

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.08.009

华北一年两熟区免耕开沟种床对农田作物生长的影响^{*}

何进¹ 王庆杰¹ 李洪文¹ 卢彩云¹ 乔晓东¹ 路战远²

(1. 中国农业大学现代农业装备优化设计北京市重点实验室, 北京 100083; 2. 内蒙古自治区农牧业科学院, 呼和浩特 010031)

摘要: 2008 ~ 2010 年在北京市大兴区研究了免耕开沟种床对土壤水分、作物生长、产量和水分利用效率的影响。试验结果表明:免耕开沟种床能增强土壤蓄水保墒能力,与翻耕种床相比,0 ~ 30 cm 土层土壤体积含水率提高 0.2% ~ 2.7%,促进了作物生长,其中免耕播种开沟深度为 20 cm 的种床优势最为明显,相对翻耕种床可提高冬小麦产量 2.4% 和水分利用效率 7.4%、夏玉米产量 1.2% 和水分利用效率 1.5%。研究表明,华北一年两熟区免耕播种的适宜开沟深度为 20 cm。

关键词: 免耕 种床 生长特性 产量 水分利用效率

中图分类号: S345 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298 (2013)08-0050-07

Effects of No-till Opening Seedbed on Crop Growth in Annual Double Cropping Areas in Northern China

He Jin¹ Wang Qingjie¹ Li Hongwen¹ Lu Caiyun¹ Qiao Xiaodong¹ Lu Zhanyuan²

(1. Beijing Key Laboratory of Optimized Design for Modern Agricultural Equipment, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. Inner Mongolia Academy of Agriculture and Animal Husbandry, Huhhot 010031, China)

Abstract: The effect of no-till (NT) opening seedbed characteristics on soil moisture, crop growth, yield and water use efficiency (WUE) was studied in the field experiment at Daxing in Beijing in 2008 ~ 2010. The results indicated that no-till opening seedbeds could increase the capacity of water storage. Compared with traditional tillage seedbed, volumetric soil water content increased by 0.2% ~ 2.7% in 0 ~ 30 cm soil layer and the crops growth were also promoted. The best results were achieved by the seedbed of NT with the opening depth of 20 cm. Compared with traditional tillage seedbed, NT with the opening depth of 20 cm increased winter wheat yield and WUE by 2.4% and 7.4%, and summer maize yield and WUE by 1.2% and 1.5%, respectively. The study showed that 20 cm could be the suitable opening depth for no-till seeding in northern China plain.

Key words: No-till Seedbed Growth characteristic Yield Water use efficiency

引言

华北一年两熟区是中国重要的粮食主产区,存在资源消耗大、作业成本高、秸秆焚烧等影响农业可持续发展的问题^[1]。国内外研究表明,保护性耕作具有显著的节本增效、节水保墒、培肥地力等作用^[2~4]。

免耕播种是保护性耕作的关键技术,其要求免耕播种机开沟器在有秸秆覆盖的未耕整地上开沟播种,创造适宜作物出苗和生长的种床^[5~6]。华北一年两熟区,免耕茬地地表坚实且有大量秸秆覆盖,因此多采用破茬入土和开沟能力强的尖角型开沟器。根据免耕播种的要求,尖角型开沟器应在少动土的情况下创造有利于作物生长的种床^[7~8];另一方面,

收稿日期: 2012-07-27 修回日期: 2012-11-09

^{*} 国家自然科学基金资助项目(51175499, 51205398)和北京市自然科学基金资助项目(6112015)

作者简介: 何进,副教授,博士,主要从事保护性耕作研究, E-mail: hejin@cau.edu.cn

通讯作者: 李洪文,教授,博士生导师,主要从事保护性耕作研究, E-mail: lhwen@cau.edu.cn

现有农艺研究表明,在免耕播种条件下适宜的土壤扰动有利于促进作物出苗,获得高产^[9~10]。因此,免耕播种种床的特性不仅影响作物的生长和产量,而且在一定程度上也决定开沟器的结构与设计。现有文献都未从加强农机农艺相结合的角度开展免耕播种种床特性方面的研究。

本文研究华北一年两熟区在不同动土量和开沟深度下,尖角型开沟器形成的免耕种床对土壤水分、作物生长和产量的影响,可为当地冬小麦/夏玉米免耕播种模式的确定和高性能尖角型开沟器的研发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区气候特点

试验于2008年10月~2010年10月在北京市大兴区长子营镇朱庄进行。当地气候属于暖温带半湿润大陆季风气候,年均气温10~12℃,全年无霜期180~200 d,年均降水量600 mm左右,75%集中在夏季。试验地土壤类型为褐土,土壤肥力中等偏下,平均有机质小于1.0 g/kg。种植冬小麦-夏玉米一年两熟作物,试验用冬小麦品种为京9428,播种量300 kg/hm²,播种时施磷酸二铵262 kg/hm²、尿素112 kg/hm²,浇冻水和拔节期浇水时施尿素112 kg/hm²;夏玉米品种为怀研10号,播种量30 kg/hm²,夏玉米整个生长期施玉米专用复混肥375 kg/hm²。冬小麦10月播种,11月和次年3、4、5月各灌溉1次,6月收获;夏玉米在6月小麦收获后立即播种,7月灌溉1次,10月收获。

1.2 试验设置

试验设置4种处理,每个处理3次重复,共12个小区,试验小区面积为4 m×4 m,田间完全随机设计。处理分别为:①传统翻耕(CK):人工移除所有作物秸秆、撒肥、翻耕25 cm、平整后播种(5 cm)。②免耕10 cm(NT10):全部秸秆覆盖、尖角型开沟器形成10 cm深的U型种沟(沟宽4 cm)、种肥垂直分施(种深5 cm、肥深10 cm)。③免耕15 cm(NT15):全部秸秆覆盖、尖角型开沟器形成15 cm深的U型种沟(沟宽4 cm)、种肥垂直分施(种深5 cm、肥深10 cm)。④免耕20 cm(NT20):全部秸秆覆盖、尖角型开沟器形成20 cm深的U型种沟(沟宽4 cm)、种肥垂直分施(种深5 cm、肥深10 cm)。

2 测试方法

2.1 土壤体积含水率

土壤体积含水率采用干燥法进行测定,分别用环刀取0~30 cm和30~60 cm土样,于105℃条件

下干燥至恒质量。每小区3次重复,分别在冬小麦和夏玉米各关键生育期内测定。同时测定种沟内、外的土壤体积含水率,土壤容积密度和土壤体积含水率^[11]计算公式为

$$v = W_2/V_1 \tag{1}$$

$$C = \frac{(W_1 - W_2)v}{W_2\rho} \times 100\% \tag{2}$$

式中 v ——土壤容积密度,g/cm³
 C ——土壤体积含水率,%
 W_1 ——土壤湿土质量,g
 W_2 ——干燥土质量,g
 V_1 ——环刀容积,cm³
 ρ ——水的密度,g/cm³

2.2 植株干质量

选取整个植株地上部分,置于干燥箱中105℃杀青2 h,然后70℃干燥至恒质量^[6,12]。

2.3 产量

每小区选取有代表性的1 m²人工收获,收获后在70℃条件下干燥,称取质量并计算产量^[12~13]。

2.4 水分利用效率

在冬小麦和夏玉米播种前、收获后以20 cm为一土层采集土样,采用干燥法测定每小区0~100 cm(共5个土层)的土壤质量含水率和容积密度,水分利用效率计算式为^[14](因试验地地势平坦,未考虑地表径流渗漏等)

$$E = \frac{Y}{T} \tag{3}$$

其中 $T = P + I - \Delta W \tag{4}$

$$W = 10 \sum_{i=1}^n r_i v_i z_i / \rho$$

式中 E ——水分利用效率,kg/(mm·hm²)
 Y ——经济产量,kg/hm²
 T ——作物蒸发蒸腾量,mm
 W ——不同时期土壤贮水量,mm
 P ——该时段有效降水量,mm
 I ——灌水量,mm
 ΔW ——土壤贮水消耗量即播种前与收获后的土壤贮水变化量,mm
 r_i ——土层*i*的土壤质量含水率,%
 v_i ——土层*i*的土壤容积密度,g/cm³
 z_i ——土层*i*的厚度,cm

3 数据统计与分析

采用SPSS 13.0 统计分析软件,对试验数据进行单因素方差分析,采用LSD法进行多重分析和显著性检验,显著水平为 $P=0.05$ 。

4 结果分析与讨论

4.1 土壤体积含水率

4.1.1 冬小麦土壤体积含水率

冬小麦 10 月中旬播种,第 2 年 6 月中旬收获,全生育期处于北京的少雨季节,水分供需矛盾相对

突出,所以土壤体积含水率对其生长和产量影响较大。由表 1 可知,4 种处理的土壤体积含水率均呈现先升后降的趋势。这主要是由于冬小麦播种后,灌水及季节性的降雨增加了土壤含水率,而在冬小麦生长后期,对水分需求增大,导致土壤水分下降。

表 1 不同处理冬小麦关键生育期 0 ~ 60 cm 深度土壤体积含水率

Tab.1 Volumetric soil water content of 0 ~ 60 cm layers in key growing stage of winter wheat under different treatments

%

取土 位置	土层 位置/cm	处理	2008 ~ 2009 年				2009 ~ 2010 年			
			出苗期	拔节期	抽穗期	灌浆期	出苗期	拔节期	抽穗期	灌浆期
种沟内	0 ~ 30	CK	16. 51 ^a	20. 45 ^a	18. 92 ^a	17. 91 ^a	17. 51 ^a	21. 55 ^a	19. 66 ^a	18. 90 ^a
		NT10	16. 77 ^a	20. 67 ^a	19. 63 ^a	18. 59 ^a	17. 93 ^a	22. 06 ^a	20. 77 ^a	19. 87 ^a
		NT15	17. 03 ^a	21. 16 ^a	19. 22 ^a	18. 71 ^a	17. 92 ^a	22. 78 ^a	20. 48 ^a	19. 97 ^a
		NT20	17. 15 ^a	21. 38 ^a	19. 97 ^a	18. 43 ^a	18. 42 ^a	23. 11 ^a	20. 70 ^a	19. 94 ^a
	30 ~ 60	CK	24. 85 ^a	26. 70 ^a	26. 27 ^a	24. 28 ^a	25. 62 ^a	27. 58 ^a	27. 44 ^a	25. 48 ^a
		NT10	25. 13 ^a	26. 84 ^a	26. 55 ^a	24. 00 ^a	26. 04 ^a	27. 44 ^a	26. 60 ^a	25. 90 ^a
		NT15	25. 13 ^a	27. 55 ^a	26. 70 ^a	24. 71 ^a	26. 60 ^a	28. 14 ^a	26. 88 ^a	25. 48 ^a
		NT20	24. 85 ^a	27. 26 ^a	26. 84 ^a	24. 85 ^a	26. 46 ^a	27. 72 ^a	27. 16 ^a	26. 18 ^a
种沟外	0 ~ 30	CK	16. 51 ^a	20. 45 ^a	18. 92 ^a	17. 91 ^a	17. 51 ^a	21. 55 ^a	19. 66 ^a	18. 90 ^a
		NT10	17. 15 ^a	21. 60 ^a	20. 52 ^a	19. 31 ^a	18. 36 ^a	22. 78 ^a	21. 71 ^a	20. 64 ^a
		NT15	17. 95 ^a	22. 47 ^a	20. 55 ^a	19. 73 ^a	18. 90 ^a	24. 07 ^a	21. 49 ^a	21. 35 ^a
		NT20	17. 41 ^a	22. 30 ^a	20. 94 ^a	19. 72 ^a	18. 90 ^a	24. 30 ^a	22. 14 ^a	20. 93 ^a
	30 ~ 60	CK	24. 85 ^a	26. 70 ^a	26. 27 ^a	24. 28 ^a	25. 62 ^a	27. 58 ^a	27. 44 ^a	25. 48 ^a
		NT10	24. 85 ^a	26. 84 ^a	26. 70 ^a	24. 28 ^a	25. 90 ^a	27. 16 ^a	26. 46 ^a	26. 18 ^a
		NT15	25. 28 ^a	27. 26 ^a	26. 98 ^a	24. 57 ^a	26. 60 ^a	27. 58 ^a	26. 60 ^a	25. 62 ^a
		NT20	24. 57 ^a	27. 12 ^a	26. 98 ^a	24. 85 ^a	26. 18 ^a	27. 72 ^a	27. 02 ^a	26. 32 ^a
算术平均	0 ~ 30	CK	16. 51 ^a	20. 45 ^a	18. 92 ^a	17. 91 ^a	17. 51 ^a	21. 55 ^a	19. 66 ^a	18. 90 ^a
		NT10	16. 96 ^a	21. 13 ^a	20. 07 ^a	18. 95 ^a	18. 15 ^a	22. 42 ^a	21. 24 ^a	20. 25 ^a
		NT15	17. 49 ^a	21. 81 ^a	19. 88 ^a	19. 22 ^a	18. 41 ^a	23. 43 ^a	20. 99 ^a	20. 66 ^a
		NT20	17. 29 ^a	21. 85 ^a	20. 46 ^a	19. 07 ^a	18. 67 ^a	23. 71 ^a	21. 42 ^a	20. 44 ^a
	30 ~ 60	CK	24. 85 ^a	26. 70 ^a	26. 27 ^a	24. 28 ^a	25. 62 ^a	27. 58 ^a	27. 44 ^a	25. 48 ^a
		NT10	24. 99 ^a	26. 84 ^a	26. 63 ^a	24. 14 ^a	25. 97 ^a	27. 30 ^a	26. 53 ^a	26. 04 ^a
		NT15	25. 21 ^a	27. 41 ^a	26. 84 ^a	24. 64 ^a	26. 60 ^a	27. 86 ^a	26. 74 ^a	25. 55 ^a
		NT20	24. 71 ^a	27. 19 ^a	26. 91 ^a	24. 85 ^a	26. 32 ^a	27. 72 ^a	27. 09 ^a	26. 25 ^a

注:表中同一生育期、同一土层、同一列内右上角标有相同的字母表示不同处理之间不存在显著的差异($P=0.05$),下同。

对比不同处理可知,在 0 ~ 30 cm 土层,冬小麦整个生育期间 NT10、NT15 和 NT20 土壤体积含水率较 CK 有所提高,种沟内、外的土壤体积含水率依次渐增。与彭文英所述免耕覆盖土壤含水量比传统耕作大,普遍可增加土壤含水率 2% ~ 8% 的结论基本一致^[15]。免耕处理种沟内土壤体积含水量增幅为 0.2% ~ 1.5%,种沟外为 0.6% ~ 2.7%,差异不显著,且 2010 年较 2009 年效果明显。其中,同一生长期、同一土层上种沟外土壤体积含水率均高于沟内土壤,两者差异不显著,主要原因是种沟内土壤水分被植物吸收利用和免耕开沟扰动的土壤蒸发加剧。综合 0 ~ 30 cm 土层种沟内、种沟外的土壤体积含水

率变化情况可知,NT20 的土壤体积含水率最高,种沟内土壤的体积含水率较 CK 最大提高了 1.5 个百分点,种沟外最大提高了 2.7 个百分点,种沟内、外平均提高了 2.1 个百分点。结果表明免耕处理能提高土壤蓄水保墒的作用,且随开沟深度的加深有增加趋势^[15]。

在 30 ~ 60 cm 土层,NT10 和 CK 的土壤体积含水率相差不大,NT15 和 NT20 的土壤体积含水率仍高于 CK,但增量相对 0 ~ 30 cm 土层略有降低。表明免耕具有相对较强的蓄水能力,且随免耕开沟深度的增加有增加趋势。耕作措施改变土壤结构,翻耕深度为 25 ~ 30 cm,免耕为 5 ~ 20 cm,各种

处理对30 ~ 60 cm 土层土壤未进行作业,土壤体积含水率在 30 ~ 60 cm 变化不显著。与李玲玲研究的小麦和豌豆播种期与开花期土壤含水量剖面变化特征基本一致^[16],免耕的保水作用主要体现在表层土壤。

4.1.2 夏玉米土壤体积含水率

由表 2 可以看出,在夏玉米整个生长期间的0 ~ 30 cm 土层,土壤体积含水率整体上呈下降趋势。这是因为夏玉米拔节期后,进入旺盛生长阶段,植株

迅速增大,对水分的需求较为迫切^[17]。免耕处理土壤的体积含水率要高于翻耕土壤,这种效果对于 NT15 和 NT20 尤其明显。2009 年夏玉米全生育期,NT15 和 NT20 在种沟内、外土壤加权平均的体积含水率相对 CK 的增幅在 0.6% ~ 1.8%,而在 2010 年其增幅在 0.7% ~ 2.0%。试验结果同国内外关于耕作措施对土壤水分的影响研究基本一致,表明耕作措施对土壤含水率有影响,其中免耕处理相对翻耕能增加土壤含水率^[15]。

表 2 不同处理夏玉米关键生育期 0 ~ 60 cm 深度土壤体积含水率

Tab.2 Volumetric soil water content of 0 ~ 60 cm layers in key growing stage of summer maize under different treatments

%

取土位置	土层位置/cm	处理	2008 ~ 2009 年			2009 ~ 2010 年		
			拔节期	灌浆期	成熟期	拔节期	灌浆期	成熟期
种沟内	0 ~ 30	CK	21.08 ^a	19.94 ^a	18.67 ^a	21.29 ^a	20.54 ^a	19.15 ^a
		NT10	21.19 ^a	20.67 ^a	19.89 ^a	22.19 ^a	20.77 ^a	20.12 ^a
		NT15	21.67 ^a	21.16 ^a	19.87 ^a	22.40 ^a	21.12 ^a	20.10 ^a
		NT20	21.38 ^a	21.25 ^a	19.97 ^a	21.72 ^a	21.46 ^a	20.70 ^a
	30 ~ 60	CK	26.27 ^a	24.99 ^a	23.57 ^a	26.32 ^a	25.06 ^a	24.08 ^a
		NT10	26.13 ^a	24.71 ^a	24.14 ^a	25.90 ^a	25.76 ^a	23.80 ^a
		NT15	26.55 ^a	25.28 ^a	23.15 ^a	26.60 ^a	25.48 ^a	24.50 ^a
		NT20	25.84 ^a	25.28	24.00 ^a	26.18 ^a	25.62 ^a	24.22 ^a
种沟外	0 ~ 30	CK	21.08 ^a	19.94 ^a	18.67 ^a	21.29 ^a	20.54 ^a	19.15 ^a
		NT10	22.28 ^a	21.47 ^a	21.20 ^a	22.91 ^a	21.84 ^a	21.31 ^a
		NT15	22.88 ^a	21.78 ^a	20.69 ^a	23.53 ^a	22.58 ^a	20.94 ^a
		NT20	22.17 ^a	22.03 ^a	20.81 ^a	22.55 ^a	22.68 ^a	21.74 ^a
	30 ~ 60	CK	26.27 ^a	24.99 ^a	23.57 ^a	26.32 ^a	25.06 ^a	24.08 ^a
		NT10	25.56 ^a	25.42 ^a	24.00 ^a	25.48 ^a	25.90 ^a	23.66 ^a
		NT15	26.41 ^a	25.42 ^a	23.57 ^a	26.46 ^a	25.20 ^a	24.50 ^a
		NT20	25.70 ^a	25.56 ^a	24.00 ^a	26.18 ^a	25.48 ^a	24.50 ^a
算术平均	0 ~ 30	CK	21.08 ^a	19.94 ^a	18.67 ^a	21.29 ^a	20.54 ^a	19.15 ^a
		NT10	21.73 ^a	21.07 ^a	20.54 ^a	22.55 ^a	21.30 ^a	20.71 ^a
		NT15	22.28 ^a	21.48 ^a	20.28 ^a	22.97 ^a	21.85 ^a	20.53 ^a
		NT20	21.78 ^a	21.65 ^a	20.39 ^a	22.14 ^a	22.07 ^a	21.22 ^a
	30 ~ 60	CK	26.27 ^a	24.99 ^a	23.57 ^a	26.32 ^a	25.06 ^a	24.08 ^a
		NT10	25.84 ^a	25.06 ^a	24.07 ^a	25.69 ^a	25.83 ^a	23.73 ^a
		NT15	26.48 ^a	25.35 ^a	23.36 ^a	26.53 ^a	25.34 ^a	24.50 ^a
		NT20	25.77 ^a	25.42 ^a	24.00 ^a	26.18 ^a	25.55 ^a	24.36 ^a

综合分析 2008 ~ 2009 和 2009 ~ 2010 年不同处理下冬小麦和夏玉米全生育期土壤水分情况可知,免耕播种由于减少了土壤扰动和水分的无效蒸发,增强了土壤的蓄水能力,因此免耕开沟种床的土壤体积含水率高于翻耕种床,这种效果在 0 ~ 30 cm 深度最为明显。夏玉米的生长期正处于北京的雨季,较多的降雨在一定程度上削弱了耕作的影响,因而免耕开沟种床相对翻耕种床增加土壤体积含水率的效应在冬小麦生长期间更为明显。

对于免耕开沟种床,NT20 对地表以下 20 cm 深

度的土壤均具有疏松作用,可较好地促进种床土壤吸收灌溉水和降雨^[18],其土壤体积含水率在冬小麦和夏玉米整个生育期间都相对最高。表明免耕和秸秆覆盖条件下,适宜的土壤扰动有利于增强土壤的蓄水保墒能力,增加土壤体积含水率。

4.2 出苗数

4.2.1 冬小麦

图 1 为 4 种不同处理冬小麦出苗情况。结果表明,免耕开沟种床整体的出苗数高于传统翻耕种床。2008 ~ 2009 年,除了 NT10,其他 2 种免耕开沟种床

(NT15、NT20)冬小麦出苗数相对 CK 种床分别提高了 3.5% 和 3.1%;2009 ~ 2010 年,NT10、NT15 和 NT20 冬小麦的出苗数分别为 550、560 和 566 株/m²,相对 CK (536 株/m²) 分别提高了 2.6%、4.5% 和 5.6%,但不同处理间差异不显著 ($P=0.05$),这与各处理中出苗期水分和养分的及时供应有关。郑亭等研究耕作方式、播深及覆土对小麦麦苗素质的影响也表明免耕条件下的出苗率最高^[19],NT20 能为种子提供相对较好的温度和疏松度,因此出苗率最高。

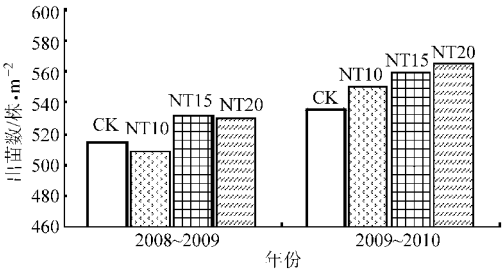


图1 不同处理冬小麦出苗数

Fig. 1 Seedling emergence of winter wheat under different treatments

表 3 不同处理冬小麦植株性状

Tab. 3 Winter wheat performance under different treatments

生长期	处理	2008 ~ 2009 年			2009 ~ 2010 年		
		株高/cm	植株茎粗/cm	植株干质量/g·株 ⁻¹	株高/cm	植株茎粗/cm	植株干质量/g·株 ⁻¹
拔节期	CK	39.1 ^a	0.37 ^a	0.62 ^a	42.6 ^a	0.42 ^a	0.70 ^a
	NT10	39.8 ^a	0.36 ^a	0.60 ^a	42.9 ^a	0.43 ^a	0.74 ^a
	NT15	38.2 ^a	0.38 ^a	0.62 ^a	43.2 ^a	0.39 ^a	0.71 ^a
	NT20	39.3 ^a	0.40 ^a	0.66 ^a	44.5 ^a	0.44 ^a	0.77 ^a
灌浆期	CK	67.2 ^a	0.50 ^a	2.82 ^a	71.6 ^a	0.61 ^a	3.09 ^a
	NT10	68.0 ^a	0.49 ^a	2.98 ^a	70.8 ^a	0.69 ^a	3.12 ^a
	NT15	69.0 ^a	0.47 ^a	2.92 ^a	72.5 ^a	0.63 ^a	3.19 ^a
	NT20	71.3 ^a	0.51 ^a	3.07 ^a	72.3 ^a	0.69 ^a	3.28 ^a

2009 ~ 2010 年 4 种不同处理冬小麦植株性状的变化趋势与 2008 ~ 2009 年基本相同,但 NT20 相对 CK 更能促进冬小麦生长,其相对 CK 拔节期的株高提高了 4.5% 和植株干质量提高了 10.0%,灌浆期茎粗提高了 13.1% 和植株干质量提高了 6.1%。综合以上分析可知,NT20 种床的冬小麦长势相对最优。但在同等的田间管理条件下,免耕秸秆覆盖虽能提供部分养分,但由于免耕年限较短,免耕地中秸秆分解微生物的活动较少,土壤养分变化不明显,因此不同处理作物长势略有不同,但差异不明显。

表 4 为不同处理下冬小麦产量情况。免耕开沟种床的穗长和穗粒数略优于翻耕种床,且其千粒质量在试验的两年间分别比翻耕提高了 0.7% 和 1.7%,特别是 NT20,其千粒质量在两年间相对翻耕

4.2.2 夏玉米

试验测定了 4 种不同处理夏玉米单行每米的出苗数,结果表明 2009 和 2010 年翻耕与免耕开沟种床夏玉米的出苗数接近,为 6 ~ 7 株/m。由于夏玉米生长处于降雨集中期,作物生长所需水分由降雨和少量灌水即可满足,加上温度适宜,因此各处理出苗数接近。

4.3 植株性状与产量

4.3.1 冬小麦

冬小麦 2008 ~ 2009 和 2009 ~ 2010 年拔节期与灌浆期 4 种不同处理的植株性状如表 3 所示。2008 ~ 2009 年冬小麦整个生育期间,4 种处理在拔节期的株高相差不大,灌浆期 NT15 和 NT20 的株高相对 CK 分别提高了 2.7% 和 6.7%。免耕开沟种床拔节期和灌浆期的植株茎粗分别为 0.38 和 0.49 cm,与翻耕的 0.37 和 0.50 cm 相差不大。对于植株干质量,拔节期 NT10 和 NT15 的优势不明显,但 NT20 相对 CK 增加了 6.5%;灌浆期 NT10、NT15 和 NT20 相对 CK 分别增加了 5.7%、3.5% 和 8.9%。

分别增加了 1.8% 和 2.6%。较好的作物长势和充实的籽粒有利于冬小麦产量的提高,2008 ~ 2009 年除 NT10 外,NT15 和 NT20 相对 CK 产量分别增加了 1.2% 和 1.6%;2009 ~ 2010 年免耕开沟种床的产量

表 4 不同处理冬小麦产量

Tab. 4 Winter wheat yield under different treatments

年份	处理	穗长/cm	穗粒数/粒	千粒质量/g	产量/kg·hm ⁻²
2008 ~ 2009	CK	8.34 ^a	34 ^a	43.75 ^a	4 649 ^a
	NT10	8.20 ^a	34 ^a	43.52 ^a	4 589 ^a
	NT15	8.40 ^a	34 ^a	44.12 ^a	4 706 ^a
	NT20	8.32 ^a	35 ^a	44.50 ^a	4 725 ^a
2009 ~ 2010	CK	8.56 ^a	36 ^a	44.79 ^a	4 858 ^a
	NT10	8.66 ^a	36 ^a	45.58 ^a	4 929 ^a
	NT15	8.64 ^a	37 ^a	45.10 ^a	4 908 ^a
	NT20	8.63 ^a	37 ^a	45.96 ^a	5 006 ^a

均高于翻耕,其中 NT20 的产量最高,相对 CK 增产 3.0%。产量差异的不明显是作物长势差异不明显的必然趋势。

4.3.2 夏玉米

表 5 为不同处理下夏玉米果穗特征及产量。由表可知,2009 年免耕开沟种床夏玉米的穗粒数、行粒数和百粒质量与翻耕相差不大,但 2010 年免耕开沟种床的增产效应明显,特别是 NT20,其相对翻耕百粒质量增加 2.8% 的和产量增加 2.2%。

表 5 不同处理夏玉米果穗特征和产量
Tab.5 Summer maize ear characteristics and yield under different treatments

年份	处理	穗行 数/行	行粒 数/粒	百粒 质量/g	产量 /kg·hm ⁻²
2009	CK	15 ^a	30 ^a	31.3 ^a	5 987 ^a
	NT10	15 ^a	31 ^a	30.9 ^a	5 917 ^a
	NT15	16 ^a	30 ^a	31.5 ^a	6 025 ^a
	NT20	15 ^a	31 ^a	31.5 ^a	6 002 ^a
2010	CK	16 ^a	35 ^a	32.1 ^a	6 136 ^a
	NT10	15 ^a	35 ^a	32.9 ^a	6 200 ^a
	NT15	16 ^a	34 ^a	32.6 ^a	6 190 ^a
	NT20	17 ^a	36 ^a	33.0 ^a	6 268 ^a

土壤水分是影响作物出苗和生长的重要因素^[20~21]。免耕开沟种床,特别是 NT20,相对翻耕能较大地提高土壤体积含水率,因而能较好地促进冬小麦和夏玉米的出苗、植株生长和根系发育,进而提

高产量,且随着时间增长,免耕增产效果有增长趋势。

4.4 水分利用效率

水分利用效率是反映作物物质生产与水分消耗之间关系的指标,水分利用效率越高表示作物可以更好地利用田间土壤水分^[22~23]。表 6 为不同处理冬小麦和夏玉米的水分利用效率。对于冬小麦,2010 年相对 2009 年降雨量与灌溉量之和增加了,其产量也相对增加,但水分利用效率却有所降低,这主要是因为水分蒸发蒸腾速率的增加稍大于产量的增长速率。在相同降雨量和灌溉量的条件下,2009 年免耕开沟种床相对翻耕种床水分利用效率增加了 1.5%~6.6%,2010 年则增加了 4.4%~8.1%;对于夏玉米,2009 年和 2010 年的降雨量、灌溉量相差不大,其产量和水分利用效率的差异不显著。2009 年免耕开沟种床的水分利用效率增加了 0.7%~3.7%,2010 年增加了 3.0%~5.3%,其中,NT20 的水分利用效率最高。可见,免耕播种在采用秸秆覆盖的同时,适当减少土壤扰动,可降低土壤水分无效蒸发,增强土壤通透性,提高作物产量,因而免耕开沟种床的水分利用效率高于翻耕种床,其中 NT20 的土壤水分利用率最高。水分利用效率与作物增发蒸腾量和作物产量有关。免耕实行初期,土壤理化特性正处于变化阶段,作物产量等差异虽然有所增加,但相对翻耕增长并不显著,使得最终水分利用效率变化也不显著。

表 6 不同处理水分利用效率
Tab.6 Water use efficiency under different treatments

作物	年份	处理	有效降雨量/mm	灌溉量/mm	$\Delta W/mm$	T/mm	产量/kg·hm ⁻²	水分利用效率/kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹
冬小麦	2009	CK	95.3	201.1	42.9	339.3	4 649	13.7 ^a
		NT10	95.3	201.1	33.7	330.1	4 589	13.9 ^a
		NT15	95.3	201.1	30.4	326.8	4 706	14.4 ^a
		NT20	95.3	201.1	27.2	323.6	4 725	14.6 ^a
	2010	CK	113.5	198.6	47.8	359.9	4 858	13.5 ^a
		NT10	113.5	198.6	37.5	349.6	4 929	14.1 ^a
		NT15	113.5	198.6	36.0	348.1	4 908	14.1 ^a
		NT20	113.5	198.6	30.8	342.9	5 006	14.6 ^a
夏玉米	2009	CK	338.6	54.9	46.7	440.2	5 987	13.6 ^a
		NT10	338.6	54.9	38.4	431.9	5 917	13.7 ^a
		NT15	338.6	54.9	36.9	430.4	6 025	14.0 ^a
		NT20	338.6	54.9	32.2	425.7	6 002	14.1 ^a
	2010	CK	356.2	49.8	55.4	461.4	6 136	13.3 ^a
		NT10	356.2	49.8	46.6	452.6	6 200	13.7 ^a
		NT15	356.2	49.8	45.8	451.8	6 190	13.7 ^a
		NT20	356.2	49.8	41.7	447.7	6 268	14.0 ^a

5 结论

(1) 华北一年两熟区的试验结果表明,免耕播种通过实行秸秆覆盖,减少土壤扰动,可创造适宜作物生长的种床,与传统翻耕相比,冬小麦和夏玉米生长期间的土壤环境明显改善,在0~30 cm土层上,种沟内、外土壤的体积含水率增幅为0.2%~2.7%,且种沟外土壤的体积含水率高于种沟内的土壤,说明尽可能地减少土壤扰动,有利于提高土壤体积含水率。

(2) 两年的试验数据表明不同耕作处理对冬小麦、夏玉米的出苗率和各生长期的植株性状影响不

显著,但NT20相对翻耕处理的优势相对明显。

(3) 在免耕和秸秆覆盖条件下,适宜的土壤扰动有利于增强土壤蓄水能力。试验表明,NT20种床的土壤体积含水率最高,作物长势最好,相对翻耕种床可提高冬小麦产量2.4%和水分利用效率7.4%,夏玉米产量1.2%和水分利用效率1.5%。因此,鉴于NT20种床在促进作物生长方面的优势,在华北一年两熟区进行免耕播种机开沟部件,特别是尖角型开沟器的设计与优化时,应充分注重农机与农艺相结合,可将开沟深度控制在20 cm左右,以利于增加作物产量,提高水分利用效率,进而充分发挥保护性耕作的综合效益。

参 考 文 献

- 刘立晶,高焕文,李洪文. 玉米-小麦一年两熟保护性耕作体系试验研究[J]. 农业工程学报,2004,20(3):70~73.
Liu Lijing, Gao Huanwen, Li Hongwen. Conservation tillage for corn - wheat two crops a year region[J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(3):70~73. (in Chinese)
- Vita P D, Paolo E D, Fecondo G, et al. No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy[J]. Soil & Tillage Research, 2007, 92(1):69~78.
- Su Ziyu, Zhang Jinsong, Wu Wenliang, et al. Effect of conservation tillage practices on winter wheat water-use efficiency and crop yield on the Loess Plateau, China[J]. Agricultural Water Management, 2007, 87(3):307~314.
- 高焕文,李问盈,李洪文. 保护性耕作的发展[J]. 农业机械学报,2008,39(9):43~48.
Gao Huanwen, Li Wenying, Li Hongwen. Development of conservation tillage[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(9):43~48. (in Chinese)
- Murray J R, Tullberg J N, Basnet B B. Planters and their components [M]. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 2006.
- 姚宗路,高焕文,王晓燕,等. 一年两熟区玉米覆盖地小麦免耕播种机设计与试验[J]. 农业机械学报,2007,38(8):57~61.
Yao Zonglu, Gao Huanwen, Wang Xiaoyan, et al. Experiment on no-till wheat planter under the bestow of the maize stubble in double cropping area[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(8):57~61. (in Chinese)
- Yao Zonglu, Li Hongwen, Gao Huanwen, et al. Crop performance as affected by three opening configurations for no-till seeder in annual double cropping regions of northern China[J]. Australian Journal of Soil Research, 2009, 47(8):839~847.
- 张喜瑞,何进,李洪文,等. 小麦免耕播种机驱动链式防堵装置设计[J]. 农业机械学报,2009,40(10):44~48.
Zhang Xirui, He Jin, Li Hongwen, et al. Design of the powered-chain anti-blocking mechanism for wheat no-till planter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(10):44~48. (in Chinese)
- 姚宗路. 楔刀型免耕开沟器研究[D]. 北京:中国农业大学,2008.
Yao Zonglu. Study on wedge-shaped with front knife no-till opener[D]. Beijing: China Agricultural University, 2008. (in Chinese)
- 冯聚凯. 华北平原不同耕作方式的土壤水热特征及其对作物生长发育影响[D]. 保定:河北农业大学,2006.
Feng Jukai. Characteristics of soil temperature and soil water under different tillage patterns and effect on crop growth in north China plain[D]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2006. (in Chinese)
- 依艳丽. 土壤物理研究法[M]. 北京:北京大学出版社,2009.
- 江晓东. 耕作模式与施氮量对土壤理化性质及小麦玉米产量、品质的影响[D]. 青岛:山东农业大学,2007.
Jiang Xiaodong. Effect of soil tillage system and nitrogen applied amount on soil physical and chemical characters, yield and quality of wheat and maize[D]. Qingdao: Shangdong Agricultural University, 2007. (in Chinese)
- 赵竹,曹承富,乔玉强,等. 不同耕作方式对小麦生长、产量和品质的影响[J]. 安徽农业科学,2006,37(36):17896~17897,17920.
Zhao Zhu, Cao Chengfu, Qiao Yuqiang, et al. Effects of different farming methods on growth, yield and characters of wheat [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37(36):17896~17897,17920. (in Chinese)
- 姜东燕,于振文,张玉芳. 灌水量对小麦产量和水分利用率的影响[J]. 山东农业科学,2006(6):23~25.
- 彭文英. 免耕措施对土壤水分及利用效率的影响[J]. 土壤通报,2007,38(2):380~383.
Peng Wenying. Effect of no-tillage on soil water regime and water use efficiency[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2007, 38(2):380~383. (in Chinese)

- Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1984, 15(4): 7~12. (in Chinese)
- 13 姬长英,赵池航. 动载式水田土壤流变仪的研制[J]. 农业机械学报,2004,35(2): 88~91.
Ji Changying, Zhao Chihang. Development of rheometer for paddy soils under dynamic loading[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004, 35(2): 88~91. (in Chinese)
 - 14 沈杰,余群. 湿软土壤压力-下陷-时间关系的建立[J]. 农业机械学报,1983,14(4): 15~19.
Shen Jie, Yu Qun. Pressure-sinkage-time equation for wet soil [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1983, 14(4): 15~19. (in Chinese)
 - 15 李汝莘,高焕文,苏元升. 土壤容重和含水量对耕作阻力的影响[J]. 农业工程学报,1998,14(1): 81~85.
Li Ruxin, Gao Huanwen, Su Yuansheng. Effect of soil bulk density and moisture content on the draft resistance[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 1998, 14(1): 81~85. (in Chinese)
 - 16 张锐,李建桥,周长海,等. 推土板表面形态对土壤动态行为影响的离散元模拟[J]. 农业工程学报,2007,23(9):13~19.
Zhang Rui, Li Jianqiao, Zhou Changhai, et al. Simulation of dynamic behavior of soil ahead of the bulldozing plates with different surface configurations by discrete element method[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(9): 13~19. (in Chinese)
 - 17 张锐,李建桥,许述财,等. 推土板切土角对干土壤动态行为影响的离散元模拟[J]. 吉林大学学报:工学版,2007,37(4): 822~827.
Zhang Rui, Li Jianqiao, Xu Shucui, et al. Simulation on dynamic behavior of dry soil ahead of the bulldozing plate with different cutting angles by DEM[J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2007, 37(4): 822~827. (in Chinese)
 - 18 罗定照. 插入水田土壤中垂直平板向前运动的流变力学研究[J]. 农业机械学报,1986,17(4): 18~25.
Luo Dingzhao. The rheological research on the performance of the vertical plate moving horizontally in paddy field soil and their application [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1986, 17(4): 18~25. (in Chinese)
 - 19 罗大海,诸葛茜,蒋崇贤. 水田土壤流变理论研究及其应用[J]. 武汉工学院学报:信息与管理工程版,1990,12(2):1~9.
Luo Dahai, Zhu Geqian, Jiang Chongxian. Rheological properties of paddy field soil and their application[J]. Journal of Wuhan University of Technology: Information & Management Engineering, 1990, 12(2): 1~9. (in Chinese)
 - 20 高惠璇. SAS 系统 Base SAS 软件使用手册[M]. 北京:中国统计出版社,1997.
 - 21 任露泉. 试验优化设计与分析[M]. 长春:吉林科学技术出版社,2001.

(上接第 56 页)

- 16 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[J]. 生态学科,2005,25(9): 2326~2332.
Li Lingling, Huang Gaobao, Zhang Renzhi, et al. Effect of conservation tillage on soil water regimes in rainfed areas. [J] Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(9): 2326~2332. (in Chinese)
- 17 陈怀亮,张雪芬. 玉米生产农业气象服务[M]. 北京:气象出版社,1999.
- 18 He Jin, Li Hongwen, Kuhn N J, et al. Soil loosening on permanent raised-beds in arid northwest China[J]. Soil & Tillage Research, 2007, 97(2): 172~183.
- 19 郑亭,樊高琼,王秀芳,等. 耕作方式、播深及覆土对机播套作小麦麦苗素质的影响[J]. 农业工程学报,2011,27(5):164~168.
Zheng Ting, Fan Gaoqiong, Wang Xiufang, et al. Effect of tillage managements, sowing depth and soil-covering on the seeding quality of mechanical sowing wheat under intercropping condition[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(5): 164~168. (in Chinese)
- 20 强小嫚,周新国,李彩霞,等. 不同水分处理下液膜覆盖对夏玉米生长及产量的影响[J]. 农业工程学报,2010,26(1): 54~60.
Qiang Xiaoman, Zhou Xinguo, Li Caixia, et al. Effect of liquid film mulching on growth and yield of summer maize under different soil moisture conditions[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(1): 54~60. (in Chinese)
- 21 王庆杰,李洪文,何进,等. 大垄宽窄行免耕种植对土壤水分和玉米产量的影响[J]. 农业工程学报,2010,26(8): 39~43.
Wang Qingjie, Li Hongwen, He Jin, et al. Effects of wide-ridge and narrow-row no-till cultivation on soil water and maize yield [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(8): 39~43. (in Chinese)
- 22 付国占,李潮海,王俊忠,等. 残茬覆盖于耕作方式对土壤性状及夏玉米水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报,2005, 21(1): 52~56.
Fu Guozhan, Li Chaohai, Wang Junzhong, et al. Effects of stubble mulch and tillage managements on soil physical properties and water use efficiency of summer maize[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(1): 52~56. (in Chinese)
- 23 高金虎,孙占祥,冯良山,等. 秸秆与氮肥配施对玉米生长及水分利用效率的影响[J]. 东北农业大学学报,2011,42(11): 116~120.
Gao Jinhu, Sun Zhanxiang, Feng Liangshan, et al. Effect of corn straw plus nitrogen fertilizer on growth and water use efficiency of maize[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2011, 42(11): 116~120. (in Chinese)
- 24 姚克恒,刘世豪,夏拥军,等. 开沟机作业功耗的正交试验分析及其优化设计[J]. 排灌机械工程学报,2011,29(6):529~535.
Yao Keheng, Liu Shihao, Xia Yongjun, et al. Orthogonal experiment analysis and optimization design for operation power of ditcher[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2011, 29(6): 529~535. (in Chinese)