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

闫小丽[1],薛少平[1*],王　翔[1],孙　涛[1],王忠友[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.陕西省渭南市农业机械技术推广站, 陕西 渭南 714000)

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,研究了裸地深松间隔年限,裸地与覆盖旋耕,覆盖深松深度,裸地与覆盖免耕,传统与秸秆还田翻耕 5 种类型 10 种耕作关键技术对农田土壤环境理化性状的影响。结果表明:两季作物的农田土壤环境理化性状,在裸地深松间隔年限三技术中,均以隔年深松各方面表现较好;在裸地与秸秆覆盖旋耕两技术中,均以秸秆覆盖旋耕各方面表现较好;在秸秆覆盖深松深度两技术中,均以秸秆覆盖深松各方面表现较好;在裸地与秸秆覆盖免耕两技术中,均以秸秆覆盖免耕各方面表现较好;而在翻耕两技术中,均以秸秆还田翻耕各方面表现较好。

关键词: 保护性耕作;一年两熟;土壤环境;理化性状;关中地区

中图分类号: S341.1　　**文献标志码:** A　　**文章编号:** 1000-7601(2013)06-0001-07

Research on comprehensive effect of the main practices of conservation tillage for double cropping system in Guangzhong basin of Shaanxi Province

——Ⅰ.Effect of main practices on soil physicochemical properties

YAN Xiao-li[1], XUE Shao-ping[1*], WANG Xiang[1], SUN Tao[1], WANG Zhong-you[2]

(1. *College of Mechanical and Electronic Engineering*, *Northwest A & F University*, *Yangling*, *Shaanxi* 712100, *China*;
2. *Winan agricultural machinery technique station*, *Weinan*, *Shaanxi* 714000, *China*)

Abstract: In order to cope with the problems facing conservation tillage practices in double cropping system Guanzhong basin, Shaanxi Province, the effects of five types and ten main tillage techniques on soil physicochemical properties was investigated, using conventional tillage as control. The results showed that: the physico-chemical properties of the soil environment of double cropping system exhibited higher values for the subsoiling techniques without straw mulching. Rotary tillage with straw mulching showed high values compared with rotary tillage with no straw mulching. Deep subsoiling performed better than shallow subsoiling under straw mulching. Non-tillage with no straw mulching were better than no-tillage with straw mulching. In addition, plowing tillage with straw returning between the two practices of plowing tillage had a good performance.

Keywords: conservation tillage; double cropping system; soil physico-chemical properties; Guanzhong basin

保护性耕作技术,是现阶段重点推广的土壤耕作技术。它既是对传统耕作技术的一次革命,也是实现农业良性循环、可持续发展、节本增效和确保粮食安全的重要措施[1]。然而,在经济发达、现代保护性耕研究应用最早、水平较高的国家,一般没有一年两熟种植方式,即使在我国北方一年两熟地区,保护性耕作的研究与应用也比较少。从目前所掌握的资料看,我国以北京农业大学连续 9 年“覆盖免耕两熟定位试验”[2]、河北“一年两熟地区少、免耕栽培技术”[3]和山东“深松覆盖沟播技术”研究[3]较早,但由

收稿日期: 2013-06-17
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: 闫小丽(1969—),女,陕西永寿人,副教授,硕士生导师,主要从事农业装备研究。E-mail:yxl19212@nwsuaf.edu.cn。
* **通信作者:** 薛少平(1953—),男,陕西靖边人,研究员,主要从事农机装备开发与推广工作。E-mail:shaoping@nwsuaf.edu.cn。

于技术单一,机具不配套,没有得到大面积推广应用;张海林在山东一年两熟地区研究了单季作物免耕条件下土壤水分利用与轮耕水分效应。周兴祥对一年两熟地区进行的保护性耕作进行了试验分析,得出一些方向性结论,也仅是单季作物,没有把两季作物考虑成一个整体来进行研究[4];刘立晶在一年两熟地区将玉米—小麦两季作物作为一个整体,进行了全程保护性耕作体系研究,最后得出两种有利于节约用水、提高水分利用效率及作物产量的保护性耕作体系[5]。同时,余泳晶、魏学忠、冯聚凯等,针对华北一年两熟地区进行了一些保护性耕作的试验研究与实践,得出共同的结论是,保护性耕作技术可抑制沙尘飞扬,减少大气污染,蓄水保墒,减轻水土流失,抗旱节水,培肥土壤,减少作业工序,降低生产成本,增加农民收益[6-8]。可以看出,以上这些保护性耕作技术研究及其它许多研究[9-15],均以免耕、少耕技术与传统耕作技术进行比较,然而,对每一关键技术的进一步深入研究则较少。如秸秆覆盖与不覆盖的比较,深松深度的比较,以及深松间隔年限的比较等,均鲜见报道。鉴于此,针对陕西省关中及同类冬小麦—夏玉米一年两熟地区推广保护性耕作技术存在的一些普遍问题,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机具试验示范园,连续 5 a 采用田间定位试验方法,对保护性耕作不同关键技术的农田土壤环境理化性状进行了研究,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理论依据。

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。该示范园位于陕西省关中平原西部,海拔 530 m,属暖温带半湿润季风气候,年均气温 12.9℃,年均降水量 635 mm,多集中在 7 ~ 10 月,无霜期 228 d,地下水位深 110 m,试验地土壤为塿土,肥力中上等,土地平整,肥力均匀;水利条件优越,可保证适时灌溉。在陕西关中一年两熟地区具有典型代表性。

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。

类型 1:裸地深松间隔年限,简称“裸地深松”。

关键技术(1):裸地连年深松,简称:“SSEY”,冬小麦在前茬玉米带秸秆收获后,连年进行深松,深松铲间距 40 cm,深松深度 35 cm,松后施肥、旋耕,并随即进行条播;夏玉米在前茬小麦收获时将秸秆粉碎覆盖地面,随后在秸秆覆盖地上免耕施肥、播种。

关键技术(2):裸地隔年深松,简称“SSEOY”。冬小麦在前茬玉米带秸秆收获后,间隔 1 a 深松 1 次,深松规格及小麦播种同关键技术(1);夏玉米播种同关键技术(1)。

关键技术(3):裸地隔 2 a 深松,简称“SSETY”。冬小麦在前茬玉米带秸秆收获后,间隔 2 a 深松 1 次;深松规格及小麦播种同关键技术(1);夏玉米播种同关键技术(1)。

类型 2:裸地与覆盖旋耕,简称“旋耕”。

关键技术(4):裸地旋耕,简称“RT”。冬小麦在前茬玉米带秸秆收获后,施肥、旋耕(旋耕深度 10 ~ 12 cm),并随即进行条播;夏玉米播种同关键技术(1)。

关键技术(5):秸秆覆盖旋耕,简称“RTSM”。冬小麦在前茬玉米收获时,掰棒留秸秆,并将秸秆粉碎覆盖地面,随后施肥、旋耕(旋耕深度 10 ~ 12 cm),并随即进行条播;夏玉米播种同关键技术(1)。

类型 3:覆盖深松深度,简称“深松深度”。

关键技术(6):秸秆覆盖深松,简称“SSSM”。冬小麦在前茬玉米收获时,掰棒留秸秆,并将秸秆粉碎覆盖地面,随后连年进行深松,深松规格及小麦播种同关键技术(1);夏玉米播种同关键技术(1)。

关键技术(7):秸秆覆盖浅松,简称“STSM”。冬小麦在前茬玉米收获时,掰棒留秸秆,并将秸秆粉碎覆盖地面,随后连年进行浅松,深松铲间距 40 cm,深松深度 20 cm,松后施肥、旋耕,并随即进行条播;夏玉米播种同关键技术(1)。

类型 4:裸地与覆盖免耕,简称“免耕”。

关键技术(8):裸地免耕 ,简称“NT”。冬小麦在前茬玉米带秸秆收获后,施肥、浅旋(5 cm),并随即进行条播;夏玉米播种同关键技术(1)。

关键技术(9):秸秆覆盖免耕,简称“NTSM”。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;夏玉米播种同关键技术(1)。

类型 5:传统与秸秆还田翻耕,简称“翻耕”。

关键技术(10):秸秆还田翻耕,简称“SRCT”。冬小麦在前茬玉米收获时,掰棒留秸秆,并将秸秆粉碎均匀 覆盖地面,随后施肥、翻耕(20 ~ 22 cm)、旋耕,并随即进行条播;夏玉米播种同关键技术(1)。

对照:传统翻耕,简称“CT”。冬小麦在前茬玉米带秸秆收获后,施肥、翻耕(20 ~ 22 cm)、旋耕,并随即进行条播;夏玉米在前茬小麦收获时,留茬 30 cm,随后在清除秸秆的茬地上免耕施肥播种。

1.3　试验方法

本试验自 2006 年开始连续 5 a 采用田间定位试验方法。试验采取随机排列,不设重复;小区面积 13 m × 134 m;关键技术(1) ~ (10)各处理冬小麦秸秆还田约 6 000 kg·hm^{-2},夏玉米秸秆还田(5)、(6)、(7)、(9)和(10)各处理约 7 500 kg·hm^{-2}。5 种类型 10 种关键技术和对照同一施肥水平:冬小麦播前结合整地,每公顷施磷酸二铵 300 kg、尿素 300 kg,冬季结合灌溉每公顷施尿素 150 kg;夏玉米在苗期结合灌水每公顷追施尿素 375 kg。冬小麦播种,除关键技术(9)采用“碎秆免耕播种机”进行播种外,其余各关键技术均采用“条播机”进行播种,每公顷播量 150 kg;夏玉米统一采用“免耕播种机”进行播种,每公顷播量 60 kg;灌水,冬小麦越冬期灌水 1 次,夏玉米拔节期灌水 1 次。

1.4　观测项目及方法

1.4.1　土壤容重　采用环刀法,在每茬作物的幼苗期取样测定 0 ~ 10 cm、10 ~ 20 cm 和 20 ~ 30 cm 土层的土壤容重,每处理随机取样,3 次重复。

1.4.2　土壤水分测定　采用土钻取土烘干称重法,时间在每茬作物收获后、作业前;测定深度 0 ~ 200 cm;取样间隔 0 ~ 100 cm 为 10 cm,100 ~ 200 cm 为 20 cm;每处理随机取样,3 次重复。土壤含水量的计算:

土壤含水率(%) = (湿土质量 - 烘干土质量)/烘干土质量 × 100%

1.4.3　土壤贮水量计算　2 m 土层不同层次的贮水量,可根据所测土壤含水率(%)进行计算。其换算公式为:

$$土壤贮水量(mm) = p \times H \times w \times 0.1$$

式中,p 为土壤容重(g·cm^{-3});H 为土层厚度(cm);w 为土壤含水率(%);0.1 为换算系数。

1.4.4　土壤养分测定　每茬作物收获后和作业前,每处理按“S”型布点,每点采集 15 个,深度 20 cm,并进行混合,用以测定土壤养分变化:土壤有机质用重铬酸钾外加热法;全氮用凯氏法消解、AA3 连续流动分析仪测定;有效氮用 1.0mol·l^{-1} KCl 浸提、AA3 连续流动分析仪测定;速效磷用 0.5 mol·l^{-1} $NaHCO_3$ 浸提、钼锑抗比色法;速效钾用 1.0 mol·l^{-1} NH_4OAC 浸提、火焰光度法。

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;用 Sigmaplot 11.0 作图。

不同关键技术通过连续 5 a 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 生产年度试验结果为例。

2　结果与分析

2.1　不同关键技术对耕层土壤容重的影响

在 2010—2011 生产年度冬小麦、夏玉米的幼苗期,测定不同关键技术耕层不同层次的土壤容重,其结果见图 1。

从图 1 可以看出,关键技术不同,其耕层土壤容重存在很大差异。

在三种裸地深松间隔年限处理中,不论是冬小麦还是夏玉米,耕层不同层次的土壤容重均以连年深松处理最低,隔年深松处理次之,隔 2 a 深松处理最高,且各处理间差异显著($P < 0.05$),并有随土层加深土壤容重呈逐渐增加趋势。

在两种旋耕处理中,以秸秆覆盖旋耕处理两茬作物不同层次的土壤容重均较低,且随土层的加深呈逐渐增加趋势,和裸地旋耕比较差异显著($P < 0.05$),但主要还是表现在 0 ~ 10 cm 土层,这与秸秆经旋耕混入表层有关,而 10 ~ 20 cm 和 20 ~ 30 cm 土层由于受扰动较少或未经扰动,因而两种旋耕处理的土壤容重均较高。

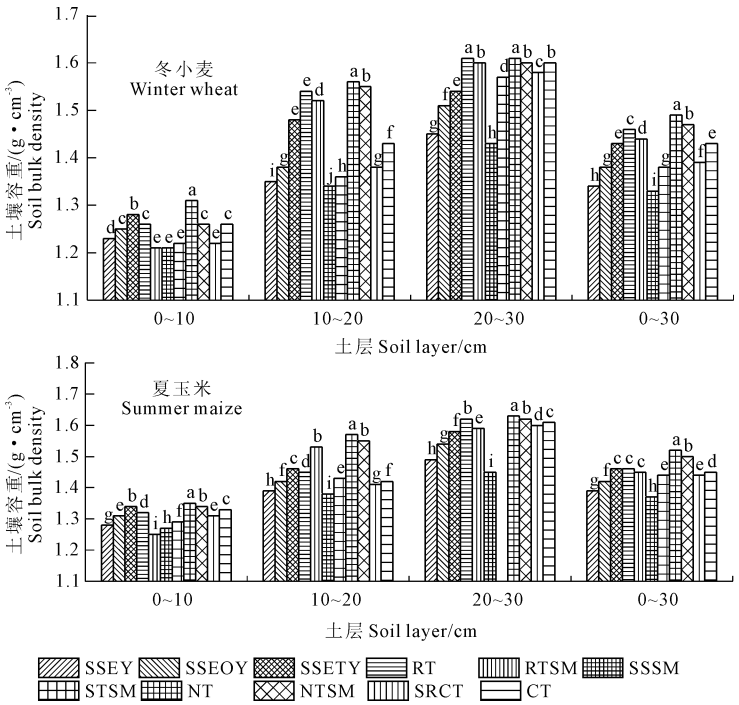
在两种覆盖深松深度处理中,以秸秆覆盖深松处理两茬作物不同层次的土壤容重均较低,和秸秆覆盖浅松处理比较差异显著($P < 0.05$),且随土层加深呈逐渐增加趋势,秸秆覆盖浅松处理 20 ~ 30 cm 的土壤容重,由于犁底层未动,而相对比较高。

在两种免耕处理中,以秸秆覆盖免耕处理两茬作物不同层次的土壤容重均较低,但其差异也主要表现在 0 ~ 10 cm 土层,10 cm 以下两处理间差异均较小,而且容重均比较高,这是由于多年免耕不动耕层所致。

在两种翻耕处理中,以秸秆还田翻耕处理耕层各层次的土壤容重较低,但主要还是表现在 0 ~ 20 cm 土层,且两处理间差异显著($P < 0.05$)。这是由于长时期的秸秆还田,增加了耕层土壤有机质的缘故,而 20 cm 以下,两处理容重均比较大。

2.2　不同关键技术对耕层土壤养分的影响

以 2011 年秋试验结束夏玉米地为例。夏玉米收获后不同关键技术耕层各种土壤养分较试验前的增加量,见图 2。



注:同列小写字母代表差异达 5%显著水平,下同。

Note: Different small letters in the same column indicate significant difference at 5% level. The same as below.

图 1 不同关键技术两料作物幼苗期耕层土壤容重比较

Fig.1 Comparison of soil bulk density at seeding stage of winter wheat and summer maize among different key technologies

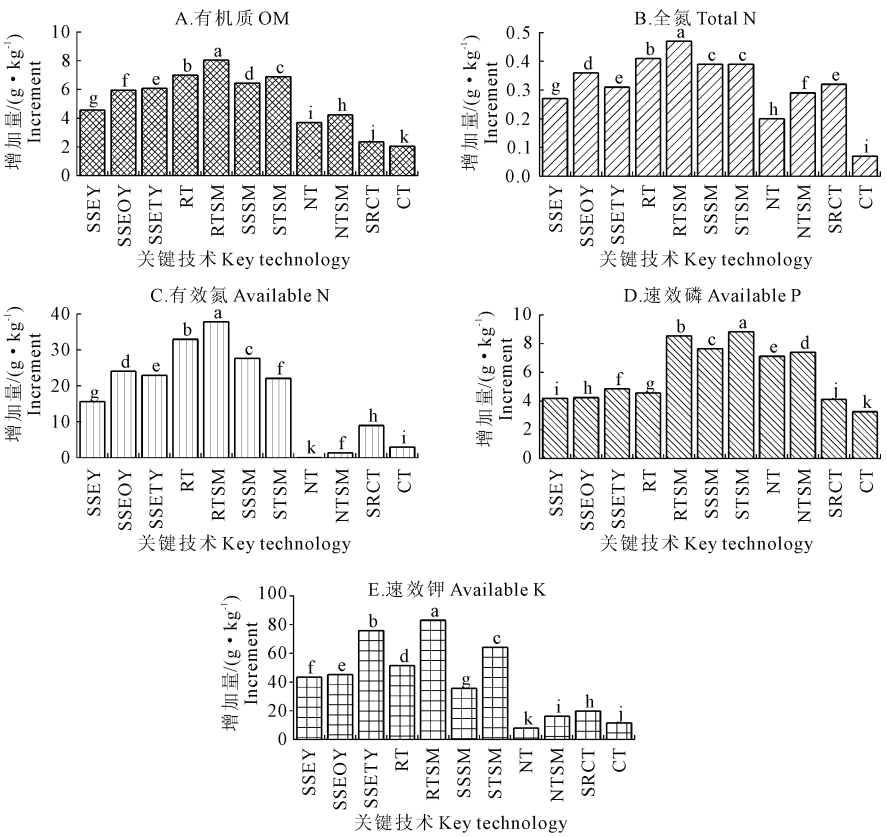


图 2 不同关键技术试验前后耕层土壤养分增加量比较

Fig.2 Comparison of soil nutrients before and after experiment among different key technologies

从图 2 可以看出,不同关键技术耕层土壤养分含量,试验后较试验前均有不同程度增加。在三种裸地深松间隔年限处理中,以间隔 2 a 深松处理土壤有机质、速效磷和速效钾增加最多,而全氮和有效氮则较低于隔年深松处理;但总的来说,以隔 2 a 深松处理增加养分含量的效果最好,其次是隔年深松处理,再次是连年深松处理,这与隔 2 a 深松处理,对土壤扰动少,有利土壤养分积累有关;在两种旋耕处理中,耕层各种养分均以秸秆覆盖旋耕处理增加最多,而裸地旋耕处理均较少,这是由于旋耕将秸秆混入土中,更容易被释放分解的缘故;在两种深松深度处理中,以覆盖浅松土壤有机质、速效磷和速效钾含量增加最多,而有效氮增加量则低于覆盖深松处理,这与深松打破犁底层利于养分在土壤中转移有关;在两种免耕处理中,耕层各种养分增加均以秸秆覆盖免耕处理最多,而裸地免耕处理则较少,这与秸秆覆盖增加土壤养分有关;在两种翻耕处理中,耕层各种养分增加均以秸秆还田翻耕处理最高,而传统翻耕处理则较少,这是由于秸秆还田增加土壤中各种养分所致。

2.3　不同关键技术对土壤水分状况的影响

2.3.1　冬小麦收获后不同关键技术的土壤水分状况比较　2011 年冬小麦收获后,不同关键技术 2 m 土层的土壤水分状况,见图 3。

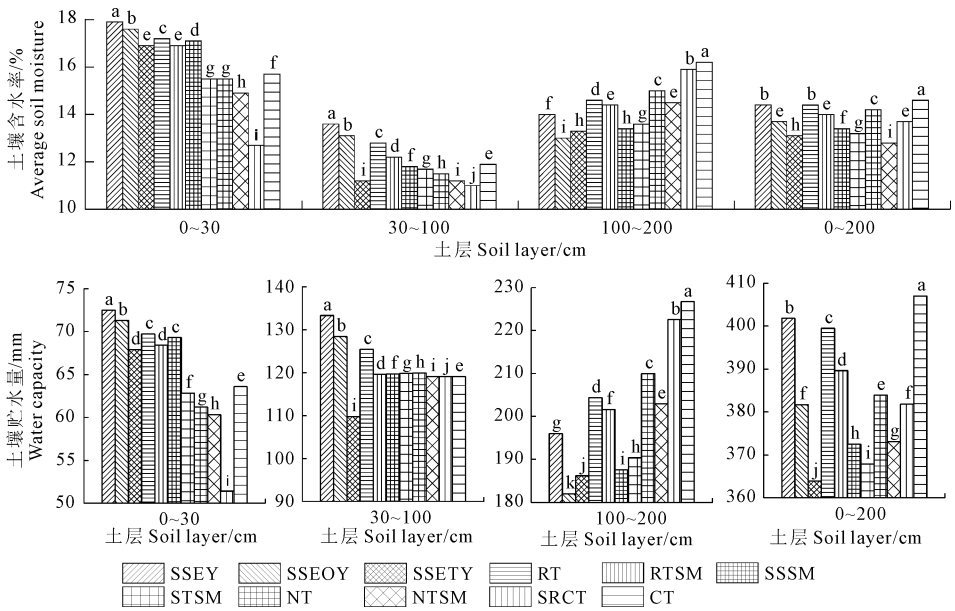


图 3　不同关键技术冬小麦收获后土壤水分状况比较

Fig.3　Comparison of soil moisture in winter wheat after harvesting among different key technologies

从图 3 看,2011 年冬小麦收获后不同关键技术 2 m 土层的土壤含水率均降至全年最低值。尽管如此,不同处理间仍因冬小麦生育状况和产量高低的不一样,而表现出显著差异。在三种裸地深松间隔年限处理中,以连年深松处理不同层次的土壤含水率和贮水量最高,隔年处理次之,隔 2 a 处理最低,且各处理间差异显著($P<0.05$);在两种旋耕处理中,以裸地旋耕处理不同层次的土壤含水率和贮水量最高,而秸秆覆盖旋耕处理相对较低,且两处理间差异显著($P<0.05$);在两种覆盖深松深度处理中,以秸秆覆盖深松处理不同层次的土壤含水率和贮水量最高,而秸秆覆盖浅松处理则相对较低,且两处理间差异显著($P<0.05$);在两种免耕处理中,以裸地免耕处理不同层次的土壤含水量和贮水量最高,而秸秆覆盖免耕处理则较低,且两处理间差异显著($P<0.05$);在两种翻耕处理中,以传统翻耕处理不同层次的土壤含水率和贮水量最高,而秸秆还田翻耕处理相对较低,且两处理间差异显著($P<0.05$)。以上各处理 2 m 土层土壤含水率和贮水量多少均与冬小麦产量高低相关。一般冬小麦产量高的处理,则土壤含水率和贮水率均比较低,反之,均比较高。

2.3.2　夏玉米收获后不同关键技术的土壤水分状况比较　2011 年夏玉米收获后,不同关键技术 2 m 土层的土壤水分状况,见图 4。

图 4 表明,虽然 2010 年秋季降水较多,但由于各处理间夏玉米生育状况和产量高低的不一样,仍表现出显著差异。在三种裸地深松间隔年限处理中,以连年深松处理不同层次的土壤含水率和贮水量较高,隔年深松处理次之,隔 2 a 深松处理较低,且各处理间差异显著($P<0.05$);在两种旋耕处理

中,以裸地旋耕处理不同层次土壤含水率和贮水量较高,而秸秆覆盖旋耕处理则较低,且两处理间差异显著($P<0.05$);在两种覆盖深松深度处理中,以秸秆覆盖浅松处理不同层次的土壤含水率和贮水量较高,而秸秆覆盖深松处理则较低,且两处理间差异显著($P<0.05$);在两种免耕处理中,以裸地免耕处理不同层次的土壤含水率和贮水量较高,而秸秆覆盖免耕处理则较低,且两处理 30 cm 以下土层间无大的差异;在两种翻耕处理中,以传统翻耕处理不同层次的土壤含水率和贮水量较高,而秸秆还田翻耕处理则较低,且两处理间差异显著($P<0.05$)。同样,夏玉米产量高的一般 2 m 土层土壤含水率和贮水量均较低,反之,均比较高。

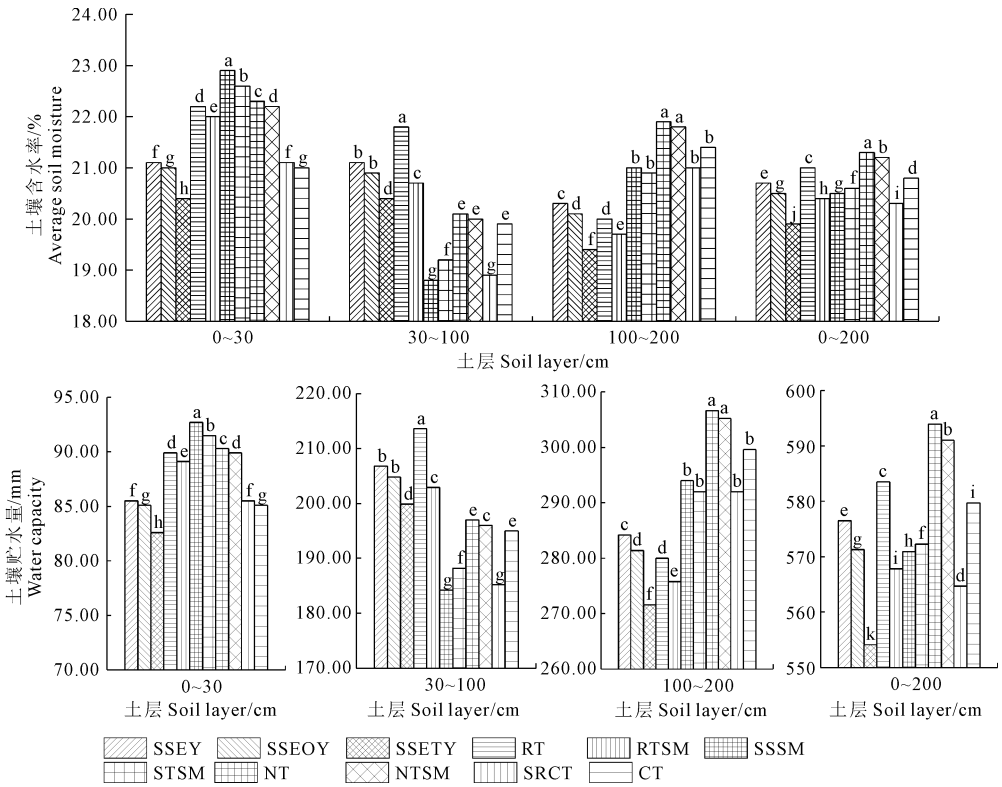


图 4 不同关键技术夏玉米收获后土壤水分状况比较

Fig.4 Comparison of soil moisture in summer maize after havesting among different key technologies

3 结论与讨论

通过连续 5 a 定位试验,特别是对 2009—2011 年保护性耕作不同关键技术农田土壤环境理化性状的研究,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,其农田土壤环境理化性状,经综合分析均以隔年深松技术各方面表现较好。也就是说,深松不一定年年进行,因为年年深松耕层土壤过于松散,隔 2 a 深松过于紧实,所以以间隔 1 a 进行 1 次深松较好。这样,既可打破犁底层,增加耕层土壤的通透性,又可创造良好的种床层,满足前后作物正常生长发育的需要。这与杨春峰[9]、何进[16]等经多年试验得出深松也不能在同一块地长期使用的研究结论一致。

2) 裸地与秸秆覆盖旋耕两技术试验中,两季作物均以秸秆覆盖旋耕技术的农田土壤环境理化性状各方面表现较好。旋耕技术目前应用很广泛,并多为裸地旋耕,即便是秸秆覆盖旋耕,虽能抓住季节及时播种,但长期应用会使 10 cm 以下耕层过于紧实,这样既不利于透水通气,也不利于作物根系下扎,而且表层土过于疏松,既会造成土壤严重跑墒,又会破坏土壤结构,所以应作为一项表土耕作技术,与基本耕作技术相结合应用效果会更好。本研究结果与杜兵等[17-19]一些学者的研究,免耕、深松增加播前耙地作业后,小麦休闲期蓄水效果和水分利用效率得到一定程度提高的结果基本一致。

3) 秸秆覆盖深松深度两技术试验中,两季作物均以秸秆覆盖深松技术的农田土壤环境理化性状诸方面表现最好。这一技术和裸地连年深松一样,同为连年深松,而所不同的就是本处理有秸秆覆盖,连

续多年有秸秆覆盖,每公顷约计 7 500 kg,这么多的秸秆覆盖还田,既培肥土壤,又改良结构,会使作物生育的水、肥、气、热环境条件明显改善。这与杨春峰[9]、褚鹏飞[19]等一些学者研究所得,深松,特别是深松加秸秆覆盖有利于蓄水保墒,尤其是有利于提高土壤深层贮水量的结果相一致。

4) 裸地与秸秆覆盖免耕两项技术试验中,两季作物的农田土壤环境理化性状均以秸秆覆盖免耕技术各方面表现相对较好。但这明显不如其它关键技术,这与大部分学者[19-22]认为长期采用免耕技术,会对土壤特别是耕层土壤理化性状产生不良影响,使土壤容重增加,犁底层上移,耕层变浅,结构性差,不利于作物的生长发育的结果相一致。而周兴祥等[4]的研究认为,以免耕加覆盖为主的保护性耕作技术,能够增加土壤的含水率,其对土壤容重和土壤温度的影响并未对作物的生长产生不利影响,因此可以在华北平原一年两熟地区试验推广,至于保护性耕作引起土壤容重增加、温度降低的问题,从长远考虑必须引起足够的重视。

5) 秸秆还田与裸地翻耕两技术试验中,两季作物的农田土壤环境理化性状均以秸秆覆盖还田翻耕技术各方面均最好。但这一技术长期采用会对耕层土壤碾压破坏严重,使犁底层加厚,透水通气性变差,而影响作物的生长发育。传统翻耕技术虽然存在一些问题,可是它在土壤改良、杂草防除方面的效果却是其它技术难以代替的。因此,针对关中一年两熟地区水土流失轻、沙尘飞扬不严重的实际,为了有效改良土壤,控制麦田杂草为害,可将传统翻耕技术,特别是秸秆还田翻耕技术纳入关中一年两熟地区的保护性耕土壤轮耕体系之中[22-23]。而且孔凡磊等[18]的研究也表明,长期免耕后进行土壤耕作(包括翻耕)有利于改善土壤物理性状,提高作物产量。

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)[G].北京:农业部农机化管理司,2009.

[2] 蒋金琳,马廷玺,郭佩玉.北京夏玉米免耕覆盖播种技术及配套机具的研究[J].干旱地区农业研究,1997,15(3):103-106.

[3] 张海林.华北平原麦玉两熟区覆盖免耕土壤—作物系统农田耗水与调控[D].北京:中国农业大学,2001.

[4] 周兴祥.一年两熟地区机械化保护性耕作体系试验分析[D].北京:中国农业大学,2001.

[5] 刘立晶.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.

[6] 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):61-64.

[7] 魏学忠.一年两熟粮食高产区保护性耕作初见成效[J].河北农机,2005,(6):18-19.

[8] 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].中国农业通报,2006,22(6):177-181.

[9] 杨春峰,韩思明,史俊通,等.渭北旱原抗旱耕作法研究[J].耕作与栽培,1988,(4):11-17.

[10] 李立群,薛少平,王虎全,等.渭北高原旱地春玉米不同种植模式水温效应及增产效应研究[J].干旱地区农业研究,2006,24(1):33-38.

[11] 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):1-8.

[12] 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.

[13] 李立科,赵二虎.旱地小麦高留茬少耕全程覆盖高产技术体系研究[J].西北农业学报,1998,7(4):86-90.

[14] 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.

[15] 陈君达,王兴文,李洪文.旱地农业保护性耕作体系与免耕播种技术[J].北京农业工程大学学报,1993,13(1):27-33.

[16] 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].农业工程学报,2006,22(10):62-67.

[17] 杜　兵,李问盈,邓　健,等.保护性耕作表土作业的田间试验研究[J].中国农业大学学报,2000,5(4):65-67.

[18] 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(8):150-153.

[19] 褚鹏飞,于振文,王　东,等.耕作方式对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.

[20] 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.

[21] 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.

[22] 姚万生,雷树武,薛少平.关中地区麦田杂草危害状况及防除对策[J].干旱地区农业研究,2008,26(4):121-125.

[23] 韩思明,薛少平.渭北高原降水资源机械高效利用图文集[M].西安:陕西科技出版社,2006.