

# 关中一年两熟区不同耕作模式农田土壤及作物生物学效应的研究

薛少平, 闫小丽, 朱瑞祥, 姚万生, 韩思明

(西北农林科技大学 机械与电子工程学院, 陕西 杨凌 712100)

**[摘要]** 【目的】探索适宜于陕西关中冬小麦—夏玉米一年两熟区采用的保护性耕作模式。【方法】以传统耕作模式为对照,对 7 种不同耕作模式下农田土壤水分、养分含量及小麦、玉米的生物学效应进行分析。【结果】在参试的各种土壤耕作模式中,夏玉米高留茬免耕播种优于低留茬免耕播种;小麦播种时采用的“冬小麦秸秆还田深松旋耕播种—夏玉米高留茬免耕播种”模式 6 最好,较传统耕作模式增产 38.3%,纯收入增加 42.7%;其次是“冬小麦深松旋耕播种—夏玉米高留茬免耕播种”模式 3,较传统耕作模式增产 20.6%,纯收入增加 23.9%;免耕作业模式和旋耕作业模式,虽优于传统耕作模式,但效果均不理想。【结论】“冬小麦秸秆还田深松旋耕播种—夏玉米高留茬免耕播种”耕作模式可显著改善土壤水、肥、气、热环境条件,促进粮食高产稳产,适宜在关中地区推广。

**[关键词]** 一年两熟;耕作模式;农田效应;生物学效应

**[中图分类号]** S344

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1671-9387(2009)12-0112-07

## Study on farmland soil and crop biological effect on different tillage methods in annual double cropripe area

XUE Shao-ping, YAN Xiao-li, ZHU Rui-xiang, YAO Wan-sheng, Han Si-ming

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

**Abstract:** 【Objective】 The study was done in order to find a suitable tillage method in Guanzhong annual double-ripe crop(winter wheat/summer maize)area. 【Method】 Compared with traditional tillage, farmland soil moisture and nutrients, wheat and maize biological effects of seven tillage methods were studied in this paper. 【Result】 The results showed that among these methods, high standing stubble and no-tillage seeding of summer maize was better than low standing stubble and no-tillage seeding. Model 6 of “straw chopping, sub-soiling and rotary” in winter wheat insemination and “high standing stubble and no-tillage” seeding of summer maize was the best choice. Compared with traditional tillage, the yield increased by 38.3% and net income also increased by 42.7%. Model 3 of “sub-soiling and rotary” was the second. The yield increased by 20.6% and net income increased by 23.9%. The tillage-free and rotary tillage modes are better than traditional tillage, but they didn't show desirable effect. 【Conclusion】 “Straw chopping, sub-soiling and rotary tillage” in wheat insemination, and “high standing stubble and no-tillage” seeding of summer maize could greatly improve farmland's environmental condition of water, fertilizer and air, keep high and steady yield. It is suitable to extend and apply in Guanzhong annual double-ripe crop(winter wheat/summer maize)area.

**Key words:** annual double-ripe crop; tillage pattern; farmland effect; biological effect

\* [收稿日期] 2009-04-27

[基金项目] 杨凌农业机械化新技术新机具试验项目(陕农机发[2000]064 文件)

[作者简介] 薛少平(1953—),男,陕西靖边人,研究员,主要从事保护性耕作技术与机具研究。E-mail:Jdxy9223@nwsuaf.edu.cn

[通信作者] 朱瑞祥(1956—),男,陕西三原人,教授,主要从事保护性耕作技术与机具研究。E-mail:zrxjdx@2yo.cn

陕西关中一年两熟区位于陕西省中部,该区重要的粮食作物是冬小麦、夏玉米,其产量高低对确保该区及全省粮食安全和畜牧业发展具有重要作用。过去,陕西关中的冬小麦种植是在夏玉米连秸秆收获后,多采取传统的“翻耕一耙耱一条播”方式,而夏玉米种植多采用“硬茬条播”的方法<sup>[1-2]</sup>。近 10 年来,陕西关中冬小麦种植是在夏玉米连秸秆收获后,采用“旋耕一条播”的方式,而夏玉米种植还是以“硬茬条播”为主<sup>[3-4]</sup>。这样长期连续旋耕使农田耕层结构越来越紧,犁底层愈来愈实,加之有机肥施用越来越少,致使农田土壤结构变差,土壤肥力下降,粮食产量徘徊不前,经济效益不明显<sup>[5]</sup>。针对陕西关中一年两熟区存在的以上问题,从 2005 年开始,本项目组开展了连续 3 年不同耕作模式下农田环境及作物生物学效应的研究,旨在为陕西关中一年两熟区冬小麦一夏玉米的高产、稳产和节本增效提供理论支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地设在西北农林科技大学试验农场。该地区海拔 560 m,属暖温带半湿润气候,年均气温 12.9 °C,年均降水量 635 mm,无霜期 228 d;试验地土壤为塍土,有机质含量 14.63 g/kg,全氮 0.997 g/kg,有效氮 88.14 mg/kg,速效磷 8.94 mg/kg,速效钾 151.7 mg/kg,有一定灌水条件。

### 1.2 试验设计

根据陕西关中一年两熟区实际,共设 8 种耕作模式。

模式 1:冬小麦旋耕播种一夏玉米高留茬免耕播种。冬小麦在前茬玉米连秸秆收获后,撒施肥料、旋耕整地,并随即条播小麦;夏玉米在前茬小麦收获时留茬 30 cm,随后在高留茬地上免耕施肥播种玉米。

模式 2:冬小麦旋耕播种一夏玉米低留茬免耕播种。冬小麦播种同模式 1;夏玉米在前茬小麦收获时留茬 10 cm,随后在低留茬地上免耕施肥播种玉米。

模式 3:冬小麦深松旋耕播种一夏玉米高留茬免耕播种。冬小麦在前茬玉米连秸秆收获后,间隔 50 cm,松深 30 cm,并撒施肥料、旋耕整地后条播小麦;夏玉米播种同模式 1。

模式 4:冬小麦深松旋耕播种一夏玉米低留茬免耕播种。冬小麦播种同模式 3;夏玉米播种同模

式 2。

模式 5:冬小麦浅松旋耕播种一夏玉米低留茬免耕播种。冬小麦在前茬玉米连秸秆收获后,间隔 50 cm,松深 20 cm,并撒施肥料、旋耕整地后条播小麦;夏玉米播种同模式 2。

模式 6:冬小麦秸秆还田深松旋耕播种一夏玉米高留茬免耕播种。冬小麦在前茬玉米收获时,掰棒留秸秆,随后将秸秆粉碎均匀覆盖地面,间隔 50 cm,松深 30 cm,并撒施肥料、旋耕整地后条播小麦;夏玉米播种同模式 1。

模式 7:冬小麦秸秆覆盖免耕播种一夏玉米高留茬免耕播种。冬小麦在前茬玉米收获时,掰棒留秸秆,随后碎秆免耕施肥播种;夏玉米播种同模式 1。

模式 8:冬小麦传统深翻旋耕播种一夏玉米高留茬免耕播种。冬小麦在前茬玉米连秸秆收获后,撒施肥料、深翻 20 cm,并旋耕整地后条播小麦;夏玉米播种同模式 1。模式 8 为传统耕作模式。

### 1.3 试验方法

各耕作模式按顺序排列,不设重复,小区面积 13 m×134 m;8 种耕作模式同一施肥水平:冬小麦播前结合整地,每 hm<sup>2</sup> 施碳酸氢铵 750 kg,过磷酸钙 750 kg,结合冬灌施尿素 225 kg;夏玉米播种时每 hm<sup>2</sup> 施尿素 300 kg,结合灌水追施尿素 225 kg;冬小麦播种,除模式 7 采用碎秆免耕施肥播种机进行播种外,其余各模式均采用条播机进行播种,每 hm<sup>2</sup> 播量 105 kg,夏玉米统一采用免耕播种机进行播种,每 hm<sup>2</sup> 播量 52.5 kg。

### 1.4 观测项目及方法

(1)耕层状况。各种耕作模式作业后,观察测定不同模式的耕层状况。

(2)土壤容重。用环刀法测定 0~10 cm,10~20 cm 和 20~30 cm 土层的土壤容重。

(3)土壤水分和贮水量。在每一茬作物播种前、生育关键时期和收获后,用土钻取土,于 105~110 °C 烘箱中烘 6~8 h 至恒质量后称质量,测定 0~200 cm 土壤不同层次的土壤含水量,其中 0~100 cm,每隔 10 cm 取 1 层;100~200 cm 每隔 20 cm 取 1 层。

土壤水分状况计算:

$$\text{土壤含水率} = (\text{湿土质量} - \text{烘干土质量}) / \text{烘干土质量} \times 100\%,$$

$$\text{土壤贮水量} / \text{mm} = C \times M \times D.$$

式中:C、M 和 D 分别代表测定土层土壤容重、土壤

含水率(%)及土层深度。

(4)土壤养分。在试验前(2005-08-26)测定土壤养分,以后每茬作物播种前取耕层土样,测定土壤养分状况。

(5)作物生长发育状况调查。在冬小麦生长的关键时期调查单株分蘖数、单株次生根数、株高、单株穗数;在夏玉米生长的关键时期调查苗高、叶片数、次生根数、干质量、株数、株高、茎粗、穗位高。

(6)取样考种并测产。小麦、玉米成熟后取样考种并实测产量。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同耕作模式耕层土壤的物理效应

2.1.1 土壤耕层状况 夏玉米收获后,冬小麦播种时的土壤耕作模式中,模式 1、2 为旋耕,模式 3、4 和 6 为深松,模式 5 为浅松,模式 7 为免耕,模式 8 为翻耕。土壤耕作技术不同,其耕层状况有明显差异。

旋耕:耕层土壤在旋耕刀的切削作用下形成细

碎的疏松层,土壤容重降低,地面清洁,对土壤团粒结构和蚯蚓有较大破坏,13 cm 以下土层保持原有耕层状况,土壤较紧实,透气透水性差。

深松:只松土,不能翻土,耕层土体呈纵向虚实间隔状态。虚的部位,犁底层被打破,土壤疏松,容重小,透气透水性强;实的部位,土壤较紧实,容重大,透水透气性较差;部分残茬遗留地表,有利于减少水分蒸发<sup>[6-7]</sup>。

免耕:耕层保持原来结构状况,土壤紧实,容重大,透水通气性差;秸秆覆盖地表,使土壤温度降低,有利于保水,并具有很好的培肥土壤作用<sup>[8-9]</sup>。

翻耕:耕层土壤上下翻转,作物根茬及杂草大部分翻至下层,地面清洁,耕层膨松,容重降低,大孔隙增加,透气透水性增强,但地面裸露,耕层下有坚实的犁底层存在,影响降水下渗和作物根系下扎<sup>[10]</sup>。

2.1.2 土壤容重状况 各种耕作模式作业后测定土壤容重,结果见表 1。

表 1 不同耕作模式下土壤容重的比较

Table 1 Comparison of soil density under different tillage modes

g/cm<sup>3</sup>

耕作模式 Tillage mode	土层深度/cm Depth of soil		
	0~10	10~20	20~30
免耕 No-tillage	1.39	1.44	1.52
旋耕 Rotary tillage	1.10	1.26	1.53
翻耕 Plow tillage	1.18	1.22	1.52
浅松 Shallow subsoiling	虚部 Loose part	1.10	1.22
	实部 Hardy part	1.22	1.37
深松 Depth subsoiling	虚部 Loose part	1.11	1.21
	实部 Hardy part	1.21	1.38

由表 1 可以看出,在 0~20 cm 土层,土壤容重最小的是深松和浅松处理的虚部,平均为 1.16 g/cm<sup>3</sup>;旋耕处理为 1.18 g/cm<sup>3</sup>,翻耕处理为 1.20 g/cm<sup>3</sup>,免耕处理为 1.42 g/cm<sup>3</sup>。20~30 cm 土层,深松处理虚部犁底层被打破,土壤容重为 1.25 g/cm<sup>3</sup>,加之深松铲的拱土作用,使深松铲两侧的土

体也被松动,容重降低;而浅松、旋耕、免耕和翻耕由于有犁底层存在,土壤容重均在 1.50 g/cm<sup>3</sup> 以上。

### 2.2 不同耕作模式耕层土壤的养分效应

不同耕作模式在试验后(2007-06-09)的耕层土壤养分较试验前(2005-08-26)均有一定变化,其测定结果见表 2。

表 2 不同耕作模式下试验前后耕层土壤养分含量的比较

Table 2 Comparison of plow layer nutrients before and after experiment under different tillage methods

耕作模式 Tillage mode	有机质/ (g·kg <sup>-1</sup> )		全氮/ (g·kg <sup>-1</sup> )		有效氮/ (mg·kg <sup>-1</sup> )		速效磷/ (mg·kg <sup>-1</sup> )		速效钾/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	
	Organic matter		Total N		Available N		Rapidly available P		Rapidly available K	
	08-26	06-09	08-26	06-09	08-26	06-09	08-26	06-09	08-26	06-09
1	14.17	14.49	1.032	1.206	89.34	67.18	9.21	10.29	181.8	257.4
2	14.15	14.45	0.962	1.125	80.17	61.84	9.69	11.33	158.0	224.7
3	14.66	15.13	0.995	1.139	84.17	63.69	8.49	11.68	183.4	249.6
4	14.56	14.87	0.982	1.129	81.33	66.84	12.42	12.53	165.6	224.7
5	14.51	14.82	1.011	1.141	96.00	64.79	7.20	13.07	182.1	215.4
6	14.85	15.62	0.996	1.026	91.34	64.52	7.68	9.95	165.4	173.4
7	14.21	15.43	0.995	1.042	94.17	61.29	6.96	11.16	152.7	162.5
8	14.22	13.85	0.986	1.009	94.67	60.37	7.58	6.01	149.4	159.4

从表 2 可以看出,不同耕作模式(除模式 8 外)耕层土壤的有机质含量,试验后较试验前均有不同程度增加,其中以模式 7 增加最多,其次是模式 6 和模式 3,这与其对应耕作模式的秸秆还田量较多有关,而模式 8 由于采用深翻旋耕,耕层土壤疏松,土壤温度高,有机质分解较快,使土壤有机质较试验前有所降低。土壤全氮含量,试验后较试验前均有不同程度增加,其中模式 6、模式 7 和模式 8 变化较小,其原因是:模式 6 与深松造成氮素随水分下渗损失有关,模式 7 与大量秸秆覆盖分解和作物生长争氮有关,模式 8 则与翻耕造成氮素损失有关。土壤

有效氮含量试验后较试验前均有明显降低,这与秸秆还田、免耕地温偏低和当年冬小麦产量较高有关;除耕作模式 8 外,其他各耕作模式土壤速效磷和速效钾含量,试验后较试验前均有不同程度增加,这与秸秆还田均有一定关系,而模式 8 土壤速效磷含量试验后较试验前降低,主要是翻耕所致。

### 2.3 不同耕作模式土壤的水分效应

不同耕作模式 2 m 土层土壤水分状况连续 3 年的测定结果基本一致。本文以 2007-06-08 冬小麦收获后和 2007-10-24 夏玉米收获后的测定为例,其结果见表 3。

表 3 不同耕作模式下冬小麦、夏玉米收获时土壤水分状况的比较

Table 3 Comparison of soil moisture in harvesting winter wheat/summer maize under different tillage methods

测定日期 Test time	模式 Mode	土壤含水率/% Average soil moisture			土壤贮水量/mm Water capacity		
		0~100 cm	100~200 cm	0~200 cm	0~100 cm	100~200 cm	0~200 cm
06-08	1	12.8	15.7	14.3	179.2	219.8	399.0
	2	12.9	15.8	14.4	180.6	221.2	401.8
	3	14.0	16.5	15.3	196.0	231.0	427.0
	4	13.9	16.4	15.2	194.6	229.6	424.2
	5	13.2	16.2	14.7	184.8	226.8	411.6
	6	12.6	15.4	14.0	176.4	215.6	392.0
	7	13.2	17.0	15.1	184.8	238.0	422.8
	8	12.9	17.2	15.0	180.6	240.8	421.4
10-24	1	19.2	20.3	20.1	268.8	284.2	553.0
	2	19.7	20.6	20.2	275.8	295.4	571.2
	3	21.8	21.6	22.0	305.2	302.4	607.8
	4	22.1	22.0	22.1	309.4	308.0	617.4
	5	20.6	21.5	21.1	288.4	301.0	589.4
	6	20.8	20.7	20.8	291.2	289.8	581.0
	7	21.0	19.6	20.3	294.0	274.4	568.4
	8	19.7	20.2	20.0	275.8	282.8	558.6

从表 3 可以看出,冬小麦收获时 2 m 土层不同耕作模式土壤贮水量表现出一定差异,但差异不明显,其中模式 3、模式 4 和模式 5 较高,这与深松耕有较好的蓄水保墒效果有关;模式 7 和模式 8 也较高,这是由于这 2 种模式作物生长差、产量低、水分消耗少;模式 6 最差,这与该模式产量最高、消耗水分最多有密切关系。夏玉米收获时 2 m 土层的土壤水分状况以模式 4 最好,模式 3 次之,其他各耕作模式相近,这进一步说明深松耕有利于蓄水,特别是可以提高深层土壤贮水量,同时说明深松耕有一定后效。

### 2.4 不同耕作模式作物的生物学效应

2.4.1 对冬小麦生长发育的影响 以 2006~2007 年度为例,不同耕作模式对冬小麦生长发育的影响结果见表 4。从表 4 可以看出,冬小麦不同生育时

期的生长发育状况以模式 6 最好,其次是模式 3 和模式 4,这与这几种模式的耕层结构疏松、土壤养分含量高、土壤水分状况好有密切关系;而模式 7 各方面表现均较差,这是由于该模式耕层土壤紧实,秸秆覆盖持续年限长,从而影响冬小麦的生长发育所致。

2.4.2 对夏玉米生长发育的影响 以 2007 年夏玉米为例,不同耕作模式对夏玉米生长发育的影响结果见表 5。从表 5 可以看出,夏玉米不同生育时期的生长发育状况以模式 6 最好,其次是模式 3 和模式 4。特别是对模式 3 和模式 4 而言,进一步证明深松不仅对冬小麦生长发育有促进作用,而且还具有一定后效,并促使夏玉米各方面生长发育良好。同时还进一步表明,两茬免耕在土壤比较粘重的陕西关中一年两熟区,不仅会影响冬小麦的生长发育,而且还会使夏玉米各方面的生长发育受到影响。

表 4 不同耕作模式下冬小麦生长发育状况的比较

Table 4 Comparison of growth and development of winter wheat under different tillage methods

耕作模式 Tillage mode	冬前 Before winter		春季 Spring		成株期 Adult plant stages		
	单株分蘖数 Number of tillers	单株次生根数 Secondary roots	单株分蘖数 Number of tillers	单株次生根数 Secondary roots	株高/cm Height	单株次生根数 Secondary roots	单株穗数 Ear number
1	2.5	7.8	3.7	15.5	78	22.4	3.0
2	2.4	8.1	3.4	14.3	77	21.5	2.5
3	3.0	8.9	5.2	18.1	81	27.2	3.5
4	2.9	8.5	4.8	17.5	80	27.0	3.4
5	2.7	8.4	4.5	16.4	76	22.7	3.0
6	3.1	10.1	5.4	18.8	82	32.2	3.5
7	2.2	5.7	3.2	10.4	72	20.0	2.1
8	2.3	7.5	4.1	10.7	79	28.7	2.9

表 5 不同耕作模式下夏玉米生长发育状况的比较

Table 5 Comparison of growth and development of summer maize under different tillage methods

耕作模式 Tillage mode	幼苗期(07-24) Young plant stage (Jul-24)				成熟期(10-15) Maturation stage (Oct-15)					
	苗高/cm Height	叶片数 Leaf number	次生根数 Secondary roots	茎粗/cm Stalk thick	干质量/ (g·株 <sup>-1</sup> ) Dry weight	密度/ (株·hm <sup>-2</sup> ) Plant number	株高/cm Height	茎粗/cm Stalk thick	穗位高/cm Ear height	千粒质量/g Mass of 1 000 grains
1	85	8.4	5.6	1.2	48.9	32 010	230	2.0	89	209.1
2	83	8.5	5.8	1.1	45.2	32 115	230	1.9	86	207.7
3	95	8.8	6.8	1.2	55.9	32 865	232	2.2	93	221.5
4	90	8.6	6.5	1.2	54.5	32 160	231	2.0	85	217.1
5	87	8.6	6.3	1.1	53.6	32 445	230	1.9	84	211.4
6	89	8.8	7.4	1.3	58.1	32 655	235	2.3	79	253.5
7	78	7.6	4.6	0.9	38.3	32 025	216	2.0	78	198.6
8	87	8.4	5.2	1.1	40.4	32 355	216	2.1	74	204.2

## 2.5 不同耕作模式的增产效应

不同耕作模式,由于耕层结构、地表状况以及水肥效应不同,因而对冬小麦和夏玉米的产量也产生

显著影响,以 2007 年为例,相对模式 8 的增产效果见表 6。

表 6 不同耕作模式下冬小麦、夏玉米产量的比较

Table 6 Comparison of winter wheat and summer maize yield under different tillage methods

耕作模式 Tillage mode	冬小麦 Winter wheat		夏玉米 Summer maize		两料合计 Total	
	产量/ (kg·hm <sup>-2</sup> ) Yield	增长率/% Increase ratio	产量/ (kg·hm <sup>-2</sup> ) Yield	增长率/% Increase ratio	产量/ (kg·hm <sup>-2</sup> ) Yield	增长率/% Increase ratio
1	5 580.0	+10.6	5 832.0	+0.9	11 412.0	+5.4
2	5 434.5	+7.8	5 637.0	-2.5	11 071.5	+2.3
3	6 267.0	+24.3	6 787.5	+17.4	13 054.5	+20.6
4	6 054.0	+20.0	6 574.5	+13.7	12 628.5	+16.7
5	5 875.5	+16.5	6 420.0	+11.1	12 295.5	+13.6
6	6 801.0	+34.9	8 169.0	+41.3	14 970.0	+38.3
7	4 884.0	-3.2	5 634.0	-2.5	10 518.0	-2.8
8	5 043.0	-	5 781.0	-	10 824.0	-

从表 6 可以看出,无论是冬小麦、夏玉米产量,还是冬小麦和夏玉米两料合计产量,均以模式 6 最高,模式 3、模式 4 次之,再次是模式 5 和模式 1,产量最差的是模式 7 和模式 8。模式 6 产量最高,这与玉米秸秆覆盖还田,深松蓄水,并通过旋耕创造良好的种床和耕层,使幼苗生长健壮,根系发达有密切

关系。模式 3 和模式 4 产量较高,这与深松、旋耕创造良好的耕层和种床有关。模式 7 产量最低,则是由于两茬免耕造成耕层较紧、苗弱、根系发育不良所致。

## 2.6 不同耕作模式经济效益的比较

不同耕作模式下经济效益计算涉及许多方面,

这里仅就各种耕作模式的机械作业费用等进行估算,也以 2007 年为例,其估算结果见表 7。从表 7 可以看出,与模式 8 相比较,以模式 6 收益最高,其次是模式 3、模式 4 和模式 5,再次是模式 1 和模式

2,而模式 7 不明显;再从作业工序和费用看,以模式 7 的作业工序最少,费用最低,其次是模式 1 和模式 2,再次是模式 3、模式 4 和模式 5;而作业工序最多、费用最高的是模式 8 和模式 6。

表 7 不同耕作模式下经济效益的比较

Table 7 Economic efficiency analysis under different tillage methods

耕作模式 Tillage model	小麦产量/ (kg · hm <sup>-2</sup> ) Wheat yield	玉米产量/ (kg · hm <sup>-2</sup> ) Maize yield	两料产值/ (元 · hm <sup>-2</sup> ) Total value	两料作业费/ (元 · hm <sup>-2</sup> ) Total cost	纯收入/ (元 · hm <sup>-2</sup> ) Net income	较模式 8 增收/ (元 · hm <sup>-2</sup> ) Increase income compare model 8
1	5 580.0	5 832.0	14 810.4	945	13 865.4	1 188.0
2	5 434.5	5 637.0	14 372.7	945	13 427.7	750.3
3	6 267.0	6 787.5	16 918.8	1 215	15 703.8	3 026.4
4	6 054.0	6 574.5	16 365.0	1 215	15 150.0	2 472.6
5	5 875.5	6 420.0	15 929.7	1 215	14 714.7	2 037.3
6	6 801.0	8 169.0	19 324.2	1 230	18 094.2	5 416.8
7	4 884.0	5 634.0	13 598.4	750	12 848.4	171.0
8	5 043.0	5 781.0	13 997.4	1 320	12 677.4	—

注:1. 粮食每 kg 售价:小麦以 1.4 元计,玉米以 1.2 元计。

2. 每 hm<sup>2</sup> 机械作业费:旋耕 270 元,深松 270 元,秸秆还田 270 元,翻耕 375 元,免耕播种 375 元,常规播种 150 元,收玉米秸秆 150 元。

Note: 1. Selling price: Wheat, 1.4 RMB/kg, Maize, 1.2 RMB/kg.

2. Cost of machine task per hm<sup>2</sup>: Rotary tillage, 270 RMB; Subsoiling, 270 RMB; Incorporating straw, 270 RMB; Ploughing, 375 RMB; No-tillage seeding, 375 RMB; Traditional seeding, 150 RMB; Harvesting maize straw, 150 RMB.

### 3 结论与讨论

(1) 不同耕作模式中,模式 6 不仅产量最高,而且经济收益也最好,相对传统耕作模式(模式 8),每 hm<sup>2</sup> 增产 4 146.0 kg,增收 5 416.8 元。该模式将“碎秆覆盖”、“深松耕”和“旋耕播种”3 项技术集成,融“深松深层贮水效应”、“秸秆覆盖保水增肥效应”和“旋耕创造良好种床效应”于一身,可显著改善土壤水、肥、气、热环境条件,促进粮食高产稳产。

(2) 参试的各种耕作模式中,模式 3、模式 4 为深松,模式 5 为浅松,松耕既能打破犁底层,形成虚实并存的耕层结构,又可使蓄水与供水、有机质贮存与分解相统一。相比之下,模式 3 较好,相对于模式 8 每 hm<sup>2</sup> 增产 2 230.5 kg,增收 3 026.4 元,再次是模式 4,模式 5 最差,说明深松深度和小麦秸秆高留茬是主要影响因素。

(3) 模式 7 虽然生产费用降低了,但粮食产量低,收益也少,所以不宜连续多年采用。

(4) 模式 1 和模式 2,虽然种床层好,费用也低,但粮食产量不高,经济效益也不好,故也不宜连续多年应用。

#### [参考文献]

[1] 杨春峰,王立祥. 多熟种植与轮作土壤耕作 [M]//刘巽浩. 多熟种植. 北京:农业出版社,1983.  
Yang C F, Wang L X. Multiple cropping plant and rotation soil

tillage plant [M]//Liu X H. Multiple cropping. Beijing: Agriculture Press, 1983. (in Chinese)

- [2] 韩思明,史俊通,杨春峰. 渭北旱原抗旱耕作法研究 [J]. 西北农业大学学报, 1988, 16(3): 47-52.  
Han S M, Shi J T, Yang C F. Study on tillage methods of preventing drought in Weibei Highlands [J]. Journal of Northwest Agricultural University, 1988, 16(3): 47-52. (in Chinese)
- [3] 韩思明,薛少平. 渭北高原降水资源机械化高效利用图集 [M]. 西安:陕西科技出版社, 2006.  
Han S M, Xue S P. High efficiency rainfall resource use in Weibei Highlands by mechanical measures photo collection [M]. Xi'an: Shaanxi Science Technology Press, 2006. (in Chinese)
- [4] 薛少平,朱瑞祥,杨青,等. 旱地冬小麦自然降水机械化高效生产技术研究 [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2006, 34(1): 1-7.  
Xue S P, Zhu R X, Yang Q, et al. Rainfall mechanical utilization techniques for winter wheat in Loess Plateau dry land [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2006, 34(1): 1-7. (in Chinese)
- [5] 彭文英,张雅彬. 免耕对粮食产量及经济效益的影响评述 [J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(4): 113-118.  
Peng W Y, Zhang Y B. Review of impacts of no-tillage on crop yield and economic benefit [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2006, 24(4): 113-118. (in Chinese)
- [6] 高焕文. 保护性耕作技术与机具 [M]. 北京:中国农业科学技术出版社, 2004.  
Gao H W. Conservation tillage technology and equipment [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2004. (in Chinese)
- [7] 薛惠兰,薛少平,杨青,等. 秸秆粉碎覆盖与施肥播种联合作

- 业的实践与机具设计 [J]. 农业工程学报, 2003, 19(3): 104-107.
- Xue H L, Xue S P, Yang Q, et al. Implementation of combined work of straw crushed for mulching and seeding with fertilizer and design of the machine [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2003, 19(3): 104-107. (in Chinese)
- [8] 杜守宇, 田恩平, 温敏, 等. 秸秆覆盖还田的整体功能效应与系列化技术研究 [J]. 干旱地区农业研究, 1994, 12(2): 88-94.
- Du S Y, Tian E P, Wen M, et al. The overall effects of stubble mulching farmlands and its technical series [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 1994, 12(2): 88-94. (in Chinese)
- [9] 刘巽浩, 王爱, 高旺盛. 实行作物秸秆还田促进农业可持续发展 [J]. 作物杂志, 1998(5): 1-5.
- Liu X H, Wang A, Gao W S. Promote agricultural sustainable development under straw incorporation [J]. Crop Magazine, 1998(5): 1-5. (in Chinese)
- [10] 朱瑞祥, 薛少平, 张秀琴, 等. 机械化玉米秸秆还田对土壤水肥状况的动态研究 [J]. 农业工程学报, 2001, 17(4): 39-42.
- Zhu R X, Xue S P, Zhang X Q, et al. Dynamic research on soil water and fertility condition after mechanized returning corn stalks into the soil [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2001, 17(4): 39-42. (in Chinese)

(上接第 111 页)

- [13] Moon H, Callahan A M. Developmental regulation of peach ACC oxidase promoter-GUS fusions in transgenic tomato fruits [J]. J Exp Bot, 2004, 55(402): 1519-1528.
- [14] Nag R, Maity M, DasGupta M. Dual DNA binding property of ABA insensitive 3 like factors targeted to promoters responsive to ABA and auxin [J]. Plant Mol Biol, 2005, 59(5): 821-838.
- [15] Hartmann U, Sagasser M, Mehrtens F. Differential combinatorial interactions of cis-acting elements recognized by R2R3-MYB, BZIP, and BHLH factors control light-responsive and tissue-specific activation of phenylpropanoid biosynthesis genes [J]. Plant Mol Biol, 2005, 57(2): 155-171.
- [16] Simpson S D, Nakashima K, Narusaka Y. Two different novel cis-acting elements of *erd1*, a *clpA* homologous *Arabidopsis* gene function in induction by dehydration stress and dark-induced senescence [J]. Plant J, 2003, 33: 259-270.
- [17] Ellerstrom M, Stalberg K, Ezcurra I, et al. Functional dissecting of a napin gene promoter; identification of promoter elements required for embryo-specific transcription [J]. Plant Mol Biol, 1996, 32(6): 1019-1027.
- [18] Stalberg M, Ellerstrom M, Ezcurra I, et al. Deletion analysis of a 2S seed storage protein promoter of *Brassica napus* in transgenic tobacco [J]. Plant Mol Biol, 1993, 23(4): 671-683.
- [19] Allen R D, Bernier F, Lessard P A. Nuclear factors interact with a soybean beta-conglycinin enhancer [J]. Plant Cell, 1989, 1: 623-631.
- [20] Nishiuchi T, Shinshi H, Suzuki K. Rapid and transient activation of transcription of the ERF3 gene by wounding in tobacco leaves: Possible involvement of NtWRKYs and autorepression [J]. J Biol Chem, 2004, 279: 55355-55361.