

甘肃省黄土高原旱作区干旱灾害特点及抗旱救灾农作制度的建立

张绪成, 朱润身, 樊庭录, 侯惠芝

(甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 农业部西北作物抗旱栽培与耕作重点开放实验室, 甘肃 兰州 730070)

摘 要: 在分析甘肃省中东部黄土高原旱作区当前干旱灾害和农业生产现状的基础上, 进一步分析了干旱灾害和农业生产模式以及二者的互作效应对农田系统抵御干旱灾害能力的影响。认为抗旱减灾农作制度必须以科学轮作的作物体系、耕地质量保育和自然降水高效利用的栽培技术体系为支撑点。只有建立基于多样化的作物体系、秸秆还田、科学轮作、垄沟种植、二元覆盖和少免耕技术的农作制度, 协调农田生产和生态之间的关系, 才能够实现甘肃省中东部黄土高原旱作农田水土资源的可持续利用, 达到抗旱救灾和农田生产力持续提高的目标。

关键词: 黄土高原; 旱作区; 干旱气候; 抗旱救灾; 农作制度

中图分类号: S423 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)05-0012-06

甘肃省是最典型、最严重的干旱省份, 近 50 年来年均干旱受灾面积约为 63.1 万 hm^2 , 约占播种总面积的 18%, 其中成灾面积约为 50.5 万 hm^2 , 约占播种总面积的 14%^[1~3]。干旱灾害发展具有面积增大和频率加快的趋势, 1950~2000 年甘肃省共发生干旱成灾面积超过 100 万 hm^2 的严重干旱年 13 次, 而 90 年代以来就出现了 6 次, 特别是 1995 年和 2000 年最为严重, 成灾面积为 50 年来最大^[4~6]。因此, 干旱灾害对甘肃农业生产的影响变得越来越严重, 尤其在甘肃省中东部的黄土高原旱作农业区, 干旱的形势将会愈加严重, 对农业生产安全和农村经济发展的威胁将会更加突出^[2, 4, 7]。近年来, 人们通过对地膜覆盖、田间微集水、少免耕和种植结构调整等技术集成推广, 极大地增强了旱区农田生产系统抵御旱灾的能力^[8~11]。但现有技术的集成缺乏对耕地质量保育技术的引进整合, 特别是目前区域农业产业化发展的背景条件下, 相对单一的作物种植结构使得农业生产的干旱灾害风险增大, 而且高强度种植导致耕地质量的严重退化, 增加了旱区农业生产系统的旱灾风险和抵御风险的成本。因此, 在现有农业抗旱减灾技术的基础上, 应进一步纳入科学的轮作制度和循环农业的理念, 建立在水土资源可持续利用和耕地质量保育基础上的农田生产系统抗旱减灾农作制度, 为区域农业水土资源的高效利用提供技术保障, 实现黄土高原地区水土资源可持续利用、节本增效的目标。

1 近 50 年来甘肃省干旱演变的趋势和特点

1.1 干旱灾害的成灾面积不断扩大

根据对 1950~2000 年甘肃旱灾受灾和成灾面积统计资料分析, 近 50 年甘肃干旱灾害发展具有面积和成灾比率增大的趋势^[3, 6]。20 世纪 50~90 年代中各年代全省平均受旱面积依次为 25.8, 56.5, 59.3, 63.8, 99.8 万 hm^2 , 从 50 年代~90 年代, 受旱率增加了 1.25 倍, 成灾率增加了 1.6 倍, 甘肃省成灾面积占受旱面积的比例西北地区最大, 达 76.3%^[3]。干旱影响范围广, 通常波及全省大部分县市, 主要集中在黄河以东的中东部地区黄河流域, 占全省受旱面积的 79%^[8]。这表明甘肃气候十分明显的干旱化趋势, 旱灾对甘肃农业生产的影响变得越来越严重, 尤其在地处中东部的黄土高原旱作区更为突出。

1.2 旱灾的频度加快、灾害程度逐渐增强

干旱发生的频度同样呈现加快的趋势(表 1), 近 50 年来, 甘肃省共发生干旱成灾面积超过 100 万 hm^2 的严重干旱年 13 次, 而 90 年代以来就出现了 6 次, 分别是 1991, 1992, 1994, 1995, 1997 和 2000 年^[3]。特别是 1995 年和 2000 年最为严重, 成灾面积为 50 年来最大^[5]。严重的干旱年都是严重春末初夏伏秋连旱, 造成夏粮严重减产。甘肃省旱灾除了受灾面积呈逐渐增大趋势外, 灾害程度近年来日趋变强(表 1)。1950~2007 年间, 旱灾造成粮食减

收稿日期: 2009-01-18

基金项目: 国家自然科学基金(30800668); 甘肃省科技重大专项计划(0801NKDA017)

作者简介: 张绪成(1973—), 男, 甘肃民勤人, 副研究员, 长期从事植物生理生态和作物耕作栽培等方面的研究工作。

产达到1 224万 t,而且减产量呈明显的增加趋势,仅 90 年代就造成 387 万 t 的粮食减产,占总量的 31.6%,灾害程度为 50 年来最强^[8]。2007 年较为严重的春旱连初夏旱使甘肃东部降水量为 1951 年以来同期最低值,60 年罕见,达到重旱标准,导致春播作物萎蔫、枯死,夏粮减产。

表 1 甘肃省 1960~2007 年大旱年受灾情况及旱灾频次
Table 1 Drought and its frequency in Gansu Province in 1960~2007

年代 Year	发生频次 Frequency	受灾面积 Stricken area (万 hm ²)	成灾面积 Disaster area (万 hm ²)	减产粮食 Yield reducing (万 t)	旱灾类型 Type of drought
1960s	1	114.10	101.50	56.86	春季初夏旱 Spring and early summer.
1970s	3	332.50	296.50	210.63	冬春连旱和伏秋连旱 Continuing from winter to next spring, from mid summer to autumn.
1980s	3	362.90	305.60	365.69	冬春旱和伏秋连旱 Winter and early spring, continuing from midsummer to autumn. 春末夏初旱 Late spring and early summer.
1990s	6	691.20	534.80	387.00	冬春旱和伏秋连旱 Winter and early spring, continuing from midsummer to autumn. 秋冬春夏连旱 All year round.
2000s	3	404.51	280.38	204.18	春末夏初旱,伏旱,四季均旱 Late spring and early summer, midsummer, all year round.

1.3 旱灾多季节发生,呈多样化类型的变化趋势

甘肃省旱灾往往是多个时段的干旱连续发生,持续时间长,旱情重,除造成粮食减产和部分年份少比例面积绝收外(表 1),还造成人畜饮水困难^[6]。近 50 年来干旱呈多季节发生,在 20 世纪 60 年代,主要以冬春旱和春末夏初旱为主要类型;70 年代则以冬春连旱和伏秋连旱为主;80 年代除冬春旱和伏秋连旱外,还表现为春末夏初旱;90 年代在冬春旱和伏秋连旱的基础上,在旱灾最为严重的 1995 年还呈现秋冬春夏连旱的极端干旱气候现象;2000~2007 年的干旱依然呈现多样化发生的趋势,尤其在 2001 年表现为春、夏、秋、冬均旱的严重干旱旱灾^[8]。所以,甘肃省近 50 年来的旱灾在逐步多样化发生,这不仅增加了农业生产的干旱风险,而且对抗旱技术的要求逐步提高。

2 甘肃黄土高原旱作区农业生产模式及其对农田系统抵御干旱能力的影响

2.1 农业产业化发展背景下的单一农业种植结构

农业产业化是提高农民收入、改善农村经济状况的主要途径,也是旱作农业区顺应自然降水规律而采取的行之有效的降低农业生产干旱风险的有效措施之一^[9~10]。自甘肃省发展规模化的农业产业化以来,农业商品产值由 1986 年的 14.2 亿元增加到 2000 年 128 亿元,15 年内增长了 9 倍,商品率由 37.9%增加到 57.8%,产业化的农业发展模式为甘

肃省农村经济水平的提高做出了突出贡献^[11]。然而,产业化的农业生产模式必将导致单一的种植结构,增加了整个农业生产系统的灾害风险,尤其在甘肃省黄土高原的旱作农业区,在当前干旱灾害发生频度高、类型多样化的自然背景下,单一种植结构的农田生产系统对干旱灾害的抵御能力势必下降,增加了农业生产的干旱灾害风险^[12]。自 20 世纪 90 年代以来,干旱灾害受灾面积加大、成灾比率升高一方面是气候干旱作用的结果,另外单一的种植业结构加剧了气候干旱的作用强度,加重了农业生产干旱灾害的结果。

2.2 以耕地质量退化为代价的农田高强度种植模式

高强度的种植模式和不合理的生产投入是我国耕地质量下降的主要成因^[13],黄土高原地区由于受自然和经济条件的限制,农业生产一直处于低投入和休闲种植的状况^[14],但近年来,随着经济状况的改善和农业生产自身发展的需求,农业生产的强度和投入逐年增加^[15]。自 20 世纪 80 年代以来,位于甘肃省中部黄土高原旱作区的定西市粮食产量由不足 64 kg/667m² 增加到 2007 年的 200 kg/667m²^[11],这一方面是由于兴修梯田、集水保墒等保水保土措施的应用,另一方面是大面积推广应用化学肥料的结果。近几年来,玉米地膜双垄沟播技术和马铃薯的大面积推广^[16,17],使得粮食产量有了较大幅度的增加,但化肥用量的增加幅度明显高于粮食产量,以

2006 和 2007 年为例,定西市化肥用量增加了 7.9%,但粮食产量的增加幅度为 6.6%,而且在降雨量增加 35 mm 的情况下马铃薯产量反而下降了 10% 左右^[11],这主要是因为耕地质量下降所致。所以,在农业产业化发展的大趋势下,一方面由于农田生物多样性的减少而降低了作物体系自身抵御干旱灾害的能力,另一方面高强度的种植模式和化肥用量的增加,使得土壤有机质减少、碳氮比例失调而引起耕地质量下降^[18,19]。因此,农业产业化发展模式下的单一种植结构是导致耕地质量下降的重要原因,而单一的种植结构和耕地质量下降都可能加剧气候干旱对农业生产的影响,加大自然灾害的危害程度。

2.3 以地膜覆盖保墒和微地形工程集水为主要组分的高能耗抗旱技术模式

近年来,随着干旱的频度和强度加大,人们通过应用地膜覆盖和田间微集水组合而形成的旱作农田抗旱栽培技术,极大地增强了旱区农田生产系统抵御旱灾的能力^[16~18]。但地膜覆盖保墒技术和田间微地形集水工程虽然具有显著的集水保墒效果,但增加了农业生产成本,而且可能对农田土壤的理化性状和环境质量产生不利影响^[19~21]。以玉米地膜双垄沟播种植技术为例,该项技术的应用使每 667m² 新增地膜投入 56 元,人工投入 50 元/667m²,而且有研究表明,全地面地膜覆盖会造成土壤孔隙度下降,降水入渗率降低,使得土壤板结的可能性增大,作物对土壤水的利用效率降低^[20,21]。因此,现有的以地膜覆盖保墒和微地形工程集水为主要组分的抗旱技术模式不但能耗较高,而且可能会导致一些生态问题,它能够在短期内取得显著的增产效果,但从长远来看可能会对土壤环境产生不利影响,并不能完全协调旱作农田生产和生态之间的关系。

2.4 现有农业生产模式对农田系统抵御旱灾能力的影响

农业产业化发展模式下相对单一的种植结构、农业生产商品化背景下的以追求高产为目标的农田管理方式和高能耗抗旱技术的应用,不但可能对耕地质量产生不利影响,而且降低了农田作物体系自身抵御干旱灾害的能力和提高了农业生产抗旱减灾的成本。在更深层面上,就农田系统抵御干旱灾害的能力方面,作物种植结构—耕地质量—抗旱减灾技术三者之间存在相互依存的关系,一个种植结构多样的农田系统能够有效地保育耕地并能降低干旱灾害作用的结果,而质量良好的耕地则能够促进作物体系的发育,提高其抵御干旱灾害的能力,而其抗旱减灾技术则可以被简化,降低抗旱减灾的科技成

本和经济成本,也可以降低技术应用对耕地质量和生态的潜在不利影响;然而,相对单一的作物种植结构一方面加大了作物体系的干旱灾害风险,另一方面可能导致耕地质量退化,而退化的耕地质量则可能与干旱气候相互作用于作物体系,放大干旱灾害的效果,由此提高对抗旱技术的要求,增加其成本,并且加大技术应用的潜在环境风险。

在现今旱地农业产业化发展的大趋势之下,以追求经济效益为目的的单一种植结构已成必然^[22],高强度的种植模式和高投入的管理模式已经导致耕地质量的严重下降^[23,24]。虽然以全地面地膜覆盖和微地形集水技术为主体的抗旱保墒技术在短期内提高了土地的产出效益和农田抗旱能力,但其潜在的环境威胁可能会成为放大干旱灾害效果的另一诱因。因此,在农业产业化背景条件下的单一种植结构、耕地质量退化和抗旱技术的潜在环境威胁以及它们之间的相互作用,均可能成为放大干旱灾害对作物生产系统作用结果的因素,所以现有的以种植结构单一、耕地质量退化和具有潜在环境威胁的抗旱技术为鲜明特色的农业生产模式导致了农田生产系统抵御旱灾能力的严重下降。

3 抗旱救灾农作制度的内容、目标和关键问题

3.1 抗旱救灾农作制度的内容和目标

针对农业产业化发展背景下的种植结构单一、耕地质量退化和抗旱技术具有潜在环境威胁和成本较高等导致农田系统抵御干旱灾害能力下降和抗旱减灾成本较高的问题,科学的抗旱救灾农作制度必须要以多样化的农田作物体系、保育耕地质量的耕作栽培制度、节本增效和环境友好的抗旱减灾技术为主要支撑内容。因此,科学的抗旱减灾农作制度要在现有农业抗旱减灾技术的基础上,进一步纳入科学的轮作制度和循环农业的理念,建立在水土资源可持续利用和耕地质量保育基础上的抗旱减灾农作制度,形成作物种植结构—耕地质量—抗旱减灾技术三者之间的良性相互作用,增强或改善农田生产系统抵御干旱灾害的自身能力和外部环境,为实现甘肃省黄土高原旱作区水土资源可持续利用、节本增效和抗旱减灾提供科技支撑。

3.2 抗旱救灾农作制度需解决的关键问题

就我国目前的国家需求、区域经济发展需要和农业发展态势,产业化的农业发展趋势在短期内不会发生改变,尤其在地处甘肃省中东部的黄土高原旱作农区,对农村经济发展的需求更加迫切,所以单

一作物种植结构的农业生产现象将会在一个较长的时期内存在。因此,抗旱减灾技术措施首先需要解决在单一种植结构条件下的耕地质量退化问题,以及由此引起的作物体系干旱灾害风险增加,所以,科学抗旱减灾技术必须纳入科学的轮作制度和循环农业的理念,协调生产和生态之间的关系,在节约资源的基础上达到生态安全的目的,真正实现抗旱救灾、节本增效的目标。

3.2.1 农业产业化发展背景下的特色作物多样化

多样化元素构成是系统稳定的根本基础,增加作物体系内部种类多样性是提高作物生产系统抵御外部因素胁迫的重要途径^[25],尤其在甘肃中东部黄土高原旱作区,提高作物生产系统的稳定性是增强其抗旱性的重要措施。农业产业化发展的前提条件是特色作物的种植和经营,为提高旱作农田抵御干旱灾害的能力,发展多样化的特色作物产业结构是一个行之有效的途径。因此,在该区域发展马铃薯、玉米、小麦、果树等作物产业化的前提下,因地制宜地扩大如豆类、糜谷类和油料作物的播种面积,一方面作为轮作倒茬、培肥地力的生物措施,另一方面增加农田系统作物的多样性,提高其抵御干旱灾害的能力,降低干旱对农业生产的潜在威胁。

3.2.2 特色作物产业化发展背景下的耕地质量保育

发展区域特色作物产业化,则会因作物连作、化学肥料的应用和高强度种植而导致耕地质量退化^[23,24]。改良耕地质量不仅是农业生产可持续发展的要求,也是提高旱作农业作物体系抵御干旱灾害的实际需要。部分秸秆还田、科学轮作等措施是培肥地力、保育耕地质量的有效措施^[26~30],一方面能够通过改良土壤理化性状而提高土壤的保水保肥能力和作物对土壤水的利用效率,以降低干旱胁迫的程度;另外可以通过提高土壤肥力而促进作物体系的发育^[30~32],提高作物自身对干旱胁迫的适应水平,达到抗旱减灾的目的。因此,在当前特色作物产业化发展的背景下,科学的抗旱减灾技术必须纳入以秸秆部分还田和科学轮作为主要措施的耕地质量改良技术,从而达到增强农田系统抵御干旱灾害的目的。

3.2.3 循环农业体系下的田间管理技术

通过秸秆部分还田可以解决耕地质量退化的问题^[33~35],但在旱作农区为了使秸秆还田的效益最大化,秸秆首先是作为一种覆盖保墒材料,在其腐烂分解后还田。因为秸秆是一些病虫害的寄主,在还田后增加了农田病虫害发生的几率^[35];再者,与秸秆还田结合应用的少免耕技术会导致杂草的大面积发生,提

高土壤水肥的无效消耗而降低整个农田生产系统抵御干旱灾害的能力。因此,秸秆还田和少免耕技术的应用会增加病虫害和杂草的发生几率^[35],将对农田抗旱减灾能力的提高产生负面影响;另外,就密植作物而言,旱作区覆盖条件下的施肥成为一个新问题,如何解决病虫害杂草和科学施肥的田间管理技术,是建立基于循环农业理念的抗旱农作制度的一个关键问题。

3.2.4 寻求秸秆还田政策补贴的长效机制

秸秆还田不仅作为一项改良耕地质量的措施,而且对旱作农田抗旱保水、提高降水利用效率具有重要意义^[36,37],是抗旱救灾农作制度的一项重要内容。但在甘肃省黄土高原旱作农区,作物秸秆是十分重要的燃料和家畜饲料,在该区推广秸秆还田技术有较大难度,必须得到政府部门的支持和引导,通过秸秆还田的政策性补贴,形成相关的政策制度来扶持该项工作的长期进行。

3.3 科学抗旱救灾农作制度的建立

根据干旱气候演变特征和区域特色作物体系的特点,建立基于耕地质量保育和自然降水高效利用,以多样化特色作物种植结构、秸秆部分还田、科学轮作、田间微地形集水、多元覆盖保墒和少免耕等技术为主要内容的抗旱救灾农作制度,是甘肃中东部黄土高原旱作农区实现农田生产系统抗旱减灾、粮油作物安全生产的主要出路,也是该地区实现水土资源可持续利用、农业生产力持续提高的根本措施。

3.3.1 种类相对多样的特色作物体系

依据区域自然降水特征、作物需水规律及市场需求,挖掘抗旱救灾特色作物,培育其产业化发展规模,是发展甘肃中东部黄土高原旱作区抗旱救灾农作制度的首要任务。另外,因地制宜地引进糜谷、豌豆、扁豆等应急救灾作物,也是丰富抗旱救灾特色作物体系的重要途径。在陇东黄土高原旱作区,在主栽作物小麦、玉米、大豆和油菜等基础上,适当扩大糜谷、豌豆、扁豆和荞麦的种植面积;陇中地区在马铃薯、玉米、小麦、胡麻等主栽作物之外,适当扩大油葵、豌豆扁豆、中药材和荞麦的种植面积。形成相对多样化的作物体系,一方面增强作物体系自身的结构性抗旱能力,另外为农田的科学轮作提供种植资源。

3.3.2 基于多元覆盖和科学轮作制度的田间微地形集水技术

科学的抗旱减灾技术必须纳入秸秆还田和轮作等土壤改良措施,而且要通过田间集水保墒等技术措施来提高降水利用效率^[38,39],所以在技术层面上要解决轮作—秸秆还田—覆盖—田间微地形集水相互统一协调的问题。二元覆盖沟垄种植技

术是在垄面覆盖地膜作为集水面以聚集降水,沟底作为种植微区覆草保持土壤水分,沟内的覆草腐化分解后还田。因此,该项技术能够实现秸秆部分还田、聚集自然降水保墒抑蒸的目的^[32]。在甘肃中部稀植作物配套为玉米/油菜—蚕豆—马铃薯,密植作物为春小麦—豌豆—胡麻;东部稀植作物配套为玉米—大豆—油菜,密植作物为冬小麦—豌豆—糜谷轮作,结合少免耕技术的应用,可使得田间微地形工程和覆盖材料多年利用^[35],能够实现耕地质量保育、节本降耗和自然降水高效利用的目标,形成科学的抗旱救灾农作制度。

4 小 结

甘肃省中东部的黄土高原旱作农区年降雨量 400~550 mm,蒸发量为 1 400~2 000 mm,降水量的时空分布不均和强烈的土面蒸发是造成干旱灾害的主要原因。近年来,随着区域农业产业化的深入发展,该区域种植结构日趋单一、种植强度日趋加大,对耕地质量形成了现实的和潜在的威胁,加剧了干旱灾害对作物体系的危害效果,而且相对单一的种植结构自身也增加了农业生产的灾害风险。因此,该区域抗旱减灾技术一方面需要保蓄水分和降低蒸散量,提高对自然降水的利用效率;另一方面要保育耕地质量,发挥水土互作的抗旱减灾效果。

秸秆还田和科学轮作是平衡土壤养分、改良耕地质量的有效措施^[40],而以垄沟种植的方式,垄面覆膜聚集降水、沟底覆草保蓄水分和改良土壤物化性状,覆草分解后直接还田改善耕地质量,不仅能够保育耕地质量,而且可以聚集和保蓄自然降水并同时提高土壤水的利用效率,达到抗旱减灾之目的。另外,选择科学的轮作制度和少免耕技术配套应用,使得田间微集水工程措施和覆盖材料多年应用,降低生产成本和提高效益,实现节本增效的目标。因此,以多样化的作物体系、秸秆还田、科学轮作、垄沟种植、二元覆盖和少免耕技术为主要内容的抗旱减灾农作制度,不仅能够实现减灾增效的目的,而且可实现旱区水土资源的可持续利用,能够为我省中东部黄土高原旱作区农业生产又好又快发展提供科技支撑。

参 考 文 献:

- [1] 邓振镛. 高原干旱气候作物生态适应性研究[M]. 北京: 气象出版社, 2005: 216—249.
- [2] 左洪超, 吕世华, 胡德稳. 中国近 50 年气温及降水量的变化趋势分析[J]. 高原气象, 2004, 23(2): 238—244.
- [3] 邓振镛, 张宇飞, 刘德祥, 等. 干旱气候变化对甘肃省干旱灾害的影响及抗旱减灾技术的研究[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(4): 94—99.
- [4] 宋连春, 张存杰. 20 世纪西北地区降水量变化特征[J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 143—147.
- [5] 于淑秋, 林学椿, 徐祥德. 中国西北地区气候变化特征[A]. 中国气象学会气候学委员会. 新世纪气象科技创新与大气科学发展—气候系统与气候变化论文集[C]. 北京: 气象出版社, 2003: 426—429.
- [6] 刘德祥, 董安祥, 陆登荣. 中国西北地区近 43 年气候变化对农业生产的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(2): 195—200.
- [7] 李茂松, 李 森, 李育慧. 中国近 50 年旱灾灾情分析[J]. 中国农业气象, 2003, 24(1): 7—10.
- [8] 邓振镛, 董安祥, 郝志毅, 等. 干旱与可持续发展及抗旱减灾技术研究[J]. 气象科技, 2003, 32(3): 187—190.
- [9] 张藕珠, 胡省平, 贺玉柱, 等. 旱作农业技术模式集锦[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2001: 69.
- [10] 梁银丽, 张成娥, 郭伟东, 等. 黄土高原农田覆盖效应与前景分析[J]. 中国农业生态学报, 2001, (1): 54—57.
- [11] 甘肃省统计局. 甘肃统计年鉴[M]. 2003.
- [12] 于法稳, 尚 杰. 西北半干旱区集水型生态农业与生态环境的恢复重建[J]. 中国软科学, 2002, (2): 86—88.
- [13] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 915—924.
- [14] 高世铭, 杨封科, 苏永生. 陇中黄土高原丘陵沟壑区生态环境建设与农业可持续发展研究[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2003: 95.
- [15] 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): 1091—1099.
- [16] 孙大鹏, 万 伦. 甘肃半干旱区地膜覆盖再利用免耕技术效应与前景分析[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(5): 60—63.
- [17] 张德奇, 廖允成, 贾志宽. 旱区地膜覆盖技术的研究进展及发展前景[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(1): 208—213.
- [18] 谷 茂. 中国半干旱区降水的农业高效利用[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2001.
- [19] 王 俊, 李凤民, 宋秋华. 地膜覆盖对土壤水温和春小麦产量形成的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(2): 205—210.
- [20] 胡明芳, 田长彦. 新疆棉田地膜覆盖耕层土壤温度效应研究[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11 (3): 128—130.
- [21] 李凤民, 鄢 珣, 王 俊, 等. 地膜覆盖导致春小麦产量下降的机理[J]. 中国农业科学, 2001, 34(3): 330—333.
- [22] 郑高强, 付 静, 钟海国. 中国特色农业现代化道路模式的选择[J]. 农业现代化研究, 2008, 29(4): 390—394.
- [23] 丁昆仑, Hann M J. 耕作措施对土壤特性及作物产量的影响[J]. 农业工程学报, 2000, 16(3): 49—52.
- [24] 柳 勇, 徐润生, 孔国添, 等. 高强度连作下露天菜地土壤次生盐渍化及其影响因素研究[J]. 生态环境, 2006, 15(3): 620—624.
- [25] 刘夏茹, 周文宗, 杨文新. 农业系统论与农业结构调整[J]. 地域研究与开发, 2005, 24(5): 32—37.
- [26] 高亚军, 李生秀, 李世清, 等. 施肥与灌水对硝态氮在土壤中残留的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(6): 61—64.
- [27] 张正茂, 王虎全. 渭北地膜覆盖小麦最佳种植模式及微生境效

应研究[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(3): 55—60.

[28] 薛少平, 朱琳, 姚万生, 等. 麦草覆盖与地膜覆盖对旱地可持续利用的影响[J]. 农业工程学报, 2002, 18(6): 71—73.

[29] 陈尚洪, 朱钟麟, 刘定辉, 等. 秸秆还田和免耕对土壤养分及碳库管理指数的影响研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(4): 806—809.

[30] 陈守用, 孟庆堂, 杜红艳. 耕作制度变革对土壤性状及农业生产的影响[J]. 安徽农业科学, 2005, 33(1): 67—68.

[31] 韩思明. 黄土高原旱作农田降水资源高效利用的技术途径[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(1): 1—9.

[32] 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.

[33] 陈万金, 信乃谄. 中国北方旱地农业综合发展与对策[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1994: 186—190.

[34] 赵荣华, 黄明镜, 李萍, 等. 旱地谷子休闲期地膜覆盖垄作效应研究[J]. 生态农业研究, 1998, 6(3): 30—32.

[35] 张雷, 牛建彪, 张成荣, 等. 旱地玉米双垄全膜覆盖“一膜用两年”免耕栽培模式研究[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(2): 8—11.

[36] 山仑, 陈国良. 黄土高原旱地农业的理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 1—19.

[37] 吴天龙, 马丽, 隋鹏. 太行山前平原不同轮作模式水资源利用效率评价[J]. 中国农学通报, 2008, 24(5): 351—356.

[38] 杨柳青. 我国干旱区耕作制度可持续发展[A]. 中国耕作制度研究会. 面向 21 世纪的中国农作制[C]. 石家庄: 河北科学技术出版社, 1998: 330—334.

[39] 信乃谄. 北方旱地农业研究与开发的重大进展与突破[J]. 干旱地区农业研究, 1998, 16(4): 1—8.

[40] 王龙昌, 马林, 赵惠青, 等. 国内外旱区农作制度研究进展与趋势[J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22(2): 188—193, 199.

The characteristics of drought and construction of drought-resistant and relievable farming system on the arid area of the Loess Plateau in the middle and east Gansu province

ZHANG Xu-cheng, ZHU Run-shen, FAN Ting-lu, HOU Hui-zhi

(Key Laboratory of Northwest Crop Drought-resistant Farming, Ministry of Agriculture, Institute of Dryland Agriculture, Gansu Academy of Agriculture Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: The situation of drought and agricultural production on the arid area of the Loess Plateau in the middle and east Gansu Province was expatiated, and the effects of the interaction between drought and agronomic planting structure on drought-resistant ability of cropland system were also analyzed. The results showed that the drought-resistant farming system must be based on the rational crop system, the farmland conservation system and efficient rainwater utilization, including diverse crop system, straw-returning, rational crop rotation, ridge-furrow planting, dual mulching and minimum tillage and no-tillage, to harmonize the relationship between agricultural yield and ecology, and then to use water and soil resources sustainably on the area, and furthermore, to achieve the target of drought-resistance and continuous increment of agricultural yield.

Keywords: Loess Plateau; arid area; drought; drought resistance and relief; farming system