

陕西关中一年两熟地区保护性耕作 关键技术综合效应研究 ——Ⅱ. 对两季作物生长发育及产量产值的影响

朱琳¹, 张炜¹, 党小选¹, 刘永利¹, 黄耀明²

(1. 西北农林科技大学机械与电子工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 陕西省宝鸡市农机管理推广中心, 陕西 宝鸡 721006)

摘要: 针对陕西关中一年两熟地区应用保护性耕作技术存在的问题, 以冬小麦传统翻耕技术为对照, 研究了 5 种类型 10 种耕作关键技术对作物生长发育及产量、产值的影响。结果表明: (1) 在裸地深松间隔年限三技术中, 两季作物均以隔年深松的生长发育状况最好, 产量、产值最高, 居 11 项处理第 3 位; (2) 在裸地与秸秆覆盖旋耕两技术中, 两季作物均以秸秆覆盖旋耕的生长发育状况最好, 产量、产值最高, 居 11 项处理第 6 位; (3) 在秸秆覆盖深松深度两技术中, 两季作物均以秸秆覆盖深松的生长发育状况最好, 产量、产值最高, 居 11 项处理第 1 位; (4) 在裸地与秸秆覆盖免耕两技术中, 两季作物均以裸地免耕的生长发育状况最好, 产量、产值最高, 居 11 项处理第 7 位; (5) 在翻耕两技术中, 两季作物均以秸秆还田翻耕的生长发育状况最好, 产量、产值最高, 居 11 项处理第 2 位。

关键词: 关中地区; 一年两熟; 保护性耕作; 关键技术; 生长发育; 产量; 产值

中图分类号: S341 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)01-0011-07

Comprehensive effect of the main practices of conservation tillage for double cropping system in Guanzhong basin of Shaanxi Province ——Ⅱ. Effect of main practices on the growth, yield and output value of the double cropping system

ZHU Lin¹, Zhang Wei¹, DANG Xiao-xuan¹, LIU Yong-li¹, HUANG Yao-ming²

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

2. Baoji Agricultural Machine Management and Extension Center, Baoji, Shaanxi 721006, China)

Abstract: In order to cope with the problems facing conservation tillage practices in double cropping system in Guanzhong basin, Shaanxi Province, we studied the effects of five types and ten main tillage practices on crop growth, yield and output value of the double cropping system, and compared them with the conventional method. The results showed that high yield and output value gained in both winter wheat and summer maize by using subsoiling every other year in subsoiling interval time experiment on land without straw mulching, with subsoiling every other year ranking third among eleven techniques. Rotary tillage with straw mulching showed higher values compared with rotary tillage with no straw mulching, and ranked sixth. Deep subsoiling was better than shallow subsoiling under straw mulching, and it ranked first. Yield and output value of no-tillage and no straw mulching were higher than no-tillage and straw mulching. Between the two methods of plowing tillage, straw returning was better and ranked second among all the 11 practices.

Keywords: Guanzhong basin; double cropping; main practices; growth; yield; output value

保护性耕作技术的研究在我国虽然起步较晚, 但从 20 世纪 80 年代开始到现在, 科研工作者在保护性耕作技术研究方面却做了大量的工作, 取得了许多的研究成果^[1-5]。但是这些研究多以免耕、少耕技术与传统耕作技术进行比较, 而对每一关键技

术的进一步深入研究则较少。鉴此, 从 2006 年 10 月开始至 2011 年 9 月, 在陕西杨凌农业机械化新技术新装备示范园, 连续 5 年采用田间定位试验方法, 在对每一保护性关键技术农田土壤环境理化性状研究^[6]的同时, 并对每一保护性耕作关键技术对农作

收稿日期: 2013-05-05

基金项目: 陕西省农机局重点项目“杨凌农业机械化新技术新机具试验示范区建设”

作者简介: 朱琳 (1969—), 男, 陕西富平人, 副教授, 主要从事农机装备开发与推广工作。E-mail: zhulin@nwsuaf.edu.cn。

通信作者: 张炜 (1960—), 男, 河北张家口人, 研究员, 主要从事农业装备研究与推广工作。E-mail: zhangwei6019@126.com。

物生长发育及产量、产值进行了深入研究,旨在为陕西省关中及同类冬小麦—夏玉米一年两熟地区保护性耕作技术模式集成和新型保护性土壤轮耕体系建立提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验设在陕西省杨凌农业机械化新技术新机具试验示范园。该示范园基本情况同前文^[6]。

1.2 试验设计

试验地种植制度 5 年期均为冬小麦—夏玉米轮作,一年两熟。本试验以冬小麦传统翻耕为对照,共设 5 种类型 10 种耕作关键技术。其 5 种类型 10 种耕作关键技术的设计及田间作业体系见前文^[6]。

1.3 试验方法

田间具体试验方法详见前文^[6]。

1.4 观测项目及测定方法

(1) 作物生育状况观测 在冬小麦生长的关键时期,调查苗(株)高、单株茎蘖数、次茎根数、鲜重、干重和每公顷成穗数;在夏玉米生长的关键时期,调查苗(株)高、叶片数、次生根数、鲜重、干重和每公顷

株数。

(2) 考种与测产 冬小麦、夏玉米成熟后,每处理随机取样 20 株进行考种,考种项目小麦为“穗粒数”和“千粒重”,玉米为“穗行数”、“穗粒数”和“百粒重”;并随机取样实测产量:冬小麦每点 5 m²,夏玉米每点 100 株;每处理 5 次重复。

1.5 数据处理

本试验采用 DPS 处理软件,分析不同处理之间的差异显著性。

不同关键技术通过连续 5 年的观察、测定,发现每年的试验结果其规律基本一致,故本文主要以 2010—2011 年生产年度试验结果为例;而冬小麦和夏玉米产量和经济效益则用 2009—2010 年和 2010—2011 年两生产年度的试验结果进行比较。

2 结果与分析

2.1 不同关键技术对作物生长发育的影响

2.1.1 不同关键技术对冬小麦生长发育的影响

2011 年冬前和春季,不同关键技术对冬小麦生长发育的影响,见表 1。

表 1 不同关键技术处理下冬小麦苗情状况比较

Table 1 Comparison of winter wheat seedlings growth under different practices

耕作类型 Tillage	关键技术 Practices	冬前 Before winter					春季 Spring				
		苗高 Height /cm	单株 蘖数 Tillers per plant	单株次生 根数 Secondary roots	单株 鲜重 Fresh weight	单株 干重 Dry weight	苗高 Height /cm	单株 蘖数 Tillers per plant	单株次生 根数 Secondary roots	单株 鲜重 Fresh weight	单株 干重 Dry weight
裸地深松 Subsoiling and no straw mulching	SSEY	18.3c	3.0cd	3.3cd	1.03bc	0.33bcABC	35.0bc	5.5cd	9.4b	5.25e	1.19gE
	SSEOY	18.8b	3.2b	3.5b	1.17ab	0.34abAB	35.0bc	5.6c	10.2a	5.75c	1.28dD
	SSETY	18.1de	3.0cd	3.2cd	1.02bc	0.31deCD	34.0c	5.4d	9.2bc	5.01f	1.16hG
旋耕 Rotary tillage	RT	18.0e	3.0cd	3.1ef	0.94c	0.30eD	34.0c	4.8e	7.2e	4.90f	1.21fF
	RTSM	18.3c	3.2b	3.2de	0.98c	0.31deCD	36.0b	6.2b	10.4a	5.00f	1.25eE
深松深度 Subsoiling in depth	SSSM	20.4a	3.6a	3.7a	1.18a	0.35Aa	39.0a	6.6a	10.1a	7.50a	1.79aA
	STSM	18.7b	3.3b	3.4bc	1.02bc	0.33bcABC	35.0bc	6.1b	8.6cd	7.05b	1.73cC
免耕 No-tillage	NT	17.5f	3.2b	3.1ef	1.02bc	0.32cdBCD	38.0a	5.6c	9.2bc	5.5d	1.21fF
	NTSM	17.4f	3.1c	3.0f	0.97c	0.32cdBCD	34.0c	4.2f	8.6cd	4.5g	0.90jI
翻耕 Plowing tillage	SRCT	18.2cd	3.5a	3.4bc	1.05abc	0.34abAB	38.0a	6.5a	10.6a	7.4a	1.76bB
	CT	17.7e	2.9d	3.2de	0.98c	0.31deCD	38.0a	4.9e	9.1bcd	5.0f	1.11iH

注:同列不同小写和大写字母分别代表差异达 5% 和 1% 显著水平。SSEY,裸地连年深松;SSEOY,裸地隔年深松;SSETY,裸地隔 2 年深松;RT,裸地旋耕;SSSM,秸秆覆盖深松;STSM,秸秆覆盖浅松;NT,裸地免耕;NTSM,秸秆覆盖免耕;SRCT,秸秆还田翻耕;CT,传统翻耕。下同。

Note: Different lowercase and capital letters in the same column indicate significant difference at 5% and 1% levels, respectively. SSEY, subsoiling every year; SSEOY, Subsoiling every other year; SSETY, Subsoiling every two year; RT, Rotary tillage; SSSM, Subsoiling starw mulching; STSM, Tillage with starw mulching; NT, No-tillage; NTSM, No-tillage with starw mulching; SRCT, Plowing tillage with starw; CT, Tradition plowing tillage. The same as below.

从表 1 可以看出,不同关键技术处理,不论是冬前,还是春季,冬小麦生长发育状况表现出明显差

异。在三种裸地深松间隔年限处理中,两个时期的苗情均以隔年深松处理最好,其次是连年深松处理,

再次是隔 2 年深松处理;在两种旋耕处理中,两个时期的苗情均以秸秆覆盖旋耕处理较好,即不仅分蘖、次生根较多,而且鲜、干重也较高,而裸地旋耕处理各方面表现均较差;在两种覆盖深松深度处理中,两个时期的苗情均以秸秆覆盖深松处理最好,而秸秆覆盖浅松处理则较差;在两种免耕处理中,秸秆覆盖免耕处理不论冬前,还是春季,其苗情均不如裸地免耕处理;在两种翻耕处理中,不同时期的苗情,均以秸秆还田翻耕处理最好,而传统翻耕处理则较差。其原因均与不同关键技术处理耕层土壤结构及水、肥、气、热状况有密切关系。

2.1.2 不同关键技术对夏玉米生长发育的影响
2011 年玉米幼苗期,不同关键技术对夏玉米生长发育的影响,见表 2。从表 2 可以看出,关键技术不

同,夏玉米幼苗生长状况也表现出明显差异。在 3 种裸地深松间隔年限处理中,夏玉米幼苗生长状况也是以隔年深松处理较好,连年深松次之,隔 2 年深松则较差;在两种旋耕处理中,夏玉米幼苗生长状况以秸秆覆盖旋耕处理较好,而裸地旋耕则较差;在两种覆盖深松深度处理中,夏玉米幼苗生长状况,也是以秸秆覆盖深松处理最好,秸秆覆盖浅松处理则较差,这说明秸秆覆盖深松仍具有一定的后效;在两种免耕处理中,夏玉米苗情以裸地免耕处理较好,而秸秆覆盖免耕处理则较差;在两种翻耕处理中,秸秆还田翻耕处理夏玉米苗情较好于传统翻耕处理,说明秸秆还田具有显著的后效。其原因也均与不同关键技术处理耕层土壤结构及水、肥、气、热状况有密切关系。

表 2 不同关键技术处理下夏玉米幼苗生长状况比较
Table 2 Comparison of summer maize seedlings growth under different practices

耕作类型 Tillage	关键技术 Practices	苗高 Height /cm	单株叶片数 Leaf number per plant	茎粗 Stalk thickness /cm	单株次生根数 Secondary roots	单株鲜重 Fresh weight /g	单株干重 Dry weight /g
裸地深松 Subsoiling and no straw mulching	SSEY	54.7c	6 叶 1 心	1.06h	3.8d	12.5e	1.95fF
	SSEOY	55.1b	6 叶 1 心	1.12g	4.1c	14.0c	2.10dD
	SSETY	46.7h	6 叶 1 心	0.80k	3.6d	12.4e	1.88gG
旋耕 Rotary tillage	RT	49.2g	6 叶 1 心	1.16e	3.0ef	13.5d	2.03eE
	RTSM	55.8u	6 叶 1 心	1.21c	3.2e	14.0c	2.15cC
深松深度 Subsoiling in depth	SSSM	55.9a	6 叶 1 心	1.25a	5.3a	16.0a	2.40aA
	STSM	52.6d	6 叶 1 心	1.14f	5.1a	14.0c	2.10dD
免耕 No-tillage	NT	50.7e	6 叶 1 心	1.04i	2.9f	11.0f	1.65hH
	NTSM	50.2f	6 叶 1 心	1.01j	2.8f	10.0g	1.50iI
翻耕 Plowing tillage	SRCT	55.7a	6 叶 1 心	1.23b	4.6b	15.0b	2.25bB
	CT	54.5c	6 叶 1 心	1.18d	3.0ef	12.5e	1.88gG

2.2 不同关键技术对作物产量构成因素及产量的影响

2.2.1 不同关键技术对冬小麦产量构成因素的影响
2011 年冬小麦成熟后,取样考种的结果,见表 3。由表 3 看出,关键技术不同,其冬小麦产量构成因素也表现很大差异,特别是穗数、穗粒数和千粒重,各处理间差异显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$)。在三种裸地深松间隔年限处理中,以隔年深松处理均较好,其次是连年深松处理,再次是隔年深松处理;在两种旋耕处理中,冬小麦产量构成各因素,以秸秆覆盖旋耕处理较好,而裸地旋耕处理则较差;在两种覆盖深松深度处理中,以秸秆覆盖深松处理各产量构成因素最好,而秸秆覆盖浅松处理各因素则较差,这与秸秆覆盖深松,犁底层被打破,土壤疏松、透水通气,土壤养分高密切相关;在两种免耕

处理中,以裸地免耕处理产量构成诸因素较好,这与小麦播种时适当浅旋,种床层土壤疏松、绵软细碎密切相关,而秸秆覆盖免耕处理产量构成诸因素则较差,这是由于秸秆覆盖免耕种床板结、紧实,影响小麦正常生长发育的缘故;在两种翻耕处理中,以秸秆还田翻耕处理产量构成各因素最好,而传统翻耕处理各因素均较差,说明秸秆还田有利于改良土壤结构,提高土壤潜在肥力,从而使冬小麦生长健壮,成穗数多,产量构成诸因素皆好。

2.2.2 不同关键技术对夏玉米产量构成因素的影响
2011 年夏玉米成熟后,取样考种的结果,见表 4。由表 4 看出,关键技术不同,其夏玉米产量构成因素也表现出一定差异,尤其是每公顷株数、穗行数、行粒数和百粒重,各处理间差异显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$)。在三种裸地深松间隔年限处

理中,夏玉米产量构成诸因素,以隔年深松处理各因素均较好,其次是连年深松处理,再次是隔 2 年深松处理,这说明深松技术不仅对冬小麦生长发育有促进作用,而且具有一定的后效,并促使夏玉米各方面也发育良好;在两种旋耕处理中,夏玉米产量构成诸因素,以秸秆覆盖旋耕处理最好,而裸地旋耕处理则较差,这与秸秆覆盖旋耕土壤肥力较高,耕层土壤状况较好有关;在两种秸秆覆盖深松深度处理中,夏玉米产量构成诸因素,以秸秆覆盖深松处理最好,而秸

秆覆盖浅松处理则较差,这进一步表明秸秆覆盖深松处理具有明显的后效;在两种免耕处理中,以秸秆覆盖免耕处理产量构成诸因素表现均较差,而裸地免耕处理则较好,进一步说明前茬作物的耕作措施,对下一茬仍有一定的后效作用;在两种翻耕处理中,夏玉米产量构成各因素,以秸秆还田翻耕处理最好,而传统翻耕处理则较差,说明同为翻耕,但秸秆还田翻耕由于长时期的秸秆还田,其改良土壤结构,增加土壤肥力的效果是非常显著的。

表 3 不同关键技术处理下冬小麦产量构成因素比较

Table 3 Comparison of yield and its components of winter wheat under different practices

耕作类型 Tillage	关键技术 Practices	穗数 No. of spike /(10 ⁴ ·hm ⁻²)	株高 Height /cm	穗长 Spike length /cm	有效小穗 Effective spikelet per spike	无效小穗 Ineffective spikelet per spike	穗粒数 Grains per spike	千粒重 1000 grains weight/g
裸地深松 Subsoiling and no straw mulching	SSEY	561.0fF	74.0c	8.3ab	16.1d	2.9a	39.8gG	38.3eE
	SSEOY	583.5dD	78.5a	8.5a	16.2cd	2.7b	41.3cC	38.7cC
	SSETY	525.0iI	73.5d	8.1bc	15.7ef	3.0a	38.6iI	37.3gG
旋耕 Rotary tillage	RT	541.7gG	74.0c	8.4a	16.3c	2.7b	40.7eE	38.0fF
	RTSM	577.5eE	74.0c	8.5a	16.5b	2.3c	41.6aA	37.0hH
深松深度 Subsoiling in depth	SSSM	609.0bB	76.0b	8.6a	16.9a	2.1d	41.5bB	39.7aA
	STSM	586.5cC	73.0e	8.3ab	15.8e	2.6b	39.5hH	38.5dD
免耕 No-tillage	NT	561.0fF	71.0f	8.0cd	15.7ef	2.2cd	40.8dD	38.0fF
	NTSM	535.5hH	73.0e	7.9cd	15.2g	2.6b	38.1jJ	35.7iI
翻耕 Plowing tillage	SRCT	616.5aA	74.0c	8.4a	16.3c	2.3c	41.3cC	39.1bB
	CT	511.5jJ	73.0e	7.8d	15.6f	2.1d	40.4fF	37.3gG

表 4 不同关键技术处理下夏玉米产量构成因素比较

Table 4 Comparison of yield and its components of summer maize under different practices

耕作类型 Tillage	关键技术 Practices	株数/hm ² No. of plant	株高/cm Height	穗位高/cm Ear height	穗长/cm Ear length	穗粗/cm Ear thickness	穗行数 Rows per ear	行粒数 Kernels per row	百粒重/g 100 grains weight
裸地深松 Subsoiling and no straw mulching	SSEY	53760dD	236g	110c	15.1f	4.5d	14.3dD	34.6dD	23.7abcAB
	SSEOY	54300bB	245d	105d	16.1ab	4.7c	14.4cC	35.4cC	24.0abAB
	SSETY	53475eE	240e	110c	14.8g	4.4de	14.1fF	32.2jJ	23.5abcAB
旋耕 Rotary tillage	RT	52905gG	238f	113ab	15.8c	4.5d	14.2eE	33.2fF	22.7cB
	RTSM	53460fF	235g	115a	16.0b	5.1a	14.3dD	34.6dD	23.1bcAB
深松深度 Subsoiling in depth	SSSM	54315aA	260a	100e	16.2a	5.2a	14.8aA	36.2aA	24.6aA
	STSM	54300bB	246d	110c	15.7cd	4.5d	14.1fF	32.6gG	22.7cB
免耕 No-tillage	NT	52815hH	255b	110c	15.6de	4.5d	14.6bB	33.4eE	23.0bcB
	NTSM	52350iI	250c	115a	15.5e	4.3e	13.7gG	32.5hH	22.7cB
翻耕 Plowing tillage	SRCT	54270cC	251c	111bc	15.8c	4.9b	14.6bB	35.6bB	24.1abAB
	CT	53760dD	233h	100e	15.0f	4.4de	14.1fF	32.4iI	23.2bcAB

2.3 不同关键技术对冬小麦、夏玉米产量的影响

2010 年和 2011 年冬小麦、夏玉米成熟后,多点取样实际测产的结果,见表 5。从表 5 看出,不同关键技术由于对农田土壤环境影响的不一样,因而两

年的产量结果,不论是冬小麦,还是夏玉米,各处理间的差异均达极显著水平($P < 0.01$)。虽然两年各处理的产量结果不尽相同,但其变化趋势却是基本一致的。在三种裸地深松间隔年限处理中,两年两

料作物产量均以隔年深松处理最高,连年深松处理次之,隔 2 年深松处理最低,两料合计 2010 年分别较传统翻耕处理增产 12.0%、9.2% 和 3.5%;2011 年分别增产 15.4%、12.5% 和 6.4%。在两种旋耕处理中,两年两料作物产量均以秸秆覆盖旋耕处理最高,而裸地旋耕则最低,两料合计 2010 年分别较传统翻耕增产 7.5% 和 3.5%;2011 年分别增产 8.3% 和 4.5%。在两种覆盖深松深度处理中,两年两料作物产量均以秸秆覆盖深松处理最高,而秸秆覆盖浅松处理则较低,两料合计 2010 年分别较传统

翻耕处理增产 16.7% 和 9.4%;2011 年分别增产 20.5% 和 15.1%。在两种免耕处理中,两年两料作物产量均以裸地免耕处理最高,两料合计 2010 年和 2011 年分别较传统翻耕处理增产 6.0% 和 6.1%,而秸秆覆盖免耕处理则最低,两料合计 2010 年和 2011 年较传统翻耕处理则分别减产 2.4% 和 1.0%。在两种翻耕处理中,两年两料作物产量均以秸秆还田翻耕处理最高,两料合计 2010 年较传统翻耕增产 14.3%;2011 年则增产 19.1%。

表 5 不同关键技术处理下 2010 年和 2011 年冬小麦、夏玉米产量结果比较
Table 5 Comparison of yield of winter wheat and summer maize under different practices

年度 Year	耕作类型 Tillage	关键技术 Practices	冬小麦 Winter wheat		夏玉米 Summer maize		两料合计 Total	
			产量 Yield	增产率 Increased by	产量 Yield	增产率 Increased by	产量 Yield	增产率 Increased by
			/(kg·km ⁻²)	/%	/(kg·km ⁻²)	/%	/(kg·km ⁻²)	/%
2009—2010	裸地深松 Subsoiling and no straw mulching	SSEY	6759.2dD	10.2	5629.5eE	8.5	12388.7eE	9.2
		SSEOY	6921.7cC	12.9	5781.4cC	11.0	12703.1cC	12.0
		SSETY	6315.6iI	3.0	5504.3fF	5.7	11819.9iI	3.5
	旋耕 Rotary tillage	RT	6459.1hH	5.3	5279.5iI	1.4	11738.6hH	3.5
		RTSM	6741.2fF	9.9	5458.7gG	4.8	12199.9fF	7.5
	深松深度 Sub soiling in depth	SSSM	7216.5aA	17.7	6021.3aA	15.6	13237.8aA	16.7
		STSM	6750.3eE	10.1	5659.6dD	8.7	12409.9dD	9.4
	免耕 No-tillage	NT	6625.0gG	8.0	5394.8hH	3.6	12019.8gG	6.0
		NTSM	5968.2kK	-2.7	5104.3kK	-2.0	11072.5kK	-2.4
	翻耕 Plowing tillage	SRCT	7105.4bB	15.1	5859.4bB	12.5	12964.8bB	14.3
		CT	6132.6jJ	—	5208.5jJ	—	11341.1jJ	—
2010—2011	裸地深松 Subsoiling and no straw mulching	SSEY	8149.5eE	10.5	5806.5eE	15.5	13956.0eE	12.5
		SSEOY	8340.0cC	13.1	5973.0dD	18.8	14313.0cC	15.4
		SSETY	7584.0iI	2.8	5614.5fF	11.7	13198.5gG	6.4
	旋耕 Rotary tillage	RT	7800.0hH	5.8	5158.5hH	2.6	12958.5iI	4.5
		RTSM	8145.0fF	10.4	5292.0gG	58.3	13437.0fF	8.3
	深松深度 Sub soiling in depth	SSSM	8530.5aA	15.7	6409.5aA	27.5	14940.0aA	20.5
		STSM	8254.4dD	11.9	6017.0cC	19.7	14271.4dD	15.1
	免耕 No-tillage	NT	7999.5gG	8.5	5157.0iI	2.6	13156.5hH	6.1
		NTSM	7255.5kK	-1.6	5024.0kK	-0.05	12279.5kK	-0.99
	翻耕 Plowing tillage	SRCT	8415.0bB	14.1	6349.5bB	26.3	14764.5bB	19.1
		CT	7375.5jJ	—	5026.5jJ	—	12402.0jJ	—

2.4 不同关键技术经济效益比较

不同关键技术经济效益计算涉及许多方面,这里仅就不同关键技术的机械作业费用等方面进行估算,2009 年和 2010 年的估算结果,见表 6。从表 6 看出,各关键技术因作物产量高低以及两料作业费用的不同,其每公顷的纯收入也显示出很大差异,且

各处理间差异均达极显著水平($P < 0.01$)。虽然两年各处理的纯收入不尽相同,但其变化趋势则基本一致。在三种裸地深松间隔年限处理中,两年两料作物纯收入均以隔年深松处理最高,连年深松次之,隔 2 年深松最低,两料合计 2010 年较传统翻耕处理分别增收 14.5%、10.8% 和 6.2%;2011 年分别增收

17.7%、14.0%和 8.2%。在两种旋耕处理中,两年两料作物纯收入均以秸秆覆盖旋耕两料作物纯收入最高,而裸地旋耕则最低,两料合计,2010 年较传统翻耕处理分别增收 11.7%和 6.1%;2011 年分别增收 12.1%和 6.9%。在两种秸秆覆盖深松深度处理中,两年两料作物纯收入均以秸秆覆盖深松处理最高,而秸秆覆盖浅松处理则最低,两料合计 2010 年较传统翻耕处理分别增收20.0%和 12.1%;2010 年

分别增收 23.3%和17.6%。在两种免耕处理中,两年两料作物纯收入均以裸地免耕处理最高,秸秆覆盖免耕则最低,两料合计 2010 年较传统翻耕处理仅增收 9.6%和1.5%;2011 年仅增收 9.4%和 2.6%。在两种翻耕处理中,两年两料作物纯收入均以秸秆还田翻耕处理最高,传统翻耕处理则最低,秸秆还田翻耕处理两年合计 2010 年较传统翻耕处理增收 15.2%,而 2011 年则增收 19.7%。

表 6 不同关键技术处理 2010 年和 2011 年经济效益比较
Table 6 Comparison of economic benefit under different practices

年度 Year	耕作类型 Tillage	关键技术 Practices	小麦产量 Wheat yield /(kg·hm ⁻²)	玉米产量 Maize yield /(kg·hm ⁻²)	两料产值 Total value /(元·hm ⁻²)	两料作业费 Total cost /(元·hm ⁻²)	纯收入 Net income /(元·hm ⁻²)	较 CT 增收 Increased by /(元·hm ⁻²)
2009—2010	裸地深松 Subsoiling and no straw mulching	SSEY	6759.2dD	5629.5eE	23651.5eE	1425.0cC	22226.5fF	10.8
		SSEOY	6921.7cC	5781.4cC	24249.9cC	1275.0dD	22974.9eC	14.5
		SSETY	6315.6iI	5504.3fF	22538.9hH	1225.0eE	21313.9hH	6.2
	旋耕 Rotary tillage	RT	6459.1hH	5279.5iI	22421.3iI	1125.0gG	21296.3iI	6.1
		RTSM	6741.2fF	5458.7gG	23308.1fF	900.0iI	22408.1eE	11.7
	深松深度 Sub soiling in depth	SSSM	7216.5aA	6021.3aA	25271.3aA	1200.0fF	24071.3aA	20.0
		STSM	6750.3eE	5659.6dD	23687.9dD	1200.0fF	22487.9dD	12.1
	免耕 No-tillage	NT	6625.0gG	5394.8hH	22960.6gG	975.0hH	21985.6gG	9.6
		NTSM	5968.2kK	5104.3kK	21124.1kK	750.0jJ	20374.1jJ	1.5
	翻耕 Plowing tillage	SRCT	7105.4bB	5859.4bB	24757.7bB	1650.0aA	23107.7bB	15.2
		CT	6132.6jJ	5208.5jJ	21640.5jJ	1575.0bB	20065.5kK	—
2010—2011	裸地深松 Subsoiling and no straw mulching	SSEY	8149.5eE	5806.5eE	26750.7eE	1425.0cC	25325.7eE	14.0
		SSEOY	8340.0cC	5973.0dD	27431.4cC	1275.0dD	26156.4dD	17.7
		SSETY	7584.0iI	5614.5fF	25274.1hH	1225.0eE	24049.1hH	8.2
	旋耕 Rotary tillage	RT	7800.0hH	5158.5hH	24885.3iI	1125.0gG	23760.3iI	6.9
		RTSM	8145.0fF	5292.0gG	25815.6fF	900.0iI	24915.6fF	12.1
	深松深度 Sub soiling in depth	SSSM	8530.5aA	6409.5aA	28597.1aA	1200.0fF	27397.1aA	23.3
		STSM	8254.4dD	6017.0cC	27339.4dD	1200.0fF	26139.4cC	17.6
	免耕 No-tillage	NT	7999.5gG	5157.0iI	25281.6gG	975.0hH	24306.6gG	9.4
		NTSM	7255.5kK	5024.0kK	23554.2kK	750.0jJ	22804.2jJ	2.6
	翻耕 Plowing tillage	SRCT	8415.0bB	6349.5bB	28259.1bB	1650.0aA	26609.1bB	19.7
		CT	7375.5jJ	5026.5jJ	23798.7jJ	1575.0bB	22223.7kK	—

注:1.粮食每 kg 售价:小麦以 2.0 元计,玉米以 1.8 元计; 2.每 hm² 机械作业费:旋耕 300 元,深松 300 元,秸秆还田 300 元;翻耕 450 元,免耕播种 375 元,常规播种 225 元,收玉米秸秆 225 元。

Note:1. Selling price: wheat, 2.0 Yuan·kg⁻¹; maize, 1.8 Yuan·kg⁻¹. 2. Cost of machine farming per hm²: rotary tillage, 300 Yuan; subsoiling, 300 Yuan; incorporating straw, 300 Yuan; ploughing, 450 Yuan; no-tillage seeding, 375 Yuan; traditional seeding, 225 Yuan; harvesting maize straw, 225 Yuan.

再从各关键技术作业工序和费用看,以秸秆覆盖免耕处理作业工序最少,费用也最低,其次依次是裸地免耕处理、秸秆覆盖旋耕处理和裸地旋耕处理;

3 结论与讨论

通过连续 5 年定位试验,特别是 2009—2011 年在对保护性耕作不同关键技术农田土壤环境理化性

而作业工序最多、费用最高的是秸秆还田翻耕和传统翻耕两处理,再次是裸地深松处理和覆盖深松两处理。且各处理间差异达极显著水平($P < 0.01$)。状研究的同时,又对各项保护性耕作不同关键技术对农作物生长发育及产量、产值的影响进行了研究,基本可作如下结论,并就有关问题进行讨论。

1) 裸地深松间隔年限三技术试验中,不论是前

季冬小麦,还是后季夏玉米,其各个时期的生长状况和产量构成各因素均以隔年深松技术表现最好,而且籽粒产量和经济收入也最高,位居 11 项技术第 3 位,说明深松耕作有一定的后效,而不一定年年进行深松,但也不宜隔得太久。这与何进等^[7]研究的结论基本一致。

2) 裸地与秸秆覆盖旋耕两技术试验中,两季作物不论是各个时期的生长状况,还是产量构成各因素,均以秸秆覆盖旋耕技术最好,而且籽粒产量和经济收入也最高,位居 11 项技术第 6 位。这与孔凡磊等^[8]的研究结果,长期免耕后进行旋耕,可以显著提高冬小麦产量,较免耕增产 16.9% 基本一致;而与褚鹏飞等^[9]的研究结果,秸秆还田旋耕的冬小麦籽粒和水分利用效率显著低于翻耕处理,即旋耕不利于冬小麦籽粒产量的提高,却不尽相同。

3) 秸秆覆盖深松深度两技术试验中,两季作物各个时期的生长状况和产量构成各因素,均以秸秆覆盖深松技术最好,而且籽粒产量和经济收入也最高,位居 11 项技术首位。大量试验研究表明,秸秆覆盖深松均有显著的增产效果。杨春峰等^[10]的研究结果是,秸秆覆盖深松较裸地深松,其蓄水保墒、富集土壤有机质以及增产增收效果都非常显著,可较裸地深松增产 11.2%,较传统翻耕增产 20.0%;褚鹏飞等^[9]的研究结果是,秸秆覆盖深松处理的籽粒产量和水分利用效果显著高于其它处理,表明深松有利于获得较高的籽粒产量和水分利用效率。

4) 裸地与秸秆覆盖免耕两技术试验中,两季作物各个时期的生长状况和产量构成各个因素,均以裸地免耕技术最好,而且籽粒产量和经济收入也最高,位居 11 项技术第 7 位,而秸秆覆盖免耕技术的籽粒产量和经济收入均居 11 项技术末位。这一技术虽然费用降低了一些,粮食产量却低,收益也少,所以在一年两熟关中土壤比较粘重的地区不宜连续多年采用。关于免耕技术的增产效果,各地研究结果不尽一致。大部分学者认为长期采用免耕技术,不利于作物的生长发育,使产量降低或增产不显著^[8,11-12];然而周兴祥等^[13]的研究却认为,以免耕加覆盖为主的保护性耕作技术能够提高作物的产量,增加土壤的含水量。

5) 秸秆还田与裸地翻耕两技术中,两季作物各个时期的生长状况和产量构成各因素均以秸秆还田翻耕技术最好,而且籽粒产量和经济收入也最高,位

居 11 项技术第 2 位。这一技术虽然两熟作物产量均较高,但其田间作业工序最多,费用也最高,故从减少工序、降低成本和保护农田等方面考虑,也不宜长期连续应用,这一结论与杨春峰^[10]、孔凡磊等^[8]学者的研究结果相一致。

6) 通过连续多年关中一年两熟保护性耕作关键技术研究,根据该区生产实际和土壤条件,可将有关关键技术集成 4 种适合关中及同类地区应用的小麦—玉米一年两熟保护性耕作技术模式:(1) 冬小麦秸秆粉碎覆盖免耕直接播种;(2) 冬小麦秸秆粉碎覆盖旋耕播种;(3) 冬小麦秸秆粉碎覆盖深松、旋耕、播种;(4) 冬小麦秸秆粉碎还田翻耕、旋耕、播种。

根据以上结论,在同一块地上,将有关保护性耕作技术模式,取长补短,集成冬小麦—夏玉米一年两熟地区保护性耕作轮耕体系:(1) 秸秆覆盖免耕→(2) 秸秆覆盖深松→(3) 秸秆覆盖旋耕→(4) 秸秆还田翻耕。

参 考 文 献:

- [1] 农业部农机化管理司. 保护性耕作工程建设规划(2009—2015 年)[Z]. 北京:农业部农机化管理司,2009.
- [2] 张燕卿,张玉光. 旱区保护性耕作技术研究进展与应用前景研究[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(1):199-221.
- [3] 刘立品. 一年两熟地区全程保护性耕作体系试验与应用研究[D]. 北京:北京农业大学,2004.
- [4] 余泳昌,鲁传涛,冯春丽,等. 豫东平原实施保护性耕作的研究与实践效果[J]. 河南农业科学,2005,(7):61-63.
- [5] 冯聚凯,崔彦宏,甄 瑞,等. 华北平原一年两熟区保护性耕作技术研究进展[J]. 中国农业通讯,2006,22(6):177-181.
- [6] 闫小丽,薛少平,王 翔,等. 陕西关中一年两熟地区保护性耕作关键技术综合效应研究 I. 对农田土壤环境理化性状的影响[J]. 干旱地区农业研究,2013,31(6):1-7.
- [7] 何 进,李洪文,高焕文. 中国北方保护性耕作条件下深松效应与经济效益研究[J]. 农业科学报,2006,22(10):62-67.
- [8] 孔凡磊,陈 阜,张海林,等. 轮耕对土壤物理性状和冬小麦产量的影响[J]. 农业工程学报,2010,26(1):150-153.
- [9] 褚鹏飞,于振文,王 东,等. 耕作方式对冬小麦耗水特性和籽粒产量的影响[J]. 中国农业科学,2010,43(9):3954-3964.
- [10] 杨春峰,韩思明,史俊通,等. 渭北旱原耕作法研究[J]. 耕作与栽培,1988,(4):11-17.
- [11] 陈军胜. 华北平原免耕冬小麦田水热特征及对冬小麦生长发育影响研究[D]. 北京:中国农业大学,2005.
- [12] 李素娟,陈继康,陈 阜,等. 华北平原免耕冬小麦生长发育特征研究[J]. 作物学报,2008,34(2):290-296.
- [13] 周兴祥,高焕文,刘晓峰. 华北平原一年两熟保护性耕作体系实验研究[J]. 农业工程学报,2001,17(6):81-84.