

不同耕作措施对冬小麦根系时空分布和产量的影响

冯福学¹, 黄高宝^{1,*}, 柴 强¹, 于爱忠¹, 乔海军², 黄 涛¹

(1. 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃农业大学理学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要:在田间定位试验的基础上,研究了内陆河绿洲灌区不同耕作措施对冬小麦根系时空分布和产量的影响。结果表明:免耕秸秆覆盖(NTS)和免耕立茬(NTSS)措施下冬小麦根系总干重和总根长都大于传统耕作(T),且差异显著;开花期各处理总根干重和总根长都达到最大,之后开始下降;NTS 和 NTSS 处理 0~10cm 土层的根长密度和根干重密度显著高于 T 处理,表现出根系表层分布的特征;拔节期,NTS、NTSS 和 NT 处理 10~30cm 的根长密度和干重密度都小于 T,而拔节后 NTS 和 NTSS 各土层根长密度和根干重密度增长幅度大于 T。产量研究结果表明,NTS 和 NTSS 能显著提高冬小麦产量,与 T 相比,产量分别提高 16.84%~30.59% 和 12.76%~24.32%。

关键词:保护性耕作;冬小麦;根系;产量

文章编号:1000-0933(2009)05-2499-08 中图分类号:S314 文献标识码:A

Effects of different tillage on spatiotemporal distribution of winter wheat root and yield

FENG Fu-Xue¹, HUANG Gao-Bao^{1,*}, CHAI-Qiang¹, YU Ai-Zhong¹, QIAO Hai-Jun², HUANG-Tao¹

1 College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China

2 College of Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(5): 2499~2506.

Abstract: Wheat root systems play an important role in uptake of water and nutrients from soil, but the activity and distribution of roots can be influenced by the different tillage systems. Therefore, five agriculture patterns', that is, conventional tillage (T), conventional tillage with stubble incorporated (TIS), no-tillage without wheat stubble retention (NT), no-tillage with stubble standing (NTSS), no-tillage with wheat stubble retention (NTS) effects on the spatiotemporal distribution of winter wheat roots and yield were studied through field experiments implemented in Wuwei from 2005 to 2007. The aim of the research is to identify a suitable conservation agriculture practice for the area. The results showed that NTS and NTSS can significantly improve total dry root weight (DRW) and root length (RL) compared to T in whole growth seasons, and the total DRW and RL of all treatments peaked at flowering, and then declined gradually. Under NTS and NTSS conditions, the root length density (RLD) and dry root weight density (DRWD) in 0—10cm soil were more abundant than T. The RLD and DRWD of 10—30cm soil depth for T were significantly greater than that for NTS and NTSS at flowering, but the value of the RLD and DRWD increase for NTS and NTSS were higher than that for T after flowering. The results also showed that NTS and NTSS could significantly improved grain yield by 16.84%—30.59% and 12.76%—24.32% compared with T, respectively.

Key Words: conservation tillage; winter wheat; root system; yield

基金项目:国家科技支撑计划资助项目(2007BAD89B17, 2007BAD46B06); 国家教育部博士点基金资助项目(20050733002); 甘肃省科学技术攻关计划资助项目(2GS042-A41-002-01)

收稿日期:2008-09-26; 修订日期:2008-12-30

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: huanggb@gsau.edu.cn

根系是重要的吸收和代谢器官,是土壤-植物系统的重要组成部分^[1]。自 20 世纪 30 年代,Weaver J. E.^[2] 提出研究根系的重要作用以来,国内外学者已普遍认识到其研究的重要性。近年来,对小麦根系的研究已成为小麦高产、优质栽培的一个较为活跃的研究领域,但大多数研究仅限于肥水措施对小麦根系生长的影响研究,如苗果园等^[3] 研究了水肥对小麦根系整体影响及其与地上部的相关性;孙海国等^[4] 和张永清等^[5] 分别研究了缺磷胁迫和水分胁迫条件下小麦根系的生长;李金才^[6] 和周政政等^[7] 分别研究了土壤渍水对小麦根系衰老和营养代谢的影响。但对耕作措施对小麦根系生长发育影响的研究相对较少^[8]。本文在田间定位试验基础上,研究了内陆河绿洲灌区几种耕作措施对冬小麦根干重和根长的时空分布的影响,以期探索不同耕作措施下根干重和根长的时空分布特征及变化规律,为该区域内选择合理耕作措施提供一定理论依据。

1 材料与方法

1.1 试区概况

试验于 2005 年 9 月~2007 年 7 月,在甘肃省武威市凉州区黄羊镇甘肃农业大学教学实验场进行。该地区位于甘肃河西走廊东端,地处东经 103°5',北纬 37°30',属冷温带干旱区,是典型的大陆性气候,日照充足,春季多风沙,夏季有干热风。平均海拔 1776m,降水年际变化不大,但季节变化较大,多年平均降水量 160mm 左右,主要集中在 7、8、9 月份,冬春季干旱,降水无法满足作物生长需要。蒸发量 2400mm,干燥度 5.85,年平均气温 7.2℃,1 月最低平均气温 -27.7℃,7 月最高平均气温 34.0℃。 $\geq 0^\circ\text{C}$ 积温为 3513.4℃; $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温为 2985.4℃。全年无霜期 156d,绝对无霜期 118d,年日照时数 2945h。土壤以荒漠灌淤土为主,粉沙壤质,土层深厚,基本理化性状如表 1 所示。

表 1 试验地土壤基本理化性状

Table 1 The basic physical and chemical properties of soil at experimental site

层次 Layer (cm)	速效氮 Available nitrogen ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	速效磷 Available phosphorus ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	速效钾 Available potassium ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	有机质 Organic matter ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	容重 Bulk density ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)
0~10	75.31	3.38	253.95	158	1.06
10~30	53.53	2.73	232.21	156	1.10

1.2 试验设计和材料

田间试验采用随机区组设计,设置 5 个处理,3 次重复。小区长 27m,宽 4 m。试验处理为:(1)传统耕作处理(T),前茬作物收获后深耕(25cm)灭茬、耙耱整平;不覆盖。(2)秸秆翻压处理(TIS),前茬作物收获后,秸秆切碎为 5cm,结合秋深耕翻入土壤。秸秆还田量为 $6750\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。(3)免耕不覆盖处理(NT),前茬作物收获后免耕,不覆盖。(4)免耕秸秆覆盖处理(NTS),前茬作物收获后免耕并将秸秆切碎为 5cm 长度覆盖。秸秆还田量为 $6750\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。(5)免耕立茬(NTSS),前茬作物收获后免耕,立茬留茬 25cm($6750\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)。

试验冬小麦品种为甘肃省张掖市农科所引进的强冬性品种繁 13,净度 98%,发芽率 95%,纯度 96%。每年 9 月 18 用甘肃农业大学工学院研制的免耕覆盖施肥播种机播种,播量 $337.5\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,行距 15cm,播深 6cm。基肥施肥量为施纯氮 $192\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、五氧化二磷 $138\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,折合磷二铵 $300\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,尿素 $300\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。拔节初期结合灌水追施磷二铵 $150\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,尿素 $225\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;抽穗期结合灌水追施磷二铵 $45\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,尿素 $75\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。试验期间灌冬水 $1800\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 、拔节水 $1200\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 、抽穗水 $1050\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 和灌浆水 $900\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$,全生育期灌水量为 $4950\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

1.3 试验方法

分别在冬小麦主要的生育期(拔节期、抽穗期、开花期和成熟期)用根钻取样。根钻钻头直径为 8cm,长 10cm。取样时,按 Bolinder 等的方法取样^[9],即每处理取三钻,一钻的中心在行上(Rr),一钻的中心在行间距的 1/2 处,一钻与行相切,三钻合一为同一土层根系样品,每 10cm 为一个层次,深度为眼睛从土壤样品看不到细微根系的土层。按要求取出的根系装入尼龙网后在水中浸泡半小时,然后再用自来水冲洗干净,用镊子去

除杂质和杂根,之后将其分层平铺于根系扫描仪玻璃板上,经根系扫描仪灰度模式扫描并以图形文件格式存储到计算机中,再采用根系分析软件对之进行分析,从而获得各处理不同阶段不同土层的根长。然后将根置于 105℃ 烘箱中 10~20h 后用万分之一天平称量,即可得到根干重。成熟时每处理取 20 株进行考种,并按小区收获测定实产。

根干重(根长)密度是指单位土壤体积的根干重(根长)。由此根干重密度和根长密度分别有式(1)和(2)确定:

$$DRWD = 10000 \times M/V \quad (1)$$

$$RLD = L/V \quad (2)$$

式中, $DRWD$ 为根干重密度($10^{-4} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$), RLD 为根长密度($\text{cm} \cdot \text{cm}^{-3}$), M 为根系干重(g), L 为根长(cm), V 为土体体积(cm^3),土体体积由式(3)确定:

$$V = \pi r^2 h \quad (3)$$

式中, r 为钻头半径($r=4\text{cm}$), h 为取样深度($h=10\text{ cm}$)。

总根长(干重)是指单位土壤面积的根长(干重),即单位土壤面积的不同土层根长(干重)之和。

1.4 数据分析

数据处理采用 Excel 软件和 SPSS13.0 统计分析软件。

2 结果与分析

2.1 不同耕作措施对冬小麦根系总干重变化的影响

不同耕作措施下冬小麦根系总干重的变化趋势如表 2。在不同测定生育时期,各处理根系总干重大小排序为 $T < TIS < NT < NTSS < NTS$ 。拔节期,NTS 总干重比 T、TIS、NT 和 NTSS 分别增大 17.41%~19.35%、12.96%~14.20%、11.97%~12.19% 和 10.18%~10.92%,且差异显著,而其它处理间差异不显著;拔节后 NTS 和 NTSS 根系生长较快,至抽穗期 NTS 和 NTSS 根系总干重与 T 差异显著,较 T 分别提高 25.85%~32.75% 和 15.49%~21.64%;开花期各处理根系总干重达到整个生育期的最大,NTS 和 NTSS 根系总干重比 T 分别增重 22.49%~34.40% 和 13.71%~23.95%;开花期之后各处理根系总干重有所下降,在成熟期根系总干重明显低于开花期,表明冬小麦须根系在小麦成熟前就较早地出现了衰亡和腐解^[10],但与 T 相比,NTS 和 NTSS 根系总干重依然大于传统耕作 T,说明免耕秸秆残茬覆盖有利于延缓冬小麦根系衰老。而两年中各测定时期,根系总干重在 NT 和 T 的差异性表现不一,由此说明,NTS 和 NTSS 处理根系生物量增大是秸秆还田和耕作措施交互作用的结果。

表 2 不同耕作措施下 0~70cm 土层内冬小麦根干重动态变化(g/m^2)

Table 2 Changes of winter wheat dry root weight in 0~70cm soil depth under different tillage systems

处理 Treatments	2005~2006				2006~2007			
	拔节期 Jointing	抽穗期 Heading	开花期 Flowering	成熟期 Maturity	拔节期 Jointing	抽穗期 Heading	开花期 Flowering	成熟期 Maturity
T	100.98b	129.37c	144.24c	107.94d	95.67b	113.45c	118.03c	101.18c
TIS	104.96b	139.59bc	149.21c	120.62c	99.98b	120.28c	132.89b	107.88c
NT	105.89b	142.98bc	152.93bc	127.58c	101.77b	131.96b	141.38b	122.27b
NTSS	106.88b	149.41b	164.01b	148.42b	103.63b	138.00b	146.29ab	130.30ab
NTS	118.56a	162.81a	176.68a	161.09a	114.18a	150.61a	158.63a	141.12a

同列数据后不同字母表示处理间差异显著($P < 0.05$) Means within columns in the same year followed by the different letter are significantly different at $P < 0.05$;下同 the same below

2.2 不同耕作措施对冬小麦总根长变化的影响

随着生育期的推进,不同耕作措施下冬小麦根系总根长的变化如表(3)。和总干重的变化相似,在不同测定生育时期,各处理总根长大小排序也为 $T < TIS < NT < NTSS < NTS$ 。拔节期,NTS 和 NTSS 根系总根长比 T 分别增长 17.24%~27.59% 和 8.32%~10.78%,且差异显著;与根系总干重变化相似,拔节至抽穗 NTS 和 NTSS 根长增长速度较快,至抽穗期,NTS 和 NTSS 根系总根长较 T 显著提高 25.84%~32.85% 和 18.24%~

24.55% ;抽穗到开花,根长增长速度变慢,但至开花期总根长达到最大,NTS 和 NTSS 总根长较 T 分别增长 22.63% ~34.41% 和 16.41% ~26.88% ;开花期之后各处理总根长有所下降,但 NTS 和 NTSS 总根长比 T 依然大,且差异显著。

表 3 不同耕作措施条件下 0 ~70cm 土层内冬小麦根长动态变化($\times 10^3 \text{ m/m}^2$)

Table 3 Changes of winter wheat root length in 0 ~70cm soil depth under different tillage systems

处理 Treatments	2005 ~2006				2006 ~2007			
	拔节期 Jointing	抽穗期 Heading	开花期 Flowering	成熟期 Maturity	拔节期 Jointing	抽穗期 Heading	开花期 Flowering	成熟期 Maturity
T	5.58b	7.14d	7.96b	6.06c	5.07c	6.26c	6.52d	5.59c
TIS	5.72b	7.62cd	8.15b	6.67bc	5.5bc	6.57c	7.26cd	5.90c
NT	5.88b	7.94bc	8.49b	7.16b	5.77b	7.33b	7.86bc	6.85b
NTSS	6.05a	8.44ab	9.26a	8.49a	5.62b	7.8ab	8.27ab	7.41ab
NTS	6.55a	8.99a	9.76a	8.95a	6.47a	8.32a	8.76a	7.92a

2.3 不同耕作措施对冬小麦根干重密度垂直分布的影响

根干重密度是根系研究的重要指标之一。不同耕作措施下不同生育阶段冬小麦根干重密度在土壤剖面上的垂直分布变化如表(4)所示。冬小麦生育期内,随着土层深度的增加,各处理根系干重密度依次减小。

表 4 不同生育时期不同处理的冬小麦根干重密度($\times 10^{-4} \text{ g/cm}^3$)

Table 4 Dry root weight density of winter wheat under different tillage systems at different growing stages

年份 Years	深度 (cm) Soil depths	拔节期 Jointing stage					抽穗期 Heading stage				
		T	TIS	NT	NTSS	NTS	T	TIS	NT	NTSS	NTS
2005 ~ 2006	0 ~10	4.79d	5.07cd	5.53bc	5.84b	6.61a	6.71d	7.54cd	8.09bc	8.79ab	9.44a
	10 ~20	2.23ab	2.30a	1.92c	1.72d	2.06bc	2.57ab	2.68a	2.33cb	2.20c	2.48ab
	20 ~30	1.21a	1.25a	1.04b	0.99b	1.01b	1.29ab	1.37a	1.26ab	1.15b	1.32ab
	30 ~40	0.78b	0.74b	0.86a	0.89a	0.91a	0.88bc	0.81c	0.91bc	0.94b	1.04a
	40 ~50	0.64c	0.67bc	0.74abc	0.76ab	0.82a	0.71bc	0.70c	0.81ab	0.86a	0.91a
	50 ~60	0.41a	0.43 a	0.47a	0.45a	0.41a	0.50c	0.55c	0.60ab	0.62a	0.61ab
	60 ~70						0.25c	0.28c	0.27c	0.35b	0.43a
2006 ~ 2007	0 ~10	4.59c	4.98bc	5.65ab	5.59ab	6.33a	5.74c	6.31c	7.74b	8.13b	8.93a
	10 ~20	2.24a	2.16 a	1.77 b	1.67b	1.84 b	2.26a	2.34a	1.97a	2.01a	2.13a
	20 ~30	1.18a	1.20a	1.00b	1.06ab	1.11ab	1.27a	1.29a	1.21a	1.23a	1.29a
	30 ~40	0.67b	0.74b	0.74 b	0.91a	0.94a	0.74b	0.81ab	0.90ab	0.94a	0.98a
	40 ~50	0.55b	0.54b	0.61ab	0.64ab	0.71a	0.58b	0.57b	0.54b	0.68ab	0.78a
	50 ~60	0.31b	0.35b	0.38ab	0.45a	0.45a	0.43b	0.44b	0.46b	0.48ab	0.54a
	60 ~70						0.28ab	0.23b	0.34ab	0.29ab	0.37a
年份 Years	深度 (cm) Soil depths	开花期 Flowering stage					成熟期 Maturity stage				
		T	TIS	NT	NTSS	NTS	T	TIS	NT	NTSS	NTS
2005 ~ 2006	0 ~10	7.75b	7.86b	8.56 b	9.5a	10.33a	4.94d	5.56c	6.16 c	7.85b	8.77a
	10 ~20	2.58ab	2.76a	2.44b	2.55ab	2.80a	1.71a	1.76a	1.79 a	2.04a	2.06a
	20 ~30	1.37a	1.41a	1.38a	1.27a	1.33a	1.00c	1.27 b	1.29b	1.33ab	1.43a
	30 ~40	0.98b	1.00ab	1.02ab	1.03ab	1.11a	0.98c	1.02bc	1.11ab	1.05bc	1.18a
	40 ~50	0.73a	0.78a	0.82a	0.92 a	0.92a	0.84b	0.88b	0.91ab	1.04a	1.02a
	50 ~60	0.63a	0.64a	0.66a	0.64a	0.67a	0.71c	0.80bc	0.86ab	0.84ab	0.94a
	60 ~70	0.33c	0.41ab	0.37bc	0.45a	0.46a	0.58a	0.64a	0.61a	0.64a	0.67a
2006 ~ 2007	0 ~10	5.87d	7.24 c	8.07bc	8.59ab	9.33a	5.22d	5.38d	6.41c	7.06b	7.87a
	10 ~20	2.40a	2.37a	2.12b	2.14b	2.41a	1.57a	1.67a	1.77a	1.81a	1.94a
	20 ~30	1.30a	1.34a	1.29a	1.27 a	1.31a	1.08a	1.19 a	1.14a	1.18a	1.22a
	30 ~40	0.75b	0.84b	0.98a	1.00a	1.01a	0.82b	0.82b	1.04a	1.03a	1.05a
	40 ~50	0.61b	0.64ab	0.74ab	0.71ab	0.80a	0.71b	0.74ab	0.81ab	0.87ab	0.91a
	50 ~60	0.47a	0.49a	0.55a	0.49a	0.55a	0.51a	0.55a	0.59a	0.61a	0.62a
	60 ~70	0.36a	0.33a	0.35a	0.38a	0.41a	0.38b	0.41ab	0.42ab	0.44ab	0.47a

且在不同生育时期 NTS 和 NTSS 处理 0 ~ 10cm 的根干重密度都显著大于 T 处理,表明保护性耕作条件下,冬小麦根系生长趋于表层分布。拔节期,T 和 TIS 处理 10 ~ 30cm 的根干重密度大于 NTS、NTSS 和 NT 处理,但 30cm 土层以下各土层根干重密度却小于 NTS、NTSS 和 NT 处理。但随着生育进程的推进,NTS、NTSS 和 NT 处理 10 ~ 30cm 土层的根干重密度逐渐大于 T 和 TIS 处理,且增幅大于 30cm 土层以下,表明拔节后 NTS、NTSS 和 NT 处理侧重 30cm 以上土层根系的生长。各处理表层 0 ~ 30cm 土壤中根干重密度开花期达到最大,而开花期后 30cm 以上土层内根干重密度逐渐减小,而 30cm 以下土层内根干重密度有小幅增加,且 NTS、NTSS 和 NT 处理的增长幅度大于 T 和 TIS 处理。由此表明,NTS、NTSS 和 NT 不仅能增加冬小麦上层根系的数量,还能促进根系向深层生长,增加深层根系的分布数量,提高小麦对深层土壤水分和养分的吸收利用能力,这对产量的提高具有重要意义。据郝晓玲等的研究表明,小麦产量与深层根系关系密切^[11]。

2.4 不同耕作措施对冬小麦根长密度垂直分布的影响

根长密度是单位土体中根的长度,它能很好的说明根系在土体中的分布。不同耕作措施对冬小麦根长密度的空间分布有一定的影响(表5)。根长密度垂直分布的变化趋势也呈现与根干重密度空间分布的变化趋

表5 不同生育时期不同处理的冬小麦根长密度(cm/cm^3)

Table 5 Root length density of winter wheat under different tillage systems at different growing stages

年份 Years	深度(cm) Soil depths	拔节期 Jointing stage					抽穗期 Heading stage				
		T	TIS	NT	NTSS	NTS	T	TIS	NT	NTSS	NTS
2005 ~ 2006	0 ~ 10	2.6d	2.77cd	3.12bc	3.28ab	3.64a	3.63c	4.1bc	4.56ab	4.94a	5.21a
	10 ~ 20	1.25a	1.25a	1.00b	0.96b	1.17a	1.45a	1.46a	1.21b	1.23b	1.41a
	20 ~ 30	0.66a	0.69a	0.56b	0.58b	0.56b	0.70a	0.75a	0.67a	0.68a	0.73a
	30 ~ 40	0.45bc	0.40c	0.49ab	0.51a	0.49ab	0.50b	0.44c	0.52ab	0.53ab	0.56a
	40 ~ 50	0.37b	0.36b	0.42ab	0.44a	0.44a	0.41bc	0.38c	0.46ab	0.51a	0.49a
	50 ~ 60	0.24ab	0.24ab	0.27a	0.25ab	0.23b	0.29b	0.31ab	0.34a	0.35a	0.34a
	60 ~ 70						0.14c	0.16bc	0.14c	0.19b	0.23a
2006 ~ 2007	0 ~ 10	2.42d	2.72cd	3.21b	3.01bc	3.61a	3.18d	3.95c	4.56b	4.82ab	5.14a
	10 ~ 20	1.19a	1.20a	0.97bc	0.89c	1.06ab	1.35a	1.28ab	1.10c	1.20bc	1.37a
	20 ~ 30	0.62ab	0.67a	0.56b	0.58b	0.62ab	0.71a	0.74a	0.69a	0.75a	0.73a
	30 ~ 40	0.36c	0.41bc	0.43b	0.50a	0.51a	0.43c	0.46bc	0.56a	0.57a	0.55ab
	40 ~ 50	0.30b	0.30b	0.35ab	0.36ab	0.40a	0.35a	0.35a	0.42a	0.42a	0.43a
	50 ~ 60	0.17b	0.19b	0.22ab	0.25a	0.26a	0.27a	0.27a	0.31a	0.28a	0.31a
	60 ~ 70						0.20a	0.19a	0.19a	0.21a	0.22a
年份 Years	深度(cm) Soil depths	开花期 Flowering stage					成熟期 Maturity stage				
		T	TIS	NT	NTSS	NTS	T	TIS	NT	NTSS	NTS
2005 ~ 2006	0 ~ 10	4.20c	4.28c	4.83b	5.33ab	5.70a	2.67d	3.08cd	3.47c	4.41b	4.83a
	10 ~ 20	1.45ab	1.50ab	1.27c	1.42b	1.59a	0.96bc	0.95bc	0.93c	1.14ab	1.17a
	20 ~ 30	0.75a	0.77a	0.74a	0.75a	0.73a	0.55c	0.70b	0.69b	0.79a	0.79a
	30 ~ 40	0.56a	0.55a	0.59a	0.58a	0.60a	0.56a	0.59a	0.64a	0.60a	0.64a
	40 ~ 50	0.43a	0.43a	0.47a	0.54a	0.50a	0.53ab	0.50b	0.51b	0.61a	0.55ab
	50 ~ 60	0.36a	0.36a	0.38a	0.37a	0.37a	0.44c	0.47bc	0.54ab	0.56ab	0.58a
	60 ~ 70	0.19b	0.24a	0.20b	0.25a	0.25a	0.32a	0.35a	0.35a	0.36a	0.36a
2006 ~ 2007	0 ~ 10	3.18d	3.95c	4.56b	4.82ab	5.14a	2.71c	2.93c	3.62b	3.97b	4.34a
	10 ~ 20	1.35a	1.28ab	1.10c	1.20bc	1.37a	0.88b	0.90b	0.92ab	1.00ab	1.10a
	20 ~ 30	0.71a	0.74a	0.69a	0.75a	0.73a	0.59a	0.65a	0.61a	0.69a	0.67a
	30 ~ 40	0.43c	0.46bc	0.56a	0.57a	0.55ab	0.47b	0.45b	0.60a	0.58a	0.60a
	40 ~ 50	0.35a	0.35a	0.42a	0.42a	0.43a	0.41b	0.40b	0.47ab	0.51ab	0.53a
	50 ~ 60	0.27a	0.27a	0.31a	0.28a	0.31a	0.30a	0.30a	0.38a	0.38a	0.40a
	60 ~ 70	0.20a	0.19a	0.19a	0.21a	0.22a	0.21b	0.24b	0.23b	0.25b	0.26a

势几乎相似的特征,即除拔节期 10~30cm 土层外,各生育时期 NTS、NTSS 和 NT 处理各土层的根长密度都大于 T 和 TIS 处理,且 NTS 不同土层的根长密度最大,T 的最小;开花期,各处理 30cm 以上土层根长密度达到最大;开花期后上层根系逐渐死亡和腐解,进而根长密度逐渐减小,而 30cm 土层以下根长密度仍然增大,至成熟期达到最大,且 NTS、NTSS 和 NT 的远大于 T,其增大幅度分别为 14.60%~29.09%、14.82%~23.65% 和 10.21%~20.66%,而 T 和 TIS 处理差异不大。成熟期 NTS、NTSS 和 NT 处理 0~10cm 土层的根长密度占各自总根长密度的 54.11%~54.82%、52.00%~53.60% 和 48.57%~52.92%,而 T 仅为 44.21%~48.52%,说明生长后期传统耕作表层根系死亡和腐解较快。

2.5 不同耕作措施对冬小麦产量及其产量因素的影响

两年的试验结果表明(表 6),不同耕作措施对冬小麦穗长、穗粒数和穗粒重影响不大,处理间差异不显著,而不同耕作措施对公顷穗数、千粒重和产量的影响两年表现不一致。2005 年,由于 7 月上旬上茬冬小麦收获后到 9 月中旬播种前的休闲期内,降雨少(46mm),传统耕作 T 表层土壤水分蒸发大,而 NTS 和 NTSS 由于表层秸秆覆盖有效抑制了水分蒸发,从而使播期土壤水分高于传统耕作 T,为冬小麦的发芽创造了良好的土壤环境,同时免耕有利于冬小麦分蘖^[12,13],从而使收获期 NTS、NTSS 和 NT 的公顷穗数较传统耕作 T 分别提高 20.10%、19.14% 和 27.51%,且差异显著,相应的产量也显著提高,较 T 分别提高 30.59%、24.32% 和 27.27%,而千粒重在处理间差异不显著。2006 年,休闲期内降雨多(115.9mm),各处理土壤水分都易于播期冬小麦发芽,发芽率差异不大,从而使收获期各处理公顷穗数差异不显著。而千粒重在 NTS 和 T 处理间差异显著,在其它处理间不显著,而 NTS 和 NTSS 的产量与 T 差异显著。与 T 相比,NTS 和 NTSS 的产量分别提高 12.76% 和 16.84%。由此表明免耕秸秆覆盖能提高冬小麦产量。

表 6 2005~2007 年不同处理的冬小麦产量及其产量构成因素

Table 6 Grain yield and yield components of winter wheat grown under different tillage treatment during 2005~2007

年份 Years	处理 Treatments	公顷穗数 Spikes per hm ² (×10 ⁶)	穗长 LS(cm)	穗粒数 NG	穗粒重 GWPS (g)	千粒重 TGW (g)	产量 Yield(kg·hm ⁻²)
2005~2006	T	4.18b	7.62a	27.96a	1.45a	51.12a	6061b
	TIS	4.58ab	8.08a	31.28a	1.59a	50.61a	7287a
	NT	5.33a	7.87a	30.13a	1.45a	48.82a	7714a
	NTSS	4.98a	8.31a	29.15a	1.53a	52.56a	7535a
	NTS	5.02a	8.06a	30.85a	1.61a	52.23a	7915a
2006~2007	T	4.38a	8.60a	31.69a	1.62a	47.36b	6533b
	TIS	4.41a	8.98a	32.51a	1.77a	50.19ab	7067ab
	NT	4.32a	8.50a	33.53a	1.82a	50.80ab	7300ab
	NTSS	4.78a	8.42a	32.82a	1.65a	50.39ab	7367a
	NTS	4.28a	9.00a	35.60a	1.87a	51.08a	7633a

LS, length of spike; NG, number of grain per spike; GWPS, grain weight per spike; TGW, thousand-grain weight

3 小结和讨论

(1) 免耕秸秆覆盖和免耕立茬冬小麦根系生物量的增大是耕作措施和秸秆还田交互作用的结果。拔节期,免耕秸秆覆盖显著提高了冬小麦根系总干重和总根长;拔节后,免耕秸秆覆盖和免耕立茬条件下冬小麦根系生长快,根系总干重和总根长显著大于传统耕作处理;开花期各处理总根长和根系总干重达到整个生育期的最大,之后根系总根长和总干重开始下降。

(2) 作物根干重密度和根长密度是根系研究的重要指标。已有关于保护性耕作措施对作物根系干重密度和根长密度影响的研究结果不一。有研究表明,由于免耕表层丰富的水分和养分,使得其 0~10cm 的玉米根长密度大于传统耕作^[14],本研究中不同生育时期 NTS、NTSS 和 NT 处理 0~10cm 的根干重密度都大于 T 和 TIS 处理,且差异显著,结果与其相似,表现出趋于表层分布的特征。也有研究表明,免耕措施下整个土层中作物根长密度都小于传统耕作^[15],还有研究表明免耕和传统耕作对根长密度分布的影响是相似的^[16]。本研

究中,拔节期 T 和 TIS 处理 10~30cm 的根干重密度和根长大于 NTS、NTSS 和 NT 处理,与已有的研究结果相似^[17],而全生育期 30cm 土层以下 NTS、NTSS 和 NT 处理各土层根长密度和根干重密度大于 T 和 TIS 处理,这可能是由于传统耕作中比较紧实的犁地层的存在不利于冬小麦根系的下扎而聚犁底层之上生长^[18],而保护性耕作土层结构未受扰动,有效的连续性孔隙有利于根系向下生长^[19]。拔节后,30cm 以下土层内根长密度和根干重密度 NTS、NTSS 和 NT 处理的增长幅度大于 T 和 TIS 处理,这与 Raimond 和 Destain^[20]的研究结果相似。

(3)作物产量是一个系统管理水平与土壤生产力的综合反映,也是农业持续发展的重要评价指标^[21]。有研究表明^[12,22~25],免耕能提高作物的产量,本研究中 NTS 和 NTSS 的产量都显著大于 T,较 T 分别提高 16.84%~30.59% 和 12.76%~24.32%。其原因之一是免耕增加了亩穗数和千粒重^[12,22,23],本研究中,2006 年 NTS、NTSS 和 NT 的亩穗数显著高于传统耕作 T,相应的产量也显著高于 T;2007 年 NTS 和 NTSS 千粒重显著高于 T,相应的产量也显著高于 T。而另一方面,免耕秸秆覆盖改善了土体结构^[19],增大了根系生物量,提高了土壤含水量^[24,25],从而使根系能有效的吸收土壤水分和养分供地上组织利用,增大产量形成潜力,从而提高产量。

(4)保护性耕作措施对根系生长的影响还与保护性耕作的实施年限有关^[26],同时根系的生长还受降水的影响^[27],因此相关的研究有待于进一步开展。

References:

- [1] Sumio Itoh. *In situ* measurement of rooting density by micro-rhi-zotron Soil Sci. Plant Nutr, 1985, 31(4): 653—656.
- [2] Weaver, J. E. Root development of field crops. Mc Graw-Hill, New York, 1926.
- [3] Miao G Y, Gao Zh Q, Zhang Y T, *et al.* Effect of Water and Fertilizer to Root System and Its Correlation with Tops in Wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 2002, 28(4): 445—450.
- [4] Sun H G, Zhang F S. Morphology of wheat roots under low-phosphorus stress. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 13(3): 295—299.
- [5] Zhang Y Q, Miao G Y. Effects of Manure on Root and Shoot Growth of Winter Wheat under Water Stress. *Acta Agronomica Sinica*, 2006, 32(6): 811—816.
- [6] Li J C, Wei F Zh, Wang Ch Yu, *et al.* Effects of Waterlogging on Senescence of Root System at Booting Stage in Winter Wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 2006, 32(9): 1355—1360.
- [7] Zhou S M, Wang C Y, Zhang Zh Yi, *et al.* Effect of Waterlogging on the Growth and Nutrient Metabolism of the Root System of Winter Wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 2001, 27(5): 673—679.
- [8] Zhao B Q, Li F Ch, Xue J, *et al.* Effect of Different Tillage Methods on Root Growth of Winter Wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 1997, 23(5): 587—596.
- [9] Bolinder M A, Angers D A, Dubuc J P. Estimating shoot to root ratios and annual carbon inputs in soils for cereal crops. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1997, 63: 61—66.
- [10] Zhang X Y, Yuan X L, Han R E, *et al.* Effects of soil conditions on root growth of winter wheat. *Eco-agriculture Research*, 1994, 2(3): 62—68.
- [11] Ma Y X. Roots of Wheat (In Chinese). Beijing: China Agricultural Press, 1999. 119—135, 103—104, 244, 227.
- [12] Zhang Sh A, Ma J L, Cui A Zh, *et al.* Effect of different tillage techniques on yield and water utilization in winter wheat. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(1): 110—113.
- [13] Yao Y Q, Lu J J, Wang Y H, *et al.* Effect of conservation tillage on yield and benefit of winter wheat in dry-land in west Henan. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2002, 20(4): 42—44.
- [14] Ball Coelho B R, Roy R C, Swanton C J. Tillage alters corn root distribution in coarse-textured soil. *Soil Tillage Res*, 1998, 45: 237—249.
- [15] Karunatilake U, van Es H M, Schindelbeck R R. Soil and maize response to plow and no-tillage after alfalfa-to-maize conversion on a clay loam soil in New York. *Soil Tillage Res*, 2000, 55: 31—42.
- [16] Raczowski C W. Effects of four tillage systems on corn (*Zea mays* L.) root distribution in the North Carolina Piedmont. *Diss. Abstr. Int.*, B, 50:380B. physical properties. *Am J Soil Sci Soc*, 1989, 54: 161—166.
- [17] Wulfsohn D, Gu Y, Wulfsohn A, *et al.* Statistical analysis of wheat root growth patterns under conventional and no-till systems. *Soil Tillage Res*, 1996 38: 1—16.

- [18] Hassan M M, Gregory P J. Water transmission properties as affected by cropping and tillage systems. *Pak J Soil Sci*, 1999, 16, 29—38.
- [19] Martino DL, Shaykewich C F. Root penetration profiles of wheat and barley as affected by soil penetration resistance in field conditions. *Can J Soil Sci*, 1994, 74: 193—200.
- [20] Raimond Y, *et al.* Determination of root activity of arable crops by spraying ^{86}Rb . Effect of soil cultivation. *J. Bulletin- des-Recherches-Agronomiques-de-Gembloux*, 1993, 28: 4, 445—461.
- [21] Zhang Zh G, Xu Q. Influences of long-term mulched no-tillage treatment on some soil physical and chemical properties and corn yields. *Acta Pedologica Sinica*, 1998, 35(3): 384—391.
- [22] Yao Y Q, Wang Y H, Lu J J, *et al.* Effects of different conservation tillage practices on winter at growth and water use efficiency. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 2008, 24(2): 249—256.
- [23] Li Y, Li W Y. Experimental study on the mechanization of conservation tillage system in cold, windy and sandy areas. *Journal of China Agricultural University*, 2004, 9 (3): 16—20.
- [24] Huang G B, Guo Q Y, Zhang R Zh, *et al.* Effects of conservation tillage on soil moisture and crop yield in a phased rotation system with spring wheat and field pea in dryland. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(4): 1176—1185.
- [25] Li L L, Huang G B, Zhang R Zh, *et al.* Effects of conservation tillage on soil water regimes in rainfed areas. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25 (9): 2326—2332.
- [26] Pearson G. J, Mann I G., Zhang Z. Changes in root growth within successive wheat crops in a cropping cycle using minimum and conventional tillage. *Field Crops Res*, 1991, 28:117—133.
- [27] Fitter A H. The ecological significance of root system architecture, an economic approach. In: Atkinson, D. ed. *Plant Root Growth: An Ecological Perspective*. Oxford, Blackwell Scientific Publications, 1991, 229—243.

参考文献:

- [3] 苗果园, 高志强, 张云亭, 等. 水肥对小麦根系整体影响及其与地上部相关的研究. *作物学报*, 2002, 28(4): 445~450.
- [4] 孙海国, 张福锁. 缺磷胁迫下的小麦根系形态特征研究应用. *生态学报*, 2002, 13(3): 295~299.
- [5] 张永清, 苗果园. 水分胁迫条件下有机肥对小麦根苗生长的影响. *作物学报*, 2006, 32(6): 811~816.
- [6] 李金才, 魏凤珍, 王成雨, 等. 孕穗期土壤渍水逆境对冬小麦根系衰老的影响. *作物学报*, 2006, 32(9): 1355~1360.
- [7] 周苏政, 王晨阳, 张重义, 等. 土壤渍水对冬小麦根系生长及营养代谢的影响. *作物学报*, 2001, 27(5): 673~679.
- [8] 赵秉强, 李凤超, 薛坚, 等. 不同耕法对冬小麦根系生长发育的影响. *作物学报*, 1997, 23(5): 587~596.
- [10] 张喜英, 袁小良, 韩润娥, 等. 冬小麦根系生长规律及土壤环境条件对其影响的研究. *生态农业研究*, 1994, 2(3): 62~68.
- [11] 马元喜主编. 小麦的根. 北京: 中国农业出版社, 1999. 119~135, 103~104, 244, 227.
- [12] 张胜爱, 马吉利, 崔爱珍, 等. 不同耕作方式对冬小麦产量及水分利用状况的影响. *中国农学通报*, 2006, 22(1): 110~113.
- [13] 姚宇卿, 吕军杰, 王育红, 等. 保持耕作对豫西旱地冬小麦产量及效益的影响. *干旱地区农业研究*, 2002, 20(4): 42~44.
- [21] 张志国, 徐琪. 长期秸秆覆盖免耕对土壤某些理化性质及玉米产量的影响. *土壤学报*, 1998, 35(3): 384~391.
- [22] 姚宇卿, 王育红, 吕军杰, 等. 不同保护性耕作模式对冬小麦生长发育及水分利用的影响. *农业系统科学与综合研究*, 2008, 24(2): 249~256.
- [23] 李昱, 李问盈. 冷凉风沙区机械化保护性耕作技术体系试验研究. *中国农业大学学报*, 2004, 9 (3): 16~20.
- [24] 黄高宝, 郭清毅, 张仁陟, 等. 保护性耕作条件下旱地农田麦-豆双序列轮作体系的水分动态及产量效应. *生态学报*, 2006, 26(4): 1176~1185.
- [25] 李玲玲, 黄高宝, 张仁陟, 等. 不同保护性耕作措施对旱作农田土壤水分的影响. *生态学报*, 2005, 25(9): 2326~2332.