

旱地冬小麦自然降水机械化高效生产技术研究^{*}

薛少平^a, 朱瑞祥^a, 杨 青^a, 韩思明^b, 韩文霆^a

(西北农林科技大学 a 机械与电子工程学院, b 农学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘 要] 为了寻求黄土高原旱地冬小麦的适宜耕作栽培技术, 以传统耕作方式为对照, 比较了留茬覆盖深松膜侧沟播技术与留茬免耕秸秆全程覆盖技术和留茬深松秸秆全程覆盖技术的蓄水增产效果。结果表明, 在参试的各技术模式中, 其农田效应、增产效果和水分利用效率, 均以留茬覆盖深松膜侧沟播技术最好, 其次是留茬深松秸秆全程覆盖技术和留茬免耕秸秆全程覆盖技术; 留茬覆盖深松膜侧沟播技术能融“深松深层贮水效应”、“秸秆覆盖保水增肥效应”和“起垄覆膜沟播聚水、保水、增温、透光效应”于一身, 可显著改善旱地麦田水、肥、气、热环境条件; 与传统耕作比较, 该模式在夏闲期可多贮水 84.4 mm, 蓄水率提高 18.2%, 小麦生育期水分利用效率达到 15.56 kg/(mm·hm²), 增产 40.6%, 是陕西渭北及同类地区旱地小麦高效利用自然降水、实现高产稳产的最佳模式选择。

[关键词] 旱地冬小麦; 自然降水高效利用; 农业机械化; 渭北高原

[中图分类号] S233.72

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2006)01-0001-08

冬小麦是陕西黄土高原区最主要的粮食作物, 其产量高低、品质好坏, 对陕西乃至全国粮食安全和农业可持续发展均具有重大意义^[1-2]。由于干旱缺水等原因, 该区小麦一年一熟, 实行夏季休闲。夏闲期若采用传统的翻耕技术, 会形成裸露的地表和疏松的耕层结构。这样的地表状态和耕层结构, 在高温多雨的夏季, 不仅会造成严重的水土流失, 而且会加剧土壤水分的无效蒸发, 导致土壤贫瘠、小麦产量长期偏低且不稳定^[3-4]。

近年来, 农业技术人员在该区推广了残茬(秸秆)覆盖^[5-6]、深松耕作^[7-8]以及地膜覆盖^[9]等农业生产技术。这些技术措施虽然均有不同程度的蓄水保墒和增加粮食产量的效应, 但其效应尚未完全发挥, 还有一定潜力可挖。

为了充分发挥各项技术的综合效果, 使降水就地拦蓄、就地入渗, 以最大限度地提高自然降水的利用率, 本研究将“高留茬”、“深松耕”和“地膜覆盖”三项技术有机结合, 组成以“留茬覆盖深松膜侧沟播”为主体的旱地小麦自然降水机械化高效利用技术体系, 并以传统的翻耕露地小麦为对照, 将该技术与留茬免耕秸秆全程覆盖技术和留茬深松秸秆全程覆盖技术进行了比较^[2-3, 10], 旨在寻求黄土高原旱地冬小麦适宜的耕作栽培技术。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地设在陕西乾县阳峪镇, 海拔 850 m, 为黄土高原地貌。该地农业生产全靠自然降雨, 属雨养农业区, 在黄土高原地区有一定的代表性。该区年均气温 10.9℃, 年均降水量 584.2 mm, 全年蒸发量 1329 mm。土壤以黄壤土为主, 占总面积的 62.6%, 其次为褐壤土, 占 23%。土壤肥力低下(含有机质 10.8 g/kg, 全氮 0.79 g/kg, 碱解氮 44.2 mg/kg, 速效磷 6.0 mg/kg), 但土壤整体疏松, 蓄水性好^[4]。据实际测定, 0~100 cm 土层可蓄水 296.2 mm, 101~200 cm 土层可蓄水 305.2 mm, 合计可蓄水 601.4 mm, 即 200 cm 土层内可蓄积全年的降水量。

1.2 材料

1.2.1 机具 新疆-2 小麦联合收割机, 中收总公司生产; 耕地和整地机械为 1L330 型铧式犁, 由德州宝丰农机制造有限公司生产; 175 型旋耕机, 由江西南昌旋耕机厂生产; 2BF-14 行圆盘式小麦播种机, 由西安播种机械厂生产; 9JHS-1500/3 型秸秆粉碎覆盖深松机, 2MBL-2/6 型小麦起垄膜侧沟播机和 2BF-7 型小麦免耕播种机, 均由西北农林科技大学研制。

* [收稿日期] 2005-05-30

[基金项目] 国家科技攻关项目(22004BA524B03-02)

[作者简介] 薛少平(1953-), 男, 陕西靖边人, 研究员, 主要从事旱作农业节水技术与机具研究。

1.2.2 化 肥 播前结合整地施尿素 391 kg/hm², 过磷酸钙 750 kg/hm²。

1.2.3 小麦品种 西农 1043, 播种量为 120 kg/hm²。

1.3 试验设计

1.3.1 试验方案 根据前期的研究, 本试验共设 4 种技术模式, 不同技术模式均于 09-26 播种, 管理同大田。

(1) 留茬免耕秸秆全程覆盖技术。简称“免耕覆盖”; 该技术要求小麦用联合收割机收割时留茬 400 mm 左右, 夏闲期免耕, 6 月下旬用秸秆还田机将麦茬粉碎均匀平铺于地表, 每 hm² 约 5 000 kg。临播前浅旋整地, 并按产量指标将所需化肥作为基肥一次施入, 用免耕播种机播种小麦。在小麦生长期, 有 50% 左右的秸秆留于地表。(2) 留茬深松秸秆全程覆盖技术。简称“深松覆盖”; 该技术除在 6 月下旬用碎秆深松机进行秸秆粉碎和间隔深松(深松 350 mm)、并将粉碎的秸秆均匀平铺于地表之外, 其他要求与“免耕覆盖”相同。(3) 留茬覆盖深松膜侧沟播技术。简称“膜侧沟播”; 该技术与深松覆盖技术的不同点是: 播种前旋耕施肥整地, 然后用起垄膜侧沟播机进行起垄覆膜沟播小麦, 每沟种 3 行。(4) 传统翻耕露地条播技术。简称“传统耕作”; 该技术在留茬收割的基础上, 于 6 月下旬用铧式犁进行深耕, 深度 22~24 cm。播种前, 旋耕施肥整地, 用小麦条播机播种。

1.3.2 试验条件 试验地土壤为黄壤土, 前茬为冬小麦, 肥力中等。小区面积每处理 70 m × 30 m, 不设重复。

1.3.3 观测项目与方法 各种技术模式作业后, 观察测定不同技术模式的耕层状况, 用环切法测定 0~10 cm、10~20 cm 和 20~30 cm 土层的土壤容重; 夏闲期、作物生育期用地温表观测 5、10 和 15

cm 土层深处土壤温度, 连续测定 5 d, 求其平均值; 作业开始前、夏闲末、拔节期和收获时, 用土钻取土, 烘干测定 0~200 cm 不同土层的土壤水分含量, 其中 0~100 cm, 每隔 10 cm 为一层, 100~200 cm, 每隔 20 cm 为一层; 小麦越冬期、拔节期和灌浆期, 测定土壤养分状况; 小麦生育期观测其生长发育状况; 小麦成熟后, 取样考种并测产。

将各时期测定的不同层次土壤含水量换算成土壤贮水量, 其换算公式为^[11]:

$$S_w = d \times r \times w / 10$$

式中, S_w 为土壤贮水量(mm); d 为土层厚度(cm); r 为土壤容重(g/cm³); w 为土壤含水量(%)。

1.2.4 试验年度降水情况 试验年度(2003~2004 年), 夏闲期降水 461.5 mm, 小麦生育期降水 223.2 mm, 合计小麦生长年度降水 684.7 mm, 属丰水年份。但 2004-01 至 2004-06(小麦成熟), 仅降水 87.4 mm, 比较干旱。

2 结果与分析

2.1 土壤耕层容重状况

不同耕作模式作业前后以及播种前, 土壤容重测定结果见表 1。从表 1 可以看出, 在 0~20 cm 土层, 土壤容重最小的是深松覆盖的虚部, 平均为 1.00 g/cm³; 其次是传统耕作, 平均为 1.1 g/cm³; 再次是深松覆盖的实部, 平均为 1.29 g/cm³; 而以免耕覆盖的最大, 为 1.35 g/cm³。深松覆盖模式的虚部, 因犁底层被打破, 加之深松铲的拱土作用, 使深松铲两侧的土体也被松动, 其 20~30 cm 土层的土壤容重降低, 为 1.14 g/cm³; 而传统耕作和免耕覆盖 2 种模式 20~30 cm 土层处有犁底层存在, 容重均为 1.48 g/cm³。小麦播种时, 不同耕作模式不同层次的土壤容重均有所增大, 但相对而言, 深松覆盖模式的土壤容重较小。

表 1 作业前后及播种时不同耕作模式的土壤容重比较

g/cm³

Table 1 Soil volume weight before and after operations and during seeding under different farming systems

土层深度/cm Depth of soil	作业前 Before operation	作业后 After operation				播种时 During seeding		
		传统耕作 Conventional farming system	免耕覆盖 No-tillage and mulching	深松覆盖 Deep losing and mulching		传统耕作 Conventional farming system	免耕覆盖 No-tillage and mulching	深松覆盖 Deep losing and mulching
				虚部 Loose part	实部 Rigid part			
0~10	1.29	1.06	1.29	0.93	1.25	1.29	1.35	1.25
10~20	1.41	1.14	1.41	1.06	1.32	1.30	1.43	1.34
20~30	1.48	1.48	1.48	1.14	1.40	1.49	1.49	1.40

收获后测定不同作业模式 0~30 cm 土壤容重,

结果见表 2。从表 2 可看出, 不同耕作模式 0~30 cm

土壤容重均有随土层深度增加而增大的趋势。其中，式次之，膜侧沟播模式最小。各层的土壤容重以免耕覆盖模式最大, 传统耕作模

表 2 小麦收获后不同耕作模式土壤容重比较
Table 2 Soil volume weight after harvesting under different faming system s g/cm³

土层深度/cm Depth of soil	传统耕作 Conventional faming system	免耕覆盖 No-tillage and mulching	深松覆盖 Loosing and mulching	膜侧沟播 Furrow sow ing on film side
0~ 10	1. 31	1. 34	1. 30	1. 07
10~ 20	1. 39	1. 49	1. 38	1. 36
20~ 30	1. 53	1. 55	1. 42	1. 41

2 2 土壤温度效应
2 2 1 夏闲期土壤温度状况 夏闲期(8 月上旬) 于传统耕作模式, 一般是早上差异小, 中午、下午差异大, 尤其以中午 5 cm 深处的差异最大, 较传统耕作模式土壤温度降低 4 6~ 4 8 , 5 和 10 cm 处夏闲期日平均土壤温度降低 3 5~ 3 7 。土壤温度低会使土壤水分蒸发明显减少, 对保墒十分有利。

测定不同耕作模式下土壤温度, 结果见表 3。由表 3 可知, 免耕覆盖和深松覆盖 2 种模式, 在不同时间、不同土层深度处的土壤温度基本一致, 但均明显低

表 3 夏闲期不同耕作模式的土壤温度状况比较
Table 3 Soil temperature after harvesting under 3 faming system s during summer fallow period

耕作模式 Faming system	早晨(8: 00) Morning				中午(14: 00) Noon				下午(18: 00) A fternoon				日均 A verage of one day
	5 cm	10 cm	15 cm	平均 A verage	5 cm	10 cm	15 cm	平均 A verage	5 cm	10 cm	15 cm	平均 A verage	
传统耕作 Conventional faming system	22. 3	22. 8	23. 8	23. 0	31. 4	29. 2	28. 4	29. 7	29. 6	28. 6	27. 1	28. 4	27. 0
免耕覆盖 No-tillage and mulching	22. 0	22. 5	22. 8	22. 4	26. 6	25. 9	25. 5	26. 0	26. 2	25. 3	25. 0	25. 6	24. 7
深松覆盖 Loosing and mulching	22. 1	22. 6	23. 0	22. 6	26. 8	26. 1	25. 7	26. 2	26. 4	25. 8	25. 2	25. 8	24. 9

2 2 2 小麦苗期和越冬期土壤温度状况 在小麦刚播种后的苗期(9 月底) 和越冬期(元月中旬), 测定不同耕作模式的土壤温度, 结果见表 4。从表 4 可以看出, 9 月底是不同耕作模式温度差异最大的时期, 这个时期以膜侧沟播的土壤温度最高, 传统耕作次之, 免耕覆盖和深松覆盖较低。以 5 cm 深处的土壤温度为例: 14: 00 时, 膜侧沟播较传统耕作增加 2 2 , 18: 00 时增加 1 7 , 8: 00 时增加 1 4 ; 14: 00, 18: 00 和 8: 00 时, 膜侧沟播较免耕覆盖和深

松覆盖 2 模式分别增加 5 6~ 5 7 , 3 1~ 3 2 和 2 1~ 2 2 。从不同时刻土壤平均温度来看, 膜侧沟播的温度效果以 5 cm 深处的土壤温度最高, 10 cm 深处次之, 15 cm 深处最低。3 层次深度的平均土壤温度, 膜侧沟播较传统耕作, 5 cm 深处增加 1 8 , 10 cm 深处增加 1 6 , 15 cm 深处增加不足 1 0 , 即膜侧沟播的增温效应主要表现在 0~ 10 cm 的表层土壤。

表 4 小麦苗期和越冬期不同耕作模式土壤温度状况比较
Table 4 Soil temperature during grow th under different faming system s during seeding and wintering

测定时间 Date	耕作模式 Faming system	早晨(8: 00) Morning				中午(14: 00) Noon				下午(18: 00) A fternoon				日均 A verage of one day
		5 cm	10 cm	15 cm	平均 A verage	5 cm	10 cm	15 cm	平均 A verage	5 cm	10 cm	15 cm	平均 A verage	
苗期	传统耕作 Conventional faming system	16. 3	17. 0	17. 7	17. 0	28. 0	25. 0	22. 0	25. 0	23. 8	23. 3	22. 7	23. 2	21. 7
	免耕覆盖 No-tillage and mulching	15. 5	15. 7	15. 8	15. 7	24. 5	22. 0	20. 0	22. 2	22. 3	21. 7	20. 6	21. 5	19. 8
	深松覆盖 Deep loosing and mulching	15. 6	15. 7	15. 9	15. 7	24. 6	22. 1	20. 1	22. 2	22. 4	21. 8	20. 5	21. 6	19. 8
	膜侧沟播 Furrow sow ing on film side	17. 7	18. 0	18. 3	18. 0	30. 2	27. 3	23. 3	26. 9	25. 5	24. 7	23. 7	24. 5	23. 1

续表 4 Continued Table 4

测定时间 Date	耕作模式 Farming system	早晨(8: 00) Morning				中午(14: 00) Noon				下午(18: 00) A fternoon				日均 A verage of one day
		5 cm	10 cm	15 cm	平均 A verage	5 cm	10 cm	15 cm	平均 A verage	5 cm	10 cm	15 cm	平均 A verage	
越冬期	传统耕作 Conventional farming system	- 1. 2	- 0. 7	0. 4	- 1. 5	7. 1	4. 8	4. 0	5. 3	6. 2	4. 3	3. 7	4. 7	2. 8
	免耕覆盖 No-tillage and mulching	0. 4	0. 5	0. 6	0. 5	5. 0	3. 5	3. 0	3. 8	4. 5	3. 2	2. 7	3. 5	2. 6
	深松覆盖 Loosing and mulching	0. 4	0. 5	0. 6	0. 5	5. 0	3. 5	3. 0	3. 8	4. 5	3. 2	2. 7	3. 5	2. 6
	膜侧沟播 Furrow sowing on film side	0. 5	0. 6	0. 7	0. 6	7. 0	4. 6	3. 8	5. 1	6. 0	4. 1	3. 5	4. 5	3. 4

小麦越冬期(1月中旬)不同耕作模式的土壤温度变化规律与9月底基本一致。但在小麦越冬期间,秸秆覆盖模式中中午和下午虽然土壤各层温度均低于传统耕作模式,但差值变小;而早晨(即当天温度较低时期)秸秆覆盖模式各层土壤温度均较传统模式高,这更有利于小麦越过冻害点,说明秸秆覆盖在冬季有一定的保温防寒效应。

2.3 土壤养分效应

由表5可以看出,在任一生育期,传统耕作模式土壤速效养分含量均高于膜侧沟播。在所测定的3个生育时期中,传统耕作的碱解氮比膜侧沟播平均增加7.3 mg/kg,速效磷增加1.7 mg/kg,表明膜侧沟播土壤养分消耗大,利用更为彻底。

表5 小麦不同生育期膜侧沟播与传统耕作模式土壤养分状况比较

生育期 Growth duration	膜侧沟播 Furrow sowing on film side			传统耕作 Conventional farming system		
	碱解氮 N itrogen	速效磷 Pho sphorus	速效钾 Pot assium	碱解氮 N itrogen	速效磷 Pho sphorus	速效钾 Pot assium
	mg/kg			mg/kg		
越冬期 W inter	70. 0	14. 7	152. 5	80. 8	16. 2	161. 9
拔节期 Elongation stage	65. 1	10. 9	161. 9	71. 4	13. 3	168. 3
灌浆期 Grain filling stage	70. 0	14. 8	160. 0	74. 8	16. 1	165. 0

2.4 土壤水分效应

2.4.1 夏闲末土壤水分状况 夏闲末不同耕作模式200 cm土层的土壤水分状况见表6。由表6可以看出,不同耕作模式在夏闲期蓄水保墒效果存在明显差异。其中以深松覆盖模式的效果最好,与免耕覆

盖和传统耕作相比,不仅每层的土壤含水量较高,而且深层贮水能力强。传统耕作模式夏闲期底墒仅恢复到180 cm,免耕覆盖模式相对较好一些,而深松覆盖模式夏闲末底墒则恢复到200 cm,表明深松覆盖模式具有良好的蓄水保墒效果。

表6 夏闲末不同耕作模式200 cm土层土壤水分状况比较

土壤层次/cm Depth of soil	土壤贮水量/mm Water stored in soil				土壤含水量/% Soil water content			
	夏闲开始 Summer fallow	传统耕作 Conven- tional farming system	免耕覆盖 No-tillage and mulching	深松覆盖 Deep loosing and mulching	夏闲开始 Summer fallow	传统耕作 Conven- tional farming system	免耕覆盖 No-tillage and mulching	深松覆盖 Deep loosing and mulching
0~ 20	15. 7	17. 6	17. 8	18. 1	40. 8	45. 8	46. 3	47. 1
20~ 40	15. 8	18. 4	18. 9	19. 2	42. 7	29. 7	51. 0	51. 9
40~ 60	12. 3	18. 4	18. 3	19. 3	34. 4	51. 5	51. 3	54. 1
60~ 80	7. 5	18. 7	18. 8	19. 3	21. 0	52. 4	52. 7	54. 1
80~ 100	7. 6	19. 4	19. 7	20. 4	21. 3	54. 3	55. 2	57. 1
100~ 120	7. 9	18. 5	19. 4	21. 8	22. 1	51. 8	54. 3	61. 1
120~ 140	8. 3	18. 3	17. 3	21. 6	23. 2	51. 3	48. 4	60. 5
140~ 160	8. 8	17. 3	17. 5	21. 4	24. 6	48. 4	49. 0	59. 9

续表 6 Continued Table 6

土壤层次/cm Depth of soil	土壤贮水量/mm Water stored in soil				土壤含水量/% Soil water content			
	夏闲开始 Summer fallow	传统耕作 Conven- tional farm ing system	免耕覆盖 No-tillage and mulching	深松覆盖 Deep loosing and mulching	夏闲开始 Summer fallow	传统耕作 Conven- tional farm ing system	免耕覆盖 No-tillage and mulching	深松覆盖 Deep loosing and mulching
160~ 180	9 0	16 0	18 0	21 3	25 2	44 8	50 4	59 6
180~ 200	9 3	9 4	16 1	19 8	26 0	26 3	45 1	55 4
平均 A verage	10 3	17 2	18 2	20 3	—	—	—	—
合计 Sum	—	—	—	—	281 3	476 3	503 7	560 7
较夏闲开始多蓄水/mm Water stored in soil more than summer fallow	—	—	—	—	—	195 0	222 4	279 4
蓄水率/% Water storage rate	—	—	—	—	—	42 3	48 2	60 5

注: 蓄水率/% = 夏闲期贮水量(mm)/夏闲期降水量(mm)。

Note: Water storage rate/% = water stored during summer fallow period (mm)/rainfall during summer fallow period (mm).

2 4 2 小麦拔节期土壤水分状况 小麦拔节期测定不同耕作模式 100 cm 土层内的土壤水分, 其结果见表 7。从表 7 可知, 除传统耕作模式外, 其他各耕作模式 0~ 100 cm 土层水分状况均良好, 说明这些模式较传统耕作模式均有一定的保墒效果。其中, 以膜侧沟播的效果最好, 0~ 100 cm 土层土壤含水量较传统耕作高 1 8 %, 贮水量高 26 5 mm, 其次是

深松覆盖和免耕覆盖模式。膜侧沟播 0~ 100 cm 土层水分含量较其他模式高, 这与该模式在小麦生育期起垄覆膜(有一定的蓄水保墒作用)有关。秸秆覆盖, 不论是深松覆盖, 还是免耕覆盖, 0~ 100 cm 土层水分含量均不如膜侧沟播高, 说明仅采用秸秆覆盖措施的保墒效果是有限的。

表 7 小麦拔节期不同耕作模式 100 cm 土层土壤水分状况比较

Table 7 Soil moisture within 100 cm depth during elongation under different farm ing system s

土壤 层次/ cm Depth of soil	土壤含水量/% Soil water content				土壤贮水量/mm Water stored in soil			
	传统耕作 Conventional farm ing system	免耕覆盖 No-tillage and mulching	深松覆盖 Deep loosing and mulching	膜侧沟播 Furrow sow ing on film side	传统耕作 Conventional farm ing system	免耕覆盖 No-tillage and mulching	深松覆盖 Deep loosing and mulching	膜侧沟播 Furrow sow ing on film side
0~ 10	9 1	12 1	12 2	12 7	11 8	15 7	15 9	16 5
10~ 20	12 6	12 8	12 7	12 9	16 4	16 6	16 5	16 7
20~ 30	13 3	13 9	13 8	14 1	18 9	19 5	19 3	19 7
30~ 40	14 2	15 1	15 3	15 5	19 9	21 1	21 4	21 7
40~ 50	14 2	15 3	15 4	16 0	19 9	21 4	21 6	22 4
50~ 60	14 7	15 1	15 7	16 0	20 6	21 1	22 0	22 4
60~ 70	14 8	15 4	15 8	16 4	20 7	21 6	22 1	23 0
70~ 80	14 7	15 9	16 9	17 2	20 6	22 3	23 7	24 1
80~ 90	15 4	16 1	16 6	17 5	21 6	22 5	23 2	24 5
90~ 100	13 8	17 0	17 6	18 0	19 3	23 8	24 6	25 2
平均 A verage	13 8	14 9	15 2	15 6	—	—	—	—
合计 Sum	—	—	—	—	189 7	205 6	210 3	216 2

2 4 3 小麦收获时土壤水分状况 小麦收获时测定不同耕作模式 200 cm 土层内的水分状况, 结果见表 8。由表 8 可知, 小麦收获时, 不同耕作模式 200 cm 土层的土壤水分消耗均非常严重, 从表层到 200 cm 深处, 含水量均在 11 % 左右。尽管如此, 膜侧沟播、深松覆盖和免耕覆盖 3 种模式的 200 cm 土层剩余贮水, 还是高于传统耕作模式, 其中又以膜侧沟播

模式剩余蓄水最多。这与膜侧沟播模式的保水效果好、聚水作用强有密切关系。

由表 8 还可以看出, 不论小麦播种时底墒如何, 小麦产量是高还是低, 到收获时, 200 cm 土层的土壤水分含量均达到全年的最低值。尽管不同耕作模式间存在一定差异, 但差异并不明显, 甚至产量高的收获时土壤含水量还较多。由此可见, 高产栽培不一定

会造成土壤水分的严重枯竭。

表 8 小麦收获时不同耕作模式 200 cm 土层土壤水分状况比较

Table 8 Soil moisture within 200cm depth during harvest under different faming system s

土壤 层次/ cm Depth of soil	土壤含水量/% Soil water content				土壤贮水量/mm Water stored in soil			
	传统耕作 Conventional faming system	免耕覆盖 No-tillage and mulching	深松覆盖 Deep loosing and mulching	膜侧沟播 Furrow sowing on film side	传统耕作 Conventional faming system	免耕覆盖 No-tillage and mulching	深松覆盖 Deep loosing and mulching	膜侧沟播 Furrow sowing on film side
0~ 20	14.0	15.0	15.8	16.2	36.4	39.0	41.1	42.1
20~ 40	7.6	7.5	8.6	9.0	20.5	20.3	23.2	24.3
40~ 60	7.7	7.4	8.4	8.6	21.6	20.7	23.5	24.1
60~ 80	8.0	7.9	8.2	8.5	22.4	22.1	23.0	23.8
80~ 100	8.1	9.1	8.7	9.0	22.7	25.5	24.4	25.2
100~ 120	10.5	11.5	10.0	11.6	29.4	32.2	28.0	32.5
120~ 140	11.6	10.3	12.4	12.1	32.5	28.8	34.7	33.9
140~ 160	11.8	10.7	13.0	12.4	33.0	30.0	36.4	34.7
160~ 180	11.5	11.6	13.1	12.9	32.3	32.5	36.7	36.1
180~ 200	9.0	12.0	13.5	13.3	25.2	33.6	37.8	37.2
平均 Average	10.0	10.3	11.2	11.4	—	—	—	—
合计 Sum	—	—	—	—	275.9	284.7	308.8	313.9

2.5 小麦产量及水分利用效应

2.5.1 小麦产量情况 不同耕作模式的小麦产量及其构成因素,因土壤环境条件的不同表现出明显差异。小麦成熟后,取样测定不同耕作模式的小麦产量及其构成因素,结果见表 9。从表 9 可看出,不同耕作模式单位面积的成穗数以膜侧沟播为最高,深松覆盖次之,免耕覆盖位列第 3,传统耕作最低。穗部与产量有关的诸因素,也是以膜侧沟播为最好,其

他各模式依次为深松覆盖、免耕覆盖和传统耕作。膜侧沟播模式的小麦产量构成因素均较好,与该模式下小麦全生育期具有较好的水热条件有密切关系。

从表 9 不同耕作模式的籽粒产量来看,膜侧沟播、深松覆盖和免耕播种分别为 7 311.0、6 084.1 和 5 583.0 kg/hm²,与传统耕作模式相比分别增产 40.6%、17.0% 和 7.4%。

表 9 不同耕作模式小麦产量构成因素及产量比较

Table 9 Wheat yield under different faming system s

处理 Treatments	成穗数/ (万·hm ⁻²) Number of wheat ear	穗长/cm Length of ear	有效小穗/ (个·穗 ⁻¹) Valid number of ear	无效小穗/ (个·穗 ⁻¹) Invalid number of ear	穗粒数 Number of grain	千粒重/g Thousand kernels weight	子粒产量/ (kg·hm ⁻²) Yield	增产/% Yield increa- sed by
传统耕作 Conventional faming system	324.78	8.0	13.2	3.3	30.5	52.5	5 200.5	—
免耕覆盖 No-tillage and mulching	323.33	8.3	13.3	3.2	31.8	54.3	5 583.0	7.4
深松覆盖 Deep loosing and mulching	345.62	8.5	14.1	2.7	32.3	54.5	6 084.1	17.0
膜侧沟播 Furrow sowing on film side	393.23	9.2	15.3	2.2	33.5	55.5	7 311.0	40.6

2.5.2 水分利用效率 不同耕作模式对自然降水的利用效率计算结果见表 10。从表 10 可以看出,以膜侧沟播模式的水分利用效率最高,在每 hm² 农田上,每 mm 降水量可生产小麦 15.56 kg,而且这种

模式的耗水系数最小,为 0.064 mm/(kg·hm²)。免耕播种和深松覆盖 2 种模式,由于秸秆覆盖保墒效果相对较差,水分利用效率均较低,耗水系数也较大。

表 10 不同耕作模式水分利用效率的比较

Table 10 Water utilization efficiency under different fam ing system s

处理 T reatment	经济产量/ (kg · hm ⁻²) Yield	播时 贮水/mm Water stored during seeding	收时 贮水/mm Water stored during harvesting	生育期 降水/mm Rainfall during grow th	总耗 水量/mm Total water consumed	耗水系数/ (mm · kg ⁻¹ · hm ⁻²) Water consumption coefficient	水分利用效率/ (kg · mm ⁻¹ · hm ⁻²) Water utilization efficiency
传统耕作 Conventional fam ing system	5 200 5	476 3	275 9	223 2	423 6	0 081	12 28
免耕覆盖 No-tillage and mulching	5 583 0	503 7	284 7	223 2	442 2	0 079	12 63
深松覆盖 Deep loos ing and mulching	6 084 1	560 7	308 8	223 2	475 1	0 078	12 81
膜侧沟播 Furrow sow ing on film side	7 311 0	560 7	313 9	223 2	470 0	0 064	15 56

注: 总耗水量(mm) = 播时贮水(mm) - 收时贮水(mm); 耗水系数(mm · kg⁻¹ · hm⁻²) = 总耗水量(mm)/经济产量(kg · hm⁻²); 水分利用效率(kg · mm⁻¹ · hm⁻²) = 经济产量(kg · hm⁻²)/总耗水量(mm)。

Note: Total water consumed= water stored during seeding- water stored during harvesting; water consumption coefficient= total water consumed/yield; water utilization efficiency= yield/total water consumed

3 结 论

(1) 在参与试验的各耕作模式中, 其农田效应增产效果和水分利用效率均以膜侧沟播模式最好, 其次是深松覆盖和免耕覆盖。

(2) 膜侧沟播模式由于夏闲期实行深松加秸秆覆盖措施, 因此可以将夏闲期的降水最大限度地蓄积并保存于土壤之中, 与传统的耕作模式相比, 多贮水 84 4 mm, 蓄水率提高 18 2 %, 达到 60 5 %。在小麦播种时, 该模式又采用起垄覆膜膜侧沟播技术, 既可以最大限度地保持夏闲期蓄积到土壤中的肥水, 同时又可以 将小麦生育期的有限降水通过垄体的聚水作用聚集于小麦的根部, 加之地膜覆盖的保墒、增温效应, 可为旱地小麦创造最佳的水肥气热环境条件, 因而增产效果显著。

(3) 深松覆盖模式在夏闲期同样实行深松加秸秆覆盖, 与传统耕作模式相比, 多蓄水 84 4 mm, 蓄水率也达到 60 5 %。但在小麦播种以后, 由于秸秆覆盖的保墒效果相对较差, 加之受土壤温度较低的

制约, 使得小麦生育受到一定抑制, 所以增产效果不够突出, 仅为 17 0 %。

(4) 免耕覆盖模式在夏闲期也采用秸秆覆盖措施, 但由于免耕耕层土壤较紧, 加之犁底层的存在, 不利于降水下渗, 因而蓄水较少。与传统耕作模式相比, 该模式贮水量仅增 27 4 mm, 蓄水率为 48 2 %。同时, 由于秸秆覆盖的保墒效果差、土壤温度低等原因, 小麦生育迟缓, 增产效果不明显, 仅为 7 4 %。

(5) 不同耕作模式的水分利用效率不同, 以膜侧沟播模式最高, 达到 15 56 kg/(mm · hm²); 深松覆盖和免耕播种模式的水分利用效率分别为 12 81 和 12 63 kg/(mm · hm²), 相对于传统耕作模式的 12 28 kg/(mm · hm²) 提高不明显。

(6) 近年来, 各地地膜小麦种植面积越来越少, 其原因主要是生产投资较大, 且易造成“白色污染”, 但随着科学技术的发展, 以及降解膜、液态膜等新产品的进一步完善, 与秸秆覆盖相结合的小麦全程覆盖技术, 有可能成为实现旱地小麦高产稳产和确保粮食安全的重要技术途径。

[参考文献]

[1] 张正茂, 王虎全 渭北地膜覆盖小麦最佳种植模式及微环境效应研究[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(3): 55-60

[2] 杨 青, 薛少平, 朱瑞祥, 等 陕西黄土高原旱作农田机械化降水高效利用技术体系的研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(增): 49-52

[3] 薛少平, 杨 青, 朱瑞祥, 等 黄土高原地区机械化保护性耕作的回顾与展望[J]. 农业工程学报, 2003, 19(增): 56-58

[4] 廖允成, 韩思明, 温晓霞 黄土高原旱地小麦机械化保护性耕作体系的水分及产量效应[J]. 农业工程学报, 2002, 18(4): 68-71.

[5] 李立科 小麦留茬少耕全程覆盖新技术[J]. 陕西农业科学, 1999(4): 41-43

[6] 韩思明, 春 峰, 史俊通 旱地残茬覆盖耕作法研究[J]. 干旱地区农业研究, 1988, 16(3): 1-2

[7] 高焕文 保护性耕作技术与机具[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 56-58

- [8] 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
- [9] 王虎全. 旱地冬小麦起垄覆膜技术增产机理研究[J]. 干旱地区农业研究, 1998, 26(增): 99-103
- [10] 薛惠兰, 薛少平, 杨青. 秸秆粉碎覆盖与施肥播种联合作业的实现与机具设计[J]. 农业工程学报, 2003, 19(3): 104-107.
- [11] 廖允成, 韩思明, 温晓霞. 黄土台原旱地小麦土壤水分特征及水分利用效率研究[J]. 中国生态农业学报, 2002, 10(3): 55-58

Rainfall mechanical utilization techniques for winter wheat in Loess Plateau dry land

XUE Shao-ping^a, ZHU Rui-xiang^a, YANG Qing^a, HAN Siming^b, HAN Wen-ting^a

(^a Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In order to find a suitable integrated dry land farming technology for winter wheat in Loess Plateau, the crop yield and water utilization efficiency of three farming technology systems, no-tillage high stubble mulching, stubble mulching and deep loosening, and plastic mulching and film side planting, were compared. The results showed that the integrated farming technology, combining leaving higher stubble in the field, deep loosening and cultivation, plastic mulching and film side planting together, has greatest potential in improving farmland condition, crop yield and water utilization efficiency, followed by the integrated farming technology combining leaving higher stubble in the field, deep loosening and straw mulching and the technology combining leaving higher stubble in the field, no tillage and straw mulching. The integrated farming technology combining leaving higher stubble in the field, deep loosening and straw mulching has comprehensive functions to improve the ability of water storage, moisture conservation and fertility and temperature of soil. It can improve the water, fertilizer, air and heat conditions of farmland greatly. Compared with the traditional farming technology, this one can increase the water storing ability by 84.4 mm and improve the water storage by 18.2%. The water utilization efficiency of wheat can reach 15.56 kg/(mm · hm²), and the yield may increase by 40.6%. This integrated farming technology is the best choice to improve rainfall mechanical utilization efficiency and wheat yield for Shaanxi WeiBei dryland area and other regions of this kind.

Key words: dry land winter wheat; rainfall high efficient utilization; farm mechanization; WeiBei Plateau