

王小明,覃逸明,廖政达,等. 糖料蔗生产中土壤劣变原因、机制与治理对策综述[J]. 江苏农业科学,2018,46(21):6-11.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.21.002

糖料蔗生产中土壤劣变原因、机制与治理对策综述

王小明¹,覃逸明²,廖政达¹,韦增林³,韦秀敏^{4,5},黄鸿锦^{4,5},韦喜⁶

(1. 广西科技师范学院食品与生化工程学院,广西来宾 546199; 2. 广西科技师范学院科学技术与信息化处,广西来宾 546199;

3. 广西壮族自治区来宾市兴宾区甘蔗技术推广站,广西来宾 546138; 4. 广西壮族自治区来宾市兴宾区糖业发展办公室,广西来宾 546138;

5. 广西壮族自治区来宾市高标准蔗糖双高示范基地创建项目领导小组,广西来宾 546199; 6. 广西来宾东糖迁江有限公司,广西来宾 546119)

摘要:糖料蔗生产中易导致土壤劣变的因素有农机具压实、机耕方式、产业特点和化肥滥用等。农业机械化、规模化和产业化是现代农业发展的根本方向,在提高糖料蔗生产效益的同时,机械化作业会在一定程度上造成农机具对土壤的压实,导致土壤硬度增加和结构退化等;规模化种植和产业化经营很大程度上会造成糖料蔗长年连作和化肥大量使用等问题,导致土壤有机质含量降低,营养元素循环减少,土壤酸化以及微生物和酶活性降低等,表现为土壤劣变,造成糖料蔗减产和品质下降等。通过对糖料蔗生产中机械化生产、机耕方式、长年连作和化肥滥用现状及其引起土壤劣变的原因进行分析,探讨土壤劣变的机制,并提出改进农机具及作业技术、改革和创新机耕方式、优化产业规模实行科学轮作和科学施肥并注重培肥土壤等 4 项针对性治理土壤劣变的对策建议。

关键词:糖料蔗;土壤劣变;原因分析;机制分析;治理对策

中图分类号: S156.99;S566.106 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)21-0006-06

据中国产业信息网调查统计,2017—2018 年榨季全国糖料蔗种植总面积 116.8 万 hm^2 ,较上年增加 3.7 万 hm^2 ,增幅 3.3%,预计 2017—2018 年榨季全国甘蔗糖产量 900 万 t ^[1]。据国家统计局统计,糖料蔗的四大主产省(区)分别是位于西南地区的广西壮族自治区和云南省,糖料蔗种植面积分别占总面积的 62.28% 和 18.48%;以及位于华南地区的广东省和海南省,糖料蔗种植面积分别占到总面积的 10.60% 和 2.12%^[2]。广西糖料蔗土壤酸化严重,pH 值为 5.0 以下种植土培达 34.6%,且有机质和总氮等土壤养分含量偏低^[3];云南糖料蔗土壤以酸性和弱酸性为主^[4],土壤有机质、碱解氮、

速效磷含量处在中等偏低水平^[5]。糖料蔗是广西和云南 2 省的重要经济支柱产业,生产区主要集中在老少边穷地区和丘陵山地等土壤贫瘠地区,作为传统产业受自然条件和经济状况等综合因素的制约。土壤与生态环境作为农业生产的基础,是影响糖料蔗产量和品质提升的关键基础因素之一。

土壤状况以自然禀赋为基础,又受到人为生产方式和自然条件变化等的影响。近年来,我国土壤质量恶化现象逐渐突出,农田可耕性变差,耕地越种越硬,地力越种越薄,农作物产量和品质的提升越来越难,生产效益有下降趋势。其主要原因之一是土壤劣变,表现为土壤透气性变差,土壤中水分和营养物质储蓄供应减少,微生物含量及酶活性降低,土壤肥力下降等。福建农林大学国家甘蔗工程技术研究中心张华研究员认为,以机械化促进糖料蔗种植增产增收的同时,糖料蔗农业机械化导致的普遍问题是土壤结构过于紧实,呼吁社会各界共同努力,携手攻克难题^[6]。日本琉球大学农业生物系统工程教授上野正实博士也认为,糖料蔗生产中应注重解决因机械化而导致的土地出现板结的技术难题^[6]。张跃彬

收稿日期:2018-05-10

基金项目:广西壮族自治区财政厅补助资金[编号:桂财农(2016)153号];广西来宾市兴宾区技术支撑研究项目(编号:YLLBD20174003-XB);广西糖资源工程技术研究中心培育建设项目[编号:桂科 AD16450040]。

作者简介:王小明(1983—),男,河南南阳人,硕士,高级工程师,主要从事蔗糖资源工程技术研究。E-mail:wmx081@163.com。

[42]唐立群,肖层林,王伟平. SNP 分子标记的研究及其应用进展[J]. 中国农学通报,2012,28(12):154-158.

[43]Dahl C, Guldberg P. DNA methylation analysis techniques[J]. Biogerontology, 2003,4(4):233-250.

[44]Miller M R, Dunham J P, Amores A, et al. Rapid and cost-effective polymorphism identification and genotyping using restriction site associated DNA (RAD) markers[J]. Genome Research, 2007,17(2):240-248.

[45]谭云海. 运用 RAD(restriction site associated DNA) 技术构建烟草高密度连锁图谱[D]. 昆明:昆明理工大学,2016.

[46]Benestan L, Gosselin T, Perrier C, et al. RAD genotyping reveals fine-scale genetic structuring and provides powerful population assignment in a widely distributed marine species, the American

lobster (*Homarus americanus*) [J]. Molecular Ecology, 2015, 24(13):3299-3315.

[47]王兴春,杨致荣,王敏,等. 高通量测序技术及其应用[J]. 中国生物工程杂志,2012,32(1):109-114.

[48]边力,王军. 简化基因组测序技术及其在海洋生物研究中的应用[J]. 厦门大学学报(自然科学版),2017,56(1):3-12.

[49]吕佳. 高效低成本全基因组 DNA 甲基化检测技术(MethylRAD-Seq)的建立及其在海洋贝类中的应用[D]. 青岛:中国海洋大学,2013.

[50]Xia Z Q, Zou M L, Zhang S K, et al. AFSM sequencing approach: a simple and rapid method for genome-wide SNP and methylation site discovery and genetic mapping[R/OL]. (2014-12-03) [2017-06-28]. <https://www.nature.com/articles/srep07300>.

等研究发现,糖料蔗长期连作导致土壤中某些营养元素过度消耗^[7]。绿色生态农业是我国现代农业发展的主流方向,施肥不当会对耕地质量带来严重影响,过量施用化肥易造成土壤酸化、板结化、次生盐渍化、有害生物滋生等,同时偏施化肥还会使农产品品质下降,果蔬等农产品的耐贮性降低等。通过对糖料蔗生产中土壤劣变的原因进行分析,探讨引起土壤劣变的机制,并提出治理土壤劣变的对策建议,对推动绿色高产高效糖料蔗持续健康快速发展具有重要的促进作用。

1 土壤劣变原因分析

1.1 机械化现状与土壤劣变原因分析

全程机械化是糖料蔗生产发展的趋势。随着城镇化飞速发展,农村劳动力快速转移,农业机械化普及应用率越来越高,农业机械在糖料蔗生产上发挥巨大作用的同时也带来一些副作用——土壤机械压实^[8]。土壤压实所导致的土壤结构退化是“内伤”,与土壤侵蚀和盐碱化相比表象不明显,导致土壤压实危害未引起人们足够重视,并常把土壤压实引发的作物减产降质等问题归结为其他原因。以糖料蔗生产最大产区广西为例,广西农机局副局长江垣德认为,广西糖料蔗生产全程机械化正处于突破性发展阶段,“双高”糖料蔗基地建设已完成 17.1 万 hm^2 ,土地由 380 万块合并成 32 万块,机械化运营模式不断成熟,政策性扶持力度持续加大,购置甘蔗收获机补贴 25 ~ 40 万元,发布糖料蔗主产区生产发展规划(2015—2020)等,这些措施都将有力推进广西糖料蔗生产全程机械化^[6]。孙忠英等研究表明,传统机械作业方式下,从土地耕作、糖料蔗种植、日常田间管理到糖料蔗收获,各种农业机械在田间行走的次数可以多达十几次,农机轮胎对土壤的压痕总面积比土地总面积还大 1 倍以上,10% ~ 12% 的土壤面积承受了 6 ~ 20 次碾压,65% ~ 80% 的土壤面积承受了 1 ~ 6 次碾压,对土壤的压实深度达 30 ~ 60 cm,只有 10% ~ 15% 的土壤面积没有受到碾压^[9]。农业机械的推广应用在提高生产效率、降低劳动强度的同时,农机具在田间行走作业时轮胎及器械也会对土壤造成碾压作用,会导致土壤的机械压实^[10]。土壤机械压实造成的土壤劣变面积随着农业机械化程度和生产水平水平的提高而增加^[11]。

糖料蔗生产全程机械化包括机械化耕地、机械化种植、机械化中耕培土施肥、机械化喷药除草防虫、机械化收获和机械化田间运输等。在糖料蔗生产活动中,翻耕机、旋耕机、种植机、收获机、运输机等机械的质量、车轮与土壤接触面积、车轮的材质和形状以及充气状况等都会对土壤压实形成不同程度的影响。例如机械质量越大,接触面积越小,土壤紧实度就越大。以糖料蔗的机械化收获为例,目前常用的性能较好的收获机有凯斯 8000、约翰迪尔 570,这 2 台农机均为 4 轮和后轮驱动,质量分别是 14.8、14.0 t,驱动轮宽度分别为 58.7、59.7 cm,与收获机配套作业的还有田间拖卡,拖卡为 4 ~ 8 轮,负载前后质量在 10 ~ 30 t。因此,糖料蔗仅仅机械化收获过程农机轮胎对土壤的压痕就可达到土地总面积的 1 倍以上。此外,土壤机械压实造成土壤板结退化的同时,也会使土壤微生物、酶活性及糖料蔗生长受到影响。

1.2 机耕方式现状与土壤劣变原因分析

糖料蔗在耕整地、种植和田间管理等环节中,已能全部实

现机械化。在连片平缓地块多采用农机牵引犁、耙、旋耕机具进行作业,狭小的陡坡地块多采用小型农机具进行作业。糖料蔗是多年生、深根型作物,机耕方式对营造土壤颗粒疏松、理化结构特性良好、水肥供蓄能力强的植壤尤为重要。

由于糖料蔗种植区主要分布在西南和华南地区的丘陵山地,且这些地区自然条件、经济基础和机械装备条件均较薄弱,大马力拖拉机、深耕、深松机具较少,农机具的改造和创新跟不上,适用性较差。导致糖蔗种植区长期耕整地作业深度多不足 30 cm,另有相当比例仍依靠微型旋耕机具,耕深不足 25 cm^[12]。随着各类旋耕机具的普及,旋耕作业可一次性完成耕耙,且地表平整,表层土壤细碎,省时省工且费用低,受到蔗农欢迎。但旋耕深度较浅,实际工作中旋耕作业深度通常只有 12 ~ 15 cm,加之蔗农常常采取连续多年多季旋耕作业,且相应的农技农艺措施不配套,使耕地土壤形成坚硬的犁底层,导致耕作层越来越浅。机耕方式不科学是引起土壤板结劣变的另一个主要原因,土壤耕层浅薄,土壤中水肥储蓄能力变差,且甘蔗根系难以深扎,对肥水的利用能力降低,导致糖料蔗出现早衰、减产、易倒伏、宿根蔗表现差等状况。

1.3 长年连作现状与土壤劣变原因分析

蔗糖产业是工农结合度最为紧密的产业之一,农业生产出来的糖料蔗全部用于工业加工制糖。糖料蔗的产量影响糖厂加工能力,糖料蔗的种植规模年年都有所波动,但糖厂加工能力一旦扩大,比如增加设备、生产线和工作人员,就需要有与之相应的糖料蔗供应,若作为加工原料的糖料蔗供应不足,不能满足糖厂的设计加工量,糖厂的生产效益就会有损失。因此,为保障糖厂加工能力与糖料蔗生产供应相适应,现行的做法是给每一家糖厂划定固定的糖料蔗生产供应区域,称之为蔗区。蔗糖产业化和规模化在一定程度上要求糖料蔗生产必须长期、连续和稳定地进行,多年以来,随着糖厂数量和加工能力的双重增加,以及作为传统糖料蔗生产区域改种其他经济效益更高的作物,传统糖料蔗生产区域面积不断萎缩,导致作为原料的糖料蔗生产供应长期呈现不足,有的糖厂甚至出现年实际加工量不足年设计加工能力一半的窘境。糖厂大多是工农一体化的龙头企业,为保证糖厂的生产加工效益,一方面糖厂会在其所属的农业生产基地(私营企业为租赁,国有企业为国有农场土地)长年连续种植糖料蔗,另一方面也会把糖料蔗的生产计划指标下达到蔗农和大包户,最终通过制度、政策和经济手段等导致糖料蔗生产呈现出长年连作(一般指连续种植 4 年以上)的客观现实。

以湛江农垦华海蔗区为例,该蔗区糖厂年设计加工能力为 65 万 t,每年须要种植 0.8 万 hm^2 糖料蔗才能满足糖厂的加工需求,但该蔗区能种植糖料蔗的土地面积仅有 0.86 万 hm^2 ,也就是说每年只能拿出约 0.06 万 hm^2 土地进行轮作,0.86 万 hm^2 土地全部轮作一遍就需要十余年。因此,该蔗区有相当一部分土地已连续种植糖料蔗达 5 ~ 10 年。长年连作极易导致土壤理化性质恶化、土壤生物学环境恶化及化感自毒作用。例如糖料蔗连年消耗同类土壤矿质养分,连作时间越长,碱解氮、速效钾及有效微量元素等含量降低,糖料蔗根际土壤的脲酶和过氧化氢酶活性降低,土壤有机酸及酚酸一定程度积累,对糖料蔗的生长产生一定程度的不良影响^[13]。

1.4 施用化肥现状与土壤劣变原因分析

化肥的使用大大提高了作物产量,据统计施用化肥对我国粮食产量的贡献率为 40.8%^[14]。一方面,蔗农受“收多收少在于肥”的错误观念影响,加之化肥在一定范围内确实具有短期见效快、增产明显且施用简单等特点;另一方面,大部分蔗农又往往只重眼前利益,蔗糖业属弱势产业,常规种植效益比较低,蔗农既缺乏能力又不愿为养地加大投入,虽然知道过多施用化学肥料会降低农田和糖料蔗质量,但为追求产量,仍然大量、过量施用化肥;特别是过量施用氮、钾肥,引起土壤团粒结构破坏,养分失衡,形成土壤板结,导致土壤劣变问题日益凸显。

我国是世界第一大化肥消费国和进口国,据统计,化肥的投入约占农业全部生产性支出的 50%^[15]。目前,我国糖料蔗在施肥方面存在着十分突出的问题。表现为肥料投入品种结构不合理,重氮肥,轻磷肥、钾肥,重无机肥,轻有机肥。蔗农长期沿用习惯施肥模式,盲目施肥且施肥种类单一,造成肥效降低,导致我国目前化肥的有效利用率整体不高。例如,云南蔗区大部分蔗农在糖料蔗施肥上就长期凭借生产经验,施肥上施多施少的随意性和盲目性较大,特别是近年来,蔗农为片面追求高产目标,普遍存在偏施氮肥的现象,即使部分蔗区应用 1~2 个配方肥进行施肥,也因缺乏对蔗区各地块土壤基础供肥能力分析,造成氮、磷、钾配方施肥仍缺乏科学性和针对性,测土配方和平衡施肥问题仍未得到有效落实。2005—2014 年云南省化肥施用量从 3.72 万 t 增加至 41.48 万 t,施用量在总体上呈现不断上升的趋势,其中,2011 年的增长速率最快,达到 8.6%^[16]。但是化肥的大量、过量施用会引发一系列农业环境问题,特别是土壤酸化、土壤板结、土壤有机化工原料和重金属污染、土壤硝酸盐污染和土壤次生盐渍化等与土壤劣变有关的问题日益突出。

2 土壤劣变机制分析

2.1 土壤机械压实劣变机制

机械作业对耕作土壤的压实称为土壤压,土壤机械压实是现代农业所面临的主要问题之一,被认为是现代农业所引起的最严重的环境问题之一^[17]。Hughes 研究表明,作物生长的土壤含有水、空气、土壤颗粒的最佳比例应为 1:1:2^[18]。土壤压实是土壤颗粒之间空气和水被挤出,相互密聚而紧实的过程,土壤颗粒重新组合,彼此挤紧,孔隙气、水排出,土壤容重增大,形成密聚且紧实的整体^[19]。土壤机械压实使土壤孔隙度降低、理化结构改变、土壤中养分降低等,导致土壤退化。Soane 等研究表明,拖拉机组作业是最常见的土壤压实现象,机组作业 3 次以上,可能会使全部土壤面积被碾压,机组作业 2~3 次,可能会使 60% 土壤面积被碾压^[20]。Tullberg 研究表明,免耕方式下也可能会有 30% 土壤因机械播种而被机组碾压^[21]。机械作业对土壤的压实程度受土壤机械强度、土壤耕层结构、含水量、农机轴载荷、轮胎类型以及作业速度等影响^[22]。机械可压实土壤深度达 10~60 cm^[23],其中压实现象最明显的深度是 0~10 cm 的表层土^[24]。

当土壤颗粒被严重压实,孔隙率在 3~10% 时,土壤颗粒间大孔隙明显减少,土壤内外空气交换被阻,土壤孔隙中氧气含量降低,土壤中氮硝化作用降低,反硝化作用增强,导致土

壤养分供应能力降低^[25]。饱和导水率常被用来表征土壤压实度对土壤含水量的影响,当土壤颗粒严重压实后,土壤中的大孔隙减少,土壤饱和导水率下降,土壤含水量明显减少^[26]。同时土壤颗粒排列更加紧密,阻碍了水分渗透,糖料蔗获得水分和养分更加困难,根系生长速率降低^[27],导致糖料蔗产量和品质下降。

2.2 机耕方式导致土壤劣变机制

机耕方式导致土壤劣变的机制主要表现在^[28]:一是当机耕深度不足 30 cm 时,土壤储蓄和供应水肥能力变差,糖料蔗根系不能深扎,极易导致糖料蔗抗自然灾害能力弱,并造成糖料蔗生长后劲不足而减产。二是传统的浅旋耕易造成土壤耕作层变浅,连续 2 年以上浅旋耕且土壤耕作层深度 25 cm 以下,土壤的储蓄和供应水肥能力仅为深松耕的 30% 左右。三是蔗田土层一般可分为表土层、稳定层、犁底层和心土层,每层的理化性质、生物学特性及其对糖料蔗的生长影响也不同。比如犁底层(30~40 cm)具有保水保肥和防渗漏的作用,心土层(40 cm 以下)土壤结构紧密,有大量毛管孔隙,具有重要的蓄水保肥作用。因此不合理的深翻耕(40~50 cm)方式会打乱土壤的耕层结构性状,从而导致土壤劣变。

2.3 长年连作导致土壤劣变机制

一是土壤理化性质恶化。每种作物对土壤中养分和矿质元素的需求类型及数量有其各自特性,同种作物长年连作后,导致土壤中某些养分和矿质元素偏向消耗而缺乏或造成比例失衡,而其他元素却可能出现富集,因此改变了土壤养分的均衡性^[29]。若欠缺的养分和矿质元素得不到及时的补充,就会导致下茬作物的抗逆性降低,最终导致产量和品质下降。同种作物长年连作后,作物大量吸收同类型阳离子元素,释放 H⁺,引起土壤酸化,土壤中酶活性降低,并影响土壤中养分的形成。李鑫等研究结果表明,10~20 cm 土层内,烤烟连作 5 年和 1 年的土壤转化酶活性分别比正茬降低 52% 和 30%^[30]。

二是土壤微生物环境恶化。土壤中微生物种类繁多,主要包括真菌和细菌,真菌多为作物病菌,不利于作物生长,细菌则大多有利于作物生长,土壤微生物种群多样性直接影响土壤养分形成及生物化学活性,并影响作物生长。若同种作物长期连作,由于作物与微生物相互选择造成某些微生物种群在根际土壤中占明显优势,易导致病原细菌、真菌或线虫等因拮抗菌数量减少而迅速繁殖,造成微生物多样性及原有根际微生态平衡被打破,作物与微生物共生关系被破坏,不利于作物正常生长^[31]。高亚娟等研究表明,草莓连作后,土壤酸度发生明显酸化,土壤中真菌数量比对照田块高 7~8 倍,土壤中微生物环境已经恶化^[32]。

三是作物化感自毒作用。植物分泌某些化学物质对自身或其他植物的生长产生的抑制或促进作用称为植物化感作用,自毒作用是指发生在同种植物间的生长抑制作用,主要是因为植物生长时根系分泌释放的或根、茎、叶腐烂后分解累积的有毒物质进入土壤,而对同茬或下茬植物生长发育产生抑制作用。刘苹等研究结果表明,花生结荚期根系分泌物对固氮菌生长、花生种子胚根长和根茎叶鲜质量等具有抑制作用,连作年限越长,抑制程度越强^[33]。

2.4 大量过量施用化肥导致土壤劣变机制

一是在土壤理化性质方面,长期偏施化肥,会破坏土壤结构稳定性,容重增加,孔隙度降低,耕层发僵,改变土壤中水、气、热环境,还可导致酸化,破坏肥料-土壤-作物养分系统平衡。二是在土壤营养元素方面,长期偏施氮、磷肥,易导致土壤酸化,造成土壤全钾含量降低,以及微量元素因消耗过快而缺乏。三是在土壤有机质方面,李新爱等研究表明,长期单施常量化肥,土壤有机质有所消耗,造成有机质总量下降^[34]。四是在土壤生物学活性方面,主要指土壤酶和微生物活性。土壤酶能使有机养分有效化,提高作物吸取利用率,土壤酶活性能反映土壤中进行的各种生物化学过程的动向和强度。土壤微生物既是土壤有机质和养分转化和循环的动力,而且本身又是土壤养分存储库,对土壤中养分转化和供应起着重要的促进作用,是土壤肥力水平的活指标。研究表明,长期施用氮肥可造成土壤微生物性状发生负面变化,降低微生物活性^[35],单施过量化肥会显著降低磷酸酶、蛋白酶和土壤脲酶活性^[36-37]。

长期施用化肥极易导致土壤理化性质变差、土壤营养元素供应失衡、土壤有机质总量下降、土壤生物学活性降低等,造成糖料蔗因土壤肥力不济而减产,而蔗农为增产又会不断增大化肥施用量,从而形成恶性循环。

3 治理土壤劣变的对策建议

3.1 改进农机具及作业技术

一是土壤压实的主要原因来自农机轴载和车轮与土壤接触的压力,可改 2 轮驱动为 4 轮驱动,作业时轴载分布较均匀,可减轻对土壤的碾压;增加轮胎数量,改一机 4 轮为 6 轮或 8 轮,增加轮胎宽度和接地面积,亦可将轮胎内压降低,从而降低农机对地表的压力;可将农机由轮式改为履带式,履带农机比轮式接地面积大很多,对土壤压实作用会小很多^[18]。

二是可通过设置固定的农机田间作业道,将农机行驶区和糖料蔗生长区分离,以减少土壤压实,并将固定作业道与保护性耕作方式相结合以提高水资源利用率,减少水土流失,实现农业可持续发展^[38]。

三是避免在土壤高湿时机耕作业,当耕层土壤含水量接近田间持水量时,农机作业对土壤造成的压实最为严重。另外当土壤含水量过低时,虽然农机作业对土壤压实较轻,但此时土壤较坚硬,机械作业的阻力增大,油耗上升,经济性变差^[39]。因此农机作业要选择土壤含水量适宜时进行,尽可能避免在土壤含水量较高或含水量过低时作业,以减轻土壤压实和提高作业经济效益。

四是推广农机具联合作业,土壤压实程度与农机在田间通过次数的对数成正比,轻型农机压实 2 次比压实 1 次应力增加 70.69%,重型农机则增加 6.7%,推广农机联合作业可显著减少农机作业次数,有效减轻农机对土壤的压实^[40]。

3.2 改革和创新机耕方式

一是科学耕整土地,当土壤耕层浅、结构紧实而限制糖料蔗根系生长导致减产时,采用深耕作业,其改善效果非常显著。可根据紧实区在土层中的位置,选择适宜的耕作深度。比如,若稳定层压实,可选择深翻耕作;若心土层压实,可选择心土铲或凿形犁进行深松作业,且深耕作业宜选在土壤含水

量适宜的秋季进行。罗俊等研究表明,与对照(不深松+旋耕 25 cm)相比,通过增加土壤耕作深度,深松 35 cm+旋耕 25 cm 和深松 50 cm+旋耕 25 cm 处理可显著改善耕层土壤紧实度、容重和整体疏松程度,糖料蔗有效茎数增加显著;深松作业可提高耕层土壤总孔隙度,尤其是增加 30~40 cm 土层的毛管孔隙度,使深层土壤的保水能力显著增强,对糖料蔗中后期茎高和茎径产生显著促进效应^[12]。深松 35 cm+旋耕 25 cm 与深松 50 cm+旋耕 25 cm 均能显著降低耕层土壤贯入阻力,两者均对土壤物理结构有积极改善作用,能显著提高糖料蔗产量;且前者的固相容积率最小,气相容积率最大;而不深松+旋耕 25 cm 的耕作措施固相容积率最大,气相容积率最小。建议在有条件的蔗区均应采用深松 35 cm+旋耕 25 cm 的耕作方式,在不具备条件的蔗区,可采用铧式犁深松 50 cm+旋耕 25 cm 的耕作方式,以达到深松和增厚耕层的目的^[12]。

二是推行蔗地粉垄栽培技术,韦本辉研究表明,糖料蔗粉垄比传统栽培可增产 10% 以上,原因与良好的土壤理化结构和生态环境促使作物根系发达,促进水肥等得到均衡供给有密切关系^[41]。李轶冰等研究表明,与旋耕和深松相比,粉垄耕作后的耕层层次可基本保持原态,耕层性状被优化,表现为土壤疏松层深厚和调蓄水分肥料能力增强等,且粉垄作业深度越深对降雨入渗和土壤水分调蓄越有利,粉垄后覆盖地膜也可克服表土跑墒的缺点^[42]。糖料蔗粉垄栽培技术是一项可突破犁底层、保持耕层深度、提高水肥利用效率的新的有效方法。

3.3 优化产业规模实行科学轮作

一是根据蔗区规模,在保证糖料蔗种植基地至少 5 年轮作 1 遍的基础上,合理优化糖厂的加工能力,确保工农业均实现最大效益。比如,一方面蔗区的糖料蔗供应减少后,可适时缩小糖厂的加工能力,通过技术创新和改造,提高加工技术水平来获取加工效益。另一方面,针对糖料蔗供应严重不足的蔗区,可通过对一些老旧且技术落后的糖厂实行关停并转,对所在蔗区进行重新整合划分,为糖料蔗科学轮作创造产业基础。

二是提高认识,转变观念,大力宣传和推广科学轮作。通过糖料蔗与其他作物的合理轮作,可以有效减轻土壤心土层压实^[43]。实行作物轮作,包括蔗草轮作等,其他作物根系腐烂后,会留下大量孔道,比如种植三叶草、紫花苜蓿等根系粗大且碎土能力强的作物,可在一定程度上疏松土壤,培肥土壤。例如,在广西来宾糖料蔗生产基地就采取糖料蔗与蚕桑、水稻等轮作;在广东雷州半岛糖料蔗生产基地就采取糖料蔗与菠萝、香蕉等轮作。何树林总结出蔗稻合理轮作有改善土壤理化性状、提高土壤肥力、减少病虫及杂草危害和减少有毒物质积累等四大效果^[44]。郑超等研究表明,甘蔗菠萝轮作地比甘蔗连作地土壤中的碱解氮、速效磷和速效钾等速效养分含量分别提高 33%、27% 和 53%,土壤中淀粉酶、酸性磷酸酶、过氧化氢酶和脲酶的酶活性分别提高 3.2、1.3、2.4 和 1.9 倍,甘蔗、菠萝轮作比甘蔗连作的平均单产和蔗糖分分别高出 8.9% 和 6.6%^[45]。

三是加大政策引导和支持,比如制定和出台轮作补贴或奖励政策,对定期实行糖料蔗轮作的蔗田给予一定的经济补

贴或奖励,鼓励和引导蔗户自觉形成蔗田定期轮作的生产习惯。

3.4 科学施肥并注重培肥土壤

一是减少化肥施用量,重视施用有机肥,增加土壤有机质。有机物质比土壤容重低、孔隙度高,大量施用作物残茬、有机肥、泥碳和绿肥等农肥可以降低土壤紧实度,可增加土壤有机质含量,有效降低土壤容重和提高土壤孔隙度,增强土壤水肥积蓄能力,并促进土壤团聚化而形成良好的结构等^[46-47]。

二是掌握正确的施肥方法。在糖料蔗栽培中不合理施肥是导致甘蔗产量和糖分低的重要原因^[48]。糖料蔗在苗期、分蘖期、伸长期和工艺成熟期等不同阶段对营养元素的需求不同。应根据糖料蔗生长期在测土配方的基础上指导蔗农科学、合理、精准施肥。比如广西来宾市一些蔗农使用甘蔗专用肥增产增效作用明显,试验调查显示,使用甘蔗专用肥比常规施肥平均增产约 8%,增加产值约 3 000 元/hm²^[49]。

三是推广实行蔗叶粉碎还田措施。甘蔗叶中除了含有丰富的作物生长必需的营养元素外,蔗叶粉碎还田可增加土壤有机质含量、改善土壤结构,提高土壤保水、保肥、保温、通气等性能^[50]。

四是推行乙醇发酵废液定量还田技术。通过喷淋锤度为 6~9 的乙醇发酵废液 75~105 t/hm²,并结合地膜覆盖,可使新植蔗和宿根蔗在不施任何化肥的情况下增产 10%~30%,蔗糖分提高 0.2%~1.0%^[51]。

五是引导蔗农实行智能化施肥技术,提高种蔗经济效益。广西农业科学院土壤肥料研究所通过智能化精准施肥使甘蔗平均增产 16.5 t/hm²,糖分提高 1.38%,肥料利用率提高 4.5%~8.2%^[52]。

六是探索推行“化肥+”施肥模式,如“化肥+腐殖酸”“化肥+土壤调理剂(石灰)”“化肥+新型肥料”和“化肥+物联网技术”等,以改善土壤理化和生物学性状,提高化肥利用率和作物抗逆性等^[53-55]。

4 结束语

土壤是农业、农村、农民最为宝贵的财富之一,中华民族在历史上就对乡土怀有深深的眷恋。土壤是农业生态系统中不可替代的基础性因素^[56-59],土壤的可持续是农业可持续的前提,因此培肥土壤是建设和发展现代农业必须着手解决的重大问题,也是首要问题。有效解决土壤劣变问题,不仅须要提高农民思想认识和科学文化素质,改进生产方式和农机装备,创新农技推广水平等,而且也须要农业研究机构不断试验研究开发切合我国产业实际的土壤培肥新方法、新技术和新设备等,同时也须要农业主管部门进一步加强对土壤资源的检测和监管水平,加大政策引导和扶持,大力开展科技宣传培训和农技推广等。比如国家农业部实施的国家农业综合开发项目,通过对中低产田进行改造,培育土壤,将中低产田改造成高产田。

习近平总书记指出,在思想、态度、政策和行动上必须自始至终坚持绿色发展,推进农业发展新观向绿色发展转变,这是走出中国特色社会主义乡村振兴道路的关键。土壤劣变就是农业生态污染的重要表现形式之一,深入推进耕地质量保护

和提升行动,实施土壤劣变、重金属和化工污染等耕地综合整治工程,开展耕地改造、轮作和精耕、休耕等研究试点,调整优化农业产业结构,改革农业发展方式,改进农机装备和农艺措施,加强投入品管控和废弃物自动降解、回收及无害化处理等,推广“化肥+”“物联网+农业”“配方施肥”“精准施肥”等新方法新技术,推进化肥农药减量增效,改良和培肥土壤,保障耕地数量和质量,保护农业资源和农业生态环境。推进农业绿色发展,既是农业生产结构和生产方式调整优化的经济变革,也是思维理念、行为方式和发展模式的绿色革命。实施土壤培肥是农业生态文明发展的重要着力点,新时代中国特色农业绿色发展之路离不开对土壤质量的重视和保护,可以作为我国为世界农业发展贡献的一项中国智慧和中国方案^[60]。

参考文献:

- [1] 中国产业信息网. 2017 年我国甘蔗种植面积及产量情况分析 [EB/OL]. (2018-01-16) [2018-05-10]. <http://www.chyxx.com/industry/201801/604209.html>.
- [2] 云南糖网. 我国 2017/18 榨季甘蔗种植面积小幅增加 3.22% [EB/OL]. (2017-08-08) [2018-05-10]. <http://www.ynsugar.com/Article/hot/201708/51021.html>.
- [3] 廖楠. 广西甘蔗根际土壤丛枝菌根(AM)真菌多样性研究[D]. 桂林:广西师范大学,2016.
- [4] 郭家文. 云南甘蔗主产区土壤养分状况研究[D]. 北京:中国农业科学院研究生院,2011.
- [5] 郭家文,张跃彬,刘少春,等. 云南甘蔗主产区土壤有机质和速效养分分布研究[J]. 土壤通报,2010,41(4):872-876.
- [6] 蒙晓燕. 集思广益促发展,共创“甜蜜大事业”[N]. 来宾日报,2017-12-12(2).
- [7] 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.
- [8] 张军昌,师帅兵,朱瑞祥,等. 轮式作业机械对农田土壤压实的模拟试验研究[J]. 农机化研究,2012,34(1):161-164.
- [9] 孙忠英,李宝俊. 农业机器行走装置对土壤压实作用的研究[J]. 农业机械学报,1998,29(3):172-174.
- [10] 张兴义,隋跃宇. 土壤压实对农作物影响概述[J]. 农业机械学报,2005,36(10):161-164.
- [11] 杨晓娟,李春俭. 机械压实对土壤质量、作物生长、土壤生物及环境的影响[J]. 中国农业科学,2008,41(7):2008-2015.
- [12] 罗俊,林兆里,阙友雄,等. 不同耕整地方式对甘蔗耕层结构特性及产量的影响[J]. 中国生态农业学报,2018,26(6):824-836.
- [13] 吴静妮. 土壤理化性质与甘蔗连作障碍相关性研究[D]. 南宁:广西大学,2016.
- [14] 石元亮,王玲莉,刘世彬,等. 中国化学肥料发展及其对农业的作用[J]. 土壤学报,2008,45(5):853-864.
- [15] 张北赢,陈天林,王兵. 长期施用化肥对土壤质量的影响[J]. 中国农学通报,2010,26(11):182-187.
- [16] 王金林,武广云,刘友林,等. 云南省化肥施用现状及减量增效的途径研究[J]. 中国农学通报,2018,34(3):26-36.
- [17] Megarry D, Sharp G, Garcíatorres L, et al. A rapid, immediate, farmer - usable method of assessing soil structure condition to support conservation agriculture[C]//García - Tómes L, Benites J, Martínez - Vilela A. First World Congress on Conservation

- Agriculture. Spain; Natural Resource Science, 2001; 209–214.
- [18] Hughes J D. Soil compaction: causes, effects and control [D]. Minnesota; University of Minnesota, 2001.
- [19] 孙纪杰. 不同复垦机械压实对土壤物理特性影响的模拟研究 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2014.
- [20] Soane B D, Dickson J W, Campbell D J. Compaction by agricultural vehicles: a review Ⅲ. Incidence and control of compaction in crop production [J]. Soil and Tillage Research, 1982, 2(1): 3–36.
- [21] Tullberg J N. Why control field traffic [C]//Proceedings of Queensland Department of Primary Industries. Toowoomba: Soil Compaction Workshop, 1990, 28: 13–25.
- [22] 卢秉福, 宋柏权, 周艳丽, 等. 农田土壤机械压实及改进技术 [J]. 中国农学通报, 2016, 32(5): 173–177.
- [23] Flowers M, Lal R. Axle load and tillage effect on soil physical properties and soybean grain yield on a mollic ochraqualf in northwest Ohio [J]. Soil & Tillage Research, 1998, 48(1/2): 21–35.
- [24] Balbuena R H, Terminiello A M, Claverie J A, et al. Soil compaction by forestry harvester operation: evolution of physical properties [J]. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2000, 4(3): 453–459.
- [25] Neve S D, Hofman G. Influence of soil compaction on carbon and nitrogen [J]. Biology and Fertility of Soils, 2000, 30(5/6): 544–549.
- [26] Lin H S, Mcinnes K J, Wilding L P, et al. Effects of soil morphology on hydraulic properties [J]. Soil Science Society of America Journal, 1999, 63(4): 948–954.
- [27] Sarquis J I, Jordan W R, Morgan P W. Ethylene evolution from maize (*Zea mays* L.) seedling roots and shoots in response to mechanical impedance [J]. Plant Physiology, 1991, 96(4): 1171–1177.
- [28] 王小明, 覃逸明, 李大成, 等. 绿色双高糖料蔗生产技术现状与发展对策研究——以广西来宾市为例 [J]. 作物杂志, 2017(5): 14–20.
- [29] Wang Z G, Fu Y B, Rao X J, et al. Analysis of soil degradation causes in orchards with different planting years [J]. Agricultural Science & Technology, 2014, 15(8): 1331–1334.
- [30] 李 鑫, 张秀丽, 孙冰玉, 等. 烤烟连作对耕层土壤酶活性及微生物区系的影响 [J]. 土壤, 2012, 44(3): 456–460.
- [31] Xiong W, Li Z G, Liu H J, et al. The effect of long-term continuous cropping of black pepper on soil bacterial communities as determined by 454 pyrosequencing [J]. PLoS One, 2015, 10(8): e0136946.
- [32] 高亚娟, 王永和, 杜 岩, 等. 大棚草莓连作对土壤微生物区系和土壤养分含量的影响 [J]. 北方园艺, 2013(21): 56–58.
- [33] 刘 苹, 赵海军, 万书波, 等. 连作对花生根系分泌物化感作用的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(3): 939–944.
- [34] 李新爱, 童成立, 蒋 平, 等. 长期不同施肥对稻田土壤有机质和全氮的影响 [J]. 土壤, 2006, 38(3): 298–303.
- [35] 王继红, 刘景双, 于君宝, 等. 氮磷肥对黑土玉米农田生态系统土壤微生物量碳、氮的影响 [J]. 水土保持学报, 2004, 18(2): 35–38.
- [36] 杨尚东, 李荣担, 谭宏伟, 等. 长期单施化肥和有机无机配合条件下红壤蔗区土壤生物学性状及细菌多样性差异 [J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(4): 1024–1030.
- [37] 路 磊, 李忠佩, 车玉萍. 不同施肥处理对黄泥土微生物生物量碳氮和酶活性的影响 [J]. 土壤, 2006, 38(3): 309–314.
- [38] 李洪文, 高焕文, 陈君达, 等. 固定道保护性耕作的试验研究 [J]. 农业工程学报, 2000, 16(4): 73–77.
- [39] Laguë C, Agnew J, Khelifi M. Theoretical evaluation on the feasibility of controlled-traffic farming (CTF) using wide-span implement carriers (WSIC) for Canadian agriculture [C]//Annual Meeting of The Csa/Scgr. Montréal: Csa/Scgr, 2003.
- [40] Wiermann C, Werner D, Horn R, et al. Stress/strain processes in a structured unsaturated silty loam Luvisol under different tillage treatment in Germany [J]. Soil & Tillage Research, 2000, 53: 117–128.
- [41] 韦本辉. 粉垄栽培增产效果及其引发的栽培学新理论探讨 [J]. 广西农学报, 2011, 26(2): 25–28.
- [42] 李铁冰, 逢焕成, 杨 雪, 等. 粉垄耕作对黄淮海北部土壤水分及其利用效率的影响 [J]. 生态学报, 2013, 33(23): 7478–7486.
- [43] Ishaq M, Ibrahim M, Hassan A, et al. Subsoil compaction effects on crops in Punjab, Pakistan: II. Root growth and nutrient uptake of wheat and sorghum [J]. Soil & Tillage Research, 2001, 60(3): 153–161.
- [44] 何树林. 甘蔗合理轮作有三大效果 [N]. 湖南科技报, 2006–01–17(4).
- [45] 郑 超, 刘月廉, 谢治国. 菠萝—甘蔗轮作制度对甘蔗生长及土壤生态的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(1): 79–80.
- [46] Martin P J, Stephens W. The potential for biomass production on restored landfill caps [J]. Aspects of Applied Biology, 2001, 65: 337–344.
- [47] 任凤玲, 张旭博, 孙 楠, 等. 施用有机肥对中国农田土壤微生物量影响的整合分析 [J]. 中国农业科学, 2018, 51(1): 119–128.
- [48] 蒙世欢. 广西甘蔗施肥现状、问题及对策 [J]. 广西农学报, 2007, 22(5): 37–39.
- [49] 罗广盘. 来宾市兴宾区甘蔗施肥存在的问题与改进措施 [J]. 现代农业科技, 2015(5): 209, 238.
- [50] 李 丽, 游向荣, 孙 健, 等. 甘蔗田间废弃物及制糖副产物综合利用研究进展 [J]. 食品工业, 2013, 34(7): 170–173.
- [51] 李杨瑞. 现代甘蔗学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2010.
- [52] 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.
- [53] 程 亮, 张保林, 王 杰, 等. 腐殖酸肥料的研究进展 [J]. 中国土壤与肥料, 2011(5): 1–6.
- [54] 孙蓟锋, 王 旭. 土壤调理剂的研究和应用进展 [J]. 中国土壤与肥料, 2013(1): 1–7.
- [55] 陈 龙, 孙广正, 姚 拓, 等. 干旱区微生物肥料替代部分化肥对玉米生长及土壤微生物的影响 [J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(7): 108–113.
- [56] 范弟武, 李秀芝, 黄 斌, 等. 稻壳炭施加对设施土壤的改良效果 [J]. 江苏农业学报, 2016, 32(2): 345–350.
- [57] 张忠启, 于东升, 胡 丹, 等. 县域尺度土壤全氮空间变异及合理采样点数量 [J]. 江苏农业学报, 2016, 32(4): 798–802.
- [58] 邢旭光, 赵文刚, 马孝义. 盐渍土壤覆膜种植条件潜水蒸发的探讨与分析 [J]. 排灌机械工程学报, 2016, 34(1): 57–65.
- [59] 裴 磊, 王振华, 郑旭荣, 等. 土壤盐分对春小麦水盐动态及光合特性的影响 [J]. 排灌机械工程学报, 2016, 34(2): 157–164.
- [60] 余欣荣. 全面推进农业发展的绿色变革 [N]. 人民日报, 2018–02–08(10).