

引用格式:李卫,薛彩霞,姚顺波,等.保护性耕作技术、种植制度与土地生产率——来自黄土高原农户的证据[J].资源科学, 2017, 39(7): 1259-1271. [Li W, Xue C X, Yao S B, et al. Conservation tillage, cropping systems and land productivity for households on the Loess Plateau[J]. *Resources Science*, 2017, 39(7): 1259-1271.] DOI: 10.18402/resci.2017.07.04

保护性耕作技术、种植制度与土地生产率 ——来自黄土高原农户的证据

李 卫¹, 薛彩霞², 姚顺波², 朱瑞祥¹

(1. 西北农林科技大学机械与电子工程学院, 杨凌 712100;

2. 西北农林科技大学经济管理学院, 杨凌 712100)

摘 要:经济效益是农户采纳保护性耕作技术的关键。本文基于黄土高原小麦玉米种植户的调查,采用扩展的C-D函数模型和多元回归模型分析了不同种植制度下农户保护性耕作技术采用对土地生产率的影响。研究发现:①保护性耕作技术对作物产量有显著的正向影响,但其作用的发挥具有缓释性;保护性耕作技术对一年两熟制和两年三熟制农户项均利润有显著的正向作用,在考虑家庭劳动力投入的机会成本后,项均利润的效果更明显。②种子费用、灌溉费用、机械服务费用对作物产量有正向影响,农药除草剂对作物产量的影响取决于其是预防性的还是控制性的。③户主的受教育程度对土地生产率有显著的正向作用;在不计家庭劳动力成本的情况下,农业劳动力规模对项均利润有正向作用;土地经营规模与作物产量呈正相关关系,而土地的细碎化阻碍了农户项均利润的增加。

关键词:保护性耕作技术;土地生产率;种植制度;黄土高原;扩展的C-D函数模型;多元回归模型

DOI: 10.18402/resci.2017.07.04

1 引言

保护性耕作技术(Conservation Tillage)是美国在遭遇严重的水土流失和风沙危害后,发展起来的一种环境友好型土壤耕作模式,该技术不仅具有提高作物产量的经济效益,而且具有减少温室气体排放、降低能源消耗和抑制耕地退化等环境效益^[1,2],是缓解农业发展遭遇自然环境约束的现实选择,因此,各国都积极推行该项技术,如今全球采用保护性耕作的耕地面积已超过1.55亿hm²^[3]。中国自2002年开始推广以旱作地区为重点的保护性耕作技术,2014年应用面积达840万hm²,占全国耕地总面积的5%,总体上仍处于起步阶段^[4]。尽管保护性耕作技术具有良好的生态效益,但对农户而言,最重要的还是经济效益。学者通过田间试验对“保护

性耕作技术具有节本增产增效的效果”^[4,5]已达成共识,但现有文献对农户采用保护性耕作技术与土地生产率之间的关系形成了正面影响^[6,7]、负面影响^[8,9]和不确定关系^[10-12]三种观点,其原因一是保护性耕作技术包括少免耕播种、秸秆覆盖、深松和病虫害综合防治四项核心技术^[4,13,14],而现阶段中国农户对保护性耕作技术的采用仅限于其中的一两项核心技术,规范采用整套技术体系的农户较少^[15];二是各地自然环境与社会经济因素的差异决定了种植制度的多样性,保护性耕作技术与土地生产率之间的关系受到种植制度及其他因素(如土壤特征、生产者特征等)的影响^[12,16]。虽然现有文献对保护性耕作技术与土地生产率之间关系的研究成果已较为丰富,但仍有需完善之处:

收稿日期:2017-01-10;修订日期:2017-04-12

基金项目:教育部人文社会科学研究青年基金项目(15YJC630062);陕西省农业科技创新与攻关项目(2016NY-010);中央高校基本科研业务费专项资金项目(2452016079,2452015454)。

作者简介:李卫,男,山东淄博人,博士,讲师,主要研究方向为保护性耕作技术与装备。E-mail:liweizibo@163.com

通讯作者:薛彩霞,E-mail:xiaoxueacc@126.com

(1)保护性耕作技术是多项技术的集成体,现有研究主要运用是否采用某一项或两项核心技术代表农户对保护性耕作技术的采用,忽视了农户对保护性耕作技术采用程度的差异,这可能是造成田间试验效果与农户采用效果存在差异的原因。

(2)农业耕作技术和种植制度在农业生产中是同时存在的,如何处理农业生产中的复种问题可能是导致保护性耕作技术与土地生产率呈不同关系的解释之一,因而,需要考察不同种植制度下农户保护性耕作技术采用对土地生产率的影响。本文以中国水土流失最严重的黄土高原小麦玉米种植户为调查对象,在考虑种植制度差异的基础上,深入分析农户保护性耕作技术对土地生产率的影响,为黄土高原地区发展环境友好型农业耕作技术、提高农民收入、改善生态环境以实现农业可持续发展提供参考。

2 研究方法 with 数据来源

2.1 研究方法

2.1.1 保护性耕作技术与种植制度对土地生产率影响理论分析

保护性耕作是集少免耕播种、秸秆覆盖(还田)、深松和病虫害综合防治为一体的土地耕作技术^[13,17],该技术的核心目标是在作物根部为其生长提供一个良好的土壤特性和水资源利用环境^[4]。土壤特性的不同会导致作物根系对水分和养分吸收能力的差异,因而土壤特性是影响土地生产率的重要因素之一^[18]。秸秆覆盖不仅具有蓄水保墒、防治土壤侵蚀、保护土壤肥力的作用^[4],而且作物秸秆中拥有丰富的营养元素,还田可以增加土壤有机质,提高水分的渗透性,提高土壤肥力^[19];少免耕播种可以减少对土壤的扰动次数和降低对土壤结构的破坏程度,深松则是打破犁底层,疏松土壤,增加土壤蓄水保墒能力的有效措施^[20];因此,秸秆覆盖(还田)、少免耕播种和深松可以使土壤特性维持在一个最优的状态^[21]。在水资源短缺的黄土高原,对水资源的高效利用是提高作物产量的有效途径之一^[19],而少免耕播种、秸秆覆盖和深松不仅可以抑制水分的无效蒸发,而且可提高降水的储存能力^[22]。少免耕播种和秸秆覆盖在为作物生长提供相对温湿微环境的同时,也为杂草和病虫害的生长繁育提

供了良好的场所^[23],因而,对作物种子进行包衣、利用除草剂或机械表土作业代替翻耕控制病虫害也属于保护性耕作的重要技术之一。相比传统耕作技术,保护性耕作技术可以提高作物产量^[24],Li等通过对来自中国60篇田间试验论文395个样本的分析表明,保护性耕作技术对作物的“增产”效果明显^[4]。此外,保护性耕作技术也具有“节本”效果^[25,26],因为该项技术的采用具有减少化肥施用量、降低机械作业费用、减少田间作业劳动投入、降低地表径流的作用,因此,对黄土高原农户而言,保护性耕作技术不仅是一种可供选择的耕作技术,而且会带来土地生产率的提高^[27,28]。

种植制度是指与当地农业资源、生产条件相适应的农作物类型、熟制以及种植方式所组成的技术体系。种植制度对作物产量有直接影响^[29],学者研究发现,一年两熟制与两年三熟制、一年一熟制相比,在相同轮作期内具有明显的产量优势,但单季作物产量却并不具优势^[30]。一年多熟制可以使农户在不同时间种植不同的作物,是农户应对干旱、降雨量变化、价格波动等对农户土地生产率和收入影响的一种防护措施^[12]和生计策略^[31],但不同种植制度下,作物对水分和养分的需求和利用效率存在差异,投入产出比不是按照同比例变化^[12],因而,不同种植制度下农户的净收益存在显著差异^[32,33]。

2.1.2 实证模型选择

土地生产率是指单位土地面积上所生产出的农产品数量或产值,借鉴现有文献中^[34,36]反映农户层面土地生产率的指标,选取顷均产量和顷均利润作为土地生产率的代理变量。

(1)顷均产量。当以顷均产量表示土地生产率时,采用扩展的C-D函数模型进行分析,具体模型如下:

$$\ln Y_i = \sum \alpha_{ij} \ln x_{ij} + \gamma A_i + \sum \beta_{ik} Z_{ik} + \varepsilon_i \quad (1)$$

式中 x_i 为农户单位面积的生产要素投入,包括家庭劳动力投入、机械或畜力服务费用、肥料费用、农药与除草剂费用、灌溉费用(若农户的灌溉费用为零,则对其赋值为0.01元)等; A 为农户对保护性耕作技术的采用情况,即农户对少免耕播种、秸秆覆盖(还田)、深松、病虫害综合防治(根据农业部《保护性耕作关键技术实施要点》,黄土高原保护性耕作技术

2017年7月

的病虫草害综合防治措施包括种子包衣或拌药、苗期药物喷洒和人工(或机械)除草三项措施,当农户同时采用上述三种措施时,则认为农户采用了病虫草害综合防治措施)四种核心技术采纳的数量; Z_i 为影响农户土地生产率的其他变量,主要包括农户家庭特征和土地特征变量; α 、 γ 、 β 为待估参数; ε_i 为随机误差项。 Y_i 为第*i*个农户的顷均标准粮产量,即把农户的各种作物产量按照产量比系数折算成基准作物产量之和^[34],其计算公式为:

$$Y_i = \sum y_i \times \eta \quad (2)$$

式中 y_i 为农户种植第*i*种作物的产量; η 为指定作物产量比系数,即基准作物单产与指定作物单产之比,基准作物和指定作物单产均按照《农用地质量分等规程》(GB/T28407-2012)^[35]提供的样本县(市)作物生产潜力指数速查表查得。根据所调查样本点作物种植情况,本研究所选的基准作物为小麦。对两年三熟制农户而言,顷均产量为两年之内所种植作物产量折合为标准粮产量之和再除以2。

(2) 顷均利润。当以顷均利润表示土地生产率时,现有文献对家庭劳动力投入的处理有三种:一是不考虑家庭劳动力的投入^[36];二是根据影子工资计算^[37];三是以当地劳动力的平均价格衡量^[38]。本文参照王建英等^[39]的做法,对家庭劳动力投入的处理采取两种方法:一是不考虑家庭劳动力的投入;二是根据当地雇佣劳动力的价格估算家庭劳动力投入的成本。近些年,土地承包经营权流转成为较普遍的现象,租入土地的农户可能产生租金,但当研究聚焦于土地产量或回报时,土地租金不应该在利润计算中扣减^[38],同样,租出农户获得的租金和因经营土地而获得的粮食直补等转移性支付也不包括在利润内。因此,本文的顷均利润是以农户作物出售价格(若农户所种植作物自用而没有售价时,则取该县样本农户的平均售价)衡量的顷均产值减去顷均购买种子、化肥、农药与除草剂的费用、灌溉费用、机械服务费等及上述两种方式定义的顷均家庭劳动力投入,分别为顷均利润1和顷均利润2。

以顷均利润表示土地生产率时,采用多元回归模型进行分析,具体模型如下:

$$P_i = \gamma A_i + \sum \beta_{ik} Z_{ik} + \varepsilon_i \quad (3)$$

式中 P_i 为第*i*个农户的顷均利润,包括顷均利润1和顷均利润2;其他变量含义同公式(1)。

2.2 数据来源与样本描述

2.2.1 数据来源

黄土高原各地气候条件、农业生产条件差异较大,粮食作物种植制度有冬小麦一年一熟制、春玉米一年一熟制、小麦玉米一年两熟制和小麦玉米杂粮(或玉米)两年三熟制等。本文所用数据来自于课题组成员2015年7-8月和2016年2月在山西省运城市闻喜县、临汾市尧都区 and 陕西省彬县、黄陵县对农户进行一对一问卷调查所得。临汾市尧都区是1992年农业部中澳合作项目引进保护性耕作技术的试验区和示范区,目前该区50%以上的耕地面积均采用保护性耕作技术,重点推广一年一熟冬小麦和一年两熟小麦玉米保护性耕作技术;闻喜县于2010年推广一年一熟冬小麦和一年两熟小麦玉米保护性耕作技术;陕西省黄陵县于2006年推广一年一熟春玉米保护性耕作技术;彬县主要是两年三熟制种植制度,于2012年推广小麦和玉米的保护性耕作技术;因此,选取以上调研地点研究黄土高原保护性耕作技术、种植制度与土地生产率之间的关系具有较好的代表性。样本农户的选取是,首先,主要根据每个县(区)各乡(镇)的粮食作物种植制度选取3个乡(镇),再在每个乡(镇)随机选取3个村,最后在每个村随机选取12~15户农户,共收集到有效问卷476份,一年一熟制农户、一年两熟制农户和两年三熟制农户的数量分别为173户、168户和135户,占样本农户的比例分别为36.35%、35.29%和28.36%。调查问卷主要包括农户的家庭特征、耕地特征、耕地种植情况以及保护性耕作技术的采用情况等。样本农户的具体分布情况见表1。

2.2.2 样本描述

样本农户的基本特征见表2。由表2可知,样本农户的户主年龄均值为50.74岁,受教育程度均值为1.86,表明户主的受教育程度以初中为主,且年龄较大;农业劳动力人数均值为1.63人,农业收入占比均值为21.02%,表明样本农户家庭成员中从事农业生产的人数基本为1~2人,但兼业程度较高;土地经营规模均值为0.37hm²,肥沃程度均值为3.11,平均地块面积0.12hm²/块,灌溉方便程度均值

表1 样本农户分布状况

Table 1 Distribution of sample households

省	县(区)	乡(镇)	样本农户/户	所占比例/%
山西	尧都区	县底镇、刘村镇、贺家庄乡	116	24.37
	闻喜县	桐城镇、郭家庄镇、神柏乡	125	26.26
陕西	黄陵县	桥山街道办事处、田庄镇、双龙镇	112	23.53
	彬县	小章镇、新民镇、太峪镇	123	25.84
合计			476	100

表2 样本特征描述

Table 2 Descriptive statistics of sample households

变量	变量定义	均值	标准差
年龄/岁	户主的年龄	50.74	9.89
受教育程度/年	小学及以下=1,初中=2,高中=3,大专及以上=4	1.86	0.80
农业劳动力规模/人	家庭成员中从事农业生产的人数	1.63	0.62
农业收入占比/%	农业收入/家庭总收入	21.02	0.15
土地经营规模/hm ²	农户经营的土地面积	0.37	0.25
肥沃程度	1-5,5=非常肥沃,1=非常贫瘠	3.11	1.54
平均地块面积/(hm ² /块)	土地面积/地块数	0.12	0.08
灌溉方便程度	1-5,5=非常方便,1=非常不方便	2.15	1.74
是否是平地	是=1,否=0	0.57	0.28
保护性耕作技术	0-4,根据农户采用保护性耕作核心技术数量多少赋值	1.74	0.95

为2.15,是否平地均值为0.57,表明样本农户的土地经营规模属于中等规模,土地较为肥沃,细碎化程度一般,但灌溉不太方便,平地稍多于坡地。保护性耕作技术采用的均值为1.74,表明样本农户对保护性耕作核心技术的采用数量以1~2项为主。

3 实证结果分析

以stata12.0为平台,运用调研数据对公式(1)和公式(3)进行回归分析。

3.1 保护性耕作技术对土地生产率影响分析

保护性耕作技术对土地生产率影响的估计结果见表3,由表3可知,保护性耕作技术在全部农户样本的顷均产量和顷均利润模型都没有通过显著性检验,而在不同种植制度农户模型中存在差异,表明由于复种指数的差异,影响了保护性耕作技术与土地生产率的关系,分析不同种植制度下农户采纳保护性耕作技术的效果是有必要的。

3.1.1 保护性耕作技术对顷均产量的影响分析

保护性耕作技术在一年一熟制和一年两熟制农户的顷均产量模型中的系数为正且在5%的水平上显著,表明农户对保护性耕作核心技术采用的越多,越有助于作物产量的提高,与理论预期一致,其

原因一是保护性耕作的多项核心技术是相辅相成的,单一技术的采用往往很难发挥其增产的效果^[15];二是保护性耕作技术的载体是农业机械,农户对保护性耕作技术的采用其实是对农业机械化的采用^[4],而农业机械化对作物产出效果明显^[40]。保护性耕作技术在两年三熟制农户的产量模型中的系数尽管为正,但没有通过显著性检验,其可能的原因一是保护性耕作技术对作物增产和综合效益具有缓释性^[11,41],该类种植制度的农户主要集中在彬县,而该县推行保护性耕作制度的时间才两三年;二是保护性耕作技术不仅仅是耕作方式的变革,也是作物栽培制度、田间管理模式的变革,农户已习惯传统耕作方式,对保护性耕作技术有一个逐步适应、逐步掌握的过程。

3.1.2 保护性耕作技术对顷均利润的影响分析

保护性耕作技术在一年两熟制和两年三熟制农户的顷均利润1模型和顷均利润2模型中的系数为正,且通过显著性检验,与理论预期一致,其原因一是保护性耕作技术不仅增产,而且由于减少了作业环节进而节省了农机作业服务费;二是保护性耕作技术的采用虽然提高了病虫草害的发生频率和

2017年7月

表3 保护性耕作技术对土地生产率影响的估计结果

Table 3 Estimation results of the effects of conservation tillage on land productivity

土地生产率	变量	全部农户	一年一熟制农户	一年两熟制农户	两年三熟制农户
顷均产量	保护性耕作技术	0.027 3 (0.018 5)	0.013 1** (0.006 5)	0.032 1** (0.015 1)	0.062 3 (0.044 3)
	常数项	6.851 7*** (0.233 9)	6.666 7*** (1.929 2)	1.830 2 (1.231 2)	2.398 8*** (0.797 0)
	R ²	0.762 5	0.691 6	0.653 6	0.685 4
	F值	136.05	124.17	105.77	71.56
顷均利润1	保护性耕作技术	52.947 6 (37.868 2)	28.786 8 (24.363 6)	51.059 7** (22.562 7)	39.657 4* (20.990 7)
	常数项	249.792 0*** (77.096 4)	410.873 3* (225.587 1)	264.471 0*** (87.128 7)	288.352 0 (259.711 3)
	R ²	0.665 9	0.803 4	0.726 1	0.786 7
	F值	49.96	39.62	88.84	36.23
顷均利润2	保护性耕作技术	47.274 8 (56.345 5)	62.779 2 (39.872 1)	69.843 7** (28.022 9)	50.525 3* (26.600 3)
	常数项	146.692 0** (57.835 7)	59.484 7 (60.217 2)	76.695 0* (46.835 7)	80.754 9 (53.591 5)
	R ²	0.654 2	0.640 8	0.690 2	0.776 1
	F值	91.20	75.15	115.30	29.85

注:***、**、*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平上显著;括号中的数值为稳健性标准误。其他变量的估计结果见表5、表7和表8。

强度,增加病虫草害的防治费用,但是农户增加的费用却很少。由表4可知,农户对病虫草害的防治主要采用苗期药物喷洒和种子包衣或拌药措施,人工除草比例仅为7.56%,而农户对农药、除草剂的施

用主要来自于供销商的推荐,供销商倾向于向农户推荐成本低,杀虫和除草效果好的药品。农户在对“采用保护性耕作技术后,农药和除草剂费用与未采用保护性耕作技术相比,其增加程度如何? A.明

表4 样本农户保护性耕作技术采用具体情况

Table 4 Adoption of conservation tillage of sample households

(户,%)

核心技术	关键技术措施		全部农户		一年一熟制农户		一年两熟制农户		两年三熟制农户	
			采用	未采用	采用	未采用	采用	未采用	采用	未采用
少耕免耕播种	小麦/玉米少免耕播种	户数	301	175	81	92	157	11	63	72
		比例	63.24	36.76	46.82	53.18	93.45	6.55	46.67	53.33
秸秆覆盖(还田)	小麦留茬/玉米	户数	292	184	106	67	127	41	59	76
	秸秆覆盖(还田)	比例	61.34	38.66	61.27	38.73	75.60	24.40	43.70	56.30
深松	适度深松	户数	106	370	28	145	22	146	56	79
		比例	22.27	77.73	16.18	83.82	13.10	86.90	41.48	58.52
病虫草害综合防治	种子包衣或拌药	户数	222	254	87	86	74	94	61	74
		比例	46.64	53.36	50.29	49.71	44.05	55.95	45.19	54.81
	苗期药物喷洒	户数	453	23	158	15	163	5	132	3
		比例	95.17	4.83	91.33	8.67	97.02	2.98	97.78	2.22
	人工除草	户数	36	440	3	170	15	153	18	117
		比例	7.56	92.44	1.73	98.27	8.93	91.07	13.33	86.67

注:对于一年两熟制农户和两年三熟制农户而言,小麦或(和)玉米的播种方式属于少免耕播种,小麦留高茬或(和)玉米秸秆覆盖(还田),则认为该农户采用了少免耕播种和秸秆覆盖技术。

显增加;B.稍有增加;C.无变化;D.不知道”这一问题的回答中,仅有12.21%的农户表示明显增加,73.28%的农户表示稍有增加,还有7.12%的农户表示无变化。

保护性耕作技术在顷均利润1模型中的系数小于顷均利润2模型的系数,表明考虑家庭劳动力的机会成本后,保护性耕作技术对顷均利润的效果更明显,其原因一是保护性耕作技术是劳动节约型技术,农户更青睐节省时间、减少劳动量、投入产出效益较高的少免耕播种和秸秆覆盖技术^[10,11],由表4可知,农户对少免耕播种和秸秆覆盖(还田)两项技术的采用率较高,均超过60%,而对深松技术的采用率最低,仅为22.27%,在调查中发现,农户对深松技术不甚了解,占样本农户65.34%的311户农户未曾听说过该项技术;两年三熟制农户对深松技术的采用率最高为41.48%,是因为以两年三熟制为主的彬县这两年推行深松整地作业补贴,降低了农户对深松技术采用的成本;一年两熟制农户对深松技术的采用率较低,是因为作物连续轮作,秋收种小麦或夏收种玉米时农闲时间极短,农户为赶下一茬作物播种时节,须在上一茬作物刚收获时立即深松,农户往往无法适时雇到深松机械,导致深松作业无法实施。二是劳动力价格不断上涨^[42],务农机会成本高。三是农业产出对农户非自有生产要素的投入比自有生产要素的投入更敏感^[43],劳动力属于农户的自有生产要素,而农户对保护性耕作技术载体—农业机械的投入,则需从工业部门或农机服务部门进行购买,属于非自有生产要素。

保护性耕作技术在一年一熟制农户顷均利润1和顷均利润2模型中均没有通过显著性检验。由表4可知,尽管不同种植制度下农户对保护性耕作技术采用较多的两项核心技术都是秸秆覆盖(还田)和少免耕播种,但一年一熟制农户包括小麦种植户和玉米种植户,由于农机装备水平的差异,玉米秸秆还田的机械作业费用较高,而小麦联合收割机已基本得到普及,小麦收割秸秆留高茬,农户不需要支付额外的机械作业成本。另一个可能的原因是,一年一熟制相当于土地的间歇性休耕,其实质上是通过“藏粮于地”的形式把粮食生产潜力积蓄在一季作物上,既保护了土地资源,保持了土壤可持续发

展的肥力,也提高了耕地的使用效益,该种植制度本身也属于一种环境友好型的土地耕作技术^[44],其与保护性耕作技术效应的叠加效益,可能使得保护性耕作技术对一年一熟制农户的利润影响不显著。

3.2 生产要素投入对土地生产率影响分析

生产要素投入对顷均产量影响的估计结果见表5,由表5可知,在农业生产要素投入变量中,种子费用和灌溉费用在所有农户及各类农户的顷均产量模型中的系数均为正数,且通过显著性检验,表明种子支出和灌溉支出对作物产量有显著的正向作用。

机械服务费用在一年一熟制和两年三熟制农户模型中通过显著性检验,而在一年两熟制农户模型中未能通过显著性检验,其原因是农业机械化具有收入效应和结构效应^[43],由于玉米和小麦作物特性的差异以及农机装备水平的制约,小麦基本上实现了耕种收的全程机械化;而玉米播种的机械化水平尽管高达80%以上,但收获的机械化水平还不到50%,因而机械服务费用对种植玉米或小麦的一年一熟制农户和玉米-小麦-杂粮(或玉米)轮作的两年三熟制作物产量有显著的正向作用,而对玉米-小麦轮作的一年两熟制作物产量影响不显著。

农药与除草剂费用仅在一年两熟和两年三熟制农户模型中通过显著性检验,这是由不同种植制

表5 生产要素投入对顷均产量影响的估计结果

Table 5 Estimation results of the influence of input on yield per hectare

变量	全部 农户	一年一熟制 农户	一年两熟 制农户	两年三熟 制农户
家庭劳动力	0.022 9 (0.021 7)	0.035 3 (0.024 2)	0.030 3 (0.117 6)	0.009 2 (0.065 3)
机械服务 费用	0.021 6 (0.021 2)	0.022 9* (0.013 2)	0.008 9 (0.006 1)	0.005 2* (0.002 9)
种子费用	0.002 2* (0.001 2)	0.001 9*** (0.000 7)	0.002 3** (0.001 2)	0.004 7* (0.002 8)
肥料费用	0.015 3 (0.031 9)	0.010 1 (0.029 7)	0.020 7 (0.016 7)	0.010 7 (0.010 5)
农药与除草 剂费用	0.009 1 (0.020 6)	0.006 7 (0.020 1)	0.009 2* (0.04 7)	0.008 8** (0.003 6)
灌溉费用	0.003 5** (0.001 7)	0.004 7* (0.002 7)	0.006 9* (0.003 6)	0.019 4** (0.008 5)

注:***、**、*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平上显著;括号中的数值为稳健性标准误。

2017年7月

度下农户兼业程度和兼业类型所导致的。在一年两熟制和两年三熟制下,农户来自农地的收入相对较高,外出务工和经营农业都是家庭经济收入的重要来源,农户较为看重农业收入,虽然样本农户中一年两熟制和两年三熟制农户的兼业比例分别为62.50%和72.06%,但家庭主要劳动力本地零星短期务工的农户比例分别为52.98%和57.35%,因而他们有时和机会对农田进行精心管理,对病虫害害的控制多是以预防为主,而预防性农药的支出对公顷产量有正向影响^[12];而对一年一熟制农户而言,农业收入较少,外出务工是“主业”,经营农业是“副业”,样本农户中一年一熟制农户中兼业农户比例高达89.60%,且67.05%的农户家庭主要劳动力长期外出务工,仅在农忙时节务农,由表6可知,对单季作物而言,一年一熟制农户劳动力投入为36.90天/hm²,低于一年两熟制农户单季作物的48.52天/hm²和两年三熟制农户单季作物的41.93天/hm²,因而一年一熟制农户对农田疏于管理,对病虫害害的管理可能多以控制为主,而控制性农药的支出与公顷产量是负向关系^[12]。

肥料费用对公顷产量的影响不显著,其原因是农户存在过量施肥的现象。由表6可知,各类农户用于购买肥料的费用都位于农资投入的首位,根据调查数据计算,农户平均化肥施用量为0.463t/hm²,尽管与根据《中国统计年鉴(2016)》^[45]计算的2015年调研省份平均的化肥施用量0.477t/hm²基本相当,但明显高于2015年全国平均施肥量0.362t/hm²,也高于学者^[45]对一年两熟制作物推荐(0.206~0.307)t/hm²的施肥量标准。世界粮农组织根据各国农业生产得出的结论是,施肥量对作物单产的作

用在0.200t/hm²以下表现为边际效应递增,在(0.200~0.400)t/hm²为边际效益递减但仍有增产效果,超过0.400t/hm²则对作物单产的作用微乎其微^[16]。样本农户中农业劳动力呈现“老龄化”,他们年复一年地在同一块土地上种植同样的作物,积累了自己的生产经验,72.47%的农户表示根据自己以往的经验对肥料种类和施用量进行决策,在采用秸秆还田的292户农户中,对“作物秸秆中含有氮磷钾等营养元素,是否会降低化肥施用量”问题的回答中,仅有10.27%的农户表示会略微少施肥。

家庭劳动力投入对公顷产量的影响均不显著,其可能的原因一是农户对家庭劳动力投入的估算不够精准,存在高估劳动力投入的现象;二是中国小麦耕种收综合机械化水平高达90%以上,玉米的耕种收机械化水平为75%以上,中国农业生产已进入以机械化生产为主的时期^[46],表6中各类农户的机械服务费用仅次于肥料费用,也说明机械是农户土地经营的主要投入,因而,可能造成劳动力投入对农业生产的影响不显著。

3.3 家庭特征变量对土地生产率影响分析

家庭特征对土地生产率影响的估计结果见表7,由表7可知,受教育程度在全部农户和各类农户的公顷产量和公顷利润模型中的系数都为正,且通过显著性检验,表明受教育程度较高的农户不仅获得了更高的公顷产量,还获得了更高的利润。受教育程度高的农户,不仅应对外界变化、适应新技术的调整能力强,而且利用、消化和吸收新技术的能力也强,通过社会学习和“干中学”较快地掌握了保护性耕作技术的要领。

农业劳动力规模在一定程度上说明了农户对

表6 样本农户投入变量描述

Table 6 Descriptive statistics of sample input variables

变量	一年一熟制农户		一年两熟制农户		两年三熟制农户	
	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差
家庭劳动力/(天/hm ²)	36.90	48.15	97.04	163.65	62.90	165.90
家庭劳动力折算支出/(元/hm ²)	1 647.01	185.37	6 951.90	425.79	3 811.14	305.49
机械服务费用/(元/hm ²)	1 497.60	68.47	2 534.89	99.13	1 710.38	97.35
种子费用/(元/hm ²)	499.65	44.62	1 063.36	62.04	725.29	40.28
肥料费用/(元/hm ²)	1 828.50	64.21	3 298.56	153.09	2 527.18	85.44
农药与除草剂费用/(元/hm ²)	272.40	15.01	534.37	29.45	395.42	18.51
灌溉费用/(元/hm ²)	398.10	52.33	1 725.72	122.92	762.61	60.74

表7 家庭特征对土地生产率影响的估计结果

Table 7 Estimation results of the influence of family characteristics on land productivity

土地生产率	变量	全部农户	一年一熟制农户	一年两熟制农户	两年三熟制农户
顷均产量	年龄	0.003 7* (0.002 0)	0.004 8*** (0.001 7)	0.001 3 (0.030 4)	0.006 2 (0.006 9)
	受教育程度	0.015 0** (0.008 1)	0.017 3* (0.009 5)	0.003 6** (0.001 6)	0.018 6** (0.09 4)
	农业收入占比	0.030 7* (0.016 6)	0.019 3 (0.069 2)	0.044 2* (0.025 6)	0.034 8** (0.017 0)
顷均利润1	年龄	1.614 2 (3.973 5)	-2.801 7 (4.368 8)	2.196 8 (4.411 3)	2.504 4 (3.652 8)
	受教育程度	8.398 1* (5.028 7)	20.074 9* (6.156 2)	14.615 1** (6.438 4)	12.610 5** (5.903 1)
	农业劳动力规模	117.614 4** (57.641 1)	61.208 9** (27.746 4)	124.019 5* (72.330 7)	111.098 0** (51.042 3)
	农业收入占比	346.456 2 (257.590 1)	233.410 3 (158.820 7)	120.496 0** (57.327 4)	329.400 8** (147.019 3)
顷均利润2	年龄	1.532 3 (5.912 3)	5.044 4 (5.623 7)	4.366 1 (4.050 1)	1.904 0 (2.442 0)
	受教育程度	9.759 8* (5.654 1)	8.183 2* (4.826 0)	7.771 1** (3.189 1)	9.740 8* (5.626 7)
	农业劳动力规模	114.608 0 (75.766 4)	-39.783 5 (24.747 1)	78.013 8 (45.597 4)	112.655 8 (86.045 2)
	农业收入占比	36.324 4 (28.546 2)	84.482 0 (66.924 2)	28.582 5 (19.658 4)	49.635 6 (32.036 4)

注:***、**、*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平上显著;括号中的数值为稳健性标准误。

耕地的依赖性,农业劳动力规模对顷均利润1有正向影响,而对顷均利润2的影响不显著,可能的原因一是随着农业机械化水平的提高,农业劳动力规模越大,未充分就业的概率越大,高估家庭劳动力投入成本的可能性增加,因而,导致考虑家庭劳动力投入成本之后农业劳动力对顷均利润的影响不显著;二是投入农业劳动力过多,过于精耕细作,会增加劳动力成本而降低顷均利润。

农业收入占比在一年两熟制和两年三熟制农户的顷均产量和顷均利润1模型中通过显著性检验,表明农业收入占比对一年多熟制农户的作物产量有显著的正向影响,其原因一是一年多熟制可以为农户带来较高的农业收入,农户存在内在的利润激励^[38];二是农业收入占比高的农户,非农收入占比相对较低,从事农业生产的机会成本低,会尽可能地优化农业生产要素配置,提高农业生产管理技能,以提高作物产量。农业收入占比在全部农户和

各类农户的顷均利润2模型中均未能通过显著性检验,其原因是农业收入占比反映着农户兼业程度的高低,农业收入占比较低的农户,兼业程度较高,较倾向于采用农业机械服务替代自家劳动力从事农业生产;农业收入占比较高的农户,兼业程度较低,较倾向于投入自家劳动力进行农业生产,而近些年劳动力价格不断上涨,务农机会成本也达到较高的水平^[42],从而导致在考虑家庭劳动力投入的机会成本后,农业收入占比对农户经营农地的顷均利润影响不显著。

3.4 土地特征对土地生产率影响分析

土地特征对土地生产率影响的估计结果见表8,由表8可知,土地经营规模在全部农户和各类农户顷均产量模型中系数都为正,且通过显著性检验,但在顷均利润1和顷均利润2模型中均未通过显著性检验,表明土地经营面积对顷均产量有显著的正向作用,但不管利润以何种方式核算,农户土地经

表8 土地特征对土地生产率影响的估计结果

Table 8 Estimation results of the influence of land characteristics on land productivity					
土地生产率	变量	全部农户	一年一熟制农户	一年两熟制农户	两年三熟制农户
顷均产量	土地经营规模(取对数)	0.058 7**	0.115 7***	0.008 7**	0.009 8*
		(0.029 3)	(0.034 4)	(0.004 1)	(0.005 6)
	肥沃程度	0.002 2*	0.002 9*	0.023 0*	0.006 5**
		(0.001 3)	(0.001 5)	(0.011 8)	(0.002 7)
	平均地块面积	0.025 8*	0.017 8*	0.005 3**	0.030 9***
顷均利润1	土地经营规模(取对数)	46.662 4	87.150 9	24.575 4	34.030 1
		(28.050 5)	(56.627 2)	(18.338 9)	(27.049 2)
	肥沃程度	14.606 3	12.975 3*	2.345 4	15.728 8**
		(43.402 8)	(6.643 4)	(1.962 0)	(6.505 8)
	平均地块面积	43.828 2*	26.860 8*	33.885 8**	9.176 9*
顷均利润2	土地经营规模(取对数)	46.662 4	87.150 9	24.575 4	34.030 1
		(28.050 5)	(56.627 2)	(18.338 9)	(27.049 2)
	肥沃程度	14.606 3	12.975 3*	2.345 4	15.728 8**
		(43.402 8)	(6.643 4)	(1.962 0)	(6.505 8)
	平均地块面积	43.828 2*	26.860 8*	33.885 8**	9.176 9*
顷均利润1	土地经营规模(取对数)	114.041 0**	35.575 2	75.539 6*	99.650 0***
		(39.703 8)	(45.494 1)	(45.136 1)	(38.932 3)
	是否是平地	51.926 6*	22.838 0**	7.452 3*	76.366 4*
		(28.378 7)	(10.454 4)	(4.292 1)	(45.688 9)
	是否是平地	51.926 6*	22.838 0**	7.452 3*	76.366 4*
顷均利润2	土地经营规模(取对数)	29.688 6	124.156 3	8.274 1	27.212 7
		(25.924 3)	(78.902 8)	(21.803 4)	(15.883 2)
	肥沃程度	9.567 2*	4.791 8	4.658 2	5.824 5**
		(5.580 6)	(2.108 5)	(3.265 8)	(2.817 8)
	平均地块面积	83.318 8*	4.080 0**	42.676 6*	62.267 3*
顷均利润2	土地经营规模(取对数)	83.318 8*	4.080 0**	42.676 6*	62.267 3*
		(49.852 7)	(1.963 5)	(25.155 7)	(36.183 3)
	灌溉方便程度	7.677 8	6.919 2	46.135 3**	5.206 2*
		(5.907 6)	(5.002 1)	(22.135 6)	(2.800 4)
	是否是平地	13.150 2*	65.756 2***	20.571 4*	14.902 9*
顷均利润2	土地经营规模(取对数)	13.150 2*	65.756 2***	20.571 4*	14.902 9*
		(7.415 0)	(22.723 3)	(12.376 6)	(8.766 4)

注:***、**、*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平上显著。括号中的数值为稳健性标准误。

营规模与顷均利润无显著关系;而平均地块面积在顷均产量、顷均利润1和顷均利润2模型中均通过显著性检验,说明不论是否市场化家庭劳动力,随着地块面积的增大,顷均利润都会增加,土地细碎化阻碍了农户经营农业利润的增加,其原因是耕地细碎化不利于大型农业机械的使用,无法发挥规模经济的优势,增加了农户的耕作成本。土地肥沃程度在全部农户和各类农户顷均产量模型中系数都为正,且通过显著性检验,表明土地越肥沃,作物产量越高。

灌溉方便程度仅在一年两熟制和两年三熟制农户的顷均利润1和顷均利润2模型中都通过显著

性检验,其原因是灌溉设施不仅可以提高农户的抗灾防灾能力,而且有助于作物产量的增加;另一个可能的原因是,对秸秆还田的土地在适当时间进行灌溉,不仅缩短了还田秸秆腐化分解的时间,而且改善了土壤的肥力^[47]。灌溉方便程度在一年一熟制农户的利润模型中未能通过显著性检验,一是因为有部分一年一熟制农户是因为缺乏水利设施才种植一季作物的,二是因为有部分农户长期“靠天吃饭”,当地缺乏相应的灌溉设施,这也印证了“保护性耕作技术与土地生产率的关系,与当地灌溉设施条件有关”^[48]的观点。

是否平地变量在顷均产量和顷均利润模型中

均通过显著性检验,其原因一是平地的生产力一般较坡地的生产力要高,二是农业机械化具有收入效应^[43],而自然地理条件是影响农业机械化水平的重要因素^[46],坡地通过降低农业机械田间作业的可达性和作业便利性制约农户对机械化作业的使用,因而平地的作物产量和利润均高于坡地。

4 结论与政策启示

本文以黄土高原小麦玉米种植户为对象,分析了不同种植制度下农户采纳保护性耕作技术对土地生产率的影响,得出以下结论:

(1)保护性耕作技术对作物产量有显著的正向影响,但其作用的发挥具有缓释性;保护性耕作技术对一年两熟制和两年三熟制农户顷均利润有显著的正向作用,在考虑家庭劳动力投入的机会成本后,保护性耕作技术对利润的效果更明显。为此,在农村青壮年劳动力不断转移和农业要增产的背景下,农业技术推广部门不仅要加强保护性耕作技术的宣传,使农户充分认识到保护性耕作技术在改善生态环境,提升土壤肥力和提高经济效益方面的作用,而且需要采取补贴、培训、示范等措施完善农户在保护性耕作技术采用上的“短板”,使农户采用“真正的保护性耕作技术(即多项保护性耕作核心技术同时在同一地块上使用)”^[48]。

(2)种子费用、灌溉费用、机械服务费用对作物产量有正向影响,而肥料投入和家庭劳动力投入对作物产量影响不显著,农药除草剂对作物产量的影响则取决于其是预防性的还是控制性的。这意味着,载有先进农业技术的种子、灌溉和机械等农业生产要素,对农业产出的贡献越来越大,而农户自有的生产要素劳动力对农业产出的贡献越来越小。因此,在推进现代农业经营体系建设过程中,一方面要提高现代农业生产要素的科技含量,尤其是保护性耕作技术的载体——农业机械,并把先进的保护性耕作农机具纳入到农机购置补贴的范畴,降低农机手购买保护性耕作农机具的成本,以降低小农户从农机专业服务市场购买保护性耕作技术的成本;另一方面,要增强农户对化肥农药施用污染的教育与过量施肥施药的认知,引导农户选用环境友好型的化肥农药,采用测土配方施肥技术、科学的施药技术、高效的植保机械,以提高农户化肥

农药的施用效率。

(3)户主的受教育程度对土地生产率有显著的正向作用;在不计家庭劳动力成本的情况下,农业劳动力规模对顷均利润有正向作用;农业收入占比对一年两熟制和两年三熟制农户的土地生产率有正向作用。因此,在农业劳动力老龄化和农户普遍兼业的现实情况下,需要搭建一个公共服务平台,通过农资信息输送、专题讲座、定期培训等形式为农户提供农业生产技术,因为保护性耕作技术的本质是一个知识密集型的作物和土壤管理技术包,需要一个强有力的及时解决小农户在采用过程中遇到的问题组织^[17],以提高农户经营农业的经济效益。

(4)土地经营规模与作物产量呈正相关关系,而土地的细碎化阻碍了农户顷均利润的增加;灌溉方便程度有利于一年多熟制农户顷均利润的增加;平地比坡地的作物产量和利润都高。为此,首先要积极创造非农就业机会,让土地不断向种田大户集中,打破土地过于细碎化的格局,使得务农既能提高农户的经济效益,又能获得农业经营规模化的额外报酬;其次,加大农田基础设施的建设力度,因为农业公共投资数量的差异会显著地影响农业增长^[49],而黄土高原有效灌溉面积较低,中低产田居多,农田水利设施不仅仅可以提高农户防灾抗灾能力,而且已成为农业增产、农民增收的根本措施之一。

参考文献(References):

- [1] Angela T R, Sonia C M, Mariela N, *et al.* N₂O and CH₄ emissions from a fallow-wheat rotation with low N input in conservation and conventional tillage under a Mediterranean agroecosystem[J]. *Science of the Total Environment*, 2015, 508: 85-94.
- [2] Jia S X, Zhang X P, Chen X W, *et al.* Long-term conservation tillage influences the soil microbial community and its contribution to soil CO₂ emissions in a Mollisol in Northeast China [J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2016, 16(1): 1-12.
- [3] Kassam A, Derpsch R, Friedrich T. Global achievements in soil and water conservation: the case of Conservation Agriculture[J]. *International Soil & Water Conservation Research*, 2014, 2(1): 5-13.
- [4] Li H, He J, Bharucha Z P, *et al.* Improving China's food and environmental security with conservation agriculture[J]. *Inter-*

2017年7月

- national Journal of Agricultural Sustainability*, 2016, 14(4):1-15.
- [5] Allmaras R R, Dowdy R H. Conservation tillage systems and their adoption in the United States[J]. *Soil & Tillage Research*, 1985, 5(2):197-222.
- [6] 汤秋香, 谢瑞芝, 李少昆, 等. 基于农户认知的保护性耕作模式产量效应模糊数学分析[J]. *生态学报*, 2009, 29(8):4260-4266. [Tang Q X, Xie R Z, Li S K, et al. Fuzzy mathematical analysis of conservation tillage effect on yield based on farmer cognition[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(8):4260-4266.]
- [7] Bruelle G, Naudin K, Scopel E, et al. Short- to mid-term impact of conservation agriculture on yield variability of upland rice: Evidence from farmer's fields in Madagascar[J]. *Experimental Agriculture*, 2015, 51(1):1-19.
- [8] Lankoski J. No-till technology: Benefits to farmers and the environment? Theoretical analysis and application to Finnish agriculture[J]. *European Review of Agricultural Economics*, 2000, 33(2):193-221.
- [9] Naudin K, Goze E, Balarabe O, et al. Impact of no-tillage and mulching practices on cotton production in North Cameroon: A multi-locational on-farm assessment[J]. *Soil & Tillage Research*, 2010, 108(1):68-76.
- [10] 王金霞, 张丽娟. 保护性耕作技术对农业生产的影响: 黄河流域的实证研究[J]. *管理评论*, 2010, (6):77-84. [Wang J X, Zhang L J. Impacts of conservation tillage on agriculture: empirical research in the Yellow River Basin[J]. *Management Review*, 2010, (6):77-84.]
- [11] 赵旭强, 穆月英, 陈阜. 保护性耕作技术经济效益及其补贴政策总体评价-来自山西省农户问卷调查的分析[J]. *经济问题*, 2012, (2):74-77. [Zhao X Q, Mu Y Y, Chen F. Overall evaluation of economic benefit and subsidy policy of conservation tillage technology- analysis of questionnaires from farmers in Shanxi province[J]. *On Economic Problems*, 2012, (2):74-77.]
- [12] Teklwald H, Kassie M, Shiferaw B, et al. Cropping system diversification, conservation tillage and modern seed adoption in Ethiopia: Impacts on household income, agrochemical use and demand for labor[J]. *Ecological Economics*, 2013, 93(6):85-93.
- [13] 曹光乔, 张宗毅. 农户采用保护性耕作技术影响因素研究[J]. *农业经济问题*, 2008, (8):69-74. [Cao G Q, Zhang Z Y. Study on the influencing factors of farmers' adoption of conservation tillage[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2008, (8):69-74.]
- [14] 农业部. 两部门近期联合印发《保护性耕作工程建设规划》[EB/OL]. (2009-08-28) [2017-07-16]. http://www.gov.cn/gzdt/2009-08/28/content_1403670.htm. [Ministry of Agriculture. Two Departments Recently Jointly Issued the<Conservation Tillage Construction Planning>[EB/OL]. (2009-08-28) [2017-07-16]. http://www.gov.cn/gzdt/2009-08/28/content_1403670.htm.]
- [15] Wang J, Huang J, Zhang L, et al. Why is China's blue revolution so "Blue"? The determinants of conservation tillage in China[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, 65(2):113-129.
- [16] 蔡荣, 蔡书凯. 保护性耕作技术采用及对作物单产影响的实证分析-基于安徽省水稻种植户的调查数据[J]. *资源科学*, 2012, 34(9):1705-1711. [Cai R, Cai S K. The adoption of conservation agriculture and the impact on crop yields based on rice farms in Anhui Province[J]. *Resources Science*, 2012, 34(9):1705-1711.]
- [17] Lal R. A system approach to conservation agriculture[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2015, 70(4):82-88.
- [18] McGarry, D, Bridge B J, Radford B J. Contrasting soil physical properties after zero and traditional tillage of an alluvial soil in semi-arid subtropics[J]. *Soil Tillage Res*, 2000, 53(2):105-115.
- [19] 孔维萍, 成自勇, 张芮, 等. 保护性耕作在黄土高原的应用和发展[J]. *干旱区研究*, 2015, 32(2):240-250. [Kun W P, Cheng Z Y, Zhang R, et al. Application and development of conservation tillage techniques in the Loess Plateau[J]. *Arid Zone Research*, 2015, 32(2):240-250.]
- [20] Tian S, Ning T, Wang Y, et al. Crop yield and soil carbon responses to tillage method changes in North China[J]. *Soil & Tillage Research*, 2016, 16(3):207-213.
- [21] Mieke L N, Wilhelm W W. Comparisons of soil physical characteristics in long-term tillage, winter wheat-fallow tillage experiments[J]. *Soil Tillage Res*, 1998, 49(1-2):29-35.
- [22] Lafond G P, Loepky H, Derksen D A. The effects of tillage systems and crop rotations on soil water conservation: seedling establishment and crop yield[J]. *Can. J. Plant Sci*, 1992, 72(1):103-115.
- [23] McMaster G S, Palic D B, Dunn G H. Soil management alters seedling emergence and subsequent autumn growth and yield in dryland winter wheat-fallow systems in the central Great Plains on a clay loam soil[J]. *Soil Tillage Res*, 2002, 65(2):193-206.
- [24] Kassam A, Friedrich T, Shaxson F, et al. The spread of conservation agriculture: justification, sustainability and uptake[J]. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 2009, 7(4):292-320.
- [25] Sharma P, Abrol V, Sharma R K. Impact of tillage and mulch management on economics energy requirement and crop performance in maize-wheat rotation in rained sub humid inception India[J]. *Eur. J. Agron*, 2011, 34(1):46-51.
- [26] Chaghazardi H R, Jahansouz M R, Ahmadi A, et al. Effects of tillage management on productivity of wheat and chickpea under cold, rained conditions in western Iran[J]. *Soil & Tillage Research*, 2016, 162:26-33.
- [27] Lopez M V, Arrue J L. Growth, yield and water use efficiency

- of winter barley in response to conservation tillage in a semi-arid region of Spain[J]. *Soil Tillage Res*, 1997, 44(1-2): 35-54.
- [28] Mrabet R. Effects of residue management and cropping systems on wheat yield stability in a semiarid Mediterranean clay soil[J]. *American Journal of Plant Sciences*, 2011, 2(2): 202-216.
- [29] 杨晓光, 刘志娟, 陈阜. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响I. 气候变暖对中国种植制度北界和粮食产量可能影响的分析[J]. 中国农业科学, 2010, 43(2): 2477-2484. [Yang X G, Liu Z J, Chen F. The possible effects of global warming on cropping systems in China I. the possible effects of climate warming on northern limits of cropping systems and crop yields in China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(2): 2477-2484.]
- [30] 王大鹏, 吴文良, 顾松东, 等. 华北高产粮区基于种植制度调整和水氮优化的节水效应[J]. 农业工程学报, 2013, 29(2): 1-8. [Wang D P, Wu W L, Gu S D, et al. Water-saving effect under adjustment of cropping systems and optimization of water and nitrogen in high yield regions of North China[J]. *Transactions of the CSAE*, 2013, 29(2): 1-8.]
- [31] Mccord P F, Cox M, Schmitt-Harsh M, et al. Crop diversification as a smallholder livelihood strategy within semi-arid agricultural systems near Mount Kenya[J]. *Land use Policy*, 2015, 42: 738-750.
- [32] 李鹏, 谭向勇. 粮食直接补贴政策对农民种粮净收益的影响分析-以安徽省为例[J]. 农业技术经济, 2006, (1): 44-48. [Li P, Tan X Y. Analysis of the impact of direct grain subsidy policy on farmers' grain net income-taking Anhui Province as an example [J]. *Journal of Agro Technical Economics*, 2006, (1): 44-48.]
- [33] 王东, 陈英, 路正, 等. 玉米种植制度调整下的耕地经济效益评价及其影响因素分析-以定西市鲁家沟镇太平村为例[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(5): 41-46. [Wang D, Chen Y, Lu Z, et al. Economic benefit evaluation of cultivated land and analysis of the influence factors during adjustment of corn cropping system- a case study of Taiping Village in Dingxi City[J]. *Journal of Arid Land Resource and Environment*, 2016, 30(5): 41-46.]
- [34] 张莉, 吴克宁, 饶彩霞, 等. 农用地分等中产量比系数对省际接边的影响研究-以湖北省为例[J]. 中国土地科学, 2009, 23(2): 52-57. [Zhang L, Wu K N, Rao C X, et al. Research on the impact of β coefficient of agricultural land classification on provincial bordering: a case of Hubei Province[J]. *China Land Science*, 2009, 23(2): 52-57.]
- [35] GBT28407-2012. 《农用地质量分等规程》[S]. 北京: 中国标准出版社出版, 2012. GBT28407-2012. 《Agricultural land quality grading rules》[S]. Beijing: China Standard Press.
- [36] Carletto C, Savastano S, Zezza A. Fact or artifact: The impact of measurement errors on the farm size-productivity relationship [J]. *Journal of Development Economics*, 2011, 38(11): 783-784.
- [37] Ali D A, Deininger K. Is there a farm size-productivity relationship in African agriculture? Evidence from Rwanda[J]. *Policy Research Working Paper*, 2015, 91(2): 317-343.
- [38] Lamb R L. Inverse productivity: Land quality, labor markets, and measurement error[J]. *Journal of Development Economics*, 2003, 71(1): 71-95.
- [39] 王建英, 陈志钢, 黄祖辉. 转型时期土地生产率与农户经营规模关系再考察[J]. 管理世界, 2015, (9): 65-81. [Wang J Y, Chen Z G, Huang Z H. Restudy on the relationship between land productivity and farmers' operating scale in the transitional period[J]. *Management World*, 2015, (9): 65-81.]
- [40] 周振, 张琛, 彭超, 等. 农业机械化与农民收入: 来自农机户购置补贴政策的证据[J]. 中国农村经济, 2016, (2): 68-81. [Zhou Z, Zhang C, Peng C, et al. Agricultural mechanization and farmers' income: evidence from agricultural households purchase subsidy policy[J]. *Chinese Rural Economy*, 2016, (2): 68-81.]
- [41] Zhang S X, Chen X W, Jia S X, et al. The potential mechanism of long-term conservation tillage effects on maize yield in the black soil of Northeast China[J]. *Soil & Tillage Research*, 2015, 154(12): 110-120.
- [42] 杨进, 陈志钢. 劳动力价格上涨和老龄化对土地租赁的影响[J]. 中国农村经济, 2016, (5): 71-83. [Yang J, Chen Z G. The impact of rising labor prices and aging on land leasing[J]. *Chinese Rural Economy*, 2016, (5): 71-83.]
- [43] 赵文, 程杰. 农业生产方式与农户经济激励效应[J]. 中国农村经济, 2014, (2): 4-19. [Zhao W, Cheng J. Agricultural production mode and farmers' economic incentive effect[J]. *Chinese Rural Economy*, 2014, (2): 4-19.]
- [44] Chang H H, Chen Y H. Are participants in the land retirement program likely to grow energy crops[J]. *Applied Energy*, 2011, 88(9): 83-88.
- [45] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴2016[M]. 北京: 中国统计出版社, 2016. [National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. China Statistical Yearbook 2016 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2016.]
- [46] 杨敏丽. 新常态下中国农业机械化发展问题探讨[J]. 南方农机, 2015, (1): 7-11. [Yang M L. Discussion on the development of Chinese agricultural mechanization under the new normal condition[J]. *South Agricultural Machinery*, 2015, (1): 7-11.]
- [47] 江晓东, 迟淑筠, 王芸, 等. 少免耕对小麦/玉米农田玉米还田秸秆腐解的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(10): 247-251. [Jiang X D, Chi S Y, W Y, et al. Effect of less tillage and no-tillage patterns on decomposition of returned maize straw in wheat/maize system[J]. *Transactions of the CSAE*, 2009, 25(10): 247-251.]
- [48] 王金霞, 张丽娟, 黄季焜, 等. 黄河流域保护性耕作技术的采

用:影响因素的实证研究[J]. 资源科学, 2009, 31(4): 641-647.
[Wang J X, Zhang L J, Huang J K, *et al.* The adoption of conservation agricultural technology in the Yellow River Basin: Empirical research on the influential factors[J]. *Resources Science*, 2009, 31(4): 641-647.]

[49] 汪小勤, 姜涛. 基于农业公共投资视角的中国农业技术效率分析[J]. 中国农村经济, 2009, (5): 79-86. [Wang X Q, Jiang T. Analysis of China's agricultural technology efficiency from the perspective of agricultural public investment[J]. *Chinese Rural Economy*, 2009, (5): 79-86.]

Conservation tillage, cropping systems and land productivity for households on the Loess Plateau

LI Wei¹, XUE Caixia², YAO Shunbo², ZHU Ruixiang¹

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A & F University, Yangling 712100, China;

2. College of Economics and Management, Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

Abstract: Analysis of the impact of conservation tillage technology on land productivity can provide a reference for developing environment- friendly farming techniques and achieve sustainable agricultural development in the Loess Plateau region of China. Based on a survey of 476 wheat-maize planting households on the Loess Plateau, extended C-D function and multiple regression models were used to analyze the effect of conservation tillage technology on land productivity under different planting systems. We found that conservation tillage technology had a significant positive effect on crop yield, but its effect was slow-release. Conservation tillage technology had a positive effect on the profit of average ha in the area of two croppings per year system and three croppings per two-year system. The effect of conservation tillage on profit was more obvious when the opportunity cost of family labor input was taken into account. Seed costs, irrigation costs and machinery costs had a positive effect on crop yield, and the impact of pesticide and herbicide on crop yield depends on whether they were prophylactic or controlled. The education level of the head of the household had a positive effect on land productivity. Without considering family labor costs, the scale of family agricultural labor had a positive effect on average profit per ha. The scale of land management was positively related to crop yield, while land fragmentation hindered increases in farmers' profits. Irrigation convenience was beneficial to increase the profit of average ha in areas of more than one crop a year. Crop yields and profits were higher in flat areas than sloped areas.

Key words: conservation tillage; land productivity; cropping system; Loess Plateau; extended C-D function model; multiple regression model