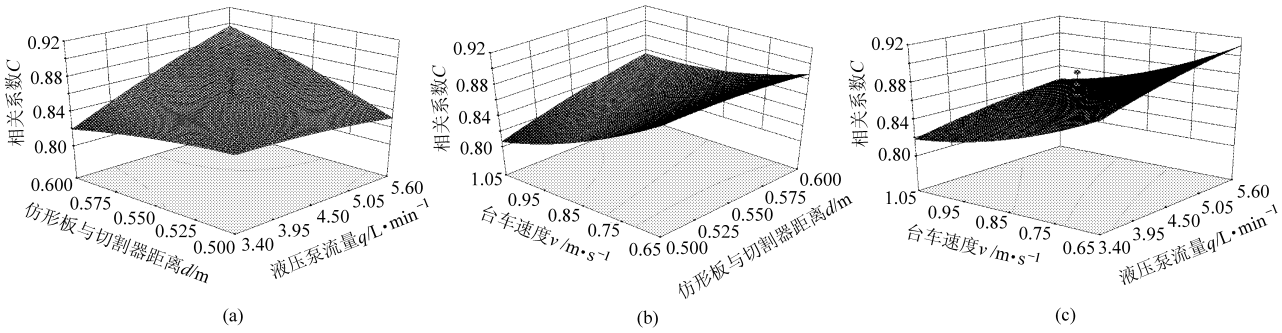

图 4 因素对相关系数影响的响应曲面

Fig. 4 Response surface of factor effect on correlation coefficient

2.2.3 参数优化

打顶作业相关系数 C 直接反映机具仿形效果及打顶质量,在试验范围内要求其值越大越好。以相关系数 C 取最大值为优化目标,建立数学模型如下:

目标函数

$$\max\ Y(x_1, x_2, x_3)$$

约束条件

$$\text{s.t.}\begin{cases} 3.4 \leqslant x_1 \leqslant 5.6 \\ 0.5 \leqslant x_2 \leqslant 0.6 \\ 0.65 \leqslant x_3 \leqslant 1.05 \\ -1 \leqslant Y \leqslant 1 \end{cases} \tag{3}$$

经寻优可得三因素优化后的数值为:液压泵流量 4.69 L/min、仿形板与切割器距离 0.543 m、台车速度 0.86 m/s,此时相关系数达 0.961。

3 优化结果验证

为了验证优化结果的可行性,2012 年 7 月12 日在石河子第八师 145 团 3 连进行田间试验[24],地块面积 6.8 hm^2,种植品种为新陆早 53 号,种植模式为一膜六行机采棉模式(66 + 10) cm,种植密度 3.15×10^5 株/hm^2,棉花长势较为均匀,平均株高 75 cm,无倒伏现象,地表较为平整。设定作业速度为 0.86 m/s,仿形板与切割器距离为 0.543 m,液压泵流量为 4.69 L/min,随机选取 3 个试验区,试验结果如表 5 所示。从验证结果可以看出,相关系数与预测值 0.961 存在一定的差异,但相对误差较小。为了验证相关系数 C 对机具仿形及打顶质量有较好的表征作用,对打顶率 η 也作了测定。试验证明,相关系数越高机具的仿形效果越好,打顶率也越高,试验结果符合预期棉花打顶作业要求。打顶率计算式为

$$\eta = \frac{n_s}{n}\times 100\% \tag{4}$$

式中 η——打顶率,%

n_s——切去顶尖的有效棉株数

n——试验区内棉花的有效棉株数

表 5 试验结果

Tab. 5 Testing results

试验区	相关系数 C	打顶率 η/%
1	0.956	93.7
2	0.945	91.2
3	0.942	90.0

4 结论

(1)借助 Design-Expert 8.0.6 软件,应用星点设计理论,建立了以相关系数为响应指标的三元二次回归模型,通过对模型单因素及交互作用的分析得出了在试验范围内相关系数与液压泵流量、仿形板与切割器距离、台车速度之间的变化规律。三因素对相关系数的影响程度由大至小依次为:台车速度、液压泵流量、仿形板与切割器距离。

(2)应用所建模型对垂直升降式单体仿形棉花打顶机结构及作业参数进行寻优,得到最佳组合为:作业速度 0.86 m/s、仿形板与切割器距离 0.543 m、液压泵流量 4.69 L/min,此时相关系数为 0.961。经田间试验验证,其结果与预测值相对误差较小。

参 考 文 献

1 周亚立,刘向新,闫向辉. 棉花收获机械化[M]. 乌鲁木齐:新疆科学技术出版社,2012.

2 胡斌,罗昕,毕新胜,等. 3MD-12 型棉花打顶机的研究设计[J]. 农机化研究,2003(1):88~90.
Hu Bin, Luo Xin, Bi Xinsheng, et al. A study of 3MD-12 type cotton's top cutter [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2003(1): 88~90. (in Chinese)

3 何磊,周亚立,刘向新,等. 浅谈新疆兵团棉花打顶技术[J]. 中国棉花,2013,40(4):5~6.
He Lei, Zhou Yali, Liu Xiangxin, et al. Discussion of cotton—topping technology in xinjiang bingtuan[J]. China Cotton, 2013, 40(4): 5~6. (in Chinese)

4 刘俊奇,王维新,赵永满. 棉花打顶机应用现状与发展趋势的研究[J]. 农机化研究,2008(9):249 ~ 251.
Liu Junqi, Wang Weixin, Zhao Yongman. The application situation and the development trends of cotton top-cutting machine[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008(9): 249 ~ 251. (in Chinese)
5 Andy A K. Cotton topper: US, 3017732[P]. 1962 - 01 - 23.
6 Tashkent Avtomobil Dorazh Inst. Arrangement for removing top foliage of cotton plants: SU, 1496693[P]. 1989 - 07 - 30.
7 胡斌,罗昕,李明志,等. 3MDY - 12 型前悬挂液压驱动式棉花打顶机[J]. 新疆农机化,2006(2):26 ~ 27.
Hu Bin, Luo Xin, Li Mingzhi, et al. 3MDY - 12 type hydraulic front suspension of cotton topping machine[J]. Journal of Xinjiang Agricultural Mechanization, 2006 (2): 26 ~ 27. (in Chinese)
8 罗昕,胡斌,王维新,等. 3MDZK - 12 型组控式单行仿形棉花打顶机[J]. 农机化研究,2008(11):136 ~ 138.
Luo Xin, Hu Bin, Wang Weixin, et al. 3MDZK - 12 type group control and single row profiling cotton topping machine[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008(11): 136 ~ 138. (in Chinese)
9 唐军,罗昕,胡斌,等. 3MDZK - 12 型单行仿形棉花打顶机的结构设计与性能试验研究[J]. 石河子大学学报:自然科学版, 2008,26(8):511 ~ 514.
Tang Jun, Luo Xin, Hu Bin, et al. Structural design and performance test and research on 3MDZK - 12 type group control and single row profiling cotton topping machine [J]. Journal of Shihezi University: Natural Science, 2008, 26(8): 511 ~ 514. (in Chinese)
10 焦心舒. 单行仿形棉花打顶机结构设计与试验[D]. 石河子:石河子大学,2012.
Jiao Xinshu. Single row profiling cotton topping machine structure design and test [D]. Shihezi: Shihezi University, 2012. (in Chinese)
11 滕华灯. 3FDD - 1800 型棉花打顶机仿形机构的设计与研究[D]. 乌鲁木齐:新疆大学,2011.
Teng Huadeng. 3FDD - 1800 type cotton topping machine's profiling mechanism design and research [D]. Urumqi: Xinjiang University, 2011. (in Chinese)
12 蒋永新,陈发,王春耀,等. 3FDD - 6 型后悬挂滚筒式棉花打顶机[J]. 中国农机化,2012(1):126 ~ 128.
Jiang Yongxin, Chen Fa, Wang Chunyao, et al. 3FDD - 6 types queen flies drum-type cotton topping machine[J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2012(1): 126 ~ 128. (in Chinese)
13 周海燕,尹素珍,朱立成,等. 3WDZ - 6 型自走式棉花打顶机设计[J]. 农业机械学报,2010,41(增刊):86 ~ 89.
Zhou Haiyan, Yin Suzhen, Zhu Licheng, et al. Design of 3WDZ - 6 self-propelled cotton top cutting[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(Supp.): 86 ~ 89. (in Chinese)
14 耿爱军,张晓辉,苗乃树,等. 3YDX - 3 型烟草打顶抑芽机设计[J]. 农业工程学报,2010,26(7):96 ~ 101.
Geng Aijun, Zhang Xiaohui, Miao Naishu, et a1. Development of 3YDX - 3 topping and restrain-germinating machine of tobacco [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(7): 96 ~ 101. (in Chinese)
15 Liu Guanghui, Luo Xin. Modeling and simulation of the height control system for cutter of cotton top-cutting machine[C]// 2011 International Conference on. Electronics, Communications and Control(ICECC), 2011: 2 127 ~ 2 130.
16 刘光辉,胡斌,杨旭海,等. 棉花打顶机切割器高度自动控制系统的设计[J]. 农机化研究,2011,33(1):115 ~ 118.
Liu Guanghui, Hu Bin, Yang Xuhai, et al. Design of an automatic height control system for cutter of cotton top-cutting machine [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2011, 33(1): 115 ~ 118. (in Chinese)
17 彭强吉,胡斌,罗昕,等. 不同打顶时间和高度对北疆高产棉花产量的影响[J]. 中国棉花,2012,39(5):23 ~ 25.
Peng Qiangji, Hu Bin, Luo Xin, et al. The experimental study on the influence of yield of cotton in different topping time and toping height in North Xinjiang [J]. China Cotton, 2012, 39(5): 23 ~ 25. (in Chinese)
18 吕绪良,贾其,荣先辉,等. 灰色关联度在光谱曲线相似度分析中的应用[J]. 解放军理工大学学报:自然科学版,2011, 12(5):496 ~ 500.
Lü Xuliang, Jia Qi, Rong Xianhui, et al. Application of degree of grey incidence on similarity of spectral curves[J]. Journal of PLA University of Science and Technology: Natural Science, 2011, 12(5): 496 ~ 500. (in Chinese)
19 储德韧,周群,郁露,等. 红外光谱阵列相关系数法在丹参鉴别中的应用[J]. 光谱学与光谱分析,2007,27(9):1 706 ~ 1 709.
Chu Deren, Zhou Qun, Yu Lu. Application of ftir array of coefficient to the identification of slviae miltiorrhizae bge [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2007, 27(9): 1 706 ~ 1 709. (in Chinese)
20 闻兵工,冯伍法,刘伟,等. 基于光谱曲线整体相似性测度的匹配分类[J]. 测绘科学技术学报,2009,26(2):128 ~ 131.
Wen Binggong, Feng Wufa, Liu Wei, et a1. Matching and classification based on the whole comparability measure of spectral curve [J]. Journal of Geomatics Science and Technology, 2009, 26(2): 128 ~ 131. (in Chinese)
21 王春林,彭海菠,丁剑,等. 基于响应曲面法的旋流泵优化设计[J]. 农业机械学报,2013,44(5):59 ~ 65.
Wang Chunlin, Peng Haibo, Ding Jian, et al. Optimization for vortex pump based on response surface method[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(5): 59 ~ 65. (in Chinese)
22 陈学庚,康建明. 梳齿式采棉机籽棉清杂系统参数优化[J]. 农业机械学报,2012,43(增刊):370 ~ 374.
Chen Xuegeng, Kang Jianming. Optimization of parameters for cotton cleaning unit of comb-type cotton picker [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(Supp.): 370 ~ 374. (in Chinese)
23 李斌,王吉奎,胡凯,等. 残膜回收机顺向脱膜机理分析与试验[J]. 农业工程学报,2012,28(21):23 ~ 28.
Li Bin, Wang Jikui, Hu Kai, et al. Analysis and test of forward film removing mechanism for polythene film collector[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(21): 23 ~ 28. (in Chinese)
24 李自学. 农作物田间试验实用手册[M]. 北京:中国农业科学技术出版,2007.