

·理论探讨·

节水农业关键技术的发展趋势及国内外差异分析

武雪萍¹, 梅旭荣², 蔡典雄¹, 赵全胜¹, 庄 严¹, 赵跃华³

(1. 中国农科院土壤肥料研究所, 北京 100081; 2. 中国农科院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081; 3. 山西省武乡县农业技术推广中心, 长治 046300)

摘 要 该文通过对国内外节水农业现状及发展趋势分析指出, 现代节水农业技术是以节水、高效、安全、改善生态环境与可持续发展为目标, 在传统的节水农业技术中融入了生物、计算机模拟、电子信息、高分子材料等一系列高新技术, 具有多学科相互交叉、各种单项技术互相渗透的明显特征。该文从灌溉节水技术、节水种植制度、覆盖农业节水技术、抗旱节水作物品种的选育、节水制剂与材料、水肥信息采集技术与预警系统等方面分析了国内外存在的差异。我国节水农业已开展了一系列的技术创新与应用研究, 取得了瞩目的成就, 但与节水技术先进国家相比仍然存在较大差距。

关键词 节水农业 关键技术 发展趋势

我国是世界严重缺水的国家之一, 农业是用水最大用户, 农业用水总量 4 000 亿 m^3 , 占全国总用水量的 70%, 而目前我国农田水分利用率和水分利用效率都比较低, 其中农田灌溉水的利用率平均仅为 40%~45% 左右, 农田对自然降水的利用率仅达到 56%; 农田灌溉水的利用效率仅有 $1.0\text{kg}/\text{m}^3$ 左右; 旱地农田水分的利用效率为 $0.60\sim0.75\text{kg}/\text{m}^3$ 。根据权威部门的预测结果, 在不增加现有农田灌溉用水量的情况下, 2030 年全国缺水高达 1 300 亿~2 600 亿 m^3 , 其中农业缺水 500 亿~700 亿 m^3 。加快发展节水高效农业, 不仅是解决我国水资源短缺、实现水资源高效利用的有力保障, 同时也是保障粮食安全、生态安全和水资源安全的重大基础战略, 可以大幅度增加农民收入, 有力地推动农业和农村经济可持续发展, 具有重要的战略地位和深远的意义。

一、国外节水农业关键技术研究状况与发展趋势

随着全球性水资源供需矛盾的日益加剧, 世界各国, 特别是发达国家都把发展节水高效农业作为农业可持续发展的重要措施, 发达国家在生产实践中, 始终把提高灌溉(降)水的利用率、作物水分生产效率、水资源的再生利用率和单方水的农业生产效益作为研究重点和主要目标, 高新技术在节水农业中的应用日益广泛, 新技术、新材料和新设备与传统农业节水技术得到了有机融合, 突出表现在节水种植技术、覆盖节水技术、节水生化制剂、现代微喷技术和水肥信息采集与预警系统等方面得到了很大的创新性发展、取得许多成功的经验。

(一) 灌溉节水技术研究状况与发展趋势

随着现代化规模经营农业的发展, 由传统的地面灌溉技术向现代地面灌溉技术的转变是大势所趋。除地面灌溉技术外, 发达国家十分重视对喷、微灌技术的研究和应用。美国、以色列、澳大利亚等国家特别重视微灌系统的配套性、可靠性和先进性的研究, 将计算机模拟技术、自控技术、先进的制造成模工艺技术相结合开发高水力性能的微灌系列新产品、微灌系统施肥装置和过滤器。喷头是影响喷灌技术灌水质量的关键设备, 世界主要发达国家一直致力于喷头的改进及研究开发, 其发展趋势是向多功能、节能、低压等综合方向发展。如美国先后开发出不同摇臂形式、不同仰角及适用于不同目的的多功能喷头, 具有防风、多功能利用、低压工作的显著特点。

当前, 世界上工业发达国家喷微灌发展表现出以下七大趋势:(1) 不断提高机械化与自动化水平, 喷

灌面积持续增长,表现在机械化程度高的喷灌机使用面积日益扩大和计算机技术在喷灌系统的应用;(2)日益广泛地应用新技术(如激光、遥感等),重视提高喷灌质量;(3)喷微灌设备向低压、节能型方向发展;(4)喷微灌相互借鉴、同步发展;(5)积极开展多目标利用,有效降低单一用途的造价;(6)改进设备,提高性能,开发和研制新型喷头,提高喷灌质量;(7)产品日趋标准化、系统化^[1]。

(二) 节水种植制度研究状况与发展趋势

种植制度模式是环境、经济、技术有机结合的产物,随着社会的发展和技术的进步,资源的持续利用、环境的渐进改善、效益的稳步提高已成为国际种植模式发展的主要特征。纵观世界节水农业发展的历程,节水种植模式表现出由“单一种植模式”向“以市场化为导向的多元化节水种植模式”转变,由“工程措施主导型”向“工程措施、非工程措施并重型”转变,由“资源透支利用”向“资源匹配型”种植模式转变,农艺、生物技术、智能管理成为了节水农业潜在的爆发点和突破点。高科技、高效益成为现代节水型农作制的发展方向,调减高耗水的大田粮食作物,建立以经济型产业(品)等为主导效益型种植业结构,成为节水农作制的发展途径。目前计算机技术、电子信息技术、红外遥感技术以及其它技术的应用,多种因素控制的数字化、图象化及其叠加和优选,使节水农作制度朝着高效优化方向发展。

(三) 覆盖农业节水技术研究状况与发展趋势

面对水资源紧张,水土流失严重、土地沙化、灾害频繁等严峻的环境问题,各国科学家都在积极开发研究节水环保技术,以覆盖农业为重点的保护性耕作技术体系的应用,带来了旱区农业的一场革命。从单一残茬覆盖耕种发展到生物覆盖、化学覆盖综合利用的过程,并与保护性耕作措施相结合,已形成规范化、系列化的技术体系。如美国、英国、加拿大、澳大利亚、前苏联等40多个国家在以免耕或少耕为主的作物残茬覆盖技术方面取得了非常成功的经验,显著提高了农田的保土、保肥和保水的效果。国外农田使用化学覆盖的有前苏联、美国以及日本、法国、印度、罗马尼亚、比利时等10多个国家,增产效果达10%~30%,光降解地膜覆盖材料、液态地膜的多种无污染覆盖材料得到了成功的应用,同时与覆盖技术相配套的有多种实用性保护性机具,如多功能覆盖机、免耕覆盖播种作业机具、深松、浅旋土壤作业机具和秸秆覆盖机具等。目前在世界旱地农业中,覆盖节水技术在提高地温,保墒节水、抗旱增产、改善环境等方面具有特殊的效果,并且已取得显著的效益。

(四) 抗旱节水作物品种的选育研究状况与发展趋势

在抗旱节水作物品种的选育方面,发达国家已选育出一系列的抗旱、节水、优质的作物品种。如澳大利亚和以色列的小麦品种、以色列和美国的棉花品种、加拿大的牧草品种、以色列和西班牙的水果品种等。这些品种不仅具备节水抗旱性能,还具有稳定的产量性状和优良的品质特性。近年来,作物WUE基因工程改良的研究正在世界范围内引起广泛重视,作物抗旱节水相关性状的基因定位、分子标记、基因克隆和转基因研究十分活跃,通过基因工程改良培育高WUE型和抗旱节水型作物新品种将成为节水农业中一个新的亮点。农作物抗旱种质资源的发掘与利用方面呈现出以下几方面的发展趋势:(1)以抗旱节水和水分高效利用的植物品种为核心的生物节水技术是进一步提高水分利用效率的根本措施。(2)抗旱节水、水分高效利用及优质、高产等重要经济性性状联合筛选、鉴定与新品种选育,是目前植物抗旱节水新品种选育的重要发展趋势。(3)建立可操作性强的科学筛选鉴定技术与指标体系,是抗旱节水及水分高效利用鉴定和筛选技术的发展方向。(4)抗旱节水种质资源的发掘与创新是生物节水农业发展的关键,也是未来抗旱节水研究与开发领域中的重中之重。

(五) 节水制剂与材料研究状况与发展趋势

国外一批低成本、高效率的新型农业节水制剂正在走向市场和大面积应用,产品日趋标准化、系统化,高效环保型节水材料与制剂是未来研发的亮点。高新技术产品与材料也在不断更新换代,从天然材料到人工合成材料,从低分子量产品向高分子量,从单一功能向多功能发展。美国、加拿大、日本、比利时、法国、德国、以色列等国,在这一领域有着较大的优势,包括保水剂、种衣剂、抗蒸腾剂和土壤调理剂,如日本的MAT、比利时的BIT、FAM和TC、美国的HUMATE、AMI-SORB等是其中较有代表性的产品。仅1999~2000年全球新研制的农用新制剂(已获专利计)就有近200种,超过近20年的总和,其中美、德、日三国就占到80%之多。

（六）水肥信息采集技术与预警系统研究状况与发展趋势

近年来,发达国家已开展了基于田间水肥等生产要素的巨大差异性,利用 GPS、GIS、RS 和计算机控制系统,精细准确调整灌水施肥的精准灌溉技术研究,为最大限度地优化各项农业技术,充分挖掘田间水肥差异性所隐含的增产潜力创造了条件。在作物水分监测指标方面,将重点寻求建立能在不同湿度环境、不同天气条件下使用的基于作物冠层温度的作物水分胁迫诊断指标,并随着精准农业技术的发展,基于作物冠层温度的作物水分胁迫诊断技术的应用将与精准农业其它技术融合,设备从手持式的方式发展到与其它设备有机结合的机载式。基于“3S”技术的精量灌溉适用平台和数据管理软件以及作物生长决策模拟模型的开发会更加引起广泛关注。支持农田信息实时采集的各种传感技术、传输技术和预警系统将得到更快发展。

综上所述,现代节水农业技术是以节水、高效、安全、改善生态环境与可持续发展为目标,在传统的节水农业技术中融入了生物、计算机模拟、电子信息、高分子材料等一系列高新技术,具有多学科相互交叉、各种单项技术互相渗透的明显特征。3S 技术的应用将全面提升农业节水技术的现代化水平,促进节水农业技术向着定量化、规范化、模式化、集成化和高效持续方向发展,而高分子复合材料的研制创新正在促进节水材料和产品技术上的重大突破。

二、节水农业关键技术国内研究状况及与国外差距分析

1949 年以来,我国节水农业发展遵循水旱并举的总体思路,在节水灌溉农业和旱作节水农业两个方向领域中开展了一系列的技术创新与应用,取得了瞩目的成就。近 20 年来,特别是在“九五”期间,我国在大中型灌区节水改造、节水灌溉与旱作节水示范、节水农业前沿与关键技术研究、节水农业关键设备与重大产品研发及产业化等方面取得了较大进展;“十五”期间,在科技部组织的节水农业重大专项中建设了 15 个不同类型的现代节水农业技术示范区,把节水农业技术体系集成与示范推进到了新的水平。根据我国国情,我国的科技工作者在继承传统农业精华的基础上,创造性地建立了中国特色的节水农业技术,形成了自己的优势和特色。但由于节水农业有关材料科学、制造技术、信息技术以及生物技术等现代科学技术的落后,我国在节水农业高技术领域尚缺乏有说服力和竞争力的重大突破。同样,在应用技术领域,由于技术的发展没有很好兼顾区域特点和标准化,致使已有的技术难以进行整体配套,技术效益不仅难以发挥,而且极不稳定。

（一）灌溉节水技术研究状况及差距分析

在节水灌溉技术与产品研发方面,我国自行研制的各种喷灌机具、微灌设备、滴灌材料等,已广泛应用于生产。喷灌设备的系列化、标准化更加完善,大中小型喷灌机组已形成系列,管材、管件配套齐全,各种形式的喷灌系统设计、施工、运行管理,已积累了整套比较成熟的技术。微灌设备产品研制成绩显著,形成了灌水器、管材与管件、净化过滤设备、施肥设备、控制阀及安全阀等五大类设备产品系列,配套比较齐全,品种规格较多。管道化灌溉技术有新的发展,低压管道输水灌溉技术经过攻关研究和试验示范,其技术成果获得部门和国家的奖励。

由于从事节水灌溉设备生产的厂家以中小企业和民营企业为主,设计研制开发能力有限,产品质量欠缺。又由于引进技术和国产设备在规格和制式上的差异,造成国产节水灌溉设备的通用性、兼容性、互换性、多功能性较差,导致节水灌溉工程的性能不完善、质量低下。在管材管件、灌水器、灌溉控制部件、过滤器和施肥装置方面均存在规格少、质量差、产品配套水平较低等问题。今后应朝着多目标利用及运行管理自动化的方向发展,以提高抗堵能力和压力补偿能力以及降低成本的新型灌水器、注肥均匀且注肥浓度可调和操作简单的注肥器、低压位和高性能的自洁高效过滤系统是微灌设备开发的新趋势,微灌系统将进一步注重实现灌溉的智能化、自动化。

（二）节水种植制度研究状况及差距分析

多熟制及间套复种、立体种植等为人多地少、资源匮乏地区解决食品安全树立了典范^[21]。但是,现阶段我国种植制度为高耗水种植结构,表现为作物耗水结构与水资源分布不匹配,缺水地区高耗水作物种植面积大;粮食作物布局与水资源分布不匹配,占全国水资源 19% 的北方却要向占 81% 水资源的南方输送粮食;种植业结构不合理,在长期的以粮为纲的种植思想指导下,节水的饲料作物、经济作物还没

有受到重视,粮食作物、经济作物和饲料作物的三元结构还没有建立起来,面对我国水资源的日益紧缺,农业用水比例下降,而对粮食需求越来越高的现状与未来,传统的水资源高耗低效型种植制度将难以持续。因此,相应的农业结构、作物布局和耕作栽培技术均应发生变化,传统的仅仅追求单产最高的丰水高产型农业应向节水高效优质型农业转变。

近几年,我国的节水种植制度研究工作对提高水分利用率、节约用水、改善农田土壤环境和提高作物产量起到了重要的作用,但目前我国现有的农业节水种植制度研究成果同现代高效的国外节水种植制度相比,在诸如生物性节水关键技术、信息节水关键技术和材料节水关键技术等软件和硬件上都存在很大的差距。应用高新技术,通过区域资源数字化研究,建立WTO框架下、以水分利用效率和效益为中心的主要区域节水高效种植结构和种植制度,以及优化种植模式及配套技术具有重大的意义。

(三) 覆盖节水农业技术研究状况及差距分析

残茬覆盖、化学覆盖和生物覆盖等覆盖节水技术在我国已得到了长足的发展和面积的推广应用,但根据不同地区特点研究的单项农业节水技术较多,如何在此基础上借鉴国外高新技术,开发出适合不同地区采用的标准化、规范化、模式化、定量化、集成化的覆盖节水综合技术体系和应用模式,仍然是我国覆盖农业节水技术大规模应用的关键。

残茬覆盖:从20世纪80年代初开始,我国科技人员在借鉴国外经验的基础上进行了免耕、深松、覆盖等技术和配套措施的研究,并进行了初步的有机集成和配套机具、产品的开发研制,目前在我国北方的山西、内蒙古、辽宁、河北、北京、陕西、天津、甘肃等地区已进行了大范围的试验、示范和推广。保护性耕作技术从当前的发展进程来看,技术还不够完善和全面,主要存在环境效应和经济效益还不够协调。一方面配套技术跟不上,如杂草、低温、管理技术等问题;另一方面,机具还处于研发阶段,存在播种质量不匀、易堵塞、残茬切割等问题,且缺少小型、单体机具。

化学覆盖技术:与国外相比,我国化学覆盖技术的研究应用起步较晚,但进展较快。20世纪50年代开始试验研究乳化沥青在农业上的应用^[3],期间先后研制了“土壤保墒增温剂^[4]”、“土面增温剂^[5]”、“水分蒸发抑制剂”、“土面覆盖剂^[6]”等许多覆盖产品。20世纪90年代由于气候变暖、环境恶化,化学覆盖剂又重新变为研究的热点。中国农业科学院土壤肥料研究所先后与其它单位合作完成了几种阴离子和阳离子农用乳化沥青的开发研制工作,目前白色液膜、黑色液膜等产品已在农业生产中推广应用,取得了较好的效果。尽管抗旱节水化学覆盖技术研究已有几十年的历史,但在生产中并未大面积推广应用,与国外相比,主要是缺少新型高效、低毒、价廉化学覆盖制剂和来源广、价格低廉、低毒或无毒的原料^[7-9]。

生物覆盖技术:我国生物覆盖技术还不成熟,应以节水为核心,水—肥—土高效利用为目标,加快发展节水间套种模式、倒茬技术,同时引进配套的低耗水、生育期短的品种,解决覆盖作物品种问题。

(四) 抗旱节水作物品种的选育研究状况及差距分析

我国有丰富的抗旱物种资源,筛选和创制出了一批重要的抗旱节水的优异育种新材料,为抗旱节水新品种的选育提供了有利条件,目前,我国国家种质库保存水稻、小麦、玉米、高粱、谷子、大豆、食用豆等农作物品种资源约38万份,保存数量居世界第三。与先进国家相比,在作物抗旱种质资源发掘与利用方面存在的问题是:(1)种质资源收集保存数量多,抗旱性精细鉴定评价少。(2)抗旱性鉴定评价方法指标多,缺乏快速、高效的抗旱性鉴定评价方法指标。(3)抗旱性鉴定评价的设施落后,鉴定评价体系不完善。(4)抗旱种质资源利用效率低,种质创新工作亟需加强。

(五) 节水制剂与材料研究状况及差距分析

在节水制剂与材料研发方面,国内学者初步解决了秸秆纤维的溶胀和交联技术,使研发的产品耐盐性超过现有市场产品和文献报导。保水剂的非离子高分子齐聚物接枝工艺和螯合剂处理技术取得了较大创新,使产品的吸盐率达到了40倍。与节水发达国家相比,目前产品主要存在价格昂贵、配方原料较缺、使用时间短、次数少,区域适应性较差、且生产工艺和降解性都存在问题,造成现有的节水制剂与材料不能很好地推广应用,效益较差,因此,今后应改进现有生产工艺、研发胶联度好、寿命长、价格低廉、一次使用长时间受益、吸水功能强大的抗盐性保水剂和多功能生物型种衣剂。

(六) 水肥信息采集与预警系统研究状况及差距分析

全国性和区域性的节水农业试验与监测网络还未形成, 缺乏节水农业发展的基础数据积累和对农业用水状况的有效监测与控制, 严重制约了节水农业区域布局 and 不同地区节水技术优化选择的研究。农业节水管理中信息技术应用水平低, 节水管理信息采集、传输的可靠性差, 基于遥感监测或者单株作物监测的电信号与其他信号和作物水分信息关系的时空变异性, 缺少依据土壤、作物、微气象数据和可用灌溉水量预报的农业高效用水优化模式的数字化设计软件, 以及使用信息技术的高投入, 已成为利用信息技术提升常规节水技术水平的重大技术障碍。

综上所述, 我国的节水农业技术虽然具备一定的基础积累, 取得了一些在生产中发挥重要作用的科技成果, 但从我国现状来看, 节水农业高新技术应用的整体水平与发达国家有较大差距, 我国的现代节水农业尚处于发展的初期阶段, 农田节水技术有机集成度低, 整体配套性能差, 节水农业的发展仍然存在许多重大的技术瓶颈, 尚不能为建设现代节水高效农业提供强有力的支撑, 我国节水农业的发展现状与农业和国民经济持续快速发展的要求还有很大的差距, 农业节水已经成为保障国家粮食安全、生态安全和水资源安全的重大战略问题。因此, 加快发展现代节水高效农业技术, 建立中国特色的节水高效农业技术体系, 是满足未来 20 年农业与农村经济可持续发展的重大战略, 已迫在眉睫, 其战略意义重大。

参考文献

- 1 钱蕴璧, 李英能, 杨刚, 等. 节水农业新技术研究. 黄河水利出版社, 2002
- 2 刘巽浩, 牟正国. 中国耕作制度. 北京: 农业出版社, 1993
- 3 陈保莲, 王仁辉, 程国香. 乳化沥青在农业上的应用. 石油沥青, 2001, 15(2): 44~47
- 4 中国科学院地理研究所. 土面增温剂及其在农林业上的应用. 北京: 科学出版社, 1976
- 5 牛文元, 张仁华. 土面增温剂的机理与效应. 北京: 科学出版社, 1982
- 6 王斌瑞, 罗彩霞, 王克勤. 国内外土壤蓄水保墒技术研究动态. 世界林业研究, 1997(2): 37~43
- 7 王久志. 土壤结构改良剂覆盖改土作用的研究. 干旱地区农业研究, 1991(2): 48~55
- 8 张坚强, 刘作新. 化学制剂在节水农业中的应用效果. 灌溉排水, 2001, 20(3): 73~75
- 9 杨青平, 韩锦锋. 化学覆盖技术应用与研究进展. 河南农业大学学报, 2003, 37(2): 137~140

TREND AND DIFFERENCE FOR DEVELOPMENT ON KEY TECHNOLOGY OF AGRICULTURAL WATER-SAVING IN CHINA AND DEVELOPED COUNTRIES

Wu Xueping¹, Mei Xurong², Cai Dianxiong¹, Zhao Quansheng¹, Zhuang Yan¹, Zhao Yuehua

(1. Institute of Agriculture Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081;

2. Institute of Environment and Development in Agriculture Center for Water Resources and Conservation Technologies, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081; 3. Agricultural Technique Development Center of Wuxiang County, Shanxi 046300)

Abstract This paper analysed and summarized the research and development trend for the agricultural key water-saving technology, pointed out that the goal of the modernized agriculture water-saving technology is water-saving, high-efficiency, security, environment protection and sustainable agriculture. It is the result of combing the traditional agriculture water saving technology with biology, computer simulation, electronic information, and high polymer material etc., technology with the characteristic of inter-overlap among many courses of study and inter-infiltration among each single technology. Although the great achievements have been made in China, there is still great distance between China and modernized countries in agricultural key water-saving technology.

Keywords agricultural water-saving key technology; development trend