

秸秆还田模式对东北春玉米根系分布和水分利用效率的影响

张文可 苏思慧 隋鹏祥 田平 梅楠 王洋 王美佳 张姣 齐华*

(沈阳农业大学农学院, 沈阳 110866)

摘要 为探究东北春玉米区不同秸秆行间还田模式的可行性,在辽宁省铁岭县以全层旋耕还田(T1S0)和全层翻耕还田(T2S0)大田试验为对照,对比研究行间旋耕(T1S1)、隔行行间旋耕(T1S2)、行间翻耕(T2S1)和隔行行间翻耕(T2S2)4种秸秆还田模式对土壤含水量、根系分布、产量及水分利用效率的影响。结果表明:T2S1和T2S2可打破犁底层,降低土壤容重,提高了土壤蓄水能力;T2S1和T2S2增加根系总量的同时,提高了根系在深层土壤中的分配比例;T2S1和T2S2根长密度集中区深度较T1S0分别增加46.54%和49.87%,较T2S0分别增加37.50%和40.70%;T2S1和T2S2显著增加了叶面积指数,延缓叶片衰老,提高了玉米干物质积累量;T2S1和T2S2干物质重和叶面积指数与T2S2无显著性差异,两者均值较T1S0分别增加了25.02%和21.93%。T2S1和T2S2叶片保护酶活性最高,MDA含量最低;在枯水年T2S1和T2S2较T1S0分别增产3.80%和4.05%,在丰水年各处理产量无显著性差异;两年中,T2S1水分利用效率均为最高,T2S2次之,分别较T1S0增加了16.28%和12.77%;在本试验条件下,认为T2S2更宜推广。

关键词 秸秆还田模式; 土壤水分; 根系分布; 产量; 水分利用效率

Effects of straw incorporation modes on root distribution and water use efficiency of spring maize in Northeast China. ZHANG Wen-ke, SU Si-hui, SUI Peng-xiang, TIAN Ping, MEI Nan, WANG Feng, WANG Mei-jia, ZHANG Jiao, QI Hua* (*College of Agronomy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China*).

Abstract: To investigate the practicability of straw strip incorporation mode in Northeast China, six straw incorporation modes were arranged in Tieling County, Liaoning Province. Compared to whole-layer rotary tillage (T1S0) and whole-layer plowing tillage (T2S0), the four straw incorporation modes of inter-row rotary tillage (T1S1), interval-row rotary tillage (T1S2), inter-row plowing tillage (T2S1) and interval-row plowing tillage (T2S2) had significant effects on soil water content, root distribution, maize yield and water use efficiency. The plow pan profiles were broken under T2S1 and T2S2, which decreased soil bulk density and improved soil water storage capacity. Total root biomass was increased under T2S1 and T2S2, with enhanced proportions of deep roots in soil profiles. Compared to T1S0, the depths of root length density concentrated area were increased by 46.54% and 49.87% for T2S1 and T2S2, respectively. Compared to T2S0, the depths of root length density concentrated area were increased by 37.50% and 40.70%, respectively. Leaf area index was significantly increased under T2S1 and T2S2, which could delay leaf senescence and improve dry matter accumulation. There was no significant difference in dry matter weight and leaf area index among T2S1, T2S2 and T2S0, but the mean value of T2S1 and T2S2 increased by 25.02% and 21.93% respectively compared with T1S0. T2S1 and T2S2 resulted in the highest leaf protective enzyme activity and the lowest MDA content. In dry-

国家重点研发计划项目(2016YFD0300103, 2017YFD0300703, 2016YFD0300801, 2017YFD0201805)和公益性行业(农业)科研专项经费项目(201503116)资助。

收稿日期: 2017-11-28 接受日期: 2018-05-22

* 通讯作者 E-mail: qihua10@163.com

year, yields of T2S1 and T2S2 were increased by 3.80% and 4.05% respectively compared to T1S0. In wet-year, yields had no significant differences among these treatments. For both years, T2S1 had the highest water use efficiency and followed by T2S2. They had 16.28% and 12.77% higher water use efficiency respectively compared to T1S0. Therefore, mode T2S2 is worth for more popularizing.

Key words: straw incorporation mode; soil water; root distribution; yield; water use efficiency.

秸秆还田不仅可以减轻焚烧秸秆对生态环境的负面影响,又可提高农田生产力,改善土壤质量,是一项有效的保护性耕作措施(Seufert *et al.*, 2012)。秸秆粉碎直接全层还田是目前主要的秸秆还田模式,但对土壤耕作和作物生长发育造成负面影响(奚振邦等,2004;杨思存等,2005)。近年来中国双季稻地区和稻麦轮作区出现的条带耕作和秸秆还田相结合形成的秸秆条带还田方式,避免了秸秆与作物直接接触,一定程度上解决了秸秆直接全层还田作物出苗难,前期发育缓慢等问题(Yang *et al.*, 2015,2016)。

东北是中国重要的商品粮基地(Liu *et al.*, 2010),长期春季浅旋作业,造成土壤结构退化,蓄水保墒能力下降,有限的降水及土壤水分得不到充分利用(郑洪兵等,2014);另一方面,长期忽视有机物料投入及过量施用化学肥料造成土壤板结,土壤耕性变差,玉米生产受到严重影响(Liu *et al.*, 2010)。在现有条件下,秸秆还田仍是东北地区最有效的土壤培肥方式(Turmel *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2016)。

东北地区全年平均气温低、降水少,秸秆腐解缓慢,本文以秸秆条带还田为基础,以改变条带间距为切入点,系统研究了东北春玉米区不同秸秆还田模式对土壤结构、土壤水分、作物根系和作物产量的影

响,试图探索适宜当地生产的秸秆还田模式,为完善该地区秸秆还田技术,保证作物高产稳产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验分别于 2015—2016 年连续 2 年在辽宁省铁岭县张庄试验站进行(123°27'E、41°59'N,海拔 75 m)。该区属温带湿润、半湿润季风气候,全年日照为 2700 h 左右,近 20 年玉米生长季平均降水量为 543 mm。2015 和 2016 年生长季降水量分别为 351.5 和 811.4 mm,参照信乃谕(2002)方法判断 2015 年为干旱年型,2016 年为丰水年型(图 1)。供试土壤为棕壤土,前茬作物为玉米,0~20 cm 有机质含量为 19.66 g·kg⁻¹,有效氮 132.80 mg·kg⁻¹,速效磷 33.26 mg·kg⁻¹,速效钾 161.50 mg·kg⁻¹,pH 6.4。试验地长期春玉米连作,土壤耕作采用连年春旋耕起垄免中耕作业。

1.2 田间设计

试验采用裂区设计,还田方式为主区,还田位置为副区,3 次重复,因素与水平及实验处理见表 1。

T1 耕深为(15±2) cm,T2 耕深为(30±2) cm。T1S0 和 T2S0 处理分别采用旋耕机和铧式犁将粉碎后的秸秆(长度 5~10 cm)还入土壤。T1S1、T1S2 和

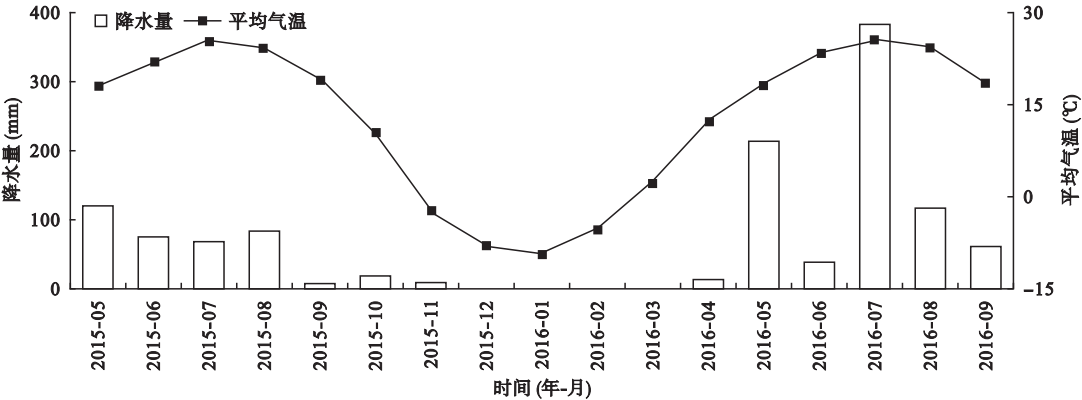


图 1 试验期间月平均气温和降水量
Fig.1 Average monthly temperature and precipitation during experimental period

表 1 试验设计
Table 1 Experimental design

还田方式	还田位置		
	全层(S0)	行间(S1)	隔行行间(S2)
旋耕(T1)	T1S0	T1S1	T1S2
翻耕(T2)	T2S0	T2S1	T2S1

T2S1、T2S2 处理则均使用开沟机,在秸秆还田区域开宽约 30 cm 的沟槽。T1S1、T1S2 将粉碎后的秸秆与土壤均匀混合,原位还入沟槽内;T2S1、T2S2 将秸秆平铺于沟槽内,土壤原位覆盖于秸秆上。各试验处理均采用平播,小区面积、还田方式与还田位置均相同,秸秆原位还田。田间处理及开沟机作业方式见图 2。

供试玉米品种为郑单 958,行长 10.00 m,行距 0.60 m,10 行区,小区面积 60 m²,播种密度 67500 株·hm⁻²。2015 年 5 月 1 日播种,10 月 1 日收获。2016 年 5 月 8 日播种,10 月 3 日收获。全部磷钾肥及总氮量的 1/3 于播种时作种肥,总施氮量的 2/3 于拔节期追施。氮、磷、钾肥分别为尿素(N 46.4%)、颗粒磷肥(P₂O₅ 12%)氯化钾(K₂O 60%)。各小区氮、磷、钾用量均为 N 225 kg·hm⁻²、P₂O₅ 75 kg·hm⁻²、K₂O 150 kg·hm⁻²。其他田间管理与一般农田相同。

1.3 观测指标与方法

1.3.1 产量及产量构成因素 各小区均选择中间 4 行采用收割称重法测产,计算平均穗重。依平均

穗重选取 10 个果穗进行考种,观测行粒数、百粒重和含水量,并折算成 14% 含水量的籽粒产量。

1.3.2 土壤容重 2016 年于收获后,利用环刀钻和体积为 100 cm³的环刀,在玉米种植行行上及相邻两个行间(L,M,R 处,下同)分别选取 3 点,共 9 点,每 10 cm 一层分别测量 0~30 cm 土层土壤容重。

1.3.3 玉米根系空间分布 2016 年于玉米吐丝期(播种后 100 天),参照 Kuchenbuch 等(2009)“Monolith 3D”空间取样法,对同一种植行上长势一致连续 3 株玉米植株及根系取样。以植株为中心,以体积为 10 cm×24.7 cm×10 cm 大小的土体为取样单位。根系取样方式见图 2H。

将各土体分别倒入筛筐中手工挑选根系,清洗干净后置于自封袋。利用 SINTEK-LC-4800 型根系扫描仪,将根系样品扫描成图片文件,再利用 WinRHIZ 2.0 Pro 2012 (Regent Instruments Inc., Quebec City, Canada) 根系分析软件分析根系长度和根表面积,并按照下列公式计算根长密度及根表面积指数。

根长密度(RLD)=根系长度/根系所在土块的体积

根表面积指数(RAI)=单株玉米根系表面积/单株玉米所占土地表面积

扫描后的根系置于 80 ℃烘箱内烘干至恒重,使用万分之一天平称取根干重。

1.3.4 土壤含水量 2015 年于播种前和收获后,2016 年于播种后每间隔 20 d,在玉米种植行上及相

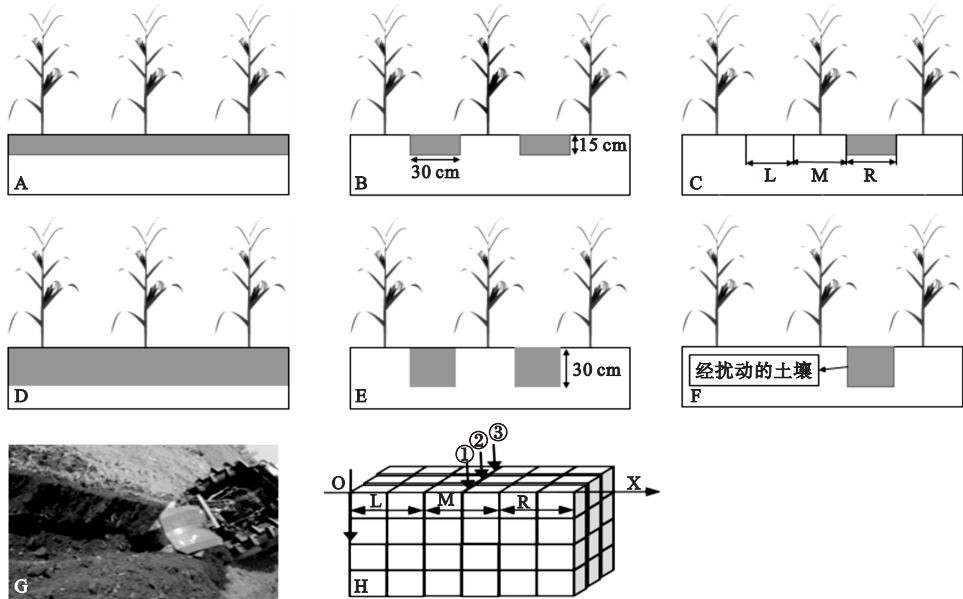


图 2 田间处理(A, B, C, D, E, F)、开沟机作业(G)和根系采集(H)示意图
Fig.2 A sketch of the field design, ditcher machine and root sampling in the field plots

邻行间分别选取 3 点,每 10 cm 一层分别采集 0~100 cm 土样,105 ℃烘干至恒重后称重,计算土壤含水量。于玉米吐丝期(播种后 100 d),采集根系的同时采用烘干法测定相应土壤样品含水量。

1.3.5 地上部干物质及叶面积指数 2016 年根系取样的同时,采用长宽系数法测量玉米叶面积。

叶面积(LA)=叶长×叶宽×系数

上式中,完全展开叶系数为 0.75,未完全展开叶系数为 0.50。

叶面积指数(LAI)=单株总叶面积/单株玉米所占土地表面积

同时将植株样品置于 105 ℃烘箱内杀青 30 min,80 ℃烘干至恒重,计算单位土地面积地上部干物质积累量。

1.3.6 叶片酶活性及丙二醛含量 2016 年测量叶面积的同时,测定穗位叶叶片保护酶活性及丙二醛(MDA)含量。超氧化物歧化酶(SOD)活性测定采用氮蓝四唑(NBT)法;过氧化物酶测定(POD)采用愈创木酚法;过氧化氢酶(CAT)活性测定采用紫外分光光度法;丙二醛含量(MDA)测定采用硫代巴比妥酸法。

1.3.7 农田耗水量及水分利用效率 采用水分平衡法计算农田耗水量(ETα)和水分利用效率(WUE),具体方法参照赵亚丽等(2014)。本试验测定深度为 100 cm。

1.4 数据分析

采用 Excel 2016 整理数据,用 SPSS 18.0 进行方差分析和显著性检验(LSD);用 Origin 9.0 绘图。

2 结果与分析

2.1 秸秆还田模式对土壤容重的影响

秸秆还田方式和还田位置均对收获后土壤容重产生显著影响(表 2)。与旋耕还田相比,翻耕还田

显著降低了 10~20 cm 土壤容重。与全层还田苗带(M 位置)相比,相同秸秆还田方式条件下行间和隔行行间还田苗带(M 位置)0~20 cm 的土壤容重显著增加,但 20~30 cm 土壤容重无显著差异;与全层还田行间(R 位置)相比,行间和隔行行间还田处理行间(R 位置)0~30 cm 土壤容重分别降低了 1.49%和 4.49%;与全层还田行间(L 位置)相比,行间还田处理行间(L 位置)0~30 cm 土壤容重降低了 2.01%,但隔行行间还田处理行间(L 位置)0~30 cm 土壤容重增加了 3.76%。从各土层平均值来看,除全层翻耕还田外,各处理 0~10、20~30 cm 土层容重均无显著差异。全层旋耕还田和隔行行间旋耕还田处理 10~20 cm 土壤容重显著高于其他处理,行间旋耕还田次之,全层翻耕还田和行间翻耕还田最小。

2.2 秸秆还田模式对土壤含水量及其时空变化影响

由图 3 可见,各处理土壤含水量变化规律与降水量变化趋势相同。玉米播种后 0~40 天翻耕还田处理 0~40 cm 土层土壤含水量显著低于旋耕还田处理;隔行行间还田处理由于土壤扰动较小,0~40 cm 土壤含水量分别比全层还田和行间还田提高 13.82%和 5.01%。播种后 40~82 天高温少雨,各处理 0~10 cm 土层土壤含水量无显著性差异,翻耕还田处理 20~60 cm 土层土壤含水量比旋耕处理提高 7.44%。播种后 80~140 天,0~60 cm 土层土壤含水量差异进一步扩大,平均含水量按 T2S1、T1S1、T1S2、T2S2、T1S0、T2S0 次序递减,其中行间和行间隔行还田处理分别较全层还田增加了 17.42%和 20.24%。

吐丝期(播种后 100 天)为玉米需水临界期,该时期雨水较为充沛,由土壤水分含量空间分布等值线可见(图 4):0~60 cm 土层土壤含水量为 10%~30%,处理间依 T2S2、T2S1、T1S1、T1S2、T2S0、T1S0

表 2 秸秆还田模式对不同深度土壤容重的影响

Table 2 Effect of straw incorporation modes on soil bulk density in different soil depths (g·cm⁻³)

处理	土层深度											
	0~10 cm				10~20 cm				20~30 cm			
	L	M	R	平均值	L	M	R	平均值	L	M	R	平均值
T1S0	1.32 a	1.34 a	1.26 a	1.31 a	1.49 a	1.45 a	1.49 a	1.48 a	1.52 a	1.59 a	1.52 a	1.54 a
T1S1	1.30 a	1.33 a	1.24 a	1.29 a	1.34 b	1.46 a	1.44 a	1.41 b	1.40 b	1.52 a	1.47 a	1.46 a
T1S2	1.33 a	1.34 a	1.25 a	1.31 a	1.50 a	1.47 a	1.33 b	1.43 a	1.58 a	1.47 a	1.35 b	1.47 a
T2S0	1.31 a	1.30 a	1.29 a	1.30 a	1.30 b	1.31 b	1.28 b	1.30 c	1.31 c	1.50 a	1.31 b	1.37 b
T2S1	1.29 a	1.32 a	1.21 b	1.27 a	1.39 a	1.40 ab	1.29 b	1.36 bc	1.38 b	1.61 a	1.38 b	1.46 a
T2S2	1.30 a	1.32 a	1.21 b	1.28 a	1.35 b	1.35 b	1.29 b	1.33 c	1.50 ab	1.40 b	1.37 b	1.42 a

数据后不同字母表示相同深度处理间差异显著(P<0.05)。L、M、R 为取样位置。平均值为每一土层深度 3 个取样位置的容重平均值。

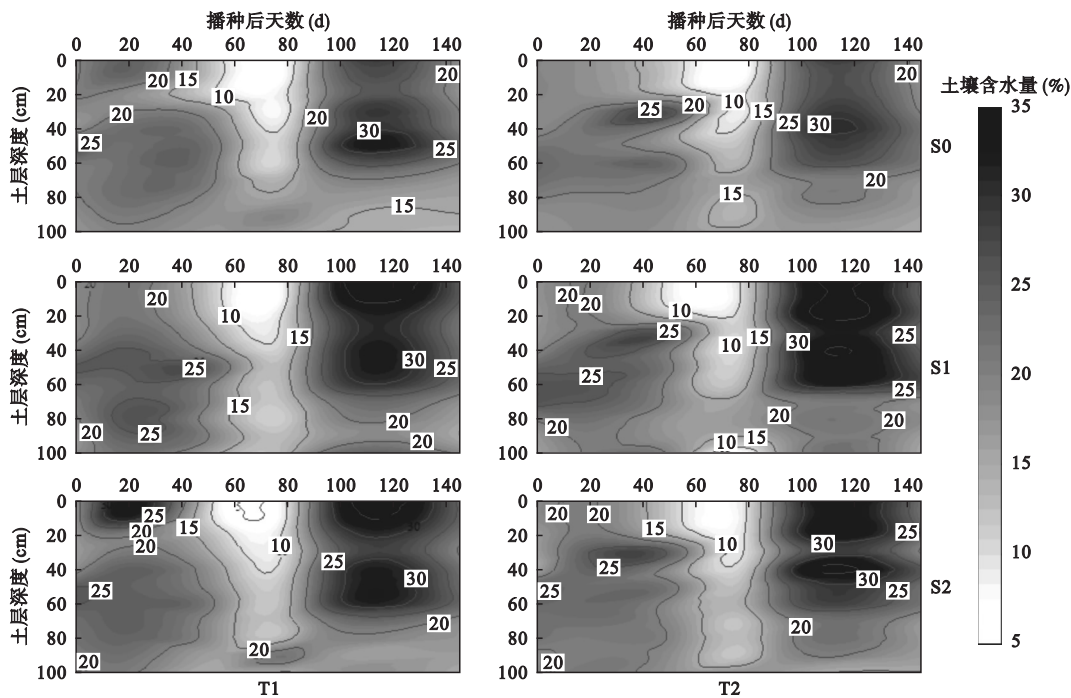


图 3 0~100 cm 土层土壤含水量时空变异图
Fig.3 Isoline map of soil water content in 0~100 cm soil layers

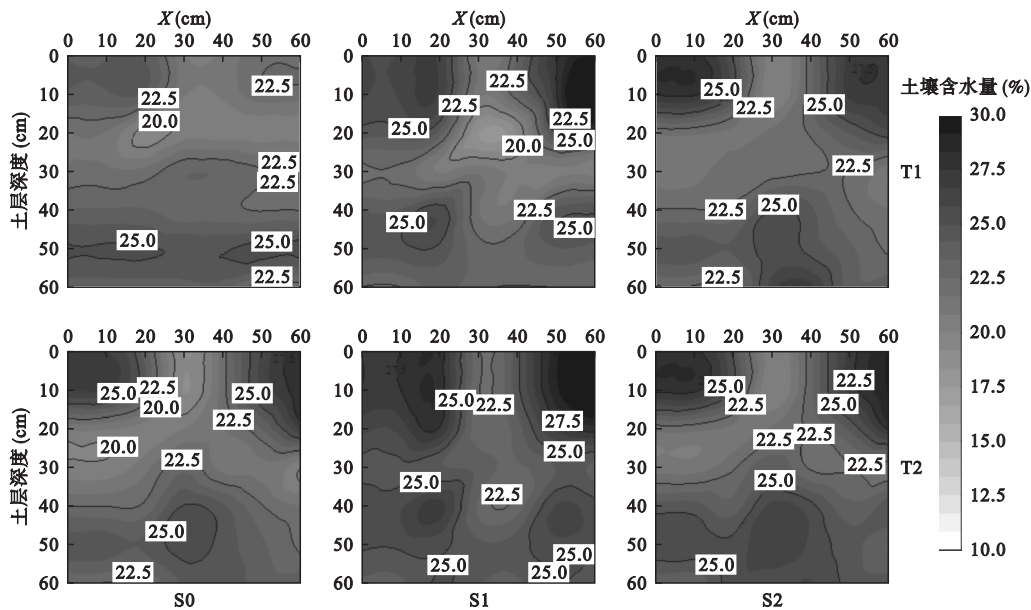


图 4 0~60 cm 土层土壤含水量空间分布
Fig.4 Spatial distribution of soil water content in 0~60 cm soil layers under different treatments

次序递减,但各处理水分分布规律相近,0~20 cm 土层苗带(M 位置)土壤含水量显著低于行间(L 和 R 位置);0~20、40~60 cm 土层土壤含水量最高,20~40 cm 土层含水量最低。翻耕还田处理和旋耕还田处理 0~20 cm 土层平均含水量无显著性差异,20~60 cm 土层平均含水量显著高于旋耕处理;行间和隔行还田,0~30 cm 土层土壤含水量显著高

于全层还田。
2.3 秸秆还田模式对根系分布的影响
春玉米播种后 100 天,0~60 cm 土层根长密度空间分布等值线见图 5。图中根长密度 $1\text{ cm} \cdot \text{cm}^{-3}$ 是根系分布“集中区”和“分散区”的分界线,用点划线表示,根系集中区和分散区的根长密度分别大于等于和小于 $1\text{ cm} \cdot \text{cm}^{-3}$ (王新兵等,2014)。

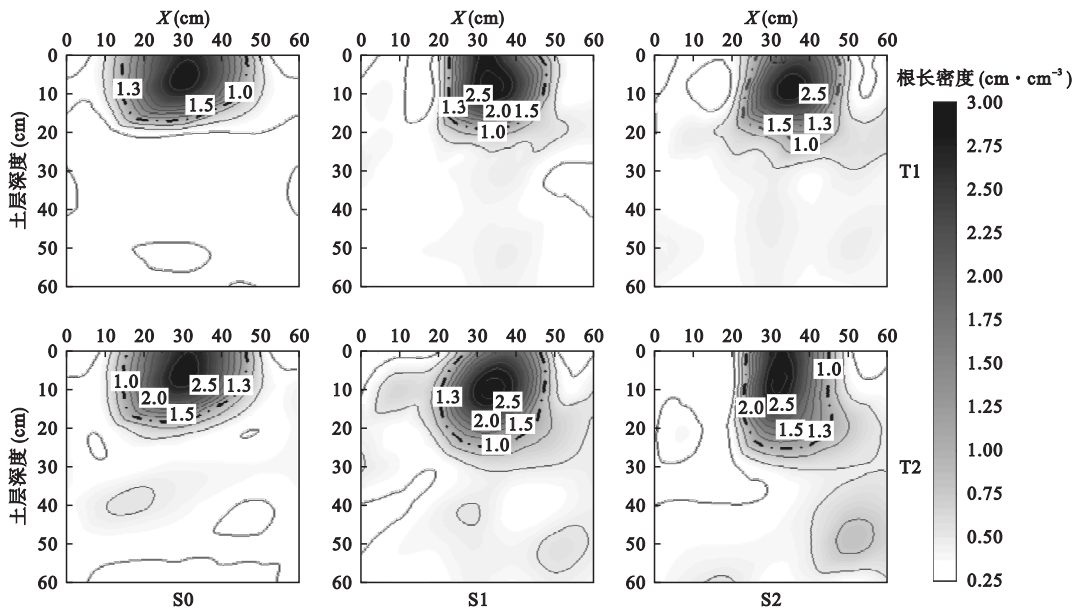


图5 0~60 cm 土层根长密度空间分布
Fig.5 Spatial distribution of root length density in 0~60 cm soil layers under different treatments

垂直方向上,3种还田位置旋耕还田处理根长密度集中区深度分别为16.53、18.72和18.72 cm,翻耕还田各处理根长密度根长密度集中区分别为17.61、24.22和24.78 cm。翻耕还田处理根长密度集中区深度高于旋耕还田处理,旋耕还田各处理根长密度集中区深度无显著性差异。相同还田方式不同还田位置间比较发现:行间旋耕还田、隔行行间旋耕还田、行间翻耕还田和行间隔行翻耕还田处理根长密度集中区深度分别比全层旋耕还田和全层翻耕还田低13.84%和39.06%,说明行间还田和隔行行间还田也可以促进玉米根系下扎,其中行间翻耕还田和行间隔行翻耕还田更有利于促进深层土壤根系分布;水平方向上,根系“集中区”长轴的长度代表了根系水平分布的状况。3种还田位置旋耕还田处理长轴长度分别为30.51、23.84和23.91 cm;翻耕还田处理长轴长度分别为30.52、25.42和23.37 cm。全层还田处理长轴长度显著高于行间还田和隔行行间还田,且行间还田和隔行行间还田无显著性差异。

2.4 秸秆还田模式对植株干重、叶面积指数、根干重和根面积指数的影响

由图6A和图6C可知,行间和隔行行间还田均可以显著地提高玉米植株干重和根干重。翻耕还田地上干物重和根系干重较旋耕还田分别提高了16.78%和15.09%;行间还田和隔行行间还田较全层

还田地上干物重分别提高了3.45%和5.19%、根干重分别提高了4.17%和6.67%。由图6B和图6D可见,翻耕还田条件下,除全层还田处理根面积指数显著低于行间和隔行行间还田处理外,各处理叶面积指数和根面积指数无显著性差异;旋耕还田条件下,行间和隔行行间还田叶面积指数和根面积指数无显著差异,但均显著高于全层还田处理。

2.5 秸秆还田模式对叶片保护酶活性及丙二醛含量的影响

图7显示,翻耕还田处理的SOD、POD、CAT活性分别比旋耕还田处理高13.34%、18.13%和9.20%,行间还田处理SOD、POD、CAT活性分别比全层还田处理高6.06%、10.03%和6.03%,行间还田处理与隔行行间还田处理间保护酶活性无显著性差异;穗位叶MDA含量呈与保护酶活性相反变化趋势,旋耕还田处理MDA含量比翻耕还田处理高4.79%,全层还田处理MDA含量较行间还田和隔行行间还田分别高18.00%和19.68%,行间还田和隔行行间还田处理MDA含量无显著性差异。

2.6 秸秆还田模式对玉米产量及产量构成因素的影响

在丰水年(2016年),除隔行行间翻耕还田处理穗数显著大于全层旋耕还田处理外,各处理间籽粒产量及产量构成因素并无显著性差异;在干旱年(2015年)翻耕还田处理籽粒产量和百粒重显著提

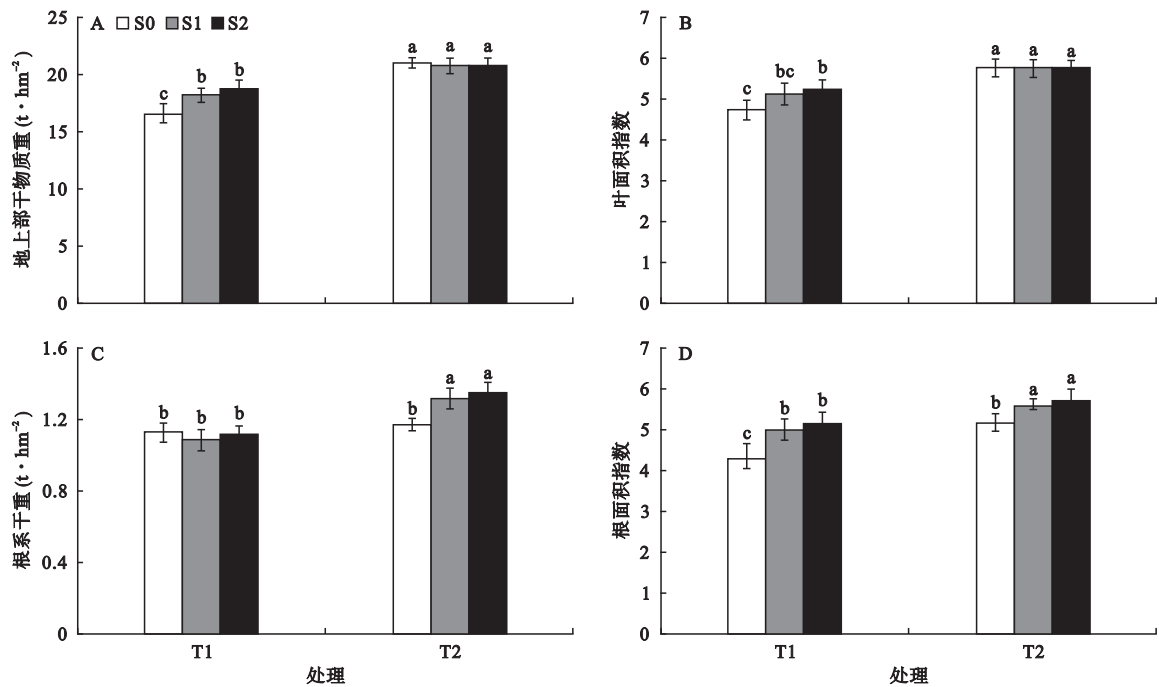


图 6 不同处理地上部干物重、根干重、叶面积指数和根面积指数的比较
Fig.6 Comparison of shoot dry weight, root dry weight, LAI and RAI under different treatments
柱形上不同字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。

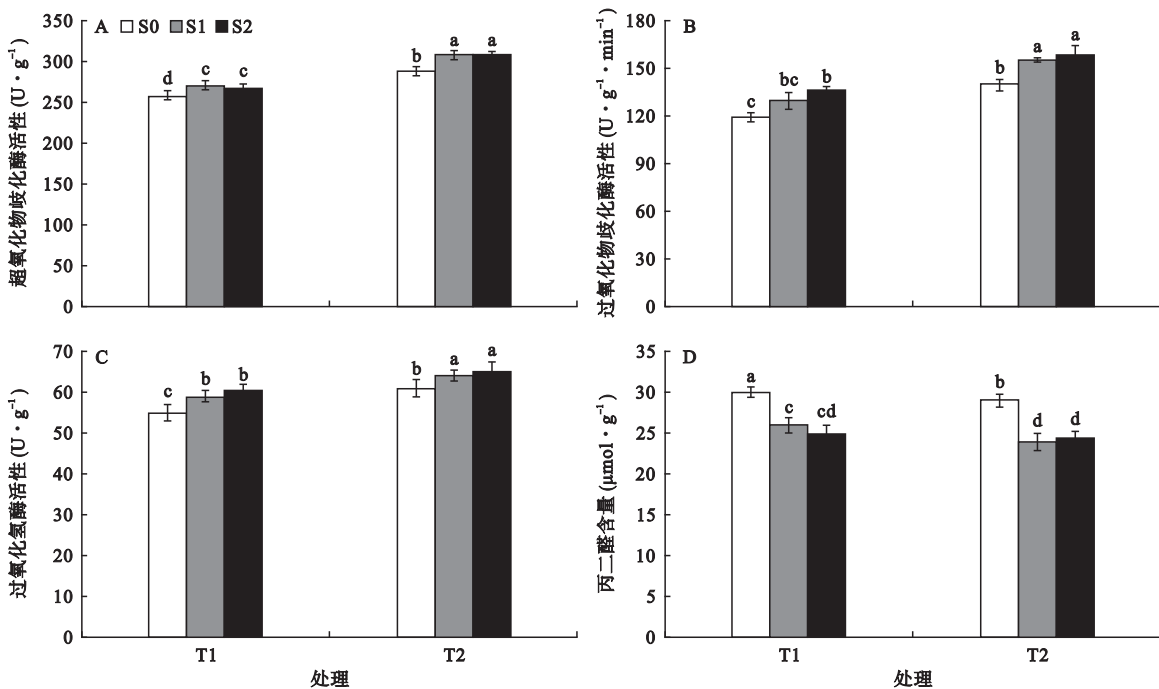


图 7 不同处理玉米穗位叶保护酶活性及丙二醛含量的比较
Fig.7 Comparison of protective enzymes and MDA content in ear leaf under different treatments

高了 3.64% 和 8.50%, 穗粒数显著降低 5.63%。秸秆还田位置对产量和产量构成因素未产生显著影响 (表 3)。

2.7 秸秆还田模式对农田耗水量和水分利用效率的影响
行间还田和隔行行间还田显著降低了春玉米生

表 3 玉米产量及产量构成因素
Table 3 Yield and yield components of maize

年份	处理	百粒重 (g)	穗粒数	穗数 ($\times 10^4$ 穗 $\cdot \text{hm}^{-2}$)	籽粒产量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)
2015	T1S0	29.05 b	519.20 a	6.46 a	9502.04 b
	T1S1	29.39 b	502.45 a	6.30 a	9381.40 b
	T1S2	29.43 b	502.29 a	6.44 a	9519.93 b
	T2S0	31.20 a	482.60 b	6.43 a	9681.71 ab
	T2S1	32.01 a	477.87 b	6.45 a	9868.07 a
	T2S2	32.13 a	482.30 b	6.38 a	9886.60 a
2016	T1S0	34.86 a	522.16 a	6.26 b	11345.00 a
	T1S1	35.67 a	494.28 a	6.75 ab	11845.54 a
	T1S2	32.20 a	535.15 a	6.96 a	11956.46 a
	T2S0	35.14 a	525.37 a	6.67 ab	11781.26 a
	T2S1	33.97 a	525.96 a	6.40 ab	12134.00 a
	T2S2	35.77 a	494.57 a	6.81 ab	11805.14 a

数据后不同字母表示相同年份处理间差异显著 ($P<0.05$)。

表 4 不同处理对农田耗水量和水分利用效率的影响
Table 4 Effect of different treatment on soil water consumption and water use efficiency in different treatments

处理	2015 年春玉米生长季		2015—2016 农闲期	2016 年春玉米生长季	
	农田 耗水量 (mm)	水分利用 效率 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$)	农田 耗水量 (mm)	农田 耗水量 (mm)	水分利用 效率 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$)
T1S0	462.37 a	20.30 c	-70.90 c	889.99 a	12.75 e
T1S1	435.36 c	21.83 b	-53.91 a	764.32 d	15.50 b
T1S2	435.02 c	21.88 b	-60.89 b	839.49 b	14.24 c
T2S0	450.37 b	21.9 ab	-79.53 d	854.91 b	13.78 d
T2S1	440.36 c	21.98 ab	-73.58 d	737.63 e	16.45 a
T2S2	445.04 c	22.21 a	-65.92 bc	783.64 c	15.06 b

数据后不同字母表示相同年份处理间差异显著 ($P<0.05$)。

长季农田耗水量、提高了水分利用效率;翻耕还田也显著降低了全年农田耗水量、提高了生长季水分利用效率(表 4)。与全层还田相比,行间还田和隔行行间还田使两年春玉米生育时期平均农田耗水量降低了 11.77%和 6.17%,使生长季平均水分利用效率提高了 10.23%和 6.78%,但却使农闲期农田耗水量增加了 17.99%和 18.62%;与旋耕还田相比,翻耕还田使生长季和农闲期平均农田耗水量分别降低了 3.95%和 17.95%,使生长季平均水分利用效率提高了 4.58%。

3 讨 论

3.1 秸秆还田模式对土壤容重和土壤水分的影响

翻耕秸秆还田直接将耕作层土壤翻转,一方面打破了犁底层、降低了土壤容重、提高了土壤渗水速率,另一方面还田形成的秸秆层有利于土壤最大限度接纳雨水。本研究结果表明,翻耕还田可以降低

农田耗水量,增加土壤水分含量,与赵亚丽等(2014)研究结果相似。前人研究表明,少免耕可以提高作物生长季土壤水分含量和水分利用效率(Huang *et al.*, 2012; Shao *et al.*, 2016)。本试验条件下,行间还田和隔行行间还田形成的“苗带紧、行间松”的耕层结构,综合了免耕和常规耕作优势,增加了土壤透水性,使土壤含水量显著增加(王立春等, 2008; 白伟等, 2014)。

3.2 秸秆还田模式对根系空间分布的影响

土壤耕作通过改变土壤结构,影响土壤水分的时空分布,进而影响根系的生长与分布(Lampurlanés *et al.*, 2001),根系生长又促进作物对深层土壤水分的利用(刘浩等, 2007)。本研究表明,翻耕还田降低了土壤容重,改善了玉米生长季土壤水分状况,使 20~60 cm 土层根长密度增加 17.62%,进而增强根系对水分的吸收利用。行间还田和隔行行间还田既可有效蓄水,又可有效保墒,进而改变了土壤水分分布。但由于玉米秸秆集中还于种植行间,秸秆腐解过程中消耗养分和水分(南雄雄等, 2010),其次行间隔行还田免耕处较高的土壤容重限制根系的生长(Lipiec, 2003),因此与全层还田相比,行间还田和隔行行间还田在增加玉米根量的同时限制根系的水平生长,在空间分布呈现“横向紧缩、纵向延伸”的特点,提高了玉米根系分布和地上部的协同作用(王空军等, 2001)。

3.3 秸秆还田模式对玉米生长发育的影响

王法宏等(2003)研究表明,作物根系在土壤中扩展深度的增加,使生育后期叶片的衰老速度减缓,叶绿素降解速度变慢,继而促进生育后期干物质积累。本试验研究表明,行间翻耕还田和隔行行间翻耕还田通过调节根系分布,增强叶片保护酶活性,延缓叶片衰老,提高干物质积累能力,为生殖生长提供营养基础。

3.4 秸秆还田模式对产量、水分利用效率的影响

翻耕还田条件下,行间还田和隔行行间还田改善了玉米生育时期土壤水分状况,促进了根系下扎,提高了玉米根系总量,进而增强了根系对水分的吸收利用,延缓叶片衰老,提高了叶面积指数和干物质积累量,最终导致产量和水分利用效率的提升。因此,在枯水年(2015 年)行间翻耕还田和隔行行间翻耕还田处理可以显著提高作物产量和水分利用效率,这与白伟等(2014)研究结果一致。而在丰水年(2016 年),行间翻耕还田和隔行行间翻耕还田处理

在保证产量的同时,提高了水分利用效率,减少生长季和农闲期农田水分消耗,为下茬作物生长创造良好的土壤环境。无论枯水年还是丰水年,行间翻耕还田和隔行行间翻耕还田产量和水分利用效率并无显著性差异,说明条带间距的增加并未影响产量,但综合动力成本等因素,隔行行间翻耕还田可达到投入的高效利用,更具推广价值。

4 结 论

行间翻耕还田和隔行行间翻耕还田获得了更优的根系分布,提高了水分利用效率。因此,行间翻耕还田和隔行行间翻耕还田是东北相似气候区较适宜推广的两种秸秆还田模式。

参考文献

白 伟, 孙占祥, 郑家明, 等. 2014. 虚实并存耕层提高春玉米产量和水分利用效率. 农业工程学报, **30**(21): 81-90.

刘 浩, 段爱旺, 孙景生, 等. 2007. 间作模式下冬小麦与春玉米根系的时空分布规律. 应用生态学报, **18**(6): 1242-1246.

南雄雄, 田霄鸿, 张 琳, 等. 2010. 小麦和玉米秸秆腐解特点及对土壤中碳、氮含量的影响. 植物营养与肥料学报, **16**(3): 626-633.

王法宏, 王旭清, 李松坚, 等. 2003. 小麦根系扩展深度对旗叶衰老及光合产物分配的影响. 麦类作物学报, **23**(1): 53-57.

王空军, 郑洪建, 刘开昌, 等. 2001. 我国玉米品种更替过程中根系时空分布特性的演变. 植物生态学报, **25**(4): 472-475.

王立春, 马 虹, 郑金玉. 2008. 东北春玉米耕地合理耕层构造研究. 玉米科学, **16**(4): 13-17.

王新兵, 侯海鹏, 周宝元, 等. 2014. 条带深松对不同密度玉米群体根系空间分布的调节效应. 作物学报, **40**(12): 2136-2148.

奚振邦, 王寓群, 杨佩珍. 2004. 中国现代农业发展中的有机肥问题. 中国农业科学, **37**(12): 1874-1878.

信乃诠. 2002. 中国北方旱区农业研究. 北京: 中国农业出版社.

杨思存, 霍 琳, 王建成. 2005. 秸秆还田的生化他感效应研究初报. 西北农业学报, **14**(1): 52-56.

赵亚丽, 薛志伟, 郭海斌, 等. 2014. 耕作方式与秸秆还田对冬小麦-夏玉米耗水特性和水分利用效率的影响. 中国农业科学, **17**(17): 3359-3371.

郑洪兵, 齐 华, 刘武仁, 等. 2014. 玉米农田耕层现状、存在问题及合理耕层构建探讨. 耕作与栽培, (5): 39-42.

Huang GB, Chai Q, Feng FX, *et al.* 2012. Effects of different tillage systems on soil properties, root growth, grain yield, and water use efficiency of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in arid Northwest China. *Journal of Integrative Agriculture*, **11**: 1286-1296.

Kuchenbuch RO, Gerke HH, Buczko U. 2009. Spatial distribution of maize roots by complete 3D soil monolith sampling. *Plant and Soil*, **315**: 297-314.

Lampurlanés J, Angás P, Cantero-Martínez C. 2001. Root growth, soil water content and yield of barley under different tillage systems on two soils in semiarid conditions. *Field Crops Research*, **69**: 27-40.

Lipiec J, Medvedev VV, Birkas M, *et al.* 2003. Effect of soil compaction on root growth and crop yield in Central and Eastern Europe. *International Agrophysics*, **17**: 61-69.

Liu XB, Zhang XY, Wang YX, *et al.* 2010. Soil degradation: A problem threatening the sustainable development of agriculture in Northeast China. *Plant, Soil and Environment*, **56**: 87-97.

Seufert V, Ramankutty N, Foley JA. 2012. Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature*, **485**: 229-232.

Shao YH, Xie YX, Wang CY, *et al.* 2016. Effects of different soil conservation tillage approaches on soil nutrients, water use and wheat-maize yield in rainfed dry-land regions of North China. *European Journal of Agronomy*, **81**: 37-45.

Turmel MS, Speratti A, Baudron F, *et al.* 2015. Crop residue management and soil health: A systems analysis. *Agricultural Systems*, **134**: 6-16.

Yang HS, Feng JX, Zhai SL, *et al.* 2016. Long-term ditch-buried straw return alters soil water potential, temperature, and microbial communities in a rice-wheat rotation system. *Soil and Tillage Research*, **163**: 21-31.

Yang HS, Yang B, Dai YJ, *et al.* 2015. Soil nitrogen retention is increased by ditch-buried straw return in a rice-wheat rotation system. *European Journal of Agronomy*, **69**: 52-58.

Zhang P, Chen XL, Wei T, *et al.* 2016. Effects of straw incorporation on the soil nutrient contents, enzyme activities, and crop yield in a semiarid region of China. *Soil and Tillage Research*, **160**: 65-72.

作者简介 张文可,男,1992年生,硕士,从事耕作制度原理与技术研究。E-mail: zwksyau@163.com

责任编辑 李凤芹