

烤烟水肥一体化技术研究与应用进展^①

谢 湛¹, 邵孝侯², 段卫东³, 李洪亮⁴, 史宏志^{1*}

(1 河南农业大学国家烟草栽培生理生化研究基地, 郑州 450002; 2 河海大学农业工程学院, 南京 210098;

3 河南中烟工业有限责任公司, 郑州 450000; 4 许昌市烟草公司襄城县分公司, 河南许昌 461700)

摘 要: 本文综述了近年来烤烟水肥一体化技术研究与应用进展, 包括系统组成及水肥运筹, 以及水肥一体化技术对烤烟生长发育、生理生化、经济性状、品质性状等方面的影响; 同时结合生产实际对当前水肥一体化技术应用于烤烟生产上需要解决的技术问题和研究方向进行了展望, 相关成果可为提升该技术在烤烟生产上的应用推广效果提供有益参考。

关键词: 水肥一体化; 滴灌; 烤烟

中图分类号: S572; S723.6 文献标识码: A

烟草是我国重要的经济作物, 灌水和施肥是调控其生长发育的重要途径, 二者联系密切, 协调互动, 相互制约。灌水可以有效促进施肥效果, 施肥可以有效促进烤烟对水分的吸收利用, 即“以水促肥, 以肥调水”, 进而提高水、肥利用率。合理的水肥耦合手段, 不仅节约资源, 有利于生态保护, 同时能够促进烤烟生长发育, 提升产质量^[1-3]。但在我国目前的烤烟生产中, 灌溉和施肥两项重要农事操作一般是分开进行的, 一定程度上造成资源浪费、成本增加、土壤结构变化和水质质量下降, 而且由于水、肥在时空上的分离, 不能很好地发挥水肥耦合作用, 水、肥利用效率受到制约, 影响烤烟产质量。研究表明, 提高水、肥利用效率的最佳途径是水肥的高效配合, 就水肥两因素而言, 在某一水分(施肥量)水平下, 均可找到最优供肥量(或供水量)与之配合^[4-6]。水肥一体化技术是一项在水肥耦合的基础上, 将可溶性固体肥料或液体肥料完全溶解于灌溉水中, 借助压力系统, 根据作物对水肥的需求规律, 定时定量按照特定比例将水、肥同时供给作物根系, 实现不同生育时期定量精准供给的一项现代农业生产技术^[7]。现代烟草农业生产与建设正逐步由传统的个体化、人工化向集约化、机械化转变, 尤其从水肥效率、人工成本、生态保护等多方面的思考, 在平衡施肥、优化灌溉的基础上, 探索水肥耦合机理, 进而研究水肥一体化技术的推广和应用, 已是发展现代烟草生产的必然要求。

近年来, 水肥一体化技术已在多种农作物生产上广泛应用, 并取得了良好成效, 其在烤烟生产上的研究应用同样从提质增效、降本减工、维护生态等方面凸显了技术优势, 改善了烤烟产质量, 具有广阔应用前景^[8-9]。但受年际间气候、不同烟区品种、土壤理化性质、系统设备、生产观念等问题制约, 现阶段烟草水肥一体化技术研究与应用大多停留在水肥耦合对烤烟生产的影响层面, 为了提高水肥一体化技术在烤烟生产上的应用效果, 本文对烤烟水肥一体化技术作了介绍, 对其在烤烟生产上的研究进展进行了综述, 并对未来研究方向进行展望。

1 烤烟水肥一体化配套工程

烤烟水肥一体化技术的一项重要内容是配套工程设施的建设和使用。最适宜于烤烟生产的水肥一体化技术是微灌, 其方式主要包括滴灌、微喷灌、涌泉灌、渗灌等^[10]。烟草不同于其他农作物, 其收获部位为叶片, 在烟草生长过程中, 烟叶表面会分泌各种化学物质, 因此水肥一体化技术应用于烟草种植时, 一般选择滴灌水肥一体模式, 避免微喷可能对烟叶表面化学物质造成的淋失。研究表明, 滴灌模式下, 节水效果更为显著, 可有效减少水分蒸发、径流、渗漏和喷灌的水滴飘移损失; 对地形的适应性强, 可防止土壤板结, 有利于保护土壤肥力; 肥料通过滴灌系统输送至烟株根系区域, 提高肥料利用率, 实现精准施

基金项目: 烟草行业烟草栽培实验室项目(201601)资助。

* 通讯作者(shihongzhi88@163.com)

作者简介: 谢湛(1995—), 男, 湖北赤壁人, 硕士研究生, 主要从事烟草栽培生理生化研究。E-mail: xie5356503@163.com

肥,是最适宜烤烟种植的微灌途径^[11]。一套完备的烤烟生产滴灌设备主要包括水源工程、首部枢纽、输水管网、灌水器、监测控制系统 5 个方面^[12-15]。

1)水源工程。水源工程主要负责提供水源,进行肥料的溶解和配比。主要来源于河流、湖泊、水库、沟渠、地下水等。贵州等部分山区和丘陵区多使用集雨补灌模式。烤烟灌溉水中氯离子含量小于 16 mg/L 为宜。

2)首部枢纽。首部枢纽主要包括动力装置(电源、水泵、动力机等)、施肥(药)装置、过滤设备、保护装置和测量控制设备(水阀、流量计、压力表等)。其作用是从水源取水增压,注入肥料(农药),并将其处理成符合滴灌要求的水流送到系统中去。其中过滤设备是输送介质管道上不可缺少的一种装置,通常安装在减压阀、泄压阀、定水位阀或其他设备的进口端,用来消除介质中的杂质,以保护阀门及喷滴灌设备的正常使用。过滤设备大致分为网式过滤器、叠片式过滤器、砂石过滤器、离心式过滤器等,最为常见的是网式过滤器。网式过滤器即是通过单层或双层滤网直接拦截水中的杂质,包括悬浮颗粒物、未溶解的固体肥料等。叠片式过滤器过滤效率高,对有机杂质、特别是纤维状有机杂质过滤效果较好,常与网式过滤器组合使用,在过流量相同时,它比网式过滤器存留杂质的能力强。砂石过滤器处理水中有机杂质和无机杂质最为有效,过流量大,可不间断供水,当水中有机物含量超过 10 mg/L 时,就应选用砂石过滤器,在组合过滤器中,置于网式和叠片式等过滤器之前。离心式过滤器主要清除重于水的固体颗粒,离心过滤器安装在井及泵站旁,用于分离水中含有的沙子及石块。在满足过滤要求的条件下,分离 60~150 目砂石的能力可达到 92%~98%,它作为过滤系统的前端过滤与其他过滤器组合使用。滴灌水肥一体化对水质要求较高,过滤器的选择根据当地烟区水质情况选择,一般为多种过滤器组合使用。河南许昌水肥烤烟灌溉水为地下

水,该地区水肥一体化精准管理系统则是砂石过滤器和叠片式过滤器组合使用。施肥(药)装置是向系统的压力管道内注入水溶性肥料(农药)的设备,包括泵注式施肥装置、泵吸式施肥装置和比例施肥器。目前烤烟水肥一体化应用的主要施肥模式是泵注式施肥。

根据烟田设施情况,首部枢纽设计有所不同。在有电有水的烟田中,可采用过滤器和施肥泵组合机、离心式过滤器和网式过滤器二级过滤,能够随时排泄泥沙,与施肥泵一体,随水施肥非常方便;在有水无电的烟田,可采用灌溉施肥一体机,此设备自带动力,采用叠片式过滤器和泵吸施肥法,体积小,移动灵活。

3)输配水管网。输配水管网是将首部枢纽处理过的水按照要求输送分配到每个灌水单元。主要包括干管、支管、毛管。其中干管连接水源,干管和支管承担输水配水任务,多埋在地下;毛管安装或连接灌水器,是最末一级管道,承担输水、配水和灌水任务,多铺设在地面。

4)灌水器。灌水器即田间直接施水肥的设备,可直接安装在毛管上或通过细小直径的微管与毛管相连接,其作用是消减压力,将水流变成水滴状,施入烟株根系区域土壤。根据灌水器流量与压力的关系,可以分为普通式和压力补偿式。烤烟水肥一体化多使用压力补偿式灌水器,在一定的压力变化范围内可以保持均匀的恒定流量,进一步提高灌溉均匀度。

5)监测控制系统。监测控制系统包括土壤水分传感器、土壤温湿度传感器、电导率仪、酸度计、空气温湿度传感器、无线传输模块、电磁阀、压力表、流量计等。通过对土壤水分、温湿度、电导率、酸碱度及空气温湿度等信息的采集,结合天气信息,实现全自动化灌溉,包括烟株长势长相监测、土壤环境监测和田间小气候监测数据的管理与统计分析、蓄水池水位和水温的控制、田间灌溉施肥的智能化控制等。

烤烟生产滴灌水肥一体化具体设备流程见图 1。

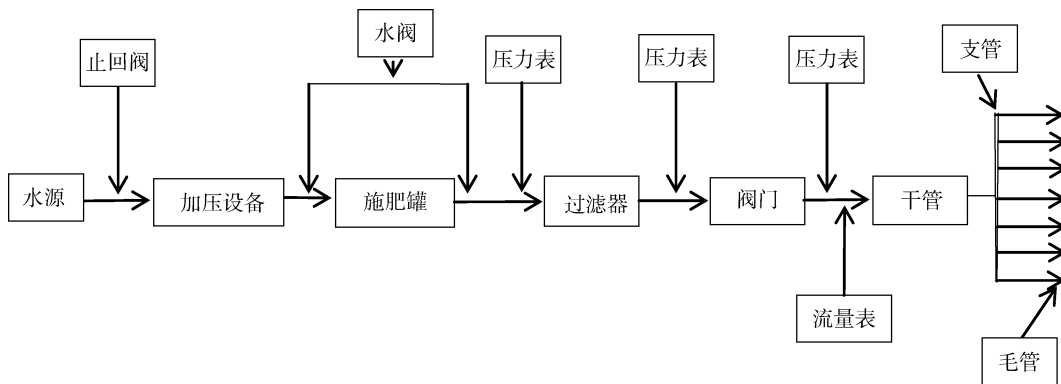


图 1 烤烟生产滴灌水肥一体化设备流程图

Fig. 1 Flowchart of equipment for fertigation in flue-cured tobacco production

烤烟生产滴灌水肥一体化具体操作需注意三点：

肥料溶解与混匀。施用液态肥料时不需要搅动或混合，一般固态肥料需要与水混合搅拌成液肥，必要时分离，避免出现沉淀等问题。施肥量控制。施肥时要掌握剂量，注入肥液的适宜浓度大约为 0.1%。例如灌溉量为 $750 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 注入肥液大约为 $750 \text{ L}/\text{hm}^2$ 。过量施用可能会使烟苗致死以及环境污染。灌溉施肥的 3 个阶段。先选用不含肥的水湿润，再施用肥料溶液灌溉，最后用不含肥的水清洗灌溉系统。

2 烤烟水肥一体化的肥水运筹

2.1 肥料的选择

水肥一体化不同于常规水肥的施用，在肥料选择上，必须是溶解度高、溶解速度快、稳定性好、兼容性强、对设备腐蚀性小的固体可溶性肥料或液体肥料。固体可溶性肥料其溶解度在施用过程中必须满足滴灌水肥一体化模式下过滤系统的需求，且确保不同肥料在进行配制时不会产生沉淀，能够保持溶液的酸碱度在中性和微酸性间^[16]。目前已研制出烤烟水肥一体化专业液体肥料，包括氮磷钾含量分别为(50：120：130)g/L 的生根肥、(217：70：140)g/L 旺长肥和(10：0：400)g/L 落黄肥等，根据烤烟不同生育期需肥特征，氮磷钾配比有所不同，但目前处于试验阶段。当前烤烟水肥一体化中主要应用的是固体可溶性肥料，包括硝铵、硫酸钾、硝酸钾等。

2.2 烤烟水肥一体化灌溉施肥制度

烤烟水肥一体化技术的另一项重要内容是灌溉施肥制度的确定。烤烟灌溉施肥制度是指在一定的气候、土壤等自然条件下和一定农业技术措施下，按烤烟需水需肥规律，为获得烟叶优质高产和科学用水、高效用肥而制定的一整套向田间适时适量的灌水施肥方案。它包括烟草大田全生育期内的水肥次数、每次的水肥施用日期、水肥施用周期和施肥定额与灌溉定额等 5 项内容。烤烟灌溉施肥制度主要由烟区气候、田间肥力、烤烟品种等因素决定。

目前已有较多方法计算烟草需水量，如蒸渗仪法、土壤水量平衡法、热量平衡法等^[17]。烟草的需水量在 400~600 mm 之间，因不同生态条件而异。北方烟区由于降雨量年际间变幅大，季间分配不匀，在烤烟生长前期干旱严重，烟株生长缓慢；后期雨水偏多，土壤中肥料得到重新利用，叶片成熟推迟，难以落黄。南方烟区雨量充沛，虽满足了烤烟前中期正常的生长需求，但常造成烟田渍水，影响烟株根系发育，且成熟期伴有阶段性干旱发生，同样不利于烤烟

正常成熟落黄和优质烟叶的生产^[18]。

灌水量根据烤烟生育期的降雨量及烟田土壤的水分情况确立，每年实际灌水量应根据当季降雨量与常年平均降雨量的差值作相应增减。史宏志等^[19]通过对烟田土壤水分动态的深入研究，建立了烟草叶片细胞液浓度、光合速率、蒸腾速率、气孔导度、根系活力和硝酸还原酶活性与土壤含水量变化的关系，提出了烤烟灌水的生理指标，并认为烟田最适相对含水量指标在烟株生根期、旺长期、成熟期分别为土壤最大持水量的 60%、80% 和 70%。烤烟在全生育期内需要进行多次灌水，所以灌溉定额是指烤烟大田全生育期内单位面积上所需要的总灌溉水量，即烤烟各次灌水定额之和。河海大学邵孝候等根据烤烟水分生产函数模型及设计典型年降雨量，利用动态规划逐次渐进法分析，认为在正常年份和进行充分灌溉的情况下，保证烟叶正常生长并获得烟叶产量为 $2\ 250 \sim 2\ 625 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 所需的灌水制度为：缺水干旱区：伸根期 $330 \sim 390 \text{ m}^3$ (分 2 次)，旺长期 $525 \sim 600 \text{ m}^3$ (2~3 次)，成熟期 $375 \sim 450 \text{ m}^3$ (2 次)；半丰水易旱区：伸根期 $300 \sim 345 \text{ m}^3$ (1~2 次)，旺长期 $450 \sim 525 \text{ m}^3$ (2 次)，成熟期 $225 \sim 300 \text{ m}^3$ (1 次)；丰水季旱区：伸根期 $180 \sim 270 \text{ m}^3$ (1 次)，旺长期 $225 \sim 300 \text{ m}^3$ (1~2 次)，成熟期 $75 \sim 150 \text{ m}^3$ (1 次)。

烤烟的施肥制度已有许多研究成果可供参考，烤烟田间施氮、磷、钾具体总额及比例由田间肥力和烤烟品种决定。袁有波等^[20]通过蒸渗仪试验研究得出，相同土壤含水率情况下，增大氮肥施用量可以显著增大烤烟叶面积指数，提高叶面光合活性，促进烤烟生长，当施氮量超过 $67.5 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 时，光合指标呈现减小趋势。由于水肥一体化技术可以显著提高土壤养分的有效性，减少肥料淋失，提高肥料利用率，因此烟田施肥量比常规应减少 20%~30%，以免后期氮素过剩，烟叶贪青晚熟，影响烘烤质量^[21]。水肥一体化条件下，能使烤烟产量、水分生产效率及氮肥偏生产力 3 个指标在内的综合效益最大化的水肥协作方案为：每公顷烟田全部磷素以及氮素 70%~80%、钾素 70%~80% 作为基肥施入，其余氮素和钾素按伸根期-旺长期-成熟期相应比例随灌溉施入，具体比例根据烤烟品种需肥定律确定。以河南地区为例，主要种植品种为中烟 100，研究建议每公顷烟田全部磷素、氮素 70%、钾素 70% 作为基肥施入，其余氮素和钾素按伸根期-旺长期-成熟期比例 40%-60%-0% 随灌溉施入。伸根期需水量在 100 mm 左右，每 5 d 观测一次田间持水率，田间持水率低于 60% 时单次灌

水 $67.5 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, 总共灌水次数不超过 10 次, 暴雨时注意排水, 每次灌水同时施用氮素和钾素, 总施用氮素、钾素为除去基肥后的 40%; 旺长期需水量在 150 mm 左右, 每 3 d 观测一次田间持水率, 田间持水率低于 70% 时单次灌水 $67.5 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, 总共灌水次数不超过 10 次, 暴雨时注意排水, 每次灌水同时施用氮素和钾素, 总施用氮素、钾素为除去基肥后的 60%; 成熟期需水量在 100 mm 左右, 每 5 d 观测一次田间持水率, 田间持水率低于 60% 时单次灌水 $67.5 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, 总共灌水次数不超过 10 次, 灌水期间不再施用肥料。不同烟区土壤肥力、气候条件有所不同, 灌溉施肥制度的确定需根据实际情况做出调整。

灌水次数和灌水时间根据烤烟需水要求和土壤水分状况来确定, 以达到适时适量灌溉。施肥时间和施肥定额根据烟田养分情况以及烤烟生长需求来确定, 制定水肥制度的关键是确定烤烟各次合理的水肥时间和水肥定额, 即为了使烤烟不致因水分不足而减产减质, 在烤烟遭受干旱时及时适量灌水, 在过量降雨时及时排水, 根据烤烟生理特征按时施肥, 以满足烤烟优质适产所需要的水肥条件。

3 我国烤烟水肥一体化技术发展进程

水肥一体化技术源起 17 世纪末英国博物学家 John Woodward 用不同来源水分种植植物的实验室水培研究。1974 年, 我国从墨西哥引进滴灌设备, 开始了水肥一体化技术研究及相关设备研制, 至 1980 年我国自主研发的第一代滴灌设备产生, 打开了我国水肥一体化技术研究的新局面^[22]。

在我国烤烟生产上, 自 2004 年国家烟草专卖局烟草优化灌溉理论和技术研究项目的实施以来, 化肥减量与节水灌溉紧密结合的水肥一体化研究逐步深入开展。2007 年, 河南平顶山引进了滴灌、喷灌、微喷及自动化水分检测和控制设备进行大面积灌溉现代化示范, 在节水、省工、保护土壤、增质稳产等方面均体现出了其优越性, 为我国烟田灌溉现代化提供了示范。2010 年, 许昌全国会展示了水肥一体化技术推广应用成果, 并继续研发推广配套设备。2013 年, 河南、山东烟区开始大面积推广示范水肥一体化技术。2014 年烟草行业烟草栽培重点实验室专项——植烟土壤肥力培育及提高肥料利用率技术研究通过审批, 烟草栽培重点实验室与河海大学对烟草水肥一体化技术提质增效效应进行了深入研究, 进一步明确了水肥一体化提质增效效应和机理, 建立了平原区水肥一体化的技术模式。2016 年国家

烟草专卖局办公室文件提出水肥一体化技术成为烟叶生产三项主推技术之一, 并形成四大体系: 一是与当地地形地貌、灌溉条件相适应的水肥一体化设施设备体系; 二是与烟株各生育期需水需肥规律相适应的水肥精准高效供应体系; 三是与水肥一体化技术相配套的农艺措施体系; 四是与种植规模和专业服务水平相适应的运行管理体系。进一步推进了烤烟水肥一体化技术的深入发展。

4 水肥一体化对烤烟生产的影响研究

4.1 对烤烟生长发育或生理生化影响

烟株根系生长发育直接影响地上部分形态建成。水肥一体化条件下土壤通透性、烟株根系通透性提高, 根际区域氧气浓度上升, 可以减轻还原性物质对根系细胞的损害, 使根系分生组织细胞分裂速度加快, 细胞长度增加, 进而增加侧根与不定根数量。同时, 水肥一体化促进土壤中有效氮供应量上升, 根系营养状况得到改善, 有利于根系对氮素的同化吸收和自身生长发育^[23-24]。

席奇亮等^[25]通过比较水肥一体化条件下豫烟 6 号和秦烟 96 的生长差异得出, 水肥一体化条件下两个品种各项农艺性状指标均高于常规灌溉处理, 尤其在株高、中部叶叶长、叶宽等 3 项指标效果显著。该研究还指出, 水肥一体化处理在叶龄 10 ~ 70 d 整个过程中鲜烟叶钾含量始终高于常规处理, 能够有效提高不同生育期烟叶钾含量, 这与史宏志等^[4]研究结果相一致。霍昭光等^[26]研究显示, 与传统大田沟灌模式相比, 滴灌水肥一体化显著提高烟株株高、茎围、最大叶面积等指标, 分别达到对照处理的 1.09 倍、1.02 倍和 1.07 倍。该研究还显示, 水肥一体化能够增加根系体积以促进烟株对水分和养分的吸收运转, 有效提高根系面积、总吸收面积、活跃吸收面积和比表面积, 提高根系活力、ATPase 生理活性, 这与 Aqueel 等^[27]在不同小麦品种上的研究、Sandhu 等^[28]在水稻上的研究结果类似。

此外, 水肥一体化技术可以有效缓解干旱胁迫下烤烟烟叶中叶绿素的降解, 保证烟株光合作用的正常进行, 同时改善烟株体内生理活性强度, 增强对 CO_2 吸收能力。随着气孔导度的增加, 有利于气孔和外界进行 CO_2 交换, 提高胞间 CO_2 浓度, 进而提高烟株光合作用强度, 增加净光合速率, 并且改善烟田微气候环境, 降低叶片蒸腾失水^[26]。刘国顺等^[29]通过比较不同灌溉方式对烤烟光合作用的影响得出, 滴灌可以显著提高烤烟生长净光合速率, 尤其提高大田

前中期净光合速率。由此可见,水肥一体化在烤烟生产上的合理运用,能够有效促进烤烟根系及叶片的生长发育,提高烟叶钾含量及光合作用强度,增加干物质积累。

4.2 对烤烟经济性状的影响

水肥一体化技术一方面节水节肥效益明显,人工成本大幅降低;另一方面,可以促进烟株生长发育,提高烤烟叶面积,进而促使干物质积累量,为烤烟产量产值的提高奠定了基础。四川凉山地区研究显示,滴灌模式下烤烟产量达 2 475.77 kg/hm²,较雨养处理产量 1 785.75 kg/hm² 提高 38.64%,而沟灌和穴灌仅分别提高 32.01%、23.31%^[30]。杨金楼等^[31]在山东安丘研究试验指出,滴灌比沟灌烤烟产量增加 537.8 kg/hm²,增幅 23.3%;均价提高 1.1 元/kg,增幅 19.3%;产值增收 6 000.90 元/hm²,增幅 44.9%。向鹏华等^[32]在云南大理研究得出,滴灌水肥一体化技术可使中上等烟比例达到 85%。范艺宽等^[11]在许昌进行水肥一体化精细化管理试验指出,水肥一体化模式下,上等烟比例明显提高,这与金文华等^[33]驻马店铜山烟区研究结果相一致。

申艳芝等^[34]指出,滴灌水肥一体化能够均匀浇灌每株植物,提高烟株生长均匀度,降低外界因素对烤烟影响,提高烤烟整体产量。还有研究指出,滴灌水肥一体化技术的应用可减少复合肥使用量,降低肥料投入成本,提高烤烟生产经济效益。随着复合肥使用量的下降,憋烟、返青烟面积明显缩减,不会对烟株产量造成影响,反而降低烟叶烤坏率,确保了烟叶质量^[35]。由此可见,不同地区水肥一体化在烤烟生产上的应用,可不同程度提高烤烟产量、产值、上等烟比例等经济性状,同时结合该技术降本减工等特点,有效提高烤烟种植经济效益。

4.3 对烤烟品质性状的影响

有研究表明,与浇灌相比,滴灌技术能够改善烟叶内在品质,有效解决由于季节性干旱引起的烟叶品质下降问题^[36]。赵哲等^[37]在云南普洱景东烟区研究得出,滴灌模式可以提高云烟 87 烤后烟叶还原糖、总糖和钾含量,降低上中部叶烟碱含量、氯含量,达到“提钾降氯”的目的,使糖碱比、两糖比、钾氯比等各项化学指标更为协调。

合理的水肥条件能够改善烤后烟叶化学成分,提高烟叶内在品质。烟叶油分越足,烟叶中还原糖、总糖、钾含量越高,烟碱、总氮含量越低,香气质越好,香气量越足^[38]。研究指出,滴灌水肥一体化可有效提高烤后烟叶外观质量和内在品质。与常规施肥灌溉

方式相比,烤后烟叶色度、光泽、油分、柔软性、叶面组织结构、叶片结构等外观质量得以改善,尤其在油分方面表现最为显著。该研究还指出,滴灌水肥一体化能够显著提高类西柏烷类降解产物茄酮、茄醇、茄尼味喃、降茄二酮等香味物质含量,提升烤烟品质性状^[25]。有研究显示,滴灌还可有效降低烟叶尼古丁含量^[24]。综上所述,水肥一体化有利于改善烤后烟叶外观质量,通过增加烟叶中性致香物质含量来提高烤后烟叶香气质量,提升香气丰富性、透发性、流畅性、圆润性、舒适度,降低刺激性,通过提高钾含量改善烤后烟叶燃烧性和灰色,同时降低烟叶尼古丁含量,达到提升卷烟抽吸品质和安全性的目的。

5 小结与展望

5.1 小结

烤烟水肥一体化技术的应用是现代烟草农业发展的必然要求,相较于传统的灌溉施肥方式,水肥一体化在提质增效、降本减工、维护生态等方面凸显出技术优势,对烤烟生长发育、生理生化、经济性状、品质性状等方面的影响也体现出正面效应,目前正在大量室内机理机制研究和部分大田试验研究中得到验证。该技术的合理运用,将转变我国烤烟种植模式,具有广阔发展前景。

5.2 展望

结合目前研究现状,未来烤烟水肥一体化研究和推广,可从以下几个方面展开。

5.2.1 加大培训推广力度 烤烟水肥一体化的运用,是农业生产与水利工程的二者结合。水肥一体化实施虽然能够有效增加经济收入,但在前期系统设备的安装成本较高,烟农短时间内在无法预知未来经济效益的情况下难以接受。此外,在实际应用中,烟农也难以独立完成水肥配套设备的安装、维护、检修等工作。因此需要加大宣传力度、培训力度、扶持力度,依靠更加先进、更加科学的方式指导烤烟种植,让烟农改变传统生产观念,从思想上认同新的灌溉施肥模式,并掌握各类先进水肥一体化设备的使用方法和科学合理的灌溉施肥制度,观念与技术二者结合,才能更好推广此项技术,实现烤烟生产的现代化。

5.2.2 推进土地流转和集约化经营 有序的规模化种植,才能有效实施现代烟草农业增值的技术含量,也是发展现代烟草农业的要件之一。水肥一体化模式下设备的引进和应用,更适宜于大面积烟田使用,而非零星散户种植。推进土地流转和集约化经营,成立合作社种植模式,既可以使不种烟的烟农得田

租,想种烟的烟农有田种,更可以减少水肥一体化配套设备的成本投入。尤其以河南烟区为代表的平原烟区,烟田较为集中,设备便于安装应用,集约化经营节本效果更为显著。

5.2.3 烤烟水肥一体化模式研究 1)探索烤烟地下滴灌水肥一体化。为引导烤烟根系向土壤深处生长,更好吸收肥料及土壤肥力,提高烟株抗逆性,可开展地下滴灌水肥一体化技术研究。直接在土壤深处烟株根系附近施入水肥,促进根系向深处生长,同时探索不同品种水肥深施的技术和方法,避免地面施水肥时造成的水分散失和养分挥发,进一步提高水肥利用率和经济效益。

2)继续探索烤烟膜下滴灌水肥一体化。膜下滴灌是滴灌技术和覆膜技术的结合,在滴灌原有的技术优势上,可以进一步减缓土壤水分散失和肥料的淋失,尤其在南方烟区强降雨气候条件下,可能对土壤肥力的保持具有一定作用。目前国外已有不少关于烤烟膜下灌溉的研究,国内新疆棉花膜下滴灌技术已处于国际领先地位,并伴有液体地膜相关研究^[39-40]。烤烟膜下滴灌水肥一体化虽然已有部分研究,但因年际间气温不同,移栽期覆膜影响烟苗周边空气流通,一旦出现高温情况,将对移栽烟苗成活率造成一定影响。未来可根据不同烟区气候情况,进一步探索烤烟膜下滴灌水肥一体化移栽时机、覆膜时机、通风处理等管理问题,以及薄膜材质等技术问题。

3)探索多种微灌模式交叉运作。利用微喷改善田间小气候、防止日灼伤害、减轻病虫害和自然灾害,利用滴灌达到节水灌溉、缓解土壤板结的效果,利用覆膜保持土壤地温、减少水分蒸发损失、抑制杂草、减缓土壤表层盐分积累。综合各种微灌模式优点,探索其在烤烟生长发育、生理生化、品质产量等方面的试验效果,尝试多种微灌模式交叉使用试验研究。

5.2.4 烤烟水肥一体化灌溉施肥制度研究 1)水肥一体化模式下减氮。随着烤烟水肥一体化技术不断成熟,肥料利用率得到大幅提高,烤烟对氮素的吸收更为充分,若继续沿用传统灌溉施肥模式下的施氮量,可能会导致氮素过量,烟叶贪青晚熟,或出现黑暴烟,并造成土壤、环境的污染。未来研究中,可进行水肥一体化下常规施氮处理和适当减氮处理下,烤烟各项指标的比较,探索水肥一体化模式下不同品种最佳施氮量,继续开发烟草专用液体肥料。

2)建立灌溉施肥制度数据库。通过分析水肥一体化模式下土壤水分供给、肥料运筹对烟株的生长发育、生理生化、产量品质等方面影响,进一步探讨在

该技术下,肥料及水分在土壤体内的迁移运动状态及分布情况;在考虑品种、气候、土壤质地、肥力、含水量等因素时,确定烟草大田全生育期内的水肥次数、每次的水肥施用日期、水肥施用周期和施肥定额与灌溉定额等 5 项内容,完善不同品种、地区适宜的灌溉施肥制度和肥料配比模型,并建立数据库,为滴灌水肥一体化技术在烤烟生产上的应用提供更多参考依据。

3)自动化控制监测设备研发。当前烤烟水肥一体化技术的应用,根据不同烤烟品种、土壤状况,配套实施方案有所不同,尤其受年际间气候等不可控因素的影响最为显著,导致既定的灌溉施肥制度与实际烤烟生长水肥需求有所出入。因此,需进一步研发自动化控制监测配套设备,及时对土壤、天气等情况进行预测,以便根据实际情况及时调整灌溉施肥制度,满足烤烟生长需求。

参考文献:

- [1] 钟华,邵孝侯,阿吉艾克·拜尔,等.我国烟草节水优化灌溉和水肥耦合技术综述[J].水利水电科技进展,2005,25(3):68-70
- [2] Sifola M I, Postiglione L. The effect of nitrogen fertilization and irrigation on dry matter partitioning, yield and quality of tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) burley type[J]. Agricoltura Mediterranea, 2002, 132: 33-34
- [3] 陈亚.水氮耦合对植烟土壤理化生物特性及烤烟生长的影响[D].重庆:西南大学,2009
- [4] 李爽,张玉龙,范庆锋,等.不同灌溉方式对保护地土壤酸化特征的影响[J].土壤学报,2012,49(5):909-915
- [5] 史宏志,范艺宽,刘国顺,等.烟草水肥耦合机理研究现状和展望[J].河南农业科学,2008,37(10):5-10
- [6] 张体彬,康跃虎,万书勤,等.滴灌枸杞对龟裂碱土几种酶活性的改良效应[J].土壤学报,2015,52(6):1392-1400
- [7] 安迪,王亭杰,金涌.采用水肥一体化技术统筹工农业协调发展[J].中国工程科学,2015,17(5):120-125
- [8] 王蓉,张来振,倪丹,等.水肥一体化技术在园艺作物中的应用成效[J].安徽农学通报,2017,23(10):86-94
- [9] 陈雪蛟,王克俭,韩宪忠,等.水肥一体化自动控制系统设计[J].湖北农业科学,2016,55(11):2902-2904
- [10] 吴萍,马敬,李艳杰,等.简述微灌的种类、特点及适用范围[J].北方园艺,2002(3):7
- [11] 范艺宽.优质烟水肥(药)一体化精准管理系统的实施//中国烟草学会. CORESTA 2014 年大会入选论文集[C]. 2014: 7
- [12] 全国农业技术推广服务中心.灌溉施肥初级教程[M].北京:中国农业出版社,2010:37-52
- [13] 余剑东,倪吾钟,杨肖娥.肥水管理新技术——肥灌[J].土壤通报,2003,34(2):148-153

- [14] 张承林, 邓兰生. 水肥一体化技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2012: 27-39
- [15] 陈喜靖, 孔海明, 奚辉, 等. 水肥一体化应用的主要技术及方法[J]. 浙江农业科学, 2015, 1(6): 757-761
- [16] 杨林林, 张海文, 韩敏琦, 等. 水肥一体化技术要点及应用前景分析[J]. 安徽农业科学, 2015(16): 23-25
- [17] 刘国顺, 陈江华. 中国烤烟灌溉学[M]. 北京: 科学出版社, 2012: 89-90
- [18] 高华军, 汪耀富, 邵孝侯. 烤烟节水灌溉的研究进展[J]. 节水灌溉, 2005(5): 33-35
- [19] 史宏志, 刘国顺, 刘建利, 等. 烟田灌溉现代化创新模式的探索与实践[J]. 中国烟草学报, 2008, 14(2): 44-49
- [20] 袁有波, 李继新, 苏贤坤, 等. 节水灌溉条件下水氮耦合对烤烟生长发育及生理性状的影响[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2008, 36(6): 781-785
- [21] 夏建华, 王川, 赵锦超, 等. 烟草水肥一体化发展现状与应用前景[J]. 现代农业科技, 2016(19): 63-64
- [22] 高鹏, 简红忠, 魏祥, 等. 水肥一体化技术的应用现状与发展前景[J]. 现代农业科技, 2012(8): 250-250
- [23] Nejad T S. Effect of drought stress on shoot/root ratio[J]. Proceedings of World Academy of Science Engineering & Technology, 2011(81): 598-600
- [24] Bilalis D, Karkanis A, Efthimiadou A, et al. Effects of irrigation system and green manure on yield and nicotine content of Virginia (flue-cured) Organic tobacco (*Nicotiana tabacum*), under Mediterranean conditions[J]. Industrial Crops & Products, 2009, 29(2/3): 388-394
- [25] 席奇亮, 赵科, 邢雪霞, 等. 水肥一体化的滴灌模式对烟叶质量及经济效益的影响[J]. 中国农学通报, 2017, 33(18): 153-158
- [26] 霍昭光, 孙志浩, 邢雪霞, 等. 北方烟区水肥一体化对烤烟生长、根系形态、生理及光合特性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(9): 1317-1325
- [27] Aqueel M A, Leather S R. Effect of nitrogen fertilizer on the growth and survival of *Rhopalosiphum padi* (L.) and *Sitobion avenae* (F.) (Homoptera: Aphididae) on different wheat cultivars[J]. Crop Protection, 2011, 30(2): 216-221
- [28] Sandhu S S, Mahal S S, Vashist K K, et al. Crop and water productivity of bed transplanted rice as influenced by various levels of nitrogen and irrigation in northwest India[J]. Agricultural Water Management, 2012, 104(1): 32-39
- [29] 刘国顺, 王行, 史宏志, 等. 不同灌水方式对烤烟光合作用的影响[J]. 灌溉排水学报, 2009, 28(3): 85-88
- [30] 樊毅, 王君勤, 崔宁博, 等. 不同灌溉方式对烟草生长、产量与水分利用效率的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2016, 44(5): 45-54
- [31] 杨金楼, 计中孚, 奚振邦, 等. 滴灌对烤烟生育、产量及品质的影响[J]. 中国烟草科学, 2001, 22(1): 19-21
- [32] 向鹏华, 罗建新, 周万春, 等. 滴灌施肥对烤烟产量和质量的影响[J]. 湖南农业科学, 2008(2): 92-94
- [33] 金文华, 刘金海, 鲁家鑫, 等. 烤烟节水灌溉试验与示范[J]. 烟草科技, 2002(11): 39-41
- [34] 申艳芝. 浅析烤烟滴灌水肥药一体化技术[J]. 农业与技术, 2016, 36(17): 86-88
- [35] 李微杰, 赵亚. 水肥一体化技术对烤烟生产的影响[J]. 农业与技术, 2017, 37(8): 42
- [36] 敖金成, 朱海滨, 张静, 等. 不同灌溉方式对初烤烟叶内在品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(14): 6192-6195
- [37] 赵哲, 吴清辉, 王亚平, 等. 滴灌技术对烟叶田间生长及品质的影响[J]. 作物研究, 2016(7): 779-781
- [38] 王欣, 许自成, 毕庆文, 等. 生态因素对烤烟还原糖、总糖含量影响之研究进展[J]. 中国农学通报, 2007, 23(8): 225-228
- [39] 潘冬梅, 吕新, 王海江. 棉花膜下滴灌施用氮肥施肥模型及推荐决策支持系统建立研究[J]. 土壤, 2008, 40(1): 141-144
- [40] 李云光, 王振华, 张金珠, 等. 滴灌条件下液体地膜覆盖土壤保温保湿效应及棉花生长响应[J]. 土壤, 2015(6): 1170-1175

Research and Application Advances in Fertigation Technology in Flue-cured Tobacco Production

XIE Zhan¹, SHAO Xiaohou², DUAN Weidong³, LI Hongliang⁴, SHI Hongzhi^{1*}

(1 Henan Agricultural University, National Tobacco Cultivation & Physiology & Biochemistry Research Center, Zhengzhou 450002, China; 2 College of Agricultural Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 3 China Tobacco Henan Industrial Co., Zhengzhou 450000, China; 4 Xiangxian Branch of Xuchang Tobacco Company, Xuchang, Henan 461700, China)

Abstract: This paper reviewed the research advances in fertigation technology in flue-cured tobacco production in recent years, including system composition, water and fertilizer operation and the effect for fertigation technology on growth, physiological and biochemical characteristics, economic characters and quality traits of flue-cured tobacco; Meanwhile, this paper prospected the technical problems and research directions which needs to be solved for fertigation technology in flue-cured tobacco production with actual production, the related results can provide a useful reference for promoting the application and popularization of fertigation technology in the production of flue-cured tobacco.

Key words: Fertigation; Drip irrigation; Flue-cured tobacco