

自走式三七收获机设计与试验

张兆国 王法安 张永成 张 丹 田 蕊

(昆明理工大学现代农业工程学院, 昆明 650500)

摘要: 针对丘陵山区三七收获时费工费时、无机械化等现状,设计了一种以柴油机为动力的自走式三七收获机。该机主要由挖掘铲、刮土机构、升运器、拍土机构、收集箱等组成,利用解析作图法对挖掘铲进行分析,确定了三七和土壤混合物顺利通过挖掘铲的铲刀夹角为 96° ;对升运器运动学分析得出升运器的倾角为 25° 时三七与土混合物的破碎率最高;以升运速度、振动分离筛振动频率、碎土轴的转速为试验因素,以伤根率、收净率为评价指标进行二次旋转正交组合试验。试验结果表明:试验因素对评价指标影响由大到小依次为振动分离筛振动频率、升运速度、碎土轴转速,当升运速度为 0.78 m/s ,振动分离筛振动频率为 10 Hz ,碎土轴转速为 2.5 r/s 时,伤根率、收净率分别为 1.6% 、 96.32% 。以影响因素的最优参数组合进行验证:试验得伤根率、收净率分别为 1.6% 、 96.8% ,与计算结果一致,且符合农艺要求的收获指标。该研究为产品级的三七药材收获机的设计提供了技术参考。

关键词: 三七;收获机;设计;试验

中图分类号: S225.31 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)S0-0234-07

Design and Experiment of Self-propelled *Panax notoginseng* Harvester

Zhang Zhaoguo Wang Faan Zhang Yongcheng Zhang Dan Tian Rui

(College of Modern Agricultural Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China)

Abstract: *Panax notoginseng* harvest is waste of time and labor in hilly areas without mechanization, thus a diesel-powered self-propelled *Panax notoginseng* harvester was designed, which consisted of mining shovels, scraping soil part, elevator, compacting soil part, collection boxes and other components. Analytical mapping was used to analyze mining shovels, the angle that *Panax notoginseng* and soil mixture can successfully pass digging shovel blade was determined as 96° . It was obtained from analysis of elevator kinematics that when elevator was inclined 25° , *Panax notoginseng* harvester and soil mixture had the highest broken rate. The speed of elevators, vibration frequency of vibrating screen sieve and speed of rototiller were taken as experimental factors, and root damage rate and harvesting net rate were used to conduct second rotary orthogonal combination experiment. The results showed that the experimental factors' influences on indexes from big to small were frequency vibration of shaker, elevating speed and speed of rototiller. When elevating speed was 0.78 m/s , vibration frequency of shaker separator was 10 Hz , speed of rototiller was 2.5 r/s , the root damage rate and harvesting net rate were 1.6% and 96.32% , respectively. The optimal parameters of influential factors were adopted to verify the results. After the test, root damage rate and harvesting net rate were 1.6% and 96.8% , respectively, which was consistent with calculation results and in line with the harvesting index of agronomic requirements. The study provided a reference technology for development of product-level *Panax notoginseng* harvester for medicinal material.

Key words: *Panax notoginseng*; harvester; design; experiment

挖掘铲工作宽度 b 要与三七的种植宽度相吻合,这就要求收获机挖掘铲宽度大于垄宽 $1/2$ (左右

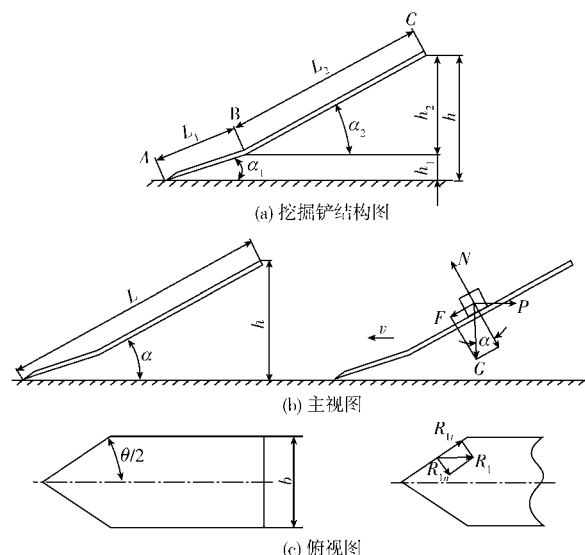


图3 挖掘铲结构简图

Fig. 3 Structure diagrams of digging shovel

半垄收获);因此挖掘铲的宽度为 $b = 700 \text{ mm}$ 。

2.1.2 铲刃夹角参数

合适挖掘铲的铲刃夹角是掘起三七与土壤混合物的保证,使三七的茎叶与根茎顺利通过挖掘铲时的受力如图3所示,它必须满足

$$R_{lt} \geq R_{ln} \mu = R_{ln} \tan \varphi_1 \quad (1)$$

其中 $\mu = \tan \varphi_1 \approx 0.85 \sim 0.90$

式中 R_{lt} ——茎叶作用于挖掘铲铲刃的摩擦力, N

μ ——茎叶对挖掘铲材料的摩擦因数

φ_1 ——摩擦角,取 $\varphi_1 = 40^\circ \sim 42^\circ$

由图3可得

$$R_1 \cos \frac{\theta}{2} \geq R_1 \sin \frac{\theta}{2} \tan \varphi_1 \quad (2)$$

$$\text{即} \quad \varphi_1 \leq 90^\circ - \frac{\theta}{2} \quad (3)$$

式中 R_1 ——作用于铲刃的阻力, N

θ ——铲刃张角

θ 角过大过小都会影响收获,根据试验表明,挖掘铲的铲刃张角 θ 在 $75^\circ \sim 120^\circ$ 时适合土壤挖掘铲角,当 θ 角大于 105° 时,三七的茎叶不易与挖掘铲刃形成并行的移动现象,并且使收获机铲前产生壅土现象,由于挖掘铲与茎叶的摩擦角大于挖掘铲与土壤的摩擦角,因此铲刃的夹角 $\theta = 96^\circ$ [18]。

2.1.3 铲面倾角参数

挖掘接触面倾角 α 与挖掘铲挖掘总长 L 由图3可得出,挖掘铲的受力图解析可得出

$$P \cos \alpha = F + G \sin \alpha \quad (4)$$

$$N = G \cos \alpha + P \sin \alpha \quad (5)$$

$$F = \mu_1 N_1 \quad (6)$$

其中

$$\mu_1 = \tan \varphi$$

式中 P ——挖掘铲的土壤阻力, N

G ——挖掘铲掘起物的重力, N

F ——挖掘铲接触土壤时的摩擦力, N

N_1 ——挖掘铲行驶土壤中的阻力, N

μ_1 ——挖掘铲在土壤所受的摩擦因数,土壤对挖掘铲的摩擦因数为: $0.577 \sim 0.721$

摩擦角 $\varphi = 30^\circ \sim 60^\circ$ 。

将式(4)~(6)联立可求得

$$\tan \alpha = \frac{P - \mu_1 G}{\mu_1 P + G} \quad (7)$$

$$P = \frac{G}{1 - \mu_1 \tan \alpha} = G \tan(\mu + \alpha) \quad (8)$$

挖掘铲在向前运行时,铲体阻力来源于挖起土壤通过铲面及切割土层产生的阻力。

铲刃切割土壤所需要的力

$$P_1 = K A_1 \quad (9)$$

式中 P_1 ——挖掘切割力, N

K ——挖掘垄沟比阻系数, $16\,000 \sim 20\,000 \text{ N/m}^2$

A_1 ——铲起来垄台的横截面积, m^2

铲体受到总阻力为

$$R = P + P_1 = G \tan(\alpha + \varphi) K A_1 \quad (10)$$

式中 R ——总阻力, N

当铲面掘起土壤与三七的混合物时, A_1 为 $0.038 \sim 0.049 \text{ m}^2$,在土壤里铲面倾角 $\alpha = 15^\circ$,摩擦角 $\varphi = 36^\circ$ [19] 时,挖掘铲上重力 G 为 $314 \sim 405 \text{ N}$,挖掘铲土壤阻力 P 为 $388 \sim 500 \text{ N}$,挖掘切割力 P_1 为 $608 \sim 980 \text{ N}$,则挖掘铲的总阻力为: $996 \sim 1\,480 \text{ N}$,三七在特殊生长情况下挖掘阻力会加大,总阻力 R 可能超过挖掘总阻力达到 $2\,800 \text{ N}$ 。如果挖掘三七的根深 h 为 $120 \sim 160 \text{ mm}$,铲面倾角 $\alpha = 15^\circ$,摩擦角 $\varphi = 36^\circ$ 时,挖掘铲的总阻力为 $1\,560 \sim 1\,986 \text{ N}$ [20],由此分析可知,工作总阻力不会超过 $5\,000 \text{ N}$ 。

2.1.4 铲体总长度参数的确定

单铲铲体总长度与挖掘接触面倾角 α_1 、 α_2 的关系如图3所示,因铲体最高点 C 距最低点 A 大于挖掘铲的挖掘深度 h ($150 \sim 200 \text{ mm}$),总长度与倾角 α 的关系式为

$$L = L_1 + L_2 = \frac{h_1}{\sin \alpha_1} + \frac{h_2}{\sin \alpha_2} \quad (11)$$

式中 L_1 ——一阶平面段长度, mm

L_2 ——二阶平面段长度, mm

α_1 ——一阶平面段与地面夹角, ($^\circ$)

α_2 ——二阶平面段与地面夹角, ($^\circ$)

根据式(11)及参照同类挖掘铲的长度,取 $L = 400 \text{ mm}$ 。

2.2 升运器总成设计

升运器是三七收获机的振动分离装置,升运器

表 2 挖掘铲参数

Tab.2 Parameters of digging shovel

参数	数值
铲体宽度/mm	700
挖铲刀夹角/(°)	96
铲面倾角/(°)	15
铲体总长度/mm	400

的长度和运动速度与三七的分离效果息息相关,并起着关键性的作用,通常选取杆条式升运器倾角为 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$ ^[20],本机选取升运器倾角 $\alpha=25^{\circ}$ 。为了增强升运器的的去土分离效果,在升运器的中间加入椭圆抖动器,抖动器主要增加升运器所移动土壤的破碎率,同时筛去破碎部分。这时,升运器相当于一个可移动的环形栅格,如图 4 所示。

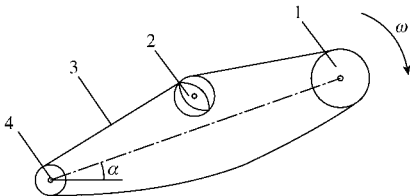


图 4 杆条式升运器结构示意图

Fig.4 Structure diagram of rod band type elevator

1. 主动轮 2. 椭圆抖动器 3. 升运器带 4. 从动轮

收获机工作时,升运器上的三七与土壤的混合物由于抖动使土壤从升运器上落下,土壤在升运器运动过程中会不断减少。由图 4 可知升运器每一点的倾角都是不同的,所以升运器每一点所受的重力都是不同的。为了加大三七与土的筛分率,可以加长升运链,但是加长了升运链又使整个升运器出现臃肿,机器的可靠性迅速下降。

图 4 为升运器传动结构图,由于围在拖带轮上的杆条是由多边形组成^[20],由主动链轮进行匀速转动时,链轮上的杆条纵向运动线速度和杆条横向运动速度会形成有规律性的周期变化,主动轮上杆条的传动示意图如图 5 所示。

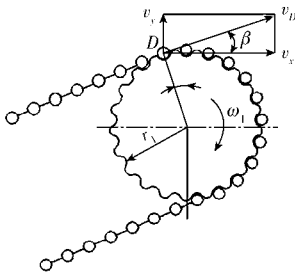


图 5 杆条速度变化简图

Fig.5 Viscosity changing graph of rod band type elevator

设升运器的主动轮转动时,节圆转动半径为 r_1 ,角速度为 ω_1 ,由图 5 可知,若以链条的最紧边 D 点为研究点,则

$$v_D = r_1 \omega_1 \tag{12}$$

将 v_D 分解为水平方向的分速度 v_x 与垂直方向的分速度 v_y

$$\begin{cases} v_x = v_D \cos \beta = r_1 \omega_1 \cos \beta \\ v_y = v_D \sin \beta = r_1 \omega_1 \sin \beta \end{cases} \tag{13}$$

β 的变化范围是从 $-\frac{180^{\circ}}{Z}$ 到零再到 $\frac{180^{\circ}}{Z}$,当 $\beta = \pm \frac{180^{\circ}}{Z}$ 时,杆条速度 v_x 最小, v_y 为最大,则

$$v_{x\min} = r_1 \omega_1 \cos \left(\frac{180^{\circ}}{Z} \right) \tag{14}$$

$$v_{y\max} = r_1 \omega_1 \sin \left(\frac{180^{\circ}}{Z} \right) \tag{15}$$

当 $\beta=0$ 时,链速最大, v_y 为最小,则

$$v_{x\max} = r_1 \omega_1 \tag{16}$$

$$v_{y\min} = 0 \tag{17}$$

当 D 点由图 5 所示绕拖带轮转过 $\frac{360^{\circ}}{Z}$ 时,链速

就形成了规律性的周期变化,升运链每转一次其链节速度都会重复一次。杆条间的间距越大,其杆条速度的变化也越大。杆条在运动过程中进行周期性变化,使杆条上所输送的三七与土混合物进行运动与振动,在重力的影响下杆条运动使其不均匀转动与振动,加大三七与土混合物与杆条间摩擦与杆条的抖动,增强了杆条的抖动对三七与土混合物的分离。如果链转动时转速过高,弹起的三七由于在弹起前土壤的减少,三七由高处落下就容易损伤。

由试验知,对于根类收获物,当作物由一定高度跌落时,根茎类作物会有一定量的损伤,三七在升运器上能弹起高度 $H_{\max} < 150\text{ mm}$ 为最好。设三七被升运器弹起时的,由竖直方向上的瞬时线速度与升运器竖直方向的瞬时线速度相等。

三七根茎弹起时的最大高度为

$$H_{\max} = \frac{v_{y\max}^2}{2g} \tag{18}$$

$$H_{\max} = \frac{v_{y\max}^2}{2g} = \frac{\left(r_1 \omega_1 \sin \frac{180^{\circ}}{Z} \right)^2}{2g} \tag{19}$$

因此,当三七块茎被弹起的最大高度小于 150 mm 时,就能最大限度减少三七的损伤。

2.3 自走式三七收获样机

采用 CATIA 软件对三七收获机零件建立几何模型,并进行装配连接,用 ADAMS-view 进行运动学仿真,以检查零件之间的干涉,仿真表明;三七收获机之间不存在干涉现象,结构设计相对合理。

3 样机田间试验与分析

性能试验于 2015 年 11 月 25 日在云南省文山



图6 三七收获机样机试制

Fig.6 Prototype of *Panax notoginseng* harvester

州丘北县白色姑村文山七丹药业股份有限公司商品三七种植基地进行。三七收获期间基本情况如下：三七平均垄宽1 400 mm,平均垄高200 mm,三七和土壤的混合物平均厚度100~150 mm,三七平均直径26.3 mm,土壤含水率13.2%,土壤松软,粘性小,土壤的黏结力适中,天气晴,收获时平均温度24.5°,相对湿度71%。

3.1 试验设计

为探究样机关键参数对收获稳定性的影响,进行了二次正交旋转组合试验,试验以升运器升运速度、振动分离筛振动频率、碎土轴转速为试验因素,通过变换收获机的传动带轮实现升运速度、振动分离筛振动频率、碎土轴的转速的多级调整,以三七块根收获后伤根率、收净率为优化指标,试验后用Design-Expert 8.0 5b 软件对数据进行处理,建立了回归方程与优化方案,得到试验指标影响主次关系与最优组合,各因素编码表见表3。

表3 因素水平编码

Tab.3 Coding of factors and levels

编码	因素		
	升运速度	振动分离筛振动频率	碎土轴速度
	$x_1/(m\cdot s^{-1})$	x_2/Hz	$x_3/(r\cdot s^{-1})$
-1	0.70	8	2.25
0	0.78	10	2.50
1	0.86	12	2.75

3.1.1 多因素试验结果与分析

根据二次旋转正交组合试验来进行试验,以升运器的升运速度、振动分离筛振动频率、碎土轴的转速为试验因素,以三七块根收获后伤根率、收净率为优化指标,试验结果如表4所示。

3.1.2 方差分析

对回归模型中各项回归系数进行F检验和方差分析,伤根率与收净率方差分析结果如表5所示。

对表5中的数据进行二次回归拟合分析,选择二次项模拟建立伤根率 y_1 、收净率 y_2 与其他影响因素之间的回归模型,去除不显著后,得到了 y_1 、 y_2 对

表4 试验方案和试验结果

Tab.4 Experiment scheme and results

试验序号	升运速度 X_1	振动分离筛 振动频率 X_2	碎土轴 转速 X_3	伤根率 $y_1/\%$	收净率 $y_2/\%$
1	0	0	0	2.00	95.94
2	-1	0	1	3.04	91.19
3	-1	-1	0	3.54	88.29
4	1	-1	0	2.95	92.08
5	0	-1	-1	4.69	90.17
6	0	1	1	3.26	93.99
7	1	0	-1	3.42	89.54
8	-1	0	-1	4.07	85.78
9	-1	1	0	2.90	90.52
10	1	1	0	2.57	93.16
11	0	0	0	1.93	96.42
12	1	0	1	2.80	91.27
13	0	0	0	1.60	96.32
14	0	1	-1	3.29	92.46
15	0	-1	1	3.76	92.79

升运速度、振动分离筛振动频率、碎土轴的转速的二次多元的回归方程为

$$y_1 = 72.55 - 43.30x_1 - 0.43x_2 - 27.50x_3 + 0.287x_1x_2 + 1.3x_1x_3 + 0.23x_2x_3 + 22.58x_1^2 + 0.13x_2^2 + 4.69x_3^2 \quad (20)$$

$$y_2 = -562.55 + 724.58x_1 + 11.78x_2 + 234.07x_3 + 0.76x_1x_2 - 26.3x_1x_3 - 2.4x_2x_3 - 410x_1^2 - 0.29x_2^2 - 36.2x_3^2 \quad (21)$$

由表5可知,目标函数 y_1 、 y_2 的模型失拟分别为0.3563与0.0907,均大于0.05,证明无失拟因素的存在,可以用回归方程代替试验真实试验结果进行分析。

由方差分析可知,伤根率 y_1 、收净率 y_2 模型的 p 值分别为0.0054、0.0006均小于0.05。对于目标函数 y_1 ,因素 x_2x_3 、 x_3x_3 极显著,因素 x_2 、 x_3 显著;对于目标函数 y_2 ,因素 x_3 、 x_2x_3 、 x_3x_3 极显著,因素 x_2 、 x_1x_2 、 x_2x_3 显著。 F 值表示对各个影响因素的试验指标的影响, F 值越大影响越大,由表知对伤根率与收净率影响程度从大到小是: x_2 、 x_1 、 x_3 。

3.1.3 响应曲面分析

将试验指标影响最小的碎土轴的转速控制在0水平,取值为2.5 r/s,研究升运速度、振动分离筛振动频率两因素对伤根率 y_1 、收净率 y_2 的影响规律,得到其对应的响应曲面,如图7所示。当碎土轴的转速为2.5 r/s,升运速度为 $x_1 = 0.78$ m/s、振动分离筛振动频率为 $x_2 = 10$ Hz时,伤根率 y_1 存在最优值,为1.6%,当碎土轴转速为2.5 r/s、升运速度为 $x_1 = 0.78$ m/s、振动分离筛振动频率为 $x_2 = 10$ Hz时、收净率 y_2 存在最优值,为96.32%。

表 5 伤根率与收净率的二次项模型方差分析

Tab.5 ANOVA of quadratic models for root damage rate and net rate

方差来源	伤根率						收净率					
	自由度	平方和	均方	F	p	显著性	自由度	平方和	均方	F	p	显著性
模型	9	1.90	0.21	13.31	0.005 4	**	9	123.01	13.66	32.725 0	0.000 6	**
x_1	1	0.08	0.08	5.53	0.065 3		1	13.18	13.18	31.565 9	0.002 5	
x_2	1	0.20	0.20	13.05	0.015 3	*	1	5.78	5.78	13.838 7	0.013 7	*
x_3	1	0.24	0.24	15.16	0.011 5	*	1	15.93	15.93	38.147 5	0.001 6	**
x_1^2	1	0.01	0.013	0.83	0.404 0		1	0.33	0.33	0.791 5	0.414 4	
x_1x_2	1	0.004	0.004	0.26	0.628 5		1	3.38	3.38	8.105 9	0.035 9	*
x_1x_3	1	0.052	0.0529	3.32	0.128 0		1	0.29	0.29	0.711 1	0.437 5	
x_2^2	1	0.18	0.18	11.82	0.018 5	*	1	60.88	60.88	145.779	0.000 1	**
x_2x_3	1	0.95	0.95	59.89	0.000 6	**	1	4.911	4.91	11.759 1	0.018 7	*
x_3^2	1	0.31	0.31	19.94	0.006 6	**	1	27.33	27.33	65.444 0	0.000 5	**
残差	5	0.07	0.015				5	2.08	0.41			
失拟	3	0.059	0.01	1.95	0.3563		3	1.96	0.65	10.187 5	0.090 7	
误差	2	0.02	0.01				2	0.12	0.06			
总和	14	1.98					14	125.1				

注：p<0.01,极显著,用“**”表示;p<0.05,显著,用“*”表示。

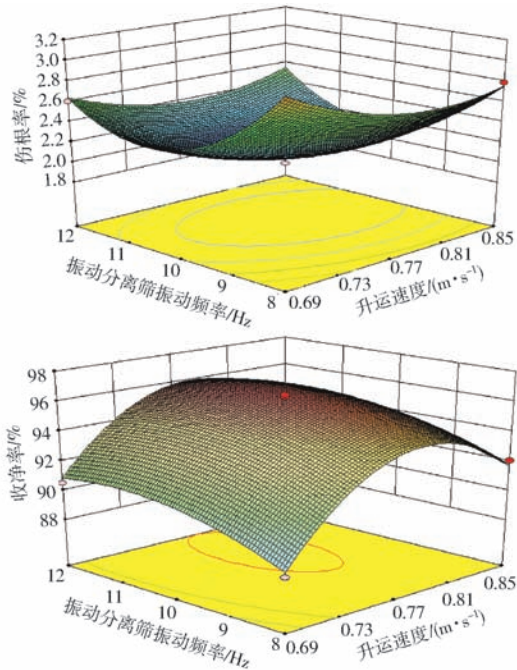


图 7 振动分离筛振动频率和升运速度对伤根率与收净率的响应曲面

Fig.7 Response surfaces of root damage rate and harvesting net rate to vibration frequency and speed of elevator

3.1.4 最佳参数组合的确定

通过二次旋转正交组合试验,需要确定影响收获的最优组合,从而提高收净率与降低伤根率,提高整个三七收获的工作效率。根据农艺要求,保证三七收净率在 92% 以上,伤根率在 4% 以下即可,利用 Design-Expert 8.0 5b 软件对回归方程进行优化得到收获工况最佳组合。碎土轴转速 x_3 为 2.5 r/s,升运速度 x_1 为 0.78 m/s、振动分离筛振动频率 x_2 为

10 Hz,此组为最优参数组合。

3.2 验证试验

由优化分析得到最优的参数组合,于 2016 年 1 月 16 日在云南省文山州丘北县七丹药业股份有限公司 GAP 种植基地进行验证试验。根据二次旋转正交组合试验后的优化结果,对选取最优参数组合进行验证试验。同时检验收获宽度、收获深度和碎土率 3 项收获指标,以验证分析最优的参数组合对收获机的稳定性又进行 12 组的重复试验,重复验证的试验结果如表 6 所示。

表 6 验证试验结果

Tab.6 Test result of verification

参数	数值
收获深度/mm	180
收获宽度/mm	1 400
碎土率/%	86
伤根率/%	1.6
收净率/%	96.8

4 结论

- (1)设计的自走式三七收获机一次可完成挖掘、刮土、分离、振动、收集等作业。该机成本低廉、转弯半径很小,适宜丘陵山区地带作业。
- (2)通过三因素二水平二次旋转正交组合试验,得出各影响因素对伤根率和收净率进行田间试验。试验表明,试验后伤根率和收净率分别为 1.6% 和 96.8%,计算得结果基本一致,且收获机适宜耕作的农艺要求。

参考文献

- 1 卢汝梅,黄志其,李兵,等.三七化学成分[J].中国实验方剂学杂志,2016(7):62-64.
LU Rumei, HUANG Zhiqi, LI Bing, et al. Chemical constituents of *notoginseng* radix et rhizoma[J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2016(7):62-64. (in Chinese)
- 2 崔秀明,朱艳.三七实用栽培技术[M].福州:福建科学技术出版社,2013:1-3.
- 3 于进川.悬挂式三七挖掘收获机的研制与试验[D].昆明:昆明理工大学,2015.
- 4 魏宏安,王蒂,连文香,等.4UFD-1400型马铃薯联合收获机的研制[J].农业工程学报,2013,29(1):11-17.
WEI Hongan, WANG Di, LIAN Wenxiang, et al. Development of 4UFD-1400 type potato combine harvester[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(1):11-17. (in Chinese)
- 5 张顺,熊玮,朱德泉,等.根茎类中草药收获机械设计[J].中国农机化学报,2016,37(3):27-33.
ZHANG Shun, XIONG Wei, ZHU Dequan, et al. Design on rhizome Chinese herbal medicine harvesting machinery[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2016, 37(3):27-33. (in Chinese)
- 6 金鑫,杜新武,王世光,等.胡萝卜收获机根茎分离装置设计与试验[J].农业机械学报,2016,47(3):82-89.
JIN Xin, DU Xinwu, WANG Shiguang, et al. Design and experiment of stems cutting device for carrot harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(3):82-89. (in Chinese)
- 7 鹿光耀,尚书旗,王东伟,等.胡萝卜联合收获机对顶部件的研究[J].农机化研究,2016(2):119-122.
LU Guangyao, SHANG Shuqi, WANG Dongwei, et al. Study on lacy components of carrot garvester[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2016(2):119-122. (in Chinese)
- 8 王申莹,胡志超,彭宝良,等.基于ADAMS的甜菜收获机自动对行探测机构仿真[J].农业机械学报,2013,44(12):62-67.
WANG Shenyong, HU Zhichao, PENG Baoliang, et al. Simulation of auto-follow row detection mechanism in beet harvester based on ADAMS[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(12):62-67. (in Chinese)
- 9 尚书旗,李国莹,杨然兵,等.4HQL-2型全喂入花生联合收获机的研制[J].农业工程学报,2009,25(6):125-130.
SHANG Shuqi, LI Guoying, YANG Ranbing, et al. Development of 4HQL-2 type whole-feed peanut combine[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(6):125-130. (in Chinese)
- 10 刘德然,王延耀,王循进,等.4S-6型大蒜收获机的研制开发[J].新疆农机化,2010,32(4):31.
LIU Deran, WANG Yanyao, WANG Xunjin, et al. Manufacture and exploitation of 4S-6 type garlic harvester[J]. Xinjiang Agricultural Mechanization, 2010, 32(4):31. (in Chinese)
- 11 宋江,邱胜蓝,王新忠.4B-1200型平贝母药材收获机的设计与试验[J].农业工程学报,2015,31(8):34-41.
SONG Jiang, QIU Shenglan, WANG Xinzong. Design and test on 4B-1200 type bulbous fritillariae ussuriensis medicinal material harvester[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(8):34-41. (in Chinese)
- 12 郑德聪,赵美香,陈恭良,等.4SB-800型半夏收获机的设计[J].农业工程学报,2007,23(10):141-144.
ZHENG Decong, ZHAO Meixiang, CHEN Gongliang, et al. Design of 4SB-800 harvesting machine for pinellia ternate breit[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(10):141-144. (in Chinese)
- 13 吕美巧.小型元胡收获机的研制[D].南京:南京农业大学,2013.
- 14 陈学深,马旭,陈国锐,等.深根茎类中药材根土分离装置的研究[J].机械设计,2015(7):65-70.
CHEN Xueshen, MA Xu, CHEN Guorui, et al. Research on soil-rhizome separating device of deep-rhizome Chinese herbal medicines[J]. Journal of Machine Design, 2015(7):65-70. (in Chinese)
- 15 杨文彩,朱有勇,杜迁,等.基于农机农艺融合的三七机械化精密播种系统研究[J].广东农业科学,2014,41(2):175-180.
YANG Wencai, ZHU Youyong, DU Qian, et al. Systematic study on notoginseng mechanized precision seeding based on integration of agricultural machinery and agronomy[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2014, 41(2):175-180. (in Chinese)
- 16 杨文彩,朱有勇,杜迁,等.云南三七工厂化育苗工程技术体系分析[J].南方农业学报,2012,43(12):2069-2073.
YANG Wencai, ZHU Youyong, DU Qian, et al. Engineering and technology system analysis on pseudo-ginseng industrial seedling production in Yunnan[J]. Journal of Southern Agriculture, 2012, 43(12):2069-2073. (in Chinese)
- 17 王天果,安军芳,张学斌,等.犁铧式深根茎类药材收获机的设计与研究[J].农机化研究,2016(2):87-90.
WANG Tianguo, AN Junfang, ZHANG Xuebin, et al. The research of the deep root traditional Chinese medicine harvesting machinery by colter type[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2016(2):87-90. (in Chinese)
- 18 李彦晶.4U-1400FD型马铃薯联合收获机挖掘装置的参数优化与结构设计[D].兰州:甘肃农业大学,2011.
- 19 张建.4M-2型马铃薯联合收获机优化设计与仿真[D].兰州:甘肃农业大学,2008.
- 20 卡那沃依斯基 C Z(波兰).收获机械[M].曹崇文,译.北京:中国农业机械出版社,1983.
- 21 封莉.马铃薯挖掘机筛分系统的性能研究[D].保定:河北农业大学,2004:11-14.