

DOI: 10.3724/SP.J.1011.2011.00985

立足试验 实现资源高效型农业的科技创新

刘昌明

“中国科学院栾城农业生态系统试验站”(简称“栾城试验站”)于1981年建站至今历时30年,试验研究工作取得了蓬勃发展。栾城试验站成立以来的试验工作始终坚持面向国家粮食安全、水安全、生态与环境安全的重大战略需求,结合农业现代化和河北农业资源持续利用,立足大田与大规模实验及试验示范,致力创新,开创农业节水科技新局面。现已成为知名的国家级野外科学观测研究站与中国生态系统研究网络(CERN)的第一批基本台站。并且依托栾城试验站申报、竞争并获准成立了“河北省节水农业重点实验室”与“中国科学院农业水资源重点实验室”。至2011年,栾城试验站先后承担了许多国家与省部的重大研究计划项目,包括国家科技攻关计划项目,国家科技支撑计划项目,国家自然科学基金重大、面上与青年基金项目,国家重点基础研究发展计划(973计划)项目,国家高技术研究发展计划(863计划)项目及省部重大项目等。获得了国家科技进步二等奖4项,省部级科技进步奖和自然科学奖一、二等奖12项,国家专利78项,制定地方标准3项。通过栾城试验站的开放,至今已接待数百人次国内外专家的来访,开展了数十项国际交流和国际合作项目,包括欧洲、北美、澳大利亚、日本、拉丁美洲等数十个国家与地区。

栾城试验站总占地面积约28万平方米,约合417亩,远离城市,土地平整。在CERN的农田生态系统站中,是占地面积最大的台站之一。在华北平原的广大山前平原带具有很好的代表性;主要设施包括有:标准气象场、遥感铁塔、水分平衡与能量通量观测场、养分平衡场、小麦育种场、综合试验观测场等,并配备有先进的涡度相关、波文比、大型蒸渗仪、光合仪、光谱仪、大孔径闪烁观测仪、GeoProbe土壤深层采样机等仪器设备。试验站与院、省重点实验室三位一体形成强大的研究平台,广泛支撑着农业节水、高效、生态诸领域的科研创新与开拓。

过去30年中随着国家改革开放、经济社会快速

发展,栾城试验站迎接了挑战并赢得机遇。结合国家、省地的科技任务取得一系列的研究进展,部分地反映在本期《中国生态农业学报》专辑收到的30多篇论文中。下面就30年来资源高效型农业研究的若干主要方面进行简要概括:

1 基于大田水分循环与热量通量的基本原理,全面开展并拓宽了土壤-作(植)物-大气连续体(SPAC)长期、系统研究。系统量化了水分从进入农田到蒸散、淋失损失的关键界面过程和水热传输的物理机制,研究了作物水分消耗与产量的关系

主要包括:(1)连接地下水的SPAC理论,即GSPAC系统。(2)土壤-植物-大气连续体界面水、热传输与调控,并在此基础上提出了界面水文学的研究方向。(3)冠-气温差、饱和差和气孔导度之间的试验关系,用于判断作物水分状况与环境之间的关系,来进行大田的合理水分管理。(4)研究了作物水分胁迫机制,提出了因势利导地加以利用;节水后往往诱导轻度到中度水分胁迫,根据这一机制,可以有效抑制无效水分耗散,避免植株旺长;胁迫解除后的“反冲”机制又有利于促进作物生长,从而达到提高水分利用效率的目的。(5)进行了根系吸水规律的长期系统的试验,并首次探索了节水高产的根冠比水分调控,通过灌水量调控得出作物既节水又高产的根冠比。(6)利用稳定同位素技术,发现土壤蒸发深度为20cm,冬小麦根系吸水主要在0~40cm土层。

2 理论与实际相结合,开展了农田作物需水与耗水的长期系统试验与作物模型模拟,揭示了作物需水、耗水规律,农田耗水构成、规律及影响因素等

主要包括:(1)一年两熟粮食作物的一般需水量为 $870\text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$,小麦为 $450\text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$,玉米为 $420\text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ 。(2)揭示了作物农田耗水结构,通过大型蒸渗仪与小型蒸发器的系列观测试验,发现小麦与玉

米生长期大田蒸散量中棵间土壤蒸发均为 30%左右。从而以此试验得出大田粮食作物的节水潜力为 $260 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$, 是节水挖潜的重要科学依据之一。(3)对棵间土壤蒸发耗水控制进行了多年详细的试验, 采用秸秆与薄膜覆盖技术, 确定了节水 100 mm, 达到上述节水潜力的 40%左右。实现这一节水技术, 可使广大井灌区的地下水下降问题基本得到缓解。(4)根据作物叶片与大气界面间水分传输机制, 通过对多个小麦与玉米品种的叶片气孔阻力与叶水势及产量的精细测定试验, 选择了低耗水与高产量小麦、玉米品种, 实现了叶-气界面水分耗散的控制。(5)作物模型结合试验数据摸清了山前平原区小麦灌溉的几个关键时期, 包括: 冬灌、抽穗期和灌浆期灌溉, 春季返青后适当缺水有利于小麦节水, 而抽穗期和灌浆期灌溉最为关键。

3 灌溉节水与农艺节水相结合, 实现了集成研究, 发展了多种集成节水模式

主要包括: (1)基于作物生长期生理需水规律, 详细开展了调亏灌溉的灌水定额与灌溉制度试验研究。确定了小麦、玉米各生长期根层土壤适度节水灌溉控制的阈值。(2)前述 3 个界面水分传输的节水调控与节水灌溉相结合, 开发了具有不同节水高产效果与效益的集成节水农业技术模式。在华北平原首次提出了“双百超千”的高效节水集成模式, 即每亩节水 100 m^3 , 增收 100 元, 产量超 1 000 kg 的模式。(3)从系统论的观点, 提出了综合农业节水的框架与内涵。对综合农业节水系统进行分解, 即水源合理利用配置、灌溉技术、农艺措施及综合管理等 4 个二级系统和多个三级子系统, 基本涵盖节水农业的全部有关内涵, 为系统实施节水提供了科学依据。

4 发展了节水农业与生态农业的有机结合。研究了华北山前平原农田土壤养分与碳、氮等元素循环的生物地球化学过程

主要包括: (1)水、肥耦合的节水调控, 土壤硝态氮淋失与调控, 农田氨挥发速率与调控; (2)农田土壤呼吸规律和温室气体排放的研究; (3)秸秆还田和保护性耕作对土壤肥力保持和改善土壤结构的效应研究, 为实现循环、高效农业建立示范模式; (4)在气候变化影响方面, 较早地在农田生态系统开展了增温和 CO_2 对冬小麦光合生理与碳氮生物地球化学循环过程的研究。

5 宏微观结合, 发展了基于遥感与地理信息系统技术应用的区域农业水资源相关研究

主要包括: (1)区域农田蒸散量的遥感监测方法、农田土壤水分和养分监测、农田生产力的评价等; (2)作物模型、分布式水文模型与地下水模型耦合模拟评估地下水资源的亏缺变化和可持续利用前景; (3)利用遥感监测的灌溉需水量变化监测农田耗水的时空变化和空间节水潜力; (4) 3S 技术在县域农田土壤和作物养分管理中的应用; (5)开展了信息技术在农业生产精准化中的应用研究, 并与作物生长模型应用相结合, 为发展精准农业作出了贡献。

6 开展了小麦种质资源创制和优质、抗逆小麦育种研究

主要包括: (1)筛选并明确了华北小麦、玉米的高产节水品种; (2)挖掘了一批与水分利用效率有关的小麦 QTL 位点和节水功能基因; (3)培育了一批节水、高产的优质小麦品种, 审定通过了“高优 503”、“科农 9204”、“科农 199”等优质、广适、高产的小麦新品种若干; (4)在抗病、营养高效和抗逆(抗旱节水型)小麦种质资源创新和新品种选育方面开展了卓有成效的研究。

上述 6 个方面, 概括了栾城试验站过去 30 年来延续至今的主要研究工作, 立足田间试验, 在积累第一手科学数据的基础上取得的成绩。也有一些优秀的科研工作对当地农业发展起过重要的推动作用, 包括工厂化组培育苗工程、农村能源和农业机械的研发工作等。

目前, 水资源的严重不足仍然是华北平原农业面临的重大问题, 一方面农业严重缺水, 另一方面, 由于社会组织机制和灌溉管理体制等不完善, 农业用水存在着浪费现象。农业过量施肥普遍存在, 急需解决农业生产中水肥耦合管理的精确化和节约化问题。在节约用水的同时也可以保护地下水资源免受氮素污染。栾城试验站未来将在“资源节约型、环境友好型”发展方针指引下, 在农业资源科技领域继续立足水资源短缺的区域重大需求, 开展节水、节肥的耦合机理研究, 综合 SPAC 节水机理、农田碳氮循环和抗旱节水型小麦新品种创制等多学科理论与应用, 进一步实现优质、高效、生态农业科技创新, 为区域农业资源, 特别是农业水资源的可持续利用服务。