

不同保护性耕作对渭北旱塬麦玉轮作田 肥力和产量的影响

张丽华¹,李 军¹,贾志宽¹,刘冰峰¹,赵洪利¹,尚金霞²

(1.西北农林科技大学农学院,陕西 杨凌 712100;2.西北农林科技大学林学院,陕西 杨凌 712100)

摘 要:2007~2010 年在渭北旱塬实施了冬小麦—春玉米轮作模式连续保护性耕作定位试验,研究了秸秆覆盖免耕、秸秆覆盖深松和秸秆还田翻耕等不同保护性耕作方式和平衡施肥、无肥(或低肥)和常规施肥处理组合对土壤养分、WUE 和作物产量的影响。结果表明:随着保护性耕作年限延长,0~40 cm 土层土壤养分含量显著增加;有机质含量由研究初期的免耕>深松>翻耕渐变为深松>免耕>翻耕;在平衡施肥的表层土壤碱解氮、速效磷、速效钾含量为免耕>深松>翻耕,常规施肥和低肥(无肥)处理则为深松>免耕>翻耕;在各施肥处理下深松处理中层土壤碱解氮、速效磷、速效钾含量最高;在 3 a 试验过程中,在各施肥处理下 WUE 和作物产量均为深松>翻耕>免耕,在 9 种施肥和耕作处理组合中,平衡施肥与深松处理组合 WUE 和产量最高。因此,在冬小麦与春玉米轮作条件下,三种保护性耕作中,深松处理能显著提高土壤养分、肥料利用效率、WUE 和作物产量。

关键词:渭北旱塬;保护性耕作;轮作作物;土壤养分;水分利用效率;产量

中图分类号: S157.4;S341.1;S344.13 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)04-0199-09

渭北旱塬粮食生产以种植冬小麦和春玉米为主,当地降水不足且季节性分布不均,气候干旱和肥力不足导致了作物产量低而不稳^[1]。保护性耕作能有效减少土壤水分蒸发,增强蓄水保墒能力,提高降水利用效率^[2~4],并能改善土壤结构和土壤肥力,提高作物产量^[5,6]。已有相关研究多为保护性耕作措施对单作冬小麦或春玉米田土壤肥力和产量影响效应的短期比较研究,本研究拟在冬小麦—春玉米一年一熟轮作制中,探讨秸秆粉碎覆盖深松、秸秆粉碎覆盖免耕和秸秆还田翻耕等保护性耕作措施对土壤养分、水分利用效率和作物产量的影响,为筛选渭北旱塬冬小麦—春玉米轮作田适宜保护性耕作措施提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本试验设置于陕西省合阳县甘井镇(35°33'N, 110°08'E),属于渭北旱塬沟壑区东部,为暖温带半湿润气候。海拔 700~1 100 m,1976~2006 年平均降水量为 537.98 mm,年均气温 9℃~10℃,全年无霜期 160~200 d,≥10℃积温 2 800℃~4 000℃。2007、2008、2009 年和 2010 年试验年份的年降水量

分别为 561.6、450.7、499.6 mm 和 460.7mm。塬面地下水埋深在 60 m 以上,试验地地势平坦,土壤为黑垆土,供试前耕作层土壤 pH 为 7.7。

1.2 试验处理

本试验于 2007 年 9 月~2010 年 9 月实施,采用施肥和耕作二因素裂区设计,施肥为主处理,耕作为副处理。在冬小麦—春玉米轮作模式和收获前茬作物秸秆全额粉碎还田相结合下,且冬小麦、春玉米一年一熟,实施冬闲期和夏闲期保护性轮耕试验。小区面积 22.5 m×5 m=112.5 m²,共 21 个小区,占地 0.27 hm²。前茬作物为玉米,供试冬小麦品种为晋麦 47,供试玉米品种为豫玉 22。

(1) 施肥处理:采用定位施肥,施肥小区为固定小区。本试验冬小麦田共设置 3 种施肥处理,平衡施肥:N=150 kg/hm²,P₂O₅=120 kg/hm²,K₂O=90 kg/hm²;常规施肥:N=255 kg/hm²,P₂O₅=90 kg/hm²;低肥:N=75 kg/hm²,P₂O₅=60 kg/hm²,K₂O=45 kg/hm²。春玉米田也共设置 3 种施肥处理,平衡施肥:N=300 kg/hm²,P₂O₅=150 kg/hm²,K₂O=150 kg/hm²;常规施肥:N=325 kg/hm²,P₂O₅=90 kg/hm²;低肥:N=150 kg/hm²,P₂O₅=75 kg/hm²,K₂O=75 kg/hm²。其中氮肥、磷肥、钾肥依次分别为尿

收稿日期:2011-01-05
基金项目:国家科技支撑计划项目(2006BAD29B03);农业公益性行业科研专项经费项目(200803028);国家自然科学基金项目(30771280、31071374)
作者简介:张丽华(1986—),女,黑龙江七台河人,硕士,主要从事高效农作制度研究。E-mail:52sunday6614@163.com。
通讯作者:李 军(1964—),男,甘肃泾川人,教授,博士生导师,主要从事旱区农业生态、高效农作制度和农业生产系统模拟等研究。
万方数据
E-mail:junli@nwsuaf.edu.cn。

素,磷酸二铵和氯化钾。分别在 2007 年 9 月 28 日、2009 年 4 月 28 日和 2010 年 9 月 30 日播种冬小麦、春玉米和冬小麦,在播种时,按施肥处理划区撒施肥料,通过旋耕切碎残茬、平整地表和混合肥料,冬小麦和春玉米采用条播机和点播机均按照 150 kg/hm² 播量统一播种。

表 1 供试土壤化学基本性质(试验前)
Table 1 The soil basic chemical properties before the experiment

土层深度 Soil layer (cm)	有机质 Soil organic matter (g/kg)	全氮 Total N content (g/kg)	全磷 Total P content (g/kg)	全钾 Total K content (g/kg)	碱解氮 Alkali-hydro nitrogen (mg/kg)	速效磷 Available P content (mg/kg)	速效钾 Available K content (mg/kg)
0~20	4.541	1.302	0.596	5.918	36.567	3.453	148.4
20~40	1.633	0.897	0.181	5.530	18.903	2.017	142.1
40~60	1.342	0.895	0.058	5.792	12.140	1.818	137.1

(2) 耕作处理:各耕作处理田间作业:① 免耕:前茬作物收获后→秸秆粉碎覆盖地表→施肥播种冬小麦或者越过休闲期后施肥播种春玉米;② 深松:前茬作物收获后→秸秆粉碎覆盖地表→深松机每隔 60 cm 深松(30~35 cm)→施肥播种冬小麦或者越过休闲期后施肥播种春玉米;③ 翻耕:前茬作物收获后→秸秆粉碎覆盖地表→铧式犁翻耕(20~25 cm)→施肥播种冬小麦或者越过休闲期后施肥播种春玉米。夏闲期 3 种耕作处理均喷洒除草剂控制杂草滋生。本研究采用多年定位轮耕方式,即在 6 个试验年份内轮换免耕、深松和翻耕等 3 种耕作措施,共计有 7 种轮耕方式:①连续免耕;②连续深松;③连续翻耕;④免耕→免耕→深松→免耕→免耕→深松;⑤翻耕→深松→翻耕→深松→翻耕→深松;⑥翻耕→免耕→翻耕→免耕→翻耕→免耕;⑦免耕→翻耕→深松→免耕→翻耕→深松。

(3) 施肥和耕作处理组合:将平衡施肥、常规施肥和无肥(或低肥)等 3 种施肥处理与免耕、深松和翻耕等 3 种耕作处理分别组合,每季作物共计有 9 种施肥和耕作处理组合。2007~2008 年冬小麦生长季共有:①平衡施肥免耕(BNT);②平衡施肥深松(BSS);③平衡施肥翻耕(BDP);④常规施肥免耕(CNT);⑤常规施肥深松(CSS);⑥常规施肥翻耕(CDP);⑦无肥免耕(NNT);⑧无肥深松(NSS);⑨无肥翻耕(NDP)等 9 种处理组合。2009 年玉米生长季和 2009~2010 年冬小麦生长季将无肥处理改为低肥处理后,无肥免耕(NNT)、无肥深松(NSS)、无肥翻耕(NDP)分别变为低肥免耕(LNT)、低肥深松(LSS)、低肥翻耕(LDP)。

1.3 测试项目与方法

测定和分析了各季作物收获后连续免耕、连续深松和连续翻耕 3 种耕作处理的平衡施肥和常规施肥处理土壤养分,以及三种施肥处理播前和收获后土

壤水分和作物产量等相关指标。

(1) 养分测定方法:采用多点取样方法,分 0~20、20~40 cm 和 40~60 cm 共 3 个层次采集土壤,室内自然风干后,过 0.25 mm 和 1 mm 筛待测。有机质采用重铬酸钾外加热法,碱解氮采用碱解扩散法,速效磷采用 NaHCO₃ 浸提—钼锑抗比色法,速效钾采用醋酸铵—火焰光度法^[7]。

(2) 土壤水分(%)=(湿土重-烘干土重)/烘干土重×100%。

(3) 土壤贮水量 $W=W_i \times D_i \times H_i \times 10/100$,式中: W 为土壤贮水量(mm); W_i 为第 i 层土壤水分(%); D_i 为第 i 层土壤容重(g/cm³); H_i 为第 i 层土层厚度(cm)。

(4) 总耗水量 $ET_a=P+\triangle W$,式中: ET_a 为作物总耗水量(mm), P 为作物生育期有效降水量(mm); $\triangle W$ 为生育期土壤蓄水变化(mm)。因试验地为旱平地,地下水埋藏深,故其它因素均忽略。

(5) 肥料利用效率=作物单位面积所生产的经济产量(kg)/[播前土壤养分含量(kg)+施入的化肥量(kg)+还田秸秆头年转化的养分含量(kg)]^[7]—当季作物收获后土壤养分含量(kg)]。

(6) 水分利用效率(WUE)的计算^[8],水分利用效率(WUE)指蒸散的每单位(mm)水分在单位面积上所生产的经济产量 Y (kg/hm²), $WUE [kg/(hm^2 \cdot mm)] = Y/ET$,作物生长期间的蒸散量 ET (mm),用 $ET=P-\triangle S$ 式计算,其中 P 是作物生长期间的降水量(mm), $\triangle S$ 是收获期与播种期 0~200 cm 土壤贮水量之差(mm)。

(7) 作物产量测定方法,在作物成熟时每小区沿对角线方向选取长势均匀的三点,冬小麦田每点取 3 m²,既每个小区取 9 m² 测产;春玉米田是每点取 20 株,既每个小区取 60 株测产,产量=平均单株籽粒产量×单位面积株数。由于本试验小区面积较

大且产量数据采取了 3 点取样法 ,可视为产量数据有 3 个重复 ,以便进行产量差异性比较分析。

1.4 数据处理与分析

用 DPS 6.55 数据处理软件进行统计分析和 Duncan 新复极差法多重比较 ,数据、图表处理采用 Excel 2003。

2 结果与分析

2.1 施肥与保护性耕作处理对土壤养分的影响

2.1.1 对土壤有机质含量的影响 表 2 显示 ,随着保护性耕作的逐年实施 ,与试验前基土相比 ,3 年中各耕作处理组合土壤有机质含量都明显增加。在 0

~20 cm 土层中 ,2008 年平衡施肥、常规施肥和无肥处理下均以免耕处理土壤有机质含量明显高于深松和翻耕处理 ($P<0.05$) ,且深松处理明显高于翻耕处理 ,2009 年和 2010 年三种施肥处理下均以深松处理土壤有机质含量明显高于免耕和翻耕 ,且深松与翻耕差异显著 ($P<0.05$) ;在 20~40 cm 土层中 ,2008 年两种施肥处理下均以免耕有机质含量明显高于深松和翻耕处理 ,尤以平衡施肥和无肥处理下差异显著 ($P<0.05$) ,2009 年平衡施肥处理下以免耕处理土壤有机质含量明显高于深松和翻耕处理 ($P<0.05$) ,常规施肥和低肥处理下土壤有机质含量为深松高于免耕和翻耕处理 ,2010 年三种施肥处

表 2 作物收获期各处理组合土壤有机质含量
Table 2 Content of soil organic matter in harvest stage

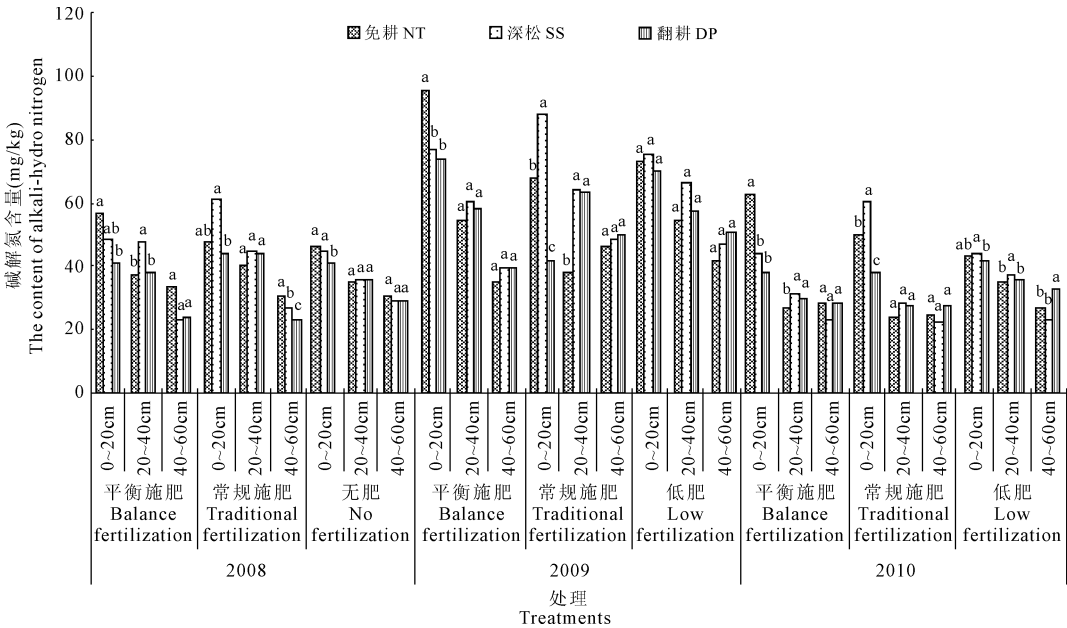
土层深度 Soil layer (cm)	处理 Treatments	不同年份土壤有机质含量比较 (g/kg) Comparison of the content of soil organic matter in different years			
		试验前基础土样 Foundation soil before experiment	2008	2009	2010
0~20	平衡施肥免耕 BNT	4.54	9.43c(a)	14.52b(a)	15.42a(a)
	平衡施肥深松 BSS		5.19c(b)	14.99a(a)	15.46a(a)
	平衡施肥翻耕 BDP		4.64b(b)	13.42a(b)	13.81a(b)
	常规施肥免耕 CNT		7.96b(a)	14.12a(ab)	14.42a(a)
	常规施肥深松 CSS		6.80b(b)	14.35a(a)	14.71a(a)
	常规施肥翻耕 CDP		4.66c(c)	12.81a(b)	13.47a(b)
	无肥(低肥)免耕 L(N)NT		7.27c(a)	13.65b(b)	14.31a(b)
	无肥(低肥)深松 L(N)SS		5.06c(b)	15.18b(a)	14.78a(a)
	无肥(低肥)翻耕 L(N)DP		4.79b(b)	13.27a(b)	12.84a(c)
20~40	平衡施肥免耕 BNT	1.63	8.02c(a)	12.79a(a)	10.51b(b)
	平衡施肥深松 BSS		3.89c(b)	9.35b(b)	12.16a(a)
	平衡施肥翻耕 BDP		3.62b(b)	10.32a(b)	10.71a(b)
	常规施肥免耕 CNT		6.62b(a)	11.01a(a)	9.50a(b)
	常规施肥深松 CSS		6.31b(a)	11.95a(a)	11.90a(a)
	常规施肥翻耕 CDP		6.13c(a)	11.33a(a)	8.61b(c)
	无肥(低肥)免耕 L(N)NT		8.92b(a)	12.24a(b)	10.78ab(b)
	无肥(低肥)深松 L(N)SS		1.85d(b)	13.52a(a)	11.90b(a)
	无肥(低肥)翻耕 L(N)DP		3.50b(b)	10.13a(c)	10.41a(c)
40~60	平衡施肥免耕 BNT	1.34	5.49c(a)	12.36a(a)	11.22b(a)
	平衡施肥深松 BSS		3.33c(b)	7.72b(b)	10.83a(a)
	平衡施肥翻耕 BDP		3.14c(b)	7.66b(b)	11.35a(a)
	常规施肥免耕 CNT		9.85a(a)	9.96a(a)	10.31a(a)
	常规施肥深松 CSS		5.16b(a)	9.36a(a)	10.73a(a)
	常规施肥翻耕 CDP		3.94b(a)	9.92a(a)	10.52a(a)
	无肥(低肥)免耕 L(N)NT		6.06b(a)	10.50a(a)	9.97a(b)
	无肥(低肥)深松 L(N)SS		2.02b(b)	11.10a(a)	10.11a(a)
	无肥(低肥)翻耕 L(N)DP		3.10b(b)	8.84a(b)	8.61a(c)

注 :同列不同小写字母和同行不同括号内的小写字母均表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。
Notes :Different letters in the same column and those in parentheses in the same line mean significant difference at 0.05 level among treatments .

理下均以深松处理土壤有机质含量明显高于免耕和翻耕处理 ($P<0.05$)。在 40~60cm 土层中,2008 年和 2009 年平衡施肥和常规施肥处理均以免耕处理土壤有机质含量高于深松和翻耕处理,低肥处理为深松处理高于免耕和深松,2010 年各耕作处理土壤有机质含量无差异。3 年试验结果显示,由试验初期免耕处理各土层有机质含量最高,渐变为 0~40 cm 土层以深松处理有机质含量最高,免耕次之,翻耕最差,40~60 cm 三种耕作处理之间无差异。

2.1.2 对土壤碱解氮含量的影响 图 1 为 2008、2009 和 2010 年作物收获后 0~60 cm 土层碱解氮含量的变化,各施肥处理下三种保护耕作处理土壤碱解氮含量均比试验前有所增加。在 0~20 cm 土层中,3 年中平衡施肥处理三种耕作处理土壤碱解氮含量为:免耕最高,深松次之,翻耕最差;常规施肥处理三种耕作处理土壤碱解氮含量为:深松>免耕>翻耕,低肥(无肥)处理的土壤碱解氮含量由最初的免耕>深松>翻耕渐变为深松>免耕>翻耕。在 20~40 cm 的土层中,3 年三种施肥处理下三种耕作处理土壤碱解氮含量为:深松>翻耕>免耕;各处理组合 40~60 cm 土层土壤碱解氮含量无明显差异。平衡施肥土壤表层碱解氮含量分别为免耕最高,常规施肥和低肥(无肥)处理土深松最高,土壤中层碱解氮含量均为深松处理最高。

2.1.3 对土壤速效磷含量的影响 图 2 显示,三种保护耕作处理土壤速效磷含量均比试验前有一定程度增加,在 0~20 cm 土层,平衡施肥处理 3 a 土壤速效磷含量均为免耕>深松>翻耕,常规施肥和低肥(无肥)处理为深松>免耕>翻耕;在 20~40 cm 土层,2008 年三种施肥处理下三种耕作处理土壤速效磷含量无差异,2009 年三种施肥处理均以深松处理高于免耕和翻耕,差异显著 ($P<0.05$),2010 年在平衡施肥处理下免耕土壤速效磷含量高于深松和翻耕,常规施肥和低肥(无肥)处理为深松处理高于免耕和翻耕。在 40~60 cm 土层,2008 年在两种施肥处理下土壤速效磷含量为翻耕>深松>免耕,2009 年在三种施肥处理下土壤速效磷含量为深松处理明显高于免耕和翻耕,2010 年平衡施肥处理下免耕土壤速效磷含量高于深松和翻耕,常规施肥和低肥(无肥)处理为深松>免耕>翻耕。在 2008~2010 年中均以平衡施肥处理土壤速效磷含量最高,随着保护性耕作实施年限延长,当磷肥施用量足量时,土壤表层速效磷含量为免耕>深松>翻耕,当磷肥施用量不足时,土壤表层速效磷含量为深松>免耕>翻耕;而土壤中层土壤速效磷含量为深松>免耕>翻耕,即施肥处理主要影响土壤表层速效磷含量,耕作方式和秸秆还田方式主要影响着土壤中层速效磷含量。



注:不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$),下同。
Notes: Different small letters mean significant difference at 0.05 level among treatments, and they are the same in the follows.

图 1 不同耕作和施肥处理对农田 0~60 cm 土层碱解氮含量的影响

Fig.1 Effect of different tillage and fertilization treatments on alkali-hydro nitrogen content in 0~60 cm soil layer

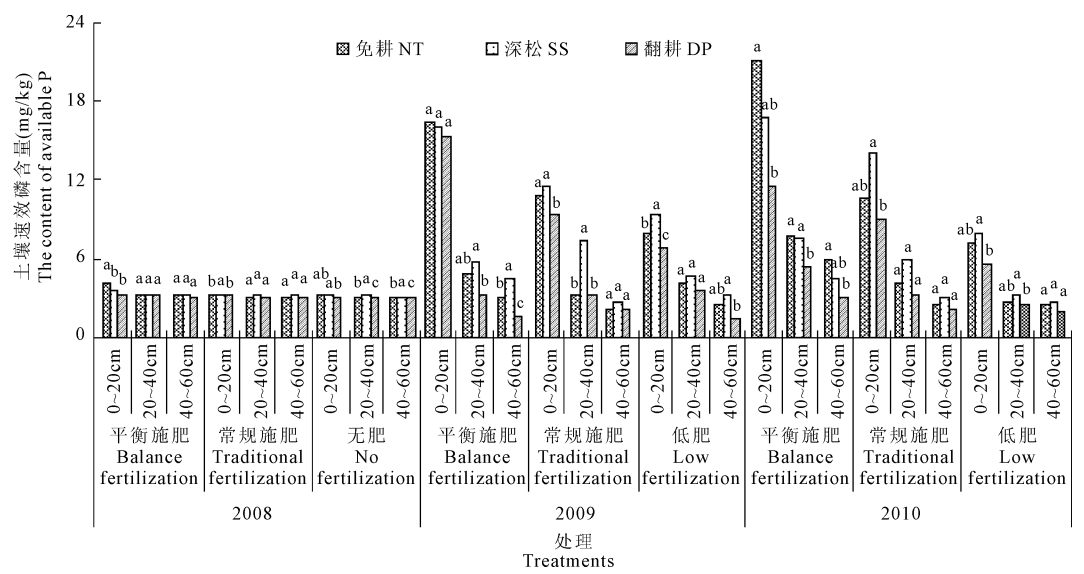


图 2 不同耕作和施肥处理对 0~60 cm 土层速效磷含量的影响

Fig. 2 Effect of different tillage and fertilization treatments on available P content in 0~60 cm soil layer

2.1.4 对土壤速效钾含量的影响 图 3 显示,在 0~20 cm 的土层中,2008~2009 年三种施肥处理下土壤速效钾含量均为免耕>深松>翻耕,且处理间差异明显 ($P<0.05$),2010 年土壤速效钾含量也为免耕最高,深松比翻耕高,常规施肥和低肥处理为深松最高,翻耕高于免耕,且处理间差异显著 ($P<0.05$)。在 20~40 cm 土层,2008 年在平衡施肥处理下土壤速效钾含量为翻耕>免耕>深松 ($P<0.05$),在常规施肥和无肥处理下为免耕土壤速效钾含量明显高于深松和翻耕处理,2009 年三种施肥处

理下土壤速效钾含量均表现为免耕>深松>翻耕,尤其平衡施肥处理下各耕作处理土壤速效钾含量差异最为明显 ($P<0.05$),2010 年在平衡施肥处理下深松和翻耕土壤速效钾含量明显高于免耕,在常规施肥和低肥处理土壤速效钾含量为免耕和深松明显高于翻耕处理。在 40~60 cm 土层,2008 年在平衡施肥处理下土壤速效钾含量为翻耕>免耕>深松,在常规施肥和无肥处理为免耕>深松>翻耕,2009 年三种施肥处理下土壤速效钾含量也表现为免耕>深松>翻耕,且处理间差异显著 ($P<0.05$)。2010

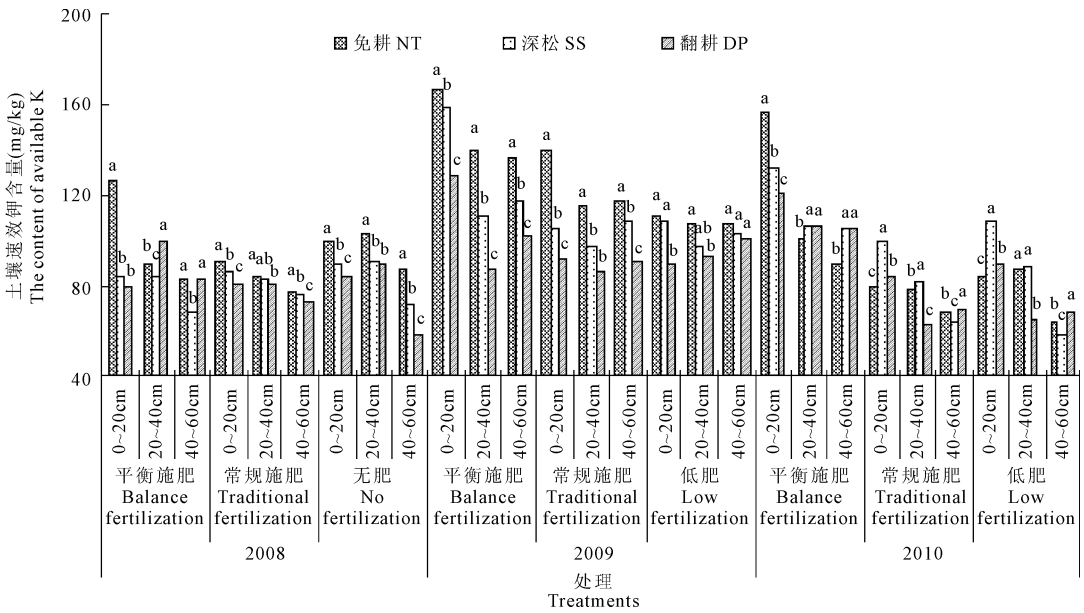


图 3 不同耕作和施肥处理对 0~60 cm 土层速效钾含量的影响

Fig. 3 Effect of different tillage and fertilization treatments on available K content in 0~60 cm soil layer

年在平衡施肥处理下土壤速效钾含量为深松和翻耕高于免耕,在常规施肥和低肥处理土壤速效钾含量为翻耕>免耕>深松。随着保护性耕作实施年限延长,在平衡施肥处理下,免耕处理表层土壤速效钾含量明显高于其他耕作处理,免耕处理中下层土壤速效钾含量则低于深松和翻耕处理,在未施钾肥和施入钾肥不足的常规施肥和低肥(无肥)处理下,深松处理中上层土壤速效钾含量明显高于免耕和翻耕,下层土壤速效钾含量则低于免耕和翻耕处理。

2.2 不同施肥与耕作处理轮作作物产量和水分利用效率

在冬小麦—春玉米—冬小麦轮作田,在不同施肥处理下 3 种耕作处理作物产量和水分利用效率差异显著(表 3),以深松处理下冬小麦和春玉米产量和水分利用效率最高,翻耕次之,免耕最低。2007~2008 年深松和翻耕冬小麦平均产量较免耕分别增产 26.9% 和 5.3%;深松和翻耕 WUE 平均值分别较免耕提高 41.1% 和 15.2%。2009 年深松和翻耕玉

米平均产量较免耕分别增产 11.6% 和 1.8%;深松和翻耕 WUE 平均值分别较免耕 WUE 提高 15.9% 和 7.7%。2009~2010 年深松和翻耕冬小麦平均产量较免耕分别增产 19.5% 和 11.8%;深松和翻耕 WUE 平均值分别较免耕提高 44.0% 和 10.2%。

在冬小麦—春玉米—冬小麦轮作田,在不同耕作处理下 3 种施肥处理作物产量和水分利用效率差异显著(表 3),均以平衡施肥最高,常规施肥次之,无肥或者低肥处理最低。2007~2008 年平衡施肥、常规施肥分别较无肥增产 54.3% 和 14.2%;平衡施肥、常规施肥 WUE 平均值分别较无肥提高 38.7% 和 11.8%。2009 年平衡施肥、常规施肥分别较低肥增产 29.1% 和 9.4%;平衡施肥、常规施肥 WUE 平均值分别较低肥提高 24.7% 和 13.0%。2009~2010 年平衡施肥、常规施肥分别较无肥增产 28.2% 和 16.6%;平衡施肥、常规施肥 WUE 平均值分别较无肥提高 35.2% 和 22.7%。

表 3 不同施肥和耕作处理组合下冬小麦和春玉米产量和水分利用效率

Table 3 Yield and water use efficiency of winter wheat and spring maize under different fertilization and tillage treatment combinations									
处理 Treatments	2007~2008 冬小麦 Winter wheat			2009 春玉米 Spring maize			2009~2010 冬小麦 Winter wheat		
	生育期 总耗水量 Total water consumption (mm)	产量 Yield (kg/hm ²)	水分利 用效率 WUE [kg/(hm ² ·mm)]	生育期 总耗水量 Total water consumption (mm)	产量 Yield (kg/hm ²)	水分利 用效率 WUE [kg/(hm ² ·mm)]	生育期 总耗水量 Total water consumption (mm)	产量 Yield (kg/hm ²)	水分利 用效率 WUE [kg/(hm ² ·mm)]
平衡施肥免耕 BNT	458.1	5561.1bc	12.5bcd	414.7	8427.8b	20.4cd	293.0	4783.3de	16.3d
平衡施肥深松 BSS	450.4	6909.4a	18.5a	384.6	9688.9a	25.2a	242.5	5588.9a	23.0a
平衡施肥翻耕 BDP	395.1	5934.8ab	15.3b	381.7	8686.1b	22.7b	310.3	5333.3b	17.2c
常规施肥免耕 CNT	432.1	4270.2def	10.1de	374.8	7355.6c	19.6d	296.9	4316.7f	14.5f
常规施肥深松 CSS	450.5	5092.9bcd	13.7bc	368.4	7900.0c	21.4bc	235.8	5050.0c	21.4b
常规施肥翻耕 CDP	425.8	4728.8cde	11.4cde	357.6	7455.6c	20.9cd	318.9	4916.7cd	15.5e
无肥(低肥)免耕 L(N)NT	373.9	3355.8f	9.1e	387.3	6638.9d	17.1e	320.0	3650.0h	11.5g
无肥(低肥)深松 L(N)SS	408.1	4174.8def	12.5cd	377.4	7433.3c	19.7d	279.9	4600.0e	16.5cd
无肥(低肥)翻耕 L(N)DP	392.4	3774.4ef	9.8de	371.2	6694.4d	18.0e	287.1	4000.0g	14.0f

注:同列不同行小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$),下同。
Notes: Different small letters in the same column mean significant difference at 0.05 level among treatments, and they are the same in the follows.

3 a 试验结果显示,在冬小麦→春玉米→冬小麦轮作田,由于施肥和耕作处理的综合效应,在 9 种施肥和耕作处理组合中均以平衡施肥深松处理产量最高,3 年产量分别为 6 909.4、9 688.9 kg/hm² 和 5 588.9 kg/hm²,其次为平衡翻耕处理,3 a 产量分别为 5 934.8、8 686.1 kg/hm² 和 5 333.3 kg/hm²; WUE 也均以平衡施肥深松处理最高,3 a 分别为 18.5、25.2 kg/(hm²·mm)和 23.0 kg/(hm²·mm)。由此可见,平衡施肥和深松处理组合具有最佳产量和水分利用效率效应。

2.3 不同施肥与耕作处理轮作作物氮肥和磷肥利用效率

表 4 为不同施肥和耕作处理组合下氮肥和磷肥利用效率比较。在同种耕作方式下,平衡施肥的氮肥和磷肥利用效率最高,常规施肥次之,低肥或无肥处理最差。在同种施肥处理下,三年中深松处理氮肥利用效率皆为最高,2007~2008 年和 2009~2010

年冬小麦田的免耕处理氮肥利用效率次之,翻耕最差,而 2009 年春玉米田是翻耕处理氮肥利用效率次之,免耕最差;深松处理磷肥利用效率三年亦为最高,翻耕次之,免耕最差。且由于还田秸秆逐年分解释放有机质和养分的原因,随着保护性耕作逐年实施,作物氮肥和磷肥利用效率呈逐渐增高趋势。

3 讨 论

1) 在本研究连续 3 年保护性耕作试验过程中,在冬小麦—春玉米轮作模式下,因冬小麦播前无休闲期,而春玉米播前有连续 10 个月的休闲期,2009 年春玉米播前有充足的时间促进前茬覆盖或者还田秸秆的腐烂分解,明显增加了土壤养分含量;而 2009~2010 年冬小麦播前前茬秸秆尚未分解,2010 年冬小麦收获期土壤养分含量较低或者增加幅度较低。

表 4 不同施肥和耕作处理组合下 N 和 P 的肥料利用效率
Table 4 Fertilizer use efficiency of N and P under different fertilization and tillage treatment combinations

处理 Treatments	2007~2008 冬小麦 Winter wheat		2009 春玉米 Spring maize		2009~2010 冬小麦 Winter wheat	
	氮肥利用效率 Fertilizer use efficiency of N	磷肥利用效率 Fertilizer use efficiency of P	氮肥利用效率 Fertilizer use efficiency of N	磷肥利用效率 Fertilizer use efficiency of P	氮肥利用效率 Fertilizer use efficiency of N	磷肥利用效率 Fertilizer use efficiency of P
平衡施肥免耕 BNT	5.32b	8.21b	4.75b	12.88b	9.00b	12.20b
平衡施肥深松 BSS	6.83a	12.86a	5.30a	13.91a	12.01a	14.25a
平衡施肥翻耕 BDP	4.79bc	8.35b	4.77b	12.68b	8.24c	12.07b
常规施肥免耕 CNT	3.17de	4.53de	3.47de	8.53d	6.87d	9.54d
常规施肥深松 CSS	4.45c	5.94c	3.95c	10.96c	7.95c	10.55c
常规施肥翻耕 CDP	3.57d	5.00cd	3.63d	8.99d	6.52de	9.37d
无肥(低肥)免耕 L(N)NT	1.77g	2.69f	2.86f	7.13e	4.55g	6.78f
无肥(低肥)深松 L(N)SS	2.60ef	4.35de	3.35e	7.66d	6.30e	7.47e
无肥(低肥)翻耕 L(N)DP	2.21fg	3.52ef	2.92f	6.44f	5.26f	6.33f

连年实施的保护性耕作,随着土壤耕翻程度降低,土壤有机质含量逐渐增加^[9,10],并且有随着土层深度的增加而递减的趋势^[11],本研究中随着保护性耕作年限延长,免耕、深松和翻耕处理均能有效提高土壤有机质,且深松处理土壤有机质含量最高;保护性耕作和秸秆还田相结合能明显增加土壤养分^[12~16],由于免耕和少耕等保护性耕作方式对土壤不扰动或扰动较少,将肥料与残茬混拌在土壤表层,使得养分富集于表层,各层土壤养分含量差异呈现增大趋势。免耕秸秆覆盖能够有效提高土壤中有机质和碱解氮、速效磷的含量^[15],深松覆盖能显著降低土壤容重,增加土壤有机质和氮、磷、钾含

量^[17],本研究中随着保护性耕作年限逐渐延长,在平衡施肥处理下免耕处理土壤碱解氮、速效磷和速效钾含量最高,在常规施肥处理下以深松处理最高,与前人研究结果不尽相同,原因可能是两种施肥处理的施肥量及比例不同和耕作方式相结合的综合效果,具体原因有待于进一步分析。

秸秆还田配施化学肥料比单施化肥更能有效提高作物产量和肥料利用效率^[18],配施的化学肥料中无 NP 配合或者 NP 配比不合适都会导致作物产量和肥料利用效率降低^[19],本研究中的同种耕作处理下均以最适宜的 NP 配比的平衡施肥作物产量和肥料利用效率最高,同种施肥处理下均以深松处理的

作物产量和肥料利用效率最高,由此可见,平衡深松处理在 9 种处理组合中具有最佳的生产能力和肥料利用效率。

2) 相对于传统耕作处理,免耕和深松处理对土壤的扰动较少,能够有效地减少土壤水分的蒸发,增加土壤蓄水保墒的能力,从而增加作物产量^[6],尤其是深松处理,打破犁底层,促进降雨入渗土壤和贮蓄,并有利于作物根系伸长,更加有效地提高了作物的产量和水分利用效率^[20~23]。本研究得出相似的结论,深松处理 WUE 和产量均高于免耕和深松处理,平衡施肥和深松处理组合水分利用效率和产量效应最佳,冬小麦、春玉米和冬小麦 WUE 和产量分别为 18.5、25.2、23.0 kg/(hm²·mm)和 6 909.4、9 688.9、5 588.9 kg/hm²,其次为平衡施肥和翻耕处理组合。

在冬小麦一春玉米轮作制度下,本试验春玉米种植前经过了长达 10 个月的夏季和冬季休闲,农田地力和土壤墒情得到了较为充分地恢复,翻耕处理春玉米产量和水分利用效率高于免耕处理,与尚金霞等^[24]“连作春玉米田免耕处理的产量和水分利用效率均高于翻耕”的研究结果不一致。本研究中冬小麦播种前无休闲期,农田地力和土壤墒情未能得到及时恢复,翻耕处理冬小麦产量和水分利用效率高于免耕处理,也与毛红玲等^[25]“连作冬小麦田免耕处理产量低于翻耕,水分利用效率高于翻耕”的研究结果不尽相同。周少平等^[26]研究表明,在春玉米一冬小麦一夏大豆轮作体系下,冬小麦免耕秸秆覆盖和免耕处理的产量与水分利用效率均低于传统翻耕秸秆覆盖和传统翻耕。这说明在不同轮作制度和茬口效应下,保护性耕作措施的增产效应和水分利用效率不尽相同,需要根据作物轮作方式及其茬口特点选择适宜的保护性耕作措施。

参 考 文 献:

[1] 方日尧,同延安,赵二龙,等.渭北旱原不同保护性耕作方式水肥增产效应研究[J].干旱地区农业研究,2003,21(1):54—57.

[2] 高焕文,李问盈,李洪文.中国特色保护性耕作技术[J].农业工程学报,2003,19(3):1—4.

[3] 鲁向晖,隋艳艳,王 飞,等.保护性耕作技术对农田环境的影响研究[J].干旱地区农业研究,2007,25(3):66—72.

[4] 谢瑞芝,李少昆,李小君,等.中国保护性耕作研究分析——保护性耕作与作物生产[J].中国农业科学,2007,40(9):1914—1924.

[5] 孙 建,刘 苗,李立军,等.不同耕作方式对内蒙古旱作农田土壤性状及作物产量的影响[J].生态学杂志,2010,29(2):295—302.

[6] 王育红,蔡典雄,姚宇卿,等.豫西旱坡地长期定位保护性耕作研究 I.连年免耕和深松覆盖对冬小麦生育及产量的影响[J].干旱地区农业研究,2009,27(5):47—51.

[7] 刘巽浩,牟正国.中国耕作制度[M].北京:农业出版社,1993.

[8] 鲍士旦.土壤农化分析[M].第三版.北京:中国农业出版社,2005.

[9] 孙国海,Fancis L J.保护性耕作和植物残体对土壤养分状况的影响[J].生态农业研究,1997,5(1):47—51.

[10] 赵如浪,刘鹏涛,冯佰利,等.黄土高原春玉米保护性耕作农田土壤养分时空动态变化研究[J].干旱地区农业研究,2010,28(6):69—74.

[11] 王 晶,张仁陟,李爱宗.耕作方式对土壤活性有机碳和碳库管理指数的影响[J].干旱地区农业研究,2008,26(6):8—12.

[12] Karlen D L, Berry E C, Colvin T S, et al. Twelve year tillage and crop rotation effects on yields and soil chemical properties in northeast Iowa[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1991, 22(19):1895—2003.

[13] Ottman M J, Derge T A, Martin E C. Durum grain quality as affected by nitrogen fertilization near anthesis and irrigation during grain filling[J]. Agronomy Journal, 2000,92:1035—1041.

[14] 刘世平,张洪程,戴其根,等.免耕套种与秸秆还田对农田生态环境及小麦生长的影响[J].应用生态学报,2005,16(2):393—396.

[15] 马 林,孟凡德,石书兵,等.不同耕作方式下土壤肥力的动态变化[J].甘肃农业大学学报,2008,43(2):100—104.

[16] 曾木祥,张玉洁.秸秆还田对农田生态环境的影响[J].农业环境与发展,1997,51(1):1—48.

[17] 黄 明,李友军,吴金芝,等.深松覆盖对土壤性状及冬小麦产量的影响[J].河南科技大学学报(自然科学版),2006,27(2):74—77.

[18] 赵 鹏,陈 阜.秸秆还田配施化学氮肥对冬小麦氮效率和产量的影响[J].作物学报,2008,34(6):1014—1018.

[19] 黄绍敏,宝德俊,皇甫湘荣.长期定为施肥对玉米肥料利用率影响的研究[J].玉米科学,2006,14(4):129—133.

[20] 李友军,黄 明,吴金芝,等.不同耕作方式对豫西旱区坡耕地水肥利用与流失的影响[J].水土保持学报,2006,20(2):42—45,101.

[21] 丁昆仑,Hann M J.耕作措施对土壤特性及作物产量的影响[J].农业工程学报,2000,16(3):28—31.

[22] 吕美蓉,李增嘉,张 涛,等.少免耕与秸秆还田对极端土壤水分及冬小麦产量的影响[J].农业工程学报,2010,26(1):41—46.

[23] 王小彬,蔡典雄,金 轲,等.旱坡地麦田夏闲期耕作措施对土壤水分有效性的影响[J].中国农业科学,2003,36(9):1044—1049.

[24] 尚金霞,李 军,贾志宽,等.渭北旱塬春玉米田保护性耕作蓄水保墒效果与增产增收效应[J].中国农业科学,2010,43(13):2668—2678.

[25] 毛红玲,李 军,贾志宽,等.旱作麦田保护性耕作蓄水保墒和增产增收效应[J].农业工程学报,2010,26(8):44—51.

[26] 周少平,谭广祥,沈禹颖,等.保护性耕作下陇东春玉米—冬小麦—夏大豆轮作系统土壤水分动态及水分利用效率[J].草业科学,2008,25(7):69—76.

Effects of different conservation tillage measures on soil fertility , WUE and yield in winter wheat —spring maize rotation field of Weibei Highland

ZHANG Li-hua¹ , LI Jun¹ , JIA Zhi-kuan¹ , LIU Bing-feng¹ ,
ZHAO Hong-ti¹ , SHANG Jin-xia²

(1 .College of Agronomy , Northwest A & F University , Yangling , Shaanxi 712100 , China ;
2 .College of Forestry , Northwest A & F University , Yangling , Shaanxi 712100 , China)

Abstract : A continuous experiment was conducted in Weibei Highland in 2007~2010 to investigate effects of three soil conservation tillage measures , namely no-tillage (NT) , sub-soiling (SS) and deep-ploughing (DP) , on soil nutrient , water use efficiency (WUE) and crop yields under the rotation mode of winter wheat→spring maize , combined with bal-
ance fertilization , traditional fertilization and no (or low) fertilization treatments . The results indicated that , the nutrient of loam increased with the implementation of conservation tillage measures ; the sequence of the soil organic matter content changed from NT>SS>DP at the beginning of the experiment gradually into SS>NT>DP ; and the content of alkali-hy-
dro nitrogen , available P content and available K in surface soil under balanced fertilization condition was in order of NT
>SS>DP , and that under conventional fertilization condition and low (no) fertilization condition was SS>NT>DP ,
while that in SS treatment under both balanced fertilization and conventional fertilization conditions was the highest one of
three different tillage treatments in middle of soil ; the WUE and crop yields of rotation field were in order of SS>DP>
NT in the same fertilization treatment , and that under BSS (balanced fertilization and sub-soiling) treatment combination
was the highest one of 9 treatments , BDP (balanced fertilization and deep-ploughing) treatment combination was in the
second place . No matter combination with any fertilization treatment of the rotation mode of winter wheat —spring maize ,
sub-soiling tillage improved the soil nutrient , fertilizer use efficiency , WUE and crop yield significantly .

Keywords : Weibei Highland ; conservation tillage ; crop rotation ; soil nutrient ; water use efficiency ; yield

(上接第 188 页)

Affecting factors of precipitation infiltration depth in the field

FANG Wen-song , LIU Rong-hua , ZHU Zi-xi , MA Zhi-hong
(Key Laboratory of Agrometeorological Safeguard and Applied Technique , CMA&Henan ,
Henan Institute of Meterorological Science , Zhengzhou 450003 , China)

Abstract : Based on the theory of water balance in farmland and brimming infiltration , the relationship between pre-
cipitation infiltration depth and its impact factor was analyzed by taking use of soil moisture monitoring data from 2006~
2009 of four sites of automatic soil water observation stations as well as water infiltration model . The results showed that
there existed a linear relationship between infiltration depth and initial soil water content , amount of individual precipita-
tion process , and the days after precipitation , and it increased with the increase of three factors , especially with initial
soil water content . Infiltration depth was also affected by soil texture . With soil texture getting heavier or from sandy to
clay , the infiltration depth decreased .

Keywords : infiltration ; precipitation ; soil moisture ; time after the rain ; soil texture