

柔性刷辊式葡萄藤清土机设计与试验

李金明^{1,2} 张佳喜^{1,2} 王茂博³ 杨兴元⁴ 王毅超^{1,2}

(1. 新疆农业大学机电工程学院, 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆智能农业装备重点实验室, 乌鲁木齐 830052;

3. 乌鲁木齐优尼克生物科技有限公司, 乌鲁木齐 830052; 4. 新疆农业大学食品科学与药学学院, 乌鲁木齐 830052)

摘要:为解决新疆地区现有葡萄藤清土机械伤藤率高、彩条布上方大量覆土影响葡萄藤清土上架和彩条布回收的问题,采用柔性刷辊设计了一种刷辊式葡萄藤清土机。该机关键部件为清土装置,作业时通过清土刷的旋转运动和横向伸缩机构的往复运动将彩条布上方的覆土清除。首先进行清土刷结构设计和材料选择,然后对清土刷工作过程进行运动学理论分析,得到影响清土机作业性能的主要参数。通过单因素试验确定清土刷转速、横向伸缩机构往复速度、清土刷回转直径的合理取值范围,以清土刷转速、横向伸缩机构往复速度、清土刷回转直径为试验因素,以清土率和伤藤率为评价指标,开展三因素三水平正交试验。试验结果表明,各试验影响因素对清土率和伤藤率的影响显著性大小顺序为清土刷转速、横向伸缩机构往复速度、清土刷回转直径。较优参数组合为:清土刷转速 250 r/min、横向伸缩机构往复速度 0.14 m/s 和清土刷回转直径 600 mm,在此参数组合下进行 3 次验证试验取平均值,清土率为 90.98%,伤藤率为 3.27%,与优化值相对误差均小于 5%,证明样机设计合理。

关键词: 刷辊式; 葡萄藤; 清土机; 正交试验

中图分类号: S224.9

文献标识码: A

文章编号: 1000-1298(2024)02-0138-11

OSID:



Design and Experiment of Brush Roll Grapevine Soil Clearing Machine

LI Jinming^{1,2} ZHANG Jiayi^{1,2} WANG Maobo³ YANG Xingyuan⁴ WANG Yichao^{1,2}

(1. School of Mechanical and Electrical Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China

2. Xinjiang Key Laboratory of Intelligent Agricultural Equipment, Urumqi 830052, China

3. Urumqi Yunik Biotechnology Co., Ltd., Urumqi 830052, China

4. College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: In order to solve the problems of existing grapevine soil clearing machines in Xinjiang region, such as high injury rate and a large amount of soil over the color-striped cloth affects the grapevine soil clearing on the shelves and recovery of the color-striped cloth, a kind of brush roll grapevine soil clearing machine was designed by using a flexible brush. Its core component of the machine was the soil clearing device, which removed the soil above the color-striped cloth through the rotating motion of the soil clearing brush and the reciprocating motion of the transverse telescoping mechanism. Firstly, the structure and material of the soil clearing brush was designed, then the kinematic theory analysis of the working process of the soil clearing brush was analyzed, and the main parameters affecting the operating performance of the soil clearing brush was obtained. The reasonable range of rotation speed of soil clearing brush, reciprocating speed of transverse telescopic mechanism and clearing brush rotation diameter were determined by single-factor test, taking the rotation speed of soil clearing brush, reciprocating speed of transverse telescopic mechanism and clearing brush rotation diameter as the influencing factors, and taking the soil clearing rate and grapevine injury rate as the evaluation indexes, the three-factor and three-level orthogonal test was carried out. The test results showed that the order of significance of each factor on the soil clearing rate and grapevine injury rate was rotation speed of soil clearing brush, reciprocating speed of transverse telescoping mechanism and clearing brush rotation diameter. The optimal combination of parameters was the rotation speed of soil clearing brush of

收稿日期: 2023-07-16 修回日期: 2023-09-21

基金项目: 新疆维吾尔自治区科技支疆项目(2022E02110)和新疆维吾尔自治区天山创新团队项目(2020D14037)

作者简介: 李金明(1996—),男,博士生,主要从事收获机械装备研究, E-mail: 1935347351@qq.com

通信作者: 张佳喜(1973—),男,教授,博士生导师,主要从事循环农业技术与装备研究, E-mail: 13899961137@qq.com

250 r/min, the reciprocating speed of the transverse telescoping mechanism of 0.14 m/s and the clearing brush rotation diameter of 600 mm, and the average value of three validation tests under this parameter combination, the soil clearing rate was 90.98% and the grapevine injury rate was 3.27%. The research result can provide reference for the mechanization technology of grapevine clearing in Xinjiang.

Key words: brush roll type; grapevine; soil clearing machine; orthogonal test

0 引言

葡萄是新疆地区重要的经济作物之一,根据中国统计年鉴显示我国 2021 年葡萄产量为 1.4998×10^7 t,新疆地区葡萄产量为 3.27×10^6 t,占全国产量 21.80%,且产量呈持续增加的趋势^[1-3]。新疆地区纬度较高冬季气候寒冷干燥,葡萄藤在低温条件下容易冻伤或者冻死,影响来年的产量^[4-5]。因此,新疆地区大多采用冬季将葡萄藤下架、铺设彩条布并在彩条布上方覆盖土壤使葡萄藤保温越冬^[6-7]。目前,已经形成了各种葡萄藤清土机,这些葡萄藤清土机大多以刚性部件为主,在作业时容易造成彩条布破损和葡萄藤损伤。因此,研制柔性作业清土机对降低伤藤率和彩条布破损率具有重要意义^[8]。

国外的葡萄生产区主要在西班牙、葡萄牙、法国、德国、美国等温带和热带地区,冬季温和多雨,葡萄藤冬季不需要埋土和春季清土,故未见相关研究报道^[9-13]。近年来,国内科研人员也取得了一些研究成果。曾保宁等^[14]、刘芳建等^[15]设计了一种刚性作业部件清土机,该机器作业时贴近葡萄藤容易损伤葡萄藤;牛丛等^[16]设计了气吹梳刷组合式葡萄藤防寒土清除机,该机器能够降低葡萄藤损伤率,但对土壤物理性能参数要求高。目前,大多数接触式清土机多采用刚性部件,伤藤率较高,针对柔性清土部件清除彩条布顶部覆土的研究较少。

本文针对新疆昌吉地区采用彩条布覆土防寒模式以及现有清土机械易损伤葡萄藤和彩条布,影响后续彩条布回收和葡萄起藤上架的问题,设计一种柔性刷辊葡萄藤清土装置。通过运动学分析确定关键部件工作参数取值范围,确定清土部件最优工作参数组合并结合田间试验进行验证。

1 机具结构与工作原理

1.1 机具结构

刷辊式葡萄藤清土机适用于新疆昌吉地区采用彩条布上方覆土防寒模式,冬季来临之前将葡萄藤修剪下架、捆绑并放置在水泥柱一侧,然后在葡萄藤上方铺设彩条布并用土壤覆盖,形成的埋土垄横截面近似于等腰梯形^[17-19],形状如图 1 所示,土垄上底宽 d 为 500 ~ 600 mm、下底宽 a 为 800 ~ 900 mm、

彩条布上方覆土厚度 c 为 200 ~ 300 mm,水泥柱宽度 e 为 100 mm。根据前期实地调研,新疆昌吉葡萄种植区土壤类型大部分为沙壤土,土壤结构疏松,采用柔性清土刷工作阻力较小^[20]。

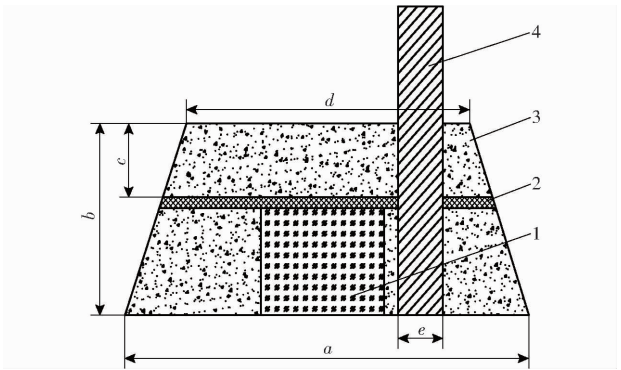


图 1 埋藤土垄截面尺寸示意图

Fig. 1 Schematic of cross-sectional dimensions of buried soil for grapevines

1. 葡萄藤 2. 彩条布 3. 防寒土 4. 水泥柱

刷辊式葡萄藤清土机的整机结构如图 2 所示,主要由机架、液压系统、清土装置、横向伸缩机构、高度调节装置等部件组成。

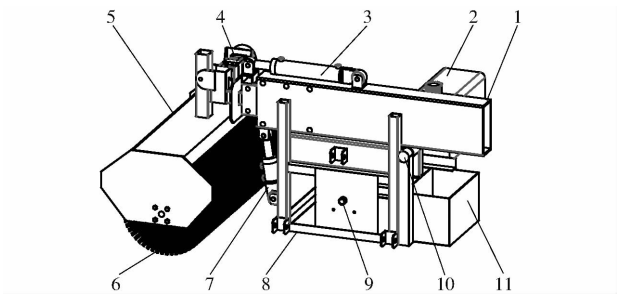


图 2 刷辊式葡萄藤清土机结构示意图

Fig. 2 Schematic of brush roll grapevine soil clearing machine

1. 横向伸缩机构 2. 液压油箱 3. 伸缩液压油缸 4. 液压马达
5. 清土刷安装架 6. 清土刷 7. 高度调节液压缸 8. 机架
9. 动力输入轴 10. 旋转轴 11. 配重箱

1.2 工作原理与技术参数

葡萄藤清土机通过三点悬挂装置与拖拉机连接,固定在拖拉机后方。液压工作站由双联液压泵、溢流阀、液压马达、液压油缸等组成,双联液压泵将动力输入轴机械能转化为液压能,一路将动力传递给液压马达为清土装置提供动力,液压马达转速可通过节流阀调节^[21];另外一路将动力传递给伸缩液压油缸实现横向伸缩机构往复运动。通过操纵手柄

控制高度调节液压缸伸出或者缩回以调节机具作业高度。葡萄藤清土机作业时,通过清土装置旋转运动与横向伸缩机构往复运动共同配合,将彩条布上方的覆土抛撒到葡萄行间,清土过程如图 3 所示。机具主要技术参数如表 1 所示。

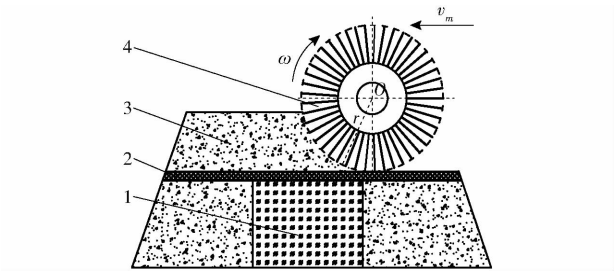


图 3 清土机工作原理图

Fig. 3 Working principle diagram of soil clearing machine
1. 葡萄藤 2. 彩条布 3. 防寒土 4. 清土装置

表 1 葡萄清土机主要技术参数

Tab.1 Main parameters of grapevine soil clearing machine

参数	数值/类型
整机尺寸(长×宽×高)/(mm×mm×mm)	1 750×1 500×1 200
工作幅宽/mm	1 500
驱动方式	液压驱动
作业形式	间歇式
挂接形式	三点悬挂
作业行数	1
伤藤率/%	≤10
清土率/%	≥85

2 关键部件设计

清土装置是清土机主要的工作部件,由清土刷轴、柔性毛刷和清土刷安装机架等组成,4 根 20 mm×20 mm 方管均匀焊接在清土刷轴上,柔性毛刷通过金属条中间卡槽与方管连接,固定在清土刷轴上,清土刷辊由多层柔性毛刷从清土刷轴一端依次向另一端套压而成,两端用压板通过螺栓固定,方便刷片更换;清土刷轴通过带座轴承安装在清土刷安装架上。经过前期田间调研,清土装置的长度对作业效率有一定的影响,为了提高清土效率,结合昌吉地区葡萄种植模式,本文设计清土装置长度为 1 500 mm。清土装置结构如图 4 所示。

2.1 清土装置传动系统设计

清土装置的传动系统主要由液压马达、链轮、链条、清土刷轴和轴承座等组成,其作用是把液压泵提供的液压能通过液压马达和链传动系统传递到清土刷,完成彩条布顶部覆土的清除,清土装置传动原理如图 5 所示。

本文根据前期试验综合考虑选取传动比 $i = 2$, 转速 $n_1 = 300 \text{ r/min}$, 小链轮齿数 $z_1 = 19$ 。结合

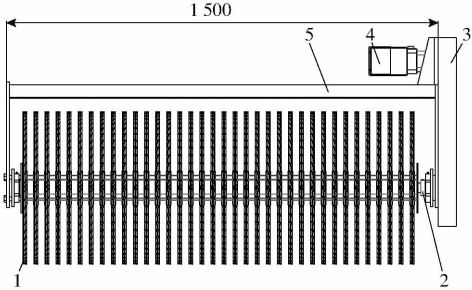


图 4 清土装置结构示意图

Fig. 4 Schematic of structure of brush roll soil cleaning device

1. 刷辊 2. 轴承 3. 链传动装置 4. 液压马达 5. 安装机架

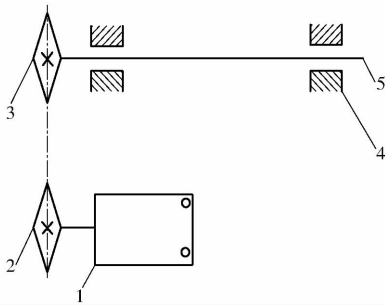


图 5 清土装置传动原理图

Fig. 5 Transmission diagram of soil clearing device

1. 液压马达 2. 液压马达驱动链轮 3. 清土刷轴从动链轮
4. 轴承 5. 清土刷轴

《农业机械设计手册》通过计算可得出清土部件链条型号为 12A-2, 链轮齿数 $z_1 = 19, z_2 = 38$, 链节数 $L_p = 91$, 中心距 $a_0 = 560 \text{ mm}$ 。

2.2 清土刷设计

2.2.1 土壤颗粒脱离刷片条件分析

清土刷在清土作业过程中,土壤颗粒与刷丝相互接触、摩擦,通过清土刷旋转刷丝产生冲击力完成清土作业。由于刷丝为柔性材料,所以当清土刷接触彩条布或葡萄藤时,理论上只会产生自身的弯曲变形,不会对彩条布或者葡萄藤产生破坏。以清土刷的中心为坐标系原点 O , 右侧为 x 轴, 垂直方向为 y 轴, 分析土壤颗粒在点 P 的受力情况, 横向伸缩机构往复运动速度为 v_m , 如图 6 所示。

为了便于分析,将土壤颗粒简化到某一根刷丝上进行受力分析,则土壤颗粒在某一根刷丝上的分离条件为

$$F_x > T \tag{1}$$

其中

$$\begin{cases} T = \mu F_y = F_y \tan \beta \\ F_x = F_y \tan(\alpha - \gamma) \end{cases} \tag{2}$$

式中 α —— F_y 与 N 夹角, ($^\circ$)

γ —— F 与 N 夹角, ($^\circ$)

β ——土壤颗粒沿刷丝表面移动的摩擦角, ($^\circ$)

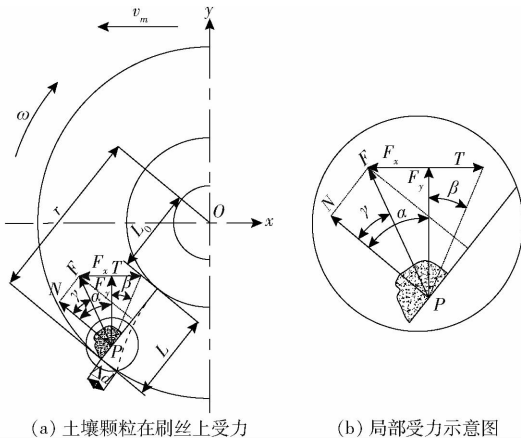


图 6 土壤颗粒位于刷片时受力示意图

Fig. 6 Diagram of forces on soil particles when they were located on brush blade

μ ——土壤颗粒与刷丝摩擦因数

F_x ——土壤颗粒水平方向受力, N

F_y ——土壤颗粒竖直方向受力, N

T ——摩擦阻力, N

联立式(1)、(2)可得

$$F_y \tan(\alpha - \gamma) > F_y \tan \beta \quad (3)$$

由图 6 可知 $\gamma \approx \beta$, 则土壤颗粒在刷丝上的分离条件为

$$\alpha > 2\beta \quad (4)$$

随着清土刷的旋转, α 进一步减小, 土壤颗粒逐步脱离柔性刷丝, 并使得刷丝产生弯曲变形。

2.2.2 清土刷材料的选择

柔性刷一端固定在清土刷轴上, 另外一端则为自由状态, 参考材料力学将土壤颗粒与刷丝接触的瞬间看作为悬臂梁的结构, 为了便于计算, 将土壤颗粒质量简化为 $m^{[22]}$ 。如图 6 所示, 柔性刷丝受到的载荷与变形量关系式为

$$k_d = 1 + \sqrt{1 + \frac{v^2}{g\Delta s_t}} \quad (5)$$

$$\Delta s_t = \frac{mgL^3}{3EI} \quad (6)$$

$$\Delta d = k_d \Delta s_t \quad (7)$$

将式(5)、(6)代入式(7)可得

$$\Delta d = \left(1 + \sqrt{\frac{mg^2L^3 + 3v^2EI}{mg^2L^3}}\right) \frac{mgL^3}{3EI} \quad (8)$$

式中 k_d ——动载荷系数

E ——弹性模量, MPa

I ——惯性矩, mm^4

L ——刷丝长度, mm

Δs_t ——悬臂梁受等量静载荷产生的最大挠度

Δd ——柔性刷丝变形量, mm

v ——清土刷圆周速度, m/s

由式(8)可知, 柔性刷丝变形量 Δd 与刷丝长度 L 、抗弯强度以及清土刷圆周速度 v 有关, 因此选择合适的刷丝材料和结构对清土作业性能影响较大。

彩条布经过反复使用, 出现老化、抗拉强度和力学性能大幅下降现象, 在清除彩条布顶部覆土的过程中与清土部件接触和摩擦, 导致彩条布破损或造成葡萄藤损伤, 因此清土部件材质的选取至关重要。清土部件材料要求具有耐磨性、抗弯性和一定的弹性。参考《农业机械设计手册》, 常用柔性材料有尼龙、橡胶、PE 丝、塑料等, 经前期预试验, 对比不同材料特性, 选取尼龙 6 作为清土刷材料, 尼龙 6 具有耐磨损、弹性强、寿命长、抗磨损等优点, 有利于降低彩条布破损率和葡萄藤损伤率, 是理想的刷丝材料^[22]。参考现有清雪机刷片, 刷片类型主要分为凹凸型刷片和平型刷片, 本文采用凹凸型刷片, 能够减轻清土装置重量。

2.2.3 土壤颗粒离开刷片运动学分析

清土刷将彩条布顶部覆盖的土壤颗粒破碎, 并在清土刷旋转运动与横向伸缩机构往复运动的共同作用下将彩条布顶部覆土抛向机具一侧, 为研究土壤离开清土刷之后的运动规律, 将土壤简化为质量为 m 的土壤颗粒, 对土壤颗粒与清土刷分离后的运动轨迹进行分析。土壤颗粒离开清土刷之后做匀速运动, 考虑空气阻力和土壤颗粒间的相互摩擦, 清土刷抛撒土壤颗粒运动轨迹如图 7 所示。

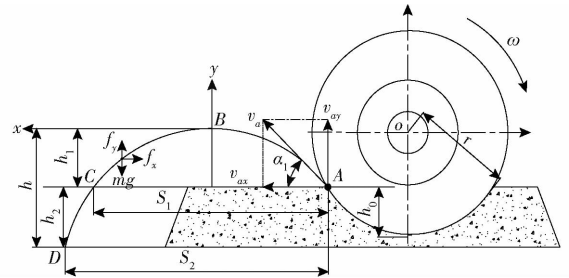


图 7 土壤颗粒离开刷片运动示意图

Fig. 7 Diagram of analysis when soil particles left brush

点 A 为土壤颗粒脱离清土刷的临界点, 土壤颗粒沿刷片向外侧滑移, 清土刷将土壤颗粒抛撒至侧机具一侧, 土壤颗粒在点 A 被抛撒瞬时速度 v_a 为

$$v_a = \omega r \quad (9)$$

式中 ω ——清土刷角速度, rad/s

r ——清土刷回转半径, mm

土壤颗粒在点 A 处抛撒瞬时速度 v_a , 在 x 轴方向分速度和 y 轴方向分速度为

$$\begin{cases} v_{ax} = v_a \cos \alpha_1 \\ v_{ay} = v_a \sin \alpha_1 - gt \end{cases} \quad (10)$$

式中 α_1 ——土壤颗粒抛撒瞬时方向与水平方向的夹角, ($^\circ$)

t ——土壤颗粒达到最大竖直高度所用时间,s
对式(10)进行一次积分可得

$$\begin{cases} x = v_a t \cos \alpha_1 \\ y = v_a t \sin \alpha_1 - \frac{1}{2} g t^2 \end{cases} \quad (11)$$

土壤颗粒抛撒出的距离决定了后续彩条布回收难度。土壤颗粒离开清土刷后忽略风的阻力影响,在垂直面内土壤颗粒运动的轨迹还取决于初始速度 v_a 。土壤颗粒从点 A 运动至点 D 的总时间为 t ,其中点 A 到点 B 的时间为 t_1 ,点 B 到点 D 的时间为 t_2 ,则土壤颗粒运动轨迹与时间的关系为

$$v_a \sin \alpha_1 = g t_1 \quad (12)$$

即

$$t_1 = \frac{v_a \sin \alpha_1}{g} \quad (13)$$

则土壤颗粒最大理论抛撒距离为

$$S_2 = v_a t \cos \alpha_1 = v_a (t_1 + t_2) \cos \alpha_1 \quad (14)$$

由图 7 可得

$$\begin{cases} h = h_1 + h_2 \\ h_1 = v_a t_1 \sin \alpha_1 - \frac{1}{2} g t_1^2 \end{cases} \quad (15)$$

式中 h_1 ——土壤颗粒与埋土垄上底竖直高度,mm
 h_2 ——埋土垄上底至沟底竖直高度,mm
 h ——土壤颗粒竖直方向总高度,mm

将式(13)代入式(15)可得

$$\begin{cases} h_1 = \frac{v_a^2 \sin^2 \alpha_1}{g} - \frac{g}{2} \left(\frac{v_a \sin \alpha_1}{g} \right)^2 = \frac{v_a^2 \sin^2 \alpha_1}{2g} \\ h = h_1 + h_2 = \frac{v_a^2 \sin^2 \alpha_1}{2g} + h_2 \end{cases} \quad (16)$$

点 B 到点 D 的速度与时间关系为

$$v_a = g t_2 = \sqrt{2gh} \quad (17)$$

$$t_2 = \sqrt{\frac{v_a^2 \sin^2 \alpha_1}{g^2} + \frac{2h_2}{g}} \quad (18)$$

点 A 到点 D 的速度与时间的关系为

$$t = t_1 + t_2 = \frac{v_a \sin \alpha_1}{g} + \sqrt{\left(\frac{v_a \sin \alpha_1}{g} \right)^2 + \frac{2h_2}{g}} \quad (19)$$

当 $h_2 = 0$ 时,AC段抛撒距离 S_1 为

$$S_1 = \frac{v_a^2}{g} 2 \cos \alpha_1 \sin \alpha_1 = \frac{v_a^2}{g} \sin (2\alpha_1) \quad (20)$$

式中 S_1 ——土壤颗粒至埋土垄上底水平距离,mm

将式(19)代入式(14)可得最大理论抛撒距离为

$$S_2 = \frac{v_a^2}{g} \cos \alpha_1 \left(\sin \alpha_1 + \sqrt{\sin^2 \alpha_1 + \frac{2gh_2}{v_a^2}} \right) \quad (21)$$

在清土作业过程中,土壤颗粒抛撒速度 v_a 大小相同,方向不同。当清土刷运动至不再向机具一侧抛撒土壤颗粒时,此时 $v_a = 0$,由式(21)可知,影响

土壤颗粒 x 轴最大飞出距离因素主要有抛撒土壤颗粒初始速度、清土刷转速、清土刷长度。当 $\alpha_1 = 45^\circ$ 时,土壤颗粒抛撒距离最大。结合前文新疆昌吉葡萄藤埋土农艺要求分析,清土刷回转直径为500~700 mm,经过前期田间预试验,清土刷转速为200~300 r/min,清土刷能够较好地完成清土工作。转速过高容易损伤或者折断葡萄藤;转速过低无法满足清土要求。

2.2.4 清土刷转速及横向伸缩机构往复速度对接触点速度的影响

清土刷在作业过程中与土壤接触不断摩擦,清土刷与土壤接触点的速度将直接影响清土装置的作业效率,为进一步分析清土刷转速和横向伸缩机构往复速度对接触点速度的影响,选择清土刷下半部分工作区域内一点进行实际工作速度分析,如图8所示,当土壤颗粒离开清土刷之后,清土刷接触点绝对速度 v_0 决定了该点土壤颗粒速度,而接触点绝对速度方向与横向伸缩机构往复速度方向的夹角 α_2 决定了土壤颗粒能否运动至埋土垄以外区域。由图8可知,接触点绝对速度由接触点的清土刷旋转切线速度 v_r 与横向伸缩机构往复速度 v_m 共同决定。

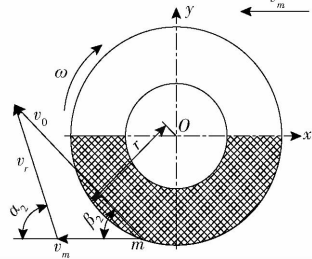


图 8 清土刷下半工作区域内土壤接触点速度示意图
Fig. 8 Schematic of speed of soil contact points in lower half of working area of soil cleaning brush

由图 8 可得接触点运动关系式为

$$\begin{cases} v_0 = v_m + v_r \\ v_0^2 = v_r^2 + v_m^2 - 2v_r v_m \cos \alpha_2 \\ \cos \beta_2 = \frac{v_0^2 + v_m^2 - v_r^2}{2v_0 v_m} \end{cases} \quad (22)$$

式中 β_2 ——清土刷接触点的实际运动速度 v_0 与横向伸缩机构往复速度 v_m 之间夹角,(°)

若横向伸缩机构往复速度 v_m 一定,改变清土刷角速度 ω ,清土刷接触点的实际运动速度及运动方向均会发生变化。由公式(22)可以看出,清土刷角速度 ω 与切线速度 v_r 呈正相关,故接触点实际运动速度 v_0 也会增加。同理,清土刷自身的转速一定时,往复伸缩速度 v_m 增大或减小时,清土刷刷片接触点的实际运动速度大小及方向也会改变。清土刷接触点实际运动速度计算式为

$$|v_0| = \sqrt{r^2 \omega^2 + v_m^2 - 2r\omega v_m \cos \alpha_2} \quad (23)$$

由上述分析可以看出,在清土刷下半部分作业区域,清土刷转速及横向伸缩机构往复速度对彩条布顶部覆土清除均有影响。在相同作业条件下,当清土刷转速一定时,接触点绝对速度 v_0 与横向伸缩机构往复速度 v_m 之间成反比;横向伸缩机构往复速度 v_m 一定时,提高清土刷转速能够提高清土刷接触点绝对速度 v_0 ,有利于防寒土清除;在满足实际作业要求的情况下,通过提高清土刷转速的同时增大横向伸缩机构往复速度 v_m 来实现,以获得更好的作业效果。若提高横向伸缩机构往复速度 v_m ,未改变清土刷转速,此时清土效率会降低;若只提高清土刷转速,横向伸缩机构往复速度 v_m 保持恒定,清土刷磨损量会增加;经过前期预试验,横向伸缩机构往复速度为 0.12~0.16 m/s 时清土作业效果较好。

2.3 液压系统设计

根据刷辊式葡萄藤清土机实际作业要求设计优化液压系统,液压系统主要包括液压油箱、增速齿轮箱、双联液压泵、溢流阀、液压马达、液压缸、过滤器、冷却器等,其原理图如图 9 所示。机器工作时,拖拉机 PTO 输出的动力经增速齿轮箱增速后,将动力传递给双联液压泵;双联液压泵一路动力传递给液压马达进行流量供应,液压马达驱动清土刷以稳定转速转动,双联液压泵另外一路动力经过滤器后,对伸缩液压油缸进行流量供应,伸缩液压油缸在机具进行清土作业时带动横向伸缩机构进行往复运动与清土刷旋转运动,共同配合将彩条布上方防寒土清除到机具一侧。清土机在作业过程中,清土部件的转速通过调节溢流阀进行调节,伸缩液压油缸通过调

速阀进行速度调节。

在液压回路中,往复伸缩油缸 1 和往复伸缩油缸 2 进行并联,各回路配备有调速阀。由于葡萄园中作业情况较复杂,导致伸缩液压油缸和高度调节液压油缸所受工作负载不同,且液压系统工作压力过大则容易损坏液压元器件,工作压力过小则无法满足清土机作业要求,经过综合考虑选取系统工作压力为 10 MPa^[23]。液压系统中液压缸、液压马达和液压泵的相关参数计算式为

$$\begin{cases} F_1 = \frac{\pi D^2 p}{4} \\ q_m = \frac{2\pi T_m}{\eta_m \Delta p_m} \\ Q_p = \frac{2q_m n_m \eta_1}{\eta_2} \times 10^{-3} \end{cases} \quad (24)$$

- 式中 D ——液压缸内径,mm
 p ——液压缸工作压力,MPa
 F_1 ——液压缸推力,N
 T_m ——液压马达扭矩,N·m
 Δp_m ——液压马达压力差,MPa
 η_m ——液压马达机械效率
 Q_p ——液压泵流量,L/min
 q_m ——液压马达排量,mL/r
 n_m ——液压马达转速,r/min
 η_1 ——系统泄漏和溢流阀系数
 η_2 ——液压马达容积效率

结合横向伸缩机构极限位置各液压油缸受力情况,高度调节液压油缸需要举升部分机架及清土装置所受负载最大,往复伸缩液压油缸所受负载相对较小,通过计算高度调节液压油缸最大负载为 9 360 N,往复伸缩液压油缸最大负载为 7 530 N,结合前文,取液压系统工作压力为 10 MPa,将参数代入相关计算式,确定伸缩液压油缸内径为 32 mm,高度调节液压油缸内径为 36 mm,高度调节液压油缸活塞杆直径为 18 mm,往复伸缩液压油缸活塞杆直径为 16 mm。选用 BM2-200 型液压马达,液压马达排量为 203 mL/r,转速范围为 5~300 r/min,进油口最大压力为 17.5 MPa,最大流量为 60 L/min,最大扭矩为 380 N·m,最大输出功率为 8 kW。液压泵采用 2CB-Fc25/20-FL 型双联齿轮泵,液压泵理论排量为 25.06 mL/r,额定压力为 16 MPa,额定功率为 28 kW,额定转速为 2 000 r/min,容积效率约 91%。

2.4 往复伸缩装置与高度调节装置设计

2.4.1 往复伸缩装置

新疆各葡萄种植区葡萄埋藤模式以及种植行距存在差异,所以设计了横向往复伸缩机构,其结构示

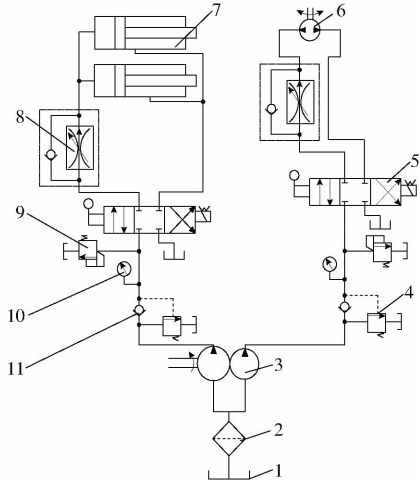


图 9 液压系统原理图

Fig. 9 Schematic of hydraulic system

1. 油箱 2. 过滤器 3. 双联液压泵 4. 中压溢流阀 5. 手动换向阀 6. 液压马达 7. 伸缩液压油缸 8. 调速阀 9. 高压溢流阀 10. 压力表 11. 单向阀

意图如图 10 所示。往复伸缩装置主要由液压油缸、伸缩臂、滚轮等组成,其中伸缩臂 1 与伸缩臂 2 通过滚轮连接,伸缩臂 2 与伸缩臂 3 通过滚轮连接,伸缩臂 3 嵌套在伸缩臂 2 内,滚轮位于伸缩臂 3 和伸缩臂 2 之间,支撑伸缩臂往复运动;伸缩臂 2 与伸缩臂 1 通过滚轮连接,横向往复伸缩机构伸缩臂 1 和伸缩臂 2,伸缩臂 2 和伸缩臂 3 之间连接有液压油缸,结合前文分析昌吉地区葡萄种植行距为 3 000 ~ 4 000 mm,故选取横向调节液压油缸行程为 800 mm。清土机工作之前,驾驶员通过操作手柄控制液压油缸进行横向往复运动,伸缩行程根据实际行距进行调节,使清土装置到达葡萄藤和彩条布埋土垄上方,清土作业时,通过横向伸缩机构往复运动和清土刷旋转运动将彩条布上方覆土输送到机器的一侧。

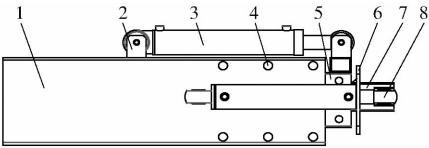


图 10 往复伸缩装置结构示意图

Fig. 10 Schematic of telescopic arm device structure

1. 伸缩臂 1 2. 油缸吊耳 3. 液压油缸 I 4. 滚轮 5. 伸缩臂 2
6. 液压油缸 II 连接板 7. 伸缩臂 3 8. 液压油缸 II

2.4.2 高度调节装置

高度调节装置主要是通过调节液压油缸的行程来改变伸缩臂与机架之间的夹角,实现高度调节;液压油缸活塞杆一端与伸缩臂 1 铰接,液压油缸一端与机架铰接,伸缩臂 1 另外一端与旋转轴连接,可以调节一定角度,保证清土装置能进入作业区域正常作业。高度调节装置的主要参数是液压油缸的缸径和行程,液压油缸行程主要通过极限位置的液压油缸行程来确定,通过对液压油缸进行运动学分析,确定其主要参数。图 11 为高度调节装置的运动简图,根据高度调节装置结构可知,当液压油缸伸出一半行程时,伸缩臂正好与地面保持水平的状态,当高度调节油缸完全缩回时,伸缩臂向下倾斜到最小角度,反之,伸缩臂向上倾斜到最大角度。

由图 11 可得伸缩液压油缸上极限位置伸出长度为

$$S_3 = \sqrt{l_1^2 + l_4^2 - 2l_1l_4\cos(\delta + \lambda + \theta)} \quad (25)$$

下极限位置液压油缸伸出长度为

$$S_4 = \sqrt{l_4^2 + l_3^2 - 2l_3l_4\cos\delta} \quad (26)$$

伸缩液压油缸工作行程为

$$S = S_3 - S_4 \quad (27)$$

式中 l_1 ——处于上极限位置旋转轴至上铰接点距离,mm

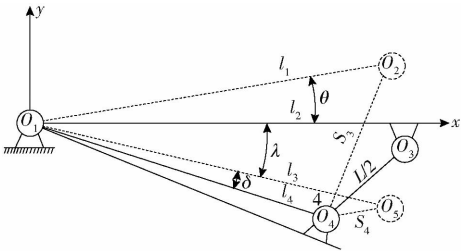


图 11 高度调节装置运动简图

Fig. 11 Sketch of movement of height-adjusting hydraulic cylinder

l_2 ——处于水平位置旋转轴至上铰接点距离,mm

l_3 ——处于下极限位置旋转轴至上铰接点距离,mm

l_4 ——旋转轴至下铰接点距离,mm

δ ——处于下极限位置时 l_3 与 l_4 之间的夹角, ($^\circ$)

θ ——处于上极限位置时 l_1 与水平位置的夹角, ($^\circ$)

λ ——处于下极限位置时 l_3 与水平位置之间的夹角, ($^\circ$)

S_3 ——处于上极限位置时高度调节液压油缸最大伸出长度,mm

S_4 ——处于下极限位置时高度调节液压油缸最短伸出长度,mm

S ——高度调节液压油缸行程,mm

由前期预试验与测量可知,机具在清土之前进行上极限倾角测量,当液压油缸完全伸出时, θ 不超过 25° ,故本文取 $\theta = 25^\circ$,下极限倾角 δ 一般不超过 20° ,故取 $\delta = 20^\circ$,位于水平位置时, l_4 与 l_2 之间夹角为 55° ,故 λ 为 35° 。其中, l_1 、 l_2 、 l_3 、 l_4 均为高度调节装置结构设计尺寸,即 $l_1 = 528$ mm, $l_2 = 635$ mm, $l_3 = 737$ mm, $l_4 = 498$ mm,由于高度调节装置机构具有确定的运动,上极限倾角 θ 和下极限倾角 δ 直接影响液压油缸的行程,并将相关参数代入式 (25) ~ (27),求得高度调节液压油缸行程 $S = 341.48$ mm,圆整取高度调节液压油缸行程为 350 mm。

3 田间试验

3.1 试验材料与设备

试验于新疆昌吉华兴农场葡萄种植基地进行。昌吉华兴农场位于天山北麓,气候为温带大陆性气候,常年干旱少雨,葡萄园内土质类型为沙壤土,土壤含水率均值为 10.59%,葡萄种植采用单篱架种植模式,葡萄品种为赤霞珠,葡萄树龄 4 a,葡萄种植行距 3 000 ~ 4 000 mm,株距 700 ~ 800 mm,株高 1 600 ~ 1 800 mm,立杆间距 5 000 mm。

主要试验仪器设备如下:刷辊式葡萄藤清土机、华苑 804 型拖拉机、TYD-2 型数显式土壤紧实度测定仪、QS-WT 型土壤水分温度测定仪、转速仪、卡尺、秒表、卷尺等,试验现场如图 12 所示。

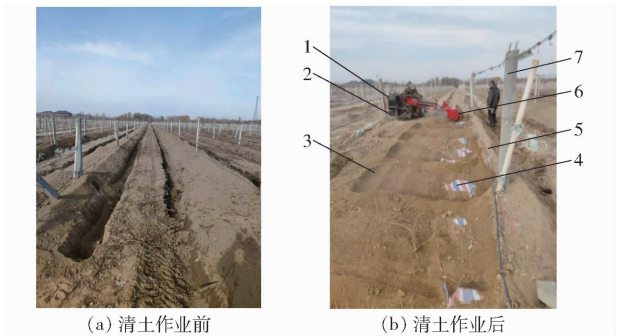


图 12 机具田间试验现场

Fig. 12 Performance field test site of machine
1. 液压油箱 2. 配重箱 3. 防寒土堆放区域 4. 彩条布 5. 滴灌带 6. 清土刷 7. 水泥柱

3.2 试验指标与方法

为测试刷辊式葡萄藤清土机的清土效果,参考 T/CAMDA 10—2020《葡萄刷式清土机》和 T/NXJX 001—2020《接触式葡萄清土机》,将清土率和伤藤率作为评价指标^[24]。结合前文昌吉地区葡萄埋藤农艺要求,埋土垄横截面形状近似为等腰梯形,清土率采用清土作业前和作业后土垄横截面面积的变化量来计算,清土率越高,表明机具作业效果越好。

清土率计算式为

$$P_1 = \frac{P_0 - P_i}{P_0} \times 100\% \tag{28}$$

式中 P_0 ——清土作业前土垄截面积,mm²
 P_i ——清土作业后土垄截面积,mm²
 P_1 ——清土率,%

清土机完成清土作业后,记录葡萄藤的总株数以及损伤的葡萄藤的株数,伤藤率越低,表明机具降低伤藤率效果越好。

伤藤率计算式为

$$P_2 = \frac{Z_1}{Z} \times 100\% \tag{29}$$

式中 Z_1 ——损伤的葡萄藤数量
 Z ——葡萄藤总数量
 P_2 ——伤藤率,%

3.3 单因素试验

清土机在机具作业的过程中,清土刷转速是影响清土效果的主要因素,通过单因素试验得到清土刷转速对清土率和伤藤率的影响,控制横向伸缩机构往复速度和清土刷回转直径不变,试验时取横向伸缩机构往复速度为 0.14 m/s,清土刷回转直径为

600 mm,试验结果如图 13 所示。从图中可以看出,当清土刷转速达到 300 r/min 以上时,伤藤率上升趋势明显,清土率虽有上升趋势但不明显,当清土刷转速超过 300 r/min 时,彩条布和葡萄藤受到清土刷的冲击作用增强,伤藤率上升趋势增加。因此,综合选取清土刷转速为 200、250、300 r/min,在此作业参数范围内,清土性能较好。

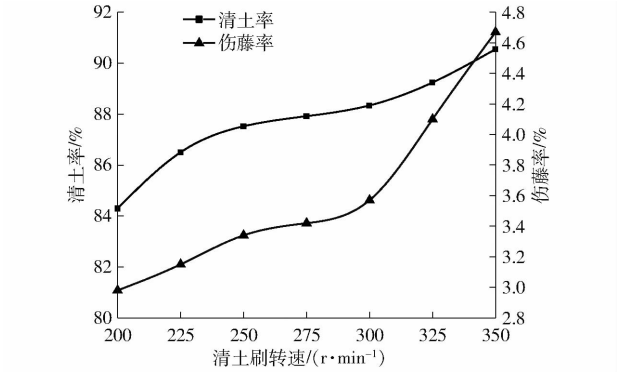


图 13 清土刷转速对清土率和伤藤率的影响

Fig. 13 Influence of rotation speed of soil cleaning brush speed of soil clearance rate and grapevine injury rate

结合前文分析可知,清土刷在自身旋转运动与横向伸缩机构往复运动下将彩条布上方覆土清除,因此横向伸缩机构往复速度对清土作业效果具有直接影响。为探究横向伸缩机构往复速度对机具清土作业效果的影响,针对横向伸缩机构往复速度开展单因素试验。试验前将清土刷转速调整为 250 r/min,机具清土刷回转直径为 600 mm,试验过程中横向伸缩机构往复速度通过调速阀实现调整,结果如图 14 所示。从图 14 中可以看出,随横向伸缩机构往复速度不断增大,清土率和伤藤率也随横向伸缩机构往复速度增加呈上升趋势。结合田间试验情况,出现这种现象的原因是随着横向伸缩机构往复速度的增加,清土刷在单位时间内与土壤接触次数增加,扰动覆土层能力增强,使得更多的土壤被清除到机具一侧,导致清土率增加;同时葡萄藤在埋土垄内分布错综复杂以及彩条布力学性能下降,当横向伸缩机构往复速度过大时,葡萄藤和彩条布极易产生损伤,导致伤藤率上升。结合单因素试验结果,最终选取 0.12、0.14、0.16 m/s 作为横向伸缩机构往复速度的因素水平。

清土刷与土壤直接接触,完成清土作业。因此,清土刷的回转直径对清土作业效果具有直接影响。为探究清土刷回转直径对样机清土作业效果的影响,针对清土刷回转直径开展单因素试验。试验前将清土刷转速调整为 250 r/min,横向伸缩机构往复速度为 0.14 m/s,试验过程中清土刷回转直径通过更换不同回转直径的刷片实现调整,试验结果如

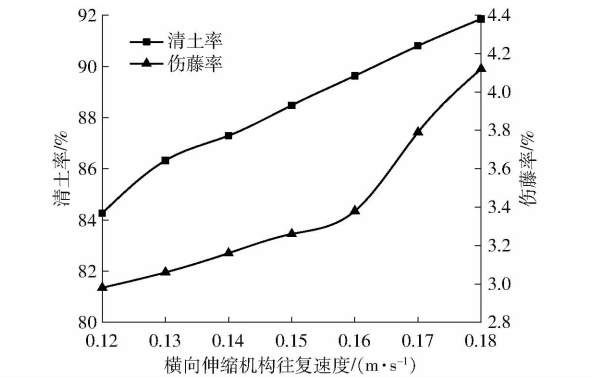


图 14 横向伸缩机构往复速度对清土率和伤藤率的影响
Fig. 14 Effect of reciprocating speed of transverse telescoping mechanism on soil clearing rate and grapevine injury rate

图 15 所示。从图 15 中可以看出,清土率和伤藤率随清土刷回转直径的增加呈现下降的趋势,当清土刷回转直径增至 700 mm 后,伤藤率和清土率开始急剧下降。结合田间试验,出现此种现象的原因是随着清土刷回转直径的增大,测量区域内土壤喂入量增加,刷片产生的弹性变形量增大,导致清土率下降;当清土刷回转直径增加时,刷丝长度较长,产生的变形量大,葡萄藤损伤率下降。结合单因素试验结果,最终选取清土刷回转直径为 500、600、700 mm。

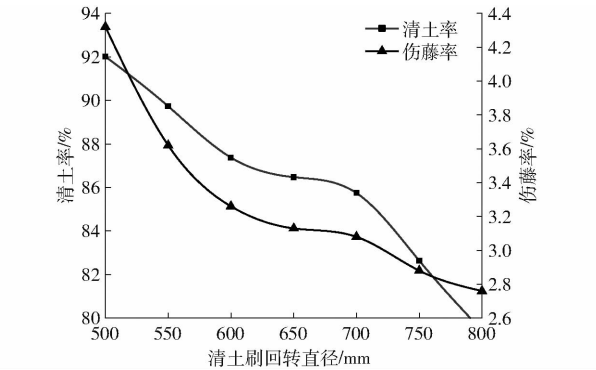


图 15 清土刷回转直径对清土率和伤藤率的影响
Fig. 15 Effect of brush swing diameter on soil clearance rate and grapevine injury rates

3.4 正交试验

以横向伸缩机构往复速度、清土刷转速和清土刷回转直径为试验因素,根据单因素试验结果确定各个试验因素的最佳参数,在此水平下做正交试验,各试验因素水平见表 2。

表 2 试验因素水平			
Tab.2 Factors and levels of test			
水平	因素		
	清土刷转速/ ($r \cdot \min^{-1}$)	横向伸缩机构往复 速度/($m \cdot s^{-1}$)	清土刷回转 直径/mm
1	200	0.12	500
2	250	0.14	600
3	300	0.16	700

为减少试验随机误差,在正交设计表中增加一列空白列,并选用 $L_9(3^4)$ 正交试验表,表 3 为正交试验方案及结果^[25-26],A、B、C 为因素水平值。

表 3 正交试验方案与结果						
Tab.3 Program and results of experiment						
序号	因素				清土率	伤藤率
	A	B	C	空白列	$P_1/\%$	$P_2/\%$
1	1	1	1	1	85.75	5.76
2	1	2	2	2	86.82	4.57
3	1	3	3	3	85.64	6.71
4	2	1	2	3	87.45	2.86
5	2	2	3	1	88.83	2.73
6	2	3	1	2	88.44	3.76
7	3	1	3	2	80.52	5.43
8	3	2	1	3	83.52	4.13
9	3	3	2	1	81.23	5.67
P_1	K_1	86.07	84.57	85.90	85.27	
	K_2	88.24	86.39	85.17	85.26	
	K_3	81.76	85.10	85.00	85.54	
	R	6.48	1.82	0.90	0.28	
P_2	K_1	5.68	4.68	4.55	4.72	
	K_2	3.12	3.81	4.37	4.59	
	K_3	5.08	5.38	4.96	4.57	
	R	2.56	1.57	0.59	0.15	

由表 3 可知,机具清土率为 80.52% ~ 88.83%,伤藤率为 2.73% ~ 6.71%。从正交试验结果的极差可以看出,各试验因素对于清土率影响较好的组合是 $A_2B_2C_1$,即在清土刷转速 250 r/min、横向伸缩机构往复速度 0.14 m/s、清土刷回转直径 500 mm 时清土率较高;各试验因素对伤藤率的较优组合为 $A_2B_2C_2$,即在清土刷转速 250 r/min、横向伸缩机构往复速度 0.14 m/s、清土刷回转直径 600 mm 时伤藤率较低。

为验证各试验因素对葡萄藤清土机作业性能的影响显著性顺序,使用 SPSS 26.0 软件对试验数据进行方差分析,表 4 为分析结果。

表 4 模型方差分析						
Tab.4 Variance analysis of model						
项目	方差来源	平方和	自由度	均方	F	P
清土率	A	65.347	2	32.674	442.267	0.002
	B	5.237	2	2.618	34.442	0.027
	C	1.394	2	0.697	9.432	0.096
	误差	0.148	2	0.077		
	总和	72.125	8			
伤藤率	A	10.776	2	5.388	258.493	0.004
	B	3.713	2	1.856	89.063	0.011
	C	0.547	2	0.274	13.123	0.071
	误差	0.042	2	0.021		
	总和	15.078	8			

由表 4 可知,清土率 P_1 模型中除清土刷回转直径影响不显著 ($P > 0.05$),横向伸缩机构往复速度影响显著 ($P < 0.05$),清土刷转速影响极显著 ($P < 0.01$);伤藤率 P_2 模型中模型中除清土刷回转直径影响不显著 ($P > 0.05$) 外,其余项均为影响显著 ($P < 0.05$)。又由表 4 各因素 P 值可知,各因素对清土率 P_1 和伤藤率 P_2 的影响显著性从大到小为清土刷转速、横向伸缩机构往复速度、清土刷回转直径。

3.5 参数优化与试验验证

葡萄藤清土机的主要目的是清除葡萄藤和彩条布上方的覆土,为后续彩条布回收和葡萄藤起藤上架创造有利条件,理想的作业效果为不伤葡萄藤或少伤葡萄藤的情况下,尽可能提高清土率。通过方差分析可知清土刷转速 A 对清土率影响极显著,横向伸缩机构往复速度对清土率的影响显著,清土刷回转直径对清土率的影响不显著。结合极差分析较优组合,因素 A 选取最优水平 A_2 ,因素 B 选取最优水平 B_2 ;因素 C 对清土率影响不显著,结合前文分析清土刷回转直径增大,刷丝弹性变形增大,有利于降低伤藤率,故将清土率较优方案中因素 C_1 调整为 C_2 ,在兼顾清土率指标和伤藤率指标的基础上,总体较优方案为 $A_2B_2C_2$,即清土刷转速 250 r/min、横向伸缩机构往复速度为 0.14 m/s、清土部件回转直径 600 mm 时,刷辊式葡萄藤清土机的作业效果为最佳。

为验证选取的较优参数组合的合理性,在新疆维吾尔自治区昌吉华兴农场葡萄种植基地进行田间验证试验,如图 16 所示。试验前样机工作参数分别调定为:清土刷转速为 250 r/min、横向伸缩机构往复速度为 0.14 m/s、清土部件回转直径为 600 mm。在该参数下进行 3 次田间验证试验,取其均值作为试验的验证值,试验结果见表 5。



图 16 验证试验效果
Fig. 16 Verification test effect diagrams

为验证葡萄藤清土机的作业性能,对 3 次验证试验结果取平均值,验证试验结果表明,当清土刷转

表 5 验证试验结果		
Tab. 5 Validation test values		
试验号	清土率 P_1	伤藤率 P_2
1	90.85	2.84
2	92.32	3.75
3	89.76	3.23
平均值	90.98	3.27

速为 250 r/min、横向伸缩机构往复速度为 0.14 m/s、清土刷回转直径为 600 mm 时,刷辊式葡萄藤清土机平均清土率为 90.98%、平均伤藤率为 3.27%;在满足高清土率的同时,与传统的刚性作业部件相比伤藤率显著降低,清土机作业效果可达到设计预期,能够满足新疆地区彩条布上方覆土清除作业要求。

4 讨论

本文结合新疆地区葡萄种植采用彩条布上方覆土防寒的农艺要求,设计了一种刷辊式葡萄藤清土机,该机具采用柔性刷片通过清土刷的旋转运动和横向伸缩机构的往复运动完成葡萄藤和彩条布上方覆土清除,能一定程度上降低葡萄藤伤藤率,该机清土率可达 90% 以上,伤藤率在 5% 以内,符合新疆地区彩条布覆土防寒模式的农艺要求。

机具采用液压传动,若工作时间较长,则液压系统稳定性较差,导致作业效率降低。同时,葡萄藤在埋土垄内分布错综复杂,机具作业难度较大。需要对机具进行优化改进,以期在较高作业效率下完成彩条布和葡萄藤上方覆土清除。

5 结论

(1)为解决春季葡萄藤清土过程中伤藤率高、机具适应性差的问题,采用柔性刷辊设计了一种刷辊式葡萄藤清土机并研制了样机。

(2)对清土刷工作过程进行动力学分析,确定了影响清土效果的关键因素,针对清土刷转速、横向伸缩机构往复速度、清土刷回转直径开展单因素试验,确定清土机性能较好时各参数合理取值范围为:清土刷转速 200 ~ 300 r/min、横向伸缩机构往复速度 0.12 ~ 0.16 m/s、清土刷回转直径 500 ~ 700 mm。

(3)通过三因素三水平正交试验确定各因素对清土率和伤藤率影响由大到小顺序为清土刷转速、横向伸缩机构往复速度、清土刷回转直径;确定了清土机最优工作参数为清土刷转速 250 r/min、横向伸缩机构往复速度 0.14 m/s、清土刷回转直径 600 mm,在此参数下进行验证试验,此时清土率为 90.98%,伤藤率为 3.27%,试验值与优化值相对误差均小于 5%,表明样机设计合理。

参 考 文 献

- [1] 田淑芬,苏宏,聂松青. 2018 年中国鲜食葡萄生产及市场形势分析[J]. 中外葡萄与葡萄酒,2019(2):95-98.
TIAN Shufen, SU Hong, NIE Songqing. Analysis on the production and market situation of Chinese table grape in 2018[J]. Sino-Overseas Grapevine & Wine, 2019(2): 95-98. (in Chinese)
- [2] 马帅,徐丽明,袁全春,等. 葡萄机械化清土的发展现状与解决对策[J]. 农机化研究,2020,42(7):1-8.
MA Shuai, XU Liming, YUAN Quanchun, et al. Development status and countermeasures of grape mechanized soil clearing [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2020, 42(7): 1-8. (in Chinese)
- [3] 周伟斌. 葡萄起藤机的设计[D]. 银川:宁夏大学,2017.
ZHOU Weibin. Design of grape vine digging machine[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2017. (in Chinese)
- [4] 牛丛,马帅,徐丽明,等. 葡萄清土与防寒布回收机械化技术研究现状与展望[J]. 中国农机化学报,2021,42(3):29-39.
NIU Cong, MA Shuai, XU Liming, et al. Research status and the prospect of grape soil clearing and cold-proof cloth recycling mechanization technology[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2021, 42(3): 29-39. (in Chinese)
- [5] 张德学,张军强,李青江,等. 我国葡萄全程机械化应用现状及发展展望[J]. 农业装备与车辆工程,2019,57(3):17-22.
ZHANG Dexue, ZHANG Junqiang, LI Qingjiang, et al. Current situation and development prospect of grape mechanization in China[J]. Agricultural Equipment & Vehicle Engineering, 2019, 57(3): 17-22. (in Chinese)
- [6] 徐丽明,邢洁洁,李世军,等. 国外葡萄生产机械化发展和对我国现状的思考[J]. 河北林业科技,2014(5):124-127.
XU Liming, XING Jiejie, LI Shijun, et al. Development of grape production mechanization abroad and reflection on the present situation in China[J]. Journal of Hebei Forestry Science and Technology, 2014(5): 124-127. (in Chinese)
- [7] 李法键. 葡萄园防寒土清除机关键部件设计与分析[D]. 秦皇岛:河北科技师范学院,2019.
LI Fajian. Design and analysis on key components of vineyard cold soil removal machine[D]. Qinhuangdao: Hebei Normal University of Science and Technology, 2019. (in Chinese)
- [8] 乐晨俊. 复合式酿酒葡萄清土机的设计与试验研究[D]. 镇江:江苏大学,2021.
LE Chenjun. Design and experimental study of compound wine grape soil cleaning machine[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2021. (in Chinese)
- [9] 王乾. 刮旋刷一体式葡萄清土机的设计与研制[D]. 银川:宁夏大学,2022.
WANG Qian. Design and development of a scraping-rotating brushing type of dehilling machine [D]. Yinchuan: Ningxia University, 2022. (in Chinese)
- [10] DAMI I E, ENNAHLI S, ZHANG Y. Assessment of winter injury in grape cultivars and pruning strategies following a freezing stress event[J]. American Journal of Enology and Viticulture, 2012, 63(1): 106-111.
- [11] LONDO J P, KOVALESKI A P. Characterization of wild North American grapevine cold hardiness using differential thermal analysis[J]. American Journal of Enology and Viticulture, 2017, 68(2): 203-212.
- [12] CAPRARA C, PEZZI F. Evaluation of quality of harvest and mechanical aspects related to beater adjustments in mechanical grape harvesting[J]. Transactions of the ASABE, 2014, 57(4): 991-997.
- [13] 马帅,徐丽明,牛丛,等. 分层交错式葡萄防寒土弧形清土叶轮的设计与试验[J]. 农业工程学报,2021,37(10):1-9.
MA Shuai, XU Liming, NIU Cong, et al. A facile arc impeller with layered-staggered structure to clean cold-proof soil on grapes[J]. Transactions of the CSAE, 2021, 34(10): 1-9. (in Chinese)
- [14] 曾保宁,田志道,赵润良. 葡萄起藤机的设计与研制[J]. 中国农机化学报,2013,34(6):230-232,219.
ZENG Baoning, TIAN Zhidao, ZHAO Runliang. Design and development of grape vine machine[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2013, 34(6): 230-232,219. (in Chinese)
- [15] 刘芳建,刘忠军,王锦江,等. 自动避障葡萄藤扒土机的设计与试验研究[J]. 农机化研究,2018,40(4):87-90.
LIU Fangjian, LIU Zhongjun, WANG Jinjiang, et al. Design and experimental study of automatic obstacle-avoid digging machine for grape vine[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2018,40(4): 87-90. (in Chinese)
- [16] 牛丛,曾鉴,徐丽明,等. 气吹梳刷组合式葡萄藤防寒土清除机研制[J]. 中国农机化学报,2022,43(1):47-54.
NIU Cong, ZENG Jian, XU Liming, et al. Development of grapevine cold-proof soil clearing machine with a combination type of air-blowing and comb-brush[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2022, 43(1): 47-54. (in Chinese)
- [17] 马帅,徐丽明,袁全春,等. 自动避障式葡萄藤防寒土清土机研制[J]. 农业工程学报,2020,36(7):1-10.
MA Shuai, XU Liming, YUAN Quanchun, et al. Development of automatic obstacle-avoiding grapevine cold-proof soil cleaners [J]. Transactions of the CSAE, 2020, 36(7): 1-10. (in Chinese)
- [18] 牛丛,徐丽明,段壮壮,等. 篱架式葡萄藤冬季埋土清除与防寒布回收机研制[J]. 农业工程学报,2020,36(2):50-58.
NIU Cong, XU Liming, DUAN Zhuangzhuang, et al. Development of trellis-type grape winter buried soil clearing and cold-proof cloth recycling machine[J]. Transactions of the CSAE, 2020, 36(2): 50-58. (in Chinese)
- [19] 刘松. 圆锥螺旋式入春葡萄挖藤机设计与试验研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2014.
LIU Song. Design and experimental study of conical spiral manner of grape vines in the spring digging machine[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2014. (in Chinese)
- [20] 李超,邢洁洁,徐丽明,等. 柔性梳脱式酿酒葡萄脱粒机构设计与试验[J]. 农业工程学报,2015,31(6):290-296.
LI Chao, XING Jiejie, XU Liming, et al. Design and experiment of wine grape threshing mechanism with flexible combing striping monomer[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(6): 290-296. (in Chinese)

Preventive Medicine, 2012, 39(22): 5813 – 5815. (in Chinese)

[37] 王耀民, 陈皓锐, 陈俊英, 等. 光谱指数筛选方法与统计回归算法结合的水稻估产模型对比[J]. 农业工程学报, 2021, 37(21): 208 – 216.
WANG Yaomin, CHEN Haorui, CHEN Junying, et al. Comparison of rice yield estimation model combining spectral index screening method and statistical regression algorithm[J]. Transactions of the CSAE, 2021, 37(21): 208 – 216. (in Chinese)

[38] 吴鹏, 夏楚瑜, 何聪聪. 区域产业结构贸易结构的关联匹配研究——基于灰色关联算法[J]. 系统科学与数据, 2020, 40(11): 1950 – 1966.
WU Peng, XIA Chuyu, HE Congcong. Research on correlation and matching of regional industrial structure and trade structure: based on grey association algorithm[J]. Journal of Systems Science and Mathematical, 2020, 40(11): 1950 – 1966. (in Chinese)

[39] 吴新民, 潘根兴. 影响城市土壤重金属污染因子的关联度分析[J]. 土壤学报, 2003, 40(6): 921 – 928.
WU Xinmin, PAN Genxing. The correlation analysis between the content of heavy metals and the factors influencing the pollution of heavy metals in urban soils in Nanjing City[J]. Acta Pedologica Sinica, 2003, 40(6): 921 – 928. (in Chinese)

[40] 张智韬, 杜瑜燕, 劳聪聪, 等. 基于雷达遥感的不同深度土壤含盐量反演模型[J]. 农业机械学报, 2020, 51(10): 243 – 251.
ZHANG Zhitao, DU Yuyan, LAO Congcong, et al. Inversion model of soil salt content in different depths dased on radar remote sensing[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(10): 243 – 251. (in Chinese)

[41] MAO S, ZHOU J, HAO M, et al. BP neural network to predict shelf life of channel catfish fillets based on near infrared transmittance (NIT) spectroscopy[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2023, 35: 101025.

[42] 王桥, 叶敏, 魏孟, 等. 基于 ELM 和 MCCKF 的锂离子电池 SOC 估计[J]. 工程科学学报, 2023, 45(6): 995 – 1002.
WANG Qiao, YE Min, WEI Meng, et al. ELM- and MCCKF-based state of charge estimation for lithiumion batteries[J]. Chinese Journal of Engineering, 2023, 45(6): 995 – 1002. (in Chinese)

[43] GHOLIZADEH M, JAMEI M, AHMADIANFAR I, et al. Prediction of nanofluids viscosity using random forest (RF) approach[J]. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 2020, 201: 104010.

[44] 贺玉洁, 张智韬, 巴亚岚, 等. 基于 Sentinel-2 卫星数据的灌区农田土壤水盐协同反演[J]. 农业工程学报, 2023, 39(19): 111 – 121.
HE Yujie, ZHANG Zhitao, BA Yalan, et al. Synergistic inversion of water and salt in irrigated agricultural soils based on Sentinel-2[J]. Transactions of the CSAE, 2023, 39(19): 111 – 121. (in Chinese)

[45] BELTRÁN-MARCOS D, SUÁREZ-SEOANE S, FERNÁNDEZ-GUISURAGA J M, et al. Relevance of UAV and Sentinel-2 data fusion for estimating topsoil organic carbon after forest fire[J]. Geoderma, 2023, 430: 116290.

[46] KULKARNI S C, REGE P P. Pixel level fusion techniques for SAR and optical images: a review[J]. Information Fusion, 2020, 59: 13 – 29.

(上接第 148 页)

[21] 于畅畅, 徐丽明, 王庆杰, 等. 篱架式栽培葡萄双边作业株间自动避障除草机设计与试验[J]. 农业工程学报, 2019, 35(5): 1 – 9.
YU Changchang, XU Liming, WANG Qingjie, et al. Design and experiment of bilateral operation intra-row auto obstacle avoidance weeder for trellis cultivated grape[J]. Transactions of the CSAE, 2019, 35(5): 1 – 9. (in chinese)

[22] 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2007.

[23] 王金武, 王奇, 唐汉, 等. 水稻秸秆深埋整秆还田装置设计与试验[J]. 农业机械学报, 2015, 46(9): 112 – 117.
WANG Jinwu, WANG Qi, TANG Han, et al. Design and experiment of rice straw deep buried and whole straw returning device[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(9): 112 – 117. (in Chinese)

[24] 马帅, 徐丽明, 邢洁洁, 等. 叶轮旋转式葡萄藤埋土单边清除机研制[J]. 农业工程学报, 2018, 34(23): 1 – 10.
MA Shuai, XU Liming, XING Jiejie, et al. Development of unilateral cleaning machine for grapevine buried by soil with rotary impeller[J]. Transactions of the CSAE, 2018, 34(23): 1 – 10. (in Chinese)

[25] 徐向宏, 何明珠. 试验设计与 Design-Expert, SPSS 应用[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 146 – 157.

[26] 葛玉晓. 大豆株间除草装置设计与试验研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2016.
GE Yuxiao. Design and experimental study on intra-row weeding equipment for soybean[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2016. (in Chinese)