

◆特邀专稿◆

中国甘蔗栽培的研究进展^{*}

吴建明^{1**},李燕娇²,邓宇驰¹,范业赓¹,李智敏¹,李傲梅¹

(1. 广西农业科学院甘蔗研究所,农业农村部广西甘蔗生物技术与遗传改良重点实验室,广西甘蔗遗传改良重点实验室,中国农业科学院甘蔗研究中心,广西南宁 530007;2. 广西农业科学院微生物研究所,广西南宁 530007)

摘要:甘蔗栽培技术历经上千年的演变,经过大量探索、研究和创新,在各个时期不断得到完善和发展,形成了不同的栽培模式,推动了我国甘蔗产业的发展,但仍存在部分亟待解决的问题。为了解决中国甘蔗栽培技术发展中遇到的问题,以水管理、养管理、病虫害防治等为关键词,在多个知名数据库检索 1950—2022 年国内外相关文献,并结合课题组 20 多年的研究成果,针对甘蔗栽培技术中养分、水分、虫害、病害和草害 5 项内容的发展历程及各阶段的关键技术、技术优劣及推广应用情况等进行了全面的总结和分析,并对未来发展方向提出建议,以期为我国甘蔗栽培管理技术的研究和发展提供参考。

关键词:甘蔗 栽培管理 病虫害 养分 灌溉

中图分类号:S566.1 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2022)04-0613-14

DOI:10.13656/j.cnki.gxkx.20220919.001

食糖是国家战略物资,甘蔗是我国主要的糖料作物,产糖量占食糖总产量的 90% 以上,对我国食糖安全至关重要。甘蔗栽培作为中国农业种植体系之一,有着悠久的历史,经历了从华南地区逐步向北推移的过程^[1]。甘蔗生产中,增产不增糖、增糖不增产是一直存在的矛盾,也是甘蔗产业需要解决的关键难题。合理的栽培管理技术能有效提高甘蔗产量和糖分,促进甘蔗产业可持续发展。因此,加强甘蔗栽培管理技术的研究与推广对促进我国甘蔗产业发展有重要意义。我国科技工作者一直以来致力于研究增产增糖栽培技术,以解决产业存在的共性问题。20 世纪 50

年代至 80 年代,我国甘蔗栽培技术在总结各地先进经验,开展科学研究和推广国外栽培技术等方面均取得了一定成效,主要内容包括喷灌、间套种、肥水促控、多次培土、综合防治病虫害等栽培管理技术^[2]。“十二五”期间,广西农业科学院甘蔗研究所在旱地甘蔗高效栽培方面总结出了深耕深松、蔗叶还田、健康种苗、酒精发酵液定量还田、化学调控等一批先进适用的栽培技术,多项技术已在我国蔗区大面积应用^[3]。

随着甘蔗栽培管理技术的研究和创新,更多先进适用的技术得到应用,栽培水平不断提升。科技工作者也对国内外甘蔗生产的主要栽培管理技术研究进

收稿日期:2022-07-06

* 国家现代农业产业技术体系广西甘蔗创新团队建设(ncyctxgxcxtd-2021-03),广西科技基地和人才专项(桂科 AD19245080)和中国科学院专项研发与联合攻关项目(KFJ-STG-QYZD-199-2)资助。

【作者简介】

吴建明(1978—),男,研究员,主要从事甘蔗栽培、生理和分子生物学研究,E-mail:wujianming2004@126.com。

【**通信作者】

【引用本文】

吴建明,李燕娇,邓宇驰,等. 中国甘蔗栽培的研究进展[J]. 广西科学,2022,29(4):613-626.

WU J M, LI Y J, DENG Y C, et al. Research Progress in Sugarcane Cultivation in China [J]. Guangxi Sciences, 2022, 29(4): 613-626.

行了总结和分析^[4-9],但前人主要从甘蔗养分、病虫害、水分等单一因素进行研究,综合养分、水分、虫害、病害和草害等多因素进行总结和分析还鲜有报道。因此,为了解国内甘蔗栽培管理技术的发展历程和应用情况,以甘蔗水分管理、养分管理、病虫害防治等为关键词,在多种知名数据库检索 1950-2022 年国内外相关文献,并结合课题组 20 多年的研究成果,针对甘蔗栽培技术中养分、水分、虫害、病害和草害 5 项内容的发展历程及各阶段的关键技术、技术优劣及推广应用情况等进行了全面的总结和分析,并对未来发展方向提出建议,以期为我国甘蔗栽培管理技术的研究和发展提供参考。

1 甘蔗养分管理

1.1 甘蔗养分需求规律

甘蔗是高秆作物,生育期相对较长,一般需要生长 10-12 个月才能成熟。同时,甘蔗的生长量巨大,生长期需要大量的营养。甘蔗植株的生长发育呈现慢-快-慢的过程,其对养分的需求与生长相关,呈现少-多-少的过程,总之是两头偏少中间偏多^[10]。甘蔗在萌芽期主要依靠种茎自身储藏的养分;在幼苗阶段(3 片叶后),种茎的养分已不能满足植株生长需要,急需外界养分补充,但吸收量少,此时植株对氮的需求稍多;在分蘖阶段,植株对养分的需求逐渐增加,植株吸肥量占全生育期的 10%-20%;进入伸长期,植株每旬可生长 10-15 cm,此时植株吸氮量占全期的 50%-60%,吸磷量和吸钾量占全期的 70%以上;转入成熟期,植株对养分的需求减少,但仍有一定的需求量,这个阶段植株的吸肥量占全期的 20%-30%^[11]。在甘蔗生长过程中,氮、磷、钾养分储存在细嫩组织中,枯老叶片在失去生理功能之前也可将部分养分转移到幼叶、幼茎等部位,以供应其生长使用^[12]。甘蔗生长不仅需要氮、磷、钾等必需营养元素,还需要吸收多种中微量元素,如钙、镁、硅、锰、锌、铜、氯等,这些中微量元素也是甘蔗生长阶段所必需的营养元素^[13-16]。不同的营养元素对甘蔗的生理和营养作用不同,各营养元素都有特殊的功能,对甘蔗生长发育具有同等重要性和不可替代性。

1.2 甘蔗施肥研究

1.2.1 甘蔗肥料的发展

在 20 世纪初期以前,中国甘蔗肥料的主要来源就是几千年以来一直使用的农家肥,主要包括草木灰、秸秆腐熟物、人粪尿、畜禽粪便、塘泥等,施肥方式

主要是底肥或基肥,部分粪尿作为追肥^[17]。最早进入中国的化肥是日本生产的尿素,但前期发展十分缓慢,国内基本上处于国家层面试验和示范阶段,未应用于甘蔗生产。20 世纪 60 年代初,中国出现了氨水、硫酸铵等速效氮肥,氮肥施用量得到大幅度提高,特别是碳酸氢铵等化肥,施肥效果较好,在甘蔗上得到推广应用^[18]。1970 年后,氮肥、磷肥和钾肥出现配合使用,显著增加了甘蔗产量^[9]。1990 年以后,出现了有机-无机复混肥在甘蔗上的应用^[19]。1995 年,我国开发出第一个甘蔗专用药肥^[20],随后,药肥在甘蔗上的应用得到大量研究报道,结果表明,药肥对提高甘蔗产量和防治螟虫效果极其显著^[21-25]。2005 年,广西甘蔗研究所探索了甘蔗专用肥研制并创建了推广新模式,在广西 5 个糖厂的蔗区,共推广甘蔗专用肥 3.14×10^4 t,应用面积超 4×10^4 hm²。2008 年,在甘蔗上首次提出并施用缓释肥料,结果表明,普通肥料与缓释肥料相结合的施肥方法较常规施肥处理可减少追肥 2 次,增加产量 6.0%,提高糖分 4.1%^[26]。随后,诸多缓释肥试验研究表明,缓释肥能增加蔗茎产量和糖分^[27-30]。近年来,药、肥的一体化施用节省了作业工序,减少了工作量,目前中国农村劳动力严重老龄化和缺乏的现状,促进了药肥在蔗区的全面推广应用,但也带来了一系列问题。由于药肥是作为农药进行登记的,部分药肥的肥效不够理想,导致土壤微生物、土壤理化性状、土壤结构等均受到破坏,蔗区甘蔗宿根黄化苗发生愈发严重。

1.2.2 施肥技术

1.2.2.1 施肥次数

20 世纪 70 年代之前,甘蔗栽培要求施肥 4 次,即“三攻一补”:攻苗肥、攻蘖肥、攻茎肥、后期补壮尾肥^[31]。各时期的施肥量为苗期 5%-10%,分蘖期 10%-15%,伸长期 50%-60%,成熟期 10%-15%^[32]。20 世纪 80 年代中期,我国首次报道了一次性施肥试验,结果表明,一次性施肥比常规施肥增产 11.7%-24.7%^[33,34]。20 世纪 90 年代以后,研究者开展了不同施肥次数效果研究,结果表明,2 次或 3 次施肥处理的产量最高^[35,36]。缓释肥在甘蔗上的研究与应用起步较晚,中华人民共和国农业农村部“十三五”提出“药肥双减”政策后,才引起了诸多研究者关注并开展甘蔗全程一次性施肥研究。结果表明,全程一次性施肥能提高甘蔗产量和糖分^[37,38],但目前主要还是处于研究阶段,推广面积还较少。缓释肥料改变传统的多次施肥方式,实现一次性施肥,简化流

程,从而大大降低了农业劳动强度,提高了劳动生产率^[39]。然而,一次性施肥方式不能完全替代传统施肥,因为一次性施肥还存在施肥深度不够、养分不均衡、盲目性等问题。

1.2.2.2 配方施肥

配方施肥是综合运用现代农业科技成果,根据作物需肥规律、土壤养分状况、供肥性能与肥料效应,通过施肥手段来调节最佳用量与适宜配比,做到科学化、合理化、定量化^[40]。甘蔗配方施肥主要有地力分区(级)法、地力配方法、养分平衡法、地力差减法、肥料效应函数法、养分丰缺指标法,以及氮、磷、钾比例法等^[41]。不同配方施肥方法各有优缺点,如地力分区(级)法和地力配方法提出的肥料种类及用量配比,较接近配方区的实际,针对性强,但过多依赖经验,是初级的配方施肥技术;地力差减法不需要进行土壤养分的化验分析,比较方便,但必须通过田间试验得到空白产量,且无法表明土壤氮、磷、钾等养分的具体情况和最小养分,容易出现地力亏损问题;肥料效应函数法能客观反映肥料试验因素的综合效应,精确度高,但不同年份、不同地区肥效差异明显,田间试验结果的地域性和时效性强;氮、磷、钾比例法工作量小,推广应用方便,但比例关系因地力、年份会有差异,存在地域性和时效性的局限^[41]。20世纪80年代以来,研究者对甘蔗测土配方施肥进行了大量研究,结果表明,测土配方施肥能有效克服甘蔗施肥的盲目性,做到合理施肥,提高甘蔗产量和蔗糖分,提高甘蔗种植的经济效益^[42,43]。但我国甘蔗主要种植在广西、云南、广东三大蔗区,不同蔗区土壤养分差异较大,同一蔗区相邻地块之间养分状况相差悬殊,且缺乏对土壤中微量元素的检测,使配方施肥难以实现精准,从而降低了配方施肥的增产效益,导致配方施肥技术在我国甘蔗生产的应用存在一定局限性。

1.2.2.3 叶面施肥

国外在20世纪50年代开始进行甘蔗叶面喷施研究与应用,而我国甘蔗叶面喷施研究起步较晚,20世纪80年代才开始研究甘蔗喷施稀土的作用效果^[44-46]。随后,越来越多甘蔗叶面喷施试验研究如喷施复硝钾、多效好、特利304、植吟葆、蔗丰灵、芸苔素、黄腐酸、吡啶丁酸等得到开展,结果表明,这些化学药剂对产量或糖分均具有一定的促进作用^[8]。化学药剂喷施甘蔗应用效果已经有大量研究报道,但是能大面积推广应用的较少。

自1990年以来,广西农业科学院开展了甘蔗催熟增糖的技术研究,在国内首次采用超轻水上飞机对甘蔗进行大规模喷施抗旱型甘蔗增糖增产剂。这是现代化科技与实用技术的结合,累计推广应用面积超过 $6.67 \times 10^4 \text{ hm}^2$,对广西蔗糖产业的稳定发展有重要的作用^[47]。但该技术也存在一些问题:一是飞机喷施甘蔗增糖增产剂后,糖分积累高峰期维持时间短(5-7 d),糖厂难以及时安排甘蔗砍、运、榨,会造成甘蔗高糖不高榨;二是增糖剂含有乙烯利(一种促进成熟的植物生长调节剂),施用后会对甘蔗产生一些不良影响,如限制甘蔗生长、影响宿根发株和蔗芽萌发等;三是含生长抑制物质的化学催熟,施用时间要求特别严格,需在收获前1个月左右施用,但受自然气候条件、甘蔗品种、施用时期等因素影响很大,难以在最佳时间施用,同时,作业易受到周边作物的影响。因此,本课题组在前期工作基础上,研究了甘蔗节间伸长机制,揭示了节间伸长细胞和表型变化规律,获得影响节间伸长的主要内源激素、相关酶和重要基因^[48-51],为甘蔗增产增糖协同提高关键技术研发提供了科学依据;并基于甘蔗糖分积累规律开发出具有增糖作用的复合生物型有机叶面肥,该叶面肥通过促进甘蔗上部和中部节间糖分积累达到增糖目的;集成创新以仿地飞行为核心的增产增糖作业体系,解决了甘蔗产量和糖分协同提高的关键难题,并大面积推广应用^[52]。

1.2.2.4 其他施肥技术

施肥技术对甘蔗产量、糖分、土壤环境等产生重要影响。因此,除施肥次数、配方施肥、水肥一体化以外,研究者还探索了一些新的甘蔗施肥技术,如最佳模拟配合法^[53]、定位施肥^[54]、平衡施肥^[55]、数学模型模拟施肥^[56]、滴灌施肥^[57,58]等。滴灌技术是世界上最先进的节水灌溉技术之一,但我国滴灌技术在甘蔗生产上的应用研究起步较晚。21世纪初,滴灌施肥技术在甘蔗上仅是试验示范阶段。2013年广西“双高”糖料蔗基地建设启动,到2019年广西甘蔗基地实现水利化建设 $1.912 \times 10^5 \text{ hm}^2$ ^[59],助推甘蔗水肥一体化技术的应用和发展^[60,61]。甘蔗施肥技术已经发生了较大变化,但是我国蔗区地形地貌差异较大,且蔗农对施肥技术的接受程度也有差异,在甘蔗种植中,盲目施肥、单一施肥、过量施肥等不合理用肥问题普遍存在,造成氮、磷、钾三要素的比例失调,在一定程度上限制了甘蔗产量、含糖量的进一步提高^[62]。

2 甘蔗水分管理

2.1 甘蔗需水规律

甘蔗是水分含量很高的作物,甘蔗根部水分含量为 68.79%,茎部为 74.95%,叶部为 74.38%,种子为 11.03%^[63]。甘蔗对水分的吸收一方面通过根系从土壤中吸收,另一方面也可以通过地上部进行吸收。地上部主要是通过叶片吸水,而叶片吸水最活跃的部位是表皮组织的巨型细胞。此外,蔗茎也能吸水,吸水最显著的部位是蔗节区域。研究表明,甘蔗生长全过程中,土壤水分要求保持润-湿-润-干,即幼苗期和分蘖期要润,伸长期盛期要湿,伸长期后期要润,成熟期要干^[64]。甘蔗种茎本身含水量在 70%以上,基本能满足甘蔗萌发需要的水分,但在大田环境下,种茎水分易干耗,因此萌芽期需水量占全生长期需水量的 8% - 18%;分蘖期是苗根发生的时期,此时需水量占 15% - 21%;伸长期盛期是甘蔗生长最旺盛的时期,此时根系发达,植株高大,光合作用和蒸腾作用增强,需水量占 54% - 57%;成熟期为糖分积累的关键时期,此时需水量仅占 13% - 19%^[65-67]。

2.2 甘蔗灌溉技术

2.2.1 沟灌

20 世纪 90 年代之前,广东蔗区主要以水田为主,地势平坦,因此沟灌是应用较多的灌水方法,该方法是利用重力和毛管力,把灌入沟中的水带到沟两侧蔗畦的根系^[68]。沟灌方法简单,但灌水不均匀,浪费水,水的利用率只有 30% - 40%。习惯上,沟灌水由沟头流到沟尾,连续放水,水的前进速度较慢,沿途渗漏量大。为提高灌水效率和均匀度,可以把连续放水改为间歇放水,使沟逐段湿润,被湿润过的沟段土壤阻力减少,既减少了沿沟入渗,又提高了均匀度,节约了用水^[68]。但是采用这种方法时,需特别注意田地要平整,否则,土壤湿润不均匀,在较高的地方灌不上水,低的地方则积水过多^[69]。20 世纪 90 年代之后,蔗区从广东转移到广西,蔗区地形地貌也发生极大变化,从原来的水田逐步转移到旱坡地,沟灌技术受到限制,基本无法应用。

2.2.2 水井灌溉

水井灌溉在我国已有悠久的历史。20 世纪 60 年代,我国华北地区由于年降水量少,地面水远不能满足农田灌溉用水的需要,因此,水井是抗御干旱、争取农业增产的重要工具。我国南方应用水井灌溉甘

蔗起步较北方晚。20 世纪 90 年代初,广东省雷州半岛开展打井喷灌 $1.33 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 甘蔗的建设,是当时一项巨大的节水灌溉工程。每井喷灌面积控制在 20.0 - 26.7 hm^2 ,井地下水深 10 - 15 m,用深井泵抽水,再通过塑料管道输送到田间。为适应个体农户的耕作,末级输水管沿线一定距离设集水池,每池容积 20 - 30 m^3 ,农户可根据自己的生产条件,自行确定采用何种喷灌形式,当时大部分农民采用半固定式或移动式喷灌方式^[68]。20 世纪 80 - 90 年代,甘蔗水井灌溉有了极大发展,水井灌溉推动甘蔗产量增加,但是随着甘蔗从水田地旱坡地转移,因缺乏水源,水井灌溉技术不再适应蔗区的应用。

2.2.3 喷灌

20 世纪 60 年代,甘蔗喷灌已在珠江三角洲大面积推广,20 世纪 70 年代后,广东省西部沿海地区也相继推广开来。当时,甘蔗喷灌形式多样化,固定、半固定和移动式均有。20 世纪 80 年代末,雷州半岛连续 3 年进行甘蔗喷灌用水定额试验,经科学论证后,决定全部采用固定式的喷灌手段,输水利用系数由传统沟灌的不足 0.5 提高到 0.95;每公顷灌溉年用水量由传统的 20 m^3 减为 10.7 m^3 ,节约用水 46.6%^[70]。但不管哪种形式,到甘蔗生长的中后期都存在喷洒困难的问题。为解决这一问题,研究者提出了加高喷头支架、高仰角喷头、高低秆作物间作、手持喷枪、固定式喷灌、喷灌与沟灌相结合、绞盘式大型喷灌机等方式^[68]。20 世纪 80 年代国务院作出了甘蔗生产大规模向广西、云南、广东等旱坡地转移的战略部署,20 世纪 90 年代广西取代广东成为全国最大的甘蔗生产省区,蔗区的地形地貌也随之发生变化,从原来的水田逐步转移到旱坡地。“九五”期间广西十几个节水灌溉示范项目获中央支持,工程总面积 2 742 hm^2 ,其中:渠道防渗面积 345.49 hm^2 ,占总面积的 12.6%;低压管道灌溉面积 539 hm^2 ,占总面积的 19.7%;卷盘式喷灌机喷灌面积 1 129 hm^2 ,占总面积的 41.2%;微、滴灌面积 268.8 hm^2 ,占总面积的 9.8%;固定式喷灌面积 176 hm^2 ,占总面积的 6.4%;小型移动式喷灌 144.67 hm^2 ,占总面积的 5.3%^[71]。当时以卷盘式喷灌机喷灌为主,1998 年,广西北海市建立了 200 hm^2 的卷盘式喷灌基地,随后,广西先后引进了 110 多台卷盘式喷灌机用于甘蔗喷灌,灌溉面积近 3 000 hm^2 ^[72]。从 1998 年起,广西农业科学院对酒精发酵液的喷灌还田技术进行系统研究,随后该技术在广西农垦国有昌菱农场、广西壮族自治区河池

市博庆糖厂、广西农垦国有黔江农场等地得到大面积推广应用,该技术可使甘蔗增产3%–37%,糖分提高0.3%–1.0%(绝对值)^[73]。2014年,广西政府印发了《广西优质高产高糖糖料蔗示范基地建设试点实施方案》,2015年广西500万亩优质高产高糖糖料蔗基地(以下简称“双高”基地)建设纳入国家糖料蔗核心生产基地建设,随后,国家安排了30亿元专项资金用于广西“双高”基地建设^[59]。随着“双高”基地相关政策的出台,制糖企业、种植公司、家庭农场、农民合作等经营主体参与基地建设,各地在实施过程中不断探索,涌现出多种多样的新型经营模式,如“双加双带”“并户联营”“甜蜜之光”等,也引发了水利化建设的高潮,甘蔗灌溉技术从喷灌转向滴灌。

2.2.4 滴灌

滴灌是微灌的一种,是滴水灌溉的简称,分为地表滴灌和地下滴灌。中国甘蔗滴灌技术在甘蔗上的研究应用起步相对较晚。1985年,广东省红旗华侨农场在我国首次报道了甘蔗滴灌应用试验研究^[74]。1988年,广东遂溪县前进农场引进了燕山滴灌技术,建造了20 hm²甘蔗滴灌系统,但使用效果不理想,且造价高,沿行的毛管与法丝又妨碍甘蔗的中后期田间管理,滴灌系统未发挥应有作用^[75]。2003年广西金光实业总公司(现为广西农垦金光农场有限公司)引进以色列全套埋式滴灌系统,建立了我国第一个6.7 hm²的甘蔗滴灌示范基地,揭开了我国应用滴灌技术灌溉甘蔗的序幕^[57]。2004–2005年,广西农垦金光农场和广西田阳县农业局推广建设了147 hm²甘蔗滴灌基地;2005年,湛江农垦集团与以色列公司

合作,引进埋式滴灌系统综合技术,建成1467 hm²埋式滴灌基地^[76]。2012年广西通过引进、研究、推广、应用的方式将埋式滴灌系统技术应用在甘蔗种植上,助力甘蔗高效节水灌溉^[77]。根据广西壮族自治区政府有关规划,广西在近年内要发展以水肥一体化技术为主的甘蔗设施农业面积达33.33万hm²,占广西甘蔗总种植面积的30%以上^[78]。滴灌是节水效果好的灌溉技术,比喷灌技术节水30%–50%,且该技术具有提高水肥利用率,节能省工等优势,特别是结合水溶肥料进行水肥一体化是现阶段应用最普遍的灌溉技术^[79]。但滴灌技术也存在滴口易堵、滴灌均匀性难调控、管理和运行成本高等缺点。

3 甘蔗害虫种类与防治

3.1 甘蔗茎部害虫(螟虫类)

3.1.1 种类和分布

甘蔗螟虫是我国分布最广、发生最普遍、为害最严重的甘蔗害虫。在我国所有甘蔗产区均有螟虫为害,主要螟虫种类有二点螟 *Chilo traea infuscatella*、黄螟 *Argyro ploce schistaceana*、条螟 *Proceras venosatus*、白螟 *Scirpophaga nivella*、大螟 *Sesamia inferens*、台湾稻螟 *Chilo traea auricilia* Dudgeon、玉米螟 *Pyrausta nubilalis* (Hubern)、木蠹蛾 *Carpenter moths* 等^[80–82],但是不同甘蔗省区发生的种类、数量和为害程度差异比较大,甚至同一省区内的不同市、县也会有所不同。根据掌握的不完整资料,列出主要甘蔗省区螟虫的简单分布如表1所示^[81,83–85]。

表1 我国甘蔗主产区螟虫种类与发生分布情况

Table 1 Species and distribution of stem borer in main sugarcane producing areas in China

蔗区 Sugarcane area	二点螟 <i>Chilo traea infuscatella</i>	黄螟 <i>Argyro ploce schistaceana</i>	条螟 <i>Proceras venosatus</i>	白螟 <i>Scirpophaga nivella</i>	大螟 <i>Sesamia inferens</i>	台湾稻螟 <i>Chilo traea auricilia Dudgeon</i>	玉米螟 <i>Pyrausta nubilalis (Hubern)</i>	木蠹蛾 <i>Carpenter moths</i>
广东 Guangdong	★	★	☆	☆	☆	☆		☆
广西 Guangxi	★	★	★	☆	☆	☆	☆	
云南 Yunnan	☆	★	★	☆	☆	☆		
海南 Hainan	☆		★	★			☆	☆
贵州 Guizhou	☆		☆		★			

注:★表示是该省区为害主要种类,☆表示有发生

Note:★ indicates that it is the main type of damage in the province (region); ☆ indicates that it occurred

3.1.2 预测预报

20世纪70年代初期,我国开始用活雌蛾诱捕田间雄蛾以预测第1,2代二点螟的发生期,且在不同蔗区建立了测报协作点,初步掌握了二点螟为害动态特点^[86]。20世纪80年代初,我国研制出第一个二点螟性引诱剂,标志着预测预报新技术的产生^[87],随后在广东、广西、江西等地进行试验诱测,效果显著,技术实用性强。之后经过多方努力,又相继合成了6种蔗螟性引诱剂,主要螟虫性引诱剂种类和组分如表2所示

Table 2 Species and components of main attractants for borers

螟虫种类 Species of borers	诱剂组分 Components of attractants	螟虫种类 Species of borers	诱剂组分 Components of attractants
二点螟 <i>Chilo trazea infuscatella</i>	顺-11-十六碳烯醇 Cis-11-hexadecenol	白螟 <i>Scirpophaga nivella</i>	顺-11-十六碳烯醛、反-11-十六碳烯醛 Cis-11-hexadecenal, trans-11-hexadecenal
黄螟 <i>Argyroplote schistaeana</i>	顺-9-十二碳烯醇醋酸酯 Cis-9-dodecenol acetate	大螟 <i>Sesamia inferens</i>	顺-11-十六碳烯醇醋酸酯、反-11-十六碳烯醇 Cis-11-hexadecenol acetate, trans-11-hexadecenol
条螟 <i>Proceras venosatus</i>	顺-13-十八碳烯醇醋酸酯、顺-11-十六碳烯醇醋酸酯、顺-13-十八碳烯醇 Cis-13-octadecenol acetate, cis-11-hexadecenol acetate, cis-13-octadecenol	台湾稻螟 <i>Chilo trazea auricilia</i> Dudgeon	顺-7-十二碳烯醇醋酸酯、顺-8-十三碳烯醇醋酸酯、顺-9-十四碳烯醇醋酸酯、顺-10-十五碳烯醇醋酸酯 Cis-7-dodecenol acetate, cis-8-tridecenol acetate, cis-9-tetradecenol acetate, cis-10-pentadecenol acetate
玉米螟 <i>Pyrausta nubilalis</i>	顺-9-十二碳烯醇醋酸酯 Cis-9-dodecenol acetate		

3.1.3 螟虫防治

螟虫防治主要有以下方法:一是化学防治。化学防治是最传统的螟虫防治方式,也是其他方式无法全面替代的方式。关于不同药剂对甘蔗螟虫田间药效试验前人已进行大量研究,结果表明,螟虫防治效果在70%–98%^[90-92],但不同药剂的防治效果差异较大。近来,广西农业科学院甘蔗研究所集成创新了基于仿地飞行模块优化组合的精准高效甘蔗螟虫航空植保作业技术体系,作业效率提高14–24倍,药液使用量下降90.65%,防治效果达到88.46%–94.94%^[93],解决了甘蔗植保作业效率低、二次污染、中后期难防治的难题。二是农业防治。主要有焚烧蔗叶、轮作或间作、防止蔗种传播等措施。因环保等原因,近年来焚烧蔗叶的方式已被禁止;由于土地资源和劳动力紧缺、管理困难、机械化程度低等因素的影响,轮作或间作难以大面积推广应用;通过脱毒组培苗可以解决种茎带虫的问题,但是脱毒组培苗生产能力有限,目前中国甘蔗脱毒组培苗的生产能力约2000万株/a,只能种植约1133 hm²良种繁育基地,远不能满足蔗区生产需求^[94]。三是生物防治。生物

示^[88,89],这些性引诱剂为甘蔗螟虫预测预报提供了重要材料支撑。近年来,广西农业科学院甘蔗研究所开发出了甘蔗病虫害和蔗田小气候的数据管理软件(软件著作权号:2019SR1131096),通过安装螟虫性引诱剂承接装置捕获螟虫成虫,实时监测甘蔗螟虫的发生情况,摸清了甘蔗螟虫的发生月历,直观地展现了蔗区螟虫发生的种类、世代、时期和为害高峰期,可根据发生月历对甘蔗螟虫进行合理防治。

防治最成熟的方法是释放赤眼蜂卵,研究表明,放蜂区的螟害株率、死尾率和螟害节率显著低于对照区^[95-97],产量增加7.5%–14.7%,糖分含量增加1.18%–18%^[98,99],但是因为放蜂卵受到天气、其他生物、周边农药、释放成本等诸多因素的影响,该方法难以代替传统化学防治全面推广应用。四是物理防治。通过灯光诱杀是利用害虫光趋性,引诱并集中杀死害虫的技术。研究表明,甘蔗螟虫均具有一定的趋光性。目前,灯光诱虫在甘蔗螟虫的预测预报上应用比较多,在生产上应用比较少^[100]。近来,徐福生等^[101]利用无人机在蔗区开展条螟性诱剂迷向飞防技术示范,结果表明,性诱剂迷向飞防处理区与对照区相比,平均螟害株率降低40.98%,螟害株率平均防治效果为47.54%,平均枯梢率降低20.72%,平均虫节率降低22.53%;理论预测的甘蔗平均产量提高14425.05 kg/hm²。

3.2 甘蔗根部虫害

甘蔗根部害虫(地下害虫)的主要类型有金龟子(*Apogonia formosana*)、白蚁(*Termites*)、金针虫(*Canaliculatus*)、蝼蛄(*Gryllotalpa*)等,防治方法

主要有水旱轮作、化学防治和物理防治。由于甘蔗已经从水田向旱坡地转移,因此,水旱轮作已无法实施。化学防治主要结合基肥和追肥施用,当前主要通过药肥解决地下害虫,据研究表明,特丁磷颗粒剂、吡虫啉·杀虫单缓释粒剂、吡虫·杀虫双缓释颗粒剂等药剂对甘蔗金龟子防治效果为 87.02% - 98.60%^[102-104]。此外,可在成虫盛发期用佳多频振式杀虫灯诱杀成虫。

3.3 甘蔗叶片害虫

甘蔗叶片害虫主要有绵蚜 (*Ceratovacuna lanigera*)、蓟马 (*Fulmekiola serratus*)、粉蚧 (*Saccharicoccus sacchari*)、草地贪夜蛾 (*Spodoptera frugiperda*) 等。据研究表明,70% 噻虫嗪对甘蔗绵蚜和蓟马的防治效果分别在 98.4% 和 82.9% 以上,施用后甘蔗实测产量和糖分分别较对照增加 34 290 kg/hm² 和 6.8%^[105];一次性喷施 30 kg/hm² 10% 噻虫胺·杀虫单颗粒剂对甘蔗螟虫、绵蚜和粉蚧有较好的防治效果,施用后甘蔗产量和糖分分别比对照组提高 14.17% 和 28.13%^[106]。近年来,作者研究获得防治甘蔗地草地贪夜蛾药剂优化组合:虫螨腈-氯虫苯甲酰胺-虱螨脲-专用助剂混合药剂,结合无人机仿地飞行的技术体系应用于甘蔗地草地贪夜蛾防治,效果达 94.9%,有效应对甘蔗地草地贪夜蛾的突发性暴发^[107]。因此,甘蔗叶片害虫主要以化学药剂防治为主,重点是注意用药时期,可根据虫口为害情况判定用药时机,作业方式已从人工背负喷施转变为无人机作业为主。

4 甘蔗病害防治

4.1 甘蔗病害的种类

世界上已发现的甘蔗病害超过 160 种,我国发现的有 60 多种^[108]。至今对甘蔗生产造成损失较大的病害主要有凤梨病、黑穗病、宿根矮化病、花叶病、黄化病等^[109]。科学家对我国蔗区甘蔗病害种类的调查研究从未停止,研究发现,甘蔗病害主要有真菌性病害(种类最多,约 20 多种)、细菌性病害(3 种)、病毒性病害(3 种)、线虫病害(3 种),还有营养缺乏、未明的病害等^[110,111],其中甘蔗卷叶病是 2012 年在广西蔗区首次发现的真菌性病害^[112](表 3)。

4.2 甘蔗病害的防治

甘蔗病害的防治只能靠有效预防病害的发生或减轻为害的程度,从而减少病害所造成的损失。病害一但发生,没有办法治愈,因此预防特别重要。甘蔗

表 3 甘蔗主要病害种类、病原和为害部位

Table 3 Main disease types, pathogens and damage sites of sugarcane

病害名称 Disease names	病原 Pathogens	为害主要部位 Damage sites
黑穗病 Smut	真菌 Fungi	整株 Whole plant
梢腐病 <i>Pokkah boeng</i>	真菌 Fungi	梢部、嫩叶 Tips, tender leaves
凤梨病 Pineapple disease	真菌 Fungi	茎 Stem
锈病 Rust disease	真菌 Fungi	叶片 Leaf blade
赤腐病 Red rot	真菌 Fungi	茎、叶脉 Stem, leaf vein
叶焦病 Leaf burn	真菌 Fungi	叶片 Leaf blade
轮斑病 Ring spot	真菌 Fungi	叶片、叶鞘 Leaf blade, sheath
虎斑病 Leaf red rot	真菌 Fungi	叶鞘 Sheath
白疹病 White spot disease	真菌 Fungi	叶片 Leaf blade
眼斑病(眼点病) <i>Bipolaris sacchari</i> Shoem	真菌 Fungi	叶片、嫩梢 Leaf blade, tender shoots
黄点病 Yellow spot disease	真菌 Fungi	叶片 Leaf blade
褐条病 Brown streak	真菌 Fungi	叶片 Leaf blade
褐斑病 Brown spot	真菌 Fungi	叶片 Leaf blade
黑腐病 Black rot	真菌 Fungi	茎 Stem
煤烟病 Sooty mould	真菌 Fungi	叶片 Leaf blade
靶环病 Target ring disease	真菌 Fungi	叶片 Leaf blade
指霜霉病 <i>Peronosclerospora sacchari</i>	真菌 Fungi	叶片、叶鞘 Leaf blade, sheath
卷叶病 Leaf roll	真菌 Fungi	叶片 Leaf blade
赤条病 Red streak	细菌 Bacteria	叶片、嫩梢 Leaf blade, tender shoots
白条病 Leaf scald	细菌 Bacteria	叶片、叶鞘 Leaf blade, sheath
宿根矮化病 Ratoon stunting disease	细菌 Bacteria	茎 Stem
花叶病 Brindle	病毒 Virus	叶片 Leaf blade
波条病 Chlorotic streak	病毒 Virus	叶片 Leaf blade

续表

Continued table

病害名称 Disease names	病原 Pathogens	为害主要部位 Damage sites
甘蔗褪绿线条病 Sugarcane chlorosis	病毒 Virus	叶片 Leaf blade
螺旋线虫 <i>Helicotylenchus</i>	线虫 Nematode	根部 Root
矮化线虫 <i>Tylenchorhynchus</i> sp.	线虫 Nematode	根部 Root
根结线虫 <i>Meloidogyne</i> spp.	线虫 Nematode	根部 Root
黄化病 Chlorosis	营养缺乏 Nutritional deficiency	叶片 Leaf blade

发生病害种类多,且不同病害发生的规律差异很大,防治措施也因病而异。因此,甘蔗病害主要通过综合防治才能达到好的效果。主要防治方法如下。

4.2.1 甘蔗引种检疫

引种是丰富甘蔗育种材料的重要保证。对引进的种源进行检疫是防治病害扩散传播的主要技术措施,能有效地制止或限制有害病源的传播和扩散,对阻止外来植物病虫害的入侵起着积极作用。因此,对引进蔗种提前进行检疫可有效地阻止危险性病虫害随着蔗种的引进而传播,保证蔗区生产安全^[113]。

4.2.2 抗病品种

选育抗病品种是甘蔗病害防治最直接有效的途径。甘蔗生产追求产量和糖分,抗病性常被育种者忽视,导致我国现有主栽品种桂糖42号、桂柳05136等宿根蔗黑穗病高发。解决这一问题最好的办法是加强抗病品种选育,特别是在育种过程中增加抗病鉴定,选育出抗病甘蔗新品种。

4.2.3 健康种苗

选用健康种苗对于预防甘蔗宿根矮化病、花叶病等具有很好的效果,云南蔗区主要通过温水脱毒生产健康种苗,选用该种苗可使甘蔗每亩平均增产1.12 t,每亩节约种苗成本250元,栽种劳动力成本每亩节约150元,宿根年限延长2-3 a^[114]。广西和广东等蔗区主要通过茎尖组培脱毒生产健康种苗,选用该种苗可使甘蔗平均增产20%,糖分提高0.5%-1.0% (绝对值)^[115]。

4.2.4 农业防治

一是轮作。轮作能减少凤梨病、根腐病、黑穗病等土壤传播病害病原物的数量。二是清理蔗园。及时剥除病叶、枯叶集中处理,可以减少田间病原菌的

数量,控制病害蔓延。三是改善栽培技术。合理施肥、注意排灌等措施可以提高甘蔗抵抗病害的能力。四是化学防治。我国甘蔗种植面积大,病害发生种类多,为害严重,化学防治仍然是主要措施,主要有药剂浸种、肥料拌施、喷施等方式,能有效控制病害的发生^[116]。

5 草害防治

5.1 杂草种类

由于各耕作区的环境条件不同,不同蔗区杂草类型差异较大,充分认识杂草群落组成对制定有效的杂草防除方法非常重要。我国主要有10多种常见的蔗田杂草和一些特殊的杂草(表4),这些杂草中除香附子 *Cyperus rotundus* L.、狗牙根 *Cynodon dactylon* (L.) Pers.、牵牛 *Ipomoea hardwickii* Hems L. 和铺地黍 *Panicum repens* L. 是无性繁殖外,其余都是种子繁殖^[117]。总的来说以禾本科类杂草危害最重,阔叶类杂草次之,莎草科杂草危害较小。一年生杂草群落危害面广,危害程度严重,多年生杂草群落仅在局部蔗区危害严重^[118]。

表4 中国蔗田杂草的主要类型

Table 4 Main types of weeds in sugarcane fields in China

杂草类型 Types of weeds	学名 Scientific name	生长周期 Growth cycle
香附子	<i>Cyperus rotundus</i> L.	多年生 Perennial
狗牙根	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	多年生 Perennial
芒稷	<i>Echinochloa colonum</i> L.	一年生 Annual
蟋蟀草(牛筋草)	<i>Eleusine indica</i> Gaertn.	一年生 Annual
龙爪茅	<i>Dactyloctenium aegyptium</i> L.	一年生 Annual
马唐	<i>Digitaria ischaemum</i> Muhl.	一年生 Annual
刺苋	<i>Amaranthus spinosus</i> L.	一年生 Annual
麻风草	<i>LaPortea violacea</i> Gagnep.	一年生 Annual
马齿苋	<i>Poriulaca oleracea</i> L.	一年生 Annual
牵牛	<i>Ipomoea hardwickii</i> Hems L.	多年生 Perennial
皱果苋	<i>Amaranthus viridis</i> L.	一年生 Annual
铺地黍	<i>Panicum repens</i> L.	多年生 Perennial
含羞草	<i>Mimosa invisa</i> L.	多年生 Perennial
钝形臂形草	<i>Brachiria mutica</i> Stapf.	多年生 Perennial

5.2 除草方法

5.2.1 化学除草

20世纪50年代之前,我国采用锄头、人工拔除等方式除草。1951年,我国第一批除草剂2,4-D(2,4-dichlorophenoxyacetic acid)由国外引进台湾,随后,2,4-D、敌草隆、阿特拉津、草完隆、芳灭净、利谷隆、草芽平等单一或混合芽前除草剂得到快速推广应用^[119]。20世纪60年代末到70年代初,甘蔗芽后除草剂被引进并使用,主要有克芜踪、达拉朋和2,4-D(钠盐),这类混合剂能消除已萌发的杂草,也能抑制未萌发的杂草。20世纪80年代起,芽前和芽后除草剂在台湾糖业公司的甘蔗农场得到大面积应用。

1974年大陆选用了8种除草剂进行除草试验,结果表明,除草率为87.6%–95.3%,其中以50%阿特拉津效果最好^[120]。20世纪80年代之后,学者们相继开展了不同除草剂如扑草净、除草醚、二甲四氯、阿特拉津、敌草隆、西玛津、恶草灵等除草试验研究,结果发现阿特拉津、西玛津、恶草灵、扑草净、除草醚等适宜蔗区推广^[121,122]。随后,越来越多的除草剂应用于甘蔗生产,如草甘灵、草甘膦、百草枯、莠灭净、莠去津、乙草胺、嗪草酮等^[122]。近年,张小秋等^[123]开展植保无人机在蔗田化学除草上的应用效果研究,结果表明,飞喷硝磺草酮与莠去津混配液对单子叶杂草的株防效与鲜重防效分别为89.29%、86.31%,对双子叶杂草的株防效与鲜重防效分别为99.23%、97.03%,对总杂草的株防效与鲜重防效分别为96.84%、96.25%,防除效率为49.95 min/hm²。

甘蔗除草剂使用注意事项:一是严格掌握除草剂种类和用量。没有一种除草剂是万能的,因此,要根据杂草类型选用适合的除草剂或复混使用^[124];每一种除草剂的推荐用量,都是经多年实践和各种试验得出的结果,不能任意加大和减少用量,这样才能保证除草剂效果,防止发生药害,否则很安全的除草剂也会出现药害。二是坚持在最佳时间施药。甘蔗除草剂的施用主要有芽前处理和芽后处理。芽前处理时间最好在种植后一个星期左右施用;正常情况下杂草越大抗性越强,因此芽后处理类除草剂要在杂草小的时候(最好在杂草植株高10 cm以下)就施用。三是注意土壤性质。土壤性质对除草剂药效的影响很大,有机质含量高的土壤,团粒结构好,对除草剂吸附量大,且土壤微生物数量大,活动旺盛,除草剂易被降解,导致同样剂量下农作物安全,但除草效果差,此时需适当加大用量^[125]。四是打湿不打干。喷施同样

剂量、同样水分的除草剂,土壤墒情好的地块相比干旱的地块效果好,在干旱环境生长的作物,为了防止水分过度蒸发,叶片气孔会关闭(或部分关闭),此时喷施除草剂,作物吸收药液量少,达不到除草目的;相反,如果土壤墒情好,叶片气孔全部打开,喷施除草剂的效果会更好。

5.2.2 地膜除草

国外20世纪70年代开始研制除草地膜,国内最早是大连市塑料研究所(现大连塑料研究所有限公司)于1981年研制出除草地膜,该所试制的两种除草地膜除草效果达95.8%^[126,127]。1988年,广州甘蔗糖业研究所(原轻工业部甘蔗糖业科学研究所)开始研制甘蔗除草地膜,1989年研制出药膜89C配方,并批量生产,1990年甘蔗除草地膜开始逐步推广^[128,129],随后在广西、江西、福建等蔗区得到大面积应用^[130-132]。1996年,广州甘蔗糖业研究所研制出可控光降解甘蔗除草地膜,并于1997年在云南蔗区进行试验示范,1998年和1999年榨季应用面积666 hm²,到2005年6月榨季,推广面积超过1 333 hm²^[133,134]。

6 展望

甘蔗栽培有着悠久的历史,为我国农业发展作出了重要贡献,也是中国耕作体系的重要组成部分。20世纪80年代中期以来,我国的蔗糖产区迅速向广西、云南等西部地区转移,至2022年,广西、云南两地的蔗糖产量已占全国蔗糖总产量的80%以上。蔗区因地形地貌、气候、土壤等差异形成了不同甘蔗生态区域,也衍生出多种类型的甘蔗栽培模式,导致不同蔗区栽培管理技术存在差异。综合甘蔗栽培管理技术的历史发展过程,未来的栽培管理技术可以针对不同地形地貌蔗区的需求,重点考虑发展以下方向:一是研发出适宜不同地形地貌蔗区的栽培技术。根据不同蔗区特点研发出适宜丘陵山地、缓坡地、平地等不同地形地貌蔗区的甘蔗栽培管理技术,充分发挥甘蔗生产的潜力。二是系统研究甘蔗栽培全过程。从整地-品种(种苗)-种植-管理-收获全过程进行甘蔗栽培管理技术整体研究,并对单一栽培技术进行有机集成创新形成栽培技术体系并推广应用,全面提升中国甘蔗栽培技术水平。三是颠覆性栽培技术的研发与应用。甘蔗栽培已经历几百年,必须跳出传统思维,开展如“种苗代替种茎”“甘蔗扦插栽培”等先进技术,并研发配套机械推广应用。四是秉承“绿色、生

态、高效、优质”的发展理念。推进甘蔗栽培向生态循环方向发展, 摒弃大量施用农药化肥的错误理念, 积极探索新型、高效和绿色的新发展模式。

参考文献

- [1] 李杨瑞. 广西甘蔗创新与展望[J]. 广西农学报, 2019, 34(4):1-7.
- [2] 李杨瑞, 杨丽涛, 谭宏伟, 等. 广西甘蔗栽培技术的发展进步[J]. 南方农业学报, 2014, 45(10):1770-1775.
- [3] LI Y R, SONG X P, WU J M, et al. Sugar industry and improved sugarcane farming technologies in China [J]. Sugar Tech, 2016, 18(6):603-611.
- [4] LI Y R, YANG L T. Sugarcane agriculture and sugar industry in China [J]. Sugar Tech, 2015, 17(1):1-8.
- [5] LI Y R, WEI Y A. Sugar industry in China: R & D and policy initiatives to meet sugar and biofuel demand of future [J]. Sugar Tech, 2006, 8(4):203-216.
- [6] YE J, YING Y Y, XU L P, et al. Economic impact of stem borer-resistant genetically modified sugarcane in Guangxi and Yunnan Provinces of China [J]. Sugar Tech, 2016, 18(5):537-545.
- [7] 丘立杭, 范业庚, 罗含敏, 等. 甘蔗分蘖发生及成茎的调控研究进展[J]. 植物生理学报, 2018, 54(2):192-202.
- [8] 甘崇琨, 周慧文, 陈荣发, 等. 化学调控在甘蔗生产上的研究应用[J]. 生物技术通报, 2019, 35(2):163-170.
- [9] LUO T, LAKSHMANAN P, ZHOU Z F, et al. Sustainable sugarcane cropping in China [J]. Frontiers of Agricultural Science & Engineering, 2022, 9(2):272-283.
- [10] 黄炳希. 谈谈甘蔗合理施肥[J]. 甘蔗糖业, 1981(11):23-26.
- [11] 黄振瑞, 周文灵, 江永, 等. 优化施肥对甘蔗产量、养分吸收及肥料利用率的影响[J]. 热带作物学报, 2015, 36(9):1568-1573.
- [12] 王继华, 商贺阳, 杨少海. 我国甘蔗养分高效利用的研究进展[J]. 中国糖料, 2018, 40(6):66-68, 72.
- [13] 梁灵刚, 潘友生. 探析中微量元素对甘蔗生长的影响[J]. 低碳世界, 2019, 9(4):297-298.
- [14] VERMA K K, SONG X P, LIN B, et al. Silicon induced drought tolerance in crop plants: Physiological adaptation strategies [J]. Silicon, 2022, 14(6):2473-2487.
- [15] SONG X P, VERMA K K, TIAN D D, et al. Exploration of silicon functions to integrate with biotic stress tolerance and crop improvement [J]. Biological Research, 2021, 54: 19. DOI: 10. 1186/s40659 - 021 - 00344-4.
- [16] VERMA K K, SONG X P, VERMA C L, et al. Functional relationship between photosynthetic leaf gas exchange in response to silicon application and water stress mitigation in sugarcane [J]. Biological Research, 2021, 54:15. DOI: 10. 1186/s40659-021-00338-2.
- [17] 赵泽兰. 介绍全椒农民所习用的几种经济肥料[J]. 中国农业科学, 1951(2):33-34.
- [18] 吴坤宗, 黄标. 珠江三角洲宿根甘蔗减产原因与增产途径[J]. 农业科学通讯, 1956(10):585-587.
- [19] 陈以诚, 刘淑卿. 江东公社 1958—1959 年榨季甘蔗大面积丰产经验[J]. 农业科学通讯, 1959(23):828-829.
- [20] 杨彩, 陈爱, 杨立, 等. 甘蔗专用药肥的开发与应用研究[J]. 甘蔗糖业, 1995(3):12-20.
- [21] 杨俊贤, 周仁强, 梁路. 30%甘蔗多元复合药肥的研究及应用[J]. 甘蔗糖业, 2004(3):5-8.
- [22] 唐红琴, 许树宁, 方锋学, 等. 30%N-B 多元素甘蔗专用杀虫复合肥田间效果试验[J]. 南方农业学报, 2011, 42(9):1100-1103.
- [23] 王双, 潘浦群, 唐静. 0.05%呋虫胺药肥混剂对甘蔗害虫的防控效果[J]. 中国糖料, 2016, 38(2):46-47.
- [24] 谢江江, 罗青文, 吴冠, 等. 30%贤哥海洋生物肽药肥对甘蔗害虫的防效及产量糖分的影响[J]. 广东农业科学, 2019, 46(9):114-119.
- [25] 何珂, 杨世常, 孟霞, 等. 甘蔗施用“滇卫士”复混肥药肥试验[J]. 甘蔗糖业, 2020(3):58-61.
- [26] 翁锦周, 黄盈. 有机无机复肥不同施肥水平对甘蔗的产量效应[J]. 甘蔗, 1995, 2(3):50-52.
- [27] 游奕来, 甘道建, 周柏权, 等. 控释肥料在甘蔗生产上的应用效果研究[J]. 广东农业科学, 2008(6):18-19.
- [28] 李松, 刘斌, 余坤兴, 等. 缓释肥对新植蔗生长效果的研究[J]. 中国糖料, 2013(1):14-17.
- [29] 汪帆, 林德喜, 袁照年, 等. 不同袋控施肥对甘蔗产量及土壤养分含量的影响[J]. 土壤通报, 2016, 47(2):430-436.
- [30] 吴洁敏, 吴静妮, 陆国盈, 等. 两种缓释肥在新植甘蔗上的应用效果研究[J]. 广东农业科学, 2015, 42(21):15-20.
- [31] 曾祥年. 福建省推广甘蔗科学配方施肥[J]. 甘蔗糖业, 1990(4):29.
- [32] 陈奇. 甘蔗生长全过程施肥管理的关键时期——伸长期[J]. 甘蔗糖业, 1994(6):13-14.
- [33] 金培造, 张士关, 林协法, 等. 地膜覆盖一次施肥法对甘蔗增产增糖研究初报[J]. 甘蔗糖业, 1986(5):32-35.
- [34] 梁冠陵. 甘蔗一次施肥法试验简报[J]. 广西农业科学, 1987(4):13-14.
- [35] 刘希蝶. 旱地甘蔗地膜覆盖、不同施肥次数对比试验初报[J]. 甘蔗, 1994, 1(3):49-50.
- [36] 吴洁敏, 吴静妮, 陆国盈, 等. 两种缓释肥在新植甘蔗上的应用效果研究[J]. 广东农业科学, 2015, 42(21):15-

- 20.
- [37] 贺贵柏,黄文武,周连芳,等.百色蔗区甘蔗一次性施肥用药关键技术及效果探讨[J].广东农业科学,2017,44(9):15-24.
- [38] 梁闾,何为中,谢金兰,等.宿根蔗一次性施肥黑白膜全覆盖栽培试验初报[J].中国糖料,2018,40(1):10-12,15.
- [39] 马泉,王亚华,王梦尧,等.缓控释肥的发展应用与评价体系研究进展[J].江苏农业科学,2020,48(18):24-29.
- [40] 于彬,郭彦青,陈金林.杨树配方施肥技术研究进展[J].西南林学院学报,2007,27(2):85-90.
- [41] 张跃彬,刘少春,郭家文.甘蔗营养需求与几种配方施肥方法[J].中国糖料,2008(2):58-60,63.
- [42] 岑华.甘蔗因土配方施肥增产显著效益高——1989~1990年甘蔗因土配方施肥试验示范总结[J].甘蔗糖业,1991(3):27.
- [43] 谢恩,邓启君,刘官文,等.甘蔗测土配方施肥对产量效应的分析[J].广东农业科学,2009(4):49-50.
- [44] 庄学调,伍小萍,梁仲文.甘蔗喷施稀土增糖增产研究初报[J].甘蔗糖业,1986(5):27-29,31.
- [45] 张进权,庄学调,伍小萍,等.甘蔗叶面喷施稀土吸收状况的初步研究[J].甘蔗糖业,1988(3):33-36,18.
- [46] 庄学调,张进权.甘蔗叶片喷施稀土的增产增糖作用研究——I.稀土对甘蔗的效应与土壤农化性质的关系[J].甘蔗糖业,1991(2):5-10.
- [47] 杨丽涛,张保青,朱秋珍,等.应用飞机大面积喷施抗旱型甘蔗增糖增产剂的效果研究[J].热带作物学报,2011,32(2):189-197.
- [48] CHEN R F,LUO H M,FAN Y G,et al. Effects of exogenous GA3 and DPC treatments on levels of endogenous hormone and expression of key gibberellin biosynthesis pathway genes during stem elongation in sugarcane [J]. Sugar Tech,2019,21(6):936-948.
- [49] QIU L H,CHEN R F,FAN Y G,et al. Integrated mRNA and small RNA sequencing reveals microRNA regulatory network associated with internode elongation in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) [J]. BMC Genomics,2019,20(1):817. DOI:10.1186/s12864-019-6201-4.
- [50] CHEN R F,FAN Y G,YAN H F,et al. Enhanced activity of genes associated with photosynthesis, phytohormone metabolism and cell wall synthesis is involved in gibberellin-mediated sugarcane internode growth [J]. Frontiers in Genetic,2020,11:570094. DOI:10.3389/fgene.2020.570094.
- [51] CHEN R F,FAN Y G,ZHOU H W,et al. Global transcriptome changes of elongating internode of sugarcane in response to mepiquat chloride [J]. BMC Genomics,2021,22(1):79. DOI:10.1186/s12864-020-07352-w.
- [52] 吴建明,周慧文,陈荣发,等.甘蔗节间伸长机理研究进展[J].甘蔗糖业,2021,50(1):24-31.
- [53] 杨昆正,苏坎坛,李玉潜,等.用最佳模拟配合法研究甘蔗施肥技术[J].甘蔗,1996,3(3):9-13.
- [54] 黄素钦,王元炎.甘蔗定位施肥研究[J].甘蔗糖业,1997(2):7-11.
- [55] 赵炳华.甘蔗平衡施肥技术研究[J].甘蔗,1998,5(1):31-33.
- [56] 刘少春,张跃彬,吴正昆,等.甘蔗数学模拟优化施肥技术研究[J].甘蔗糖业,2004(5):19-22.
- [57] 黄振瑞,彭冬永,杨俊贤,等.滴灌技术在甘蔗生产上的应用前景[J].中国糖料,2007(3):43-44,55.
- [58] 魏长宾,刘胜辉,何应对,等.甘蔗滴灌施肥效果研究初报[J].广东农业科学,2008(7):60-61.
- [59] 吴建明.中国糖料蔗基地建设与发展[M].北京:中国农业出版社,2021.
- [60] 杨雪艳,蒋代华,杨钙仁,等.甘蔗水肥一体化种植对土壤微生物量碳氮和酶活性的影响[J].土壤通报,2018,49(4):889-896.
- [61] 经福林,关经伦,黄所,等.水肥一体化技术延长糖料蔗宿根年限效果研究[J].广东农业科学,2020,47(4):23-29.
- [62] 林电,朱治强,吴淑义,等.旱地甘蔗配方施肥研究初报[J].华南热带农业大学学报,2005,11(4):8-11.
- [63] 苏广达.甘蔗与水分[J].甘蔗糖业,1979(10):26-29.
- [64] 苏坎坛,杨焜正,黄绍英,等.土壤水分对甘蔗生理功能、产量和蔗糖份的影响[J].福建省农科院学报,1988(1):23-32.
- [65] 李国章.广西甘蔗的需水与灌溉[J].广西水利水电,1993(2):62-67.
- [66] 杨祖德,陈玉民,王昌翼.甘蔗需水量、需水规律试验报告[J].灌溉排水,1996,15(2):55-59.
- [67] 李溟源.广西甘蔗水分供需特征及干旱分析[D].南京:南京信息工程大学,2018.
- [68] 梁文经.广东省甘蔗灌溉方法综述[J].喷灌技术,1992(4):25-29.
- [69] 余朝庄.甘蔗怎样灌溉[J].广西农业科学,1959(13):21-22.
- [70] 凌云.湛江市发展甘蔗灌溉的方针与效果[J].喷灌技术,1992(2):48-49.
- [71] 黄熙雄.甘蔗节水灌溉模式探讨[J].节水灌溉,2001(5):11,17.
- [72] 庞世祚.卷盘式喷灌机在广西甘蔗灌溉中的应用[J].节水灌溉,2001(5):23-25.
- [73] 沈大春,敖俊华,吴启华,等.甘蔗糖厂糖蜜及酒精废液

- 应用现状与展望[J]. 甘蔗糖业, 2019(3):46-51.
- [74] 陈显文, 陈健雄. 甘蔗滴灌试验初报[J]. 甘蔗糖业, 1987(5):35-36, 31.
- [75] 梁文经. 用移动式滴灌技术解决雷州半岛井灌区甘蔗春早期的灌溉[J]. 喷灌技术, 1991(2):47-48.
- [76] 吴启文. 关于雷州半岛推广应用甘蔗埋式滴灌技术的探讨[J]. 热带农业工程, 2006(2):11-15.
- [77] 黄景剑. 地下滴灌系统在甘蔗种植上的应用研究与示范[J]. 农业研究与应用, 2013(1):28-32.
- [78] 邢颖, 谭裕模, 梁潘霞, 等. 不同滴灌用肥配方对甘蔗苗期生长及养分积累的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(15):97-99.
- [79] 要家威, 齐永青, 李怀辉, 等. 地下滴灌技术节水潜力及机理研究进展[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2021, 29(6):1076-1084.
- [80] 周锡槐. 华南甘蔗螟虫的种类及综合防治意见[J]. 昆虫知识, 1960(4):109-111.
- [81] 熊国如, 李增平, 赵婷婷, 等. 海南蔗区甘蔗病害种类及发生情况[J]. 热带作物学报, 2010, 31(9):1588-1595.
- [82] 伍苏然, 熊国如, 杨本鹏, 等. 海南蔗区趋光性昆虫种类及其动态研究[J]. 热带作物学报, 2013, 34(12):2430-2435.
- [83] 周玉飞, 张正学, 卢加举, 等. 贵州蔗区主要病虫害初步调查及防治对策[J]. 甘蔗糖业, 2014(4):58-62.
- [84] 李文凤, 尹炯, 黄应昆, 等. 云南蔗区甘蔗螟虫种群结构动态与防控对策[J]. 农学学报, 2014, 4(8):35-38.
- [85] 胡朝晖, 凌婉阳, 苏小洪. 我国主要甘蔗虫害为害的监测与研究[J]. 甘蔗糖业, 2016(1):52-57.
- [86] 吴延勇, 李傲梅, 张小秋, 等. 广西甘蔗螟虫发生概况和动态变化[J]. 农业灾害研究, 2020, 10(1):1-3, 10.
- [87] 田辉, 伍德明. 甘蔗二点螟性诱剂的化学结构及诱蛾效果研究通过鉴定[J]. 甘蔗糖业, 1983(9):46.
- [88] 管楚雄. 我国蔗螟性诱剂研究及其应用前景[J]. 甘蔗糖业, 2001(6):8-12.
- [89] 谭柳芬, 陆温, 郑霞林. 甘蔗螟虫生物防治研究进展(一)[J]. 广西植保, 2022, 35(2):25-30.
- [90] 李文凤, 单红丽, 王晓燕, 等. 新型配方生物制剂不同施药方法对中外后期条螟白螟防控效果评价[J]. 中国农学通报, 2018, 34(33):147-151.
- [91] 周仁强, 杨俊贤, 孙东磊, 等. 4%吡虫啉·杀虫双颗粒剂对甘蔗苗期螟虫的防治效果[J]. 甘蔗糖业, 2019(6):9-13.
- [92] 林党恩, 田家顺, 贺雄, 等. 5种杀虫剂防治甘蔗螟虫田间药效初探[J]. 湖南农业科学, 2021(7):56-58.
- [93] ZHANG X Q, LIANG Y J, QIN Z Q, et al. Application of multi-rotor unmanned aerial vehicle application in management of stem borer (Lepidoptera) in sugarcane [J]. Sugar Tech, 2019, 21(5):847-852.
- [94] 吴建明, 范业庚. 甘蔗健康种苗生产和应用技术[M]. 北京:中国农业出版社, 2021.
- [95] 郭良珍, 冯荣杨, 梁恩义. 螟黄赤眼蜂对甘蔗螟虫的控制效果[J]. 西南农业大学学报, 2001(5):398-400.
- [96] 潘雪红, 黄诚华, 黄冬发, 等. 螟黄赤眼蜂对二点螟的防治效果试验[J]. 中国植保导刊, 2011, 31(2):26-28.
- [97] 陈星富, 彭明戈, 龚恒亮. 螟黄赤眼蜂防治甘蔗螟虫效果及经济效益分析[J]. 甘蔗糖业, 2018(3):20-23.
- [98] 韦金凡, 李廷化, 商显坤, 等. 释放螟黄赤眼蜂对甘蔗螟虫的田间防效[J]. 中国植保导刊, 2018, 38(1):55-57, 77.
- [99] 施泽升, 陈海生, 覃振强, 等. 崇左甘蔗螟虫种群动态及螟黄赤眼蜂防治效果评价[J]. 中国生物防治学报, 2018, 34(5):656-662.
- [100] 林明江, 许汉亮, 管楚雄, 等. 甘蔗螟虫趋光性研究[J]. 环境昆虫学报, 2020, 42(5):1235-1241.
- [101] 徐福生, 廖锡华, 许汉亮, 等. 无人机喷施性诱剂迷向防治甘蔗条螟应用示范[J]. 甘蔗糖业, 2021, 50(4):31-36.
- [102] 龚恒亮, 刘玉彩, 李金玉, 等. 5%特丁磷颗粒剂(地虫灵)防治甘蔗地下害虫试验研究[J]. 甘蔗糖业, 1998(6):20-23, 45.
- [103] 许焕明, 周泽秀, 吴雪芳. 0.5%吡虫啉·杀虫单缓释颗粒剂防治甘蔗害虫田间药效试验[J]. 农业研究与应用, 2015(6):33-37.
- [104] 谢江江, 杨俊贤, 杨春强, 等. 吡虫·杀虫双防治甘蔗害虫效果及对甘蔗产量的影响[J]. 中国植保导刊, 2021, 41(7):83-85, 95.
- [105] 李文凤, 张荣跃, 黄应昆, 等. 70%噻虫嗪种子处理可分散粉剂对甘蔗绵蚜和蓟马防控效果评价[J]. 热带作物学报, 2017, 38(4):700-703.
- [106] 罗亚伟, 覃振强, 梁阔, 等. 杀虫剂一次性施用对甘蔗螟虫、绵蚜和粉蚧的防效[J]. 亚热带农业研究, 2021, 17(2):126-130.
- [107] SONG X P, LIANG Y J, ZHANG X Q, et al. Intrusion of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in sugarcane and its control by drone in China [J]. Sugar Tech, 2020, 22(4):734-737.
- [108] 鲁国东, 黎常窗, 潘崇忠, 等. 中国甘蔗病害名录[J]. 甘蔗, 1997, 4(4):19-23.
- [109] 王伯辉. 我国甘蔗病害的发生现状与研究进展[J]. 中国糖料, 2007(3):48-51.
- [110] 黄鸿能. 我国大陆植蔗省(区)(部分)甘蔗病害种类调查初报[J]. 甘蔗糖业, 1991(1):1-8.
- [111] 韦金菊, 邓展云, 黄诚华, 等. 广西甘蔗主要真菌病害调查初报[J]. 南方农业学报, 2012, 43(9):1316-1319.

- [112] LIN Z Y, QUE Y X, DENG Z H, et al. First report of *Phoma* sp. causing twisting and curling of crown leaves of sugarcane in mainland of China [J]. *Plant Disease*, 2014, 98(6): 850. DOI: 10. 1094/PDIS-10-13-1061-PDN.
- [113] 周国辉, 许东林, 沈万宽. 甘蔗重要病害研究及防治策略[J]. *甘蔗糖业*, 2005(1): 11-16.
- [114] 张天富, 李美, 郑安美, 等. 不同甘蔗品种温水脱毒处理后的水田对比试验[J]. *甘蔗糖业*, 2019(1): 5-9.
- [115] 唐红琴, 方锋学, 韦金菊, 等. 甘蔗茎尖脱毒组织培养技术研究进展[J]. *南方农业学报*, 2011, 42(8): 860-865.
- [116] 刘刚, 李超, 杨传新, 等. 我国甘蔗杀菌剂登记现状、研究进展及发展建议[J]. *甘蔗糖业*, 2020(2): 27-31.
- [117] 殷森安, 杨雪冰. 台湾甘蔗化学除草的进展[J]. *甘蔗糖业*, 1991(6): 20-22.
- [118] 卢文洁, 李文凤, 徐宏, 等. 云南蔗园杂草发生与化学防除[J]. *江苏农业科学*, 2011, 39(6): 228-230.
- [119] 殷森安, 杨雪冰. 台湾甘蔗化学除草的进展[J]. *甘蔗糖业*, 1991(6): 20-22.
- [120] 唐章慧, 马恩惠. 甘蔗田化学除草[J]. *中国农学通报*, 1989(4): 30-32, 13.
- [121] 张北元. 甘蔗化学除草试验[J]. *云南农业科技*, 1980(1): 15-16.
- [122] 单彬, 覃茜, 颜克成, 等. 五种除草剂对甘蔗桂热 2 号的室内安全性评价[J]. *农业研究与应用*, 2020, 33(4): 23-27.
- [123] 张小秋, 宋修鹏, 梁永检, 等. 植保无人机在蔗田化学除草上的应用效果[J]. *中国糖料*, 2020, 42(1): 61-65.
- [124] 周文冠, 孟永杰, 陈锋, 等. 除草剂研发及其复混使用的现状与展望[J]. *草业科学*, 2018, 35(1): 93-105.
- [125] 胡金友. 浅谈如何科学使用农田除草剂[J]. *农村实用科技信息*, 2014(1): 25.
- [126] 张秀波, 杨瑞燕. 含大量填料的 PE 光降解地膜的研制[J]. *塑料科技*, 1987(5): 14-18.
- [127] 张飞跃, 黎贵庚, 覃兰华. 具有除草效果地膜的研究[J]. *广西化工*, 1995(3): 26-29.
- [128] 邝乐生, 邓海华, 曾练强, 等. 甘蔗除草地膜试验初报[J]. *甘蔗糖业*, 1990(3): 26-32.
- [129] 李军, 赵惠兰, 段明雄, 等. 甘蔗除草地膜应用效果[J]. *中国糖料*, 2010(2): 33-34.
- [130] 陈子云. 甘蔗除草地膜田间试验[J]. *甘蔗糖业*, 1992(6): 22.
- [131] 邝乐生, 陈明周, 邓海华, 等. 甘蔗除草地膜的推广应用[J]. *甘蔗糖业*, 1996(4): 10-16.
- [132] 林一心, 施纯伙, 谢木水, 等. 除草地膜在福建蔗区的应用推广及发展策略[J]. *甘蔗*, 1997, 4(3): 10-12.
- [133] 邝乐生, 曾练强, 陈明周, 等. 光降解甘蔗除草地膜研究报告(I)[J]. *甘蔗糖业*, 1999(1): 11-16.
- [134] 杨之文. 甘蔗光降解除草地膜的推广应用总结[J]. *甘蔗糖业*, 2006(4): 8-10.

Research Progress in Sugarcane Cultivation in China

WU Jianming¹, LI Yanjiao², DENG Yuchi¹, FAN Yegeng¹, LI Zhimin¹, LI Aomei¹

(1. Sugarcane Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences; Guangxi Key Laboratory of Sugarcane Biotechnology and Genetic Improvement, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; Guangxi Key Laboratory of Guangxi Sugarcane Genetic Improvement; Sugarcane Research Center of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China; 2. Microbiology Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China)

Abstract: Sugarcane cultivation technology has undergone thousands of years of evolution. After a lot of exploration, research and innovation, it has been continuously improved and developed in various periods, forming different cultivation modes and promoting the development of sugarcane industry in China. However, there are still some problems to be solved urgently. In order to solve the problems encountered in the development of sugarcane cultivation technology in China, "water management", "nutrient management" and "pest, disease and weed control" were used as key words to search the relevant literatures at home and abroad from 1950 to 2022 in several well-known databases. Combined with the research results of the project team

for more than 20 years, the development process of five contents of nutrient, water, pest, disease and weed in sugarcane cultivation technology and the key technologies, advantages and disadvantages, popularization and application of each stage were comprehensively summarized and analyzed, and suggestions for future development direction were put forward to provide reference for the research and development of sugarcane cultivation and management technology in China.

Key words: sugarcane; cultivation management; diseases and insect pests; nutrient; irrigation

责任编辑: 陆雁

投稿指南

1 来稿要求

1.1 稿件要素

稿件内容必须包括题目、作者姓名、作者所在单位、作者所在省份和城市、邮政编码、中文摘要、关键词、英文题目、作者英文名称、作者英文单位、英文摘要、英文关键词、正文、致谢(非必选)、参考文献等内容。

1.2 题目

应以简明、确切的语言反映稿件的重要思想和内容,一般不超过20字。

1.3 作者与单位

多位作者姓名用逗号隔开。所有作者均须注明所在单位全称、省份城市及邮编。

1.4 汉语姓名译法

姓在前名在后,姓用大写字母,名首字母大写(如:欧阳奋发,OUYANG Fenfa)。

1.5 中、英文摘要

用第三人称撰写,应完整准确概括论文的实质性内容,试验研究论文摘要须包含目的、方法、结果、结论4个要素。英文摘要与中文摘要内容相对应。

1.6 首页脚注标识要素

资助项目:项目名称(项目编号)。作者简介包括姓名(出生年-),性别,职称或职务,主要研究方向。如有通信作者,请注明×××为通信作者,包括姓名(出生年-),性别,职称或职务,主要研究方向,E-mail。

1.7 稿件正文

试验研究论文应包括引言、材料与方法、结果与分析、讨论、结论等要素。引言须包含研究意义、前人研究进展、本研究切入点、拟解决的关键问题等基本内容,“讨论”与“结论”部分须分开阐述。各层次标题用阿拉伯数字连续编号,如1,1.1,1.1.1,1.1.1.1……;2,2.1,2.1.1……层次划分一般不超过3级。

1.8 参考文献

参考文献表采用顺序编码制组织,其编排格式示例如下:

[1] 陈宝玲,宋希强,余文刚,等.濒危兰科植物再引入技术及其应用[J].生态学报,2010,30(24):7055-7063.

[2] CHEN B L, SONG X Q, YU W G, et al. Re-introduction technology and its application in the conservation of endangered orchid [J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(24): 7055-7063.

1.9 图和表

稿件可附必要的图和表,表用三线表表示,忌与文字表述重复,表的主题标目要明确。图表名、表头须为中英文对照图表中英文格式。图要大小适中,清晰,标注完整;照片尽量选用黑白照片。

1.10 量和单位

量名称及其符号须符合国家标准,采用法定计量单位(用国际通用符号,如面积单位“亩”换算成“公顷 hm^2 ”)。书写要规范化,并注明外文字母的大小写、正斜体及上下角标。容易混淆的字母、符号,请特别注明。

2 注意事项

2.1 本刊已开通网络投稿系统,投稿请登录 <http://gxkx.ijournal.cn/gxkx/ch/index.aspx>,使用网上投稿和查稿系统。我刊审稿周期为2个月,2个月未收到审稿结果可另投他刊。

2.2 稿件一经采用,酌收版面费;刊登后,付稿酬含网络发行(《中国学术期刊(光盘版)》、中国期刊网、万方数据网及台湾华艺 CEPS 中文电子期刊服务网等)的稿酬,同时赠送样刊2本。

2.3 本刊入编《中国学术期刊(光盘版)》、中国期刊网、万方数据网及台湾华艺 CEPS 中文电子期刊数据库并已签订 CNKI 优先数字出版合作协议。

2.4 囿于人力、物力有限,我刊只通过期刊采编系统发送“稿件处理意见”,如需纸质意见,请向编辑部索取。