广东农业科学 2020，47（4）：68-76
Guangdong Agricultural Sciences doi:10.16768/j.issn.1004-874X.2020.04.010

刘永来，李淮源，梁志雄，王寒，文国宇，陈建军 . 东南烟区烟叶水肥一体化技术发展策略［J］. 广东农业科学，2020，47（4）：68-76.

东南烟区烟叶水肥一体化技术发展策略

刘永来[1]，李淮源[2]，梁志雄[2]，王　寒[1]，文国宇[3]，陈建军[2]

（1. 广东中烟工业有限责任公司技术中心，广东 广州 510310；
2. 华南农业大学烟草研究室，广东 广州 510642；
3. 广东烟草韶关市有限公司，广东 韶关 512000）

摘　要：探讨烟叶水肥一体化技术在东南烟区应用适应性，为发挥坡地烟叶质量潜势提供策略参考。概述了水肥一体化的原理及其应用于作物生产历程，在分析烤烟精准水肥管理主要研究进展基础上，探讨基于精准水肥管理技术在烤烟生产上应用可行性及其难点，提出4个方面发展策略：一是加强政府与烟草行业协同创新，充分利用“以工哺农、以城带乡”的惠农扶农政策，将适用丘陵山地改造平整为基本烟地；二是大力选育水肥高效利用的新型烟草品种；三是深入开展水肥一体化技术理论与应用研究；四是大力推进“互联网+”现代烟草农业的发展，加强水肥一体化技术产品的研发。

关键词：东南烟区；烤烟；水肥一体化；精准水肥管理

中图分类号：S572.062　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1004-874X（2020）04-0068-09

Development Strategy of Fertigation Technology for Tobacco in Southeast Tobacco Production Region

LIU Yonglai[1], LI Huaiyuan[2], LIANG Zhixiong[2], WANG Han[1], WEN Guoyu[3], CHEN Jianjun[2]

（1. *Guangdong China Tobacco Industry Co., Ltd., Guangzhou* 510310, *China*；
2. *Tobacco Research Laboratory, South China Agricultural University, Guangzhou* 510642, *China*；
3. *Tobacco Ltd. in Shaoguan of Guangdong, Shaoguan* 512000, *China*）

Abstract: The study was to explore the application adaptability of fertigation technology in the southeast tobacco production region and provide a strategic reference for exerting the potential of tobacco quality in sloping areas. This paper summarized the principle of fertigation and its application in crop production. Based on the analysis of main research progresses in precise fertigation management of flue-cured tobacco, the practicability and difficulty of such technology in tobacco production was explored and and four development strategies were put forward: firstly, strengthening the collaborative innovation between the government and the tobacco industry, make full use of the farmer-friendly and agricultural-supporting policy of “feeding agriculture by industry and driving countryside by city”, and transform applicable hilly and mountainous lands to basic tobacco planting fields; secondly, breeding new tobacco varieties with high efficiency of water and fertilizer utilization; thirdly, conducting in-depth researches on the theory and application of fertigation technology; fourthly, promoting the development of modern tobacco agriculture vigorously with "Internet +" mode and strengthening the research and development of fertigation technology products.

Key words: southeast tobacco production region; flue-cured tobacco; fertigation; precise water and fertilizer management

收稿日期：2020-02-10
基金项目：广东中烟工业有限责任公司科技项目（2017440000340017）；广东省烟草专卖局（公司）科技项目（粤烟科〔2014〕1号）
作者简介：刘永来（1966—），男，工程师，研究方向为卷烟工艺，E-mail: 3432559027@qq.com
通信作者：陈建军（1965—），男，博士，教授，研究方向为烟草栽培与生理生化，E-mail：chenjianjun@scau.edu.cn

烤烟是我国重要的高效经济作物之一，常年种植面积 100 万 hm^2 左右，其中水田占 27%，旱地占 73%。水分和肥料是影响烟草生长发育的两大重要因素，直接关系到烟叶产量和质量以及烟农的切身利益[1-2]。一方面，我国大农业中淡水资源短缺，区域性和季节性干旱发生频繁，肥料施用不合理所致浪费现象普遍存在；另一方面，烟叶生产因肥料和水分利用率低而带来生产成本高、土壤水体污染等问题依然严峻，一直制约着烤烟生产可持续健康发展[3-4]。为此，国家烟草专卖局于 2005 年发布了《全国烟叶生产基础设施建设实施方案》，其两大主要任务之一是建设基本烟田烟水配套设施，试图提高烟田综合生产能力和烟叶质量，实现烟农持续增收。2016 年，为响应中央“一控两减三基本”号召，国家烟草专卖局又适时将烟叶水肥一体化技术作为烟叶生产三项主推技术之一在烟区大力推广应用，取得了显著成效[5]。随着水肥一体化技术与设备的日趋完善以及其在其他作物上的成功实践，烟叶水肥一体化技术对于保障我国烤烟生产稳定性，特别是发挥旱地烟叶增产增质潜势，进一步推动烟叶生产“减工降本、提质增效”均具有重要的实践意义。但是，由于烟区气候和土壤、地形地貌、农田基础设施复杂多样，烟叶水肥一体化技术适用性仍存在诸多瓶颈，亟需深入研究和系统发展。东南烟草种植区包括海南、广东、广西、福建、浙江、江西、台湾等省（自治区）全部，江苏、安徽的南部，湖南东南部，湖北的东部，是富有发展潜力的烟叶产区。该区常年种烟面积 18 万 hm^2，年产烟叶 34 万 t，占全国烤烟种植面积和总产量的 17%左右。区内陆地以山地、丘陵为主，占陆地的 70%以上。烟地交通不便，水肥一体化设备铺设难度大；雨水充沛，但分布不匀，季节性干旱在烤烟成熟期发生频繁。

综上所述，本文以东南烟区为例，从分析水肥一体化技术原理和发展现状角度出发，探讨水肥一体化技术在烤烟生产上应用难点及其发展方向，为加快传统烟草农业向资源节约、环境友好、优质高效型现代烟草产业转变提供依据和借鉴。

1 作物水肥一体化技术发展回顾

1.1 作物水肥一体化和精准水肥管理技术的含义

作物水肥一体化是将施肥与灌溉有机融为一体的农业生产施肥灌溉技术。水肥一体化借助于压力系统（或地形自然落差），将预先调兑好的肥液连同灌溉水一起，先后通过各级管道网络，最后以渗灌、微喷灌或滴灌的方式将作物生长所需的肥水准确输送到作物根系生长的土壤区域[6-8]。因此，与传统的灌溉和施肥方法相比，水肥一体化具有节约水资源[2,9-11]，提高肥料利用率[9,12-14]、改善作物土壤环境[15]和大大提高劳动生产率[16]等优势。精准水肥管理技术则是在传统水肥一体化的基础上，通过引入智能化自动控制技术、墒情监测与决策支持技术、作物生长信息监测与综合管理技术等[17-18]，依据作物生育期的营养和水分需求，同时结合土壤墒情[19-20]等信息，在人工或非人工控制条件下，通过灌溉与施肥系统，实现作物水肥的精准供应。精准水肥管理作为精准农业的一个重要组成部分，可以实现在每一操作单元上因土壤因作物预计产量和质量的差异而按需灌溉与施肥，有效控制了物质循环中的养分输入和输出，大幅度提高了水资源和肥料的利用率，促进了生态环境保护的建设，同时增加了农民的收入[1,21-22]，是现代农业发展的必然选择。

1.2 作物水肥一体化技术的起源与发展

水肥一体化的起源最初可以追溯到 19 世纪以前的实验室水培试验。17 世纪后期，英国博物学家 John Woodward 于 1699 年开始利用不同来源的水或溶液如降水、河水、土壤提取液等进行植物培养，这就是最原始的水肥一体化[23]。20 世纪以后，由于塑料工业的快速发展以及灌溉设备研发的突破[24]，以滴灌、喷灌等微灌模式为代表的水肥一体化技术开始在全世界范围内得到广泛应用和推广。

国外的水肥一体化技术多用于棉花[25]、西红柿[26]、辣椒[27]、马铃薯[28]和甜橙[29]等经济价值较高的蔬菜和水果上。美国是目前世界上水肥一体化应用面积最大的国家，滴灌应用面积约为 95 万 hm^2，同时拥有完善的水肥一体化设施及服务体系，其灌溉农业中 60% 的马铃薯、32.8% 的果树和 25% 的玉米均采用了水肥一体化技术，此外美国更是加强了新基于水肥一体化的新型水溶肥料和农药注入控制装置的开发应用，目前其肥料总量中有 38% 为水肥一体化专用肥料[30]。而作为世界上水肥一体化技术应用程度

最高的国家，以色列有 25×10^4 hm² 的农业灌溉面积已全面推行喷灌、滴灌化，水肥一体化已广泛应用在果园、温室、大田和园林绿化等领域，并正朝着自动化和智能化的方向发展[31]。例如该国 Netafim 公司研发的水肥自动化控制系统，由泵站、过滤中心、施肥灌溉系统和阀门管网等组成，通过计算机的集中管理与控制，自动配置适宜浓度的肥液，与灌溉水经过一定比例的混合后，再通过各级灌溉网络，在电磁阀压力的调节下实现对作物水肥供给的精确控制[31-32]。

我国水肥一体化技术应用始于 1974 年节水灌溉技术研究，当时是从墨西哥引进了滴灌设备，并建立了 3 个面积共 5.3 hm² 的试验点进行试验研究[9,33]。40 余年的时间，从最开始的设备引进与消化吸收，再到后来的自主研发以及全国推广等过程，我国的水肥一体化无论在推广面积，还是技术设备或者控制理论方面，都得到了很大的发展[23]。在应用范围方面，水肥一体化技术已成功应用在我国的苹果、柑橘、香蕉、茶叶、棉花和马铃薯等作物的大面积生产上。尤其在新疆地区，其膜下棉花滴灌更是已经具备了较为成熟的技术，与沟灌相比，能保证节水 50% 以上，增产 18.4%~39.0%，同时籽棉单产增幅为 58.0~94.1 kg/667m²[10,34]。其次，在滴灌技术方面，我国更是相继成功开发出压差施肥罐、重力自压施肥器，并发展出覆膜沟灌施肥技术、小白龙喷水带微喷施肥技术、痕量灌溉施肥技术等[10]。此外，在水肥一体化系统的开发上，我国也有不少科研成果涌现，例如罗克勇等设计的耕作层水肥精准智能调控系统，以作物生理需水肥量及土壤含水量和肥分为依据，对土壤耕作层水肥参数进行监测并通过无线电传输，系统根据数据自动调节控制植物根部的水肥供给，实现耕作层微灌的自动化[22,35-36]。聂晶等开发的变量施肥辅助决策系统，在采集作物生长土壤信息的基础上，依据作物在不同生长区域、阶段对水肥的需求、水肥结合效应和目标产量等因素自动配制肥液，同时调整肥液浓度、流量和酸性等，执行精确的施肥过程[37]。

国际上作物水肥一体化技术在基础理论、灌溉施肥的设备和肥料，水肥一体化系统的监测和管理等方面都已经相当成熟，在西欧、美国、以色列等发达国家更是一种普遍应用的实用技术。相对而已，我国在水肥一体化技术和设备的引进、消化吸收以及推广应用方面都已经取得了相当的进步，但是我国在水肥一体化技术的研究和推广方面地区之间发展不平衡，总体还处于发展推广阶段[10-11]。

2 烤烟水肥一体化技术应用现状

2.1 烤烟水肥一体化技术的优势

我国烤烟水肥一体化技术应用研究最早可以追溯到 2000 年杨金楼在烤烟上进行的滴灌试验，其试验结果表明滴灌在烤烟的生产上具有显著的节水、增产、增效和提高烟叶质量效果，其产量和产值均比沟灌处理提高 20% 以上[38]。金文华等开展的烤烟节水灌溉试验与示范研究也证实滴灌和喷灌的节水效果显著，对烟田土壤结构、烟株农艺性状和经济性状的作用效果显著[39]。有关烟草水肥耦合技术研究和应用也日益受到烟草研究者重视[1,21,40-41]。

随着地膜在烟叶生产上的广泛应用，烤烟膜下滴灌技术应运而生，而相关的膜下滴灌试验更是进一步显现出滴灌在烤烟生产上的巨大优势。王洪云等采用大田对比试验方法研究了大理州烤烟膜下滴灌的效果，表明在单位面积上获得同等烟叶条件下，膜下滴灌可以减少烤烟全生育期的灌溉量，同时在适宜的滴灌量范围内，较小的滴灌量可以提高水分的利用效率，40~50 m³/667m² 的灌溉量适宜于大理州的自然生态条件[42]。国鸿蔷等在膜下滴灌的条件下，对烤烟生产设计了不同的水肥处理，结果显示 12 mm/ 次的滴灌量，结合施用 15 000 kg/hm² 生物有机肥和 3 g/ 株化肥，可使烟草获得最大的叶面积（4.2 m²），同时单株叶片干物质积累量和产量也最高。虽然生物有机肥 + 化肥的水肥设计可以优化烟草叶片干物质分配比例，但却不利于烟草的早期生长[43]。此后，随着人们对于烤烟水肥耦合机理认识的逐步深入[44-48]，烟叶水肥一体化设计试验日益受到重视，在烤烟生产上陆续进行试验应用[48-51]。目前，烟草农业形成了一些颇具特色的水肥一体化灌溉技术，如控制灌溉、非充分灌溉、膜上灌和喷、滴灌技术等，在烟叶生产中逐步推广应用并已经取得了显著的节水、节肥、省工效果[52-54]。

随着水肥一体化技术与装备的发展，现代烟草农业生产正朝着机械化化、自动化、智能化、成套化的方向发展，以遥感技术、人工智能、无

线智能传感器阵列等为特征的现代高科技开始被应用于灌溉、施肥、喷药等烟叶生产环节，精准化程度大大提高[21-22,32,35,55]。烤烟水肥一体化通过适时、适量满足烟株对水分和养分的需求，实现了烟株营养的精准调控，有助于进一步提高烟叶品质尤其是上部烟叶可用性[47,54]。虽然目前有关烟叶水肥一体化研究主要是探索水肥一体化下烤烟的水肥管理，但是也有部分前沿性的研究尝试将基于水肥一体化的精准水肥管理技术应用于实际生产上。如范艺宽在河南许昌的中华烟原料基地，实施了一套适宜于优质烤烟的水肥一体化精准管理系统，通过实时远程监测烟田的土壤和气象环境参数以及烟株的长势长相，实现了烟田供水、施肥和施药的自动化精准管理[22]。陈建军等[36]和邹勇等[21]2008年在广东开展了基于近红外光谱的烤烟精准水分管理研究与示范，依据烤烟氮、磷、钾和干物质的吸收规律和动态营养平衡原理制定理论施肥方案；运用基于滴灌和SPAD仪的水肥一体化技术对烤烟水肥实时供应，氮肥用量为9 kg/667m^2，硝态氮与氨态氮比为50% ： 50%，追肥氮钾比为1 ： 1.5~2；利用自主研发的“优质烟叶精准水肥管理技术的规模应用与示范项目智能化控制系统”对烤烟大田水分进行自动灌溉，同比产量提高10%，增收10%，省肥20%以上，省水45%以上，省工量3~4个/667m^2，取得了显著成效。

目前关于烤烟精准水肥管理的相关技术研究及应用正方兴未艾，而有关的成果更是已经投入到烟叶生产实际中，并取到了不错效果，表明精准水肥管理技术在烤烟的生产管理上具有广阔的应用前景。

2.2 烤烟水肥一体化技术推广应用面临的问题

2.2.1 不同生态区烤烟精准水肥管理体系尚未形成 水肥一体化技术的一个重要特点是可以按照既定的水肥设计适时、适量地满足作物对于水分和养分的需求，实现对作物营养的精准调控。因此，要想在烤烟生产上实现精准水肥一体化，同时最大限度地发挥精准水肥管理技术的作用，就一定要明确不同生态条件下烟株生育期的需水需肥规律，选择合适的肥料种类和肥料配方，并建立与之相适应的烤烟水肥精准高效供应体系。优质烤烟的生产离不开与之相配套的农艺措施。而水肥一体化在烤烟上的应用，更是对传统植烟模式的变革。因此，有必要从生产实际出发，进行相关农艺措施的探索，建立与水肥一体化相配套的农艺措施体系。需要注意的是，我国幅员辽阔，烟区生态环境多样，烟叶风格各有特色。所以，烤烟精准水肥管理体系的建立要充分考虑到各个地方的实际情况，因地制宜，合理设计。

2.2.2 基于优质烤烟生长发育模型的水肥管理系统有待开发 开展基于水肥一体化的优质烤烟精准水肥必须与基于优质烤烟生长发育模型的控制系统相结合。从相关报道来看，虽然目前国内有不少科研单位都开发了类似的控制系统，但普遍都欠缺实用性，因此有必要加强优质烤烟生长发育模型控制系统的开发，增强其可操作性。

2.2.3 农民的接受程度仍需要提高 农民是农业生产系统经营的主体，更是农业技术推广体系运行的核心部分。但我国农村农民普遍文化水平不高，对先进生产技术接受程度不强[47-48]。因此，有必要加强对农民的宣传推广工作。同时，要充分发挥试点的示范作用，打造优质烤烟水肥一体化试点，一方面以实际效果提高农民的接受程度，吸引一批有知识懂技术的社会精英参与烟叶的种植与经营，着力培育的新型职业烟农。另一方面则以此作为培训推广的基地，培养一批能够系统掌握技术、独立开展工作的精准水肥管理技术专业队伍。

2.2.4 前期投入大，需要建立长效机制 烤烟精准水肥管理的实施不仅需要建设水肥一体化水源与配套设施，同时还需要引入成套化的控制及生长监测设备，前期的投入对于烟农而言相对较大（15 000~18 000元/hm^2），不利于推广应用。因此，一方面有必要加强设备的研发，开发出价格低廉、合适耐用的设备，降低投入成本；另一方面，则需要发挥基层烟叶生产管理部门的主导作用，建立投入长效机制，协调多方的关系，为精准水肥管理应用于烤烟生产提供扶持政策与支持系统。

2.3 基于水肥一体化的烤烟精准水肥管理的发展条件

（1）科学的田间水肥管理是实现高效特色优质烟叶生产的技术保障。传统的烟叶水肥管理方式过于依赖经验，带有明显的随意性和粗放性。不合理的水肥管理方式一方面容易造成水分和肥料的浪费，降低水分和肥料的利用效率，而另一方面则严重制约着烟叶生产的发展，导致烤烟质

量不稳。再者，我国目前烟田的农业基础设施仍然比较薄弱，约有 36% 的烟田缺乏有效的灌溉施肥条件[46]，烟田基础设施的薄弱制约着烤烟正常水肥管理的进行。

（2）烤烟精准水肥管理被列为烟草现代农业示范点的三大主推技术，为水肥一体化技术普及应用提供了硬件支持。2016 年是烟草行业水肥一体化技术推广工作的启动年，国家烟草专卖局在完成前期烟水配套工程和推动“一基四化”烟叶生产基础设施建设基础上大力开展烤烟水肥一体化的试点工作，力图将水肥一体化技术应有到烟叶规模化生产中去。其实，自 2013 年以来，农业部先后印发了《水肥一体化技术指导意见》《全国农业可持续发展规划》和《到 2020 年化肥使用量零增长行动方案》等文件。2015 年中央一号文件《关于加大改革创新力度加快农业现代化建设的若干意见》中明确提出“大力推广节水技术，全面实施区域规模化高效节水灌溉行动”。应该明确，水肥一体化是未来烟叶生产的发展方向，而基于水肥一体化的精准水肥管理更是尝试将智能化、自动化等技术引入到水肥一体化中，打造水肥一体化技术升级版。因此，精准水肥管理技术在烤烟上的应用不仅仅能够大幅度提高烟田灌溉水和肥料的利用率，减少劳动用工和劳动强度，更能够推动现代烟叶生产方式的变革，为未来烟叶生产的规模化、集约化、标准化提供现实途径。

（3）烟叶生产规模化种植为基于水肥一体化的烤烟精准水肥管理打造了实现平台和技术发展空间。由于烟农专业合作社的发展和家庭农场的出现，我国烟叶的规模化种植已基本形成。规模化生产是烟草现代农业的一个重要特征，不仅能够带来直接的经济利益，更能为高新技术的在烟草上应用提供有利的现实条件。目前户均植烟面积已由 2001 年的 0.20 hm^2，增加到 2017 年的 0.86 hm^2。随着我国烟叶种植规模的集中度增加和“小农户 + 大农合”烟叶生产组织模式的发展，烟叶精准水肥管理技术将会更加普及，可以显著提高作物的水分生产效率，大幅度地减轻农民劳动负担，提高劳动生产率。

3　烤烟精准水肥管理发展策略

水肥一体化技术起源于设施农业，是世界农业公认的可以提高水肥资源利用率的有效技术。东南烟区虽然年降雨量较大，但分布不均匀，季节性或难以预期的干旱时常发生，直接影响烟叶风格特征、卷烟原料供给稳定性以及烟农增收。水肥一体化技术在烟叶生产上的应用总体处于试点示范阶段，烤烟精准水肥管理技术是今后现代烟草农业技术发展方向之一，主要从以下几个方面入手。

（1）加强政府与烟草行业协同创新，充分利用“以工哺农、以城带乡”的惠农扶农政策，将适用丘陵山地改造平整为基本烟地。东南烟区山地、丘陵占陆地的 70%以上，紫色土旱地资源丰富，但植烟地块不平整，田间道路曲折，交通不便，机械化作业水平低，水肥一体化设备铺设难度大。广东烟区对平整改造丘陵烟地进行了尝试，积累了成功的经验。因此，应加大烟草工业反哺烟叶生产力度，依照基本烟田数量、质量、生态“三位一体”原则制定土地平整规划，加大丘陵烟地平整改造力度，加强农地水利基础设施、路网建设，加大农业机械的推广力度，减少人工操作，发展经济适用移动水肥一体化设备，降低设备成本，为烟农提供农机具与水肥设备补贴，并提供技术保障服务。

（2）大力选育水肥高效利用的新型烟草品种。当前烤烟育种目标主要是“高香、优质、多抗”，而有关品种水肥利用率并未引起重视和关注。选育水肥资源高效利用的烤烟品种显得迫切和重要，也是解决淡水资源短缺和肥料利用率低等问题最经济、最有效途径之一。近期目标可以考虑选育“水氮高效利用”型优质烤烟品种。

（3）深入开展水肥一体化技术理论与应用研究。一是继续深入研究节水灌溉制度下烤烟水肥互作机理以及有效调节烟叶产量和质量途径，建立动态平衡水肥耦合作用理论，建立适合各烟区的精准施肥指标体系、土壤肥力数据库，记录作物产量分布、土壤肥力分布，完善科学变量是非体系，将限灌溉、调亏灌溉、控制灌溉等节水灌溉技术和方法与精准施肥引入烟叶生产并推广运用，实现节水节肥、增产增收、保护资源和生态环境目标。二是加强近红外光谱等高新技术在烟叶生长监测、营养监控以及水肥状况测控等方面的研究工作，探索技术参数，开发基于优质烤烟生长发育模型的水肥智能管理系统。三是因地制宜，加强先进技术组装与集成应用研究。针对

烤烟需水需肥规律、水源条件、设备特点、地形地貌等，集成和创新烤烟水肥一体化技术模式与管理方案，建立覆膜与露地结合、固定与移动互补、加压与自流配套的多种水肥一体化模式，形成区域烤烟主体的水肥一体化技术规程。

（4）大力推进“互联网+”现代烟草农业的发展，加强水肥一体化技术产品的研发。结合物联网技术，大数据、云计算技术，发展智能灌溉技术，开发智能化、精准化农业灌溉系统与精准施肥设备，借助国外成功的经验，引进国外适用技术，整体提升烟叶生产精准灌溉与施肥水平。

4 展望

目前，水肥一体化技术是进一步降低烟农种烟成本、提高烟农收入的新增空间，在烟叶生产上应用总体尚处于试点推广阶段。全国各烟区目前的工作重点仍然是根据各自气候条件、地形地貌、水资源分布等特点和实际需求兴建水肥一体化基础设施及引入合适的水肥一体化设备开展示范试点，推广应用范围和普及进度有很大不同。北方烟区因地势平坦等有利条件，其烟叶水肥一体化技术推广应用速度总体较快；南方烟区因丘陵山区地形复杂水肥一体化设备安装铺设难度大而推广应用相对慢些。因各烟叶产区生态环境条件、地形地貌等不同，基于水肥一体化的精准水肥管理在烟叶生产中推广应用所面临的研究与应用问题也不同，特别是东南烟区，其陆地以山地、丘陵为主，紫色土旱地资源丰富，但植烟地块不平整，交通不便，水肥一体化技术实施难度大，还需要深入探讨技术模式，并积极开展应用尝试。因此，有必要在烟叶水肥一体化应用基础上摸索和总结出因地制宜的水肥管理模式，提高技术适应性，充分发挥烟叶水肥一体化优势，同时探索引入相关的智能化与自动化技术，进一步加强精准水肥管理技术体系建设，为我国现代烟草农业的健康发展提供支撑。

参考文献（References）：

[1] 陈建军，吕永华，王维 . 烟草品质生理及其调控研究[M]. 广州：华南理工大学出版社，2009:20-28,106-107.
CHEN J J, LYU Y H, WANG W. Studies on tobacco quality physiology and its regulation[M]. Guangzhou: South China University of Technology Press,2009:20-28,106-107.

[2] SHARMA S, PATRA S K, RAY R. Effect of drip fertigation on growth and yield of Guava cv. Khaja[J]. *Environment and Ecology*, 2011, 29(1): 34-38.

[3] 钟华，邵孝侯，阿吉艾克·拜尔，汪耀富 . 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. doi:10.3880/j.issn.1006-7647.2005.03.021。
ZHONG H, SHAO X H, AGIK B, WANG Y F. Review of water-saving optimized irrigation and water-fertilizer coupling technique in tobacco planting in China[J]. *Advances in Science and Technology of Water Resources*, 2005, 25(3): 68-70. doi:10.3880/j.issn.1006-7647.2005.03.021.

[4] 史宏志，刘国顺，刘建利，王刚，王振海，谢德平，刘清华，刘旭峰，叶协锋 . 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. doi:10.3321/j.issn:1004-5708.2008.02.009.
SHI H Z, LIU G S, LIU J L, WANG G, WANG Z H, XIE D P, LIU Q H, LIU X F, YE X F. Probe and practice of innovation model for irrigation modernization of tobacco[J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2008,14(2): 44-49. doi:10.3321/j.issn:1004-5708.2008.02.009.

[5] 何佳，张思琦，周方，贺文俊，王袁，周健飞，杨铁钊 . 水肥一体化对烤烟产量与质量的效应分析[J]. 节水灌溉，2018(8):30-34. doi:10.3969/j.issn.1007-4929.2018.08.007.
HE J, ZHANG S Q, ZHOU F, HE W J, WANG Y, ZHOU J F, YANG T Z. Effect of water and fertilizer integration on yield and quality of flue-cured tobacco[J]. *Water Saving Irrigation*,2018(8):30-34. doi:10.3969/j.issn.1007-4929.2018.08.007.

[6] 李广敏 . 采取综合技术措施提高节水农业水平[J]. 华北农学报，2003, 18(院庆专辑):14-16. doi:10.3321/j.issn:1000-7091.2003.z1.004.
LI G M. Improve the standard of water saving agriculture through integrated technological approach[J]. *Acta Agriculturae Boreali—Sinica*,2003,18:14-16. doi:10.3321/j.issn:1000-7091.2003.z1.004. doi:10.3321/j.issn:1000-7091.2003.z1.004.

[7] 毛金梅 . 宁夏扬黄灌区发展节水型高效生态农业的探讨[J]. 宁夏农林科技，2008(6):147. doi:10.3969/j.issn.1002-204X.2008.06.082.
MAO J M. Discussion on the development of water-saving and efficient ecological agriculture in the Yellow River irrigation area of Ningxia[J]. *Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology*, 2008(6):147. doi:10.3969/j.issn.1002-204X.2008.06.082.

[8] 杜文波 . 日光温室番茄应用滴灌水肥一体化技术初探[J]. 山西农业科学，2009(1): 58-60. doi:10.3969/j.issn.1002-2481.2009.01.016.
DU W B. Effects of drip fertigation on tomato in the solar greenhouse [J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2009(1): 58-60. doi:10.3969/j.issn.1002-2481.2009.01.016.

[9] 李茂权，朱帮忠，赵飞，章丽丽，段业恒 . “水肥一体化”技术试验示范与应用展望[J]. 安徽农学通报(上半月刊)，2011,17(7): 100-101. doi:10.16377/j.cnki.issn1007-7731.2011.07.040.
LI M Q, ZHU B Z, ZHAO F, ZHANG L L, DUAN Y H. "Water fertilizer integration" technology test demonstration and application prospect [J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2011,17(7): 100-101. doi:10.16377/j.cnki.issn1007-7731.2011.07.040.

[10] 杨林林, 王成志, 韩敏琦, 张海文, 杨胜敏 . 我国水肥一体化技术发展前景及技术要点分析[J]. 北京农业, 2016(1): 50-51. doi:10.3969/j.issn.1000-6966.2016.01.027.
YANG L L, WANG C Z, HAN M Q, ZHANG H W, YANG S M. Analysis on the development prospect and technical points of water fertilizer integration technology in China[J]. *Beijing Agriculture*, 2016(1): 50-51. doi:10.3969/j.issn.1000-6966.2016.01.027.

[11] 高祥照, 杜森, 钟永红, 吴勇, 张赪 . 水肥一体化发展现状与展望[J]. 中国农业信息, 2015(2):14-19,63.
GAO X Z, DU S, ZHONG Y H,WU Y,ZHANG G. Current situation and Prospect of water fertilizer integration[J]. *China Agriculture Information*, 2015(2):14-19,63.

[12] 路华忠 . 水肥一体化技术及其应用[J]. 农业灾害研究, 2014,4(8):50-52. doi: 10.19383/j.cnki.nyzhyj.2014.08.020.
LU H Z. Fertigation Technology and Its Application[J]. *Journal of Agricultural Catastrophology*, 2014,4(8):50-52. doi: 10.19383/j.cnki.nyzhyj.2014.08.020.

[13] 关泉杰 . 概论水肥一体化技术[J]. 黑龙江水利科技, 2013,41(5):44-46. doi:10.3969/j.issn.1007-7596.2013.05.013.
GUAN Q J. Brief discussion on fertigation technology[J]. *Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy*, 2013,41(5):44-46. doi:10.3969/j.issn.1007-7596.2013.05.013.

[14] RAMNIWAS R,KAUSHIK A,SUNIL P. Effect of drip fertigation scheduling on fertilizer use efficiency, leaf nutrient status, yield and quality of 'Shweta' guava (*Psidium guajava* L.) under meadow orcharding[J]. *National Academy Science Letters*,2013, 36(5):483-488 .

[15] 李明思, 刘洪光, 郑旭荣 . 长期膜下滴灌农田土壤盐分时空变化[J]. 农业工程学报, 2012,28(22): 82-87. doi:10.3969/j.issn.1002-6819.2012.22.013.
LI M S, LIU H G, ZHENG X R. Spatiotemporal variation for soil salinity of field land under long-term mulched drip irrigation[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012,28(22): 82-87. doi:10.3969/j.issn.1002-6819.2012.22.013.

[16] 杨晓宏, 严程明, 张江周, 石伟琦 . 中国滴灌施肥技术优缺点分析与发展对策[J]. 农学学报, 2014(1):76-80. doi:10.3969/j.issn.1007-7774.2014.01.019.
YANG X H, YAN C M, ZHANG J Z, SHI W Q. The analysis of advantages and disadvantages of fertigation technology and development strategies in China[J]. *Journal of Agriculture*, 2014(1):76-80. doi:10.3969/j.issn.1007-7774.2014.01.019.

[17] 邓兰生, 涂攀峰, 张承林, 李中华, 赖忠明 . 水肥一体化技术在丘陵地区的应用模式探析[J]. 广东农业科学, 2012(9):67-69. doi:10.16768/j.issn.1004-874X.2012.09.022.
DENG L S, TU P F, ZHANG C L, LI Z H, LAI Z M. Application model of fertigation technology in hilly region[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2012(9):67-69. doi:10.3969/j.issn.1004-874X.2012.09.022.

[18] LIU M X, YANG J S, LI X M.Effects of irrigation water quality and drip tape arrangement on soil salinity,soil moisture distribution,and cotton yield (*Gossypium hirsutum* L.) under mulched drip irrigation in Xinjiang,China[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2012,11(3):502-511. doi:10.1016/S2095-3119(12)60036-7.

[19] 陈胜利, 乔红波, 王红旗, 蒋金炜, 马继盛, 李青常 . 基于 GIS 和 GPS 的烟田养分管理[J]. 烟草科技, 2007(2): 58-62. doi:10.3969/j.issn.1002-0861.2007.02.015.
CHEN S L, QIAO H B, WANG H Q, JIANG J W, MA J S, LI Q C. Soil Nutrient management of tobacco field based on GIS and GPS[J]. *Tobacco Science & Technology*, 2007(2): 58-62. doi:10.3969/j.issn.1002-0861.2007.02.015.

[20] 孙克刚, 李丙奇, 杨稚娟, 雷振生, 吴政卿, 李永宽, 夏金富 . 农田土壤养分精准管理与郑麦 366 目标产量推荐施肥标准[J]. 河南农业科学, 2008(3): 58-61. doi:10.3969/j.issn.1004-3268.2008.03.016.
SUN K G, LI B Q, YANG Z J, LEI Z S, WU Z Q, LI Y K, XIA J F. Precision management of farmland soil nutrients and recommended fertilization standard for Zhengmai 366 target yield[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2008(3): 58-61. doi:10.3969/j.issn.1004-3268.2008.03.016.

[21] 邹勇, 王军, 王维, 陈宏容, 陈建军 . 基于近红外光谱的烤烟精准水分管理研究进展[J]. 节水灌溉, 2012(1):64-67.
ZOU Y, WANG J, WANG W, CHEN H R, CHEN J J. Application prospect of near infrared spectroscopy in flue-cured tobacco precision water management[J]. *Water Saving Irrigation*, 2012(1):64-67.

[22] 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 2014 年学术年会论文集[C]. 北京, 2014: 7-10.
FAN Y K. Implementation of precision management system of water and fertilizer for high quality tobacco//Proceedings of 2014 annual meeting of China Tobacco Society[C]. Beijing, 2014: 7-10.

[23] 杨林林, 张海文, 韩敏琦, 王成志, 杨胜敏 . 水肥一体化技术要点及应用前景分析[J]. 安徽农业科学, 2015,43(16): 23-25,28. doi: 10.13989/j.cnki.0517-6611.2015.16.013.
YANG L L, ZHANG H W, HAN M Q, WANG C Z, YANG S M. Analysis of Techniques and Application prospect of water and fertilizer integration technology[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2015,43(16): 23-25,28. doi: 10.13989/j.cnki.0517-6611.2015.16.013.

[24] 郭慧滨, 史群 . 国内外节水灌溉发展简介[J]. 节水灌溉, 1998(5): 23-25.
GUO H B, SHI Q. Brief introduction of water saving irrigation development at home and abroad[J]. *Water Saving Irrigation*,1998(5): 23-25.

[25] MIN W, HOU Z A, MA L J. Effects of water salinity and N application rate on water- and N-use efficiency of cotton under drip irrigation[J]. *Journal of Arid Land*, 2014,6(4): 454-467. doi:10.1007/s40333-013-0250-3.

[26] LIU H, DUAN A W, LI F H. Drip irrigation scheduling for tomato grown in solar greenhouse based on Pan Evaporation in North China Plain[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2013,12(3):520-531. doi:10.1016/S2095-3119(13)60253-1.

[27] 吕廷波, 何新林, 辛明亮 . 新疆膜下滴灌制干辣椒灌溉试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2014(2): 104-106.
LYU T B, HE X L, XIN M L. Study on hot pepper under mulched drip

irrigation in Xinjiang[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2014 (2): 104–106.

[28] LI J SH, LI Y F, ZHANG H. Tomato yield and quality and emitter clogging as affected by chlorination schemes of drip irrigation systems applying sewage effluent[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2012,11(10): 1744–1754. doi:10.1016/S2095–3119(12)60179–8.

[29] 杜文金, 游国平, 吴学良. 滴灌技术在甜橙上的应用试验初报[J]. 四川果树科技, 1984(1): 10–14,17.
DU W J, YOU G P, WU X L. Application of drip irrigation technology on sweet orange[J]. *Sichuan fruit science and technology*, 1984(1): 10–14,17.

[30] THOMPSON T L, PANG H C, LI Y Y. The Potential contribution of subsurface drip irrigation to water–saving agriculture in the Western USA[J]. *Agricultural Sciences in China*, 2009,8(7): 850–854. doi:10.1016/S1671–2927(08)60287–4.

[31] 李咏梅, 任军, 刘慧涛, 王立春. 以色列“水肥一体化”技术简介与启示[J]. 吉林农业科学, 2014,39(3):91–93. doi: 10.16423/j.cnki.1003–8701.2014.03.005.
LI Y M, REN J, LIU H T, WANG L C. Introduction and enlightenment of fertigation in Israel[J]. *Journal of Jilin Agricultural Sciences*, 2014,39(3):91–93. doi: 10.16423/j.cnki.1003–8701.2014.03.005.

[32] PEREA R G, POYATO E C, MONTCSINOS P. Prediction of applied irrigation depths at farm level using artificial intellipence techniques [J].*Agricultural Water Management*, 2018, 206:229–240. doi:10.1016/j.agwat.2018.05.019.

[33] 姚振宪, 王三建. 我国滴灌发展历程及建议[J]. 农业工程, 2011(2): 54–58.
YAO Z X, WANG S J. The drip irrigation development progress and suggestion of China[J]. *Agricultural Engineering*, 2011(2): 54–58.

[34] 陈广锋, 杜森, 江荣风, 高祥照. 我国水肥一体化技术应用及研究现状[J]. 中国农技推广, 2013,29(5):39–41. doi:10.3969/j.issn.1002–381X.2013.05.020.
CHEN G F, DU S, JIANG R F, GAO Z X. Application and research status of water fertilizer integration technology in China[J]. *China Agricultural Technology Extension*, 2013,29(5):39–41. doi:10.3969/j.issn.1002–381X.2013.05.020.

[35] HAIYAN H Y, MIKE E,ANNA L W. Governance of the irrigation commons under integrate water resources management a comparative study in contemporary rural China[J].*Environmental Science & Policy*, 2016, 55:65–74. doi:10.1016/j.envsci.2015.08.001.

[36] 陈建军, 邱妙文, 陈俊标. 广东浓香型烟叶风格特色定位及其生理基础研究[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2019:128–131.
CHEN J J, QIU M W, CHEN J B. Study on the characteristics and physiological basis of Luzhou flavor tobacco in Guangdong Province[M]. Guangzhou: South China University of Technology Press,2019:128–131.

[37] 聂晶, 岑红蕾. 精准滴灌施肥自动控制系统的研究与实现[J]. 节水灌溉, 2011(1):57–61.
NIE J, CEN H L. Research and realization of automatic control system of precision drip irrigation fertilization[J]. *Water Saving Irrigation*, 2011(1):57–61.

[38] 杨金楼, 计中孚, 奚振邦, 周德兴, 罗庆祥, 李明. 滴灌对烤烟生育、产量及品质的影响[J]. 中国烟草科学, 2001(1): 19–21. doi:10.3969/j.issn.1007–5119.2001.01.007.
YANG J L, JI Z F, XI Z B, LUO D X, LUO Q X, LI M. Effect of drip irrigation on growth, yield and quality of Flue–cured Tobacco [J]. *Chinese Tobacco Science*, 2001(1): 19–21. doi:10.3969/j.issn.1007–5119.2001.01.007.

[39] 金文华, 刘金海, 鲁家鑫, 范文军, 傅瑛. 烤烟节水灌溉试验与示范[J]. 烟草科技, 2002(11): 39–41. doi:10.3969/j.issn.1002–0861.2002.11.010.
JIN W H, LI J H, LU J X, FAN W J, FU Y. Experiments and demonstrations on water–saving irrigation for flue–cured tobacco[J]. *Tobacco Science & Technology*,2002(11): 39–41. doi:10.3969/j.issn.1002–0861.2002.11.010.

[40] 谢会雅. 水肥耦合对烤烟养分吸收及烟叶产量和品质的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2018: 51–59.
XIE H Y. Effect of water fertilizer coupling on nutrient uptake yield and quality of Flue–cured Tobacco[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2018: 51–59.

[41] 李旭华, 何传国, 陈建军, 文俊, 王维. 广东浓香型特色烟叶关键生产技术理论与应用[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2011:66–69.
LI X H, HE C G, CHEN J J, WEN J, WANG W. The theory and application of the key production technology of Guangdong Luzhou flavor tobacco[M]. Guangzhou: South China University of Technology Press,2011:66–69.

[42] 王洪云, 王德勋, 单沛, 向鹏华, 杨德海, 赵国民, 李世祥. 烟草膜下滴灌试验研究[J]. 中国烟草科学, 2011,32(5):42–46. doi:10.3969/j.issn.1007–5119.2011.05.010.
WANG H Y, WANG D X, SHAN P, XIANG P H, YANG D H, ZHAO G M, LI S X. Studies on tobacco drip irrigation under plastic cover [J]. *Chinese Tobacco Science*, 2011,32(5):42–46. doi:10.3969/j.issn.1007–5119.2011.05.010.

[43] 国鸿蔷, 谢艳红. 膜下滴灌条件下不同水肥设计对烟草生长和产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2013(4):96–98. doi:10.3969/j.issn.1002–1302.2013.04.034.
GUO H Q, XIE Y H. Effects of different water and fertilizer designs on tobacco growth and yield under drip irrigation under mulch[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2013(4):96–98. doi:10.3969/j.issn.1002–1302.2013.04.034.

[44] 李颖之. 水肥耦合对不同品种烤烟生长发育的影响研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2014.
LI Y Z. Influence of different water–fertilizer coupling on growth of different varieties of flue–cured tobacco[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2014.

[45] 李静, 张锡洲, 李廷轩, 郑子成, 王勇. 钾肥运筹对烤烟钾吸收利用的影响[[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(4): 969–978. doi:10.11674/zwyf.2015.0416.
LI J, ZHANG X Z, LI T X, ZHENG Z C, WANG Y. Effect of potash management on potassium absorption and utilization of flue– cured tobacco[[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*,2015, 21(4):

969–978. doi:10.11674/zwyf.2015.0416.

[46] 王琪 . 滴灌条件下烤烟水肥供应最佳时期及用量的研究[D]. 长沙 : 湖南农业大学, 2016.
WANG Q.Under the condition of drip irrigation flue–cured tobacco best supply period, and the dosage of water research[D]. Changsha: Hunan Agricultural University,2016.

[47] 张腾 . 滴灌减施氮钾肥对烤烟生长及产量品质的影响[D]. 郑州 : 河南农业大学, 2016.
ZHANG T. Effect of drip–NK– fertilizer on growth,yield and quality of Flue–cured Tobacco[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2016.

[48] 席奇亮, 赵科, 邢雪霞, 李晓辉, 徐世晓, 王闷灵, 赵云波, 杨铁钊 . 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. doi:10.11924/j.issn.1000–6850.casb16100012.
XI Q L, ZHAO K, XING X X, LI X H, XU S X, WANG M L, ZHAO Y B, YANG T Z. Effect of water–fertilizer integrative drip irrigation mode on tobacco quality and economic benefit[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2017,33(18):153–158. doi:10.11924/j.issn.1000–6850.casb16100012.

[49] 霍昭光,孙志浩,邢雪霞,卫宣志,李晓辉,刘超,薛刚,徐世晓,杨铁钊 . 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. doi: 10.13930/j.cnki.cjea.170174.
HUO Z G, SUN Z H, XING X X, WEI X Z, LI X H, LIU C,X G, XU S X, YANG T Z. Effects of water and fertilizer integration on growth, morphology, physiology and photosynthetic characteristics of flue–cured tobacco in the North China[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*,2017, 25(9): 1317–1325. doi: 10.13930/j.cnki.cjea.170174.

[50] 席奇亮, 杨铁钊, 周方, 刘超, 叶红朝, 邢雪霞, 赵科, 孔德辉 . 水肥一体化条件下烤烟氮素营养高效利用研究[J]. 中国烟草学报, 2018, 24(2):74–83. doi: 10.16472/j.chinatobacco.2017.393.
XI Q L, YANG T Z, ZHOU F, LIU C, YE H Z, XING X X, ZHAO K, KONG D H. Study on effective utilization of nitrogen nutrition in flue–cured tobacco production under integration of water and fertilizer [J]. *Acta Tabacaria Sinica*,2018,24(2):74–83. doi: 10.16472/j.chinatobacco.2017.393.

[51] 尤晓莹, 周方, 邢雪霞, 何佳, 徐世晓, 杨铁钊 . 水肥一体化对烤烟叶片氯含量及烟田土壤氯离子迁移的影响[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2019,40(4):38–43. doi: 10.16872/j.cnki.1671–4652.2019.04.006.
YOU X Y, ZHOU F, XING X X, HE J, XU S X, YANG T Z. Effects of water and fertilizer integration model on chlorine absorption in flue–cured tobacco and chloride migration in tobacco field soil[J]. *Journal of Yangzhou University (Agricultural and Life Science Edition)*,2019,40(4):38–43. doi: 10.16872/j.cnki.1671–4652.2019.04.006.

[52] 薛如君, 高天, 马二登, 晋艳, 赵正雄 . 不同水肥一体化方式和施肥量对烤烟生长、氮磷钾利用及烟叶产质量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2019,38(8):22–30. doi: 10.13522/j.cnki.ggps.20190069.
XUE R J, GAO T, MA E D, JIN Y, ZHAO Z X. Effects of fertigation method and fertilizer amount on the growth, N, P, K utilization, and yield of flue–cured tobacco[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*,2019,38(8):22–30. doi: 10.13522/j.cnki.ggps.20190069.

[53] 周方, 席奇亮, 张思琦, 何佳, 刘高霞, 薛刚, 徐世晓, 杨铁钊 . 豫中烟区水肥一体化条件下烤烟临界氮浓度稀释曲线与氮素营养诊断研究[J]. 中国烟草学报, 2019,25(1):58–66. doi: 10.16472/j.chinatobacco.2018.169.
ZHOU F, XI Q L, ZHANG S Q, HE J, LIU G X, XUE G, XU S X, YANG T Z. Critical nitrogen concentration dilution curve and nitrogen nutrition diagnosis of flue–cured tobacco under conditions of integration of water and fertilizer in tobacco–growing areas in central Henan [J]. *Acta Tabacaria Sinica*,2019,25(1):58–66. doi: 10.16472/j.chinatobacco.2018.169.

[54] 梁志雄, 钟俊周, 文国宇, 叶卫国, 张宏建, 陈建军 . 不同水肥一体化模式在烤烟生产中的应用效应[J]. 安徽农业科学, 2019,47(5):162–165,195. doi:10.3969/j.issn.0517–6611.2019.05.045.
LIANG Z X, ZHONG J Z, WEN G Y, YE W G, ZHANG H J, CHEN J J. Application effects of different designed fertigation pattern in flue–cured tobacco production[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2019, 47(5):162–165,195. doi:10.3969/j.issn.0517–6611.2019.05.045.

[55] MALEKI M R,MOUAZEN A M, RAMON H. Optimization of VIS–NIR sensor–based variable rate application system[J].*Soil and Tillage Research*, 2017,94(1):239–250.

(责任编辑　杨贤智)