

# 黄土高原旱作农业生态化与高质量发展

李凤民

兰州大学生命科学学院干旱农业生态研究所, 草地农业生态系统国家重点实验室, 兰州 730000

**摘要** 总结了新中国成立以来旱作物农业取得的主要进展: 长期有组织大规模地进行梯田建设, 有效地减少了水土流失; 梯田建设标准不断提高, 越来越方便于机械化大片农田生产; 以合理施肥与多种耕作措施相结合的集成技术体系提高了土地生产力。进入 21 世纪以来, 以沟垄地膜覆盖为主体的作物栽培与耕作体系获得大面积推广。在半干旱及其偏旱地区, 相较于过去的作物系统, 土地生产力几乎成倍增加。特别是玉米和马铃薯在地膜覆盖栽培下, 产量增幅远大于其他作物, 为粮草畜经协同发展创造了有利条件, 有力地推进了脱贫攻坚和全面建成小康社会目标的实现。提出了旱作农业生态化主要内容和目标: 面对新时期黄土高原高质量发展的要求, 将创新旱作农业生态化技术体系和发展模式, 推进优质特色旱作农业发展, 探索生态重建由被动向主动的方式转变, 实现区域生态优良化发展目标。

**关键词** 黄土高原; 旱作农业; 沟垄覆膜; 草食畜牧业

青藏高原隆升导致亚洲干旱区形成, 在西风带作用下, 干旱区的沙尘随风向东漂移, 在半干旱和半湿润区逐渐沉降、堆积, 形成厚达数十米或数百米的黄土堆积层, 这就是黄土高原<sup>[1-2]</sup>。这就决定了黄土高原土质疏松, 质地均一, 在一定降水的冲刷作用下, 很容易产生土壤侵蚀, 成为造成生态系统脆弱性的首要因素。

在过去的 7000~1000 年间, 黄土高原地区的水热环境适于旱作农业的发展, 使得人口快速增加,

成为中华文明的主要发源地之一<sup>[3]</sup>。近千年以来, 人口增长和土地有限性之间的矛盾日益突出, 加剧了土地的过度利用, 如过垦、过牧、过采等, 水土流失加剧。在 20 世纪中叶, 黄土高原向黄河输入的泥沙量每年高达 16 亿 t, 成为全世界水土流失最为严重的地区<sup>[4]</sup>。

历史上, 轮荒是旱作农业主要的作物种植方式。草灌植被火烧开垦后种植农作物, 起初几年作物产量较高, 之后由于水土流失和地力下降, 难以

收稿日期: 2020-05-06; 修回日期: 2020-07-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(31470496); “教育部-国家外国专家局”“高等学校学科创新引智计划”项目(BP0719040)

作者简介: 李凤民, 教授, 研究方向为农业生态与作物生态, 电子信箱: fmlil@lzu.edu.cn

引用格式: 李凤民. 黄土高原旱作农业生态化与高质量发展[J]. 科技导报, 2020, 38(17): 52-59; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2020.17.005

获得期待的产量,便会丢弃撂荒,再另开一片土地。这样循环往复,随着人口的不断增加,土地利用强度不断加剧,导致产生严重的土地退化和生产力下降,从而形成大面积贫困,生态和生产之间形成恶性循环,生态系统持续退化<sup>[5-8]</sup>。

长期以来,黄土高原大部分地区以小麦为主粮,但小麦生长季的大部分(秋冬春)都处于降水不足的时期。由于年降水量和降水时期均波动很大,小麦产量的低而不稳便成为常态。适应于黄土高原降水少而波动大的自然环境,小杂粮种类则较为丰富,常见的有小扁豆、豌豆、蚕豆、绿豆、小红豆、大豆(黄豆)、糜子、谷子、莜麦(燕麦)、荞麦、胡麻、高粱等。虽然产量较低,但生长期较短,播期较为灵活,收成较为稳定,对当地农户生存发挥了重要作用。

新中国成立以后,国家在黄土高原旱作农业发展和生态治理方面投入了大量的人力物力,进行了长期的探索,开展了一系列生态治理工程<sup>[9]</sup>。其中大规模的梯田建设开始于20世纪60年代。20世纪60~70年代修筑梯田几乎完全靠人力完成,工程量巨大,梯田不够平整,地块小,耕种不便。进入21世纪以来,新修梯田可以做到完全平整,地块较大,留有有机耕道路,方便农业机械作业,为后期发展奠定了重要基础。

21世纪80年代,即中国改革开放后的第一个10年,联产承包责任制政策的落实,使旱作农业的粮食单产快速提升。以甘肃为例,平均粮食单产由20世纪80年代初的约1000 kg/ha增加到20世纪90年代初的1800 kg/ha;到20世纪90年代,粮食单产的增加幅度反而变小,而年际波动性却大为加剧<sup>[10]</sup>。这应该是与年降水少且波动大、而化肥难以量水施用有关<sup>[11-13]</sup>。在降水多的年份,化肥可使粮食单产显著增加;在偏旱年份,施用化肥的作用就不明显,甚至还会有所下降<sup>[14]</sup>。

20世纪90年代,国家改革开放的第二个10年,经济社会发展依然比较困难,人口压力不断增加,气候变化的干热化趋势明显加强,生态退化加剧,旱作农业发展遇到了瓶颈,长期贫困带来的社

会压力不断积累。在这种情况下,旱作集水农业的发展思路应运而生:以提高作物单产为突破口,在解决群众温饱、提高农牧业收益的前提下,减少人为对自然植被的破坏,整体上提高土地生产力,促进生态恢复,实现可持续发展<sup>[7-8,15-16]</sup>。在这个思路中,提高作物单产是解决问题的核心,是促进多产业协同发展的基础,亟需重要突破。

## 1 旱作农业生产力的提升

### 1.1 基本思路

培肥和保持水土是长期贯穿黄土高原传统农业的精髓。平田整地、施用有机肥/化肥既是传统农业的主要技术措施,也是当前旱作农业努力关注的方向。新中国成立数十年以来,修建梯田与合理施肥为黄土高原旱作农业的发展发挥了重要作用。然而,进入20世纪90年代以来,旱作农业的生产力水平已经很难满足经济社会发展的需要,必须另辟蹊径,寻找新的增长点<sup>[15-16]</sup>。

所谓旱作集水农业,就是将分散的各类降水集中起来使用,最大限度地降低无效蒸发,提高降水资源的利用率、利用效率和效益<sup>[7]</sup>。自1996年国家支持甘肃集水农业工作以来,在各级政府和社会各界的支持下,将传统的水窖集水系统和微灌等节水灌溉系统相结合,使黄土高原地区开始了大规模的反季节蔬菜生产,一改过去城镇居民冬季没有蔬菜的局面;微灌马铃薯脱毒苗生产为甘肃马铃薯产业走向全国奠定了重要基础,为壮大马铃薯产业、促进贫困地区增收发挥了重要作用<sup>[17-18]</sup>。对玉米、马铃薯等大田作物,采用不同的地膜覆盖方式也极大地提高了单位面积产量<sup>[19-20]</sup>。科技界、政府和群众进行旱作农业创新的积极性空前高涨,形成了丰富的旱地作物栽培系统。

经过数年的探索,全膜双垄沟播技术成为旱作玉米种植效果最好的栽培方式,其主要技术原理就是沟垄覆膜。亦即,将农田整理成M形的沟垄相间的微地形,两垄夹一V形沟,沟底宽度为零,大垄和小垄相间,用地膜将沟垄表面完全覆盖,播种时将

作物种植于沟内<sup>[21-22]</sup>。大垄的作用主要在于方便田间管理。大小垄的宽度可根据当地自然条件和作物类型适当调整。由于表层土壤水热条件的改善,作物播种密度一般略高于常规栽培,可获得稳定高产。

由于沟垄覆膜带来的旱地作物高产性和高效益,各地农技专家和群众针对不同作物特点,创造出了很多覆膜栽培方式,形成了不同类型的作物轮作系统。为了减少地膜投入和废旧地膜残留量,发展出了一次覆膜使用2~3年的技术路线。同时研发了多款废旧地膜收检机械,用于清理揭膜后残留在土壤里面的废旧地膜,以保持土壤清洁生产。

### 1.2 沟垄覆膜栽培的生态效应

沟垄覆膜栽培的首要作用是汇集降水快速入渗土壤。沟垄设置具有将降水从垄面向沟内底部汇集的功能。在农户的实际生产中,一般是在前一年的晚秋土壤封冻前进行沟垄地膜覆盖,以有效增加休闲期的降水入渗,并减少同期的土壤蒸发。对粮食作物而言,秋季地上部分收获后,地膜仍然留在农田,到第二年开春播种前揭掉后耕作播种。在年均降水量320 mm的地区,土壤封冻期地膜覆盖与不覆盖相比较,下一年春季覆膜农田在玉米播种时2 m土壤剖面中可多储存43 mm水分。对比试验表明,未种植作物情况下,沟垄地膜覆盖在一个玉米生长季后可使土壤含水量达到田间持水量;与不覆盖相比,170 cm的土壤剖面中多保蓄100 mm的水分<sup>[23-26]</sup>。

沟垄覆膜栽培的另一个重要作用,就是在作物封垄前增加表层土壤温度,这是玉米能够在热量不足地区成功种植的关键。作物封垄之后,由于冠层遮荫,阻挡直射光进入地膜表面,地膜增温效应就会大幅降低,甚至消失,因此在玉米旺盛生长期,可避免高温催熟和伤害。在海拔2000 m以上、年均降水量320 mm左右的地区,由于干旱和低温,过去很难种植玉米,利用这一技术可使玉米增产数倍<sup>[21]</sup>,产量是本地小麦的4倍左右。

由于地膜玉米的显著高产性,向土壤返还和输入有机质的潜力大幅度上升,为保持和提升土壤有

机质含量创造了重要条件。一般而言,随着产量的提高,作物生产过程中向土壤返还的根系和残枝落叶等有机物质也会随之增加,从而提高了土壤有机质含量。黄土高原过去都是种植低产作物,向土壤里面输入的有机物质较少,而种植高产的玉米后,土壤有机质含量得到了显著提升<sup>[23]</sup>。采用反硝化-分解模型(DNDC)模型研究指出<sup>[27]</sup>,土壤有机质含量与输入到土壤里面的有机质数量高度相关。当输入有机质占玉米总生物量5%的时候,覆膜玉米农田的土壤有机质含量将显著高于未覆膜农田,而且,随着向土壤输入有机质比例的增加,土壤有机质含量的差异也会持续增大。这就意味着,地膜玉米农田有机质含量水平是可调可控的,高产玉米为提升土壤有机质提供了先决条件,为农田可持续发展提供了基础动力。

连续性田间试验研究指出,确保沟垄覆膜玉米农田土壤水分平衡的最低年降水量只有273 mm。也就是说,在年降水量273 mm以上的地区,沟垄覆膜玉米可以保证土壤水分平衡有余,不会出现人们过去一直担心的、高产农田经常伴随的深层土壤干燥化问题<sup>[25, 28-29]</sup>。

### 1.3 沟垄覆膜栽培的增产效果

甘肃省的黄土高原部分位于整个黄土高原的中西部,属于水热条件较差的地区。长期以来,粮食问题得不到很好的解决,导致大面积贫困。在确认沟垄覆膜栽培增产效应的基础上,甘肃省人民政府制定了在黄土高原旱作农业区新增50亿斤粮食生产能力的规划。项目于2009年启动,2013年即达到增产目标,2013—2015年连续3年保持这一目标。其主要措施是县乡级农业技术推广专家帮助农户掌握和改进这项技术,省、县政府各提供1/3购买地膜的费用,农户支付1/3的费用;政府支持农业机械有限公司研发起垄、覆膜、播种同步完成的农业机械,减少劳动力的投入,并加快田间作业进程。该项目已顺利完成既定目标,使长期依赖输入粮食的黄土高原旱作农业区一举变为粮食自给有余的省级粮食生产基地<sup>[30]</sup>。

甘肃省70%的耕地是山坡旱地,在20世纪80

—90年代,全省粮食总产量从500万t上升到600万t,用时11年。进入21世纪以来,从600万t到700万t,用时4年;从700万t到800万t,用时3年;2009—2011年3年时间,粮食总产量从800万t上升到1100万t,并连续多年保持在1000万t以上,旱作农业对粮食增产起到了决定性作用<sup>[31]</sup>。2012年被农业部命名为全国唯一的国家级旱作农业示范区<sup>[32]</sup>。

#### 1.4 沟垄覆膜栽培促进畜牧业发展

20世纪80年代以来,发展牛羊畜牧业一直都是黄土高原生态治理和旱作农业发展中的核心思想,各级政府、专家学者和当地群众为此一直在做着不懈的努力<sup>[33-34]</sup>。一般认为,土地利用从一年生农作物转变为多年生的人工草地,可以增加地表植被覆盖,控制水土流失,并能够增加土壤有机质含量水平,利用饲草喂养牛羊销售到市场,还可以获得较好的经济收益,改善农户生计。

然而,经过20多年的努力,以苜蓿为主体的人工草地,在完成项目验收之后,持续保留下来并发挥作用的并不多,草食畜牧业的发展一直不够理想<sup>[34]</sup>。2007年在年均降水量320 mm地区的入户调查结果显示,农户粮食生产能力(主要是地膜玉米)与舍饲养羊的规模正相关,马铃薯种植规模与舍饲养羊显著负相关,苜蓿草地与舍饲养羊具有负相关趋势,未达显著水平。这些结果说明,支撑草食畜牧业的主要力量并不是人工建植的苜蓿草地,而是粮食生产能力。亦即,地膜玉米的生产在起主导作用,是支撑舍饲养羊最主要的饲草来源<sup>[35]</sup>。

实际上,人工种草的生产力,其产草量几乎全部低于主要农作物的生物量<sup>[36-38]</sup>,而且不能够解决粮食生产不足的问题。这就很好地解释了当地群众为什么对人工种草、发展畜牧业的积极性不高,也有助于理解单纯地种草种树不能发展畜牧,更不能脱贫致富,当然也不能改善生态的基本原理。

2010年以来,在沟垄覆膜栽培促进粮食生产能力显著提升的基础上,玉米青储饲料得到快速发展。青储玉米和苜蓿等传统饲草相结合,牛羊养殖的饲草质量和数量都得到快速提高,还包括一些中草药生产的残余物也加入到了动物饲料中,逐渐形

成了多样化、有特色、高质量的牛羊养殖饲草料供给产业链。由于品质较好,部分青储饲草料还出售到其他省份,为当地饲草生产公司和农户获得不错的经济收益。黄土高原中西部地区的牛羊肉品质在全国获得广泛认可与好评,价格保持在较好的水平。依靠这样的粮食-饲草-家畜养殖的产业发展模式,农户获得了合理的经济回报,过去大量的贫困人口逐渐脱贫,为实现中央政府确定的2020年脱贫目标发挥了不可替代的作用。

## 2 新时期旱作农业生态化发展目标

2020年是全面建成小康社会和打赢脱贫攻坚战之年。近年来,黄土高原入黄泥沙已经降低到了过去1000年之前的水平。旱作农业生产力和面向市场化的产业结构调整已经获得重要进展。城镇化持续推进,大量农村劳动力外出务工,旱作农业劳动力结构和生产组织方式正在发生重大变化。黄河流域生态保护与高质量发展已经列为国家战略。这些鲜明的时代特征意味着旱作农业发展即将进入新阶段,必须规划新的发展目标。

从水土保持与植被恢复来看,20世纪80~90年代一直都在进行植树种草工程,而在以1999年为基准的土地荒漠化评估中,却依然是“局部改善,整体恶化”<sup>[39]</sup>。在新一轮退耕还林(草)工程中,用了10余年的时间,黄土高原植被覆盖大幅度增加,入黄泥沙量持续下降<sup>[4,40]</sup>。

实际上,随着全国城镇化发展,黄土高原地区外出务工人员持续增加,明显降低了本地区人口压力,为生态保护创造了较为宽松的社会环境,被认为是退耕还林(草)工程获得重大成功的关键因素之一。进入21世纪以来,20世纪持续发生的气候暖干化趋势发生了显著变化,降水量持续增加,增温趋势减缓,整体趋于湿润化,成为植被覆盖快速增加的关键因素之一<sup>[41-43]</sup>。20世纪90年代后期以来,旱作农业得到持续快速发展,当地群众生计持续改善,由于贫困导致的过垦、过牧、过采等现象逐步消失,成为退耕还林(草)工程获得重大成功的关键因素之一<sup>[41-43]</sup>。

进入 21 世纪之后,旱作农业生产力持续提高,农田管理逐渐走向机械化,农村合作社逐渐发展,以旱作农业为基础的脱贫产业不断提升,旱作农业综合发展正在进入快车道。旱作农业的高产高效与土壤质量的可持续性目标的逐步实现,将为多样化脱贫产业发展和构建高品质可持续农业结构奠定重要基础。

基于上述主要进展和发展趋势,未来旱作农业生态化发展目标应当是:在解决粮食基本自给的基础上,旱作农业的区域发展主打优质与特色品牌,促进农产品供给侧结构改革,培育高效主导产业,包括但不限于草食畜牧业、草产业、高附加值种植业等;优化种植与耕作制度,发展现代旱作种植业,既确保食物安全,又提供充足的生物质,为提升土壤肥力和增加农田土壤碳固存奠定物质基础。针对低山丘陵等复杂地形地貌特点,自然恢复与人工干预相结合,优化产业结构和土地利用结构,适度增加植被覆盖,保持水土,提高生态系统服务价值,实现生态环境的优良化<sup>[7]</sup>。

上述目标也可解读为,在推进旱作农业自身高质量发展的同时,将确保区域内生态环境质量,包括植被覆盖度/生物量、水土保持效果、碳固存和土壤质量等要素,整体上将不低于退耕后的自然生态系统,扭转人工植被生态功能一般低于自然生态系统的局面,这就是生态环境的优良化。通过发展旱作农业,提升生态环境的质量,强化生态屏障建设的效应,最终达到为生态而生产、以生产为手段而强化生态保护效果的目的。这些目标的实现是旱作农业高质量发展的应有之义,将对区域内农户生计改善、经济社会发展、环境保护和生态屏障建设提供坚实的科学基础和条件保障。

### 3 旱作农业生态化与高质量发展路径

1) 牢固确立高效旱作农业在生态保护和区域生态屏障建设中的基础地位。人是生态建设之本,是生态保护和生态屏障建设的主体,民生改善是高质量发展的出发点和落脚点。在气候变化和人类

活动两大主要因素中,基于民生改善的人类活动是调控生态安全的主导因素。在年降水量大致 250~550 mm 的陕、甘、宁、晋、蒙、青黄土高原半干旱区开展旱作农业生态化的科学研究与试验示范,以粮、草、畜、经与生态环境协调发展为主导思路,创新技术体系和发展模式,推进特色旱作农业发展,探索生态重建由被动向主动的方式转变,实现生态优良化发展目标。

2) 发展、完善与整合相关技术体系,支撑旱作农业生态化示范区建设。以粮、草、畜、经与生态环境协调发展为核心,创新发展理念,发展与旱作农业生态化相协调的技术体系和运作模式,通过优化土地利用,提高生产效率,构建高效可持续的复合生态系统,实现经济效益、生态效益和社会效益的高度统一,探索降低生态脆弱性、提高生态系统服务,强化抵御风险能力的发展模式,使生态系统服务显著优于自然恢复生态系统,生态屏障的功能更加稳定可靠,成为主动性生态保护与生态屏障建设的典型案例。

3) 以固沙导流为主导思路,开展山坡地水土流失治理试验示范工程建设。依据新时期入黄泥沙大幅度下降的现状,转变水土保持工作理念,以提高生态系统服务为导向,由过去的防治水土流失为主转变为保育、利用水土资源,改善当地生态服务质量为主。在残源沟壑陡坡区域,以乡土灌丛树种为主体,以低成本建造接近于自然植被的固沙植被带,控制泥沙运移,引导径流下坡或异地存储,建立产流少(不)产沙的控制水土流失的沟坡植被防护体系,同旱作农业生态化体系相结合,强化生态保护功能。

4) 以高标准梯田建设为引领,推进水、电、路三通基础设施建设。研究培肥和高产栽培相结合的梯田土地利用技术和优化模式。以方便进行农事机械操作为高标准梯田建设基本要求,拓宽单个梯田面积,留足梯田机耕道路,与梯田建设相配套,建设水、电、路三通等基础设施,为下一步梯田生产机械化、智能化方式转变创造条件,为旱作农业生态化发展和主动性生态屏障建设留下发展空间。

5) 构建涉农产业发展与农田土壤质量相协调的政策支撑体系,以保障示范区建设顺利推进,促进区域性旱作农业生态化发展。协助市场主体确立主导产业和土地可持续性之间相互支撑的关系框架,明确市场主体和政府调控之间的关系。各类产业生产,例如畜牧业、草产业、中药材、马铃薯等,都应该由市场来决定,而确保土壤有机质稳定和提升的任务则必须由政府制定的政策来调控,支持市场主体在获取经济效益的同时,提升土壤质量。

## 4 结论

经过数十年的努力,黄土高原旱作农业扭转了过去生产力低下与过垦过牧、生态破坏的恶性循环,解决了农户的绝对贫困问题。长期坚持不懈的梯田建设和高效利用降水资源的沟垄覆膜栽培技术体系,打破了旱作农业生产力长期低而不稳的被动局面,在稳定解决温饱的同时,为粮、草、畜、经多产业协同发展奠定了基础,有力地推进了脱贫攻坚和全面小康目标的实现。面对新时期黄土高原生态保护与高质量发展的要求,需要进一步创新旱作农业生态化技术体系和发展模式,推进优质特色旱作农业发展,探索生态重建由被动向主动的方式转变,实现区域生态优良化发展目标。以旱作农业生态化为引领,以生产、生态和农户生计协同发展为核心,规划乡镇集市的地域分布格局,促进城镇化发展,为区域产业发展和乡村振兴奠定基础,推进区域整体性的生态保护与高质量发展。

致谢:本文撰写过程中,西北农林科技大学山仑院士和徐炳成研究员提出宝贵意见。

### 参考文献(References)

- [1] Qiang X, An Z, Song Y, et al. New eolian red clay sequence on the western Chinese Loess Plateau linked to onset of Asian desertification about 25 Ma ago[J]. *Science China-Earth Sciences*, 2011, 54: 136-44.
- [2] Guo Z T, Ruddiman W F, Hao Q Z, et al. Onset of Asian desertification by 22 Myr ago inferred from loess deposits in China[J]. *Nature*, 2002, 416: 159-63.
- [3] 朱显谟,任美镔. 中国黄土高原的形成过程与整治研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 1991(1): 21-28.
- [4] 任美镔. 黄河输沙量的过去、现在和将来[J]. *科学*, 2003, 55(1): 37-40.
- [5] 郭文韬. 略论中国原始农业的耕作制度[J]. *中国农史*, 1991, 9(4): 32-36.
- [6] 张强. 由三杨庄遗址中的农田遗迹看商周及其以前农耕方式的演变[J]. *中国农史* 2014, 33(5): 14-24, 67.
- [7] 李凤民,徐进章,孙国钧. 半干旱黄土高原退化生态系统的修复与生态农业发展[J]. *生态学报*, 2003, 23(9): 1901-1909.
- [8] 李凤民,徐进章. 黄土高原半干旱地区集水型生态农业分析[J]. *中国生态农业学报*, 2002, 10(1): 101-103.
- [9] Guo R Y, Li F M. Agroecosystem management in arid areas under climate change: Experiences from the Semiarid Loess Plateau, China. *World Agriculture*, 2014, 4(2): 19-29.
- [10] 杨新民,路民生,谢德. 陇原乡村巨变——甘肃农村改革开放30年资料汇编[M]. 兰州:甘肃人民出版社, 2009.
- [11] 李生秀,李世清,高亚军,等. 施用氮肥对提高旱地作物利用土壤水分的作用机理和效果[J]. *干旱地区农业研究*, 1994, 12(1): 38-46.
- [12] 杜建军,李生秀,李世清,等. 不同肥水条件对旱地土壤供氮能力的影响. *西北农业大学学报*, 1998, 26(6): 4-8.
- [13] 杜建军,李生秀,李世清,等. 歉水年底墒和水肥施用时期对冬小麦产量的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 1998, 16(3): 18-22.
- [14] 王邦锡,黄久常,赵大千,等. 旱地施肥对春小麦产量和水分利用效率影响的研究[J]. *干旱地区农业研究*, 1990(4): 98-104.
- [15] 赵松岭,李凤民,王静. 半干旱地区集水农业的可行性[J]. *西北植物学报*, 1995, 15(8): 9-12.
- [16] 赵松岭,王静,李凤民,等. 黄土高原半干旱地区水土保持型农业的局限性[J]. *西北植物学报*, 1995, 15(8): 13-18.
- [17] 王克敏. 日光温室马铃薯脱毒微型种薯生产技术[J]. *甘肃农业*, 2005(2): 91.
- [18] 谭伟军. 定西市马铃薯脱毒种薯生产技术[J]. *中国马铃薯*, 2009, 23(5): 306-307.
- [19] Zhang F, Zhang W, Qi J, et al. A regional evaluation of plastic film mulching for improving crop yields on the

- Loess Plateau of China[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2018, 248: 458-68.
- [20] Zhao H, Wang R Y, Ma B L, et al. Ridge-furrow with full plastic film mulching improves water use efficiency and tuber yields of potato in a semiarid rainfed ecosystem[J]. *Field Crops Research*, 2014, 161: 137-48.
- [21] Zhou L M, Li F M, Jin S L, Song Y. How two ridges and the furrow mulched with plastic film affect soil water, soil temperature and yield of maize on the semiarid Loess Plateau of China[J]. *Field Crops Research*, 2009, 113: 41-47.
- [22] Zhao H, Xiong Y C, Li F M, et al. Plastic film mulch for half growing-season maximized WUE and yield of potato via moisture-temperature improvement in a semiarid agroecosystem[J]. *Agricultural Water Management*, 2012, 104: 68-78.
- [23] Liu X E, Li X G, Hai L, et al. Film-mulched ridge-furrow management increases maize productivity and sustains soil organic carbon in a dryland cropping system [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2014, 78: 1434-1441.
- [24] Liu X E, Li X G, Hai L, et al. How efficient is film fully-mulched ridge-furrow cropping to conserve rainfall in soil at a rainfed site?[J]. *Field Crops Research*, 2014, 169: 107-115.
- [25] Liu C A, Zhou L M, Jia J J, et al. 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.
- [26] Liu C A, Jin S L, Zhou L M, et al. Effects of plastic film mulch and tillage on maize productivity and soil parameters[J]. *European Journal of Agronomy*, 2009, 31: 241-249.
- [27] Zhang F, Zhang W, Li M, et al. Does long-term plastic film mulching really decrease sequestration of organic carbon in soil in the Loess Plateau?[J]. *European Journal of Agronomy*, 2017, 89: 53-60.
- [28] 李玉山. 旱作高产田产量波动性和土壤干燥化[J]. *土壤学报* 2001, 38(3): 353-356.
- [29] 李玉山. 黄土区土壤水分循环特征及其对陆地水循环的影响[J]. *生态学报*, 1983, 3(2): 91-101.
- [30] 万宝瑞. 摆脱靠天种地 粮食可以再增产——关于甘肃等省区发展旱作农业的调查[J]. *求是*, 2013(19): 25-27.
- [31] 吴晓燕, 鲁明. 甘肃: 在干旱大地上书写农业传奇[N]. *农民日报*, 2019-08-12(1).
- [32] 王朝霞. 甘肃省一千万亩旱作农业被认定为国家级示范区[N]. *甘肃日报*, 2012-05-26.
- [33] 山仑, 李银锄. 黄土高原的水土流失防治和综合治理[J]. *干旱地区农业研究*, 1984(3): 1-9.
- [34] 山仑, 徐炳成. 黄土高原半干旱地区建设稳定人工草地的探讨[J]. *草业学报*, 2009, 18(2): 1-2.
- [35] Zhang W S, Li F M, Xiong Y C, et al. Econometric analysis of the determinants of adoption of raising sheep in folds by farmers in the semiarid Loess Plateau of China [J]. *Ecological Economics*, 2012, 74: 145-152.
- [36] Jia Y, Li F M, Zhang Z H, et al. Productivity and water use of alfalfa and subsequent crops in the semiarid Loess Plateau with different stand ages of alfalfa and crop sequences[J]. *Field Crops Research*, 2009, 114: 58-65.
- [37] Guan X K, Zhang X H, Turner N C, et al. Two perennial legumes (*Astragalus adsurgens* Pall. and *Lespedeza davurica* S.) adapted to semiarid environments are not as productive as lucerne (*Medicago sativa* L.), but use less water[J]. *Grass and Forage Science*, 2013, 68: 469-478.
- [38] Xu B C, Gichuki P, Shan L, et al. Aboveground biomass production and soil water dynamics of four leguminous forages in semiarid region, northwest China[J]. *South African Journal of Botany*, 2006, 72: 507-516.
- [39] 国家林业局发布第二次全国荒漠化、沙化土地监测结果 [EB/OL]. (2011-01-05) [2020-05-10]. <http://www.scio.gov.cn/m/ztk/xwfb/18/10/document/838878/838878.htm>.
- [40] Chen Y, Wang K, Lin Y, et al. Balancing green and grain trade[J]. *Nature Geoscience*, 2015, 8: 739-741.
- [41] Wei J Z, Zheng K, Zhang F, et al. Migration of rural residents to urban areas drives grassland vegetation increase in China's Loess Plateau[J]. *Sustainability*, 2019, 11(23): 6764.
- [42] Zheng K, Wei J Z, Pei J Y, et al. Impacts of climate change and human activities on grassland vegetation variation in the Chinese Loess Plateau[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 660: 236-44.
- [43] Zheng K, Ye J S, Jin B C, et al. Effects of agriculture, climate, and policy on NDVI change in a semiarid river basin of the Chinese Loess Plateau[J]. *Arid Land Research and Management*, 2019, 33: 321-38.

## Ecologicalization and high-quality development of dryland farming in the Loess Plateau of NW China

LI Fengmin

Institute of Dryland Agroecology, School of Life Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

**Abstract** The Loess Plateau is characterized by low mountain and hilly terrain with loose soil, high erodible, broken terrain, and fragile ecological environment. The productivity of dryland farming is low and unstable historically. With the increase of population pressure, long-term over-reclamation, and over-grazing its ecosystem has been long degraded. Since the founding of PR China, terraced fields have been being constructed on a large scale to effectively reduce soil erosion. Thanks to the continuously updating construction standard of terraced fields it is more and more convenient to produce large areas of mechanized farmland. Since the beginning of the new century, the crop farming system with film mulching furrow-ridge as the vital progress has been widely promoted. In particular, corn and potato mulched by plastic film mulching furrow-ridge system yield much higher than other crops. These have created favorable conditions for coordinated development of grain, complete feed, livestock cash crops, and effectively promoted eradication of poverty and the realization of the goal of overall well-off society. High-quality development in the new era requires innovation in the ecological-friendly technologies and development model of dryland farming. These will help promote the development of natural dryland farming, exploring the transformation from passive to an active mode of ecological restoration and realizing the development goal of regional eco-sustainability.

**Keywords** Loess Plateau; dryland farming; film mulching furrow-ridge system; herbivorous animal husbandry ●



(责任编辑 刘志远)