



殷文, 柴强, 李玲玲, 赵财, 于爱忠, 谢军红, 樊志龙, 胡发龙, 赵连豪. 西北地区农作制度发展现状、问题及对策建议[J]. 中国农业大学学报, 2025, 30(12): 23-39.
YIN Wen, CHAI Qiang, LI Lingling, ZHAO Cai, YU Aizhong, XIE Junhong, FAN Zhilong, HU Falong, ZHAO Lianhao. Development status, problems, and suggestions for improvement of farming systems in Northwest China[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2025, 30(12): 23-39.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2025.12.03

西北地区农作制度发展现状、问题及对策建议

殷文 柴强* 李玲玲 赵财 于爱忠 谢军红 樊志龙 胡发龙 赵连豪

(省部共建旱生境作物学国家重点实验室/甘肃农业大学农学院, 兰州 730070)

摘要 西北地区是我国重要的生态屏障和粮食与特色农产品生产基地,其农作制度的发展对保障国家粮食安全、促进区域农业可持续发展和加快农业高质量转型具有重要意义。本研究系统梳理了西北地区以旱作农业为主、种植业与畜牧业并重的发展现状,并从生态系统脆弱、资源性缺水与浪费并存、农产品需求结构变化、经济利益与环境友好矛盾、经营主体对现代农业科技的认知与创新能力不足、农业从业人员数量与结构弱化、干旱与贫困叠加等多维度深入分析了西北农作制度发展面临的挑战。同时,从国家农业现代化战略、科技创新驱动、自然资源开发潜力以及现有特色农作制优势等方面,系统剖析了西北农作制度发展的机遇。此外,全面总结了西北地区节水农作制、保护性农作制、多熟农作制、规模化商品农作制、果粮/经/肥复合农作制和农牧循环农作制等典型实践案例。未来,西北地区农作制度将朝着节水高效、生态友好、特色优质、智慧农业和产业融合的全方位发展,通过推广节水灌溉技术、发展生态循环农业、打造特色农业品牌、应用现代信息技术以及促进农业与二三产业深度融合,进而推动农业现代化和可持续发展。

关键词 西北地区; 农作制度; 发展现状; 典型实例; 农业现代化

中图分类号 S344

文章编号 1007-4333(2025)12-0023-17

文献标志码 A

Development status, problems, and suggestions for improvement of farming systems in Northwest China

YIN Wen, CHAI Qiang*, LI Lingling, ZHAO Cai, YU Aizhong, XIE Junhong,
FAN Zhilong, HU Falong, ZHAO Lianhao

(State Key Laboratory of Arid-land Crop Science, College of Agronomy, Gansu Agricultural University,
Lanzhou, 730070, China)

Abstract The Northwest region of China serves as a crucial ecological barrier and a significant production base for grains and specialty agricultural products. Developing farming systems of the Northwest region of China is important for ensuring national food security, promoting sustainable agricultural development, and high-quality transformation. This article systematically reviews the current state of farming systems in the Northwest of China, with equal emphasis on planting and animal husbandry. This study also delves into the multifaceted challenges facing the development of agricultural systems in Northwest China, including fragile ecosystems, co-existing water scarcity and wastage, evolving demands for agricultural products, conflicts between economic interests and environmental sustainability, a lack of awareness and innovation capabilities of modern agricultural technologies among stakeholders, weakened number and structure of the agricultural workforce, and the

收稿日期: 2025-05-05

基金项目: 甘肃省科技计划项目(25JRRA347, 24ZDNA008);国家自然科学基金项目(32372238, U21A20218);甘肃省高校产业支撑计划项目(2025CYZC-037);中国农业大学对口支援联合基金项目(GSAU-DKZY-2024-001);甘肃省青年科技攻关“揭榜挂帅”项目(GQK2024030)

第一作者: 殷文(ORCID:0000-0002-5035-6158),教授,主要从事绿色低碳种植制度研究,E-mail: yinwen@gsau.edu.cn

通讯作者: 柴强(ORCID:0000-0002-4697-8712),教授,主要从事现代农作制度研究,E-mail: chaiq@gsau.edu.cn

combination of drought and poverty. Simultaneously, the opportunities for the development of farming systems in the northwest China were systematically analyzed from the aspects of national agricultural modernization strategies, innovation-driven scientific advancements, the potential for natural resource development, and the advantages of existing specialized farming systems. Furthermore, typical practical cases of water-saving farming system, protective farming system, multi cropping farming system, facility farming system, large-scale commercial farming systems, integrated fruit-grain/fruit-economic crops/fruit-green manure systems, and agro-pastoral circular production systems in the northwest region were comprehensively summarized. In the future, the farming systems in the northwest region will evolve towards water-efficient, eco-friendly, high-quality, smart agriculture, and industrial integration. Agricultural modernization and sustainable development should be driven by promoting the application of water-saving irrigation technology, developing eco-circular agriculture, building characteristic agricultural brands, applying modern information technology, and accelerating the deep integration of agriculture with secondary and tertiary industries.

Keywords Northwest region; farming system; development status; typical instance; agricultural modernization

农业是国民经济的基础,农作制度作为农业生产的核心议程,直接影响着粮食安全与农业可持续发展。西北地区作为我国重要的生态屏障和农业生产区,其农作制度的发展对区域乃至全国的农业现代化进程具有重要意义。近年来,随着全球气候变化、资源环境约束加剧以及农业科技的飞速发展,西北地区农作制度面临着前所未有的机遇与挑战。一方面,传统粗放的农业生产方式难以为继,资源投入大但利用效率低、生态环境承载力大等问题日益凸显^[1];另一方面,现代农业科技的进步为农作制度转型升级提供了新思路 and 手段,精准农业和智慧农业等新兴业态不断涌现^[2-3]。在此背景下,深入研究西北农作制度发展现状、分析其面临的机遇与挑战、归纳总结区域典型农作制模式、探索现代化发展趋势、提出可持续农作制度发展的对策建议,对于推动西北地区农业绿色发展与高质量转型、保障国家粮食安全、促进乡村振兴具有重要的现实意义。本研究将从西北农作制度的现状特征、存在问题、发展机遇、现代化趋势和对策建议等方面进行系统分析,以期对西北地区农作制度转型升级提供理论参考和实践指导。

1 西北地区农作制度发展现状

西北农作制度呈现多元化和适应性强的特点。由于该地区气候干旱、水资源匮乏,传统农作制度逐渐向高效节水增效模式转型^[4]。传统灌溉方式逐渐被滴灌和喷灌等高效节水技术取代^[4],配合地膜覆盖、秸秆还田等措施,显著减少水分蒸发、增强雨水蓄积能力,为作物高效用水创造了适宜的水分环

境和提供了实践价值^[5-7]。面对土壤退化和风沙侵蚀,保护性耕作与轮作休耕制度得到推广,旨在减少土壤养分流失,改善土壤结构,提高土地生产力^[8-10]。西北防沙治沙工程的植被恢复与土壤改良等措施显著减缓了荒漠化扩张速率,实现生态修复^[11-12]。依托独特的气候和地理条件,结合生态和有机农业模式,大力发展特色农业,如高原夏菜、枸杞、葡萄、苹果和红枣等经济作物带,其种植规模不断扩大,提升了农业附加值,成为当地农业经济的重要支柱^[13-14]。现阶段,农业机械化水平不断提高,规模化经营模式逐渐普及,推动了农业生产的集约化和现代化进程^[15]。在政策支持和科技创新的驱动下,西北地区农作制度正朝着高效、生态、绿色和可持续发展的方向发展,但仍亟需进一步解决水资源短缺和生态环境脆弱等长期挑战。

2 西北地区农作制度发展面临的挑战与机遇

2.1 西北地区农业发展面临的挑战

2.1.1 旱区覆盖面积大,资源性缺水与水资源浪费严重问题并存,生态系统极其脆弱

西北地区因干旱半干旱气候和复杂地理条件,形成绿洲灌区与黄土高原两大生态脆弱区。绿洲灌区呈现“山地-绿洲-荒漠”格局^[16],面临水资源过度开发引发的荒漠化、盐碱化及湖泊干涸等问题^[17-18];黄土高原则因土质疏松、降水集中导致严重水土流失,虽经退耕还林局部改善,但水资源短缺仍制约生态恢复^[19-21]。两区域共同面临水资源短缺、土地退化和植被破坏三大挑战,亟需统筹生态

保护与经济发展,加强水资源管理和生态修复技术应用。西北旱区占全国旱地 30% 以上,水资源总量不足且分布不均,农业用水矛盾突出^[22-23]。现存农作制中,传统漫灌占比较大,灌溉设备年久失修,输水设施落后,蒸发与漏水严重,导致农业用水浪费严重^[24-27]。粮食作物高产源于水资源大量投入,但其水分利用效率(WUE)偏低。经调研发现,小麦漫灌与滴灌 WUE 平均为 16.5 与 21.0 kg/(hm²·mm);玉米漫灌与滴灌 WUE 平均为 28.5 与 37.5 kg/(hm²·mm);棉花需水量多,与粮食作物争水抢水现象更加突出,但漫灌与滴灌 WUE 仅为 7.5 与 19.5 kg/(hm²·mm)^[28]。总之,膜下滴灌较传统漫灌 WUE 提升 30% 以上^[29]。现阶段,黄土高原平均农田降水储蓄率约为 40%,采用覆盖耕作可提高至 50% 以上,旱作农田降水生产潜力可达 60%,提高玉米单产 750~1 125 kg/hm²、小麦单产 300~450 kg/hm²^[30-31]。工业低效用水和输配水系统损耗加剧了水资源浪费,与资源性缺水形成叠加效应,成为区域可持续发展的主要瓶颈。

2.1.2 经济利益为重的生产方式与环境友好之间的矛盾突出

西北地区一直以经济利益为重的粗放型生产方式与生态环境脆弱性之间的矛盾日益突出。过度开发水资源、土地荒漠化加剧以及农业面源污染等问题,严重威胁区域生态安全^[4,32-34]。例如,农业灌溉效率低下导致河水断流、湖泊萎缩,过度放牧和滥垦滥伐加剧了土地退化,化肥农药的过量使用则污染了水体和土壤^[4,32-34]。这些环境问题不仅制约了农业可持续发展,也影响了区域居民的生活质量。这一矛盾的根源在于西北地区经济发展相对落后,生产者更倾向于追求短期经济利益,而环境保护意识滞后。经济利益的驱动使得一些企业和个人忽视环境成本,进一步加剧了生态恶化。

2.1.3 经营主体对现代农业科技的认知与再创新能力不足

西北地区农业经营主体对现代农业科技的认知正在逐步提升,但整体水平仍存在不足。随着农业现代化的推进,越来越多的农户、合作社和企业开始认识到科技对提高农业生产效率、降低农资成本和提升农产品品质的重要性。例如,节水灌溉、智能农机和精准施肥等技术在部分地区的推广应用,显著提高了资源利用效率和农业产出能

力^[4,29,35]。然而,由于信息获取渠道有限、科技推广体系不完善以及传统生产观念的束缚^[35],许多经营主体对现代农业科技的认知仍停留在表面,缺乏深入理解和主动应用的动力。

2.1.4 农业从业人员数量与结构的多维度弱化

西北区农业从业人员数量近年来呈明显减少趋势,且结构性问题日益突出。随着城镇化进程加快,大量青壮年劳动力选择进城务工,导致农村劳动力流失严重^[36]。同时,《2025 中国农业农村发展趋势报告》^[37]显示,西北农民收入增速低于全国平均水平,其中种粮农户收入增长尤为缓慢,农业劳动力外流现象加剧,进一步削弱了农业生产者的积极性;留守农业从业人员以老年人和女性为主,接受新技术和新理念的能力较弱,体力、技能等方面存在一定局限性,严重制约了农业生产的可持续发展。此外,农业从业人员缺乏专业培训,科技创新能力不足,导致农业科技成果转化率低^[23],进一步加剧了农业现代化进程的滞后。

2.1.5 干旱与贫困叠加导致经济对优化农业生产条件的严重制约

西北常年干旱少雨,水资源匮乏,生态环境脆弱,严重制约了农业生产条件的优化^[4,17]。干旱加剧了土地荒漠化、盐碱化,农业用水短缺,作物产量低且不稳^[34,38]。由于经济发展水平相对落后,地方政府和农民缺乏足够的资金和技术来改善农业基础设施,且农业科技研发和推广应用投入不足,难以有效应对干旱逆境对农业生产带来的挑战^[23,39]。此外,农业机械化、智能化水平较低,农业生产效率低下,导致农民收入增长缓慢,难以积累资金用于改善生产条件^[40]。这种经济上的制约使得西北地区农业长期处于低经济水平发展态势。

2.1.6 市场驱动的农产品需求、农业生产、农村产业结构与粮食安全难以协调

近年来,西北地区经济发展和居民消费升级推动了农产品需求结构的变化,粮食消费占比下降,高附加值的肉蛋奶、果蔬及特色农产品需求显著增长。这种转型虽满足了多元化消费需求,却加剧了市场驱动与粮食安全之间的矛盾^[41]。尤其在生态环境脆弱、水资源匮乏的背景下,种植结构“非粮化”虽提高了农民收入,但也导致区域粮食供应不稳定,凸显了多目标协同优化的难题^[42-43]。如何平衡市场需求与粮食安全,成为西北农业面临的核心

挑战。当前,西北农业生产结构单一,种植业比重过高,畜牧业、林业和渔业发展滞后,抗风险能力弱。粮食作物占比大,经济作物不足,传统生产方式主导,科技含量低,制约了经济效益提升。农村产业结构失衡,第一产业占比高,二、三产业发展不足^[42],农产品加工业规模小、水平低,产业链短,附加值有限^[43]。电商、休闲农业等新业态发展缓慢,难以支撑农村经济转型^[39-40]。此外,农业产业化程度低,龙头企业带动能力有限,农民专业合作社不规范,社会化服务体系不健全,进一步限制了现代农业发展潜力。

2.2 西北地区农作制度发展面临的机遇

2.2.1 国家农业现代化战略带来了强大的发展驱动力

在政策支持和资金投入下,西北农业基础设施持续改善,高标准农田建设和水利工程稳步推进。现代农业技术如节水灌溉、水肥一体化推广应用显著提升了资源利用效率^[24,29]。农业结构不断优化,特色农业、生态农业和农产品加工业快速发展,有效带动农民增收^[35]。新业态蓬勃兴起,农村电商和休闲农业成为农村经济新增长点,正在促进一、二、三产业深度融合。同时,培训新型职业农民,提升农民生产经营能力,增强农业经营主体带动作用,完善社会化服务体系势在必行。在国家战略引领下,西北地区正逐步实现农业生产转型升级,为乡村振兴奠定了坚实基础,展现出农业强、农村美和农民富的良好发展态势。

2.2.2 现代农业科技发展的支撑潜力巨大

西北地区现代农业科技发展潜力大,一是信息与工业技术融合推动精准农业发展,物联网、大数据和智能灌溉系统优化水资源利用,无人机与智能农机提升机械化水平^[44];二是传统农业技术再创新,如节水灌溉和旱作农业结合现代科技,覆膜保墒技术融合生物降解材料,兼顾保水与环保^[45-46];三是寒旱特色资源整合利用,围绕枸杞、葡萄、苹果和百合等特色经济作物,科技优化育种与生态种植、病虫害防治及加工技术,提升附加值。此外,高校、科研机构与企业协同创新,促进产学研深度融合,为农业现代化提供技术支撑和人才保障。通过多维度科技赋能,加速西北地区农业高质量发展,增强区域农业竞争力。

2.2.3 西北地区水土资源开发潜力可观

西北地区亟需加快科技创新,扩大土地资源开

发潜力,实现水资源高效利用。推广滴灌、喷灌、微灌等高效节水技术^[4]和配套水利工程^[47]建设以提高利用效率。同时,逐步推广跨区域调水^[48]和雨水收集技术^[49],缓解区域用水压力。戈壁改良为生态农田成效显著,据报道,宁夏通过“葡萄种植+生态防护林”模式,成功改良戈壁荒漠0.7万 hm^2 左右;新疆采用“暗管排盐+膜下滴灌”技术,使2万 hm^2 盐碱地变为高产良田^[50];甘肃酒泉建成万亩戈壁农业产业园,通过无土栽培实现蔬菜年产量超10万t。因此,未来需结合《全国农业科技创新重点领域》^[51]政策导向,加强水土资源协同管理,推动生态保护与农业发展的良性循环。

2.2.4 西北地区自然资源禀赋利于发展特色农业产业

依托西北地区独特的自然资源禀赋,特色农业产业发展具备天然优势。首先,该地区光照充足、昼夜温差大,适合种植高品质的瓜果、蔬菜和中药材^[52],如新疆的葡萄和哈密瓜、甘肃的苹果和百合,宁夏的西瓜与枸杞等特色优质农产品在国内外市场上备受青睐,通过打造地域品牌有助于提升农业经济效益。其次,西北地区广阔的草地资源为发展特色畜牧业提供了良好基础^[53],青海、甘肃等地的草原适合放牧牦牛、藏羊等特色畜种,其肉、奶、毛等产品具有独特的经济价值。通过科学管理和生态养殖,可实现草场资源的可持续利用,并推动畜牧业与农产品加工业的深度融合,提高附加值,为区域经济发展注入新动能。再次,多样化的地理环境和气候条件为发展多元化特色农业产业提供了优越条件^[54],高海拔地区适合种植中药材,干旱半干旱区可发展耐旱作物和节水农业,河谷地带则适宜发展设施农业和观光农业。通过因地制宜地开发资源,西北地区可以形成独具特色的农业产业体系,推动农业高质量发展,助力乡村振兴。

2.2.5 现有特色农作制奠定了农业现代化的重要基础

西北地区在长期农业生产实践中形成的特色农作制,为农业现代化奠定了重要基础。干旱半干旱地区的节水农业、设施农业和高原地区的生态农业模式,合理利用光、热、水和土地资源,提高了农业生产效率,为现代农业技术的推广和应用提供了实践基础。特色农作制的成功应用也为农业产业化发展提供了有力支撑。西北地区的葡萄、枸杞、

苹果和百合等特色农产品已形成规模化种植,并逐步向精深加工和品牌化方向发展。特别是,牛羊菜果薯药等现代丝路寒旱农业均已形成完整的产业链,带动了区域经济发展和农民增收。这种以特色农作制为核心的农业产业化模式,为农业现代化提供了可复制的经验。特色农作制与现代农业科技的融合,如智能灌溉、精准施肥和无人机植保等先进技术,显著提升生产效率和质量。此外,特色农作制还促进了农业与旅游、文化等产业的深度融合,如休闲农业、观光农业等新业态的兴起,为农业现代化注入了新的活力。

3 西北地区的典型农作制度发展模式

3.1 节水农作制

西北灌区以工程为基础的节水农作制研究进展显著,渠系水利用系数的提升是关键指标之一。通过渠道防渗、管道输水等工程措施,灌区渠系水利用系数从过去的 0.40~0.50 提高至 0.60~0.75,部分高效节水示范区甚至达到 0.80 以上^[55]。例如,新疆塔里木垦区渠系水利用系数达到 0.75~0.81;甘肃河西干、支渠利用系数达到 0.75~0.78;陕西 U 型衬砌渠水利用系数达到 0.85,分渠与引渠达 0.89。然而,部分区域因灌区渠系老化、维护不足及管理水平参差不齐,渠系水利用系数仍低于 0.60,导致水资源浪费严重。

以田间高效灌溉技术为主的节水农作制研究迅速发展,滴灌、喷灌和微灌等高效灌溉技术的农作制模式应用广泛。与传统漫灌相比,滴灌适用于大田、经济作物生产,节水率达 30%~50%,提高作物产量 10%~20%^[56];喷灌适用于大田、设施栽培与高附加值作物生产,节水率在 20%~40%,微灌在小范围精准灌溉中表现优异,节水率达 40%~60%^[24,56]。然而,高效灌溉农作制模式的推广仍面临成本高、技术普及率低及农户接受度不足等挑战。

雨养农作区以土壤水分保蓄为基础的节水农作制研究突出,全膜双垄沟播、等高耕种和秸秆覆盖等技术成为节水农作制模式的关键措施。研究表明,全膜双垄沟播可减少水分蒸发 30%~50%,提高降水利用率 20%~30%,作物增产 15%~25%^[57-58];等高耕种通过减少径流和土壤侵蚀,提高土壤蓄水能力 10%~20%,尤其在坡耕地效果显著^[59-60];秸秆覆盖则能有效抑制水分蒸发,提高土壤

含水量 10%~30%,促进降水入渗,减少地表径流,改善土壤结构^[5,61]。然而,这些农作制模式的推广受限于成本、劳动力投入及区域适应性差异。

3.2 保护性农作制

3.2.1 残茬(秸秆)覆盖农作制

灌溉农业区以残茬(秸秆)覆盖的保护性农作制为主,包括适合农户与合作社的冬小麦复种大豆生态保护型模式^[62]、冬小麦复种油菜周年覆盖生态保护型减排增效模式^[63]、地膜两年利用玉米轮作小麦周年覆盖生态保护型模式^[64]。这些模式通过减少土壤水分蒸发和改善土壤结构,显著提高了水资源利用效率。研究表明,秸秆覆盖可减少土壤水分蒸发 10%~30%,降低灌溉水量 10%~20%,提高土壤有机质含量和保水能力,使作物增产 10%~35%^[65-68]。地膜两年利用降低小麦田土壤水分蒸发 25%~35%,降低灌水量 20%,提高小麦产量 15%~22%^[64,69]。然而,灌溉农业区推广秸秆覆盖技术面临秸秆收集成本高、机械化设备普及率低等问题,需加强技术配套和政策支持,以推动秸秆覆盖技术规模化应用。

雨养农业区残茬(秸秆)覆盖为主的保护性农作制主要包括适合于农户与合作社的冬小麦留茬免耕残茬(秸秆)全程覆盖技术^[70]、留茬深松残茬(秸秆)全程覆盖技术^[70]、全程微型聚水两元覆盖技术^[71],适合于农户与合作社的春玉米倒茬覆盖免耕带状种植技术^[72]、倒茬覆盖免耕膜侧种植技术^[72]、秸秆带状覆盖技术^[73]。秸秆覆盖技术对保蓄降水、减少水土流失和改善土壤墒情具有重要作用。研究表明,秸秆覆盖可提高土壤蓄水量 15%~25%,减少地表径流 30%~50%,并显著降低土壤侵蚀风险,使作物产量提高 10%~30%^[70-74]。尤其在干旱和半干旱地区,秸秆覆盖对缓解水分胁迫效果显著。然而,雨养农业区秸秆资源有限,覆盖技术推广受限于秸秆供应不足和农户传统耕作习惯。

3.2.2 砂砾覆盖农作制

灌溉农业区以砂砾覆盖技术为主的保护性农作制典型模式为适合于农户与合作社的宁夏压砂西瓜/甜瓜,该模式通过减少土壤水分蒸发和改善地表微环境,显著提高了水资源利用效率^[75-76]。研究表明,砂砾覆盖可减少土壤水分蒸发 30%~50%,提高土壤含水量 15%~40%,促进作物早熟和增产 10%~20%^[75-77]。此外,砂砾覆盖还能有效

抑制盐碱土表层的盐分上升,改善土壤结构^[77-78]。然而,砂砾覆盖技术的推广受限于砂砾资源获取成本高、覆盖施工劳动强度大等问题。

雨养农业区以砂砾覆盖技术为主的保护性农作制,适用于农户与合作社的砂石覆盖果园,对保蓄降水、减少水土流失和改善土壤墒情具有重要作用^[79-80]。砂砾覆盖可提高土壤蓄水量20%~40%,减少地表径流50%~70%,降低土壤侵蚀风险,果实增产15%~30%^[77-78]。然而,雨养农业区砂砾资源分布不均,覆盖技术推广受资源获取难度和农户经济条件制约。

3.2.3 轮作制

以轮作为主的保护性农作制在西北灌溉与黄土高原农区广泛使用。其一、禾豆作物轮作,该模式可提高土壤氮素含量15%~25%,减少化肥使用量20%~30%,作物增产10%~20%^[81-82]。其二、粮食作物与多年生牧草的长周期轮作,可改善农田土壤真菌群落结构,促进区域土壤生态系统的稳定性,从而减少土壤侵蚀30%~50%,增加土壤蓄水量20%~30%,提高作物产量10%以上^[83-84]。其三、禾禾轮作,如小麦玉米轮作实现节水节氮20%,提高作物产量15%~22%^[64,69];小麦复种绿肥轮作玉米可节约氮肥20%,在绿肥还田下可提高作物产量15%~27%^[85-86]。因此,采用合理的轮作模式是提升西北地区农田生态系统可持续性的关键措施,能够有效改善土壤质量、实现作物稳产增产,并为区域生态环境保护和农业绿色发展提供了重要技术支撑。

3.3 多熟农作制

3.3.1 间作农作制

西北传统间作模式通过优化资源配置和延长生长季节,显著提高了农业生产力,绿洲灌区因光热资源丰富,适宜发展间作模式。免耕秸秆地膜带状覆盖小麦间作玉米农作制模式增产稳产潜力大,有效缓解了区域水资源短缺问题^[87],较单作增产58%~70%、水分利用效率提高20%~28%、光能利用率(LUE)增加10%~18%、土壤CO₂和N₂O排放量降低28%~35%与23%~34%;较大田玉米节氮90 kg/hm²、节水1 200 m³/hm²。氮肥后移玉米间作豌豆农作制模式^[88]较单作增产35%~66%,氮素利用率提高15%~21%,土壤CO₂和N₂O排放量降低19%~25%和11%~17%;较大田玉米节氮

263 kg/hm²、节水1 950 m³/hm²。马铃薯玉米间作农作制模式较单作增产20%~40%、WUE提高15%~25%、LUE增加10%~15%;此外,减少土壤养分流失20%~30%,降低病虫害发生率15%,增强了生产系统的可持续性^[89]。

3.3.2 两年三熟农作制

近年来,南疆大面积推广棉花-小麦-棉花“两年三熟”农作制模式^[90],通过选育适合该模式的早熟、优质、高产新品种,显著提升单产。同时,集成了水肥一体化、化学调控、地膜覆盖、增密晚播及农机适配等关键技术,形成了“接茬明确、效益显著、适应性强”的技术体系,进一步提升了生产能力的稳定性。通过强化节水、稳产配套栽培技术与新型农机具的融合,该模式为“两年三熟”争取了时间和空间水分利用,实现了资源的高效配置。这一创新模式每年冬小麦增产400万t,农户增收5 850元/hm²,为区域粮食安全作出了积极贡献。此外,该模式通过改善土壤理化性质、增加土壤微生物数量和活性,提升土壤保肥能力和盐碱缓冲性能,成功破除了连作障碍。同时,通过避免冬春季土壤裸露,有效抑制了土壤风蚀沙化,缓解了生态环境恶化问题。

基于西北绿洲地区资源状况,小麦-绿肥→玉米“两年三熟”农作制模式实现了规模化应用,在资源高效利用和生态效益提升方面取得了显著成效^[85-86]。该模式通过优化种植结构和田间管理,实现了节氮20%,玉米增产25%~30%,水氮利用效率分别提高了37%~42%和15%~18%,农户纯收益显著增加35%~40%。该模式通过增加土壤固碳保氮关键微生物群落的多样性、丰度和活性,有效降低了温室气体排放,为作物生长创造了更加健康的土壤环境^[85, 91-92]。通过绿肥作物的引入,不仅改善了土壤结构,还避免了传统耕作方式下土壤裸露导致的风蚀沙化问题,进一步增强了农田生态系统的稳定性,生态服务功能优势凸显。

西北绿洲冬油菜接茬“两年三熟”农作制模式,在提高生产效益和改善生态环境方面取得了显著成效。据调研,将春小麦25~30 cm高茬收割后免耕直播冬油菜,不仅降低了生产成本20%,还显著提高了土地利用效率;次年复种马铃薯、向日葵或早熟玉米等作物,较传统小麦复种油菜模式纯收益提高80%以上。该模式通过实现周年覆盖,土壤风蚀量仅为传统麦田的1/25,显著改善了土壤理化性

质,提高了土壤有机质含量和保水保肥能力,进一步提升了土壤质量和农田生态环境。此外,该模式通过减少耕作次数和优化作物布局,降低了温室气体排放,为缓解气候变化提供了农业解决方案。

3.3.3 一年两熟农作制

内陆河灌区正在推广一种适合农户和合作社的小麦/蔬菜复种绿肥提质增效农作制模式^[93-94],实现了节氮 20%~30%,小麦与蔬菜纯收益可增加 8%与 20%以上。小麦籽粒的沉降值、蛋白质含量和湿面筋含量分别提高了 29%~47%、12%~16%和 9%~12%;娃娃菜的软腐病和干烧心发病率分别降低 15%~65%和 23%~78%,维生素 C 和可溶性糖含量分别增加 5%~19%和 5%~23%。绿肥提升了土壤固碳保氮潜力,降低了温室气体排放,改善了土壤结构和微生物活性,减少了化肥使用,为农业绿色发展提供了重要支撑。

甘肃河西走廊推广一种适合农户和合作社的内陆河灌区春小麦复种油菜耕地培育农作制模式^[95],复种油菜可多利用 40 mm 以上降水,产值提高 35%,向土壤补充 2 500 kg/hm² 有机质和 40 kg/hm² 的氮磷钾养分,土壤结构改善和肥力提升。复种油菜显著增强农田碳汇能力,降低了温室气体排放,减少了土壤裸露时间,有效抑制了风蚀和水土流失,构建起兼顾生产效益与生态韧性的可持续种植制度。

新疆绿洲灌区成功研发的冬小麦复种大豆减投增产增效农作制模式^[62],实现了增产 30%以上,提高光能利用率 30%以上,提升水分利用效率超过 13%,显著增加了农户收入。通过接种根瘤菌技术,增强了大豆的固氮能力,减少了化学氮肥投入量。同时,小麦秸秆与大豆根茬协同还田增加了有机物还田量,进一步改善了土壤质量,为农业绿色转型提供兼具生产力与生态服务功能的解决方案。

黄土高原正在推广一种适用于农户和合作社的冬小麦复种夏玉米增产增效农作制模式^[96-97],较单作增产 126%、节氮 69%。通过合理施氮配合秸秆还田,显著提升了 0~20 cm 土层土壤有机碳、全氮及微生物量碳氮含量。此外,该模式还增加了土壤固碳关键微生物群落的丰度和多样性,有效降低了温室气体排放,“碳氮互作-微生物驱动”的生态调控为改善农田生态环境质量提供理论依据。

3.4 规模化商品农作制

3.4.1 制种玉米商品农作制

西北气候干旱、水资源匮乏,规模化商品农作制成为提高农业生产效率和经济效益的重要途径^[98]。近年来,通过优化农作制模式,制种玉米产量与商品率明显提升^[99]。据统计报告,2024 年制种玉米平均产量达到 6 750~7 500 kg/hm²,其中张掖市等核心产区最高产量突破 8 000 kg/hm²。当前主推“宽窄行覆膜栽培+水肥一体化+全程机械化”的高产模式,配套应用精量播种、去雄授粉和籽粒直收等关键技术,使制种周期缩短 10~15 d,人工成本降低 30%以上。然而,该地区仍面临水资源利用率偏低、连作障碍加剧等问题。未来需进一步推广节水灌溉技术,优化轮作制度,并加强病虫害绿色防控。

3.4.2 棉花商品农作制

西北地区作为我国重要的优质棉生产基地,已形成独具特色的商品棉农作制模式^[100]。2024 年,新疆棉花种植面积达 245 万 hm²,总产量达 569 万 t,分别占全国的 86%和 92%,其中机采棉达到 90%。当前主推“宽膜覆盖、精量播种、水肥一体化、全程机械化”的现代化种植模式,配套应用无人机植保、智能滴灌等新技术,使棉花生产综合机械化水平达到 94%。该模式在 2024 年新疆棉花平均产量达 2 324 kg/hm²,高于全国单产 30%以上。然而,西北棉区仍面临水资源约束加剧、土壤盐渍化等挑战。未来需进一步推广节水抑盐技术,优化种植结构,提升棉花品质。

3.4.3 酿造葡萄/苹果/马铃薯等商品农作制

西北地区依托独特的自然条件,已形成酿造葡萄^[101]、苹果^[102]和马铃薯^[103]等特色商品农作制模式。2022 年以来,该区酿酒葡萄种植面积稳定在 3.7 万 hm²,产量 42 万 t,其中宁夏贺兰山产量达 12 000~15 000 kg/hm²,据报道,依托物联网设备采集葡萄园微环境数据,可预测霜冻和病虫害风险,使减产损失降低 15%以上。苹果种植面积突破 66.7 万 hm²,产量达 1 200 万 t,优质果率提升至 85%,陕西“智慧果园”通过无人驾驶、采摘机器人及区块链溯源系统,减少人工成本 40%,实现农产品增值 10%。马铃薯种植面积稳定在 100 万 hm²,产量达 1 800 万 t,其中甘肃定西市脱毒种薯覆盖率达 100%,商品薯产量达 37.5 t/hm²。当前主推“标准

化种植+水肥一体化+机械化作业+品牌化营销”的现代农业模式,配套应用物联网监测和无人机植保等新技术,使综合机械化水平提升至65%。然而,仍面临精深加工不足、冷链物流体系不完善等挑战。未来需进一步延伸产业链条,提升产品附加值。

3.5 果粮/经/肥复合农作制

3.5.1 果粮农作制

西北果粮复合农作制模式呈现多元化、特色化发展格局。“枣树||小麦”间作在南疆推广12万 hm^2 ,纯收益达12.8万元/ hm^2 ^[104]。“桃树||花生”间作在新疆与陕西渭北应用面积超过4万 hm^2 ,增收5.3万元/ hm^2 ^[105]。“苹果||马铃薯”间作在甘肃陇东推广面积突破6万 hm^2 ,土地利用率提升40%,产值达18万元/ hm^2 ^[106]。2022—2024年,西北地区果粮间作总面积稳定在40万 hm^2 ,带动50万农户年均增收25%以上,综合产值突破300亿元。当前主推“矮化密植+智能灌溉+机械化作业”的标准化生产体系,配套无人机植保和物联网监测技术,使生产成本降低20%。然而,仍存在果粮间作农作制系统优化不足、机械化适配性差等问题。未来需进一步加强模式创新,研发专用农机装备,完善技术服务体系。

3.5.2 果经农作制

西北果经复合农作制模式呈现多元化创新发展态势,特别是“棉花||枣树”间作在南疆推广8万 hm^2 ,纯收益达18万元/ hm^2 ^[107]。经调研,该区存在一些自行发展模式,“药材||梨树”间作在甘肃陇南种植超过3.3万 hm^2 ,增收9万元/ hm^2 ;“甜瓜||苹果树”间作在陕西渭北种植2万 hm^2 ,产值达22.5万元/ hm^2 ;“胡萝卜||葡萄”“花生||葡萄”间作在甘肃河西推广2.7万 hm^2 ,增收6.8万元/ hm^2 。2022年以来,西北果经间作总面积均突破20万 hm^2 ,综合产值超过200亿元。当前主推“立体种植+精准灌溉+绿色防控”生态化生产体系,配套应用智能水肥一体化系统,提升资源利用效率40%,减少化肥农药25%。然而,仍存在模式标准化程度不高、机械化作业难度大等问题。未来需进一步加强模式优化,研发专用农机装备,完善产业链条,推动果经农作制向标准化、智能化和品牌化方向发展。

3.5.3 果肥农作制

在国家绿肥产业技术体系的支撑下,西北果肥复合农作制模式在生态农业建设中的功能定位逐步深化,成为促进农业绿色发展的重要技术路径。

经调研,“枣树||绿肥”间作在南疆推广13.3万 hm^2 ,土壤有机质含量年均提升0.2%;“苹果树||绿肥”间作在黄土高原推广突破20万 hm^2 ,增加效益2.4万元/ hm^2 。“梨树||绿肥”间作在绿洲灌区应用超过5.3万 hm^2 ,减少化肥30%;“葡萄||绿肥”间作在宁夏贺兰山东麓应用约3.3万 hm^2 ,提高生产效益25%。2022年以来,西北地区果肥间作总面积均达36万 hm^2 ,累计减少化肥15万t,土壤有机质含量提升12.5%。当前主推“生草覆盖+自然还田+生态调控”的绿色生产农作制模式,配套生草和绿肥翻压还田技术,显著提升果园生态系统稳定性。然而,仍存在绿肥品种单一、还田技术标准化不足等问题。未来需进一步优化绿肥种植模式,研发专用还田机械,完善技术规范,推动形成生态优先、标准引领和效益驱动的良好发展格局。

3.6 农牧循环农作制

农牧循环农作制成为西北一种高效、可持续的农业发展路径,形成了经济生态效益协同提升的发展范式^[108]。该模式通过将种植业与养殖业有机结合,实现了资源高效循环利用和农业生产的生态化发展。研究主要集中在种养结合模式优化、废弃物资源化利用、生态效益评估以及技术集成推广等方面。陕西和甘肃陇东“果-草-畜”循环模式,在果园中种植牧草发展养殖业,养殖废弃物作为有机肥施用于果园,既提高了果园产量,又增加了养殖收益,形成了高效的农牧循环系统。甘肃陇南“畜-沼-果”循环模式,将养殖废弃物用于沼气生产,沼液和沼渣作为有机肥施用于果园,既解决了养殖污染问题,又提高了果实产量和品质,实现了经济和生态效益的双赢;宁夏与甘肃陇中“草-畜-肥”循环模式,通过种植优质牧草发展养殖业,养殖废弃物加工为有机肥还田,既改善了土壤结构,又提高了牧草和作物产量。甘肃河西与青海“粮-畜-肥”循环模式,结合粮食种植与牛羊养殖,将养殖废弃物转化为有机肥施用于农田,既减少了化肥使用,又提高了土壤肥力,推动了区域农业的绿色可持续发展。新疆“棉-畜-肥”循环模式,实现养殖废弃物转化为有机肥施用于棉田,既减少了化肥使用,又提高了棉花产量和品质,实现了资源的高效循环利用。西北农牧循环生产农作制的研究与实践取得了突破性进展,但标准化、绿色化程度仍然不足,通过优化种养结合模式、推广废弃物资源化利用和生态化管理,有效提升了资源利用效率和经济效益。

4 西北地区农作制度现代化的基本趋势

4.1 现代化视野下的农作制度认识

在现代化视野下,农作制度不仅是农业生产的技术体系,更是实现农业可持续发展、保障粮食安全和促进农村经济繁荣的重要途径。种植制度方面,在充分考虑作物布局、结构、熟制、种植模式和机械化等基础上,朝着智慧型精准种植方向发展,构建“天空地”一体化监测系统,实现作物精准管理,提升水肥利用效率20%~30%,单位面积产值年均增长10%以上。养地制度方面,在持续完善农田基本建设、土壤培肥改良和水土资源协同调控等传统养地体系基础上逐步向现代养地制度数字化生态保育转型,通过建立土壤健康数据库和智能决策系统,精准实施养地措施,力争年均提升土壤有机质0.2%~0.3%,农田生态系统稳定性显著增强。产业升级方面,基于机械化、智能化、适度规模化和现代经营等手段,将向全价值链融合创新迈进,通过发展智慧农业和数字乡村,预计到2025年底农产品加工转化率突破70%,农业新业态收入占比超过40%。这种功能重构体现了西北农作制向数字化、生态化和融合化方向发展的战略取向,将为区域农业农村现代化提供新引擎。

在农业现代化背景下,西北农作制优化应以实现“绿、优、新”为目标,通过系统化路径推进功能升级。在“绿”方面,构建生态循环型农作制,推广节水灌溉和有机肥替代技术。在“优”方面,发展优质高效型农作制,优化“果粮、果肥间作”“果经复合”等模式,提高土地产出率和优质农产品供给能力。在“新”方面,创新智慧数字型农作制,建设智慧农业示范基地,进一步提升农业生产效率和农业科技贡献率。实现从资源消耗向追求绿色生态可持续、农产品数量满足向质量满足的功能转变,推动西北农作制从传统生产功能向绿色化、优质化和智能化方向转型升级的战略取向,为区域农业高质量发展提供新动能。

4.2 西北农作制度发展的基本趋势

4.2.1 复合型

西北水资源约束、生态脆弱,农作制度的发展正朝着复合性方向迈进,以实现资源高效利用和农业可持续发展。复合性农作制度通过将种植业、养殖业和林业等多种农业形式有机结合,形成

多元化的生产模式。例如,果粮间作、果肥间作和林草畜结合等模式不仅提高了土地利用效率,还增强了农业生态系统的稳定性。这种复合性趋势不仅能够缓解资源环境压力,还能提升农业生产的综合效益,为西北地区农业的可持续发展提供了新路径。

复合型农作制度的发展还体现在产业链的延伸和多功能农业的推广之上。通过将农业生产与加工、旅游、文化等产业深度融合,形成“农业+”模式,如休闲农业、观光农业和生态农业等,进一步提升了农业附加值。此外,复合型农作制度还注重生态效益与社会效益的结合,通过推广节水灌溉、有机肥料使用等技术,减少农业对环境的负面影响。这种复合性趋势不仅推动了农业现代化,还为西北区乡村振兴和农民增收提供了重要支撑。

4.2.2 绿色化

为了深度践行农业绿色发展理念,西北农作制度发展以实现农业与生态环境的协调为目标,走绿色化可持续发展之路。绿色化农作制度强调减少对自然资源的过度依赖和环境污染,通过推广节水灌溉、有机肥料使用和病虫害绿色防控等技术,降低农业生产对水、土壤和生态系统的负面影响。例如,膜下滴灌、水肥一体化等技术的应用,显著提高了水资源利用效率;有机农业和生态循环农业模式的推广,减少了化肥和农药的使用,改善了土壤健康。绿色化农作制度不仅有助于缓解西北地区的生态压力,还为农业可持续发展提供了重要保障。

绿色化农作制度的发展还体现在农业多功能性和生态效益。通过发展林草结合、农牧循环等模式,农业不仅提供农产品,还承担了生态修复、碳汇功能等角色。例如,退耕还林还草工程的实施,既恢复了生态环境,又为农民提供了新的收入来源。此外,绿色化农作制度还推动了农业品牌化和市场化,绿色农产品和有机食品的市场需求不断增长,为区域农业转型升级提供了新机遇。绿色化不仅是西北农作制度发展的必然趋势,也是实现农业现代化和乡村振兴的重要路径。

4.2.3 适机械化

西北地广人稀、劳动力持续流失的现实挑战,结合农业现代化趋势,区域农作制度正加速向全程机械化方向转型,以提高农业生产效率和降低劳动

强度。适机械化农作制度通过推广适应规模化、标准化生产的农业机械,如播种机、收割机和植保无人机等,显著提升了农业生产的机械化水平。例如,在甘肃河西走廊和新疆棉区,大规模机械化作业已成为主流,不仅提高了作物产量,而且降低了生产成本。适机械化农作制度不仅为西北农业现代化提供了重要支撑,也为解决劳动力短缺和农业规模化经营奠定了基础。

通过引入智能农机、物联网和大数据技术,实现了对农田环境的实时监测和精准管理。陕西杨凌农业示范区通过智能化农机和精准灌溉系统,显著提高了资源利用效率和作物产量。适机械化不仅是西北农作制度发展的必然趋势,也是实现农业高效、集约化生产的关键路径。未来,随着技术的不断进步和推广,将破解“谁来种地”的现实困境,适机械化农作制度将为西北区农业现代化和乡村振兴提供强有力的装备支撑和技术保障。

4.2.4 智能(慧)化

西北地区气候条件复杂、资源分布不均,农作制度发展正向智能化(智慧化)转型,以应对农业生产中的精准管理和高效利用需求。智能化农作制度通过引入物联网、大数据和人工智能等现代信息技术,实现了对农田环境、作物生长和资源利用的实时监测与精准调控。陕西杨凌农业示范区,智能灌溉系统和无人机植保技术的应用,显著提高了水肥利用效率和病虫害防治效果。智能化农作制度不仅提升了农业生产的科技含量,还为西北农业的精细化管理和可持续发展提供了新方案。

智能化农作制度的发展还推动了农业全产业链的数字化转型。通过构建农业大数据平台和智能决策系统,实现了从种植、管理到销售的全流程智能化。甘肃张掖市利用智慧农业平台,实现了对日光温室环境的远程监控和自动化管理,大幅提高了蔬菜生产的效率和质量。智能化不仅是西北农作制度发展的必然趋势,也是实现农业现代化和乡村振兴的重要驱动力。未来,随着技术的不断进步和普及,智能化农作制度将在西北地区农业高质量发展中发挥更加重要的作用。

4.2.5 专业化兼规模化

西北地域广阔但人烟稀少、资源分布不均,农作制度发展必须迈向专业化兼规模化,以提高农业生产效率和市场竞争力。专业化农作制度通过

优化作物布局和生产技术,推动农业生产的精细化和标准化。绿洲灌区专注于玉米和小麦的规模化种植,采用机械化作业和精准施肥技术,显著提高了产量和品质。规模化经营通过土地流转和合作社模式,整合分散的土地资源,形成连片种植和统一管理,进一步降低了生产成本,提升了农业效益。

专业化兼规模化农作制度还体现在产业链的延伸和区域特色农业的发展之上。通过聚焦优势产业,如新疆棉花、宁夏枸杞和甘肃苹果,形成了具有区域特色的专业化生产带。例如,新疆通过规模化种植棉花,结合膜下滴灌技术,不仅提高了产量,还打造了具有市场竞争力的棉花品牌。这种专业化与规模化的结合,不仅推动了农业产业化发展,还为农民增收和区域经济增长提供了重要支撑。未来,通过推广高效种植技术、完善社会化服务体系 and 加强品牌建设,构建“科技驱动-规模经营-品牌增值”三位一体的新型农作制度体系,将进一步实现农业高质量发展。

4.3 西北地区农作制度发展的重点展望

西北地区农作制度的发展未来将聚焦于资源高效利用、生态可持续性和农业现代化,以应对气候干旱、生态脆弱和资源匮乏的现实挑战。首先,节水优先和资源节约型农作制度将成为重点发展方向。通过推广滴灌、喷灌和微灌等高效节水技术,结合水肥一体化管理,显著提高水资源利用效率。同时,优化作物布局和种植结构,培育耐旱作物品种和发展特色农业,进一步缓解资源压力。其次,生态循环农业和绿色农业将成为西北农作制度发展的核心内容。通过推广“畜-沼-果”“草-畜-肥”等循环模式,实现农业废弃物的资源化利用,减少环境污染。发展有机农业和绿色种植,减少化肥和农药使用,提升农产品品质和市场竞争力。最后,智能化和规模化将是西北农作制度现代化的重要方向。通过引入物联网、大数据和人工智能技术,推动精准智慧农业发展,实现农业生产的智能管理和高效运营。通过土地流转和合作社模式,推动农业规模化经营,降低生产成本,提高市场竞争力。西北地区农作制度的系统性创新,正在构建“绿色化引领-数字化赋能-融合化发展”的新型农业生态,将为区域农业现代化和乡村振兴注入强劲动力。

5 西北可持续农作制度发展的对策建议

5.1 优化区域作物布局,积极推进粮食种植制度改革,规划建设西北粮仓

建议根据自然地理特点与农业实际,充分挖掘热量和水资源承载潜力,细化绿洲灌区与黄土高原作物布局方案,因地制宜配置单作玉米、小麦和马铃薯,小麦间作玉米、玉米间作大豆、花生,“绿肥+”主栽作物等种植模式。建议把绿洲灌区与黄土高原旱作粮仓建设工程纳入国家“十五五”发展规划,集中打造旱区粮仓。要在稳定平原、盆地和灌溉农业区粮食产能基础上,坚持农田用养结合,集成应用保护性耕作、土壤轮耕及基于绿肥的多样化制度,稳定粮食生产可持续性,重点提高黄土旱塬区、长城沿线风沙丘陵区 and 黄土丘陵沟壑区的旱作粮食生产能力,打造黄土旱塬区粮食增产片区和长城沿线风沙区粮食高产区,积极推进粮食种植制度改革,全面提升旱区粮食综合生产能力。

5.2 强化区域性差异化水资源管理,多措并举消减耕地荒漠化与盐碱化障碍

建议优化农业水资源调配体系,统筹地表水、地下水、非常规水源、跨流域和跨区域调水等水源,构建多源互补的水资源联合调度网络。建议以流域为单元实施水资源统一规划,建立权威高效的流域农业水资源管理体制,合理调度和集中管理;建立适应市场经济原则和流域水资源特点的水价体系,加强水资源可持续利用。同步推广膜下滴灌、微灌等节水技术,因地制宜发展适水种植制度,推动耕作与灌排制度优化。多措并举推进耕地盐碱化综合防治,应融合灌溉排水与农业生物化学措施,加速耐盐碱作物品种选育,分类推进盐碱地综合治理,通过耐旱耐盐碱作物种植与生态修复相结合,全面提升水资源可持续利用水平与耕地质量。

5.3 大力推进绿色种养循环农业、促进农业绿色高质量发展

西北地区应积极推进种养循环农业模式,实现农业废弃物的资源化利用,减少环境污染。例如,推广“种植-养殖-沼气-肥料”一体化模式,将农作物秸秆、畜禽粪便等废弃物转化为沼渣或有机肥,既减少环境污染,又为农业生产提供清洁肥源。政府应加强政策引导,鼓励发展农牧结合,提供技术培训和资金支持,推动农业合作社和龙头企业参与生

态农业建设,打造具有西北特色的生态农业品牌,实现农业可持续发展与生态保护的双赢。通过推广有机肥料和生物防治技术,减少化肥和农药的使用,保护土壤健康和生物多样性。应建立生态农业补贴机制,鼓励农民参与循环农业项目,提供技术指导和市场对接服务。

5.4 推动农业智能化,延伸农业产业链,促进农业规模化经营

建议引入物联网、大数据和人工智能技术,发展精准和智慧农业,实现农业生产的智能管理和高效运营。通过建设农业大数据平台,推广智能农机设备,开展农民智能化技术培训,提升农业科技水平。建议推动农业与加工、旅游和文化等产业的深度融合,发展休闲农业、观光农业等新业态,提升农业附加值。应支持农产品深加工和品牌建设,开发农业旅游项目,促进农村一、二、三产业融合发展。建议通过土地流转和合作社模式,推动农业规模化经营,提供规模化经营的技术和资金支持,降低生产成本,提高市场竞争力。

5.5 因地制宜加快高标准基本农田建设,加强生态保护与修复

以绿洲灌区、河谷平原为核心,加快高标准农田建设,完善粮食生产功能区田间设施和灾害监测体系,打造区域集中、产能稳定的粮食生产核心区,确保基本面积,提升粮食综合生产能力。按照因地制宜、集中连片、稳产高产和生态友好的要求,借助工程改造、耕作配肥等方式形成一批旱作高产田。加强耕地质量提升,实施农机深松整地,推广秸秆还田、绿肥种植和调酸压碱等技术,提升耕地产出能力。建议实施退耕还林还草工程,恢复生态系统功能,增强农业生产的生态可持续性。主要通过加大生态补偿力度,推广林草结合、果草间作等生态农业模式,建立生态保护长效机制。

5.6 优化农业生产结构、推动农村产业多元化、不断提升农业产业化水平

建议立足区域资源禀赋,重点发展特色林果业、畜牧业和中药材等高效农业。通过滴灌、喷灌、微灌等节水技术,提高水资源利用效率,发展节水农业,优化农业生产结构。通过发展农产品加工业,延长产业链,提高附加值,促进农民增收;利用西北地区独特的自然风光和文化资源,孵化乡村旅游和农村电商等新业态项目,推动农村产业多元

化。鼓励农民通过土地入股、托管等方式参与规模化生产,推动土地流转和规模化经营。通过加强科技支撑,推广先进技术,提高机械化、信息化水平;通过政策扶持,培育一批带动能力强的农业龙头企业,推动农村产业多元化。通过构建“特色产业+精深加工+新兴业态”的融合发展模式,推动农业增效、农民增收和农村繁荣。

参考文献 References

- [1] 李文华, 成升魁, 梅旭荣, 刘某某, 洪传春. 中国农业资源与环境可持续发展战略研究[J]. 中国工程科学, 2016, 18(1): 56-64
Li W H, Cheng S K, Mei X R, Liu M C, Hong C C. Study on strategies for the sustainable development of China's agricultural resources and environment[J]. *Strategic Study of CAE*, 2016, 18(1): 56-64 (in Chinese)
- [2] Mgendi G. Unlocking the potential of precision agriculture for sustainable farming[J]. *Discover Agriculture*, 2024, 2: 87
- [3] 林晓鹏, 顾天平. 物联网技术在现代农业中的应用概况[J]. 农业工程技术, 2023, 44(5): 84-85
Lin X P, Gu T P. An overview of the application of internet of things technology in modern agriculture[J]. *Agricultural Engineering Information*, 2023, 44(5): 84-85 (in Chinese)
- [4] 马睿, 李云玲, 何君, 张小丽. 我国水资源承载力分析及分区管控对策[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2023, 21(2): 209-217
Ma R, Li Y L, He J, Zhang X L. Water resources carrying capacity analysis and zoning management measures in China[J]. *South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology*, 2023, 21(2): 209-217 (in Chinese)
- [5] Yin W, Fan Z L, Hu F L, Fan H, He W, Zhao C, Yu A Z, Chai Q. No-tillage with straw mulching promotes wheat production via regulating soil drying-wetting status and reducing soil-air temperature variation at arid regions[J]. *European Journal of Agronomy*, 2023, 145: 126778
- [6] Chai Y W, Chai Q, Li R, Li Y W, Yang C G, Cheng H B, Chang L, Chai S X. Straw strip mulching in a semiarid rainfed agroecosystem achieves winter wheat yields similar to those of full plastic mulching by optimizing the soil hydrothermal regime[J]. *The Crop Journal*, 2022, 10(3): 879-892
- [7] Li C, Luo X Q, Wang N J, Wu W J, Li Y, Quan H, Zhang T B, Ding D Y, Dong Q G, Feng H. Transparent plastic film combined with deficit irrigation improves hydrothermal status of the soil-crop system and spring maize growth in arid areas[J]. *Agricultural Water Management*, 2022, 265: 107536
- [8] Wang C G, Ma B, W Y X, Li Z B, Fan S B, Mao C Y, Huo D. Effects of wheat straw length and coverage under different mulching methods on soil erosion on sloping farmland on the Loess Plateau[J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2023, 23(2): 923-935
- [9] He M Z, Ji X B, Bu D S, Zhi J H. Cultivation effects on soil texture and fertility in an arid desert region of northwestern China[J]. *Journal of Arid Land*, 2020, 12(4): 701-715
- [10] Pi H W, Webb P N, Huggins R D, Sharratt B, Li S S. Performance of the single-event wind erosion evaluation program (SWEEP) model in assessing the impact of crop rotation, green manure, fertilizer, and tillage on wind erosion[J]. *Land Degradation & Development*, 2022, 33: 1787-1798
- [11] 石晓琪, 钟天航, 金慧兴, 米素娟, 韩云华, 胡小文, 王彦荣, 祁海燕, 苏瑞东. 不同防风措施对无芒隐子草建植及植被恢复的效果评价[J]. 草业科学, 2024, 41(11): 2508-2516
Shi X Q, Zhong T H, Jin H X, Mi S J, Han Y H, Hu X W, Wang Y R, Qi H Y, Su R D. Effect of various wind protection measures on phytoremediation in coal mines of arid areas[J]. *Pratacultural Science*, 2024, 41(11): 2508-2516 (in Chinese)
- [12] 邵全琴, 刘树超, 宁佳, 刘国波, 杨帆, 张雄一, 牛丽楠, 黄海波, 樊江文, 刘纪远. 2000—2019年中国重大生态工程生态效益遥感评估[J]. 地理学报, 2022, 77(9): 2133-2153
Shao Q Q, Liu S C, Ning J, Liu G B, Yang F, Zhang X Y, Niu L N, Huang H B, Fan J W, Liu J Y. Assessment of ecological benefits of key national ecological projects in China in 2000—2019 using remote sensing[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2022, 77(9): 2133-2153 (in Chinese)
- [13] 杨敬宇. 甘肃区域特色农业现代化政策研究: 基于现代生态农业的视角[D]. 兰州: 兰州大学, 2011
Yang J Y. Study on the modernization of regionalized characteristic agriculture in Gansu: From the perspective of modern ecological agriculture [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2011 (in Chinese)
- [14] 陈蕾, 师东晖. 以新质生产力引领西北地区特色农业高质量发展研究[J]. 新西部, 2024(5): 50-54
Chen L, Shi D H. Research on leading the high-quality development of characteristic agriculture in northwest China with new quality productivity [J]. *New West*, 2024(5): 50-54 (in Chinese)
- [15] 陈学庚, 温浩军, 张伟荣, 潘佛雏, 赵岩. 农业机械与信息技术融合发展现状与方向[J]. 智慧农业(中英文), 2020, 2(4): 1-16
Chen X G, Wen H J, Zhang W R, Pan F C, Zhao Y. Advances and progress of agricultural machinery and sensing technology fusion [J]. *Smart Agriculture*, 2020, 2(4): 1-16 (in Chinese)
- [16] 王宗侠, 刘苏峡. 1990—2020年天山北坡地下水储量估算及其时空演变规律[J]. 地理学报, 2023, 78(7): 1744-1763
Wang Z X, Liu S X. Estimation and spatiotemporal evolution of groundwater storage on the northern slope of the Tianshan Mountains over the past three decades[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2023, 78(7): 1744-1763 (in Chinese)
- [17] 陈亚宁, 李雅, 范煜婷, 王怀军, 方功焕. 西北干旱区气候变化对水文水资源影响研究进展[J]. 地理学报, 2014, 69(9): 1295-1304
Chen Y N, Li Z, Fan Y T, Wang H J, Fang G H. Research progress on the impact of climate change on water resources in the arid region of Northwest China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(9): 1295-1304 (in Chinese)
- [18] 刘婧怡, 李雪玲, 金前. 农业土壤盐碱化修复治理研究进展[J]. 土壤科学, 2023, 11(3): 122-126
Liu J Y, Li X L, Jin Q. Research progress in saline-alkali remediation of agricultural soil[J]. *Soil Science*, 2023, 11(3): 122-126 (in Chinese)
- [19] 傅伯杰, 刘彦随, 曹智, 王壮壮, 武旭同. 黄土高原生态保护和高质量发展现状, 问题与建议[J]. 中国科学院院刊, 2023, 38(8): 1110-1117
Fu B J, Liu Y S, Cao Z, Wang Z Z, Wu X T. Current conditions, issues, and suggestions for ecological protection and high-quality development in Loess Plateau[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2023, 38(8): 1110-1117 (in Chinese)
- [20] 张良侠, 樊江文, 张海燕, 周德成. 黄土高原地区生态脆弱性时空变化及其驱动因子分析[J]. 环境科学, 2022, 43(9): 4902-4910
Zhang L X, Fan J W, Zhang H Y, Zhou D C. Spatial-temporal variations and their driving forces of the ecological vulnerability in the Loess Plateau[J]. *Environmental Science*, 2022, 43(9): 4902-4910 (in Chinese)
- [21] 王理德, 王梓璇, 赵赫然, 宋达成, 陈思航, 吴昊, 闫沛迎. 退耕还林还草发

- 展现状及展望[J]. 世界生态学, 2022, 11(4): 457-463
- Wang L D, Wang Z X, Zhao H R, Song D C, Chen S H, Wu H. Development status and prospect of returning farmland to forest and grassland [J]. *World Ecology*, 2022, 11(4): 457-463 (in Chinese)
- [22] 陈亚宁, 李忠勤, 徐建华, 沈彦俊, 邢晓旭, 谢天, 李稚, 杨林山, 席海洋, 朱成刚, 方功焕, 司建华, 张元明. 中国西北干旱区水资源与生态环境变化及保护建议[J]. 中国科学院院刊, 2023, 38(3): 385-394
- Chen Y N, Li Z Q, Xu J H, Shen Y J, Xing X X, Xie T, Li Z, Yang L S, Xi H Y, Zhu C G, Fang G H, Si J H, Zhang Y M. Changes and protection suggestions in water resources and ecological environment in arid region of Northwest[J]. *Bulletin of the Chinese Academy of Sciences*, 2023, 38(3): 385-394 (in Chinese)
- [23] 邓铭江, 王全九, 陶汪海, 王子天, 曹晶晶. 西北旱区现代农业提质增效发展模式探究[J]. 中国工程科学, 2023, 25(4): 59-72
- Deng M J, Wang Q J, Tao W H, Wang Z T, Cao J J. Development model for improving the quality and efficiency of modern agriculture in the arid region of northwest China[J]. *Chinese Engineering Science*, 2023, 25(4): 59-72 (in Chinese)
- [24] 蔺宝军, 张芮, 高彦婷, 张帅. 西北地区高效节水灌溉技术发展现状及对策[J]. 水利规划与设计, 2019(3): 29-33
- Lin B J, Zhang R, Gao Y T, Zhang S. The current development status and countermeasures of efficient water-saving irrigation technology in northwest China[J]. *Water Resources Planning and Design*, 2019(3): 29-33 (in Chinese)
- [25] 刘仲民. 西北地区农业节水潜力与对策研究[J]. 中国水利, 2022(15): 24-27
- Liu Z M. Studies on potential of agricultural water saving in Northwest China and strategic measures[J]. *China Water Resources*, 2022(15): 24-27 (in Chinese)
- [26] 邢素丽, 王敬霞, 杨军芳, 黄少辉, 聂浩亮, 张静, 杨慧敏, 杨文方, 杨云马, 王磊, 贾良良. 滴灌下肥料管理对小麦产量和碳氮足迹的影响[J]. 农业工程学报, 2025, 41(2): 103-111
- Xing S L, Wang J X, Yang J F, Huang S H, Nie H L, Zhang J, Yang H M, Yang W F, Yang Y M, Wang L, Jia L L. Effects of fertilizer management on wheat yield, carbon and nitrogen footprint under drip irrigation[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2025, 41(2): 103-111 (in Chinese)
- [27] 祁辰, 曹红霞, 何子建, 丁邦新, 李志军. 地表-地下接力式滴灌淋洗对土壤水盐运移及棉花产量的影响[J]. 农业工程学报, 2025, 41(2): 120-133
- Qi C, Cao H X, He Z J, Ding B X, Li Z J. Effects of surface-subsurface relay drip irrigation on soil water and salt transport and cotton yield [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2025, 41(2): 120-133 (in Chinese)
- [28] 高旺盛, 柴强, 殷文, 赵财, 万素梅, 雷钧杰, 吴宏亮. 提升西北内陆干旱绿洲区粮食产能的建议[R]. 农科智库要报, 2024
- Gao W S, Chai Q, Yin W, Wan S M, Lei J J, Wu H L. Suggestions for enhancing grain production capacity in the arid oasis areas of the northwest inland[R]. *The Agricultural Science Think Tank Bulletin*, 2024 (in Chinese)
- [29] 赵明, 李从锋, 钟大森, 张昭. 我国多类型水肥一体化技术进展[J]. 作物杂志, 2020(1): 199-200
- Zhao M, Li C F, Zhong D S, Zhang Z. Progress of multiple types of water and fertilizer integration technologies in China[J]. *Crops*, 2020(1): 199-200 (in Chinese)
- [30] 杨磊, 冯青郁, 陈利顶. 黄土高原水土保持工程措施的生态系统服务[J]. 资源科学, 2020, 42(1): 87-95
- Yang L, Feng Q Y, Chen L D. Ecosystem services of soil and water conservation measures on the Loess Plateau[J]. *Resources Science*, 2020, 42(1): 87-95 (in Chinese)
- [31] 王帅, 傅伯杰, 武旭同, 王亚萍. 黄土高原社会-生态系统变化及其可持续性[J]. 资源科学, 2020, 42(1): 96-103
- Wang S, Fu B J, Wu X T, Wang Y P. Dynamics and sustainability of social-ecological systems in the Loess Plateau[J]. *Resources Science*, 2020, 42(1): 96-103 (in Chinese)
- [32] 王涛, 吴薇, 薛娴, 孙庆伟, 张为民, 韩致文. 近 50 年来中国北方沙漠化土地的时空变化[J]. 地理学报, 2024, 59(2): 203-212
- Wang T, Wu W, Xue X, Sun Q W, Zhang W M, Han Z W. Spatial-temporal changes of sandy decertified land during last 50 decades in northern China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2024, 59(2): 203-212 (in Chinese)
- [33] 汤超. 西北干旱地区基于低碳理念下的农业面源污染防治技术研究[J]. 低碳世界, 2021(6): 62-63
- Tang C. Research on agricultural non-point source pollution prevention and control technologies based on the low-carbon concept in arid areas of northwest China[J]. *Low Carbon World*, 2021(6): 62-63 (in Chinese)
- [34] 林江彪, 王亚娟, 樊新刚. 宁夏农业面源污染的经济驱动特征研究[J]. 干旱区资源与环境, 2021, 35(3): 58-65
- Lin J B, Wang Y J, Fan X G. Research on economic driving characteristics of agricultural non-point source pollution in Ningxia[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2021, 35(3): 58-65 (in Chinese)
- [35] 刘旭, 李文华, 赵春江, 闵庆文, 杨信廷, 刘某承. 面向 2050 年我国现代智慧生态农业发展战略研究[J]. 中国工程科学, 2022, 24(1): 38-45
- Liu X, Li W H, Zhao C J, Min Q W, Yang X T, Liu M C. High-quality development of modern smart ecological agriculture[J]. *Strategic Study of CAE*, 2022, 24(1): 38-45 (in Chinese)
- [36] 张云华. 乡村人口变化趋势是推进乡村建设的重大考量[J]. 中国发展观察, 2024(6): 72-78
- Zhang Y H. The trend of rural population change is a major consideration for promoting rural construction[J]. *China Development Observation*, 2024(6): 72-78 (in Chinese)
- [37] 中国农业大学国家农村发展研究院. 2025 中国农业农村发展趋势报告: 开创乡村全面振兴新局面[R]. 北京: 中国农业大学, 2025
- China Agricultural University National Rural Development Research Institute. China agricultural and rural development trends report: Creating a new phase of comprehensive rural revitalization in 2025[R]. Beijing: China Agricultural University, 2025 (in Chinese)
- [38] 冯起, 尹鑫卫, 朱猛, 张举涛, 刘蔚, 席海洋, 鱼腾飞, 杨林山, 刘文, 陆志翔. 统筹推进西北地区盐碱地综合治理利用: 现状、挑战与对策建议[J]. 中国科学院院刊, 2024, 39(12): 2060-2073
- Feng Q, Yin X W, Zhu M, Zhang J T, Liu W, Xi H Y, Yu T F, Yang L S, Liu W, Lu Z X. Overall promotion of integrated management and utilization of saline-alkali land in Northwest China: Conditions, challenges, and recommendations[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2024, 39(12): 2060-2073 (in Chinese)
- [39] 吴普侠, 蒋晋豫, 方燕, 上官周平. 对西北地区旱作农业高质量发展的思考[J]. 干旱地区农业研究, 2023, 41(3): 21-24
- Wu P X, Jiang J Y, Fang Y, Shanguan Z P. High-quality developmental methods for dryland farming in Northwest China[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2023, 41(3): 21-24 (in Chinese)
- [40] 朱媛媛, 殷颂葵, 刘琼慧. 中国西北地区农业生态效率时空分异及影响因素研究[J]. 干旱区地理, 2024, 47(7): 1210-1219

- Zhu A A, Yin S K, Liu Q H. Spatial and temporal differentiation and influencing factors of agricultural ecological efficiency in northwest China[J]. *Arid Land Geography*, 2024, 47(7): 1210-1219 (in Chinese)
- [41] 刘显. 国际化绿色化背景下中国西北地区粮食安全研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2021
- Liu X. Study on the food security in northwest China under the background of internationalization and greening [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2021 (in Chinese)
- [42] 景娥, 刘元元. 西北地区提升农产品供给质量制约因素研究[J]. 农学报, 2022, 12(12): 81-86
- Jing E, Liu Y Y. Restricting factors of improving supply quality of agricultural products in northwest China[J]. *Journal of Agriculture*, 2022, 12(12): 81-86 (in Chinese)
- [43] 吴方卫, 康姣姣. 农业补贴、要素相对价格与农地流转[J]. 财经研究, 2020, 46(5): 81-93
- Wu F W, Kang J J. Agricultural subsidies, relative prices of factors and agricultural land transfer[J]. *Journal of Finance and Economics*, 2020, 46(5): 81-93 (in Chinese)
- [44] 孙九林, 李灯华, 许世卫, 吴文斌, 杨雅萍. 农业大数据与信息化基础设施发展战略研究[J]. 中国工程科学, 2021, 23(4): 10-18
- Sun J L, Li D H, Xu S W, Wu W B, Yang Y P. Development strategy of agricultural big data and information infrastructure[J]. *Strategic Study of CAE*, 2021, 23(4): 10-18 (in Chinese)
- [45] Dong Q G, Yang Y C, Yu K, Feng H. Effects of straw mulching and plastic film mulching on improving soil organic carbon and nitrogen fractions, crop yield and water use efficiency in the Loess Plateau, China[J]. *Agricultural Water Management*, 2018, 201: 133-143
- [46] Chai Q, Gan Y T, Turne C N, Zhang R Z, Yang C, Niu Y N, Siddique H M K. Water-saving innovations in Chinese agriculture[J]. *Advances in Agronomy*, 2014, 126: 149-202
- [47] 张红泰. 西北地区水利工程建设对节水灌溉效率提升的研究[J]. 水上安全, 2025(3): 77-79
- Zhang H T. Research on the Improvement of water-saving irrigation efficiency in water conservancy project construction in Northwest China[J]. *Maritime Safety*, 2025(3): 77-79 (in Chinese)
- [48] 孙博, 赵晓东, 谷峪, 陈建锋, 张永刚, 郑英, 刘金锋, 郭小雅, 尹晓东, 赵文竹, 曹倩. 跨流域调水工程调度运行评价体系的探索及应用[J]. 水利水电技术(中英文), 2024, 55(S2): 127-133
- Sun B, Zhao X D, Gu Y, Chen J F, Zhang Y G, Zheng Y, Liu J F, Guo X Y, Yin X D, Zhao W Z, Cao Q. Exploration and application of the evaluation system for the dispatching and operation of cross-basin water diversion projects[J]. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 2024, 55(S2): 127-133 (in Chinese)
- [49] 张月荷, 梁霞, 曹浚铂, 张雨晴, 刘小利, 王基金, 任小龙. 跨流域调水工程调度运行评价体系的探索及应用[J]. 节水灌溉, 2022(10): 23-30
- Zhang Y H, Liang X, Cao J B, Zhang Y Q, Liu X L, Wang J J, Ren X L. Research progress of ridge-furrow rainwater harvesting systems[J]. *Water Saving Irrigation*, 2022(10): 23-30 (in Chinese)
- [50] Wang G Z, Ni G, Feng G, Burrill M H, Li J F, Zhang J L, Zhang F S. Saline-alkali soil reclamation and utilization in China: Progress and prospects[J]. *Frontiers of Agricultural Science & Engineering*, 2024, 11(2): 216-228
- [51] 中华人民共和国农业农村部. 全国农业科技创新重点领域(2024—2028年)[Z]. 北京: 中华人民共和国农业农村部, 2024
- Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Key Areas of National Agricultural Science and Technology Innovation (2024-2028) [Z]. Beijing: Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, 2024 (in Chinese)
- [52] Luo H P, Zou N, Hu X Y, Wang S Y. Climatic potential productivity and resources utilization efficiency of major grain crops in the main grain production areas of China, 1980—2019[J]. *Resources Science*, 2021, 43(6): 1234-1247
- [53] 张绚, 马燕燕, 王芳, 郭志辉, 张莫涵. 西北地区土地生态适宜性评价与牧草适应性研究[J]. 草业科学, 2025, 42(2): 455-466
- Zhang X, Ma Y Y, Wang F, Guo Z H, Zhang M H. Study on the coupling of land ecological suitability and forage grass distribution in northwest China [J]. *Pratacultural Science*, 2025, 42(2): 455-466 (in Chinese)
- [54] 姚旭阳, 张明军, 张宇, 王家鑫, 肖涵余. 中国西北地区气候转型的新认识[J]. 干旱区地理, 2022, 45(3): 671-683
- Yao X Y, Zhang M J, Zhang Y, Wang J X, Xiao H Y. New insights into climate transition in northwest China[J]. *Arid Land Geography*, 2022, 45(3): 671-683 (in Chinese)
- [55] 阿依努尔·米吉提. 新疆灌区灌溉水利用系数变化分析[J]. 陕西水利, 2019(1): 70-73
- Ayiner M J T. Analysis of the variation of irrigation water utilization coefficient in Xinjiang irrigation district[J]. *Shaanxi Water Resources*, 2019(1): 70-73 (in Chinese)
- [56] 要家威, 齐永青, 李怀辉, 沈彦俊. 地下滴灌技术节水潜力及机理研究进展[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2021, 29(6): 1076-1084
- Yao J W, Qi Y Q, Li H H, Shen Y J. Water saving potential and mechanisms of subsurface drip irrigation: A review [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2021, 29(6): 1076-1084 (in Chinese)
- [57] 靳乐乐, 乔匀周, 董宝娣, 杨红, 王亚凯, 刘孟雨. 起垄覆膜栽培技术的增产增效作用与发展[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(9): 1364-1374
- Jin L L, Qiao Y Z, Dong B D, Yang H, Wang Y K, Liu M Y. Crop yield increasing and efficiency improving effects and development of technology of ridge-furrow cultivation with plastic film mulching[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2019, 27(9): 1364-1374 (in Chinese)
- [58] Liu C G, Zhou L M, Jia J X, Wang L J, Si J T, Li X, Pan C C, Siddique H M K, Li F M. Maize yield and water balance is affected by nitrogen application in a film-mulching ridge-furrow system in a semiarid region of China[J]. *European Journal of Agronomy*, 2014, 52: 103-111
- [59] 李陶陶. 黄土坡耕地几种典型耕作措施的蓄水保土效益及其对细沟特征的影响研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2020
- Li Taotao. Study on the benefits of soil and water conservation of several typical tillage practices and its effect on rill erosion on sloping farmland in loess plateau, China[J]. Yangling: Northwest A&F University, 2020 (in Chinese)
- [60] 欧阳铖人, 吴伯志. 水土保持耕作措施的研究进展及展望[J]. 云南农业大学学报: 自然科学, 2017, 32(4): 718-726
- Ouyang C R, Wu B Z. A review of soil conservation practices on uplands[J]. *Journal of Yunnan Agricultural University: Natural Science*, 2017, 32(4): 718-726 (in Chinese)
- [61] Wang C G, Ma J Y, Wang Y X, Li Z B, Ma B. The influence of wheat straw mulching and straw length on infiltration, runoff and soil loss [J]. *Hydrological Processes*, 2022, 36(4): e14561
- [62] 房彦飞, 符小文, 徐文修, 刘文, 黄红梅, 张娜, 杜孝敬, 张永杰. 周年施肥对冬小麦—夏大豆轮作产量及土壤氮素含量的影响[J]. 核农学报, 2021, 35(5): 1178-1187

- Fang Y F, Fu X W, Xu W X, Liu W, Huang H M, Zhang N, Du X J, Zhang Y J. Effects of annual nitrogen application on winter wheat-summer soybean rotation yield and soil nitrogen content[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2021, 35(5): 1178-1187 (in Chinese)
- [63] 巨马仁, 辛进喜. 全膜覆土穴播冬小麦后茬复种大豆冬油菜高产栽培技术[J]. *农业科技与信息*, 2013(7): 30-31
- Ju M R, Xin J X. High-yield cultivation techniques for winter wheat sown in holes with full film covering soil, followed by multiple cropping of soybeans and winter rapeseed[J]. *Agricultural Science-Technology and Information*, 2013(7): 30-31 (in Chinese)
- [64] Guo Y, Yin W, Fan Z L, Hu F L, Fan H, Zhao C, Yu A Z, Chai Q, Coulter A J. No-tillage with reduced water and nitrogen supply improves water use efficiency of wheat in arid regions[J]. *Agronomy Journal*, 2020, 112: 578-591
- [65] Yin W, Zhao C, Chai Q, Guo Y, Feng F X, Yu A Z. Effects of previous wheat straw on the yield of maize in the Oasis irrigation region[J]. *Crop Science*, 2017, 57: 3217-3226
- [66] 殷文, 柴强, 胡发龙, 樊志龙, 范虹, 于爱忠, 赵财. 干旱内陆灌区不同秸秆还田方式下春小麦田土壤水分利用特征[J]. *中国农业科学*, 2019, 52(7): 1247-1259
- Yin W, Chai Q, Hu F L, Fan Z L, Fan H, Yu A Z, Zhao C. Characteristics of soil water utilization in spring wheat field with different straw retention approaches in dry inland irrigation areas[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2019, 52(7): 1247-1259 (in Chinese)
- [67] Li P, Yin W, Fan Z L, Hu F L, Zhao L H, Fan H, He W, Chai Q. Improving crop productivity by optimizing straw returning patterns to delay senescence of wheat leaves[J]. *European Journal of Agronomy*, 2024, 159: 127274
- [68] 王月宁, 冯朋博, 李荣, 李培富, 吴文利, 东雯飞, 侯贤清. 不同秸秆还田方式对宁夏扬黄灌区土壤性质及玉米生长的影响[J]. *西南农业学报*, 2019, 32(11): 2607-2616
- Wang Y N, Feng P B, Li R, Li P F, Wu W L, Dong W F, Hou X Q. Effects of different straw returning methods on soil properties and corn growth in Yanghuang irrigation area of Ningxia[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2019, 32(11): 2607-2616 (in Chinese)
- [69] Guo Y, Yin W, Hu F L, Fan Z L, Fan H, Zhao C, Yu A Z, Chai Q, Coulter A J. Reduced irrigation and nitrogen coupled with no-tillage and plastic mulching increase wheat yield in maize-wheat rotation in an arid region [J]. *Field Crops Research*, 2019, 243: 107615
- [70] 薛少平, 朱瑞祥, 杨青, 韩思明, 韩文鑫. 旱地冬小麦自然降水机械化高效生产技术研究[J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2006, 34(1): 1-8
- Xue S P, Zhu R X, Yang Q, Han S M, Han W T. Rainfall mechanical utilization techniques for winter wheat in Loess Plateau dry land[J]. *Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition*, 2006, 34(1): 1-8 (in Chinese)
- [71] 王虎全, 韩思明, 李岗. 渭北旱原冬小麦全程微型聚水两元覆盖高产栽培增产机理研究[J]. *干旱地区农业研究*, 2000, 18(1): 48-53
- Wang H Q, Han S M, Li G. Study on yield-increasing mechanism of cultivation of micro-water-harvesting and double-way mulching for the whole period of winter wheat growth and summer fallow in the arid area of Weibei [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2000, 18(1): 48-53 (in Chinese)
- [72] 李立群, 薛少平, 王虎全, 姚万生. 渭北高原旱地春玉米不同种植模式水温效应及增产效益研究[J]. *干旱地区农业研究*, 2006, 24(1): 33-38
- Li L Q, Xue S P, Wang H Q, Yao W S. Effects of different planting patterns on soil moisture, temperature and yield of spring maize on Weibei plateau[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2006, 24(1): 33-38 (in Chinese)
- [73] Chai Y W, Li Y W, Li R, Chang L, Cheng H B, Ma J T, Qin Y Q, Han F X, Yang C G, Chen Y Z, Chen Q, Zhang Y, Huang C X, Chai S X. Increased spike density and enhanced vegetative growth as primary contributors to improvement of dryland wheat yield via surface mulching[J]. *Field Crops Research*, 2025, 326: 109853
- [74] Chang L, Han F X, Chai S X, Cheng H B, Yang D L, Chen Y Z. Straw strip mulching affects soil moisture and temperature for potato yield in semiarid regions[J]. *Agronomy Journal*, 2020, 112(2): 1126-1139
- [75] Xie Z K, Wang Y J, Jiang W L, Wei X H. Evaporation and evapotranspiration in a watermelon field mulched with gravel of different sizes in northwest China [J]. *Agricultural Water Management*, 2005, 81: 173-184
- [76] Xie Z K, Wang Y J, Cheng G D, Malhi S S, Vera L C, Guo Z H, Zhang Y B. Particle-size effects on soil temperature, evaporation, water use efficiency and watermelon yield in fields mulched with gravel and sand in semi-arid Loess Plateau of northwest China[J]. *Agricultural Water Management*, 2010, 97: 917-923
- [77] Du S P, Ma Z M, Xue L. Effect of manure combined with chemical fertilizers on fruit yield, fruit quality and water and nitrogen use efficiency in watermelon grown in gravel-mulched field[J]. *Journal of Fruit Science*, 2020, 37(3): 380-389
- [78] 赵成政, 王亚军, 谢忠奎, 张玉宝, 郭志鸿, 邱阳, 华翠平, 周丽靖. 砾石长期覆盖对土壤呼吸的影响[J]. *中国沙漠*, 2020, 40(2): 232-239
- Zhao C Z, Wang Y J, Xie Z K, Zhang Y B, Guo Z H, Qiu Y, Hua C P, Zhou L J. Long-term effects of Gravel-Sand mulch on diurnal variation of soil respiration in Semi-arid Loess Plateau, China [J]. *Journal of Desert Research*, 2020, 40(2): 232-239 (in Chinese)
- [79] 张义, 谢永生, 郝明德, 摄晓燕. 不同地表覆盖方式对苹果园土壤性状及果树生长和产量的影响[J]. *应用生态学报*, 2010, 21(2): 279-286
- Zhang Y, Xie Y S, Hao M D, She X Y. Effects of different patterns surface mulching on soil properties and fruit trees growth and yield in apple orchard [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(2): 279-286 (in Chinese)
- [80] 张义, 谢永生. 不同覆盖措施下苹果园土壤水文差异[J]. *草业学报*, 2011, 20(2): 85-92
- Zhang Y, Xie Y S. Effects of different patterns of surface mulching on soil hydrology in an apple orchard[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2011, 20(2): 85-92 (in Chinese)
- [81] 李军贤. 豆科作物轮作对半干旱地区农作系统氮平衡和生产力的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2019
- Li J X. Nitrogen Balance and productivity of different legume-included rotations in a semi-arid agroecosystem[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2019 (in Chinese)
- [82] 李彤. 保护性耕作和豆麦轮作对土壤微生物和冬小麦氮素利用的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2022
- Li T. Effects of conservation tillage and soybean-wheat rotation on soil microorganisms and nitrogen utilization in winter wheat [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2022 (in Chinese)
- [83] 樊虎玲, 郝明德, 李志西. 黄土高原旱地小麦-苜蓿轮作对小麦品质和子粒氨基酸含量的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2007, 13: 262-266
- Fan H L, Hao M D, Li Z X. Effect of alfalfa-wheat rotation system on the quality and amino acid content of wheat in dryland of Loess Plateau [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2007, 13: 262-266 (in Chinese)
- [84] 孙鹏洲, 罗珠珠, 李玲玲, 牛伊宁, 蔡立群, 刘家鹤, 王晓菲. 黄土高原干旱

- 区长期种植紫花苜蓿和一年生作物轮作对土壤真菌群落的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2022, 30(6): 965-975
- Sun P Z, Luo Z Z, Li L L, Niu Y N, Cai L Q, Liu J H, Wang X F. Influences of continuous monoculture of alfalfa and rotation of annual crops on soil fungal communities in the semi-arid Loess Plateau[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2022, 30(6): 965-975 (in Chinese)
- [85] Wang Y L, Yu A Z, Lyu H Q, Shang Y P, Wang P F, Wang F, Yang X H, Yin B, Liu Y L, Zhang D L, Chai Q. No-tillage mulch with green manure retention can mitigate carbon emissions, increase crop productivity, and promote agricultural sustainability[J]. *European Journal of Agronomy*, 2024, 161: 127351
- [86] Wang P F, Yu A Z, Wang F, Wang Y L, Lyu H Q, Shang Y P, Yang X H, Liu Y L, Yin B, Zhang D L, Chai Q. Nitrogen reduction by 20% with green manure retention reduces soil evaporation, promotes maize transpiration and improves water productivity in arid areas[J]. *Field Crops Research*, 2024, 315: 109488
- [87] Yin W, Chai Q, Guo Y, Feng F X, Zhao C, Yu A Z, Liu C, Fan Z L, Hu F L, Chen G D. Reducing carbon emissions and enhancing crop productivity through strip intercropping with improved agricultural practices in an arid area [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 166: 197-208
- [88] Hu F L, Tan Y, Yu A Z, Zhao C, Fan Z L, Yin W, Chai Q, Coulter A J, Cao W D. Optimizing the split of N fertilizer application over time increases grain yield of maize-pea intercropping in arid areas[J]. *European Journal of Agronomy*, 2020, 119: 126117
- [89] Sun T, Zhao C, Feng X M, Yin W, Gou Z W, Lal R, Deng A X, Chai Q, Song Z W, Zhang W J. Maize-based intercropping systems achieve higher productivity and profitability with lesser environmental footprint in a water scarce region of northwest China[J]. *Food and Energy Security*, 2020, 10: e260
- [90] 马雄风, 王占彪, 郑苍松, 王文魁, 郭志刚, 孔德培, 代帅, 张先亮, 冯文娟, 李伟, 徐开杰, 李彤, 刘胜利, 李付广. 创新新疆地区“两年三熟”种植制度, 挖掘棉花冬闲田粮食生产能力[J]. 中国棉花, 2022, 49(9): 1-5
- Ma X F, Wang Z B, Zheng C S, Wang W K, Guo Z G, Kong D P, Dai S, Zhang X L, Feng W J, Li W, Xu K J, Li T, Liu S L, Li F G. Innovating the cropping system with ‘triple crops in two years’ in Southern Xinjiang to release the grain productivity of winter fallow cotton fields[J]. *China Cotton*, 2022, 49(9): 1-5 (in Chinese)
- [91] Lyu H Q, Li Y, Yu A Z, Hu F L, Chai Q, Wang F, Wang Y L, Wang P F, Shang Y P, Yang X H. How do green manure management practices affect ammonia emissions from maize fields [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2024, 367: 108971
- [92] Lyu H Q, Yue L, Wang Y L, Wang F, Fan Z L, Hu F L, Yin W, Zhao C, Yu A Z, Chai Q. No-tillage with total green manure mulching: A strategy to lower N₂O emissions[J]. *Field Crops Research*, 2024, 306: 109238
- [93] Wei J G, Fan Z L, Hu F L, Mao S F, Yin F, Wang Q M, Chai Q, Yin W. Legume green manure can intensify the function of chemical nitrogen fertilizer substitution via increasing nitrogen supply and uptake of wheat[J]. *The Crop Journal*, 2024, 12: 1222-1232
- [94] Zhang D K, Yin W, Chai Q, Fan Z L, Hu F L, Zhao L H, Fan H, He W, Cao W D. Enhancing crop production and carbon sequestration of wheat in arid areas by green manure with reduced nitrogen fertilizer[J]. *Journal of Environmental Management*, 2024, 365: 121571
- [95] 尹辉, 张恩和, 王琦, 刘青林, 刘朝巍, 王田涛, 俞华林. 春小麦留茬处理对复种油菜产量和水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 83-88
- Yin H, Zhang E H, Wang Q, Liu Q L, Liu C W, Wang T T, Yu H L. Effect of spring wheat stubble treatments on grain yield and water use efficiency of multiple cropping rape[J]. *Transactions of the CSAE*, 2011, 27(2): 83-88 (in Chinese)
- [96] 薛少平, 闫小丽, 朱瑞祥, 姚万生, 韩思明. 关中一年两熟区不同耕作模式农田土壤及作物生物学效应的研究[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2009, 37(12): 112-118
- Xue S P, Yan X L, Zhu R X, Yao W S, Han S M. Study on farmland soil and crop biological effect on different tillage methods in annual double cropland area[J]. *Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition*, 2009, 37(12): 112-118 (in Chinese)
- [97] 祝飞华, 王益权, 石宗琳, 张润霞, 冉艳玲, 王亚城. 轮耕对关中一年两熟区土壤物理性状和冬小麦根系生长的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(22): 7454-7463
- Zhu F H, Wang Y Q, Shi Z L, Zhang R X, Ran Y L, Wang Y C. Effects of rotational tillage on soil physical properties and winter wheat root growth on annual double cropping area[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(22): 7454-7463 (in Chinese)
- [98] 王浩, 汪林, 杨贵羽, 贾玲, 姚懿真, 张瑞桐. 我国农业水资源形势与高效利用战略举措[J]. 中国工程科学, 2018, 20(5): 9-15
- Wang H, Wang L, Yang G Y, Jia L, Yao Y Z, Zhang Y T. Agricultural water resource in China and strategic measures for its efficient utilization[J]. *Strategic Study of CAE*, 2018, 20(5): 9-15 (in Chinese)
- [99] 李继军, 斐晖平. 西北制种基地成本提高对玉米种企的影响[J]. 中国种业, 2022(3): 52-55
- Li J J, Pei H P. The impact of rising costs in Northwest seed production bases on maize seed enterprises[J]. *China Seed Industry*, 2022(3): 52-55 (in Chinese)
- [100] 杨江勇, 王新宇, 唐祁锋, 张思平. CCIA 高品质棉花生产基地建设与实践 [J]. 中国棉花, 2020, 47(1): 37-41
- Yang J Y, Wang X Y, Tang Q F, Zhang S P. Construction and practice of high-quality cotton production base of CCIA[J]. *China Cotton*, 2020, 47(1): 37-41 (in Chinese)
- [101] 高椿翔, 马俊梅, 王志虎, 仲庆阳, 夏克热·玉素甫江, 常李冉. 国货崛起背景下新疆葡萄酒发展的机遇与挑战[J]. 农业技术与装备, 2025(1): 88-90
- Gao C X, Ma J M, Wang Z H, Zhong Q Y, Xiakere Y S P J, Chang L R. Opportunities and challenges of xinjiangwine development under the background of the rise of domestic products[J]. *Agricultural Technology & Equipment*, 2025(1): 88-90 (in Chinese)
- [102] 赵彤, 赵晓阳. 甘肃苹果产业发展研究[J]. 发展, 2024(11): 45-48
- Zhao T, Zhao X Y. Research on the development of apple industry in Gansu Province[J]. *Developing*, 2024(11): 45-48 (in Chinese)
- [103] 潘从钰, 尚明瑞, 陈寒. 甘肃省马铃薯产业发展现状、问题及对策[J]. 中国瓜菜, 2025, 38(2): 195-201
- Pan C Y, Shang M R, Chen H. Current situation, problems and countermeasures of potato industry development in Gansu Province [J]. *China Cucurbits and Vegetables*, 2025, 38(2): 195-201 (in Chinese)
- [104] 张伟, 段志平, 郝向东, 林海荣, 王宝驹, 甘雅文, 李鲁华. 和田枣树/小麦系统氮素吸收利用差异研究[J]. 干旱地区农业研究, 2018, 36(5): 149-154
- Zhang W, Duan Z P, Hao X D, Lin H R, Wang B J, Gan Y W, Li L H. Differences of absorption and utilization for nitrogen in jujube tree /wheat agroforestry system in Hetian[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2018, 36(5): 149-154 (in Chinese)
- [105] 苗昊翠, 李利民, 吐逊江·艾合买提, 张建成, 吴正锋, 高英. 不同果树间作

- 对花生产量及品质的影响[J]. 贵州农业科学, 2016, 44(9): 37-40
- Miao H C, Li L M, Tuxunjiang A H M T, Zhang J C, Wu Z F, Gao Y. Effects of different fruit tree and peanut intercropping on yield and quality of peanut[J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2016, 44(9): 37-40 (in Chinese)
- [106] 张彪. 幼龄苹果园间作马铃薯互作效应研究[J]. 湖北农业科学, 2020, 59(10): 29-31, 104
- Zhang B. The interaction effect of potato intercropping in young apple orchard[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2020, 59(10): 29-31, 104 (in Chinese)
- [107] 李田甜, 孙雪, 樊文霞, 王沛娟, 王霜, 李燕芳, 万素梅, 陈国栋. 新疆地区枣棉间作复合群体根系时空分布特征[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(19): 93-98
- Li T T, Sun X, Fan W X, Wang P J, Wang S, Li Y F, Wan S M, Chen G D. Temporal and spatial distribution characteristics of root systems in intercropping compound populations of jujubes and cotton in southern Xinjiang region[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2022, 50(19): 93-98 (in Chinese)
- [108] 王自科. 关于西北地区农牧交错地带种养结合和农牧循环发展模式的若干思考[J]. 中国牛业科学, 2018, 44(6): 78-81
- Wang Z K. Some thoughts on the integrated planting and breeding and the circular development model of agriculture and animal husbandry in the agro-pastoral interlaced zone of Northwest China[J]. *China Cattle Science*, 2018, 44(6): 78-81 (in Chinese)

责任编辑: 董金波



第一作者简介: 殷文, 博士, 教授、博士生导师, 中华人民共和国农业农村部神农英才、甘肃省领军人才、甘肃省飞天学者、甘肃省陇原青年英才、甘肃省青年科技托举人才、甘肃省创新创业教育教学名师。兼任中国农学会耕作制度分会委员、中国植物营养与肥料学会绿肥专业委员会委员。主要从事作物多样化种植资源高效利用及土壤固碳减排理论与技术研究。主持国家自然科学基金面上项目、国家重点研发计划课题、甘肃省杰出青年基金等项目 10 余项, 参与获得甘肃省科技奖励一等奖 2 项、甘肃省高等学校科研成果二等奖 2 项, 获得甘肃省青年科技奖与青年教师成才奖、甘肃省优秀博士学位论文。现以第一发明人授权发明专利 6 项; 以第一作者发表论文 60 余篇, 其中 SCI 收录 30 篇。



通讯作者简介: 柴强, 博士, 教授、博士生导师, 甘肃农业大学校长。国家“万人计划”“中青年”科技创新领军人才, 享受国务院政府特殊津贴专家, 国家现代农业绿肥产业技术体系岗位科学家, 甘肃省“拔尖领军人才”“飞天学者”特聘教授, 爱思唯尔高被引学者。兼任中国农学会耕作制度分会副理事长、中国植物营养与肥料学会绿肥专业委员会副主任委员、教育部科技委农林学部委员。主要从事多熟种植、节水农业、循环农业和旱地绿肥栽培理论与技术研究。主持完成各类科研课题 30 余项, 获省部级科技奖励 10 项、省级教学成果二等奖 1 项, 主编和参编教材、专著 17 部, 授权发明专利 20 余项, 在 *PNAS*、*Nature Communications* 等国内外期刊发表学术论文 400 余篇。