

甘肃旱地农业发展与研究前沿

李凤民^{1,2}, 张峰², 杜彦磊², 周立垚¹, 杨祁峰³

(1.南京农业大学农学院,江苏南京 210095;2.兰州大学生态学院,甘肃兰州 730000;3.甘肃省农业农村厅,甘肃兰州 730000)

摘要:甘肃省72%的耕地属于旱地雨养农业,发展旱地农业对甘肃脱贫攻坚和高质量发展具有重要意义。20世纪90年代以来,甘肃旱地农业以“雨水富集、提升利用效率”为核心的集水农业发展思路得到快速传播,发展了丰富多样的旱地农业高效用水方法和技术,并在21世纪展现出明显成效。2000—2021年间,全省粮食生产总量从713万t增加到1231万t,人均粮食产量从278kg增加到491kg,超过全国人均水平。2021年省政府提出优势特色产业三年倍增行动,快速推进多产业协同发展,为旱地农业高质量发展树立了典型案例。在总结过去20年甘肃旱地农业主要发展经验和成就的基础上,提出了未来需要重点研究的前沿科学问题。

关键词:旱地农业;集水农业;沟垄地膜覆盖;作物高产;甘肃省

中图分类号:S01 **文献标志码:**A

Development and cutting-edge research of dryland agriculture in Gansu Province

LI Fengmin^{1,2}, ZHANG Feng², DU Yanlei², ZHOU Liyao¹, YANG Qifeng³

(1.College of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095, China; 2.College of Ecology, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000; 3.Gansu Provincial Department of Agriculture and Rural Affairs, Lanzhou, Gansu 730000)

Abstract: In Gansu Province, 72% of cultivated land belongs to dryland rainfed farming system. Developing dryland agriculture is of great significance for poverty alleviation and high-quality development in Gansu. Since the 1990s, the development idea of water-harvesting agriculture in Gansu dryland agriculture with rainwater enrichment and efficient used as the crucial measure has been spread rapidly. Various agricultural water-efficient use methods and technologies have been developed, which have shown significant achievements in the 21st century. The province's total grain production increased from 7.13 million tons in 2000 to 12.31 million tons in 2021. The per capita grain output increased from 278 kg to 491 kg, surpassing the national per capita level. In 2021, the provincial government put forward a three-year action to double the number of profitable and characteristic industries and rapidly promote the coordinated development of multiple industries, setting a typical case for the high-quality development of dryland agriculture. Based on summarizing the main development experiences and achievements of dryland agriculture in Gansu province in the past 20 years, this paper has proposed some scientific problems that need to be studied emphatically.

Keywords: dryland farming; rainwater-harvesting farming; plastic film mulching furrow-ridge farming system; crop high yield; Gansu Province

甘肃农作物种植区主要分布在河东半干旱地区与河西绿洲农业区,甘南和陇南山地农业占比相对较少。全省72.0%的耕地属于旱地雨养农业^[1],全省61.7%的人口分布在兰州黄河以东旱地农业

区^[2]。旱地农业区十年九旱,土壤贫瘠,靠天吃饭,千百年来一直与饥饿相伴,贫困一直都是甘肃的标签。

甘肃旱地农业区主要分布在黄土高原中西部

和中北部水热条件相对较差的地区,其脱贫攻坚和社会发展对旱地农业的依赖程度之高却是黄土高原其他省(区)所没有的。甘肃黄土高原没有宁、蒙那样的引黄灌区,没有晋、陕那样的汾渭灌区和良好的水热条件,更没有晋、陕、蒙那样的大型能源化工基地,可以为当地群众提供可观的经济收入。甘肃黄土高原群众除了旱地农业和外出打工之外,几乎没有其他收入来源。甘肃旱地农业面临更加突出的生态环境脆弱、发展生产和保护生态的矛盾,以及更加艰巨的脱贫攻坚任务。解决这些矛盾和困难的主要途径只能依靠旱地农业的科学发展。探索更加有效的生态和生产双赢的旱地农业发展方式是摆在甘肃各级政府和干部群众面前的重大任务,是甘肃科技界义不容辞的责任。

1 甘肃旱地农业发展思路的转变和主要做法

保持水土和培肥地力是旱地农业发展的基础。新中国建立数十年以来,在黄土高原治理水土流失、发展旱地农业等方面做出了大量的探索。朱显谟院士提出的“全部降水就地入渗拦蓄,米粮下川上塬、林果下沟上岔、草灌上坡下坩”黄土高原国土整治“28 字方略”^[3],成为黄土高原生态治理的重要依据。平田整地、修建梯田、拦蓄雨水、合理施肥、以肥调水、优化栽培等一系列措施为黄土高原旱地农业的发展起到了重要作用^[4-7]。进入 20 世纪 90 年代以来,甘肃旱地农业的生产力水平依然不能满足社会发展的需要,必须另辟蹊径,寻找新的增长点,旱地集水农业思想应运而生,即将分散的降水(包括其它小水源)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、利用效率和收益^[8-10]。自 1996 年国家支持甘肃开展集水农业试验示范以来,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,黄土高原地区开始了大规模的反季节蔬菜生产,一改过去城乡居民冬季没有蔬菜的局面^[11];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^[12];对于玉米、马铃薯等大田作物,采用不同的地膜覆盖方式极大地提高了单位面积产量^[13-16]。科技界、政府和群众进行旱地农业创新的积极性空前高涨,形成了丰富的旱地作物集雨栽培系统。

经过多年的探索,全膜覆盖双垄沟播技术成为旱地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,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,宽垄和窄垄相间,用地膜将沟垄表面完全覆盖,播种时将作物种植于沟内^[17]。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;水热条件越好,种植密度越大。由于上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^[18],可获得稳定高产。2009 年开始,依靠全膜覆盖双垄沟播技术,甘肃开始实施新增 25 亿 kg 粮食生产能力计划,并取得超出预期目标的实际成效^[19]。

由于沟垄覆膜栽培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^[15,19],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“一次覆膜多年使用”等多种技术路线^[15,20];同时研发了多款废旧地膜收捡机械,用于清理揭膜后残留在土壤中的废旧地膜,以保持土壤清洁生产。

2 甘肃旱地农业主要发展成就

2000 年甘肃全省粮食总产 713 万 t,人均粮食生产量 278 kg,远低于 350 kg 温饱水平和全国人均粮食生产量 365 kg^[2]。进入 21 世纪以来,河西绿洲农业区的制种产业和草牧业迅速发展,粮食生产却有所下降;而在河东旱作农业区,以全膜双垄沟播技术为代表的旱作农业技术极大地提高了玉米、马铃薯等主要作物生产力,在半干旱偏旱地区甚至可以成倍提高粮食作物产量,旱作农业区代替河西绿洲农业成为了全省主要的粮食生产基地。甘肃马铃薯、玉米和小麦持续增产,由长期依赖省外粮食调入的省份一跃成为粮食总量自给有余的省份。从 2009 到 2012 年,甘肃旱作农业区实现了 26 亿 kg 粮食增产能力^[19],4 年增幅超过 1/3。从 2009 年到 2013 年,全省粮食总产量从 800 万 t 上升到 1 100 万 t,2020 年到 2021 年,粮食生产连续超过 1200 万 t,10 年间增产 50%^[2]。到 2021 年底,全省人均粮食占有量达到 491.5 kg,已经远远超过人均 450 kg 的富裕水平,并高于全国人均水平 483 kg^[2],粮食自给率达到 123%,位居全国各省(市、自治区)第 11 位^[21],为国家粮食安全作出了重要贡献(图 1、图 2)。

由图 1 可见,1980 年浙江粮食总产是甘肃的 2.93 倍,人均粮食占有量是甘肃的 1.46 倍;而到 2021 年,甘肃粮食总产是浙江的 1.98 倍,人均粮食

占有量是浙江的 6.73 倍。41 年间,甘肃粮食单产增加幅度是浙江的 3.72 倍。甘肃粮食生产能力大幅度增加,在弥补工业强省粮食生产能力下降方面做出了积极贡献。图 2 是 2000—2020 年甘肃省与江苏省小麦总产和单产变化情况。由图 2 可知,甘肃小麦播种面积持续下降,而小麦单产却持续提高,

特别是 2010 年以后单产增长更加明显。江苏省小麦总产和单产波动较大,2004—2015 年单产持续增加,此后似有增长乏力之感。甘肃小麦单产稳定增加,正在填补粮食主产区单产增加势头疲软带来的主粮缺口,甘肃粮食生产正在全国主粮生产中发挥越来越重要的作用。

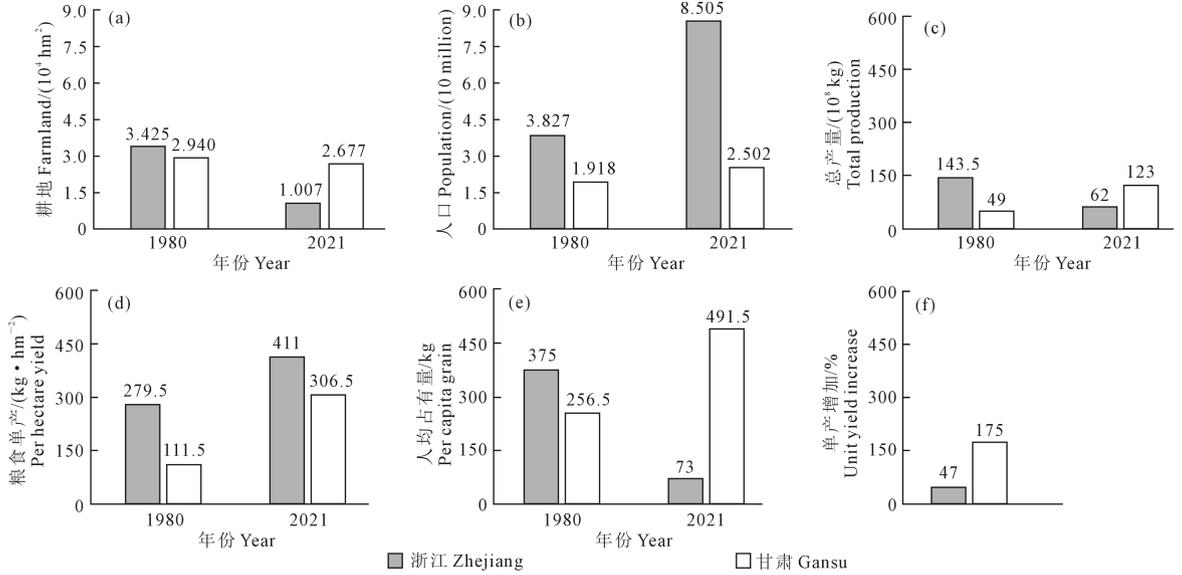


图 1 浙江和甘肃粮食作物面积和人口变迁(a,b),粮食生产能力变迁(c,d,e,f)(数据来自国家统计局网站^[2])
 Fig.1 Changes of grain crop area and population in Zhejiang and Gansu (a,b), changes of grain production capacity (c,d,e,f) (Data from the National Bureau of Statistics^[2])

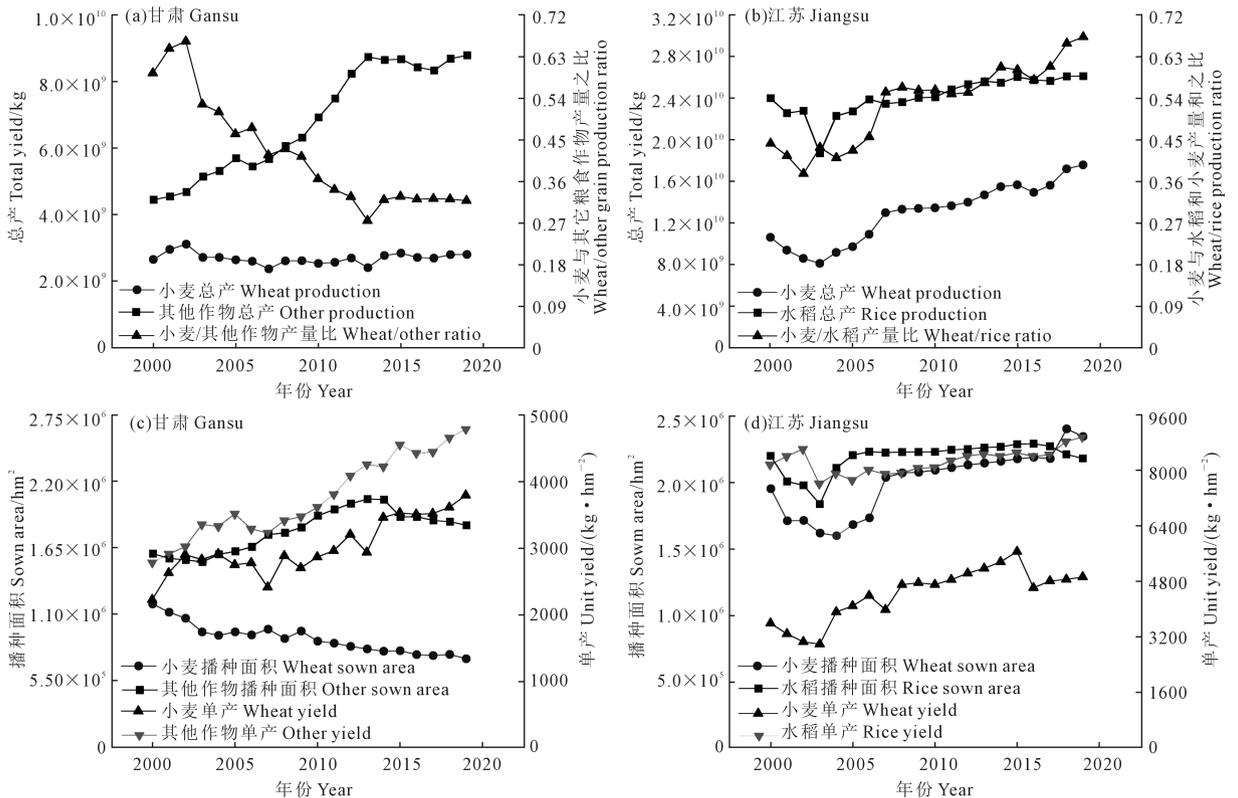


图 2 甘肃省和江苏省小麦总产和单产动态(数据来自国家统计局^[2])
 Fig.2 Dynamics of total yield and unit yield of wheat in Gansu and Jiangsu Provinces, China (Data from the National Bureau of Statistics^[2])

继马铃薯和玉米获得大幅度增产之外,近年来,甘肃小麦生产形势也快速好转。进入 21 世纪以来,随着脱贫攻坚和“牛羊菜果薯药”六大特色产业的深入发展,全省小麦播种面积不断下降,而小麦单产却持续提高,保持了小麦生产总量的基本稳定。在 21 世纪的前 10 年,小麦单产基本稳定,2009 年小麦单产为 $183 \text{ kg} \cdot 667\text{m}^{-2}$,到 2019 年,小麦单产达到 $253 \text{ kg} \cdot 667\text{m}^{-2}$,10 年间单产增加 36%。

近年来甘肃旱地小麦高产育种不断取得新进展。2022 年在甘肃清水县小麦品种‘兰天 36 号’、‘兰天 47 号’、‘兰天 43 号’实际测定产量分别达到 $714, 691, 628 \text{ kg} \cdot 667\text{m}^{-2}$ ^[22];2021 年‘兰天 42 号’和‘兰天 36 号’在清水县测产分别为 $595 \text{ kg} \cdot 667\text{m}^{-2}$ 和 $584 \text{ kg} \cdot 667\text{m}^{-2}$ ^[23];2022 年小麦新品种‘兰大 211’实测产量在庄浪县为 $524 \text{ kg} \cdot 667\text{m}^{-2}$ 、宁县 $504 \text{ kg} \cdot 667\text{m}^{-2}$ ^[24]、平凉崆峒区 $402 \text{ kg} \cdot 667\text{m}^{-2}$ ^[25];2021 年‘兰大 211’品种在张家川和通渭两县分别达到 $507 \text{ kg} \cdot 667\text{m}^{-2}$ 和 $455 \text{ kg} \cdot 667\text{m}^{-2}$ ^[26-27]。在水热条件相对较好的陕西与河南旱地小麦产量表现更加优异。2022 年陕西铜川的‘铜麦 6 号’单产 $766 \text{ kg} \cdot 667\text{m}^{-2}$ ^[28],刷新全国旱地小麦小面积单产最高纪录。2022 年陕西渭南市农业科学研究院孙镇试验站‘渭麦 9 号’平均单产达到 $602 \text{ kg} \cdot 667\text{m}^{-2}$ ^[29]。河南洛阳的‘洛旱 22’刷新全国旱地小麦大面积高产纪录,2022 年平均单产达到 $659 \text{ kg} \cdot 667\text{m}^{-2}$ ^[30]。在当今全国乃至全球小麦单产难以突破的情况下,包括甘肃在内的中西部旱地小麦单产增加却十分亮眼。

在马铃薯、玉米和小麦单产和总产持续提高的同时,农田化肥使用量不仅没有增加,反而不断下降。根据我们在甘肃、陕西、山西三省旱作农业区 13 个乡镇的入户问卷调查,种植覆膜玉米施化肥折算纯氮 $200 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,而不覆膜玉米施氮肥(纯氮) $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,覆膜玉米比不覆膜玉米减少施氮量 $1/3$ (未发表数据)。

在旱地农作物获得高产的同时,长期困扰黄土高原旱地土壤干燥化问题迎刃而解。沟垄覆膜农田深层土壤水分获得显著改善,高产农田土壤水分储量不仅没有减少,反而有显著增加。土壤有机质含量稳中有升,特别是高产玉米大幅度提升了青储饲草的品质和产量,草食畜牧业获得快速发展,扩大了土壤有机肥来源,为提高整个农业生态系统的功能水平奠定了坚实的基础。

在甘肃旱地农业快速发展的基础上,省政府进一步提出了“实施现代丝路旱农优势特色产业

三年倍增行动”计划^[30],计划从 2021 年到 2023 年,全省农业重点优势特色产业全产业链产值由 3 240 亿元增长到 5 452 亿元,增长 68%,效益实现倍增。这一计划目标的顺利实现,将为壮大甘肃旱农产业发展做出更加积极的贡献。

3 旱地农业研究的学科前沿问题

旱地作物增产的核心是提高降水利用效率,这是甘肃旱地农业获得快速发展的灵魂。在旱地农田大幅度增产的基础上,使数十年以来举步维艰的草食畜牧业获得稳定发展,并支撑多产业齐头并进,土壤水分、农田肥力和区域植被覆盖均有明显提高,经济效益和生态效益得到重要改善^[31-33],在作物个体、农田和生态系统等不同尺度上的水分利用效率都获得显著提升,为旱地农业研究提出了诸多新颖的学科前沿问题^[33]。

(1)旱地作物高效用水新理论与新技术亟待突破。随着旱地农田环境不断改善和作物产量不断提高,对旱地作物高效用水生物学机理的理解也在不断深化,研究理念和重点也在随之调整。作物抗旱性同野生植物抗旱性研究有着本质区别:前者以在农田适度干旱环境中获得高产稳产为依据来表征抗旱性,后者则以在干旱环境中获得更多生存机会为准则。农田环境经过人们的改造,土地更加肥沃,水肥条件更加稳定,是相同地区自然环境所不能比拟的。作物和植物抗旱性的科学内涵和研究目标均有显著区别,作物抗旱性研究不宜照搬植物抗旱性研究的理念和方法。建立以生产性状优化为目标的作物群体抗旱性研究体系应作为今后作物生产研究努力的重要方向^[34-37]。

(2)旱地作物水土资源高效利用研究面临新突破。旱地作物沟垄覆盖大幅度提高了水土资源利用效率,目前已对作物产量提升和水土资源利用过程开展了大量研究^[13-18, 38-40],但总体来看还处于较为初步的阶段,与降水和肥力变化相协调的作物产量潜力和实现途径研究很不够,对水土资源协同高效利用和产量提高的机理研究依然表面化,系统深入的机理研究还比较欠缺,作物种类之间的比较研究还不多,相匹配的品种筛选和选育工作还比较少或者还不够深入细致,距离形成新形势下水土资源高效利用研究格局和据此优化作物种植业布局的要求还有很大差距^[38-40]。

(3)旱地作物增产与多样化绿色、低碳与生态化发展的有机结合应该受到更多关注^[30]。集水农业思想使旱地作物栽培获得显著增产,为作物多样

化生产提供了空间。为获得更多稳定的经济收入,各类高价值的经济作物种植快速发展,在绿色、低碳、品质和产量提升等方面有着巨大的发展空间。如何实现多样化种植条件下,促进作物增产与品质提升具有很大的发展空间。

(4)旱地农业的发展应该遵循生态优先原则。进入21世纪以来,甘肃旱地农业研究和实践取得了重要进步,在推进经济社会发展、生态环境改善、脱贫攻坚等方面发挥了重要作用。生态优先是旱地农业遵循的基本原则,尤其是在全面完成脱贫攻坚任务之后,旱地农业的生态优先原则如何落到实处?如何与农业生产功能协调发展?降水资源的合理利用仍然是解决这些问题的金钥匙。作物高效用水研究如何服务于旱地农业绿色、低碳和生态化发展目标,是未来需要研究的重要科学问题。在作物个体和群体尺度、农田生态尺度、以及区域内和区域间协调发展等方面如何实现抗旱、高效和协调发展,有着大量科学问题需要持久关注和深入研究。

参考文献:

[1] 甘肃日报. 甘肃省第三次全国国土调查主要数据公报[EB/OL]. (2021-09-08) [2023-03-13]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1712097491056856575&wfr=spider&for=pc%20Gansu%20Daily>. Gansu Daily. Gansu Province third national land survey main data bulletin [EB/OL]. (2021-09-08) [2023-03-13]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1712097491056856575&wfr=spider&for=pc%20Gansu%20Daily>.

[2] 中华人民共和国统计局. 分省历年粮食产量和人口数据[DB/OL]. <https://data.stats.gov.cn/eas>. Statistics Bureau of the People's Republic of China. Annual grain production and population data by province [DB/OL]. <https://data.stats.gov.cn/eas>.

[3] 朱显谟. 再论黄土高原国土整治“28字方略”[J]. 科技导报, 1996, (3): 44-48. ZHU X M. More on land management measures of Loess Plateau [J]. Science & Technology Review, 1996, (3): 44-48.

[4] 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. SHAN L, XU B C. Discuss about building manpower grassland in semi-arid Loess Altiplano region [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2009, 18(2): 1-2.

[5] 山仑. 提高农田水分利用效率的途径[J]. 植物生理学通讯, 1997, 33(6): 475-476. SHAN L. Approaches to improve water use efficiency on farmland [J]. Plant Physiology Communications, 1997, 33(6): 475-476.

[6] 李生秀, 赵伯善. 我国旱地土壤合理施肥之刍议[J]. 土壤通报, 1991, 22(4): 145-148, 152. LI S X, ZHAO B S. Discussion on the rational fertilization of dryland soils in China [J]. Chinese Journal of Soil Science, 1991, 22(4): 145-148, 152.

[7] 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.

LI Y S. Fluctuation of yield on high-yield field and desiccation of the soil on dryland [J]. Acta Pedologica Sinica, 2001, 38(3): 353-356.

[8] 赵松岭. 黄土高原半干旱区雨养农业研究与开发[J]. 科学·经济·社会, 1990, 8(4): 206-207. ZHAO S L. Research and development of rain-fed agriculture in semi-arid area of Loess Plateau [J]. Science Economy Society, 1990, 8(4): 206-207.

[9] 赵松岭. 集水农业引论[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1996. ZHAO S L. Introduction to catchment agriculture [M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 1996.

[10] 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. LI F M, XU J Z, SUN G J. Restoration of degraded ecosystems and development of water-harvesting ecological agriculture in the semi-arid Loess Plateau of China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(9): 1901-1909.

[11] 王静, 李召祥, 王自忠, 等. 集水工程、沼气池与新型日光温室联体构筑的研究[J]. 应用生态学报, 2001, 12(1): 51-54. WANG J, LI Z X, WANG Z Z, et al. Combined construction of rainwater catchment techniques with methane pool and greenhouse [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2001, 12(1): 51-54.

[12] 杨俊丰. 定西地区马铃薯脱毒原种高产栽培技术[J]. 中国马铃薯, 2001, 15(6): 374-375. YANG J F. High yield cultivation technology of virus-free original seed of potato in Dingxi area [J]. Chinese Potato Journal, 2001, 15(6): 374-375.

[13] WANG X L, LI F M, JIA Y, et al. Increasing potato yields with additional water and increased soil temperature [J]. Agricultural Water Management, 2005, 78(3): 181-194.

[14] ZHOU L M, LI F M, JIN S L, et al. 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(1): 41-47.

[15] 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(4): 241-249.

[16] 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 semi-arid agroecosystem [J]. Agricultural Water Management, 2012, 104: 68-78.

[17] 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.

[18] ELDOMA I M, LI M, ZHANG F, et al. Alternate or equal ridge-furrow pattern: which is better for maize production in the rain-fed semi-arid Loess Plateau of China? [J]. Field Crops Research, 2016, 191: 131-138.

[19] 王朝霞. 甘肃新增50亿斤粮食建设规划: 2015年达1060万吨[EB/OL]. (2010-07-04) [2023-3-13]. http://www.gov.cn/govweb/gzdt/2010-07/04/content_1644953.htm. Wang Z X. Gansu Province plans to add 5 billion kilograms of grain: 10.6 million tons in 2015 [EB/OL]. (2010-07-04) [2023-3-13]. http://www.gov.cn/govweb/gzdt/2010-07/04/content_1644953.htm.

[20] ZHANG X L, ZHAO Y Y, ZHANG X T, et al. Re-used mulching of plastic film is more profitable and environmentally friendly than new mulching [J]. Soil and Tillage Research, 2022, 216: 105256.

[21] Maigoo. 中国粮食自给率最高的10个省份全国各省市粮食自给率排

- 名[EB/OL]. (2022-06-06) [2023-03-13]. <https://www.maigoo.com/top/425032.html>.
- Maigoo. The 10 provinces with the highest self-sufficiency rate of grain in China, ranking of grain self-sufficiency rate of provinces and cities in China [EB/OL]. (2022-06-06) [2023-03-13]. <https://www.maigoo.com/top/425032.html>.
- [22] 王朝霞, 王煜宇. 兰天 36 号小麦旱地亩产高达 714 公斤 [EB/OL]. (2022-07-06) [2023-3-13]. <https://baijiahao.baidu.com/s? id = 1737556286163300704&wfr = spider&for = pc>.
- WANG Z X, WANG Y Y. Lantian 36 wheat mountain dry land yields up to 714 kg per mu [EB/OL]. (2022-07-06) [2023-3-13]. <https://baijiahao.baidu.com/s? id = 1737556286163300704&wfr = spider&for = pc>.
- [24] 杨唯伟. 2021 年甘肃兰天系列冬小麦新品种在陇南陇东创高产 [EB/OL]. (2021-08-13) [2023-3-13]. http://www.moa.gov.cn/xw/qg/202108/t20210813_6374041.htm
- YANG W W. Gansu Lantian series of new winter wheat varieties in Longnan and Longdong hit high yield in 2021 [EB/OL]. (2021-08-13) [2023-3-13]. http://www.moa.gov.cn/xw/qg/202108/t20210813_6374041.htm
- [23] 杨唯伟. 兰天系列冬小麦新品种在陇南陇东创高产 [EB/OL]. (2021-08-13) [2023-3-13]. http://www.moa.gov.cn/xw/qg/202108/t20210813_6374041.htm.
- YANG W W. Creating high yield of Lantian series winter wheat varieties in Longnan and Longdong [EB/OL]. (2021-08-13) [2023-3-13]. http://www.moa.gov.cn/xw/qg/202108/t20210813_6374041.htm.
- [24] 张文华. 宁县旱地冬小麦新品种“兰大 211”实收测产现场会召开 [EB/OL]. (2022-06-30) [2023-3-13]. <http://gssnxx.com/html/05/17144.html>.
- ZHANG W H. The on-site meeting for the actual harvest and yield testing of the new dryland winter wheat variety "Landa 211" in Ningxian County was held [EB/OL]. (2022-06-30) [2023-3-13]. <http://gssnxx.com/html/05/17144.html>.
- [25] 苏家英. “兰大 211”小麦试种成功 [EB/OL]. (2022-08-08) [2023-3-13]. <https://baijiahao.baidu.com/s? id = 1740535812244254394&wfr = spider&for = pc>.
- SU J Y. "Lan Da 211" wheat successfully planted [EB/OL]. (2022-08-08) [2023-3-13]. <https://baijiahao.baidu.com/s? id = 1740535812244254394&wfr = spider&for = pc>.
- [26] 邵全红, 马红红. 好品种亩产逾千斤丰产增收喜人心——2021 年张家川县梁山镇岳山村冬小麦“兰大 211”示范点实产测定现场会侧记 [EB/OL]. (2021-07-10) [2023-3-13]. http://www.zjc.gov.cn/html/2021/jinrizhangjiachuan_0711/38648.html.
- SHAO Q H, MA H H. Good varieties produce more than one thousand Jin per mu, high yield, and increase revenue, encouraging the people——sidelights of the 2021 field meeting for measuring the actual yield of winter wheat at the "Lan Da 211" demonstration site in Yueshan village, Liangshan town, Zhangjiachuan County [EB/OL]. (2021-07-10) [2023-3-13]. http://www.zjc.gov.cn/html/2021/jinrizhangjiachuan_0711/38648.html.
- [27] 程楠. 甘肃: 旱地冬小麦新品种“兰大 211”专家实产测定成果喜人 [EB/OL]. (2021-07-10) [2023-3-13]. <https://baijiahao.baidu.com/s? id = 1704884332750915862&wfr = spider&for = pc>.
- CHENG N. Gansu: the expert yield measurement results of the new dryland winter wheat variety "Landa 211" are satisfactory [EB/OL]. (2021-07-10) [2023-3-13]. <https://baijiahao.baidu.com/s? id = 1704884332750915862&wfr = spider&for = pc>.
- [28] 裴明, 董唯韦, 郭玮. 亩产 766.42 公斤! “铜麦 6 号”刷新全国旱地小
- 麦小面积单产最高纪录 [EB/OL]. (2022-06-22) [2023-03-13]. <https://baijiahao.baidu.com/s? id = 1736299566189885366&wfr = spider&for = pc>.
- PEI M, DONG W W, GUO W. 766.42 kg · 667m⁻²! "Tongmai 6" sets a new national record for the highest yield of dryland wheat in a small area in 2022 [EB/OL]. (2022-06-22) [2023-3-13]. <https://baijiahao.baidu.com/s? id = 1736299566189885366&wfr = spider&for = pc>.
- [29] 张爽. 夏收了! 看我国小麦亩产新纪录 [EB/OL]. (2022-06-16) [2023-3-13]. <https://baijiahao.baidu.com/s? id = 1735772789423802611&wfr = spider&for = pc>.
- ZHANG S. Summer harvest! Looking at the new record of wheat yield per mu in China [EB/OL]. (2022-06-16) [2023-3-13]. <https://baijiahao.baidu.com/s? id = 1735772789423802611&wfr = spider&for = pc>.
- [30] 高翔. 甘肃: 实施三年倍增行动让现代丝路寒旱农业高质量发展更有底气 [EB/OL]. (2021-09-17) [2023-03-13]. <https://baijiahao.baidu.com/s? id = 1711130199982404338&wfr = spider&for = pc>.
- GAO X. Gansu: implement the three-year doubling action to strengthen the foundation for high-quality development of cold and dry agriculture along the modern Silk Road [EB/OL]. (2021-09-17) [2023-03-13]. <https://baijiahao.baidu.com/s? id = 1711130199982404338&wfr = spider&for = pc>.
- [31] 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.
- [32] ZHANG X L, ZHAO Y Y, GAO W J, et al. Converting alfalfa pasture into annual cropland achieved high productivity and kept soil organic carbon in a semiarid area [J]. *Land Degradation & Development*, 2021, 32(3): 1478-1486.
- [33] 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.
- LI F M. Ecologicalization and high-quality development of dryland farming in the Loess Plateau of NW China [J]. *Science & Technology Review*, 2020, 38(17): 52-59.
- [34] WEINER J, DU Y L, ZHAO Y M, et al. Allometry and yield stability of cereals [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2021, 12: 681490.
- [35] WEINER J, DU Y L, ZHANG C, et al. Evolutionary agroecology: individual fitness and population yield in wheat (*Triticum aestivum*) [J]. *Ecology*, 2017, 98(9): 2261-2266.
- [36] ZHU Y H, WEINER J, JIN Y, et al. Biomass allocation responses to root interactions in wheat cultivars support predictions of crop evolutionary ecology theory [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2022, 13: 858636.
- [37] ZHU Y H, WEINER J, YU M X, et al. Evolutionary agroecology: trends in root architecture during wheat breeding [J]. *Evolutionary Applications*, 2019, 12(4): 733-743.
- [38] 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, Part B: 103-111.
- [39] ZHANG F, ZHANG W J, QI J G, 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: 458-468.
- [40] ZHOU L M, JIN S L, LIU C A, et al. Ridge-furrow and plastic-mulching tillage enhances maize-soil interactions: opportunities and challenges in a semiarid agroecosystem [J]. *Field Crops Research*, 2012, 126: 181-188.