

灌木切割机理及设备研究

陈 诚,俞国胜

(北京林业大学 工学院,北京 100083)

摘要:灌木用途广泛,极具开发利用前景。目前灌木收割设备存在效率低、适用性差、劳动强度大等缺陷。为此,综述了国内外对灌木茎秆的物理力学性质、切割机理、切割器等方面的研究成果,提出建立灌木物理力学试验标准,结合数值模拟和有限元方法设计高效率适用性强的灌木收获机械的发展方向。

关键词:灌木;力学性质;切割机理;切割器

中图分类号:S776.33

文献标识码:A

文章编号:1002-2767(2010)08-0133-04

据统计,我国现有灌木林地总面积 4 529.68 万 hm^2 ,占全国林地总面积的 16.02%,到 2010 年灌木林面积将达 1 340 万 hm^2 ,灌木林总生物量将达 2.02 亿 $\text{t}^{[1]}$ 。灌木生态适应性强,具有防风固沙、涵养水源、调节气候等生态效应。灌木生物基产品种类众多,可用于生产人造板、制浆造纸、酿酒、保健食品和饮料加工业。灌木的叶片、嫩枝条富含粗蛋白、粗脂肪、粗纤维、可溶碳水化合物等,牲畜适口性好,可作为饲料。根据灌木的生长特性,一般 3~5 a 需要平茬 1 次,以促进根系生长,丛落扩大,生物量积累增加,进而更好地发挥其生态作用。我国现有灌木收割方式大多为人工收割,劳动强度大、效率低、安全性差,而且极容易伤及灌木根部,影响其复壮,因此研究灌木的切割机理,设计新型灌木收割设备,是合理利用灌木资源和防止土地沙化的关键之一。

1 灌木力学性能

灌木是没有明显主干的木本植物,其茎秆横断面由外向内依次为木质部、韧皮部、髓心。根据木材生理性质的研究结果,灌木茎秆在轴向和径向的组织结构不同,故在不同方向上必然表现出不同的物理力学性质,即各相异性。因而在切割灌木过程中受到各种不同外载荷的综合作用,如抗弯、抗压、抗剪切和抗撕裂等。研究灌木茎秆的物理力学性质对了解灌木的切割过程、设计割灌设备具有重要的意义。

张桂兰等^[2]按照 GB/T 15780-1995《竹材物

理力学性能试验方法》对乌柳材、沙柳材和黄柳材的密度、干缩率、顺纹抗压强度、抗弯强度等物理力学性质进行测定,结果表明,这种灌木的密度与其力学性能存在密切关系;顺纹抗压强度的顺序为乌柳材最大,黄柳材次之,沙柳材最小,其平均值分别为 59.2、53.3、50.8 MPa;乌柳材的抗弯强度大于沙柳材,其平均值分别为 24.18 和 19.92 MPa。田金芳^[3]等利用 DWD-20A 微机控制电子万能木材力学试验机参照 GB1937.91 之规定对十年生柠条材的物理力学性质进行研究。结果测得柠条试件顺纹抗压强度为 71.57 MPa;顺纹抗弯强度为 126.37 MPa;顺纹抗剪强度为 12.62 MPa;顺纹抗拉强度为 98.92 MPa。刘晓丽^[4]等参照国家《木材物理力学性质试验方法》标准,对沙棘材的物理力学性能进行了测定。研究测得试件尺寸 30 mm×15 mm×15 mm 的横纹(全部)抗压强度为 9.2 MPa,弦向为 6.0 MPa。

2 灌木收割机械发展现状

灌木收割机械按牵引方式可分为手持式、悬挂式及自走式。手扶式割灌机发展最为成熟,国内外均已广泛应用。该类割灌机大都以小型二冲程汽油机为动力,割刀刀片有一字刀、十字刀、三角刀、圆盘刀等类型,适用于切割直径较小灌木。但因其收割效率低,对使用者身心伤害大等缺点,无法在收割大面积灌木资源中推广使用。在悬挂式及自走式割灌机研究领域中,国外起步较早,技术相对成熟,其主要用途为清理林地。我国在该领域尚存空白,现已成为大面积利用灌木林资源的主要瓶颈之一。北京林业大学俞国胜教授^[5]研制的步进手扶式割灌机,以一台 7.7 kW 的汽油机为动力,其切割器采用 3 圆锯片设计,经测试可应用于大面积灌木平茬作业且灌木复萌率良好。

收稿日期:2010-04-13

基金项目:林业公益性行业专项资助项目(200904007)

第一作者简介:陈诚(1986-),男,浙江省台州市人,在读硕士,从事林业与园林机械设计研究。E-mail:ccbifu@126.com。

3 灌木切割机理

灌木切割机理的研究可分为宏观和微观2个方面。微观领域主要研究灌木纤维在切割过程中的拉伸、挤压、断裂等变化。马永康^[6]等通过对柠条的切割机理进行研究后指出,在切割过程中刃口挤压导致纤维层之间发生相对滑移进而发生剪切破坏并最终剪下枝条。

在灌木切割机理的宏观领域研究中,灌木切割方式可分为正切和斜切。切割方向与刃口法线重合为正切(见图1)。正切过程中,刀片切割断面的楔角就是刀片的几何角度;切割方向与刃口法线成一定角度为斜切(见图2)。在斜切过程中,刀片切割断面时的楔角比刃口法线上的楔角要小,相当于变锋利了,它们之间的关系是: $\text{tg}\gamma' = \text{tg}\gamma \cdot \cos\alpha$,其中 α 是动刀的运动方向与刃口的法向所夹的角称,滑切角。灌木切割类型可分为有支撑切割和无支撑切割。有支撑切割能使灌木获得较大的抗弯能力,故能在较低速度下进行切割;采用无支撑切割时,仅靠灌木自身的抗弯能力难以与动刀的切割力平衡,故需要较高的切割速度使灌木在瞬间产生较大的惯性力与切割力相平衡。

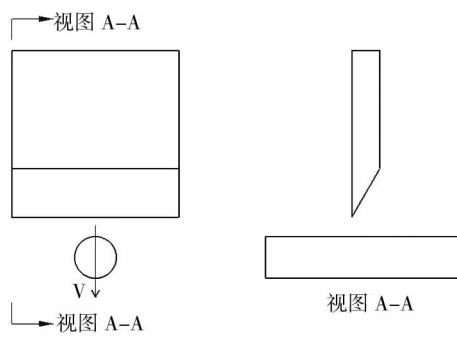


图1 灌木正切示意图

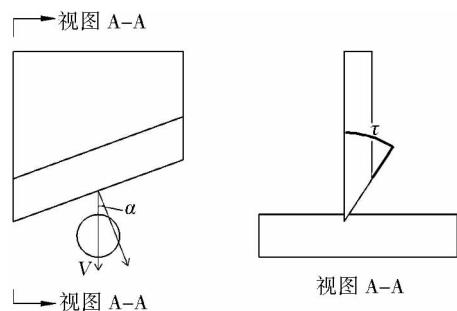


图2 灌木斜切示意图

研究表明,切割灌木的时机选择应尽量在灌木茎秆含水率低时进行,此时灌木纤维韧性较小,

受刀具挤压时更容易发生断裂,进而更易切割;斜切较正切省力。采用斜切能降低所需切割力,故能降低切割器动力驱动装置的最大功率及体积;滑切角的选择应适宜,在一定范围内增大滑切角,能起到减小实际切割楔角的作用,降低切割力。当滑切角大于一定角度时,灌木茎秆则会相对刀刃滑动而脱离刀刃,反而无法进行切割。

4 灌木切割器

结合灌木切割机理,设计灌木收割机械的切割器是整机研究的重点。目前在农林业广泛应用的切割器主要可分为往复式、圆盘式、循环式3种。其中,往复式和圆盘式研究较早,技术成熟,应用较多。循环式综合了往复式和圆盘式的特点,正处于研发试验阶段。

4.1 往复式切割器

往复式切割器由于结构简单,可靠性高,且是有支撑切割,切割质量好,被广泛应用于农林业收获机械中。其主要组成部分包括:动刀片、定刀片、护刃器、压刃器、摩擦片、刀杆等。按照动刀的数目可分为单动刀与双动刀2种。单刀往复式切割器适合切割大直径作物茎秆,属于大功率重载切割,振动较大,适用于自走式或悬挂式机械。双刀往复式切割器往复速度快,易于切割小直径作物茎秆,振动小,属于小功率轻载切割,适用于轻型机械。

往复切割器的研究主要集中在往复驱动结构、刀齿参数、割茬高度,重割漏割、往复惯性力平衡等方面。陈晓峰^[7]等通过绘制往复式标准型切割器的切割图,对其在不同进距下的割茬高度进行了分析,得出降低割茬的关键在于减小作物茎秆被动刀横向或纵向推移的距离,并据此提出窄节距低割茬切割器的设计依据。夏萍^[8]等通过建立往复式切割器割茬高度的数学模型,利用 Matlab 的三维动态图形处理函数模拟茎秆切割过程,得出影响割茬平均高度的重要因素依次为切割器类型、割台高度、切割速度比。朱新民等^[9]对往复切割器的刀刃形状和曲柄转速进行优化设计,降低了总切割阻力。台架试验结果表明,阻力峰值下降 47.9%,平均阻力下降 72.5%,节能效果显著,切割器震动减弱,整机工作性能明显提高。杨树川^[10]采用 Matlab 仿真的方法,首次定量计算出往复切割器在不同的机器前进速度、驱动割刀曲柄转速条件下对一次切割区、重割区及漏割区面积的影响。陈昆昌^[11]等通过建立数学模型并应用动力学方程序列求解法对全喂入水稻

联合收割机的往复切割机构进行运动学和动力学分析,经优化后的曲柄配重半径和配重质量能有效降低往复式切割器的震动。李宁^[12]等对往复式切割器刀具前角与柠条切割力的关系进行试验研究,结果表明灌木切割阻力随着刀具前角和灌木直径的增大而显著增加。

4.2 圆盘回转式切割器

圆盘回转式切割器属于无支撑切割,按割盘数目可分为单圆盘和多圆盘 2 类。目前小型整秆式收割机上普遍采用单圆盘式切割器,多圆盘切割器在切段式收割机上应用较多。

圆盘切割器的研究内容主要包括切割转速、圆盘倾角、刀刃形状、漏割重割以及模拟仿真等。王飞^[13]对圆锯片切割新鲜柠条试件的消耗功率、劈裂和烧焦现象进行研究,试验以圆锯片的切割转速、进给速度以及锯片种类为可变参数,结果表明,采用不同锯片以不同进给速度锯切灌木试件所需临界切断速度不同;前倾角较大的锯片,切割同直径灌木试件时所消耗的功率明显较少。万佳等^[14]通过建立小型甘蔗收割机单圆盘切割系统运动方程,以不漏割和不接触甘蔗茎秆为条件,结合收割要求利用模糊控制模型对切割系统在 Adams 与 Matlab 上进行控制仿真,得出割刀圆盘转速为 $650 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 时的运动轨迹曲线和模糊轨迹曲线。李丹婷^[15]等对圆锯片的刃口曲线进行研究,以刃口长度、割刀前进速度、刀片转速为参数建立等滑切角的割刀刃口曲线数学模型,利用 CAD、Matlab 等软件绘制滑切角为 53° 时的刀刃曲线,并根据设计结果生产割刀样品进行试验。结果表明:切割器的前进速度和旋转速度决定刀片刃口的曲线形状、刀片刃口长度和刀片个数;滑切角大于 30° 的割刀具有较好的切割效果;采用等滑切角曲线方程进行刃口曲线设计的割刀,在工作过程中可降低切割阻力,提高切割效果。红岭^[16]等利用圆锯片单齿模拟锯切试验对柠条材锯切力进行测定,并建立柠条材锯切功率分析模型,确定了单齿进给量与锯切功率之间的关系。结果表明,单齿进给量与单齿主锯切功率、法向锯切功率和总锯切功率之间分别存在线性关系。

5 结论

5.1 存在的问题

我国对灌木收获设备的研究尚处于起步阶段,相关的科研单位和组织较少,研究内容和深度均远远不够,无法满足新形势下灌木林大面积利

用的要求。同时,由于缺乏统一的试验准则,对于灌木物理力学性能的试验结果缺乏可信度且相差较大,无法代表灌木真实物理力学性质。灌木收获设备种类少,大都为农用收获机械仿制改进的,针对性和适用性不强。

5.2 改进和提高建议

5.2.1 规范灌木物理力学性能试验准则 由于灌木受自身生长条件限制,其直径与普通木本植物相差较远,因此无法按照木本植物的试验要求制成相应的试件,这直接导致试验结果的不准确。故需制定统一的灌木物理力学性能试验准则,建立多种常见灌木品种的物理力学性能数据库,方便设计切割机具时查阅。

5.2.2 收割机械应更具针对性 目前大多数的灌木收割设备由普通农用收获机具所改进,无法满足灌木高效收割的要求。灌木在切割过程中,对割茬高度和割面质量有严格要求。如果割茬高度过低,则在沙漠地区容易受风沙掩埋,以致灌木无法复壮成长,反而造成沙化更趋严重。因此割茬机具应具备高度可调性,以实现在不同地区作业时满足灌木复壮割茬高度的要求。割面质量对复萌率影响重大,灌木割茬后其切割断面应为圆形或椭圆形,尽量减少烧焦和挤压等对复萌的影响。

5.2.3 刀齿形状应深入研究 切割器的刀齿形状和材料直接关系到实际切割力的大小,不同的切割方式与不同的刀齿形状配合才能达到最优的效果。在刀齿形状的设计中,可以采用 Matlab 数值模拟和有限元技术等相结合。

5.2.4 完善相应配套设备 灌木资源利用是一套系统工程,包括收割、收集、筛选分类等。完善各个组成部分使之成为一个整体。

参考文献:

- [1] 俞国胜. 中国林木生物质能源开发利用技术设备研究[J]. 中国林业产业, 2006(1): 22-34.
- [2] 张桂兰, 高志悦, 王喜明. 3 种沙生灌木木材性及削片刨花制板工艺研究[J]. 木材学报, 2006(7): 10-12.
- [3] 田金芳. 柠条材切削特性的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2007.
- [4] 刘晓丽, 王喜明, 姜笑梅, 等. 沙棘材解剖及物理力学性质的研究[J]. 北京林业大学学报, 2004(2): 84-86.
- [5] 俞国胜. 步进手扶式圆锯片式割灌木机用于灌木平茬收割试验研究[J]. 林业机械与木工设备, 2009(3): 18-20.
- [6] 马永康. 柠条切割机理及收割机切割器设计研究[J]. 山西农业大学学报, 2006(6): 119-122.
- [7] 陈晓峰. 窄节距低割茬往复式切割器的研究[J]. 中国农机

- 化,2006(2):68-69.
- [8] 夏萍,曹成茂,陈黎卿,等.基于 Matlab 的往复式切割器割茬高度的动态仿真[J].系统仿真学报,2006(11):3070-3071.
- [9] 朱新民,尹安东.收割机往复式切割装置节能的研究[J].农机与食品机械,1995(5):9-10.
- [10] 杨树川.标准往复式切割器的工作性能研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2005.
- [11] 陈昆昌,赵匀,俞高红.全喂入水稻联合收割机切割机构的动力学分析与惯性力平衡[J].机械设计与研究,2005(3):98-100.
- [12] 李宁,俞国胜,张建中,等.柠条剪断力与刀具前角之间关系的研究[J].湖南农业科学,2009(3):126-129.
- [13] 王飞.沙生灌木圆锯片平茬锯切性能研究[D].北京:北京林业大学,2009.
- [14] 万佳.甘蔗收割机切割系统不漏割模糊控制仿真技术[J].农机化研究,2008(5):14-16.
- [15] 李丹婷.沙生灌木平茬机切割器刀口曲线的设计[J].农机化研究,2008(12):95-98.
- [16] 红岭.柠条材锯切特性及采伐机具的研究[J].木材加工机械,2006(2):7-10.

Study on the Cutting Theory and Harvesters of Bush

CHEN Cheng, YU Guo-sheng

(Technology College of Beijing Forestry University, Beijing 100083)

Abstract: Bush has a wide variety of uses with development prospects. Bush harvester today has the disadvantages of low efficiency, low application and high labor intensity. Therefore, the results in internal and external were summarized, including the mechanical characters of bush's stem, cutting theory and kinds of cutters. It also put forward the developing direction of setting the standard of bush's physical characters, and designed the high efficient and applicable bush harvester with the technology of numerical stimulation and FEM.

Key words: bush; mechanical characters; cutting theory; cutter

(上接第 126 页)

3.4 夯实乡镇农业社会化服务基础

一是健全乡镇农业服务机构,建立农村社会服务联动网,形成集农业实用信息、市场营销、科技示范、资金、政务服务等五大服务业体的联动网络;二是加大对农业社会化服务机构的扶持力度。进一步稳定乡镇农业技术推广队伍,将乡镇农业技术推广机构人员经费纳入财政预算,确保按时足额到位,在改善办公条件、搞好科技培训、推广农业项目等方面给予相应的资金保障。对于各类农村经济合作组织、农业产业化龙头企业和民营服务实体,在政策、资金、技术等方面实行适当的优惠扶持措施,促其发展壮大,增强实力,充分而有效地发挥其为“三农”服务方面的作用;三是大力发展农村经济合作组织。鼓励和引导企业、农民、供销合作社、农技推广机构及其它社会化服务组织,创办或领办农产品行业协会和农村经济合作组织,坚持“民办、民管、民受益”的原则,开展产前、产中、产后的自我服务。四是建立乡村农民技术员制度,以“绿色证书”工程、青年农民科技培训工程和百万农民技术人员培训计划为依托,加快乡村人才开发,组织实施农村实用人才工程,选送有突出贡献的乡土人才到农业高等职业院校学习,提高其综合素质和技术服务能力。

3.5 充分利用人才资源优势和教育资源

充分利用农业院校和农业科研院所人才资源优势和教育资源平台,提高我国农业社会化服务的能力。农业院校和农业科研院所具有良好的教育资源平台和人才资源优势,是发展地方经济和新农村建设不可忽视的力量。因此,将牡丹江市的农业院校与科研院所整合到农业社会化服务体系中,是提高农业社会化服务整体能力和水平的重要内容。农业院校与科研院所必须始终坚持以服务“三农”和地方经济为宗旨,通过农业科研成果孵化、农业科技下乡、农业实用技术培训、农业科技信息咨询服务等多种形式使科研与生产相结合、教学与农业生产过程相结合,形成政府+农企+农职研+农协+农户的相互关联、协调支撑、密切合作的农业社会化服务网络体系。架起农企与农协、农协与农户、农户与市场之间的桥梁和纽带,推进牡丹江市农业规模化经营和新农村建设,促进农民增收。

参考文献:

- [1] 任晋阳.农业推广学[M].北京:中国农业大学出版社,1997:22.
- [2] 高平堂.对我国农业社会化服务体系的思考[J].中共山西省党校学报,2008,31(6):57-58.
- [3] 杨汇泉,朱启臻.新中国成立60年来农业社会化服务体系组织建构回顾及研究述评[J].华南农业大学学报,2010,9(1):21-26.