

一种背负式电动果枝修剪机的设计与试验

马攀宇 李善军 张衍林 谷月 张朝宇 刘辉 张池 李杰

华中农业大学工学院, 武汉 430070

摘要 设计一种背负式电动修剪机,对锯切过程进行动力学和运动学分析,建立基于功率和扭矩的函数模型。以修剪功率、扭矩和切口质量为指标,利用理论分析选出主要影响因素,进行混合正交试验,采用极差分析和方差分析,对最优组合参数进行预测。通过锯盘台架试验,得出修剪机工作时的最佳组合参数为,锯盘齿数为40、直径为180 mm、转速为2 000 r/min。利用优化后试制的修剪机对直径为30 mm的柑橘树枝进行验证性试验,结果表明,平均切口质量降低2.8%、扭矩降低0.3%、功率上升2.6%,变化均较小,验证了台架试验的合理性和有效性,此参数组合能有效降低修剪功率,满足修剪要求。

关键词 果枝; 齐切; 电动修剪机; 台架试验; 锯盘参数

中图分类号 S 224.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2019)04-0127-07

我国是柑橘生产大国,柑橘产量和种植面积均居世界首位^[1]。近些年来,随着市场对柑橘需求的不断增加,柑橘产业已成为我国南方农村经济的一大支柱产业^[2-3]。加强对柑橘果园的机械化设备及其配套设施的研制,对提高柑橘果园护理水平和增加水果产量具有非常重要的意义。果枝修剪是维护果树和水果增产的重要措施之一,既能改善树种活性和促使提前结果,还可以延长结果年限,解决果树结果大小年问题,提高果园整体生产能力,增加果农收入^[4-7]。长期以来,小户分散的果树种植方式在我国处于主导地位,且多种植于丘陵山地^[8],由于地形地貌、经营规模、种植制度和机械适用性等因素限制,现有的大型修剪机械难以使用,果枝修剪仍然以手工操作为主,费工费时^[9],工作效率很低,果农迫切需要适用且便于操作的修剪机。

国外对修剪机的研究起步较早,主要围绕标准化果园展开,研制的机型大、自动化程度高,成本也相对较高^[10]。近年来,国内也开展了大型修剪机的研究^[11]。基于我国国情,未来一段时间国内果园修剪仍以小型修剪机为主。国内研制的小型修剪机主要有手动、气动、液动、电动及圆盘动力锯,考虑到柑橘树修剪时主要是高枝修剪,柑橘园一般使用电动

修剪机及圆盘动力锯^[12-13]。目前,市售的部分背负式果枝修剪机主要采用汽油发动机作为动力。汽油发动机长时间工作导致温度上升很高,容易伤人,同时在背负或者卸载修剪机过程中,由于汽油机倾斜或翻转,容易造成机油倒流入汽油里面,造成汽油机难以启动。汽油发动机还存在尾气污染严重、噪音和振动大、长时间工作对人体有很大损害等问题^[14-15]。本研究为进一步改善果农作业环境,提高果树修剪生产效率,基于现有的机具设计了一种适合山地果园使用的果枝修剪机,并对其修剪效果进行评估,旨在为研制质量较轻、噪音小、污染少、操作和维修均较简单且修剪效果也较好的果枝修剪机提供参考。

1 材料与方法

1.1 整机结构及工作原理

1)整体结构。背负式果枝修剪机主要由动力机构、传动机构、修剪机构、变频器、保护机构等部件组成,结构如图1所示。样机实物如图2所示。

2)修剪机工作原理。传动路线是该修剪机整体设计的基础,该机传动路线主要连接机构包括软轴和锥齿轮对,软轴两端通过联轴器分别连接电机和

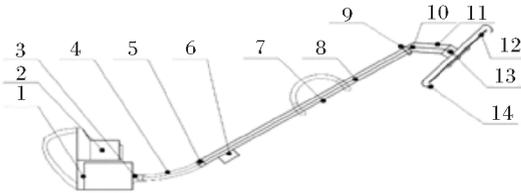
收稿日期: 2018-08-01

基金项目:现代农业(柑橘)产业技术体系建设专项(CARS-26);中央高校基本科研业务费专项(2662015PY144);国家重点研发计划(2017YFD0202001、2017YFD0701400);公益性行业(农业)科研专项(201403036)

马攀宇,硕士研究生。研究方向:现代农业装备技术。E-mail: 1779584939@qq.com

通信作者:李善军,博士,副教授。研究方向:柑橘生产机械化装备。E-mail: shanjunlee@mail.hzau.edu.cn

传动轴,锥齿轮对连接传动轴和刀盘轴。其他部件安装如图 1 所示,电池和电机均安装在背负式机架上。固定套与操作杆和轴头外壳用螺栓联接,锯片罩壳固定在轴头外壳上,圆盘锯片所在平面与操作杆呈一定夹角,便于剪切。刀盘两侧用夹盘固定可提高圆盘锯片工作时的稳定性,防止轴向跳动^[17]。采用锯片罩壳既能有效夹持住枝条,也能防止切屑伤人。



1.电瓶 Battery; 2.电动机 Motor; 3.联轴器 Coupling; 4.软轴 Soft shaft; 5.联轴器 Coupling; 6.启动开关及变频器 Starter switch and frequency converter; 7.操作杆 Operating lever; 8.传动轴 Drive shaft; 9.套筒 Sleeve; 10.锥齿轮对 Bevel gear pair; 11.轴头外壳 Shaft head housing; 12.圆盘锯片 Disc saw blade; 13.输出轴 Output shaft; 14.外壳罩 Shell cover.

图 1 背负式电动修剪机结构图

Fig.1 The whole structure of the machine

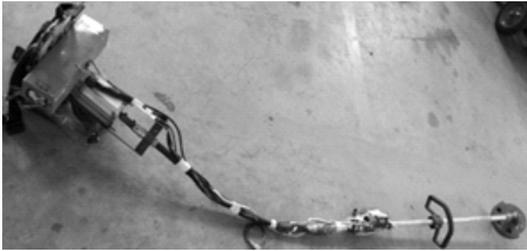


图 2 样机实物图

Fig.2 The physical photo of prototype

修剪机作业时,启动电源开关,电动机通过电池供电为修剪机提供动力,电机带动软轴将动力传递给操作杆内的传动轴,再经锥齿轮对传动驱动圆盘锯片作高速运动。锯盘锯切作业时,果农操纵机具向前移动,树枝在罩壳充当定刀形成的支撑滑切作用下被切断,并在离心力作用下沿壳体后端抛撒至果园中,完成修剪作业^[17-18]。

3)主要技术参数。背负式电动修剪机主要技术参数为:修剪枝条直径 0~30 mm,电池额定电压 48 V,额定电流 12 A,电机功率 400 W,电机最高转速 6 000 r/min,额定扭矩 0.85 N·m,最大工作时长 1.4 h。修剪机所用刀盘齿数 40 齿,刀径 180 mm,刀盘厚度 1.5 mm,转速 2 000 r/min,整机质量约 10 kg。

1.2 圆盘锯片齐切过程分析

修剪机作业时,刀盘主要参与两个运动,刀盘以一定转速旋转进行切割树枝;果农手持修剪机操作杆以一定速度 U 向前推进。对机具进给运动进行分析,简化为运动简图如图 3 所示,图 3 中 OD 为操作杆, A 点为机具的旋转支撑点,在操作杆中点处。操作杆可绕 A 点类似于作小弧度匀速转动。刀盘进给运动中,树枝主要受到一个正压力 F_U 。

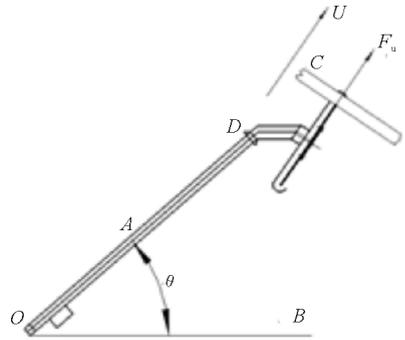


图 3 锯切机构运动简图

Fig.3 The motion diagram of the machine

圆盘锯片的旋转运动是修剪机工作的关键,理论上圆盘锯片的锯切刃呈“V”状,可以将其锯齿刃口近似看做圆弧曲面。设圆弧半径为 P ,圆盘锯齿开始切入枝条时,锯齿上的 a 点将最先接触树枝,当刀盘沿进给方向前进时,锯齿上的 a 点向枝条逐渐深入,此时 a 点处的树枝承受的压应力也慢慢增大,枝条所承受的压应力 F_x 达到最大时,树枝会崩裂,即沿 a 点轨迹即分开线分成两部分,如图 4 所示。

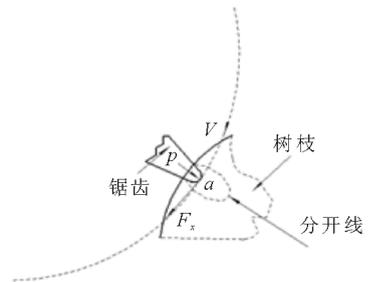


图 4 锯切修剪过程

Fig.4 The process of the cutting sawing

从圆盘锯片锯切过程分析可知,树枝切断与圆盘刀具的锯切力 F_x 有关。刀盘进给方向的压力 F_U 起辅助作用,这里可忽略。为了有效降低修剪机功耗,增加扭矩,提高修剪性能,应深入探究圆盘锯片锯切过程中影响锯切力的因素,故对锯切过程进行动力学和运动学分析。

1)圆盘锯片锯切力分析。在修剪过程中,锯切力受到了含水率、树种、刀刃、切割速度、进给速度等因素影响,为考察该修剪机的修剪性能,本研究针对该机具的自身因素进行了分析。锯切力的变化会影响修剪机工作效率,也会降低修剪机工作的稳定性,因此,分析锯切力变化的原因,对提高修剪机修剪性能和工作效率很有必要。从力学角度分析,锯切过程受力情况如图 5 所示。当修剪机修剪树枝时,圆盘锯片由电机扭矩驱动,锯齿上会产生切向锯切力 F_x ,果农手持操纵杆推进刀盘,在进给方向上产生推力 F_U 。由于锯齿挤压,树枝产生法向锯切力 F_r 。结合图 4、图 5 分析可知,切向锯切力 F_x 是切断树枝的主要因素。

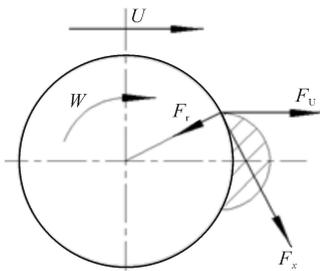


图 5 圆锯上的作用力

Fig.5 Force of the circular saw

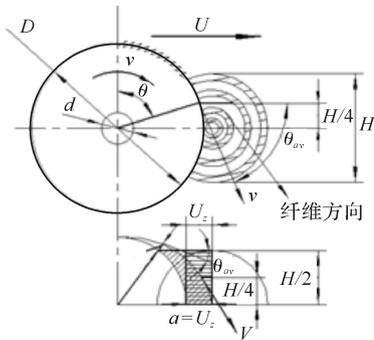


图 6 锯切轨迹图

Fig.6 The chart of the sawing trajectory

切向锯切力 F_x [19] 为:

$$F_x = (P_t \times b \times \sin\theta_{av} + \alpha \times H) \frac{U_z \times H}{c} \quad (1)$$

径向锯切力 F_r [20] 为:

$$F_r = F_{tr} \times \frac{H}{c} \quad (2)$$

锯切功率:

$$P = F_x v \quad (3)$$

锯切扭矩:

$$T = F_x \frac{D}{2} \quad (4)$$

$$Q_{av} = \arccos \frac{H}{2D} \quad (5)$$

由公式(1)~(5)可知:

$$P = F_x v = (P_t \times b \times \frac{\sqrt{4D^2 - H^2}}{2D} + \alpha \times H) \frac{H \times \pi^2 \times D^2 \times n}{36 \times z \times c \times 10^5} \quad (6)$$

$$T = F_x \frac{D}{2} = (P_t \times b \times \frac{\sqrt{4D^2 - H^2}}{2D} + \alpha \times H) \frac{H \times D^2 \times \pi}{120 \times z \times c} \quad (7)$$

式(1)~(7)中: P_t 为单位锯切力, N; F_{tr} 为每齿锯切力, N; b 为锯路宽度, 即切削宽度, mm; α 为响摩擦力变化系数; U 为圆盘锯片进给速度, mm/s; n 为圆盘锯片的转速, r/min; c 为齿距, mm; v 为锯片的旋转切割速度, m/s; H 为锯路高度, 由于切割树枝, 所以一般取枝条半径; Z 为刀盘齿数; Q_{av} 为平均切削厚度时的运动遇角。

刀盘锯切运动如图 6 所示, 修剪机修剪时, 其他因素保持不变, 运动遇角 Q_{av} 随着圆盘锯片切入树枝的深度而变化。当锯片刚切入枝条时 θ 最小, 随着锯齿切入深度 θ 逐渐增加, 在圆盘锯片离开锯路时达到最大值 [18], 平均运动遇角在锯路高度为 $H/4$ 取值, 即 $Q_{av} = \arccos (H/2D)$, 此时切削厚度 a 为 U_z 。

由上述公式(1)可知, 切向锯切力主要与枝条单位锯齿力、刀盘直径、枝条直径及每齿进给量等因素有关, 在转速及刀盘参数一定时, 枝条直径越大, 所需锯切力越大; 由于修剪时刀盘与树枝垂直, 单位锯齿力只与转速有关; 齿距 C 由刀盘直径、齿数决定; 故切向锯切力与刀盘直径、枝条直径、齿数及刀盘转速等因素有关。由公式(6)和(7)可知, 锯切功率、扭矩均与单位锯齿力、刀盘直径、刀盘转速、齿距、枝条直径等因素有关。综上所述, 锯切功率和扭矩与刀盘直径、切割速度、进给速度、齿数、枝条直径有关。

2)圆盘锯片锯切运动分析。从刀盘运动学角度分析修剪过程。在修剪过程中, 主运动为锯片的旋转切割速度 v , 进给运动为果农手持操作杆向前的直线运动 U [19], 其中影响锯切力大小主要为锯切转速和每齿进给量 [20]。如图 6 所示, 圆盘锯片的实际运动轨迹为一摆线, 由于在整个运动过程中圆盘锯片的转速要远远大于锯片的进给速度, 故可认为余摆线运动。为了便于分析, 在计算时可将其看做圆弧线运动。

圆盘锯片锯切的主运动速度 v 为:

$$v = \frac{\pi \times D \times n}{6 \times 10^4} \quad (8)$$

进给速度 U 为:

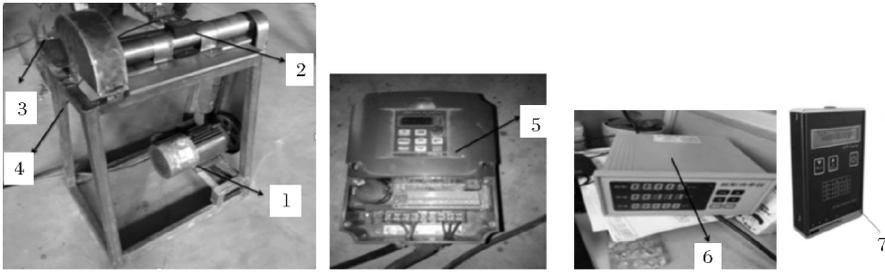
$$U = \frac{U_z \times n \times z}{6 \times 10^4} \quad (9)$$

式(9)中: U_z 为每齿进给量。由上述公式(8)、(9)可知,锯切速度 v 与刀盘直径 D 和刀盘转速 n 有关,进给速度 U 与刀盘直径 D 、刀盘转速 n 、齿数 Z 有关。如图 6 所示,可知 U_z 也与枝条直径有关。综合锯切动力学和运动学可知,锯切功率和扭矩均与刀盘直径、刀盘转速、齿数、枝条直径等因素有关。对这些参数进行合理性选择,能降低修剪功率,提高修剪效率,保证切削质量。果枝修剪过程涉及锯片结构参数和锯切转速的优化组合,修剪参数的合理匹配可较大程度上提高修剪性能,对保证修剪切口

质量和提高工作效率都具有非常重要的意义。

1.3 锯盘试验优化

1) 试验条件。试验于华中农业大学工程训练中心进行,搭建试验平台如图 7 所示。试验台架采用 45 号方钢,所用电机为无极调频电机,其中功率 1.1 kW,最大转速 2 830 r/min,利用带传动进行 3 倍增速。试验所采用的传感器为动态扭矩传感器,量程 0~5 N·m,最大允许转速 8 000 r/min,可精确测量扭矩、转速、功耗;扭矩传感器连接两轴,测量在锯切修剪过程中轴的输出扭矩和功耗;TR100 表面粗糙度测量仪,测量切口粗糙度,表征修剪质量,量程 0.02~10.00 μm 。为测得不同工况下,圆盘锯片的锯切扭矩、功耗和切口粗糙度,通过变频器调节三相电的输出频率改变电机输出转速。扭矩显示仪用于显示测量的扭矩、转速、功耗^[21]。



1:电机 Motor; 2:扭矩传感器 Torque sensor; 3:切割台 Cutting table; 4:机架 Frame; 5:变频器 Inverter; 6:扭矩显示仪 Torque display; 7:TR100 表面粗糙度测量仪 TR100 surface roughness measuring instrument.

图 7 试验平台

Fig.7 The test platform

2) 试验设计。为了提高修剪机性能和工作效率,需要研究修剪机在不同工况下的扭矩、功耗及树枝切口质量变化趋势,并通过试验分析,选择最优的参数组合,以保证修剪机的工作性能。考虑到修剪机设计的修剪范围 0~30 mm,为了使修剪对象具有代表性,修剪试验对象选用直径为 30 mm 的枝条。由上述公式(6)、(7)可知,修剪同一果树相同直径枝条时,转速、刀盘参数等因素对功耗、扭矩影响显著,根据前期试验可知这些因素变化也影响了切口质量。因此,选取了转速、刀盘参数作为试验指标,选择功率、扭矩、切口粗糙度作为修剪机工作的评价标准设计试验。树枝切口质量可用切面粗糙度表征,切口质量越好,其切面粗糙度越小,切口越平滑。在锯切同一果树相同直径树枝时,影响锯切功耗、扭矩和切口质量的因素主要为锯切转速、圆盘锯片直径和锯片齿数。为研究各因素对锯切扭矩、功

耗和切口粗糙度的影响,采用混合正交试验进行分析,试验因素与水平如表 1 所示。

表 1 正交试验因素水平表

Table 1 Factors and levels of orthogonal experiment

水平 Level	锯切转速(A)/ (r/min) Sawing speed	锯片齿数(B) Saw blade number	锯片直径(C)/mm Saw blade diameter
1	2 000	40	180
2	3 000	60	230
3	4 000		
4	5 000		

试验选用正交表 $L_8(4^1 \times 2^4)$ 进行修剪效果正交试验,共进行了 8 组,每组试验重复 3 次并取平均值(对切口粗糙度检测,每次试验,树枝切面测量 3 点,取平均值)^[22]。修剪机修剪性能实验方案与结果见表 2。

表 2 正交试验方案及结果
Table 2 Orthogonal test scheme and results

指标 Index	试验号 Test number	A	B	C	空列 1 Empty column 1	空列 2 Empty column 2	扭矩/ (N·m) Torque	功耗/kW Power consumption	切口粗糙度/ μm Incision roughness
	1	1	1	1	1	1	0.692	0.152	5.38
	2	1	2	2	2	2	0.685	0.166	5.21
	3	2	1	1	2	2	0.694	0.255	4.85
	4	2	2	2	1	1	0.693	0.265	5.11
	5	3	1	2	1	2	0.686	0.291	4.54
	6	3	2	1	2	1	0.681	0.306	4.16
	7	4	1	2	2	1	0.695	0.379	4.85
	8	4	2	1	1	2	0.702	0.387	5.21
T	K_1	1.377	2.767	2.769	2.773	2.761			
	K_2	1.387	2.761	2.759	2.755	2.767			
	K_3	1.367							
	K_4	1.397							
	R	0.030	0.006	0.010	0.018	0.006			
P	K_1	0.318	1.077	1.100	1.095	1.102			
	K_2	0.520	1.124	1.101	1.106	1.099			
	K_3	0.597							
	K_4	0.766							
	R	0.448	0.047	0.001	0.011	0.003			
R_a	K_1	10.59	19.62	19.60	20.24	19.50			
	K_2	9.96	19.69	19.71	19.07	19.81			
	K_3	8.70							
	K_4	10.06							
	R	1.89	0.07	0.11	1.17	0.31			

对表 2 中的正交试验数据进行极差分析,极差越大,表明该因素对锯切扭矩、功耗和修剪质量的影响程度越大。由表 2 可知,上述因素对扭矩影响主次是 $A>C>B$,考虑到扭矩越大,其切割效果更好,对应扭矩的最佳参数组合为 $A_4B_1C_1$;对锯切功耗的影响主次是 $A>B>C$,为降低修剪功耗,对应功耗的最佳参数组合为 $A_1B_1C_1$;对切口粗糙度的影响主

次是 $A>C>B$,切口粗糙度越小其质量越好,对应切口质量的最佳参数组合为 $A_3B_1C_1$ 。综合上述,可以确定组合 B_1C_1 ,由于修剪树枝均为直径 30 mm,锯切扭矩最大变化幅度为 3.1%,基本上不变;功耗最大变化幅度为 154.6%,变化明显;粗糙度最大时切口也很光滑平整,满足实际生产要求;三者中变化的最大的为功耗,因此,最佳参数组合从功耗中选择。

表 3 方差分析表
Table 3 Variance analysis

指标 Index	差异源 Source of difference	SS	df	MS	F	显著性 Significance	
P	A	0.064 477	3	0.021 492 333	58.668 789 810	**	
	B	0.000 544 5	1	0.000 544 5	1.486 351 228		
	C	误差 1e (Error 1e)	0.000 554	3	0.000 185		
		误差 2e (Error 2e)					
		总计 Total	0.065 868 5	7			

注:“**”表示在 $P<0.01$ 水平极显著。“**” indicate extremely significant difference at $P<0.01$ levels.

通过方差分析,进一步指明这些因素的显著性。对于功耗方差分析表,因素 A(锯切转速)对试验结果有极显著性影响($P\leq 0.01$),因素 B(锯片齿数)、(锯片直径) C 对试验结果无显著性影响($P\leq 0.05$)^[23]。

由表 2 和表 3 可知,对于切口质量,切面粗糙度均较小,平整光滑能满足实际工作需要,扭矩基本不变,影响较小,最佳组合参数影响最大为功耗,影响功耗指标显著因素为锯切转速。当锯片选定后,修剪直径 30 mm 果枝时,扭矩基本不变,锯切速度越

大,功率越大。因此,在保证切口质量满足生产要求前提下,可从修剪功率筛选最优参数。

综合上述分析,在 B_1C_1 确定时,需要从 A_4 、 A_3 、 A_1 中选取最优转速。当锯切速度 4 000 r/min 时切口质量最佳,2 000 r/min 时功耗最低,5 000 r/min 时扭矩最大。修剪功率越小,电动修剪机工作时间相对越长,由于试验测得的扭矩变化较小可忽略,切面粗糙度满足要求,因此,选择刀盘转速 2 000 r/min 时最为合适,最佳参数组合为 $A_1B_1C_1$,即锯切转速 2 000 r/min、刀盘齿数 40 和直径 180 mm。

2 结果与分析

为了验证上述最佳参数下修剪机样机工作效果,将电动修剪机转速调整为 2 000 r/min、刀盘更换为齿数 40 和直径 180 mm。在华中农业大学工程训练中心进行直径 30 mm 的柑橘树枝修剪试验。

试验任取 3 株直径 30 mm 的柑橘树枝进行修剪,试验测得平均粗糙度为 $5.23 \mu\text{m}$,扭矩 $0.69 \text{ N} \cdot \text{m}$,功耗 0.156 kW ,修剪切口如图 8 所示。相较台架试验,其平均切口质量降低 2.8%、扭矩降低 0.3%、功率上升 2.6%,三者变化均较小,表明此参数组合下,切口质量良好,修剪功率有效降低,满足修剪要求。因此,上述选取的最优参数组合合适,试验合理^[24]。

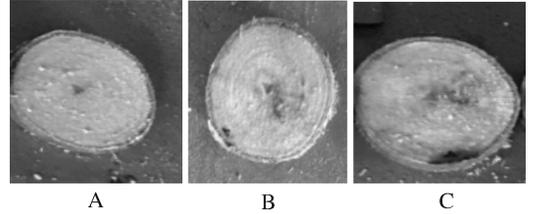


图 8 被修剪枝条断面质量效果

Fig.8 The branches of quality effect

表 4 样机性能实验结果

Table 4 Prototype performance test results

试验编号 Test number	锯切转速/ (r/min) Sawing speed	锯片齿数 Saw blade number	锯片直径/cm Saw blade diameter	扭矩/(N·m) Torque	功耗/kW Power consumption	切口粗糙度/ μm Incision roughness
1	2 000	40	180	0.686	0.159	5.34
2	2 000	40	180	0.695	0.152	5.16
3	2 000	40	180	0.689	0.157	5.20
平均值 Average value				0.690	0.156	5.23

3 讨论

本研究设计了一种电动修剪机,通过优化参数组合,在保证修剪质量基本不变的情况下,降低了修剪功率,大幅改善了果农的作业环境,提高了修剪效率。该修剪机采用锂电池,由于电池整体质量较大,导致整机仍然偏重,而电池的循环寿命在 200~300 次充放,性价比较低,难以满足目前市场的需求^[25]。为了提高修剪效率,对模型进行混合正交试验,得到了最佳锯切转速 2 000 r/min、刀盘齿数 40 和直径 180 mm,其扭矩 $0.692 \text{ N} \cdot \text{m}$ 和切口粗糙度 $5.38 \mu\text{m}$,功率仅为 0.152 kW ,大幅提高了修剪机作业时长和修剪效率,满足设计要求。性能试验表明修剪机修剪效果较好,即扭矩和修剪质量基本不变的情况下,修剪机消耗功率较小,提高了修剪机设计的准确性,同时也指明筛选出的修剪参数具有合理性,也验证了试验的有效性,能为后续优化电动修剪机提供参考。

参 考 文 献

- [1] 汪晓银.中国柑橘市场预警研究[D].武汉:华中农业大学,2013.
- [2] 邓秀新.国内外柑橘产业发展趋势与柑橘优势区域规划[J].广西园艺,2004(4):6-10.
- [3] 唐晓华.基于“钻石模型”的重庆柑橘产业发展研究[D].重庆:西南大学,2008.
- [4] 杨欢,尹欣幸,宁东媛,等.南丰蜜橘夏季省力化修剪对秋梢形成、成花和坐果的影响[J].华中农业大学学报,2018,37(3):19-24.
- [5] VIVALDI G A, STRIPPOLI G, PASCUZZI S, et al. Olive genotypes cultivated in an adult high-density orchard respond differently to canopy restraining by mechanical and manual pruning[J]. Scientia horticulturae, 2015, 192: 391-399.
- [6] 聂真义.黄土丘陵区枣树修剪对其蒸腾及林地水分的影响研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2017.
- [7] 吕萌萌,陆声链,郭新宇.果树虚拟修剪研究进展[J].系统仿真学报,2015,27(3):448-460.
- [8] 洪添胜,杨洲,宋淑然,等.柑橘生产机械化研究[J].农业机械学报,2010,41(12):105-110.

- [9] 杨洲,郭晓伶,汪刘一,等.果园电动修剪机具与技术研究进展[J].果树学报,2015,32(4):712-719.
- [10] 付威,刘玉冬,坎杂,等.果园修剪机械的发展现状与趋势[J].农机化研究,2017,39(10):7-11.
- [11] 罗平,王桂兰,李英娇.我国现代农业机械的发展方向[J].湖南农机,2010,37(9):3-4.
- [12] 龙魁,刘进宝,张静,等.葡萄修剪机械的发展现状和趋势[J].农机化研究,2014,36(3):246-248.
- [13] 王慰祖,陆华忠,杨洲,等.荔枝龙眼园机械化现状调查分析[J].农机化研究,2012,34(3):237-241.
- [14] 郑天威.基于ASCET的汽油机涡轮增压控制策略研究[D].合肥:合肥工业大学,2014.
- [15] 王建昕.汽车节能与排放控制技术进展及其对润滑油的要求[J].润滑油,2007(1):1-5.
- [16] 姚春玲.汽油机进气混合 O_2/CO_2 的燃烧机理与性能研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2011.
- [17] CALATRAVA J, FRANCO J A. Using pruning residues as mulch: analysis of its adoption and process of diffusion in Southern Spain olive orchards[J]. Journal of environmental management, 2011, 92(3): 620-629.
- [18] 肖正福,刘淑琴,胡宜萱.木材切削刀具学[M].哈尔滨:东北林业大学出版社,1993.
- [19] 邹运梅.背负式可调高枝修剪机修剪稳定性分析与参数优化[D].长沙:湖南农业大学,2006.
- [20] 蒋连琼.基于ANSYS/LS-DYNA的圆锯片锯切过程仿真研究[D].南宁:广西大学,2013.
- [21] 李善军,刘辉,张衍林,等.单轨道山地果园运输机齿条齿形优选[J].农业工程学报,2018,34(6):52-57.
- [22] 邓振伟,于萍,陈玲.SPSS软件在正交试验设计、结果分析中的应用[J].电脑学习,2009(5):15-17.
- [23] 郭备,王德成,王光辉,等.小型自走式割草机仿形装置仿真分析与试验[J].农业机械学报,2015,46(7):123-129;108.
- [24] 郑攀,张衍林.气吸式藜蒿去叶机设计与试验[J].华中农业大学学报,2018,37(2):110-116.
- [25] 徐伟诚,陈凯,张铭,等.基于太阳能的植保无人机续航提升方案[J].中国农业科技导报,2018,20(11):62-68.

Design and test of a knapsack electric fruit branch trimmer

MA Panyu LI Shanjun ZHANG Yanlin GU Yue
ZHANG Chaoyu LIU Hui ZHANG Chi LI Jie

College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract A knapsack electric trimmer was designed to perform dynamic and kinematic analysis of the sawing process and to build a functional model based on power and torque. Taking the trimming power, torque and cutting quality as indicators, the main influencing factors were selected by theoretical analysis, and the mixed orthogonal test was carried out. The optimal combination parameters were predicted by range analysis and variance analysis. The results showed that the optimal number of cutter teeth, the diameter, and the speed was 40, 180 mm, and 2 000 r/min, respectively. The test results of verification test of citrus branches with a diameter of 30 mm using an optimized pruning machine showed that the average incision quality and the torque was reduced by 2.8% and 0.3%, the power was increased by 2.6%, and the variation was small. The rationality and effectiveness of the bench test was verified. This combination of parameters can effectively reduce the trimming power and meet the trimming requirements.

Keywords fruit branch; cut neatly; electric trimmer; bench test; saw disk parameters

(责任编辑:陆文昌)