

西北旱地农业研究进展及科技创新重点内容

樊廷录¹, 李尚中², 赵刚², 张建军², 王淑英², 李兴茂², 程万莉², 周刚²

(1. 甘肃省农业科学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 西北地区是我国北方旱地农业的重要组成部分, 西北旱作区在保障区域粮食安全、绿色生产与生态协调中发挥着特殊的作用与贡献。基于对新时期西北旱地农业战略地位和重大需求的再认识, 通过总结西北旱地农业研究取得的主要进展, 提出了藏粮于地、藏粮于种、藏粮于水及藏水于技的旱地农业科技攻关思路, 认为西北旱地农业科技创新攻关应强化旱地应用基础研究, 集中开展旱地农业关键技术和不同应用场景旱地农业技术集成模式的科技创新工作, 旨在支撑抗旱增粮科技行动, 确保西北地区粮食安全。

关键词: 旱地农业; 重大需求; 研究进展; 科技创新; 西北

中图分类号: S-1 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-2172(2022)01-0026-06

doi: 10.3969/j.issn.2097-2172.2022.01.005

Advances and Key Innovating Contents of Science and Technology on Dryland Agriculture in Northwest China

FAN Tinglu¹, LI Shangzhong², ZHAO Gang², ZHANG Jianjun², WANG Shuying², LI Xingmao², CHEN Wanli², ZHOU Gang²

(1. Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China; 2. Dryland Agriculture Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China)

Abstract: Northwestern area is a crucial part for dry farming in northern China, dry farming area in the northwest plays important roles in ensuring regional food security, coordination between green production and ecological protection. Based on the re-understanding of the strategic position and major demands of dryland agriculture in Northwest China in the new period, this paper summarizes the research progress of dryland agriculture, thoughts of food crop production strategies based on farmland management and seeds innovation and water storage on tackling key problems in dryland agriculture are put forward. The scientific and technological innovation of dryland agriculture should strengthen the applied basic research and focus on key technologies tackling and technology integration systems for different application scenarios, so as to supporting yield increase of grain action with drought resistance and ensuring regional food security.

Key words: Dryland agriculture; Major technological need; Research progress; Technological innovation; Northwest

水是农业的命脉。然而, 全球 81% 的耕地、中国 49% 的耕地缺乏灌溉条件, 仅依靠降水发展旱地农业。在中国农业生产版图上, 秦岭、淮河昆仑山以北的旱作区, 占国土面积的 65%, 耕地面积的 56%, 但水资源只占 19%^[1]。更重要的是, 这个区域生产了全国 58% 的粮食, 其中旱地生产了全国 43% 的粮食^[2]。西北地区是我国北方旱地农业的重要组成部分, 在漫长的历史中, 低产、低效、靠天吃饭是旱地农业的代名词。然而, 经过几十年的发展, 西北旱作区已成为区域粮食

安全的压舱石, 在保障区域粮食安全、绿色生产与生态协调中发挥着特殊的作用与贡献, 在巩固脱贫攻坚成果、乡村振兴中所担负的责任日显突出, 无疑对科技创新的需求比以往更加强烈。

1 新时期加强西北旱地农业发展的战略意义

1.1 突破农业绿色发展瓶颈, 强化粮食功能区建设

旱农区是西北重要的优质粮食生产基地, 在保障区域粮食安全中有着特殊的地位^[3]。但该区域农业基础设施薄弱, 中低产田占比高达 80%, 农业生产面临干旱缺水、规模化生产程度低、农村劳

收稿日期: 2022-09-12

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2006BAD29B07); 国家玉米产业技术体系兰州综合试验站(CARS-02-55); 甘肃省重大科技专项(21ZD4NA022)。

作者简介: 樊廷录(1965—), 男, 甘肃临洮人, 研究员, 博士, 博士生导师, 主要从事旱作农业关键技术研究与管理。Email: fantinglu3394@163.com。

动力短缺、机械化水平较低、残膜污染等问题, 农业绿色增效和高质量发展急需创新抗旱节水、土壤培肥、覆盖及农业机械等关键技术和产品, 以确保粮食安全及主要农产品供给。同时, 该区域粮食种植结构比较单一, 农业种植系统的稳定性、地域自然灾害防御能力弱, 需要增加优质口粮和饲料粮比重, 提高效益, 增强农业系统的稳定性。

40 多年来, 西北旱作区根据自然规律、市场规律、经济规律调整农业结构, 种植业比重、粮食种植比重明显下降, 瓜蔬、果树等经济作物比重显著增加, 并向水资源相对富集和降水比较多的区域集中, 迫使用水较少、比较效益低的粮食作物向旱作区、高海拔地区集中与转移^[3]。如甘肃旱作区, 粮食播种面积占全省的比重由 1991 年的 64.9% 增加到 2018 年的 71.9%, 粮食总产所占比重由 50.2% 提高到 62.5%, 旱作区提供了 65% 的粮食, 成为甘肃省粮食安全的“压舱石”。因此, 旱地农业在稳定粮食生产基本盘和接续乡村振兴中举足轻重。

1.2 提升区域特色农产品竞争力

西北旱作区光热资源充足, 生物多样性丰富, 土地类型多样, 农业化学品投入比较低, 具有生产高品质农产品的自然资源禀赋, 是我国马铃薯、果品、杂粮、优质粮食、瓜菜、牛羊等特色农畜产品优势生产区。但该区域农业科技创新与成果转化弱, 特色农业产业发展相对滞后, 规模化经营不足, 农业绿色发展和乡村产业兴旺急需合理开发寒旱区气候资源, 提高特色生物资源效益, 发展具有特殊品质和区域特色农产品的生产, 发展品牌农业, 提升农业效益。

1.3 推动区域生态文明建设

西北旱作区是多民族汇聚的地区, 是我国生态环境最脆弱的地区和国家的重要生态安全屏障区, 对环境变化反应相对敏感, 容易受到外界的干扰发生退化演替, 而且系统自我修复能力较弱; 对全球气候变化反应灵敏, 农业生产时空波动性大。农业生产长期盛行频繁耕作、不合理施肥、过度垦殖等粗放生产方式, 导致水土流失严重, 土壤涵养水源功能变差、耕地数量质量双重下滑。习总书记在视察山西时强调, “要坚持走有机旱作农业路子, 完善有机旱作农业技术体系”; 视察甘肃时指出, “要重视和发展旱作农业、节水农业、设施农业”。因此, 针对考虑西北农业生态环境问题, 围绕水问题, 转变旱地农业发展方式, 建立

用养结合的农作制度, 构建生态友好型旱农发展模式, 是推动西北旱农区生态文明建设和区域稳定发展的重要途径。

2 西北旱地农业发展的重大需求

随着农业劳动力短缺、资源环境约束趋紧和生产成本增加等问题的日益凸显, 单纯依靠劳动力密集投入、资源过度消耗、规模扩张的外延发展模式正在发生重大转变, 农业种植结构调整和农民增收、稳粮保供的任务更加艰巨。依靠科技创新改变生产方式, 提高劳动生产率, 加快旱作区绿色农业发展, 成为旱地农业发展的重大需求。

2.1 建设环境友好型和轻简高效型旱地农业

旱作区灾害性天气事件日益增多, 农业灌溉水资源严重缺乏, 加之气候增温趋势明显, 水资源刚性约束日益加剧。优势农产品集中产区的长期连作导致土壤退化和病虫害危害频发重发, 长期高强度地膜覆盖导致白色污染和土壤肥力下降。农业生产成本中劳动力成本占 50% 以上, 主要作物关键生产环节仍以人工为主, 适宜丘陵山地作业的机械比较缺乏。因此迫切需要加快农业科技创新, 推进藏粮于地、藏粮于技战略实施, 提高资源利用率和机械化作业率。

2.2 提升旱作特色产业发展和质量和效益

经过近 20 年的发展, 西北旱作区的特色产业方兴未艾, 已成为区域经济发展的增长级和乡村产业振兴的引擎。如黄土高原苹果、马铃薯和玉米、高寒冷凉农区油菜及杂粮、设施果蔬、牛羊等迅速发展, 占据主导地位。但产业科技支撑弱, 产业链短, 适度规模化效益低, 迫切需要产前、产中和产后关键技术的集成、突破和支撑, 补齐产业发展的科技短板。

2.3 突破旱作农业发展体制机制约束

旱作区农业农科教结合、产学研协作还不够紧密, 科技基础条件及资源薄弱, 共享机制尚未完全建立。旱作区国家财政科技投入项目和经费均比较少, 对长期从事旱作农业研究与应用科研团队和野外基地的缺乏稳定投入机制, 导致科研创新及科技基础性工作不能持续进行, 迫切需要进一步创新旱作区农业科技管理与国家层面的立项体制机制, 优化农业科技资源配置, 突出稳定支持, 切实建立起中央与地方协同创新的长效机制, 为新时代旱作区农业农村科技创新与全国同步发展提供保障。

3 西北旱地农业研究主要进展

旱地农业研究始终突出“蓄水、保水、集水、节水、用水”体系，提高降水蓄保效率、作物水分利用效率、蒸耗比 T/ET 和降水利用率，以实现抗逆增产、优质增效、环境增优的目标^[3]。

3.1 揭示了旱地作物应对气候变化的响应，明确了关键技术的水分效应

3.1.1 旱地农田作物耗水量与生育期的变化特征
分析甘肃镇原旱农试验区 64 a 的气象数据及近 40 年农田作物耗水量及作物水分满足率研究数据表明，旱塬区呈现每 10 a 降水量减少 11.2 mm、气温增加 0.36 °C 的暖干化趋势，导致每 10 a 的冬小麦水分满足率降低 5 百分点、耗水量减少 22.1 mm，春玉米水分满足率提高 3 百分点而耗水量无明显变化，说明气候变化过程中旱地麦田水分供需矛盾加剧，但有利于玉米面积扩大^[4]。为应对气候变化，作物生育期进行了较大调整，40 年来冬小麦和春玉米的生育期缩短了 5.0~6.0 d，播种期分别推后 3.6、1.7 d，收获期分别提前了 1.8、5.5 d。

3.1.2 旱地农田水分转化关系及作物耗水结构
对甘肃陇东、陕西渭北和晋南旱地农田土壤水分、降水、作物耗水的研究表明，旱地农田夏休闲期降水约占年降水量 60% 以上，但其中 2/3 通过无效蒸发和径流损失，深耕耙耱保墒的传统耕作技术对夏休闲期降水的保蓄率仅有 30%~40%^[5]；年降水中因休闲期和作物生育前期土壤裸露蒸发损失的占 50%~60%。利用蒸渗仪连续监测了春玉米、冬小麦蒸腾与蒸发耗水结构的变化，在旱地小麦、春玉米田间耗水中，棵间土壤蒸发分别占 57.5%、32.3%。可见，减少土壤水分蒸发损失和土壤扩蓄增容是旱地农田高效用水的核心。

3.1.3 旱地农田全膜双垄集雨种植的水分调控效应
旱地作物垄膜沟种系统中，以垄作为集水面产流，以沟作为聚集和保蓄垄面径流的种植带。监测结果表明，不同降水量下收集的降水差异较大，1 次 5~10 mm 降水的收集效率高达 80%~92%，1 次 <5 mm 降水的收集率位 65%~80%，1 次 10~15 mm 降水的收集率为 45%~80%^[5]。作物根域水分富集量 (W_p) 与垄沟比 (N_1/N_2)、径流系数 E_r 、降水量 P 的关系为 $W_p = (1 + E_r \times N_1/N_2) \times P$ ，即根域水分随垄与沟宽之比的增大而提高。理论上，1、5 mm 的无效降水在种植沟内富集的水分量可分别达到 1.5、12.3 mm，10 mm 降水量富集量

达 25.2 mm，垄沟种植使降水在根域土壤中有效聚集，变成作物有效水，实现了小降水量的水分倍增效应。全膜双垄沟集雨种植实现了农田无效降水、小降水量的最大富集利用^[6-7]。

3.1.4 休闲期地表覆盖的抑蒸减耗效应
休闲期覆盖具有明显的蓄水保墒效果，增强对底墒的恢复调控能力。旱地冬小麦高留茬收获、夏休闲地膜覆盖、绿色覆盖提高了播前 0~2 m 土壤贮水量，其中地膜覆盖和高留茬较传统耕作提高 40.6、26.6 mm，复种大豆、油菜和糜子的土壤蓄水量提高 7.3、7.8、18.4 mm，即夏休闲期地表覆盖可使降水边蓄边用，特别是复种油菜将无效蒸发转化为生物量归还土壤养分 179.6 kg/hm²，抑蒸与土壤培肥协同增进。复种油菜—冬小麦轮作的周年水分利用效率达到 60.3 kg/(mm·hm²)，提高 74.8%^[8]。玉米收获后留膜留茬可多蓄水 25~30 mm，根茬归还土壤碳 1 050~1 350 kg/hm²，冬春休闲期地表风蚀减少 20%~30%。前季作物收获后，11 月秋季覆膜，玉米播前 0~2 m 土壤平均多贮水 27.4 mm，玉米水分利用效率为 30.6 kg/(mm·hm²)。

3.1.5 旱地春玉米覆膜与增密的水分效应
地膜覆盖减小了玉米农田蒸散量。山西寿阳覆膜玉米较露地玉米蒸散量减少 21.4 mm，甘肃镇原玉米全覆膜较半覆膜、露地种植蒸散量分别减少 8.2、20.0 mm。覆膜较露地种植不同密度间蒸散量极差达 31.9%，即覆膜种植减少了玉米对土壤水分的消耗，缓冲了密度增加对土壤水分消耗的增加^[9]。随着玉米种植密度的增加，田间蒸散量随之增加，密度从 4.50 万株 /hm² 增加到 6.75 万株 /hm² 时，平均产量增加了 20.6%，耗水量增加了 10.6 mm，水分利用效率则提高了 17.4%；密度从 6.75 万株 /hm² 提高 9.00 万株 /hm² 时，平均产量提高了 12.0%，水分利用效率提高了 12.7%，而田间蒸散量并未增加^[10]。经在陇东旱塬 5 a 的试验表明，玉米种植密度在 4.50 万~10.50 万株 /hm² 范围内时，密度每增加 1.50 万株 /hm²，玉米耗水量无差异，即群体增大并未增加蒸散量，但平均产量和水分利用效率却随密度增加而提高。因此，旱地玉米密植后相对于产量和水分利用效率的增加，田间蒸散量变化要小得多，增密后玉米产量得到提高，但并未明显增加蒸散量，而是通过增大群体提高叶面积指数将蒸发耗水转化为蒸腾耗水，提高了蒸腾系数。

3.2 探明了旱地农田土壤有机碳演变特征及土壤水库扩蓄增容机理

40 a 的黑垆土长期定位试验发现, 无论增施化肥还是有机肥, 旱地农田土壤有机碳均呈增加趋势^[11-13]。长期施用 N、P 化肥虽然增加了土壤有机碳含量, 但碳固定速率仅为 0.069 7 g/(kg·a), 是有机肥、秸秆还田、有机无机配合投入处理的 35%~77%; 单施 N 肥、不施肥也可增加土壤固碳量, 碳固定速率在 0.040 0 g/(kg·a) 左右, 即旱地长期不施肥靠根茬还田维持农田碳的投入, 这种情况下不施肥冬小麦产量(1.5 t/hm²)和玉米产量(3.5 t/hm²)基本稳定。长期施肥的土壤有机碳持续增加, 改善了土壤水分入渗参数。每年还田秸秆 3 750 kg/hm²、有机肥与无机肥配施 23~26 a, 土壤有机碳含量分别达到 12.9、13.4 g/kg 的平衡点。增加有机碳投入, 可有效提高土壤大团聚体黏结度和稳定性, 土壤有机碳每增加 1.0 g/kg, 土壤大团聚体有机碳含量就增加 14.9 g/kg, 土壤容重降低 0.05 g/cm³, 总孔隙度增加 1.8 百分点, 田间土壤持水量提高 1 百分点, 0~20 cm 土壤蓄水库容增加 3.6 mm, 水分入渗率提高 0.17 mm/min, 同时提高了土壤比水容量, 使土壤贮水和释放给作物用水的能力增强。

作物生产同时受制于降水条件和土壤有机质的双重制约。长期试验的大量测试数据表明, 旱地冬小麦产量(Y_w)与耗水量(ET)、土壤有机质含量(SOM)呈明显的增加关系: $Y_w = -1.538 + 0.012 4 ET + 0.042 9 SOM (R^2 = 0.77)$, 即土壤有机质增加 10 g/kg 可增产 42.9 kg/hm², 耗水量增加 1 mm 可增产 12.4 kg/hm²。每提升 1 g/kg 土壤有机质可增产 28.6 kg/hm², 土壤有机质提升的抗逆增产作用越加突出。

3.3 研究形成了抗旱节水增粮关键技术及模式

3.3.1 抗旱高水分利用效率品种筛选 筛选高水分利用效率品种是抗旱增粮的关键, 核心是发挥生物及品种主动抗旱、适应干旱和避旱的特性。如甘肃省农业科学院镇原试验站先后收集和保存冬小麦优异种质资源 3 000 多份, 历时 13 a 先后选育的陇鉴系列冬小麦新品种陇鉴 196、陇鉴 127 等, 有效地抵御了 20 世纪 80 年代小麦条锈病和干旱的威胁; 利用美国抗旱优质资源, 历时 16 a 选育出 2 个强筋麦品种, 突破了旱地优质强筋麦种质“卡脖子”技术, 2019—2022 年陇东旱塬冻旱交替灾害, 单产达到 5.25~6.30 t/hm², 水分利用

效率达 18.0 kg/(mm·hm²)。

3.3.2 集雨补灌抗旱减灾技术模式 20 世纪 90 年代, 西北旱作区广泛实施“121 雨水集流工程”“窑水农业”“甘露工程”“112”集雨节水灌溉工程等集雨高效农业工程^[14]。甘肃镇原试验区、定西试验区形成的公路集雨高效种植模式, 利用公路集雨提供了果园耗水的 61%, 苹果增产 40.8%, 梨园供水效率为 120.0~150.0 kg/(mm·hm²); 在土壤干旱时稀植作物补水 15~45 m³/hm² 保苗达到 95% 以上; 作物卡脖子旱时补灌 150~600 m³/hm² “救命”水可保证稳定丰产; 地膜玉米大喇叭口期补灌可增产 27.7%, 供水效率达 33.0 kg/(mm·hm²)^[15]。形成的雨水集流庭院经济模式和棚面集雨设施蔬菜高效生产模式, 有效地解决了蔬菜和果园的缺水问题。另外, 果园垄膜集雨保墒和根域覆膜集雨入渗技术结合, 延缓了果园干层发生, 降水利用率达到 80%, 苹果增产 18.0%~30.0%^[16]。

3.3.3 旱地玉米大面积丰产技术模式 针对全膜双垄沟覆膜、施肥、播种三大环节脱离的问题, 研究形成了“耐密品种、适水增密、控释氮肥一次基施、垄沟覆膜集雨、膜上穴种”一体化技术方案。跨区联网与定位试验表明, 玉米产量与密度均呈现二次抛物线关系, 达到最大产量的最高密度在不同降水量的地区存在明显差异, 而降水量超过 500 mm 的地区增密的增产效应有限。在降水 300~500 mm 的地区, 降水量(x)和玉米种植最高密度(y)呈 $y = 9.886x - 52.11 (R^2 = 0.795)$ 的增加关系, 即降水量每增加 1 mm 可增加玉米密度 150 株/hm², 形成了旱地玉米适水定密、以密定产技术。旱地全膜双垄种植玉米创造了旱作玉米水分利用效率 54.6 kg/(mm·hm²) 的世界纪录, 农田降水利用率达 80%。地膜覆盖集雨种植技术 30 a 使玉米单产连续迈上了 7.95、9.30、12.90 t/hm² 的台阶, 水分利用效率从 17.6、21.2 kg/(mm·hm²) 提高到 33.0 kg/(mm·hm²), 作物耗水量由 8 550、6 900 m³/t 下降到了 4 500 m³/t, 创建了旱塬玉米“吨粮田”。

3.3.4 旱地黑膜马铃薯垄上微沟集雨栽培技术模式 该技术综合集成垄面集雨、雨水富集、入渗叠加利用原理, 将垄上降水进行再分配, 增加干旱阶段的垄上土壤水分含量, 降低雨季大垄沟雨水聚集。一方面改弓型垄面为“m”型垄面, 解决了大垄中间部位始终较干的问题, 有效提高了干旱季节的垄上土壤贮水量, 为块茎生长创造良好的土壤

环境。另一方面改侧播为垄上脊播,增加了土壤熟土层厚度及薯块有效生长空间,使薯块生长均匀,提高了马铃薯商品率。该项技术实现了旱季聚水和雨季排涝的作用,较全膜覆盖垄沟种植平均增产8%以上,水分利用效率提高5%以上。

3.3.5 旱地冬小麦“以水定肥”监控定量施肥技术模式 针对黄土高原雨养麦田降水分布规律,建立了冬小麦产量(Y)和播前土壤0~2 m底墒(X_1)、生育期10月至翌年4月(冬小麦苗期至小麦灌浆期)降水量(X_2)的回归关系: $Y=7.541X_1+32.27X_2-1565.1(R^2=0.876)$,提出了“以水定产”方法。根据“0~1 m土层土壤硝态氮监控施肥,磷钾恒量施肥技术”实现“以产定肥”。该技术在减氮49%基础上,较传统施肥平均增产9.2%;监控平衡施肥氮肥当季回收率平均为23.3%,较传统施肥增加14个百分点,对应氮肥偏生产力提高了2.3倍。

4 旱地农业科技创新攻关重点内容

西北旱区“水缺”比“地少”更为严峻,科技创新攻关要坚持藏粮于地、藏粮于种、藏粮于水及藏水于技的思路,旨在支撑抗旱节水增粮食行动,确保西北区域粮食安全生产。

4.1 强化旱地农业应用基础研究

以雨水高效利用为主攻方向,强化旱地农业土壤水库、营养、微生物等方面的长期性研究,依托长期定位试验揭示旱地海绵田水肥“集、蓄、保、用”的节水增碳土壤定向培肥机制,保持旱地农业基础研究的连续性,保护好“油盆粮仓”黄土旱塬和河谷盆地;优化气候应变型农牧种养结合制度,探索粮果生产潜力提高途径,支撑旱地优质小麦、玉米、马铃薯和苹果区域性优质高产带建设。加强多学科联合攻关,推动旱地农业保护性耕作综合生产技术体系建设,支持旱地适度规模精准农业技术研究,实现土壤保持、节水增碳、生产力持续提升的目标。

4.2 强化关键技术与产品研究

4.2.1 旱地农业关键技术攻关 一是筛选抗旱优质宜机收作物品种。重点开展“三低一长”耐密宜机收玉米品种、耐裂荚/抗旱抗寒丰产油菜品种、玉米/大豆带状复合种植模式下的耐密中早熟玉米和耐阴耐密早熟大豆品种、抗除草剂和适宜机收糜谷品种、抗旱优质高产/强筋/功能性小麦品种等的筛选及评价。二是旱地农田土壤水库扩蓄增容关键技术。开展冬小麦高留茬收获机械深松耕、

春玉米收获后留膜留茬少免耕及秸秆还田、机械化垄沟集雨种植等土壤蓄水能力提升关键技术研究,研发生物炭、微生物有机肥、土壤结构改良剂、土壤扩蓄增容肥等产品,提高土壤蓄水保水能力。三是旱地玉米抗旱增粮关键技术。研究与不同区域降水量相适应的种植密度,确定适水丰产技术方案;研究密植减氮与温室气体减排、控释肥一次高效施肥等技术;研究密植玉米化控抗倒水分高效利用关键技术。研究基于适度规模种养水平的有机肥替代化肥玉米丰产、基于适度规模养殖场的青贮玉米丰产提质增效关键技术;研究旱地玉米延期低水分机械粒收技术。四是旱地小麦产量品质协同提升关键技术。根据不同生态区冬小麦生产需求,研究提高产量的群体调控、休闲期土壤蓄水、主要病害绿色防治等技术;研究以关键品质提升为主的营养强化与增产协同增进技术。创建地域优质小麦品牌,建立优质品种种加一体化体系。五是马铃薯脱毒种薯低成本高效繁育技术。以提高种薯繁育效率和效益为核心,研究轻简化全开放马铃薯脱毒组培苗快繁技术,筛选低成本基质;研究增加马铃薯脱毒种薯繁殖数量和商品率的化学调控技术,以及微型种薯直播栽培技术、微型种薯雾培低成本工厂化高效繁育及种薯保存技术。推广开放式组培繁育技术,该技术较瓶苗扩繁系数提高4倍以上,生产成本降低30%;筛选2~3种化学调控技术,使温室脱毒种薯繁殖数量增加5%~10%,商品率提高20%。六是新建农田土壤耕层构建及快速培育技术。针对新建农田土壤结构差、肥力瘠薄等障碍因素,评价筛选耕层快速构建的活性有机材料和生物激发剂。引进筛选新建农田土壤快速培肥先锋作物、化学抗旱剂等。土壤耕层物理结构得到明显改善,土壤有机质及关键养分指标得到明显提高。七是地膜减量与替代技术。根据作物水分和热量需求程度,研究建立玉米、马铃薯等主要作物地膜覆盖适宜性评价方法,确定地膜适宜覆盖区或减量覆盖区。筛选中早熟玉米品种,通过熟期调整实现地膜替代与减量,部分区域实现无膜化种植;筛选功能和安全期满足作物生长需求的全生物降解地膜,在适宜区构建全生物降解膜作物栽培技术,减少土壤残膜污染。八是化学抗旱制剂研发及应用。以化学高分子材料为主,研发不同类型抗蒸腾剂和营养型土壤保水剂,确定

抗旱剂在抵御干旱和高温热害、减损和增产方面的作用, 以及使用规范和效果。

4.2.2 基于应用场景的旱地农业技术模式集成 一是旱塬玉米丰产增效技术集成应用。以旱塬玉米高产片带建设为核心, 集成抗旱耐密品种、高效施肥、生物降解膜、秸秆还田等艺机一体化技术; 筛选中早熟耐密品种, 探索无膜栽培, 研发玉米延期低水分机械粒收技术。依托经营主体, 建立玉米烘干生产线, 带动“良种—机械粒收—烘干”节本增效生产模式应用, 推动生产方式转变。二是旱地冬小麦良种繁育及高产技术集成应用。在甘肃省陇东和陇南冬小麦主产区, 依托陇鉴系列、兰天系列、陇育系列等冬小麦良种, 通过经营主体分区域建立中筋、强筋、弱筋及功能小麦良种生产繁育基地; 集成夏绿色覆盖、秸秆还田、适期晚播、群体调控、品质增优、病虫害防控等技术, 创建高产田, 推进全程机械化作业。在陇东旱塬和陇南冬小麦区, 建立种子繁育基地及稳产丰产田。三是旱地马铃薯丰产增效技术集成应用。以增加土壤贮水和丰产增效为目标, 提升旱地立式深旋耕、土壤有机培肥、地膜微垄沟集雨等技术的融合度及机械配套性, 实现机艺一体化作业。在不同区域创建抗逆丰产田, 配套适宜农机具, 推进种植管理过程和收获的机械化作业; 在马铃薯主产区建立薯豆、粮豆跨区轮作制, 消减马铃薯连作障碍, 实现病虫害有效控制与可持续生产。形成适宜区域生产特征的马铃薯丰产增效技术模式及丰产田和高产田, 实施薯豆、粮豆等跨区轮作, 降低化学农药用量。四是油菜优质丰产轻简化种植技术集成应用。在陇东旱塬区, 筛选抗旱抗寒性冬油菜新品种, 集成抗旱防冻防病虫害技术, 推进机械化收获技术; 在临夏寒旱区, 筛选成熟度一致、耐裂角的春油菜品种, 配套生物有机肥、病虫害绿色防控、缩株扩行密植、富硒种植等技术, 推进低损失机械收获技术。五是旱地玉米/豆类带状复合种植技术集成应用。在陇东旱塬玉米大豆适宜种植区, 研究适宜机械播种和收获的带型配置结构, 研发相应作物覆膜播种一体机。合理配置玉米、大豆品种, 优化分区施肥技术, 筛选适宜不同作物的除草剂。形成适宜旱地玉米/大豆带状复合种植的机械作业模式, 实现玉米少减产多收一季大豆的目标。研究提高玉米饲料粮生产水平, 以及玉米与拉巴豆复合种植技术, 提高饲用

玉米的蛋白质含量和饲料价值。

参考文献:

- [1] 梅旭荣. 节水农业在中国[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2006: 1-25.
- [2] 黄秉信, 宋勇军. 我国粮食生产重心进一步向北转移[J]. 中国粮食经济, 2020(7): 49-52.
- [3] 樊廷录, 李尚中. 旱作覆盖集雨农业探索与实践[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2017: 5-36.
- [4] FAN TING-LU, LI SHANG-ZHONG, ZHAO GANG, et al. 2022. Response of dryland crops to climate change and drought-resistant and water-suitable planting technology for spring maize[J]. Journal of Integrative Agriculture, <https://doi.org/10.1016/j.jia.2022.08.044>.
- [5] FAN T L, WANG S Y, LI Y P, et al. Film mulched furrow-ridge water harvesting planting improves agronomic productivity and water use efficiency in Rainfed Areas[J]. Agricultural Water Management, 2019, 217: 1-10.
- [6] 樊廷录. 旱地农田微集水种植的水分生产潜力增进机理研究[J]. 水土保持研究, 2003, 10(1): 88-100.
- [7] FAN T F, STEWART B A, PAYNE W A, et al. Supplemental irrigation and water-yield relationships for plasticulture crops in the Loess Plateau of China[J]. Agron. J, 2005, 97: 177-188.
- [8] 李尚中, 樊廷录, 王 勇, 等. 夏休闲不同耕作方式对麦田土壤水分和周年生产力的影响[J]. 农业现代化研究, 2013, 32(2): 222-225.
- [9] 刘化涛, 黄学芳, 黄明镜, 等. 不同品种与种植密度对旱作玉米产量及水分利用效率的影响[J]. 山西农业科学, 2010, 38(9): 32-34.
- [10] 樊廷录, 李永平, 李尚中, 等. 旱作地膜玉米密植增产用水效应及土壤水分时空变化[J]. 中国农业科学, 2016, 49(19): 3721-3732.
- [11] 樊廷录, 王淑英, 周广业, 等. 长期施肥下黑垆土有机碳变化特征及碳库组分差异[J]. 中国农业科学, 2013, 46(2): 300-309.
- [12] 樊廷录, 周广业, 王 勇, 等. 甘肃省黄土高原旱地冬小麦—玉米轮作制长期定位施肥的增产效果[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(2): 127-131.
- [13] FAN T L, XU M G, SONG S Y, et al. Trends in grain yields and soil organic C in a long-term fertilization experiment in the China Loess Plateau[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2008, 171(3): 448-457.
- [14] 樊廷录, 宋尚有, 罗俊杰, 等. 陇东旱原集雨节灌农业技术研究[J]. 干旱地区农业研究, 1998, 16(1): 18-23.
- [15] 樊廷录. 集水高效利用研究成效及发展应用前景[J]. 甘肃农业科技, 1999(1): 16-18.
- [16] 赵 刚, 樊廷录, 李尚中, 等. 黄土旱塬集雨保墒措施对苹果发育和土壤水分变化的影响[J]. 农业工程学报, 2016, 32(1): 155-160.