

便携式电动胶刀割胶效果评价

张强皓^{1,2}, 亚华金^{1,2}, 高小俊², 杨耀文², 刘忠亮², 李明谦^{1,2*}

(1. 云南省天然橡胶可持续利用研究重点实验室, 云南景洪 666100;

2. 云南省热带作物科学研究所, 云南景洪 666100)

[摘要]以5割龄的云研77-4橡胶树为试验对象,开展整割年的生产应用对比试验,比较采用4GXJ-2型推拉式电动胶刀、4CJX-303型旋切式电动胶刀割胶与传统人工割胶(CK)在干胶产量、割胶效率、树体健康及作业质量等方面的综合表现。结果表明,2款电动胶刀在割胶效率上明显优于人工,4GXJ-2型单株割胶时间较CK缩短24.13%,4CJX-303型缩短13.79%。干胶产量方面,2款电动胶刀略低于人工,达到CK的81.02%~84.72%,全年的胶乳总固形物含量(TSC)则无显著差异。2款电动胶刀割胶深度均略浅于割胶技术规程的要求,平均深度分别为2.20、2.07 mm,是导致产量差异的主要原因。树体健康方面,4GXJ-2型伤树率与人工持平(10%),4CJX-303型则较高(20%),三者的死皮发生率均无显著差异(5.67%~6.30%)。综合评价显示,4GXJ-2型在操作便捷性与伤树控制方面表现更优,而4CJX-303型在耗皮量控制方面更具优势。研究结果证实了便携式电动胶刀具备提高割胶效率的潜力,同时指出了其在深耗精准控制与环境适应性方面的技术瓶颈与改进策略,未来需进一步融合自适应控制与智能识别技术,优化农机农艺协同,以推动电动胶刀在复杂生产场景中的规模化应用与产业机械化进程。

[关键词]橡胶树;割胶;电动胶刀;产量;性能;效果评价

中图分类号:S794.108 文献标识码:A 文章编号:1672-450X(2026)03-0105-06

Evaluation of Portable Electric Tapping Knives in Rubber Tree Harvesting

ZHANG Qianghao^{1,2}, YA Huajin^{1,2}, GAO Xiaojun², YANG Yaowen², LIU Zhongliang², LI Mingqian^{1,2*}

1. Yunnan Key Laboratory of Sustainable Utilization Research on Rubber Tree, Jinghong 666100, China;

2. Yunnan Institute of Tropical Crops, Jinghong 666100, China

Abstract: In this study, we conducted a full tapping-year comparative field trial using 5-year-old rubber trees of cultivar Yunnan 77-4, evaluating the comprehensive performance of two electric tapping knives (4GXJ-2, reciprocating type; 4CJX-303, rotary-cut type) versus traditional manual tapping (CK) in terms of dry rubber yield, tapping efficiency, tree health, and operation quality. Our results showed that both electric knives significantly outperformed manual tapping in efficiency: the 4GXJ-2 reduced per-tree tapping time by 24.13% compared with CK, while the 4CJX-303 achieved a 13.79% reduction. For dry rubber yield, the two electric tools yielded slightly less, accounting for 81.02%~84.72% of that of CK, with no significant difference in the annual total solid content (TSC) of latex among the three treatments. The tapping depths of both electric knives (2.20 mm and 2.07 mm on average) were slightly shallower than the threshold specified in the tapping technical regulations, which was identified as the primary factor contributing to the yield discrepancy. Regarding tree health, the 4GXJ-2 exhibited a tree damage rate comparable to manual tapping (10%), whereas the 4CJX-303 had a higher rate (20%); however, no significant difference in tapping panel dryness incidence was observed among the three groups (5.67%~6.30%). Comprehensive evaluation indicated that the 4GXJ-2 performed better in operational convenience and

收稿日期:2026-02-02

基金项目:国家天然橡胶产业技术体系西双版纳综合试验站(CARS-33-YN1);云南省创新引导与科技型企业培育计划项目(202504BW050005);云南省热带作物科技创新体系建设专项资金项目(RF2025);云南天然橡胶产业集团江城有限公司李明谦专家基层科研工作站(云人社通[2022]17号)

作者简介:张强皓(1994—),男,助理研究员,硕士,研究方向为橡胶树割胶生理。E-mail:zqh21149@163.com

*通信作者:李明谦(1975—),男,研究员,研究方向为橡胶树割胶与生理。E-mail:xsbnmq2@126.com

tree damage control, while the 4CJX-303 held an advantage in bark consumption control. This study confirms that portable electric tapping knives possess the potential to improve tapping efficiency, while highlighting their technical bottlenecks in precise depth control and environmental adaptability, as well as corresponding improvement strategies. Future efforts should further integrate adaptive control and intelligent recognition technologies, and optimize the coordination between agricultural machinery and agronomy, to promote the large-scale application of electric tapping knives in complex production scenarios and advance the mechanization process of the natural rubber industry.

Key words: *Hevea brasiliensis*; tapping; electric electrician's knife; yield; property; effect evaluation

天然橡胶在国民经济与国防建设中不可或缺,我国作为全球最大的天然橡胶消费国,年消费量超过300万t,但自给率不足20%,产业安全面临严峻挑战^[1]。目前,我国天然橡胶种植面积超过113万hm²,其中割胶环节的人工成本占总成本的60%~70%^[2-3],且胶工老龄化与流失问题日益突出,成为制约产业可持续发展的关键瓶颈^[4]。在胶价长期低迷与劳动力成本攀升的双重压力下,胶工短缺及生产效率低下严重掣肘我国天然橡胶产业高质量发展,推动割胶工具革新与采胶作业机械化转型已成为产业可持续发展的迫切需求。推动采胶工具革新及割胶作业的机械化与智能化,不仅能应对劳动力短缺的迫切需求,更是提升产业竞争力、保障资源安全的必然战略选择^[5]。

为应对“割胶难、胶工荒”问题,国外学者自20世纪70年代起便致力于割胶机械的研发。早期马来西亚橡胶研究院与日本Nihon Giken公司合作研发了Motoray Mark II型电动胶刀,因体积大、成本高未能推广^[6]。近年来,随着微电机、锂电池及精密加工技术的进步,便携式电动胶刀逐渐成为研究热点。国内已相继推出4GXJ-I型、4CJX-303B型等多款电动胶刀,并在割胶效率、耗皮控制、操作简便性等方面取得初步成果^[7-8]。研究显示,电动胶刀能实现一定的切割深度控制,割胶效率较传统人工提升15%~30%,且能有效降低对胶工技能依赖^[1,7]。但对于如何将割胶制度(割线长度、割胶频率、刺激配套)与电动机械作业参数进行智能耦合,实现“因树施策”的机械化割胶,仍处于理论探索阶段^[9-10]。陈娃容等^[11]也指出,电动胶刀在应用推广中仍存在可靠性、续航能力及对不同种植模式的适应性等方面的问题。

综上,当前工作虽证实了电动胶刀在替代人

工割胶方面的潜力,如提升割胶效率^[12],但仍存在一定局限性,如对现有电动胶刀在长期使用中的稳定性、不同品种与环境下的适应性以及综合经济效益等方面^[7-8]缺乏系统评估。针对上述研究空白,本研究通过对2款主流便携式电动胶刀进行田间对比试验,分析其作业性能,评估其在山地胶园生产场景下的适应性、对树体健康的长期影响以及全生命周期的经济效益,以期为便携式电动胶刀的优化设计与规模化应用提供科学支撑。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验地位于西双版纳州景洪市云南省热带作物科学研究所江南橡胶试验基地(22° 2' 2" N, 100° 47' 3" E),所选试验地面积2.53 hm²,海拔580~610 m,总体温暖湿润,长夏无冬,干湿季分明,年降雨1 300~1 600 mm,年均温20~26℃,属于热带季风气候。

1.2 试验设计

选取产胶能力正常、长势均匀的云研77-4橡胶树品种为割胶试验材料,割龄5 a。设置2个便携式电动胶刀处理,即4GXJ-2型推拉式电动胶刀(4GXJ-2型)、4CJX-303型旋切式电动胶刀(4CJX-303型),对照(CK)为人工割胶(表1)。每个处理有效割株300株,分为3个重复,每个重复100株,均采用S/2 d4割制(即1/2割线,4 d 1刀),安排1名工人对3个处理进行割胶,以减少误差。割胶时间为2025年4—11月。

1.3 试验方法

(1)试验于每天凌晨割胶,停止排胶后统一收胶称重,记录为鲜胶产量^[13]。(2)使用微波胶乳干含仪(DH925A型,北京大华无线电仪器厂)测

量胶乳总固形物含量(TSC,%)。(3)参照王岳坤等^[14]方法,计算产量:干胶产量/kg=鲜胶产量×TSC×90%,株产/kg=干胶产量/株数,株次产/g=株产/刀次×1000。(4)参照NY/T 1088—2020 橡胶树割胶技术规程^[15]进行割胶质量技术检查,并对树

体剖面情况和割胶技术质量进行评估。

1.4 数据处理与分析

使用 Microsoft Excel 2016 软件进行数据统计, SPSS 20.0 软件进行均值与误差值(SEM)计算, GraphPad Prism 8 软件进行作图。

表 1 割胶试验处理

处理	割胶用具	性能参数
CK	常规胶刀	采用传统小圆口割胶刀,质量符合割胶技术要求,刀口锋利整齐,凿口斜顺均匀,刀胸小圆杆顺直圆滑,前后粗细均匀一致,刀侧两翼平直,刀身内外光滑。
4GXJ-2 型	4GXJ-2 型推拉式电动胶刀	适配 12 V 锂电池,直流电机,续航 3~4 h,整机质量 370 g,割胶效率 180~220 株/h,往复式刀头切割。
4CJX-303 型	4CJX-303 型旋切式电动胶刀	适配 18 V 锂电池,直流电机,续航 3.5~4.5 h,整机质量 300 g,割胶效率 140~160 株/h,旋切式刀头切割。

2 结果与分析

2.1 干胶株次产月变化

试验的整割年有效刀次 45 刀。不同割胶方式的株次产在处理间和月份间表现不同(图 1)。总体来看,在 4—6 月,3 个处理差异较小,处于较低水平并趋于平稳,这可能是其间正处于旱季而不利 于橡胶树产、排胶。而随着割胶时间推移,6 月后 3 个处理的株次产逐月增加,其中人工割胶 CK 在 6 月后增幅变大,与 2 款便携式电动胶刀逐渐拉大差距,而 2 款便携式电动胶刀之间差异相对较小。具体来看,全年的株次产以 CK 最高,为 48.98 g;4GXJ-2 型为 39.78 g,达 CK 的 81.22%;4CJX-303 型为 38.88 g,达 CK 的 79.38%。这表明便携式电动胶刀在割胶产量方面还具有提升空间。

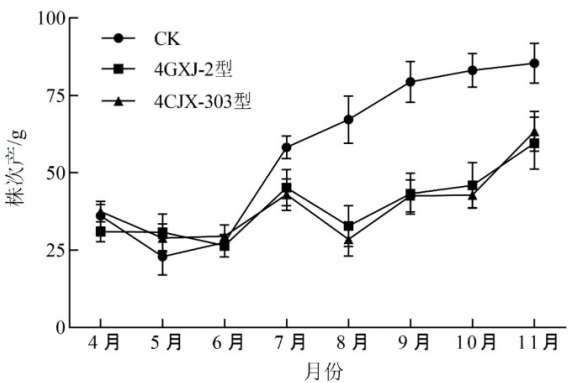


图 1 不同割胶方式干胶株次产月变化情况

2.2 株产干胶和 TSC 变化情况

全年株产干胶以 CK 最高(图 2A),为 2.16 kg。2 款便携式电动胶刀处理的全年株产干胶都低于对照,其中:4GXJ-2 型株产 1.87 kg,为 CK 的 84.72%;4CJX-303 型株产 1.75 kg,为 CK 的 81.02%。TSC(胶乳总固形物含量)在 3 个处理间的差异不大(图 2B),其中以 CK 最小,2 款便携式电动胶刀处理的 TSC 值略微偏大一点。说明在该试验中不同割胶方式对 TSC 影响较小。

2.3 割胶深度和耗皮情况

适宜的割胶深度有利于挖掘胶乳产量,割浅难以获得产量,割深则容易伤树。对于橡胶树云研 77-4 非刺激割制来说,割胶深度要求为 1.20~1.80 mm^[16]。从图 3A 来看,3 个处理的割胶深度都大于 1.8 mm,CK 割胶深度 1.93 mm,较为适宜,2 款便携式电动胶刀处理的割胶深度略微偏浅。在检查时发现,主要是电动胶刀割胶时的下刀和行刀深度不够,这可能是造成产量差异的原因。

对于 d4 割制,生产技术要求每刀次耗皮量控制在≤1.6 mm,以保证既能产胶又能减少树皮损耗。从试验数据来看,CK 单刀耗皮量为 1.70 mm,接近割胶技术要求,其次为 4CJX-303 型处理(1.78 mm),4GXJ-2 型处理耗皮量稍大,为 1.86 mm(图 3B)。4CJX-303 型的高速旋切式采胶结构在控制耗皮上有一定优势。

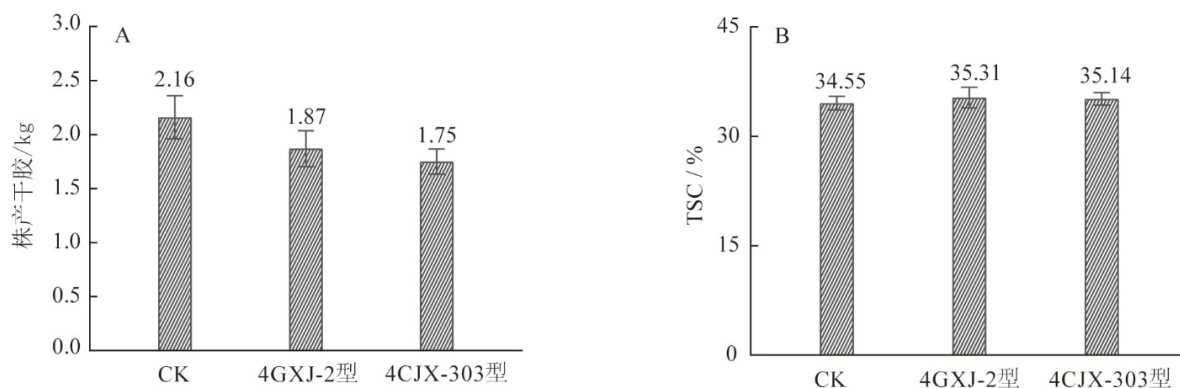


图2 不同割胶方式株产干胶和TSC差异比较

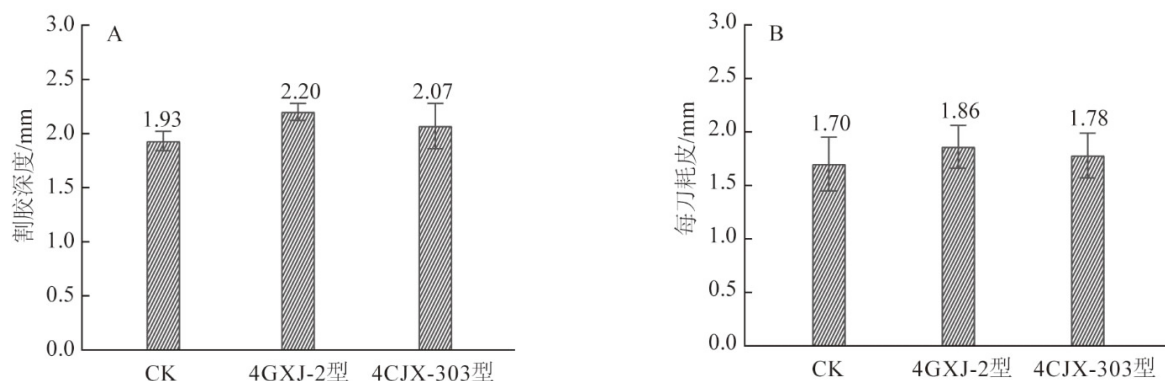


图3 不同割胶方式割胶深度和耗皮差异比较

2.4 割胶技术检查情况

从单株割胶时间来看(表2),2款便携式电动割刀割胶表现为快速,都快于人工割胶(CK)。其中4GXJ-2型处理较CK快7 s,缩短了24.13%,4CJX-303型处理较CK快5 s,缩短了13.79%,表现

出电动割刀省力省时的优势。在实际割胶中,因云研77-4品种树皮偏硬,TSC高,胶线较厚,割胶生产中常出现胶线缠绕刀面的问题,需人为去除胶线、清洁机器,导致割胶时间增长。

表2 电动割刀割胶技术检查情况

处理	单株割胶时间/s	特伤数	大伤数	小伤数	伤树率/%	4~5级死皮率/%	割面评价	得分
CK	29	0	0	1	10	6.00	优	89.1
4GXJ-2型	22	0	0	1	10	6.30	优	87.7
4CJX-303型	25	0	1	1	20	5.67	良	82.6

从伤口情况来看,3个处理都有不同程度的割伤情况。4GXJ-2型收刀有下沉加速现象,偶有造成割面伤树情况,平均每10株有小伤口约1个,树位伤树率10%左右,其行刀控制稳定性有待加强。4CJX-303型以圆弧为导向通过电机高速旋切,树皮被割呈碎片状,行刀不易,跳刀顿挫时有发生,伤树率达20%,也说明其对割胶操控熟练

程度要求更高,需进行适量技术训练。3个处理的死皮情况都相对较轻,死皮率为5.67%~6.30%。

3个处理的割面质量都相对良好。以橡胶树割胶技术规程^[15]为参照,对3个处理的割胶技术质量进行综合评分,CK与4GXJ-2型得分相对较高。4GXJ-2型割面基本平顺,略有行刀波纹和磨砂皮出现;4CJX-303型下收刀偏浅,行刀不稳伤

树,割胶深度不均匀和伤口较多。

总的来看,本试验3个处理的割胶质量技术评价结果为:CK > 4GXJ-2型 > 4CJX-303型。

3 讨论

本研究以云研77-4橡胶树为对象,系统对比了采用4GXJ-2型推拉式电动胶刀、4CJX-303型旋切式电动胶刀割胶与传统人工割胶的综合效果,发现2款电动胶刀在提高割胶效率、降低劳动强度方面表现突出,但干胶产量略低于人工割胶(为人工的80%左右),且在割胶深耗控制、树体损伤防控、高效轻简化提升等方面存在差异化特征。这一结果既呼应了现有机械化割胶研究的核心结论,也揭示了便携式电动胶刀在实际应用中的关键技术瓶颈与优化空间。

电动胶刀干胶产量低于人工割胶的核心原因可从技术适配性与农艺融合度两方面解析。从割胶深度来看,本研究中2款电动胶刀的平均割胶深度(2.20、2.07 mm)均超出橡胶树割胶技术规程规定的1.2~1.8 mm适宜范围^[15],在一定程度上影响胶乳代谢^[16]。这与郑勇等^[7]对4GXJ-I型电动胶刀的研究结论一致,其发现割胶深度的精准控制直接影响产胶特性,机械结构对割深的刚性约束易导致树体适应性不足。

从割胶方式来看,推拉式往复切割更接近于传统人工推刀的力学模式,行刀轨迹相对容易控制,操作手感更直观,因此在适应性上可能更优^[17]。然而,旋切式高速切削在理论上能更精确地控制单次切削量,研究结果也表明其在耗皮量控制上具有显著优势^[10],这与张恒^[18]通过离散元仿真优化得出的“低阻力切割角度可有效减少能量消耗与树皮损伤”结论相呼应。此外,4CJX-303型高速旋转产生的局部热量可能轻微影响胶乳流动性^[19],这与谢黎黎等^[12]观察到的旋切式胶刀干胶含量高于人工但鲜胶重无显著优势的现象相符。另外,我们也发现,尽管4CJX-303型设计上更精密,但其在实际应用中伤树率却更高,这暴露了精密机械设计与复杂田间环境之间的脱节问题。树皮干湿、胶线残留、树干曲率、树

皮厚度等变量的实时变化可能使预设的“最优切割参数”失效,导致刀头打滑或切割过深。因此,未来的设计中可引入自适应反馈控制系统,例如通过集成微力传感器实时监测切割阻力,动态调整电机转速与进给速度,以实现真正的“仿形”智能切割^[16,20]。

割胶效率与树体健康的平衡是便携式电动胶刀推广应用的关键,本研究结果显示2款电动胶刀在这一维度表现呈现差异。4GXJ-2型单株割胶时间较人工缩短24.13%,伤树率与人工持平(10%),其核心优势在于“T”型导向器与无级调速设计^[19],能够减少旧胶线干扰并适配不同树皮硬度,这与王玲玲等^[17]提出的“农机农艺融合优化割胶技术”理念高度契合,通过结构设计降低操作难度的同时减少树体损伤。而4CJX-303型伤树率达20%,主要归因于其圆弧导向的旋切式刀头对操作熟练度要求更高,胶工易因把控不当导致局部切割过深^[12],这表明电动胶刀的推广需配套针对性培训,与陈娃容等^[11]强调的“电动胶刀需通过规范操作发挥优势”的结论一致。值得注意的是,2款电动胶刀割胶的死皮率(5.67%~6.30%)与人工割胶(6.00%)无显著差异,表明电动胶刀割胶过程中存在操控不稳,偶有割深伤树的问题,但未对橡胶树长期健康造成严重影响^[21]。未来在电动割胶的规模化应用中,应加强树体安全保障措施,提高割胶深度、耗皮量控制性能。

本研究结果凸显了“农机”与“农艺”深度融合的迫切性与复杂性。试验中2款电动胶刀的干胶产量均稳定在人工割胶的80%左右,未能超越,这可能是由于割胶深度不足所致。当前电动胶刀的切割深度多为机械限位预设或依赖操作者手感,缺乏基于生物信号(如树皮电阻、近红外光谱)的实时感知能力^[9]。而在云研77-4这类树皮较硬较厚、TSC值较高的品种上割胶,电动胶刀易出现切割深度不足的问题,直接限制了产量潜力。这表明便携式电动胶刀需从“标准化工具”升级为“感知识别+自动决策+高效执行”为一体的自适应智能化终端工具。

4 小结

本研究通过整割年的田间试验,明确了4GXJ-2型和4CJX-303型便携式电动胶刀的综合割胶效果:2款电动胶刀的割胶效率较传统人工割胶提升13.79%~24.13%,干胶产量达人工割胶的81.02%~84.72%,死皮率与人工割胶的无显著差异,具备替代人工割胶的潜力。其中4GXJ-2型在操作便捷性上更具优势(伤树率控制在10%),4CJX-303型则在耗皮量控制(1.78 mm)上表现突出。研究证实,电动胶刀割胶产量略低,对树体健康影响可控,产量略低的主要原因是割深控制精度不足与环境适应性优化欠缺。未来通过融合自适应控制算法、优化结构设计与建立区域适配方案,可进一步提升电动胶刀的产胶性能与产业适用性,体现割胶工具革新的智能高效性及及其轻简“傻瓜化”,为天然橡胶产业机械化、去人工化转型提供技术支撑。

参考文献:

- [1] 黄华,魏博,张迪,等. 割胶设备发展现状与趋势[J]. 农业工程,2018,8(6):16-20.
- [2] MEKSAWI S, TANGTRAKULWANICH B, CHONGSU-VIVATWONG V. Musculoskeletal problems and ergonomic risk assessment in rubber tappers: a community-based study in southern Thailand[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2012, 42(1): 129-135.
- [3] 谢黎黎,姜泽海,黄志. 中国割胶制度的发展历程及解决胶工短缺建议[J]. 热带农业科学,2016,36(11):15-19.
- [4] 黄敏,郑勇,王玲玲,等. 便携式电动胶刀割胶技术与切割试验[J]. 江苏农业科学,2019,47(23):260-263.
- [5] 曹建华,栗鑫,张以山,等. 天然橡胶机械化割胶研究现状与对策分析[J]. 中国热带农业,2025(5):25-34.
- [6] KUMARS PHS. Methods of estimation of dry rubber content in natural rubber latex[J]. Bulletin of the Rubber Research Institute of Srilanka, 2006, 47: 65-69.
- [7] 郑勇,张以山,曹建华,等. 4GXJ-I型电动胶刀采胶对割胶和产胶特性影响的研究[J]. 热带作物学报,2017,38(9):1725-1735.
- [8] 高茜,王文兵,胡永华,等. 橡胶树割胶新技术采胶效果比较[J]. 热带农业科技,2026,49(1):95-99.
- [9] 肖苏伟,张以山,曹建华,等. 天然橡胶全自动采胶系统技术理论研究[J]. 中国农机化学报,2020,41(9):143-148.
- [10] 曹建华,张以山,王玲玲,等. 天然橡胶便携式采胶机械研究[J]. 中国农机化学报,2020,41(8):20-27.
- [11] 陈娃容,邓祥丰,王玲玲,等. 4GXJ型电动割胶刀在天然橡胶收获中的应用研究[J]. 热带农业科技,2021,44(3):14-18.
- [12] 谢黎黎,马启铭,潘媛,等. 广东农垦茂名垦区4CJX-303B旋切式采胶机的生产应用研究[J]. 中国热带农业,2024(5):33-41.
- [13] 黄德宝,秦云霞,唐朝荣. 橡胶树三个品系(热研8-79、热研7-33-97和PR107)胶乳生理参数的比较研究[J]. 热带亚热带植物学报,2010,18(2):170-175.
- [14] 王岳坤,阳江华,秦云霞. PR107两种割胶制度胶乳生理参数的季节变化[J]. 热带作物学报,2014,35(3):419-424.
- [15] 中华人民共和国农业农村部,农业农村部热带作物及制品标准化技术委员会. 橡胶树割胶技术规程:NY/T 1088—2020[S].
- [16] 吴米. 全自动橡胶割胶机研制与关键技术研究[D]. 湛江:广东海洋大学,2019.
- [17] 王玲玲,陈娃容,吴思浩,等. 农机农艺融合的高效割胶技术优化设计与应用[J]. 中国农机化学报,2024,45(5):22-28.
- [18] 张恒. 自适应螺旋仿形自动割胶机的关键参数优化与割胶产量预测研究[D]. 海口:海南大学,2024.
- [19] 陈娃容,肖苏伟,贾倩,等. 4GXJ-2型电动割胶刀的传动结构设计与运动仿真分析[J]. 盐城工学院学报(自然科学版),2021,34(4):24-31.
- [20] 高可可,孙江宏,高锋,等. 固定式割胶机器人割胶误差分析与精度控制[J]. 农业工程学报,2021,37(2):44-50.
- [21] 郑则颖,陈耿新,徐其航. 旋切式便携型电动采胶机在橡胶农场中的应用[J]. 机械工程与自动化,2025,54(1):212-214.