

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.07.009

虎杖根系脱土装置设计与试验*

陈学深¹ 马旭^{1,2} 武涛¹ 陈国锐¹ 曾令超¹ 李荣超¹

(1. 华南农业大学工程学院, 广州 510642; 2. 华南农业大学南方农业机械与装备关键技术教育部重点实验室, 广州 510642)

摘要: 为了实现中药材虎杖根系机械化脱土,设计了一种由击打辊、翻抛辊和栅板等组成的脱土装置。通过试验确定了辊指长度为40 mm,运用速度矢量投影定理确定了翻抛辊指布置的螺旋升角范围为 $60.5^\circ \sim 78.4^\circ$,应用 Matlab 软件采用描点拟合作图法得到击打辊与翻抛辊轴心的水平距离与物料尺寸呈幂函数关系,并确定了此距离范围为180~275 mm。性能试验表明,通过物料的随机振动、自身翻转、交替击打、逐层脱土等综合作用,装置的工作性能得到了明显提高。当击打辊转速为500 r/min、翻抛辊转速为240 r/min、两辊轴水平距离为230 mm时,脱净率为91.2%,生产率为1.35 t/h,满足虎杖根系药用生产要求。

关键词: 虎杖 脱土装置 设计 试验

中图分类号: S225.99 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)07-0059-07

Design and Experiment of Roots – Soil Separating Device of Knotweeds

Chen Xueshen¹ Ma Xu^{1,2} Wu Tao¹ Chen Guorui¹ Zeng Lingchao¹ Li Rongchao¹

(1. College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

2. Key Laboratory of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment, Ministry of Education, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Knotweeds are important medicinal materials in China, which have good effect in restoring circulation, dispersing stasis and relieving cough. During the knotweeds root processing, they are hit many times omnidirectionally to separate it from the soil. In order to separate knotweeds from the soil in a mechanical way, a roots – soil separating device of knotweeds was designed, which consists of hitting roller, turning-throwing roller, grille, etc. In the experiment, it was found that finger length had influence on soil-divorcing. The range of spiral angle of turning-throwing roller finger pole which is 180 ~ 275 mm, was set through velocity vector projection theorem. On the other hand, the relationship between the horizontal distance about axle centers of two rollers and the size of knotweeds was developed by fitting tool of Matlab software. The result showed that rate of soil-divorcing and efficiency were 91.2% and 1.35 t/h, on condition that speed of hitting roller, turning-throwing roller and horizontal distance of two roller were 500 r/min, 240 r/min and 230 mm, respectively, and therefore the device met the manufacturing requirements. It provided reference for research of soil-divorcing of crops.

Key words: Knotweeds Roots – soil separating device Design Experiment

引言

虎杖属蓼科植物,其根茎可入药,具有活血、散瘀、通经、镇咳等功效^[1-2]。近年来随着药用价值的

开发,人工种植规模逐年扩大。然而虎杖的收获处理一直困扰着广大种植户。根据药用的农艺要求和药厂回收要求,挖出的虎杖根系要进行先期处理,一般分为肢解(为方便脱土和切片而分割成小块)、脱

收稿日期:2014-10-23 修回日期:2014-12-23

* 国家自然科学基金资助项目(51175188)

作者简介:陈学深,博士生,主要从事现代农业技术装备研究,E-mail: chenxs@scau.edu.cn

通讯作者:马旭,教授,博士生导师,主要从事现代农业技术装备研究,E-mail: maxu1959@scau.edu.cn

土、清洗、切片、晾晒和包装。这一系列过程中脱土环节极为关键,生产实践发现,虎杖根系裹夹的土壤越少,后续的清洗越容易;也使虎杖夹带的杂质大为减少,更有利于提高切片的质量和延长刀具的使用寿命。而目前虎杖根系脱土基本为人工摔打或利用工具敲打,其脱土效率十分不理想,劳动强度大,增加了生产成本,使种植户的经济收入降低。为此,实现虎杖根系脱土机械化,是实现虎杖药用产业化、规模化发展亟需解决的问题。

现有的根茎类作物收获脱土机械,如块茎类的马铃薯等收获机^[3-4]和长根茎类的人参、黄芪和党参等收获机^[5-8]的脱土作业机理不能满足虎杖根系脱土的要求,因虎杖根系具有更为复杂的生理结构。主根、支根、须根与周围土壤交错连粘在一起,其贯穿剪切面的主根、支根在根系的作用就像锚杆一样,使根系与土体紧紧的连在一起,保持根系与土体的稳定,其作用机理与混凝土中的钢筋类似,形成根系的锚固理论;细长的须根相互交织成网状与土体具有摩擦、咬合、粘附等作用,增强了根土复合体的固土强度,形成根系的加筋理论。因此,虎杖根系与土体共同形成一种特殊的复合材料——根土复合体^[9-10]。

关于根土复合体实现脱土,国内已开展一些相关研究^[11-18],但这些研究的根土分离技术物料外形尺寸较为均一,且脱土机理对物料的损伤较大。而虎杖根系个体形状差异较大,而且为保护药用价值,不应损伤过大。因此不能采用上述分离机理实现根系脱土。

为此,本文设计一种双辊式脱土装置,采用两辊同向旋转、上下斜向布置,增大作业空间,弱化对物料个体形状差异的要求。并在作业中实现物料自身翻转、逐层脱土,有效降低机械对物料的损伤。

1 虎杖根系的特性

虎杖属多年生灌木状草本,高1~1.5 m。生长外貌如图1a所示。虎杖根系为药用主体部分,其根系生长外貌如图1b所示。

根状茎在地下横向生长,呈圆柱形,有分枝,长



图1 虎杖生长情况图

Fig.1 Growth situation of knotweeds

(a) 虎杖种植地 (b) 虎杖根系

短不一,有的可长达30 cm,直径0.5~2.5 cm,节部略膨大。质坚硬,不易折断,折断面棕黄色,呈纤维性,皮部与木部易分离,皮部较薄,木部占大部分,呈放射状,中央有髓或呈空洞状,纵剖面具横隔^[19]。根据虎杖根系的生长特性,针对主根和支根形成的锚固固土方式,采用振动、撞击机理更有利于松碎土壤。而须根和细小支根交错成网状对土壤有加筋作用,宜采用梳刷机理脱土。

2 总体结构与工作原理

设计的虎杖脱土装置结构如图2所示。主要由电动机、变频调速系统、击打辊总成、栅板、翻抛辊总成、机架和传动系统等组成。

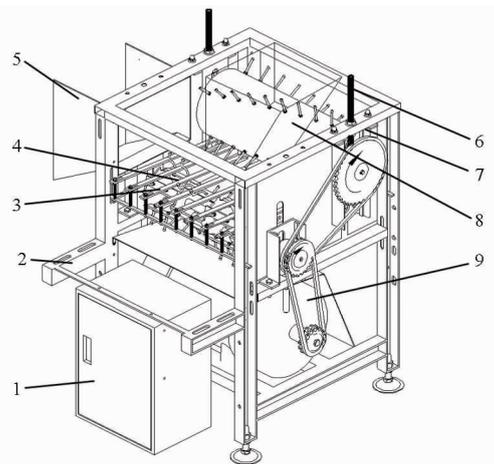


图2 虎杖脱土装置结构图

Fig.2 Structure of a roots - soil separating device of knotweeds

1.变频调速装置 2.机架 3.击打辊总成 4.栅板 5.出料口
6.翻抛辊位置调整装置 7.翻抛辊总成 8.进料口 9.电动机

工作前,对物料进行预处理,将体积异常大的虎杖根系分割成适当大小,既满足机具工作要求,提高作业可靠性;又提高了脱土效率,降低了能耗。工作时,虎杖根系由进料口进入,落到栅板上。由栅板下方高速旋转的击打辊总成上的梳刷辊指作业部分(辊指末端伸出栅板的部分)对物料底部实现连续击打,实现梳刷脱土;其上的升抛辊指圆弧部分使物料周期性抬升,并在重力作用下回落,实现物料的振动脱土,同时,升抛辊指使物料撞击到上方的翻抛辊总成上,实现撞击脱土。上方同向旋转的翻抛辊总成的翻抛辊指使物料一端被升起,因升起和击打分别作用在物料的侧面和底部,这种“同向异位”的作用力使物料产生一自转力扭,可实现边击打边翻转,周向逐层脱土;由于翻抛辊总成上的辊指采用断续螺旋布置,物料受击打的同时,也受螺旋推力的作用而沿轴向移动。最终,脱土后的物料从出料口落下,完成脱土过程。

3 关键部件设计与参数确定

击打和翻抛辊总成构成虎杖根系脱土核心部件。在作业中两辊的有效配合可使物料在有序翻转的同时,实现击打、振动、撞击和梳刷等复合作用。其运动参数和辊指结构、布置方式及两辊轴的水平距离决定了脱土效果。

3.1 击打辊总成设计

击打辊主要由击打辊轴、连接盘、安装条板、梳刷辊指及升抛辊指等组成,总成结构如图 3 所示。增加辊指数量,可增加对物料的作业次数,提高梳刷效果,但功耗也随之增加。综合考虑,击打辊轴向布置 8 排辊指,每排沿圆周布置 4 个辊指,以两排辊指为一组,相邻两组辊指在圆周上错开 45°。击打、升抛辊指通过紧固螺母固定在安装条板上,每组安装条板上固定 3 对梳刷辊指和 1 对升抛辊指,每排辊指轴向间距 55 mm。根据梳刷与升抛需要,击打辊的辊指在平面上的印记展开如图 4 所示。

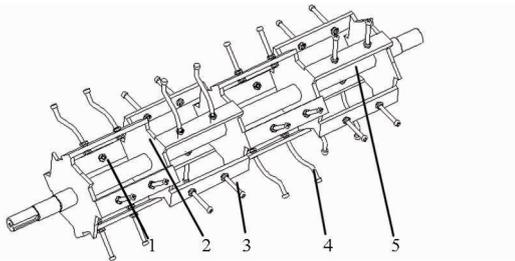


图 3 击打辊总成结构图

Fig. 3 Assembly structure diagram of a hitting roller

1. 安装条板 2. 连接盘 3. 梳刷辊指 4. 升抛辊指 5. 辊轴

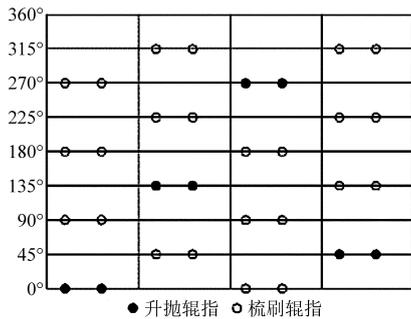


图 4 击打辊指印记展开图

Fig. 4 Mark diagram of hitting roller finger

3.1.1 梳刷辊指

梳刷辊指采用周向断续、轴向交错布置,使梳刷辊指作业部分能交替作用在物料上,起到降低功耗的作用。同时,在辊指末端设计成半径为 5 mm 的半球形,其作用是增大击打力度;减少尖锐部分对物料造成的机械损伤,增强梳刷脱土作业效果。在击打辊旋转工作时,击打辊转速和梳刷辊指作业长度决定了物料的脱土效果和脱土方式。为了合理设计

其参数,在物料无损脱土的情况下(击打辊转速在 500 r/min 以下),通过试验方法确定,具体是比较物料在装置中作业 15 s 时脱净率(物料脱去的土壤与脱前包裹土壤的质量百分比,下同)与其参数的关系。试验结果如图 5 所示。可明显看出脱净率随梳刷辊指的转速增加而增大,梳刷辊指作业长度在 40 mm 时,脱土效果最好。主要原因在于梳刷辊指作业长度过小使击打和梳理作用效率降低;过大虽增强了物料击打、撞击脱土方式,但同时弱化了梳刷脱土方式的作用效果。因此,梳刷辊指作业长度确定为 40 mm。

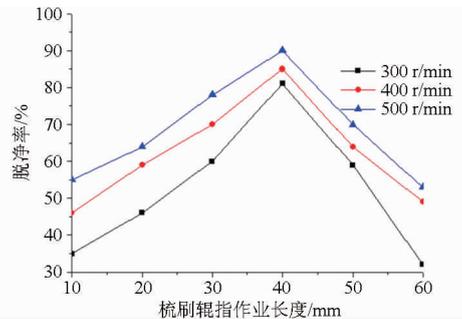


图 5 梳刷辊指作业长度与脱净率关系折线图

Fig. 5 Relational line between design effective length of comb roller finger and rate of soil-divorcing

3.1.2 升抛辊指

为了提高升抛辊指的升抛能力,升抛辊指形状由圆弧、直线两部分构成。升抛辊指在升抛过程中的受力分析如图 6 所示。

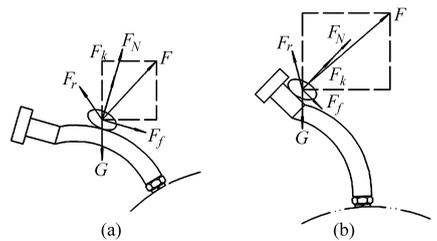


图 6 升抛辊指在升抛过程中的受力分析

Fig. 6 Force analysis of raising-throwing finger pole during raising-throwing movement

(a) 抬升运动 (b) 抛掷运动

图中 F_f 为物料受到的摩擦力, N ; G 为物料受到的重力, N ; F_r 为物料受到的离心力, N ; F_k 为物料受到的科氏力, N ; F_N 为物料受到的指杆对其的支撑力, N 。物料在辊指圆弧部分运动时,受到离心力 F_r 、科氏力 F_k 、支撑力 F_N 的作用,其合力 F 在竖直方向的分力使得物料能沿圆弧轨迹向上抬升运动,并在重力作用下回落。此运动随升抛辊指的旋转而周期性的作用在物料上,使之产生振动,增强脱土效果。物料在辊指直线部分运动时,物料受到摩擦力 F_f 、科氏力 F_k 、支撑力 F_N ,其合力在水平方向的

分力使得物料能向翻抛辊方向加速运动。此运动与翻抛辊总成配合,可增强对物料裹夹土壤的撞击破碎。

3.2 翻抛辊总成设计

翻抛辊总成主要由翻抛辊和4排辊指组成,辊指呈螺旋布置,轴向间距为55 mm。其结构如图7所示。在整个装置中起到对物料翻抛、轴向输送的作用。翻抛辊指的参数主要有辊指转速、长度和螺旋升角。

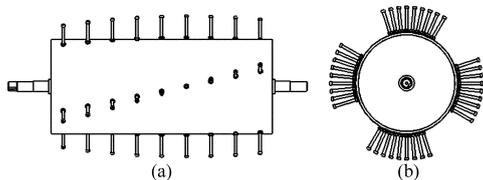


图7 翻抛辊结构图

Fig.7 Structure of turning-throwing roller

(a) 俯视图 (b) 侧视图

3.2.1 翻抛辊指转速与长度

翻抛辊转速和翻抛辊指长度影响物料的翻转效果,进而影响物料脱净率。在物料无损脱土情况下(击打辊转速为500 r/min),仍通过试验方法确定,具体是比较物料在装置中作业15 s时,翻抛辊转速和翻抛辊指长度对物料脱净率的影响规律,试验结果如图8所示。

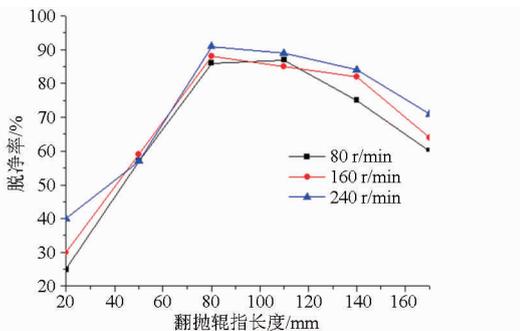


图8 翻抛辊指长度与脱净率关系折线图

Fig.8 Relational line between length of turning-throwing roller and rate of soil-divorcing

从图中明显看出,脱净率随翻抛辊转速提高而略有增加,但试验中发现,过大的转速物料会被翻抛辊指卷起并发生回带现象,而转速变小,物料脱土效率会降低。因此,本机选取翻抛辊转速范围为80~240 r/min。脱净率随翻抛辊指长度变化呈先增后减趋势,在20~80 mm范围时,脱净率增大明显,在80~140 mm时,脱净率略有下降,超过140 mm下降迅速。分析原因在于辊指长度过短,导致升起物料的成功率过低。辊指过长会使物料向前推行,同样不利于物料翻转。因此,翻抛辊指长度为80 mm,可有效翻转物料。

3.2.2 翻抛辊指螺旋升角

翻抛辊指螺旋升角是指螺旋线的切线与垂直于辊轴轴线的平面夹角。其大小影响物料在机具上的脱土时间(物料轴向输送时间)。以距离翻抛辊轴心任意点 r 处的物料质点 M 作为研究对象,如图9所示。

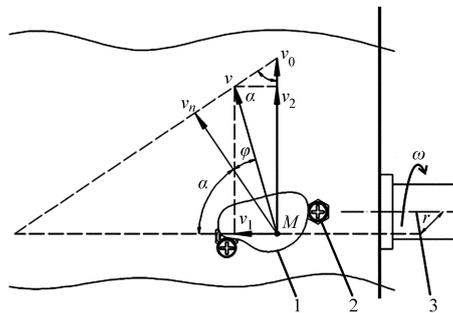


图9 虎杖的运动速度分析

Fig.9 Velocity analysis of knotweeds

1. 物料 2. 翻抛辊指 3. 翻抛辊轴心

根据速度矢量投影定理求解点 M 的运动速度,并考虑辊指摩擦,则虎杖所在点 M 的速度为

$$v = \frac{v_n}{\cos \varphi} = \frac{v_0 \sin \alpha}{\cos \varphi} = \frac{n \pi D \sin \alpha}{60 \cos \varphi} \quad (1)$$

式中 v_n ——不计摩擦时点 M 的速度, m/s

φ ——摩擦角, ($^\circ$)

v_0 ——点 M 的牵连速度, m/s

α ——螺旋升角, ($^\circ$)

n ——翻抛辊转速, m/s

根据几何关系,对速度 v 分解,得到物料轴向输送速度 v_1 为

$$v_1 = v \cos(\alpha + \varphi) = \frac{n \pi D \sin \alpha}{60 \cos \varphi} \cos(\alpha + \varphi) \quad (2)$$

同时, v_1 为虎杖轴向输送速度,也满足

$$v_1 = \frac{L_1}{t} \quad (3)$$

式中 L_1 ——翻抛辊的长度, mm

t ——保证虎杖脱净率达80%以上的用时, s

通过试验可测定, $t = 10 \sim 15$ s。

根据式(2)和式(3),并代入 $D = 290$ mm, $L_1 = 600$ mm, $n = 80 \sim 240$ r/min, $\varphi = 11^\circ \sim 27^\circ$ [20]。确定螺旋升角 α 范围为 $60.5^\circ \sim 78.4^\circ$,本机螺旋升角 α 取 70° 。

3.3 击打辊轴和翻抛辊轴水平距离确定

击打辊总成对物料产生击打、抬升和加速作用。翻抛辊总成对物料产生翻转、回抛以及轴向输送作用。在两辊结构、运动参数确定情况下,物料的脱土效果还取决于两辊轴水平距离,合适的距离可提升辊指对物料的翻转效果。

物料翻转过程如图10所示,因虎杖挖出后形状

大多是一个不规则的球体,分析时物料外形简化为基本能反映实际的椭球体。以翻抛辊的中心为坐标原点 O 建立坐标系, P 为物料中心点; Q 、 T 分别为两辊指与物料的作用点; R_1 、 R_2 分别为翻抛辊指和梳刷辊指末端到各自旋转中心的距离, 设计为 $R_1 = 145 \text{ mm}$, $R_2 = 98 \text{ mm}$; l_p 为 T 到栅板的垂直距离; d 为栅板到原点 O 的距离, 设计为 $d = 124 \text{ mm}$; h 、 s 分别为两辊的垂直距离和水平距离, 其中 $h = 165 \text{ mm}$; θ 为物料的转角; φ 为翻抛指杆作用的相位角; F_p 为物料受到击打辊指的击打力。

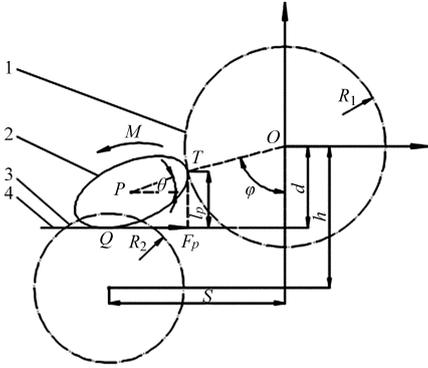


图 10 击打和翻抛辊位置关系示意图

Fig. 10 Schematic graph of position relationship between hitting roller and turning and throwing roller

1. 翻抛辊指末端运动轨迹
2. 物料
3. 击打辊指末端运动轨迹
4. 栅板

翻抛辊指旋转升起物料一端,因转速低于击打辊转速,在翻转过程中与物料的接触点可看做支点。在辊指击打力 F_p 一定时,较小的物料所对应的力臂 l_p 小,使物料受到辊指作用的翻抛力矩 $M = F_p l_p$ 也变小。所以,在相同条件下物料越小,越难翻转。多次试验表明,在辊指长度确定下,物料尺寸在 $220 \text{ mm} \times 110 \text{ mm}$ 以下时,物料在两辊间无规律撞击,虽也可脱土,但物料翻转情况不受装置所控。因此,需根据物料尺寸来确定两辊水平距离范围。

要实现物料有序翻转,翻抛辊指需使物料转角达到 90° 。由于物料大小差异,外形大致简化为椭球体(图 10 平面内设长轴长度为 a ,半轴长度为 b ,二者比值 $c = a/b$ 。经过对物料的测量, c 取值在 1 ~ 3 之间)。根据物料(椭圆)转角在 90° 时与翻抛辊指运动轨迹(圆)相切公用切线得到关系式,在关系式中对半轴长度 b (b 为 $110 \sim 220 \text{ mm}$) 每间隔 5 mm 进行取值描点,应用 Matlab 软件进行拟合(相关系数大于 0.999 4)作图求出两轴水平距离 S 与 b 之间呈幂函数关系。关系曲线如图 11 所示。当 c 处于整数极值时拟合关系为

$$S = \begin{cases} 62.93b^{0.3143} & (c = 1) \\ 128.1b^{0.1717} & (c = 3) \end{cases}$$

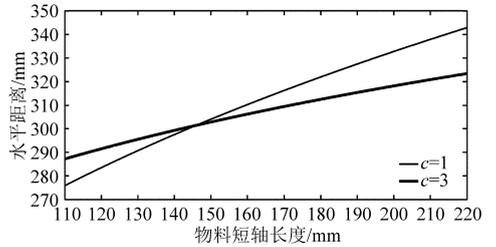


图 11 不同物料短轴长度与两辊水平距离关系曲线

Fig. 11 Relationship between size of knotweeds and horizontal distance between two rollers

从图中可以看出要使所有物料都能有序翻转,要满足 $S \leq 276 \text{ mm}$ 。另外,根据机具的结构设计参数,为避免两辊的辊指轨迹相交发生运动干涉, $S \geq 178 \text{ mm}$ 。因此,圆整两辊轴水平距离范围为 $180 \text{ mm} \leq S \leq 275 \text{ mm}$ 。此距离范围可使翻抛辊指作用物料的转角达到 90° ,实现有序翻转。

4 试验

为了验证上述设计方法和装置的工作原理,进行了样机试验。试验地点为华南农业大学工程实验室,试验装置及试验现场如图 12 所示。



图 12 样机试验

Fig. 12 Experiment of prototype

4.1 试验材料

试验虎杖选自广东省肇庆市怀集县冷坑镇虎杖种植基地。根据文献和试验,虎杖等作物的根土复合体,当土壤含水率为 $15\% \sim 20\%$ 时,土壤呈现较为松碎的状态,此时易于根系脱土^[21]。因此,本试验物料经 32 h 的风干晾晒后,测其含水率为 15% 左右后再用于脱土作业。

4.2 试验方法

试验方法参考 GB/T 5667—2008《农业机械生产试验方法》。测试指标包括根系脱净率、生产率、损伤率等。通过试验发现,在虎杖根系含水率为 15% 时,虎杖根系强韧,在击打辊指击打长度为 40 mm 情况下,只要击打辊转速不大于 580 r/min ,基本不会发生根茎的折断或根系表皮因机械损伤而出现部分脱落现象。因此,试验设定击打辊最高转速为 500 r/min 时,可不考虑损伤率。

各测试指标计算方法如下:

(1) 脱净率

虎杖根系脱净率是衡量样机脱土性能的关键参

数,其定义为装置脱去的土壤与投入装置前根系所包裹土壤的质量百分比。根土脱净率计算方法为

$$T = \frac{W_1 - W_2}{W_1 - W_3} \times 100\% \quad (4)$$

式中 T ——根系脱净率, %

W_1 ——投入装置的根土复合体总质量, kg

W_2 ——经装置脱土后含残余土壤的根系总质量, kg

W_3 ——不含残余土壤的净根系总质量, kg

(2) 生产率

生产率为单位时间内处理虎杖根土复合体质量, 生产率计算方法为

$$E = \frac{3.6nW_4}{t_1} \quad (5)$$

式中 E ——生产率, t/h t_1 ——用时, s

n ——投入装置的物料数量

W_4 ——投入装置的物料净平均质量, kg

根据装置设计原理, 对击打辊转速、翻抛辊转速以及两辊轴水平距离进行 3 因素、3 水平的正交试验。试验因素及水平如表 1 所示。每次试验选取 20 棵虎杖根土复合体, 每次做 3 组, 数据取平均数。试验结果如表 2 所示。

表 1 试验因素及水平

Tab. 1 Experimental factors and levels

水平	因素		
	击打辊转速	翻抛辊转速	两辊轴水平距离
	$A/(r \cdot \min^{-1})$	$B/(r \cdot \min^{-1})$	C/mm
1	300	80	180
2	400	160	230
3	500	240	275

4.3 试验结果分析

由表 2 试验结果分析表明: 各因素影响脱净率的主次顺序为击打辊转速、翻抛辊转速、两辊轴水平距离, 影响生产率的主次顺序为翻抛辊转速、两辊轴水平距离、击打辊转速。脱净率最优组合为 $A_3B_3C_3$, 即击打辊转速 500 r/min、翻抛辊转速 240 r/min、两辊轴水平距离 275 mm, 但此组合不在正交表内, 进一步试验表明, 虎杖脱净率为 91.8%, 生产率为 1.15 t/h。生产率最佳组合为最优组合为 $A_3B_3C_2$, 即击打辊转

速 500 r/min、翻抛辊转速 240 r/min、两辊轴水平距离 230 mm, 脱净率为 91.2%, 生产率为 1.35 t/h。比较两者, 脱净率差异不大, 但生产率前者下降较大。所以, 综合考虑脱净率和生产率, 最优组合为 $A_3B_3C_2$, 即击打辊转速 500 r/min、翻抛辊转速 240 r/min、两辊轴水平距离 230 mm。此时, 脱净率为 91.2%, 生产率为 1.35 t/h。

表 2 正交试验结果

Tab. 2 Results of orthogonal experiment

试验号	击打辊转速 $A/(r \cdot \min^{-1})$	翻抛辊转速 $B/(r \cdot \min^{-1})$	两辊轴水平距离 C/mm	脱净率 $T/\%$	生产率 $E/(t \cdot h^{-1})$
1	300	80	180	82	0.71
2	300	160	230	85.1	0.78
3	300	240	275	87.4	0.72
4	400	80	230	80.9	0.69
5	400	160	275	83.1	0.66
6	400	240	180	84.7	1.32
7	500	80	275	89.0	0.60
8	500	160	180	84.0	0.87
9	500	240	230	91.2	1.35
K_1	84.83/0.74	83.97/0.67	83.57/0.97		
K_2	83.00/0.89	84.07/0.77	85.73/0.94		
K_3	88.07/0.94	87.77/1.13	86.50/0.66		
R	5.07/0.20	3.80/0.46	2.93/0.31		

5 结论

(1) 设计了一种新型虎杖脱土装置。采用击打辊和翻抛辊同向旋转、异位击打的方式, 使物料在翻转的同时施以振动、击打和梳理等复合脱土作业形式。

(2) 通过理论分析和试验研究确定了虎杖脱土装置关键部件的结构与运动参数。通过试验优化了梳刷辊指作业长度和翻抛辊指长度; 应用 Matlab 软件拟合分析得到击打辊与翻抛辊轴心的水平距离与物料尺寸呈幂函数关系, 并确定了此距离的范围, 有效地提高了本装置的工作性能。

(3) 试验研究表明, 在击打辊转速 500 r/min、翻抛辊转速 240 r/min、两辊轴水平距离 230 mm 的最优参数组合下, 脱净率为 91.2%, 生产率为 1.35 t/h, 满足虎杖根系药用脱土的要求。

参 考 文 献

- 孔晓华, 周玲芝. 中药虎杖的研究进展[J]. 中医药导报, 2009, 15(5): 107-110.
Kong Xiaohua, Zhou Lingzhi. Study progress of giant knotweed rhizome[J]. Guiding Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy, 2009, 15(5): 107-110. (in Chinese)
- 伍晓春, 陆豫. 虎杖的药理作用及临床应用研究进展[J]. 中医药信息, 2005, 22(2): 22-25.
Wu Xiaochun, Lu Yu. Research progress of pharmacological action and clinical application of *Polygonum cuspidatum* [J]. Information on Traditional Chinese Medicine, 2005, 22(2): 22-25. (in Chinese)

- 3 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)
- 4 邵世禄,万芳新,魏宏安,等. 我国马铃薯收获机械研制与发展的研究[J]. 中国农机化,2010(3):34-39.
Shao Shilu,Wang Fangxin, Wei Hongan, et al. Study on development of potato harvest machinery in China [J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2010(3): 34-39. (in Chinese)
- 5 胡志超,彭宝良,尹文庆,等. 多功能根茎类作物联合收获机设计与试验[J]. 农业机械学报,2008,39(8):58-61.
Hu Zhichao, Peng Baoliang, Yin Wenqing, et al. Design and experiment on multifunctional root-tuber crops combine [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(8): 58-61. (in Chinese)
- 6 王俊发,马旭,马浏轩,等. 根茎类中药材收获装备现状及其收获工艺[J]. 农机化研究,2009,32(12):242-243.
Wang Junfa, Ma Xu, Ma Liuxuan, et al. The current states and technology study of harvesting equipments of rhizome traditional Chinese medicinal materials[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009,32(12):242-243. (in Chinese)
- 7 孙叶强,王俊发,邹爱华. 长根茎类中草药收获机的试验研究[J]. 佳木斯大学学报:自然科学版,2010,28(3):380-383.
Sun Yejiang, Wang Junfa, Zou Aihua. Research on the combine for long rhizomatic traditional Chinese medicine [J]. Journal of Jiamusi University: Natural Science Edition, 2010,28(3):380-383. (in Chinese)
- 8 杨传华,葛宜元,魏天路,等. 深根茎中药材双重振动挖掘机构的研究[J]. 农机化研究,2011,33(8):110-114.
Yang Chuanhua, Ge Yiyuan, Wei Tianlu, et al. Study on dual-vibration mechanism used in digging of deep-root Chinese herbal medicine [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2011,33(8):110-114. (in Chinese)
- 9 周云艳,徐琨,陈建平. 基于CT扫描与细观力学的植物侧根固土机理分析[J]. 农业工程学报,2014,30(1):1-9.
Zhou Yunyan, Xu Kun, Chen Jianping. Mechanism of plant lateral root reinforcing soil based on CT scan and mesomechanics analysis [J]. Transactions of the CSAE,2014,30(1):1-9. (in Chinese)
- 10 盖小刚. 林木根系固土力学特性研究[D]. 北京:北京林业大学,2013.
Gai Xiaogang. Study of mechanical properties of tree root reinforcing soil [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2013. (in Chinese)
- 11 杨新义. 玉米根茬根土分离装置的设计与研究[D]. 长春:吉林大学,2011.
Yang Xinyi. Design and study on the roots and soil separation device of maize stubble [D]. Changchun: Jilin University, 2011. (in Chinese)
- 12 徐宝库. 玉米根茬收获机整机的结构设计及优化[D]. 长春:吉林大学,2012.
Xu Baoku. Structural design and structure optimization of corn stubble harvester [D]. Changchun: Jilin University, 2012. (in Chinese)
- 13 Quan Longzhe, Tong Jin. Design and experiment on corn stubble screening conveyor device [C] // 2011 International Conference on New Technology of Agricultural Engineering (ICAEE), 2011:29-33.
- 14 Tong J, Quan L Z, Zeng B G. Design and experiment on stubble harvester [J]. International Agricultural Engineering Journal, 2011, 20(2): 8-13.
- 15 权龙哲. 玉米根茬收获模式及采收机理[D]. 长春:吉林大学,2012.
Quan Longzhe. Corn stubble harvest mode and mechanisms [D]. Changchun: Jilin University, 2012. (in Chinese)
- 16 权龙哲,佟金,曾百功,等. 玉米根茬收获系统的有限元模态分析与试验[J]. 农业工程学报,2011,27(11):15-20.
Quan Longzhe, Tong Jin, Zeng Baigong, et al. Finite element mode analysis and experiment of corn stubble harvester [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(11): 15-20. (in Chinese)
- 17 权龙哲,张丹,曾百功,等. 玉米根茬抖动升运机构的建模与优化[J]. 农业工程学报,2013,29(3):23-29.
Quan Longzhe, Zhang Dan, Zeng Baigong, et al. Modeling and optimizing dither mechanism for conveying corn stubble [J]. Transactions of the CSAE, 2013,29(3): 23-29. (in Chinese)
- 18 武涛,马旭,齐龙,等. 玉米根茬根土分离装置[J]. 农业机械学报,2014,45(6):133-139.
Wu Tao, Ma Xu, Qi Long, et al. Roots-soil separating device of corn stubble [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014,45(6): 133-139. (in Chinese)
- 19 潘标志,王邦富. 虎杖规范化种植操作规程[J]. 江西林业科技,2008,36(6):33-38.
Pan Biaoqi, Wang Bangfu. Standardized cultivation practices of polygonum cuspidatum [J]. Jiangxi Forestry Science and Technology,2008,36(6): 33-38. (in Chinese)
- 20 胡志超,彭宝良,谢焕雄,等. 升运链式花生收获机的设计与试验[J]. 农业机械学报,2008,39(11):220-222.
Hu Zhichao, Peng Baoliang, Xie Huanxiong, et al. Design and test operation chained peanut harvesting machine [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008,39(11):220-222. (in Chinese)
- 21 曾百功. 玉米根茬收集装置研制及关键机构机理分析[D]. 长春:吉林大学,2013.
Zeng Baigong. Development of maize stubble harvesting machine and mechanism analysis of its key components [D]. Changchun: Jilin University, 2013. (in Chinese)