

免耕施肥对两个轮作系统生产力及水分利用效率的影响

黄茂林^{1,3}, 梁银丽^{1,2}, 韦泽秀⁴, 尚金霞³

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3. 甘肃省庆阳市经济林木工作管理站, 甘肃 庆阳 745000; 4. 西藏自治区农牧科学院农业研究所, 西藏 拉萨 850032)

摘要: 依托陕西安塞旱作农区田间小区试验, 通过2 a定位观测, 分析了传统翻耕施肥(CF)、翻耕施有机肥(CM)、翻耕不施肥(CN)、免耕施肥(NF)、免耕施有机肥(NM)、免耕不施肥(NN)6个处理对大豆—玉米、红小豆—马铃薯两个轮作系统生产力及水分利用效率的影响。结果表明, 免耕保墒蓄水的生态经济效用存在一定的降水量范围, 在这个范围内, 免耕比翻耕保墒效果好, 免耕下4种作物均表现出较好的生态经济效益, 马铃薯、红小豆、玉米以NF较优, 而大豆以NM较优。在低于免耕效用降水量最低临界值下, 4种作物经济效益都以施肥较优, 施肥下以免耕略优, 但与翻耕一般无显著差异。在水分利用效率方面, 免耕施肥略优。在6种处理和两个轮作系统下, 4种常见作物的经济产量从大到小依次为马铃薯、玉米、大豆、红小豆, 玉米、马铃薯、红小豆3种作物在陕北黄土丘陵沟壑旱作农区的较优耕作管理方式为NF, 其次是大豆NM。

关键词: 免耕施肥; 轮作系统; 生产力; 水分利用效率; 黄土丘陵沟壑区

中图分类号: S157.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1463(2013)08-0003-05

doi:10.3969/j.issn.1001-1463.2013.08.001

Effect of No-Tillage Fertilization on Productivity and Water Use Efficiency of Two Cropping Rotation System

HUANG Mao-lin^{1,3}, LIANG Yin-li^{1,2}, WEI Ze-xiu⁴, SHANG Jin-xia³

(1. Northwest Sic-tech University of Agriculture and Forestry, Yanglin Shanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, the Chinese Academy of Sciences and Ministry of water Resource, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Qingyang Economic Forest Work Management Station, Qingyang Gansu 745000; 4. Institute of Agricultural, Tibet Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Tibet Lhasa 850032, China)

Abstract: According to the experiments in dry farming region of plot in Shaanxi Ansai, analysis the effect of six treatments with conventional tillage fertilizer (CF), tillage organic manure (CM), tillage no fertilizer (CN); no-tillage fertilizer (NF), no-tillage organic fertilizer (NM), no-tillage no fertilizer (NN) on productivity and water use efficiency of two cropping rotation system with soybean - corn, Red Bean - potato by two years positioning observation. The results showed that the utility of ecological economic of no-tillage soil moisture water being rainfall range, within this range, the effect of soil moisture of no-tillage is better than tillage, can improve yield; four kinds of crops all showed less good ecological and economic benefits under no-tillage, the ecological and economic benefits of potato, red bean and corn all showed optimum under NF, and soybean showed optimum under NM. Under the lowest threshold of rainfall below the utility of no-tillage, four kinds of crops of economic benefits all excellent fertilizer better, no-tillage fertilizer was excellent fertilizer slightly better, but no significant difference between tillage; the water use efficiency of no-tillage fertilizer was slightly better. Under six treatments and two rotation system, the economic production of four kinds of common crops in hilly and gully region of Loess in northern Shaanxi: potato > corn > soybean > Red Bean, three crops of corn, potato and red bean under NF was better farming management in Loess Hilly and Gully dry farming region of Shaanxi, soybean under NM was better farming management.

Key words: Tillage fertilization; Cropping rotation system; Productivity; Water use efficiency; Loess Hilly and Gully region

陕北黄土高原沟壑区是典型的雨养农业, 特殊的土质结构、不合理的耕作与开垦、水蚀与风蚀等共同导致了水土流失严重、土壤肥力下降及生态恶化。免耕具有优良的保墒蓄水、防蚀固土

收稿日期: 2013-05-22

基金项目: 中国科学院西部行动计划项目(KZCX2-XB2-05-01)部分内容; 国家科技支撑项目(2006BAD09B07)部分内容; 中国科学院安塞站和中国科学院水土保持研究所领域前沿项目(SW04302)部分内容

作者简介: 黄茂林(1969—), 男, 甘肃正宁人, 高级工程师, 主要研究方向为农业生态及作物生理生态。E-mail: huangmaolin007@126.com

的生态效益,同时还能提高土壤有机质,改善土壤结构,这已成为高产、稳产的基础。多数研究认为,免耕能促进作物生长发育,提高作物产量与水分利用效率^[1-9]。目前的相关研究主要集中在残茬覆盖、深松等措施对作物的产量、生长发育、蓄水壮田、土壤环境效应方面。陕北黄绵土土壤比较贫瘠,作物生长的必需营养比较缺乏,适量的施用各类肥料可以使作物增产,提高经济效益,但有关免耕施肥的研究在安塞地区不多。我们把注重经济效益的施肥同注重生态效益的免耕结合起来,研究了安塞4种常见的不同作物在免耕施肥下的生态与经济效益,以期为陕北丘陵沟壑干旱区农田生态修复、预防沙尘暴和提加社会经济收益提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

选取4种农作物,即玉米品种为沈玉17号、大豆品种为晋豆20号,红小豆品种为龙小豆2号,马铃薯品种为中薯5号。均由中国科学院安塞水土保持试验站提供。

1.2 试验区概况

试验于2007—2008年4—10月下旬在中国科学院安塞水土保持试验站内田间小区进行。试验区位于黄土高原中部丘陵沟壑区,北纬36° 51' 30",东经109° 19' 23",海拔1 068~1 309 m。年均气温8.8℃,年均降水量500 mm,属典型的梁峁状丘陵沟壑区,一年一熟。试验地土壤属黄绵土,耕作层含有机质8.8 g/kg、全氮0.5 g/kg、有机磷14.0 mg/kg, pH为8.5。大豆、玉米互为前茬,红小豆、马铃薯互为前茬。

1.3 试验方法

试验采用随机区组排列,每种作物设6个处理,即免耕施化肥(NF)、免耕施有机肥(NM)、免耕不施肥(NN)、翻耕施化肥(CF)、翻耕施有机肥(CM)、翻耕不施肥(CN)。其中N为免耕,即上季作物收获后留茬,不进行土壤扰动;C为翻耕,即播种时人工铁锹深翻20 cm;M为施有机肥,即羊粪肥16 675 kg/hm²作底肥于播种前一次性全部施入;F为施化肥,即施N 230 kg/hm²、P₂O₅ 150 kg/hm²,播种前开沟一次施入。3次重复,共18个小区,小区面积12.5 m²(2.5 m×5.0 m)。玉米、马铃薯株距38 cm,行距60 cm;大豆、红小豆株距28 cm,行距50 cm。收获时玉米弃两边行及顶头,取中间10株称鲜重,并剥粒、晾干测干重;大豆、红小豆弃两边行及顶头,取中间20株剥粒,称鲜

重,晾干测干重;马铃薯弃两边行及顶头,取中间10株称鲜重。其余管理同大田。各小区单收计产。

1.4 土壤含水量测定

从播种期(4月26日)至收获期(9月23日)采用烘干法测定土壤含水量,深度为0~100 cm,分别为0~10、10~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm断面。降水量采用中国科学院安塞试验站试验小区旁的气象站记录数据。

1.5 计算方法

1.5.1 经济效益 商品经济产量是指符合市场标准的经济产量,以安塞县当地当时的市场价格和作物销售标准作为调查分析的依据。

经济效益=商品经济产量×市场价格

1.5.2 水分利用效率

$WUE=M/W$

式中,WUE为水分利用效率,M为产量,W为作物耗水量(播前土壤蓄水量+生育期间降水量-收获后土壤蓄水量)。数据采用SAS V8处理软件进行统计分析,用单尾检验重复间的差异显著性,用新复级差法检验处理间的差异显著性水平。

2 结果与分析

2.1 试验区2007—2008年降水特征

安塞降水的年际及年内季节变异很大(图1)。2007年和2008年全年降水量都未达到安塞多年降水的平均值500 mm,2007年降水量为452.64 mm,2008年为332.71 mm,均属偏旱年份。2007年全年降水与多年的平均值相比低9%,但比2008年高36%,且在作物关键生长期5—9月较为丰沛。2008年降水与安塞多年降水的平均值相比低33%,比2007年低26%,8月份降水达到70 mm,但此期4种作物已接近成熟,错过了生长的关键期。

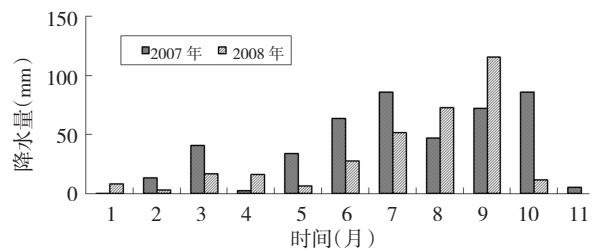


图1 2007—2008年逐月降水量

2.2 免耕施肥对不同作物经济产量的影响

由图2可以看出,免耕施肥对不同作物经济产量的影响不同。2007年玉米以NF处理经济产量最高,CF处理次之;大豆以NM处理最高,CM处理次之;红小豆以NF处理最高,CM处理次之;马铃薯以NF处理最高,CF处理次之,在 $P<0.01$ 下差异

极显著。马铃薯NF处理比CF处理产量提高了5.0百分点。红小豆NF处理比CM处理产量提高了11.0百分点，比CF处理产量提高了25.0百分点。大豆NM处理比CM处理产量提高了4.0百分点。玉米NF处理比CF处理提高了14.0百分点。总体来看，除大豆为免耕施有机肥产量最高外，其余作物都以免耕施化肥产量最高，以不施肥最低。

由图2还可以看出，2008年玉米的经济产量从高到低依次为NF、NM、CF、CM、NN、CN处理，在 $p < 0.01$ 及 $p < 0.05$ 水平下差异显著；大豆的经济产量从高到低依次为NM、CM、CF、NF处理，在 $p < 0.01$ 及 $p < 0.05$ 水平下差异不显著；红小豆的经济产量从高到低依次为NF、CM、NM、CF处理，在 $p < 0.05$ 水平下差异极显著；马铃薯的经济产量从高到低依次为NM、NF、CF、CM处理，在 $p < 0.01$ 及 $p < 0.05$ 水平下，翻、免耕差异显著，而施化肥与施有机肥处理之间不显著。红小豆、玉米各处理间差异显著，红小豆NF处理比NM处理提高了16.0百分点，比CM处理提高了13.0百分点；玉米NF处理比NM处理提高了8.6百分点，比CF处理提高了14.4百分点。大豆、马铃薯施化肥与施有机肥处理之

间差异不显著，翻、免耕处理之间差异显著。说明马铃薯、大豆在雨水偏旱条件下，水为增产的主要因素；玉米、红小豆在雨水偏旱条件下，水肥为作物增产的主要因素。从年内横向看，无论雨水丰沛还是偏旱年份，不同作物及处理之间经济产量差异显著，免耕施肥在提高作物经济产量方面略具优势。

从年际间纵向看，2007年作物关键生长期的降水比2008年较为丰沛，表现在2007年4种作物的总产量比2008年高。马铃薯在2007年以NF处理较优，2008年以NM处理较优，年际产量的这种变化无显著差异。2007—2008年红小豆均以NF处理较优、大豆均以NM处理较优、玉米均以NF处理较优，这可能是年际、年内季节性降水的波动影响了作物生长关键期的限制因素，即最小限制因子产生的交替变化；也由于存在水肥交互效应，水的缺乏影响了肥效的发挥，所以4种作物的产量2007年比2008年均有下降。4种作物翻耕处理减产幅度比免耕处理大(如表1)，其中减产最多的是马铃薯。马铃薯、红小豆、玉米施化肥处理比施有机肥处理减产幅度大，大豆以施有机肥处理减产

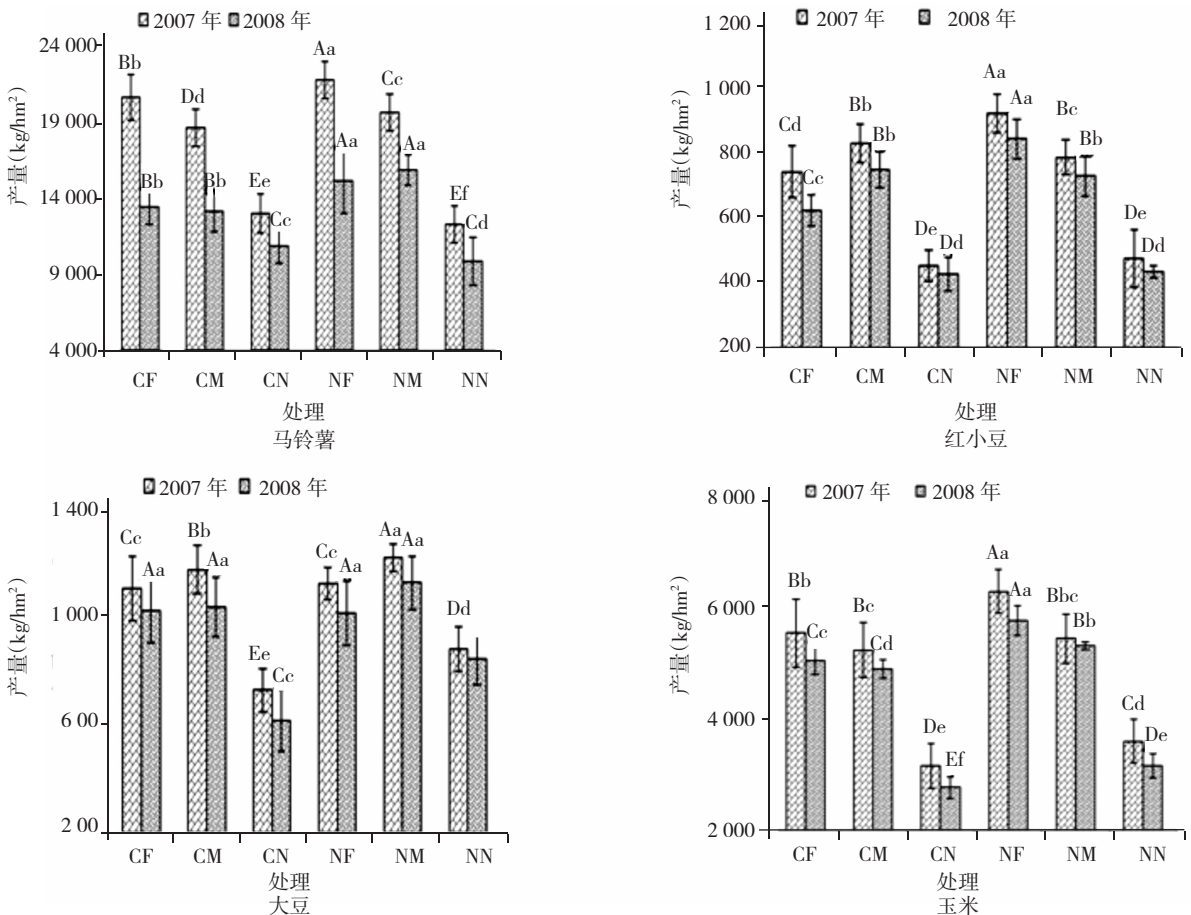


图2 2007—2008年4种作物不同处理的经济产量

最多，马铃薯—红小豆轮作系统不施肥处理减产比施肥处理程度小，水与化肥交互效应明显；大豆—玉米水肥交互效应也明显。由此看出，免耕对不同作物的增产效应存在一个适当的雨水补充范围，降水过少免耕的增产效应不显著，水分过多也可能无效。耕作方式对作物增产的影响表现在水分作为作物增产的最小限制因子时发挥土壤保墒蓄水的作用，从而提高作物产量。至于在改善土壤肥力方面，土壤肥力指标的改善较为优先，而对增产的显著效应可能需较长时间^[5]。

表1 4种作物不同处理2008年与2007年相比的减产率 %

作物	化肥	有机肥	无肥	免耕	翻耕
马铃薯	-32.5	-24.5	-19.0	-24.5	-27.5
红小豆	-12.0	-8.5	-7.5	-8.0	-10.7
大豆	-8.5	-10.0	-9.5	-7.5	-11.3
玉米	-8.5	-4.5	-12.5	-7.5	-9.6

2.3 免耕施肥对不同作物年均经济效益的影响

从图3可以看出，2007—2008年马铃薯的年均经济效益从大到小依次为NF、NM、CF、CM、CN、NN处理，红小豆从大到小依次为NF、CM、

NM、NN、CN处理，大豆从大到小依次为NM、CM、NF、CF、NN、CN处理，玉米从大到小依次为NF、NM、CM、CF、NN、CN处理。马铃薯、红小豆、玉米都以NF处理经济效益较高，大豆以NM处理经济效益较高。2 a的年均经济效益由大到小依次为马铃薯、玉米、大豆、红小豆。

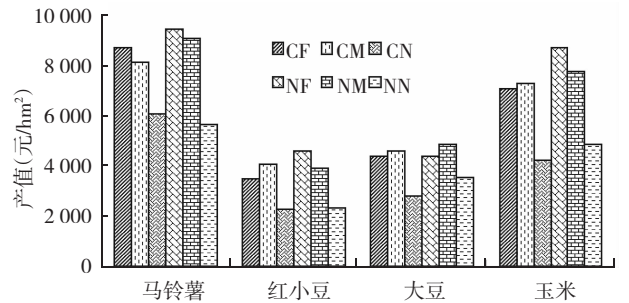


图3 2007—2008年4种作物不同处理的年均经济效益

2.4 免耕施肥对不同作物水分利用效率的影响

从图4可以看出，2007年水分利用效率马铃薯从大到小依次为NF、NM、CM、CF、CN、NN处理，不施肥最低，免耕相对于翻耕水分利用效率比较高，施化肥比施有机肥高；红小豆从大到小

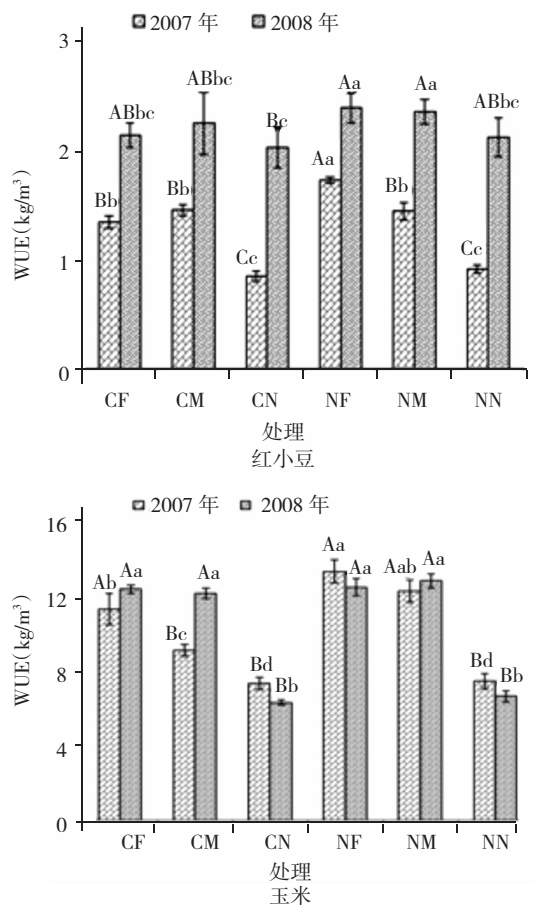
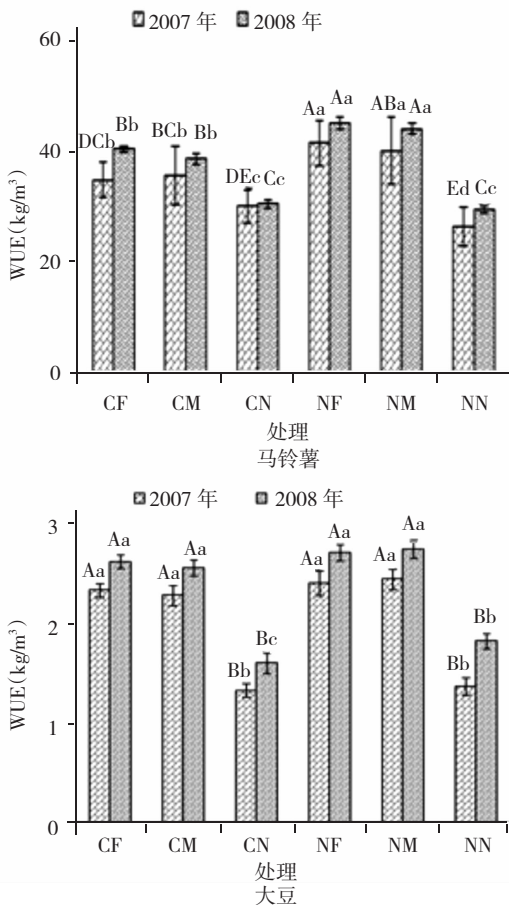


图4 2007—2008年4种作物不同处理的水分利用效率

依次为NF、NM、CM、CF、NN、CN处理,处理间差异极显著;大豆从大到小依次为NM、NF、CF、CM处理,处理间差异不显著,但与不施肥之间差异显著;玉米从大到小依次为NF、CF、NM、CM处理,不施肥最低,免耕比翻耕略高。马铃薯、红小豆肥料处理之间差异显著,大豆、玉米肥料处理之间差异不显著。

由图4还可以看出,2008年水分利用效率马铃薯从大到小依次为NF、NM、CF、CM、NN、CN处理,红小豆从大到小依次为NF、NM、CM、CF、NN、CN处理,大豆从大到小依次为NM、NF、CF、CM、NN、CN处理,玉米从大到小依次为NM、NF、CF、CM、NN、CN处理。马铃薯NF、NM处理与其余处理方式间差异显著,水分利用效率高。红小豆、大豆、玉米施肥处理之间无显著差异,施肥处理比不施肥处理高,差异显著;翻耕处理比免耕处理略高,差异不显著。总之,在2008年,耕作方式对水分利用效率的影响不明显,这可能是由于土壤含水量低于某一限度、制约作物增产的关键因素可能是物种遗传品质,或试验小区较小,免耕的保墒蓄水作用因黄绵土的透水性性质等因素所致。

从年际间纵向比较,2007年4种作物不同处理之间差异显著,2008年施肥处理同不施肥处理差异显著,施肥处理之间差异不显著。2008年4种作物的水分利用效率比2007年略有提高。在土壤适当缺水条件下,水是主要的限制因子,免耕保墒产生的水分在作物增产方面的作用比2007年显著。当土壤水分稍加充足时,作物增产的限制因子已非单一水分,这时作物产量并不随土壤水分的增加而显著增长。

3 结论与讨论

1) 陕北安塞地区年际降水量变异很大,年内季节性分布不均,特别是在作物生长的关键期缺水,从而影响免耕保水带来的经济效果,也说明免耕保墒蓄水的生态经济效用存在一定的降水临界值,在这个范围内免耕比翻耕保墒效果好,能达到增产的作用。作物生长关键期,水为马铃薯、大豆增产的主要限制因素,而水肥均为玉米、红小豆增产的主要限制因素。在低于免耕效用的降水量最低临界值下,4种作物经济效益都以施肥处理较优,施肥处理下以免耕处理略优,但与翻耕处理无显著差异。

2) 2007年作物关键生长期的降水比2008年较为丰沛,4种作物的产量2007年比2008年均有所下降,翻

耕处理比免耕处理减产幅度大,其中减产最多的为马铃薯。马铃薯、红小豆、玉米施化肥处理的比施有机肥处理减产幅度大,大豆以施有机肥处理减产最多。在经济效益方面,马铃薯、红小豆、玉米都以免耕施化肥处理最高,大豆以免耕施有机肥处理最高。从4种作物来看,2a的年均经济效益由大到小依次为马铃薯、玉米、大豆、红小豆。

3) 水分利用效率方面,免耕施肥处理略优,肥料能提高水分利用效率。2008年水分利用效率比2007年略高,说明水是安塞农业生产的关键制约因素。土壤排水性较好,免耕所产生的保墒变异较小,从而影响了水分利用效率。综上所述,在6种处理和2个轮作系统下,玉米、马铃薯、红小豆3种作物免耕施化肥处理为陕北黄土丘陵沟壑旱作农区较优的耕作管理方式,大豆免耕施有机肥处理为较优的耕作管理方式。

参考文献:

- [1] LI FENG-RUI, GAO CHONG-YUE, ZHAO HA-LIN. Soil conservation effectiveness and energy efficiency of alternative rotations and continuous wheat cropping in the Loess Plateau of northwest China [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2002, 91:101-111.
- [2] 于舜章, 陈雨海, 周勋波. 冬小麦期覆盖秸秆对夏玉米土壤水分动态变化及产量的影响[J]. *水土保持学报*, 2004, 18(6): 175-178.
- [3] 黄高宝, 郭清毅, 张仁陟. 保护性耕作条件下旱地农田麦豆双序列轮作体系的水分动态及产量效应 [J]. *生态学报*, 2006, 26(4): 1176-1185.
- [4] 陈素英, 张喜英, 胡春胜. 秸秆覆盖对夏玉米生长过程及水分利用的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2002, 20(4): 55-57.
- [5] 罗彩云, 沈禹颖, 南志标. 水土保持耕作下陇东玉米—小麦—大豆轮作系统产量、土壤易氧化有机碳动态[J]. *水土保持学报*, 2005, 19(4): 84-88.
- [6] 陈玉民, 郭国双, 王广兴. 作物需水量的计算方法 [A]. *中国主要作物需水量与灌溉* [M]. 北京: 中国水电出版社, 1995: 55-57.
- [7] 周少平, 谭广洋, 沈禹颖. 保护性耕作下陇东玉米—冬小麦—夏大豆轮作系统土壤水分动态及水分利用效率[J]. 2008, 25(7): 69-74.
- [8] HUANG M. Effect of increased fertilizer applications to wheat crop on soil-water depletion in the Loess Plateau, China[J]. *Agricultural Water Management*, 2003, 58: 267-278.
- [9] 董博, 郭天文, 曾骏, 等. 免耕对土壤有机碳和微生物碳含量及作物产量的影响[J]. *甘肃农业科技*, 2010(12): 17-20.

(本文责编: 杨杰)