植物营养与肥料学报 2014,20(5):1139-1150
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer doi: 10.11674/zwyf.2014.0510

利于小麦—玉米轮作田土壤理化性状和作物产量的耕作方式研究

王玉玲, 李 军*
(西北农林科技大学农学院, 陕西杨凌 712100)

摘要:【目的】干旱缺水是陕西渭北旱塬粮食生产的主要矛盾。该区长期采用单一土壤耕作方法,造成土壤质地紧实,蓄水纳墒和提供营养的能力变差,直接影响粮食作物产量的提高。本文通过多年不同轮耕方式定位试验研究,旨在探讨免耕/深松、深松/翻耕和翻耕/免耕3种土壤轮耕模式对旱地冬小麦—春玉米轮作田土壤理化性状和作物产量的影响。**【方法】**以平衡施肥(每公顷基施N 150 kg、P_2O_5 120 kg和K_2O 90 kg)为主处理,免耕、深松和翻耕3种耕作方式组成免耕/深松、深松/翻耕和翻耕/免耕3种土壤轮耕模式为副处理,以连年免耕、连年深松和连年翻耕为对照,进行为期连续4年(2007～2011年)的土壤轮耕结合平衡施肥定位试验,详细探讨了不同土壤处理模式对土壤的理化性状和作物产量的影响。**【结果】**在四年试验中,免耕/深松、深松/翻耕和翻耕/免耕模式下的0—40 cm土壤容重较连年免耕分别降低4.50%、6.45%和3.57%,深松/翻耕较连年深松无差异,而较连年翻耕降低1.78%。深松/翻耕较对照组0—40 cm土壤有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮和速效钾分别增加0.27%～15.60%、3.14%～8.61%、3.76%～24.32%、15.62%～25.17%、10.90%～14.43%、8.61%～15.53%,翻耕/免耕较连年翻耕仅有机质、全氮、碱解氮和速效钾含量提高。各处理的0—40 cm土壤>0.25 mm水稳性团聚体含量依次为连免>免/深>连深>深/翻>翻/免>连翻,连免显著高于($P<0.05$)其他处理1.1～2.5倍。冬小麦和春玉米籽粒产量有3年表现为深松/翻耕>免耕/深松>翻耕/免耕,2009年在免耕/深松轮耕模式下春玉米产量显著高于深松/翻耕模式。其余免耕/深松较连年免耕增产12.05%($P<0.05$),深松/翻耕较连年免耕增产18.15%($P<0.05$)、较连年深松增产4.55%($P<0.05$),较连年翻耕增产11.22%($P<0.05$),比免耕/深松和翻耕/免耕分别增产5.44%($P<0.05$)和14.57%($P<0.05$);而翻耕/免耕则在各方面的效应下降,增产效果降低,较连年翻耕减产2.92%($P<0.05$)。总之,以免耕/深松和深松/翻耕轮耕模式可创造良好的土壤耕层结构,增加水稳性团聚体,降低耕层及耕层以下土壤容重,提高土壤养分,促进作物生长发育。其中以深松/翻耕轮耕模式的效果较为明显,增产效果更突出。**【结论】**在渭北旱塬干旱少雨的生态环境下,深松/翻耕土壤耕作模式可以显著改善土壤的理化性状,提高土壤水性团聚体,降低土壤容重,释放土壤养分,从而提高作物产量,是陕西省渭北旱塬及类似地区冬小麦、春玉米一年一熟制作物轮作模式最佳的土壤轮耕模式,其次是免耕/深松轮耕模式。

关键词: 渭北旱塬; 轮耕制度; 土壤理化性状; 作物产量
中图分类号: S341.1; S152.5 **文章标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2014)05-1139-12

Study of tillage patterns suitable for soil physicochemical properties and crop yields in wheat/maize fields

WANG Yu-ling, LI Jun*
(*College of Agronomy, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China*)

Abstract:【Objectives】Weibei Highland, part of Loess Plateau of China, is characterized by drought and rainless throughout the year, and the lack of natural rainwater is the main reason for crop cultivation. A long-term practice of applying single soil tillage treatment in this area causes soil compaction, poor ability of storing rainwater and

收稿日期: 2013-10-20 **接受日期:** 2013-12-09
基金项目: 国家"863"项目(2013AA102902);公益性行业(农业)科研专项(201303104);"十一五"国家科技支撑计划项目(2006BAD29B03);国家自然科学基金项目(30771280,31071374)资助。
作者简介: 王玉玲(1982—),女,河南沈丘人,博士研究生,主要从事旱区农业生态、高效农作制度研究。E-mail: wangyuling634@163.com
* 通信作者 E-mail: junli@nwsuaf.edu.cn

providing nutrition, influencing the crop yields. In this study, the effects of different rotational tillage patterns on soil physicochemical properties and crop yields were investigated by conducting a long-term experiment in wheat/maize fields. **【Methods】** A four-year field experiment was conducted. Balance fertilization (N 150 kg, P_2O_5 120 kg and K_2O 90 kg per hectare) was used as main plot and tillage systems including notillage/subsoiling rotation pattern (NT/SS), sub-soiling/ploughing rotation pattern (SS/P) and ploughing/notillage rotation pattern (P/NT) were used as subplots. Continuous no-tillage, sub-soiling and ploughing were used as controls. **【Results】** Compared with the continuous no-tillage, the soil bulk density of 0 –40 cm soil layer under NT/SS, SS/P and P/NT was decreased by 4.50%, 6.45% and 3.57%, respectively. No difference was found between SS/P and continuous subsoiling. The SS/P decreased the soil bulk density by 1.78% compared with continuous ploughing. Compared with controls, organic matter content, total N, P, K contents, available N and K contents in 0 –40 cm soil layer under SS/P are increased by 0.27% – 15.60%, 3.14% – 8.61%, 3.76% – 24.32%, 15.62% – 25.17%, 10.90%–14.43%, 8.61%–15.53%, respectively. The organic matter content, total N and available N content under P/NT are increased compared with continuous ploughing. The >0.25 mm water-stable aggregate contents of different tillage patterns in 0 –40 cm soil depth are in order of continuous NT > NT/SS > continuous SS > SS/P > P/NT > continuous ploughing. The water-stable aggregate contents under continuous no-tillage is significantly higher than all the other treatments (1.1 –2.5 times). The four-year average yields of both winter wheat and spring maize in SS/P are higher than in NT/SS and P/NT, except the spring maize yield in 2009. Compared with continuous no-tillage, NT/SS increased crop yields by 12.05% ($P<0.05$). Compared with continuous no-tillage, continuous sub-soiling and continuous ploughing treatments, the crop yields under the SS/P were significantly increased by 18.15%, 4.55% and 11.22%, respectively. The crop yields in SS/P are 5.44% and 14.57% higher than those in NT/SS and P/NT. The of P/NT is weak in the investigated soil physicochemical effects and the crop yields is decreased by 2.92% ($P<0.05$). In general, NT/SS and SS/P systems had the better abilities of reducing soil bulk density, increasing soil water-stable aggregate, improving soil nutrients and promoting crop growth and development. **【Conclusions】** In drought and rainless regions, the sub-soiling/ploughing rotation pattern could significantly improve the soil physicochemical properties, increase water-stable aggregates content, decrease soil bulk density, thereby stimulate the release of soil nutrition and improve crop yields. Therefore, no-tillage/sub-soiling rotation and sub-soiling/ploughing rotation patterns can be employed in Weibei Highland and similar areas for improving soil fertility and crop yield.

Key words: Weibei Dryland; tillage pattern; soil physicochemical property; crop yield

渭北旱塬位于陕西省的中北部,冬小麦和春玉米是当地重要的粮食作物,其产量对确保陕西省粮食安全和畜牧业发展具有重要意义[1-2]。但干旱缺水和土壤贫瘠严重制约着该区农业生产的发展[3-4]。土壤是作物赖以生存的基础,土壤耕作的目的就是通过机械物理作用,改变土壤物理性状,为作物生长发育创造适宜的土壤生态环境,促进作物增产[5]。大量生产实践表明,长期采用单一土壤耕作方法会产生不利于作物生长发育的土壤环境,如长期翻耕致使土壤表层裸露,耕层疏松,失墒严重,同时形成犁底层,影响土壤蓄水、保墒和作物根系下扎;长期采用少、免耕,则会使耕层土壤容重增加,犁底层上移,耕层变浅,结构性变差,不利作物生长发育,导致作物产量降低[6-14]。然而,国内外的一些研究表明,将翻耕、深松和免耕等耕作方法按照一定轮作方式集成为特定的土壤轮耕体系,可减轻长期采用单一土壤耕作方法所带来的各种弊端,改善土壤环境[15-18]。何进等[19]研究认为,在中国北部半干旱地区,免耕与深松联合能够提高玉米产量和水分利用效率。He 等[20]认为,与传统耕作相比,4 年免耕加 1 年深松能够减少因机具作业引起的土壤压实,促进小麦增产 20.9%,提高玉米经济效益 49%。Vetsch 等[21]研究表明,与长期免耕和带状耕作相比,凿形松土铲耕作与带状耕作轮耕能够最大程度地增加玉米和大豆产量,但其经济效益的提高并不一致。鉴此,本研究从 2007 年秋季开始,在渭北旱塬东部冬小麦—春玉米一年一熟轮作旱地上,以连年免耕、连年深松和连年翻耕为对照,将免耕、深松

和翻耕等3 种土壤耕作方式组成3 种土壤轮耕模式进行定位比较试验,旨在为渭北旱塬及同类地区建立与当地一定作物轮作方式相配套的保护性轮耕模式提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试区概况

试验区设在陕西省合阳县甘井镇西北农林科技大学旱农试验基地内,位于渭北旱塬东部(北纬35°33′、东经110°08′),海拔900 m,属典型半湿润易旱区。年均气温11.5℃,年日照时数2528 h,无霜期190 d,年降水量550 mm左右,年蒸发量1832.8 mm,干燥度为1.5。降水量年季间变化大,季节间分布不均匀,50%以上集中在7、8、9月份。

试验地长期采用翻耕,地势平坦,土壤为中壤质黑垆土,pH值8.2,田间持水量22.1%。2007年试验时前茬作物为春玉米,0—40 cm土层土壤容重为1.39 g/cm^3,土壤有机质、全氮、全磷和全钾含量分别为9.82、0.75、0.50和6.31 g/kg,碱解氮、速效磷和速效钾分别为27.74、18.62和98.91 mg/kg。

1.2　试验设计

试验从2007年9月下旬前茬春玉米收获后开始至2011年秋春玉米收获,在旱地冬小麦—春玉米一年一熟制轮作田实行保护性轮耕定位试验,即连续保持每种轮耕处理及各对照小区的固定位置不变。

试验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。

根据陕西省农业厅对旱作冬小麦和春玉米平衡施肥推荐方案,在作物播种前,各处理基施N 150 kg/hm^2、P_2O_5 120 kg/hm^2、K_2O 90 kg/hm^2,均匀撒施,拖拉机旋耕。试验中冬小麦和春玉米每年依次轮换种植,即第1年种冬小麦,第2年种春玉米,第3年又种冬小麦,第4年再种春玉米。冬小麦在试验期间不追肥,春玉米在大喇叭口期追施N 150 kg/hm^2。

耕作处理以连年免耕、连年深松和连年翻耕处理为对照,并将免耕、深松和翻耕3种土壤耕作方法组合成3种不同的土壤轮耕模式,共计6个处理:1)连年免耕(CN);2)连年深松(CS);3)连年翻耕(CP);4)免/深,即"免耕/深松"轮耕(N/S);5)深/翻,即"深松/翻耕"轮耕(S/P);6)翻/免,即"翻耕/免耕"轮耕(P/N)。各处理中的免耕处理,在播种前不采取任何耕作措施,秸秆全额均匀覆盖地面;深松处理,在全额秸秆覆盖的地上用深松机间隔60 cm进行深松,耕作深度30～35 cm,大部分秸秆覆盖地面;翻耕处理,在全额秸秆覆盖的地上用铧式犁翻深20～25 cm,全部秸秆翻埋入土。

试验小区面积为22.5 m×5 m=112.5 m^2。每年作物收获时,冬小麦用联合收割机收获时留20 cm高茬秸秆覆盖地表,春玉米收获后采用玉米秸秆粉碎机将秸秆切碎至5～10 cm长度均匀覆盖地表,各耕作处理小麦和玉米秸秆还田量各年有差异,小麦约为4500～7000 kg/hm^2,玉米约为6000～10000 kg/hm^2。

供试作物冬小麦为晋麦47,播量150 kg/hm^2;春玉米为豫玉22,播量52.5 kg/hm^2。冬小麦用条播机播种,行距20 cm;春玉米用点播机播种,行距66 cm、株距29 cm,每公顷留苗52500株。

1.3　测定项目与方法

1.3.1 土壤容重　采用环刀法[22],2007年秋耕后及每茬作物收获后,按0—20 cm和20—40 cm两个层次采集土样进行测定。

1.3.2 土壤养分　试验前和作物收获后,分别采集0—20 cm和20—40 cm土层土样,用于土壤养分测定。有机质采用重铬酸钾外加热法;全氮用凯氏定氮法;碱解氮用碱解扩散法;速效磷用$NaHCO_3$浸提—钼锑抗比色法;速效钾用NH_4OA_C浸提—火焰光度法测定。

1.3.3 土壤水分　采用烘干法,测定0—200 cm土层土壤含水量,每20 cm土层取土,计算播前土壤贮水量(mm)。土壤贮水量计算公式:

$$W = h \times a \times b \times 10/100$$

式中,W为土壤贮水量(mm),h为土层深度(cm),a为地段实测土壤容重(g/cm^3),b为土壤含水量(%)。

1.3.4 土壤水稳性团聚体　试验前和作物收获后,以"S"型5点取样法在0—10 cm、10—20 cm、20—30 cm和30—40 cm土层采集原状土,在室内自然风干后挑去粗根和小石块,并将大土块沿土壤的自然结构轻轻剥离为1 cm^{3}左右。采用湿筛法测定不同土层的水稳性团聚体[23]。

1.3.5 作物产量构成因素　冬小麦成熟后,每小区随机取3个点,每点取1 m^2,测定每1 m^{2}的穗数,计算每公顷的有效穗数;每点取20穗,共60穗,测定穗粒数和千粒重;春玉米成熟后,每小区随机取3行,每行长10 m,测定每行的成穗数,计算每公顷的有效穗数;然后每点取10穗,共30穗,测定穗粒数

和千粒重。

1.3.6 作物籽粒产量　在作物成熟后,冬小麦每小区选3个点,每点3 m^2,共取9 m^2,脱粒、晒干,称重计产;春玉米每小区选3个点,每点取20株,共取60株,脱粒,晒干,称重计产。

1.4 数据处理

采用SAS 8.01数据处理软件对试验数据进行单因素方差(ANOVA)分析,用LSD法进行显著性检验($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同耕作处理对土壤容重的影响

土壤容重影响土壤通透性和土壤养分的转化与利用,是衡量土壤紧实程度的重要指标。在不同土壤耕作处理下,耕层0—20 cm和耕层以下20—40 cm土壤容重差异明显。

由图1可以看出,2007年秋耕后,0—20 cm土层土壤容重呈现:连免≥免/深>连深≥深/翻>连翻≥翻/免的趋势。其中,连免和免/深、连深和深/翻、连翻和翻/免处理之间差异不显著(图1A)。连免和免/深均采用了免耕处理,平均土壤容重为1.31 g/cm^3,分别高出连深、深/翻处理和连翻、翻/免处理6.5%和9.2%;连深、深/翻均采用了深松处理,平均土壤容重为1.23 g/cm^3,较连翻、翻/免处理高2.5%。20—40 cm土层连免、免/深和连翻、翻/免的土壤容重均达到1.45 g/cm^3,而连深和深/翻的土壤容重平均值为1.31 g/cm^3,较其他耕作处理低9.7%(图1B)。

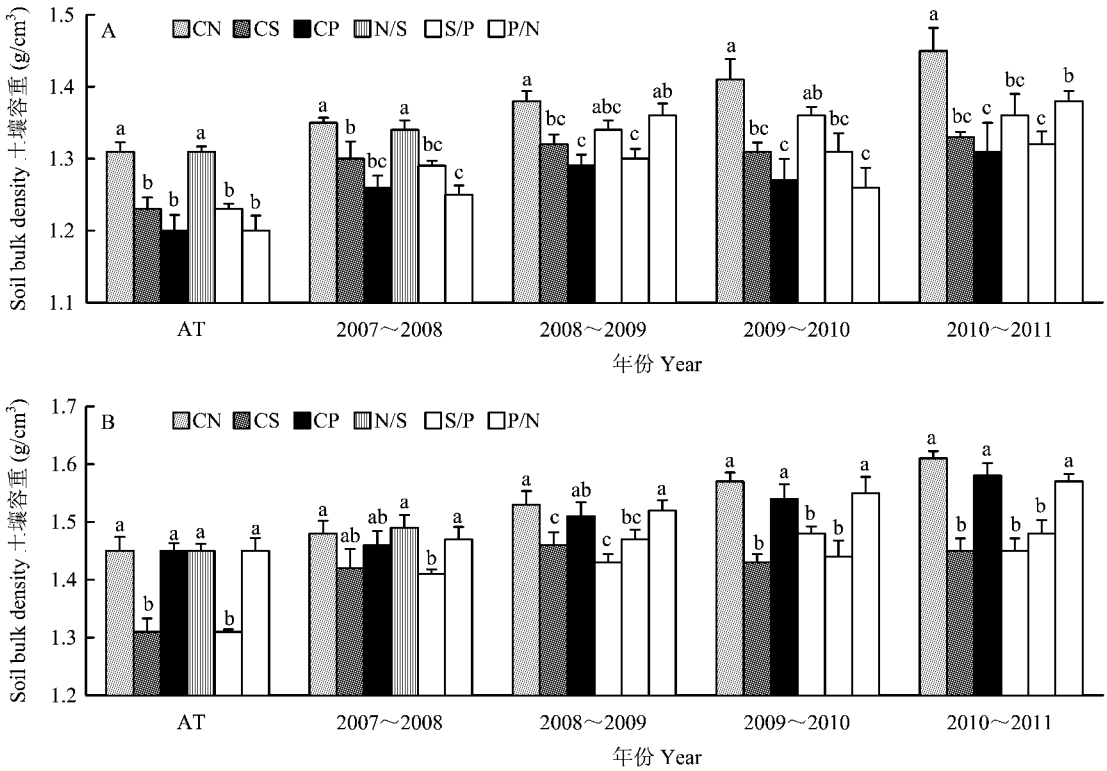


图1 不同年份不同耕作处理下作物收获后0—20 cm(A)和20—40 cm(B)土层土壤容重

Fig.1 Effects of different tillage systems on soil bulk density in 0—20 cm (A) and 20—40 cm (B) soil layers

[注(Note): AT—2007年秋耕后 After tillage treatment in autumn 2007; CN—连年免耕 Continuous no-tillage; CS—连年深松 Continuous subsoiling; CP—连年翻耕 Continuous ploughing; N/S—"免耕/深松"轮耕 No-tillage/subsoiling rotation; S/P—"深松/翻耕"轮耕 Subsoiling/ploughing rotation; P/N—"翻耕/免耕"轮耕 Ploughing/no-tillage rotation. 柱上不同小写字母表示同一年度不同处理间差异达到5%的显著水平($P<0.05$) Different letters in the same column mean significant differences at the 0.05 level, indicating the comparative results of every year.]

从图1不同年份作物收获后的土壤容重看,各种耕作处理均具有一定的耕作后效,且各耕作处理0—20 cm土层土壤容重均低于20—40 cm土层。0—20 cm和20—40 cm土层均以连免处理土壤容重最高,且这两个土层的土壤容重均呈逐年增加趋势;连深处理则呈隔年波动性变化趋势;连翻处理0—20 cm土层呈隔年波动的变化趋势,而20—40 cm土层则呈逐年增加趋势。从轮耕处理来看,3种

轮耕模式在 2007 ～2008 和 2009 ～2010 两个年度采用了相同的耕作措施,0—20 cm 土层土壤容重均以免/深处理最高;2008 ～2009 和 2010 ～2011 两个年度的耕作措施也相同,0—20 cm 土层土壤容重以翻/免处理最高;总体而言,免/深和深/翻处理 0—20 cm、20—40 cm 土层及翻/免处理 0—20 cm 土层土壤容重呈隔年波动的变化趋势,翻/免处理 20—40 cm 土层土壤容重呈逐年增加趋势。

2.2　不同耕作处理对土壤养分含量的影响

在连续多年秸秆全额覆盖或全额还田处理下,各土壤耕作处理 0—20 cm 和 20—40 cm 土层土壤养分含量变化趋势基本一致。以定位试验 4 年后 2011 年春玉米收获时所测的土壤养分结果为例,分析不同耕作处理对耕层土壤养分含量的影响(图 2)。与 2007 年试验前相比,各耕作处理 2011 年春玉米收获后各土层土壤养分含量均有不同程度地提高,且各耕作处理 0—20 cm 土层土壤养分含量均显著高于 20—40 cm 土层。

图 2A 显示,不同耕作处理对各土层土壤有机质含量的影响不同。连耕和轮耕处理 0—20 cm 的有机质含量相比试验前均有所增加,且连免、连深、免/深、深/翻处理显著高出连翻处理 9.73% ～13.49%($P<0.05$)。20—40 cm 土层,各耕作处理中以深/翻处理土壤有机质含量最高。不同耕作处理土壤全效养分在不同土层的含量也不同。如图 2B、C、D 所示,0—20 cm 土层,以免/深和深/翻处理各全效养分含量最高。与试验前和 3 种连耕处理相比,免/深处理的全氮含量增幅达 0.60% ～7.14%,全磷含量显著($P<0.05$)增加 12.50% ～52.83%,深/翻处理的全钾含量显著($P<0.05$)增加 11.57% ～45.76%。20—40 cm 土层,各耕作处理土壤全效养分含量差异显著($P<0.05$),其中以深/翻处理各全效养分含量最高。图 2E、F、G 显示,不同耕作处理对 0—20 cm 和 20—40 cm 土层土壤速效养分含量的影响显著($P<0.05$)。0—20 cm 土层,连翻和深/翻处理土壤碱解氮含量最高,连翻和翻/免处理速效磷含量最高,免/深和深/翻处理速效钾含量最高。与试验前、连免和连深相比,深/翻处理碱解氮含量增幅为 2.26% ～25.05%,速效钾含量显著($P<0.05$)增加 13.13% ～22.08%,翻/免处理的速效磷含量显著($P<0.05$)增加 12.25% ～64.76%。20—40 cm 土层速效养分含量均低于 0—20 cm 土层,且各处理间有显著差异($P<0.05$)。其原因与不同耕作处理所创造的耕层状况和每年不同作物秸秆还田量有密切关系。

2.3　不同耕作处理对土壤水稳性团聚体含量的影响

土壤团聚体是土壤养分的贮藏库,特别是水稳性团聚体对保持土壤结构的稳定性有重要作用。土壤有机质与水稳性团聚体紧密相关,是土壤水稳性团聚体的主要胶结剂。以 2011 年春玉米收获后测定的土壤团聚体含量结果为例,分析不同耕作处理对土壤水稳性团聚体含量的影响(表 1)。

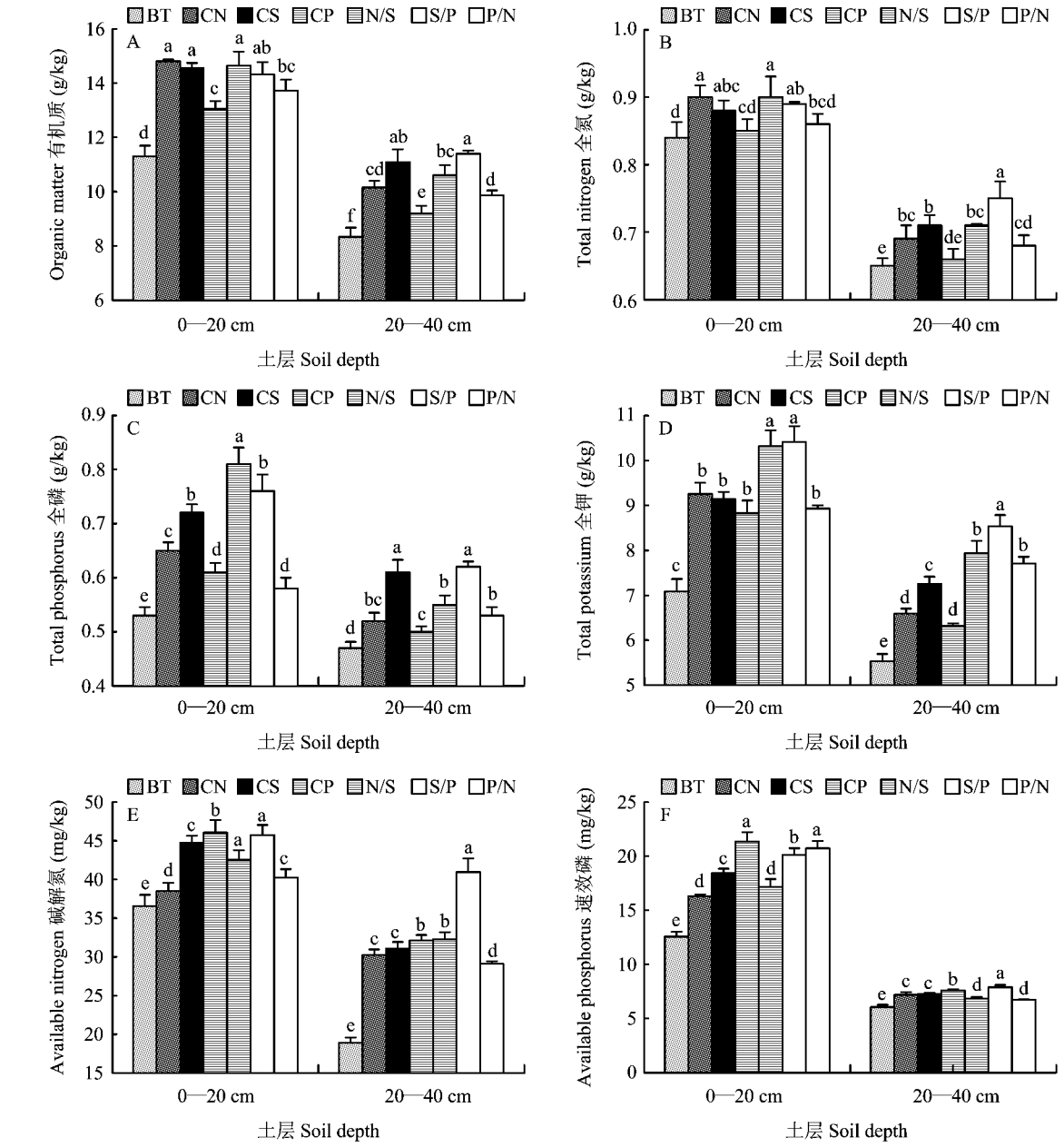
不同土壤耕作处理 2011 年春玉米收获后 0—40 cm 土层各粒径水稳性团聚体含量均以 0—10 cm 土层最高,10—20 cm 土层次之,30—40 cm 土层最低,即从上到下呈下降趋势;不同耕作处理各粒径水稳性团聚体含量按 >5 mm ～(0.5 ～0.25) mm 呈增加趋势。从整个 0—40 cm 土层来看,各处理 >0.25 mm 水稳性团聚体含量的变化顺序为连免 > 免/深 > 连深 > 深/翻 > 翻/免 > 连翻,且连免处理显著高于($P<0.05$)其他处理。

连免和连深处理 0—20 cm 土层 5 ～0.25 mm 各粒径水稳性团聚体含量较连翻处理增加 1.51 ～2.76 倍,20—40 cm 土层增加 1.44 ～2.70 倍。这表明,连免和连深处理均有利于土壤水稳性团聚体的形成。这与连免和连深处理对土壤扰动减少,使土壤结构免遭破坏,促进了土壤水稳团聚体的形成和保持有关,而连翻处理耕层比较疏松,有机质矿化速度加快,有机 - 无机复合胶体含量下降,使土粒间粘合力下降。免/深和深/翻处理 0—40 cm 耕层各粒径土壤水稳性团聚体含量较连免和连深处理均有所下降。除 >5 mm 粒径下降不明显外,其余各级粒径含量的下降其差异均达显著水平($P<0.05$)。这与免/深处理中的深松、深/翻处理中的翻耕使耕层变得较疏松有关。翻/免较连翻处理各粒径土壤水稳性团聚体含量则有所提高,且差异达显著水平($P<0.05$)。这与翻/免处理中的免耕措施使耕层变得较紧实有关。

2.4　不同耕作处理对作物产量的影响

2.4.1 不同耕作处理对作物产量构成因素的影响

由于不同耕作处理对农田土壤理化状况影响的不同,因而造成作物产量构成因素量的明显差异(表 2)。从不同耕作处理对冬小麦产量构成因素影响看,2007 ～2008 年度每公顷有效穗数表现为深/翻 > 连深 > 连翻 > 翻/免 > 连免 > 免/深,且深/翻显著高于其他耕作处理($P<0.05$);穗粒数和千粒重各耕作处理间差异均不显著($P<0.05$)。　到 2009 ～



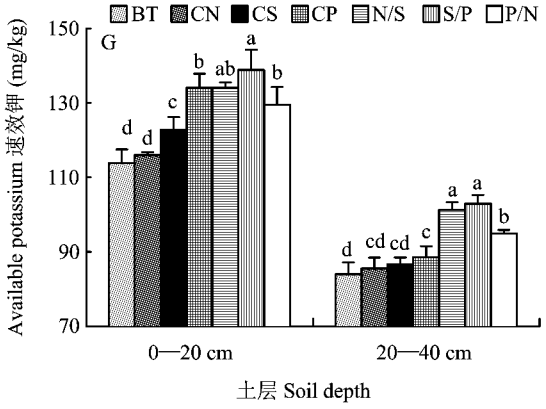


图2 不同耕作处理2007年试验前和2011年作物收获后0—20 cm和20—40 cm土层土壤养分含量

Fig. 2 Effects of different tillage systems on soil nutrients in 0–20 cm and 20–40 cm soil layers

[注(Note): BT—试验前 Before test; 老体弱 CN—连年免耕 Continuous no-tillage; CS—连年深松 Continuous subsoiling; CP—连年翻耕 Continuous ploughing; N/S—"免耕/深松"轮耕 No-tillage/subsoiling rotation; S/P—"深松/翻耕"轮耕 Subsoiling/ploughing rotation; P/N—"翻耕/免耕"轮耕 Ploughing/no-tillage rotation. 柱子不同上小写字母表示同一土层不同处理间差异达到5%的显著水平($P < 0.05$) Different small letters above the bars mean significant differences at the 5% level, indicating the comparative results in the same soil layer.]

表 1　不同耕作处理 2011 年春玉米收获后 0—40 cm 土层各粒径水稳性团聚体含量比较(g/kg)

Table 1　Effects of different tillage systems on water-stable aggregates contents of 0–40 cm soil layer

土层深度 Soil depth (cm)	耕作处理 Tillage treatment	团聚体粒径 Aggregate size(mm)					
		>5	5～2	2～1	1～0.5	0.5～0.25	合计 Total
0—10	CN	9.2±0.29 a	10.5±0.38 a	20.8±0.57 a	23.2±0.82 a	34.5±1.07 a	98.2±4.00 a
	CS	8.1±0.10 c	8.7±0.04 c	15.4±0.15 c	18.3±0.15 c	27.2±0.25 c	77.7±1.86 c
	CP	2.0±0.06 e	5.5±0.03 e	7.5±0.27 e	8.9±0.12 e	14.9±0.29 e	38.8±0.96 e
	N/S	9.0±0.06 b	9.6±0.35 b	18.7±0.71 b	20.9±0.78 b	32.4±0.97 b	90.6±2.09 b
	S/P	7.8±0.25 c	8.0±0.28 d	13.9±0.32 d	16.5±0.61 d	24.6±0.29 d	70.8±0.47 d
	P/N	2.5±0.0 d	7.8±0.33 d	15.6±0.27 c	16.7±0.35 d	23.7±0.56 d	66.2±2.15 d
10—20	CN	8.5±0.32 a	9.7±0.42 a	18.4±0.81 a	20.6±0.81 a	33.5±1.17 a	90.7±2.79 a
	CS	6.3±0.06 b	7.8±0.25 c	13.6±0.27 c	16.4±0.45 c	24.2±0.74 c	68.3±2.63 c
	CP	1.9±0.03 d	5.4±0.15 e	6.7±0.18 e	7.8±0.31 e	13.3±0.06 e	35.1±0.21 e
	N/S	8.3±0.21 a	8.6±0.34 b	16.5±0.21 b	18.5±0.25 b	28.8±0.47 b	80.7±1.92 b
	S/P	6.5±0.23 b	7.1±0.23 d	12.3±0.15 d	14.7±0.57 d	21.8±0.42 d	62.4±1.15 d
	P/N	2.3±0.05 c	6.9±0.10 d	13.8±0.13 c	14.9±0.25 d	21.1±0.35 d	59.0±1.86 d
20—30	CN	7.7±0.20 a	9.1±0.29 a	16.5±0.58 a	15.1±0.61 a	17.2±0.60 b	65.6±2.29 a
	CS	6.1±0.06 b	6.5±0.21 c	10.9±0.37 c	12.8±0.25 c	15.1±0.33 c	51.4±1.36 b
	CP	1.5±0.00 e	4.8±0.05 e	5.6±0.09 e	6.5±0.12 f	9.4±0.26 e	27.8±0.99 e
	N/S	7.5±0.25 a	8.5±0.19 b	15.7±0.38 b	13.6±0.15 b	19.8±0.49 a	65.1±2.87 a
	S/P	5.2±0.12 c	5.9±0.08 d	8.4±0.12 d	10.8±0.23 d	11.7±0.20 d	42.0±1.06 c
	P/N	2.0±0.06 d	5.1±0.17 e	6.0±0.06 e	7.1±0.06 e	9.6±0.23 e	29.8±1.30 d
30—40	CN	1.9±0.05 a	3.5±0.15 a	6.2±0.23 a	9.4±0.24 a	11.6±0.58 a	32.6±1.48 a
	CS	1.6±0.08 b	2.7±0.12 c	5.2±0.20 c	8.4±0.24 c	10.2±0.48 b	28.1±1.26 c
	CP	0.8±0.07 d	1.6±0.28 e	2.8±0.05 f	4.0±0.08 f	4.6±0.21 e	13.8±0.22 e
	N/S	1.7±0.05 b	3.2±0.10 b	5.4±0.25 b	8.9±0.08 b	11.5±0.58 a	30.7±0.61 b
	S/P	1.5±0.05 b	2.6±0.06 c	0.5±0.13 d	7.5±0.25 d	8.9±0.05 c	21.0±0.72 d
	P/N	1.2±0.03 c	2.4±0.10 d	4.5±0.08 e	6.7±0.11 e	7.1±0.24 d	21.9±0.58 d

注(Note): CN—连年免耕 Continuous no-tillage; CS—连年深松 Continuous subsoiling; CP—连年翻耕 Continuous ploughing; N/S—"免耕/深松"轮耕 No-tillage/subsoiling rotation; S/P—"深松/翻耕"轮耕 Subsoiling/ploughing rotation; P/N—"翻耕/免耕"轮耕 Ploughing/no-tillage rotation. 同列数据后不同小写字母表示同一土层不同处理间差异达到5%的显著水平($P<0.05$) Different small letters in the same column mean significant differences at the 5% level, indicating the comparative results in the same soil layer.

2010 年度冬小麦生产季,每公顷冬小麦有效穗数、穗粒数和千粒重均表现为深/翻 > 连深 > 连翻 > 免/深 > 翻/免 > 连免。其中深/翻较 3 种连耕处理有效穗数增幅达 2.21%～10.21%,这与不同轮耕处理的土壤理化性状有密切关系。

经过 2008 年 6 月至 2009 年 4 月夏秋冬季休闲,2009 年春玉米播前贮水量以连免和免/深处理最高,并均显著高于连翻处理($P<0.05$)。说明免耕和深松蓄墒充足,为玉米生长提供了有利条件。从不同耕作处理对春玉米产量构成因素的影响看,2009 年每公顷有效穗数、穗粒数和千粒重均表现为免/深 > 深/翻 > 连深 > 连翻 > 翻/免 > 连免。与 3 种连耕处理相比,免/深处理有效穗数显著增加为 7.33%～9.70%($P<0.05$),穗粒数显著增加 6.27%～

表2 不同耕作处理作物产量构成因素比较

Table 2 Effects of different tillage systems on crop yield components

年度及作物 Year and crop	耕作处理 Tillage treatment	播前贮水量 Water storage before sowing (mm)	产量构成因素 Crop yield components		
			有效穗数 Available panicle ($\times 10^4$ No./hm^2)	穗粒数 Grains per spike (No./spike)	千粒重 1000-grain weight (g)
2007～2008 冬小麦 Winter wheat	CN	527.9 ±17.70 a	487.3 ±11.84 c	25.8 ±1.22 a	45.1 ±1.75 a
	CS	534.4 ±21.29 a	557.9 ±7.75 b	26.8 ±0.33 a	46.5 ±1.05 a
	CP	527.9 ±19.70 a	494.3 ±21.10 c	26.5 ±0.50 a	45.8 ±0.68 a
	N/S	540.2 ±22.27 a	479.2 ±6.40 c	26.4 ±0.62 a	45.7 ±1.63 a
	S/P	536.3 ±9.23 a	588.1 ±9.05 a	27.1 ±0.59 a	47.1 ±1.47 a
	P/N	530.5 ±3.37 a	491.2 ±10.75 c	26.2 ±0.61 a	45.5 ±1.81 a
2009 春玉米 Spring maize	CN	413.5 ±11.93 a	4.658 ±0.176 c	571.9 ±16.71 b	317.6 ±11.78 a
	CS	410.8 ±8.76 ab	4.761 ±0.113 c	578.6 ±2.88 b	327.8 ±12.26 a
	CP	380.4 ±1.35 b	4.755 ±0.211 c	577.5 ±14.25 b	325.1 ±9.07 a
	N/S	415.3 ±16.37 a	5.110 ±0.026 a	614.9 ±23.88 a	331.4 ±11.54 a
	S/P	397.9 ±12.16 ab	4.901 ±0.030 b	581.3 ±14.85 b	329.7 ±11.64 a
	P/N	408.5 ±12.49 ab	4.691 ±0.178 c	573.6 ±6.99 b	318.3 ±13.07 a
2009～2010 冬小麦 Winter wheat	CN	421.5 ±13.00 a	456.6 ±17.82 c	25.6 ±0.76 c	42.8 ±1.74 a
	CS	419.1 ±12.42 a	492.3 ±16.48 b	27.5 ±1.05 b	43.7 ±1.32 a
	CP	390.8 ±5.17 b	488.7 ±19.26 b	26.5 ±0.89 c	43.3 ±1.06 a
	N/S	418.7 ±5.71 a	484.0 ±19.26 b	26.3 ±0.97 c	43.2 ±1.83 a
	S/P	416.5 ±9.43 a	503.2 ±9.31 a	28.0 ±0.86 a	44.1 ±1.94 a
	P/N	424.3 ±7.03 a	467.6 ±16.44 c	26.2 ±0.20 c	43.1 ±0.92 a
2011 春玉米 Spring maize	CN	442.2 ±16.01 ab	4.495 ±0.195 b	454.2 ±16.82 a	299.5 ±12.67 a
	CS	440.7 ±16.04 ab	4.766 ±0.137 a	459.7 ±8.26 a	302.8 ±5.36 a
	CP	406.6 ±15.29 c	4.629 ±0.202 b	455.1 ±10.23 a	300.0 ±13.24 a
	N/S	444.2 ±20.20 a	4.764 ±0.146 a	458.3 ±19.39 a	301.3 ±10.37 a
	S/P	440.7 ±5.09 ab	4.768 ±0.170 a	461.0 ±15.55 a	303.5 ±4.96 a
	P/N	423.3 ±8.66 bc	4.639 ±0.206 ab	455.3 ±20.27 a	300.2 ±8.72 a

注(Note): CN—连年免耕 Continuous no-tillage; CS—连年深松 Continuous subsoiling; CP—连年翻耕 Continuous ploughing; N/S—"免耕/深松"轮耕 No-tillage/subsoiling rotation; S/P—"深松/翻耕"轮耕 Subsoiling/ploughing rotation; P/N—"翻耕/免耕"轮耕 Ploughing/no-tillage rotation. 同列数据后不同小写字母表示同年度不同处理间差异达到5%的显著水平($P<0.05$) Different small letters in the same column mean significant differences at the 5% level, indicating the comparative results in the same year.

7.52%($P<0.05$);深/翻处理有效穗数显著增加2.94%～5.22%($P<0.05$)。在2011年,播前贮水量以连年深松和免/深处理最高,并显著高于连免和连翻处理($P<0.05$)。这与当年及上年的耕作措施有关。每公顷春玉米有效穗数、穗粒数和千粒重均表现为深/翻最高,连免最低,深/翻较连免显著增加有效穗数6.07%($P<0.05$);而穗粒数和千粒重各处理间均未达到差异显著水平,其原因也与不同耕作处理的土壤理化性状有关。

2.4.2 不同耕作处理对作物籽粒产量的影响 在冬小麦—春玉米轮作中,各耕作处理因土壤理化性状的不同,作物籽粒产量也表现出显著差异(图3)。

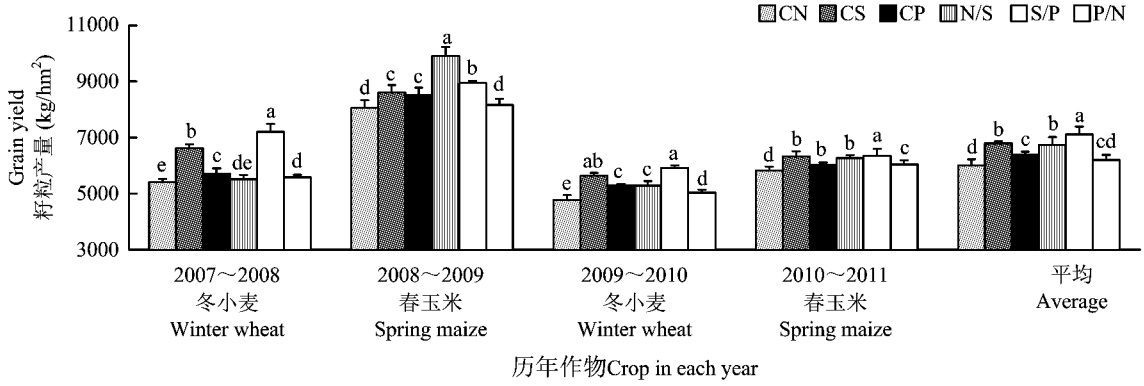


图 3　不同耕作处理历年作物产量比较

Fig. 3　Effects of different soil tillage systems on 4-year crop yields

[注(Note): CN—连年免耕 Continuous no-tillage; CS—连年深松 Continuous subsoiling; CP—连年翻耕 Continuous ploughing; N/S—"免耕/深松"轮耕 No-tillage/subsoiling rotation; S/P—"深松/翻耕"轮耕 Subsoiling/ploughing rotation; P/N—"翻耕/免耕"轮耕 Ploughing/no-tillage rotation. 柱子不同上小写字母表示同年度不同处理间差异达到 5% 的显著水平($P<0.05$) Different small letters above the bars mean significant differences at the 5% level, indicating the comparative results in the same year.]

在 2007～2008 年冬小麦生产年度,冬小麦平均籽粒产量表现为深松 > 翻耕 > 免耕,且深松较翻耕和免耕显著增产 22.39% 和 26.70%($P<0.05$)。在 2009～2010 年冬小麦生产年度,冬小麦籽粒产量表现为深/翻 > 连深 > 连翻 > 免/深 > 翻/免 > 连免。深/翻处理较连免、连深和连翻处理分别显著增产 24.17%、5.02% 和 11.63%,较免/深和翻/免处理分别显著增产 12.14% 和 17.68%($P<0.05$)。

2009 年春玉米籽粒产量以免/深和深/翻处理最高,且二者显著高于其他处理($P<0.05$)。免/深和深/翻较连免、连深和连翻分别显著增产 22.81%、15.07%、16.28 和 10.99%、3.99%、5.09%($P<0.05$)。2011 年春玉米籽粒产量表现为深/翻 > 连深 > 免/深 > 翻/免 > 连翻 > 连免。深/翻处理较连免、连翻、免/深和翻/免分别显著增加 9.10%、5.54%、1.39% 和 5.21%($P<0.05$)。

综上所述,在连续 4 年中,除 2009 年免/深处理的春玉米籽粒产量显著高于深/翻外,其余 3 年不论是冬小麦还是春玉米,每年均以深/翻处理籽粒产量最高,连免处理最低。连深处理较连免和连翻分别显著增产 13.00% 和 6.38%($P<0.05$);深/翻较免/深和翻/免分别显著增产 5.44% 和 14.57%($P<0.05$)。轮耕与连耕相比较,免/深较连免显著增产 12.05%($P<0.05$);深/翻较连深显著增产 4.55%($P<0.05$)。在 3 种轮耕处理中,以深/翻处理的产量构成因素较好,其籽粒产量最高。

3　讨论与结论

生产实践证明,要实现作物的高产或超高产,就必须为作物健壮生长发育创造理想的土壤环境,既科学控制与调节土壤水分蓄积与供应、土壤养分释放与保存,又能及时而充分地满足作物对水分、养分、空气和温度等各种条件的需要[24]。本研究通过连续多年土壤耕作试验获得如下结论,并就有关问题进行讨论:

免耕与深松结合实行轮耕,与连年免耕相比,犁底层被打破,耕层及耕层以下土壤容重降低,通透性增强,可促进水分下渗,因此对作物的生长发育来说要好于连年免耕[25-30]。在本试验 6 种耕作处理中,"免耕/深松"轮耕模式的冬小麦和春玉米产量构成因素和产量位居第 3 位,4 年产量平均较免耕增产 12.05%。何进等[19]的研究结果表明,"免耕/深松"轮耕既可改善土壤理化性状,又可提高作物产量;Pierce 等[31]的研究认为,土壤免耕后定期进行深松,虽能改善土壤的物理性状,但对作物的产量和品质没有影响。其原因是免耕和深松处理下大量秸秆保留在表层,从而使表层有机质富集,不利于改良下层土壤结构,其土壤环境改善也受到影响,因此使作物的增产效果也受到一定限制。

深松与翻耕结合实行轮耕,使两者的优点融合于一体,既可克服翻耕犁底层加厚的缺点,也可克服深松只松土而不翻土的不足之处。翻耕将秸秆翻入耕层,有利于改善耕层结构,促进土壤熟化,使整个

耕层土壤疏松,容重降低;而隔年深松形成了"虚实并存"的耕层结构,既能协调土壤中蓄水与供水矛盾,又能调控耕层中矿质化过程和腐殖化过程,从而使土壤蓄水与供水的矛盾和养分释放与保存的矛盾得到统一,形成最适宜作物生长发育的水、肥、气、热的土壤环境,因此非常有利于作物的健壮生长而获得高产,这与韩思明和薛少平的多年的研究结果相一致[2]。在本研究6种耕作处理中,"深松/翻耕"的轮耕模式其冬小麦和春玉米产量及其构成因素均居第1位,其4年产量平均较连年免耕增产18.15%,较连年深松增产4.55%,较连年翻耕增产11.22%,同时较"免耕/深松"和"翻耕/免耕"处理分别增产5.44%和14.57%。

翻耕与免耕实行轮耕,与连年翻耕处理比较,虽然耕层水稳性团聚体有所增加,土壤养分含量有所提高,但耕层土壤容重增加,犁底层更紧实,加之土壤失墒较多,因此对作物生长极为不利,在6种耕作处理中其冬小麦和春玉米产量构成因素和4年产量平均居第6位,与连年免耕比较,增产3.1%,这与孔凡磊等[5]、孙国峰等[16]的研究结果相一致;但与连年翻耕比较,不但没增产,反而还减产,其4年平均产量较连年翻耕减产2.92%。

本试验进一步证明,以免耕为核心的保护性耕作技术,虽然有利于提高耕层土壤养分,增加水稳性团聚体,但却会使土壤容重增加,犁底层上移,耕层变浅,对作物生长发育不利,使产量降低,这与李素娟等[12]、张丽华等[28]和陈军胜[32]的研究结果基本一致。同时,深松耕技术虽然有较好的保水保土和增产效果,但耕层松紧不一,土块较大,也会给作物生长发育带来一定的不利影响,这与褚鹏飞[33]、尚金霞[34]、毛红玲[35]和王靖[36]等人的研究结果基本一致。因此,生产中不论是免耕技术还是深松耕技术均不可单独连续应用,而应将它们纳入保护性轮耕体系之中,组合成一定的轮耕模式,交换应用。

总之,土壤耕作要针对当地生产实践,根据每年所种作物选择适宜的土壤轮耕模式,便可有效改善耕层及耕层以下土壤的理化性状,创造良好的水、肥、气、热土壤环境条件,促进作物生长、发育,以实现作物的高产、稳产。本试验研究中,以"深松/翻耕"的轮耕模式的综合土壤理化性状较好,作物产量最高,其次是"免耕/深松",是适宜陕西渭北旱塬及同类地区冬小麦—春玉米轮作田的土壤轮耕模式。

参 考 文 献:

[1] 钮溥,包忠谟,王谦,等. 渭北旱原农业开发[M]. 杨凌:西北农林科技大学出版社,2000.
Niu P, Bao Z M, Wang Q *et al*. Agricultural development in Weibei Dryland[M]. Yangling: Northwest A&F University Press, 2000.

[2] 韩思明,薛少平. 渭北高原降水资源机械化高效利用图文集[M]. 西安:陕西科学技术出版社,2006.
Han S M, Xue S P. High-efficiency rainfall resource use in Weibei highlands by mechanical measures[M]. Xi'an: Shaanxi science and Technology Press, 2006.

[3] 杨青,薛少平,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(增刊):49-52.
Yang Q, Xue S P, Zhu R X *et al*. Mechanized technology system for high efficient use of rainfall in dry farmland of Shanxi loess plateau[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2003, 19 (Sup.): 49-52.

[4] 廖允成,韩思明,温晓霞. 黄土台塬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.
Liao Y C, Han S M, Wen X X. Study on characteristics of soil moisture and its use efficiency in dryland wheat in the loess tableland[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2002, 10(3): 55-58.

[5] 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):151-155.
Kong F L, Chen F, Zhang H L *et al*. Effects of rotational tillage on soil physical properties and winter wheat yield [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(8): 151-155.

[6] Kahlon M S, Fausey N, Lal R. Effects of long-tillage on soil moisture dynamics and hydraulic properties [J]. Journal of Research, 2012, 49(4): 242-251.

[7] He J, McHugh A D, Li H W *et al*. Permanent raised beds improved soil structure and yield of spring wheat in arid north-western China[J]. Soil Use and Management, 2012, 28(4): 536-543.

[8] Hill P R. Use of continuous no-till and rotational tillage systems in the central and northern Corn Belt[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2001, 56(4): 286-290.

[9] Ferreras L A, Costa J L, Garcia F O *et al*. Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded *Petrocalcic Paleudoll* of the southern Pampa of Argentina[J]. Soil and Tillage Research, 2000, 54: 31-39.

[10] 辛存岳,郭青云,魏有海,等. 干旱地区农田浅耕对杂草控制及土壤水分、养分的影响[J]. 中国农业科学,2006,39(8):1697-1702.
Xi C Y, Guo Q Y, Wei Y H *et al*. Effect on soil moisture, nutrient and weed control in arid farmland by shallow tillage[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2006, 39(8): 1697-1702.

[11] Cavalieri K, da Silva A P, Tormena C *et al*. Long-term effects of

no-tillage on dynamic soil physical properties in a Rhodic Ferrasol in Paraná, Brazil[J]. Soil and Tillage Research, 2009, 103(1): 158-164.

[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.
Li S J, Chen J K, Chen F *et al*. Characteristics of growth and development of winter wheat under zero-tillage in North China Plain[J]. Acta Agronomica Sinica, 2008, 34(2): 290-296.

[13] 梁淑敏, 谢瑞芝, 汤永禄, 等. 成都平原不同耕作模式的农田效应研究 I. 对土壤性状及产量的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(19): 3988-3996.
Liang S M, Xie R Z, Tang Y L *et al*. Effects of tillage systems on fields in Chengdu Plain I. The effects of tillage systems on soil properties and crop yields [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(19): 3988-3996.

[14] 辛平, 黄高宝, 张国盛, 等. 耕作方式对表层土壤饱和导水率及紧实度的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2005, 40(2): 203-207.
Xin P, Huang G B, Zhang G S *et al*. Effects of different tillage methods on saturated hydraulic conductivity and compactiveness of the surface soil[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2005, 40(2): 203-207.

[15] 薛少平, 阎小丽, 朱瑞祥, 等. 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[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2009, 37(12): 112-118.
Xue S P, Yan X L, Zhu R X *et al*. Study on farmland soil and crop biological effect on different tillage methods in annual double croprip area[J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science), 2009, 37(2): 112-118.

[16] 孙国峰, 陈阜, 肖小平, 等. 轮耕对土壤物理性状及水稻产量影响的初步研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(12): 109-119.
Sun G F, Chen F, Xiao X P *et al*. Preliminary study on effects of rotational tillage on soil physical properties and rice yield[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(12): 109-119.

[17] Carter M R, Sanderson J B, Ivany J A *et al*. Influence of rotation and tillage on forage maize productivity, weed species, and soil quality of a fine sandy loam in the cool-humid climate of Atlantic Canada[J]. Soil and Tillage Research, 2002, 67: 85-98.

[18] López-Fando C, Dorado J, Pardo M T. Effects of zone-tillage in rotation with no-tillage on soil properties and crop yields in a semi-arid soil from central Spain[J]. Soil and Tillage Research, 2007, 95: 266-276.

[19] 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.
He J, Li H W, Gao H W. Subsoiling effect and economic benefit under conservation tillage mode in Northern China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(10): 62-67.

[20] He J, Li H W, Wang X Y *et al*. The adoption of annual subsoiling as conservation tillage in dryland maize and wheat cultivation in northern China[J]. Soil and Tillage Research, 2007, 94: 493-502.

[21] Vetsch J A, Randall G W, Lamb J A. Corn and soybean production as affected by tillage systems [J]. Agronomy Journal, 2007, 99: 952-959.

[22] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1983, 62-126.
Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. Soil physicochemical analysis[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1983, 62-126.

[23] 侯贤清, 贾志宽, 韩清芳, 等. 不同轮耕模式对旱地土壤结构及入渗蓄水特性的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(5): 85-94.
Hou X Q, Jia Z K, Han Q F *et al*. Effects of different rotational tillage patterns on soil structure, infiltration and water storage characteristics in dryland[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(5): 85-94.

[24] 卢宗凡, 梁一民, 刘国彬, 等. 中国黄土高原生态农业[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1997.
Lu Z F, Liang Y M, Liu G B *et al*. Chinese Loess Plateau Ecological Agriculture [M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 2006.

[25] 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.
Fang R Y, Tong Y A, Zhao E L *et al*. Effect of conservation tillages on moisture, fertility and yield in Weibei Highland[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2003, 21(1): 54-57.

[26] 康红, 朱保安, 洪利辉, 等. 免耕覆盖对旱地土壤肥力和小麦产量的影响[J]. 陕西农业科学, 2001, (9): 1-3.
Kang H, Zhu B A, Hong L H *et al*. Effect of no-tillage cover on soil fertility and crop yield[J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2001, (9): 1-3.

[27] 贾树龙, 孟春香, 任图生, 等. 耕作及残茬管理对作物产量及土壤性状的影响[J]. 河北农业科学, 2004, 12(4): 37-42.
Jia S L, Meng C X, Ren T S *et al*. Effect of tillage and residues management on crop yield and soil properties[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2004, 12(4): 37-42.

[28] 张丽华, 李军, 贾志宽, 等. 渭北旱塬保护性耕作对冬小麦-春玉米轮作田蓄水保墒效果和产量的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(7): 1750-1758.
Zhang L H, Li J, Jia Z K *et al*. Effects of conservation tillage on soil water conservation and crop yield of winter wheat spring maize rotation field in Weibei highland[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(7): 1750-1758.

[29] Hou X Q, Jia Z K, Han Q F *et al*. Effects of rotational tillage practices on soil water characteristics and crop yields in semi-arid areas of north-west China[J]. Soil Research, 2011, 49: 625-632.

[30] Hou X Q, Li R, Jia Z K *et al*. Effects of rotational tillage

practices on soil properties, winter wheat yields and water-use efficiency in semi-arid areas of north-west China[J]. Field Crop Research, 2012, 129: 7-13.

[31] Pierce F J, Fortin M C, Staton M J. Immediate and residual effects of zone-tillage on soil physical properties and corn performance[J]. Soil and Tillage Research, 1992, 24: 149-165.

[32] 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: 中国农业大学博士学位论文, 2005.
Chen J S. Characteristics of soil temperature and soil water for winter wheat with no-tillage and effect on winter wheat growth in North China Plain [D]. Beijing: PhD Dissertation of China Agricultural University, 2005.

[33] 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.
Shang J X, Li J, Jia Z K *et al*. Soil water conservation effect, yield and income increments of conservation tillage measures in spring maize field on Weibei Highland[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(13): 2668-2678.

[34] 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.
Mao H L, Li J, Jia Z K *et al*. Soil water conservation effect, yield and income increments of conservation tillage measures on dryland wheat field[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(8): 44-51.

[35] 王靖, 林琪, 倪永君, 等. 不同保护性耕作模式对冬小麦产量及土壤理化性状的影[J]. 青岛农业大学学报(自然科学版), 2009, 26(4): 276-281.
Wang J, Lin Q, Ni Y J *et al*. Effects on yield of winter wheat and soil physical-chemical properties under different conservation tillage[J]. Journal of Qingdao Agricultural University (Natural Science), 2009, 26(4): 276-281.