

网络出版日期:2017-10-18

网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1220.S.20171018.1733.010.html

耕作方式对旱作农田土壤水热特性及夏玉米产量的影响

张俊丽¹, Sikander Khan Tanveer², 薛菁¹, 邹宏¹,

董晓梅¹, 李康¹, 拜翊莎¹

(1. 渭南市农业技术推广中心, 陕西渭南 714000; 2. 巴基斯坦国家农业研究中心 小麦研究组, 巴基斯坦 伊斯兰堡 44000)

摘要 设置田间定位试验, 研究免耕(NT)、深松耕(DT)和旋耕(RT)对旱作玉米田土壤体积质量、土壤水分、土壤温度及夏玉米产量等的影响。2 a 研究表明, 采取耕作措施后, 各处理土壤体积质量差异主要集中在 0~40 cm ($P < 0.05$), 耕作前后 40~60 cm 土壤体积质量差异不显著 ($P > 0.05$)。耕作方式对土壤储水量有明显影响, 其中, 播种后 0~50 d, 深松耕和免耕处理 0~100 cm 土壤储水量均高于旋耕; 播种后 70~120 d, 3 种耕作方式下土壤储水量差异不显著 ($P > 0.05$)。各耕作措施对土壤温度的影响在作物生育前期(播种后 0~30 d)表现明显 ($P < 0.05$), 表现为旋耕玉米田土壤温度高于免耕和深松耕, 播种后 50~120 d 各处理间无显著差异 ($P > 0.05$)。深松耕和旋耕处理玉米籽粒产量较免耕分别高 3.35% 和 1.91%。结合经济效益分析, 免耕和深松耕净收入较旋耕分别高 138.48 元/hm² 和 259.38 元/hm²。因此, 深松耕为旱作夏玉米田较适宜的耕作方式。

关键词 耕作方式; 土壤水分; 土壤温度; 产量; 夏玉米

中图分类号 S157

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2017)10-1446-07

土壤是植物生长发育的基础, 可提供植物生长发育所需的水分、氧气、养分等^[1]。耕作措施主要通过改善土壤水热状况而调控作物生长发育^[1-4], 适宜的耕作措施可协同调控土壤水、热、气、肥等因素, 创造适宜作物生长发育的优良环境, 进而为作物高产、稳产奠定基础^[4-6]。

国内外对不同耕作方式下土壤理化性质及土壤水分利用效率等的影响进行了广泛研究^[7-13], 其中, 黄明等^[7]研究表明, 在豫西旱作条件下, 免耕覆盖和深松耕覆盖能显著提高土壤含水量, 减轻旱区作物生长后期干旱胁迫, 改善作物生长环境, 从而在一定程度上改善作物产量构成因素。许迪等^[8]对华北地区不同耕作方式下土壤水分动态变化及夏玉米产量的研究表明, 耕作措施主要影响耕层土壤水分, 尤其是在作物苗期阶段; Hil-lel 等^[12]、Hatfield 等^[13]、Barlow 等^[14] 研究显示, 免耕具有较好的蓄水保墒效果, 深松耕能有效打破犁底层, 改善耕层底部土壤环境, 促进作物根系吸取水分和养分, 利于作物产量提高; 耕作措施对土壤水分的影响随作物生育期推进而减

弱^[8-10, 12-13]。上述研究多集中在冬小麦和春玉米等作物上, 针对夏玉米展开的研究较少^[8], 而夏玉米为中国西北地区“压夏扩秋”的重要粮食作物, 研究提高夏玉米产量的农田管理措施对解决粮食安全有积极意义。当前, 探讨耕作措施对夏玉米田土壤水热特性、产量及经济效益的影响较少, 且试验区属黄土高原半湿润易干旱区, 年际内降雨不均, 集中分布在夏玉米生长季(6~9月), 且降雨季节强蒸发、高温炎热相叠合, 使该地区土壤表现出独特的特征。因此, 本试验立足旱作农田, 探讨不同耕作方式对夏玉米田土壤水热及夏玉米产量和水分利用效率的影响, 研究结果可为该区域制定合理有效的农田管理措施提供一定的依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

于 2010 年 6 月至 2011 年 10 月在西北农林科技大学试验田(108°10'E, 34°21'N)进行。该区域海拔约 520 m, 2000—2010 年 10 a 年均降雨

收稿日期:2017-04-10 修回日期:2017-05-05

第一作者:张俊丽,女,博士,研究方向为高效农作制度和农业生态。E-mail:junlizhang2011@163.com

量为 602.45 mm,且集中在夏玉米生长季(6~9月,图 1),年均温 12~14 ℃,年均日照时数 2 196 h。

试验设 3 个处理,分别为免耕(NT)、深松耕(DT)和旋耕(RT),每处理 3 次重复,为便于机械耕作,采用条区设计,田间布局见图 2。免耕:冬小麦收获后,为保证出苗,旋耕机浅旋土壤表层,耕深 0~5 cm;深松耕:冬小麦收获后,深松机(西北农林科技大学机械与电子工程学院研制)耕作,

耕深 30~35 cm;旋耕:冬小麦收获后,旋耕机耕作,耕深 15~20 cm。硬茬播种机播种,供试夏玉米品种为‘巡天 19 号’,2 a 均于 6 月 20 日播种,10 月 15 日收获,播种量 90 kg/hm²,行距 60 cm,株距 24 cm。小区面积 25 m×30 m=750 m²,底肥施尿素[w(N)=46%]375 kg/hm²、磷酸二铵[w(P₂O₅)=46%]375 kg/hm²。整个生育期不灌水,为旱作。

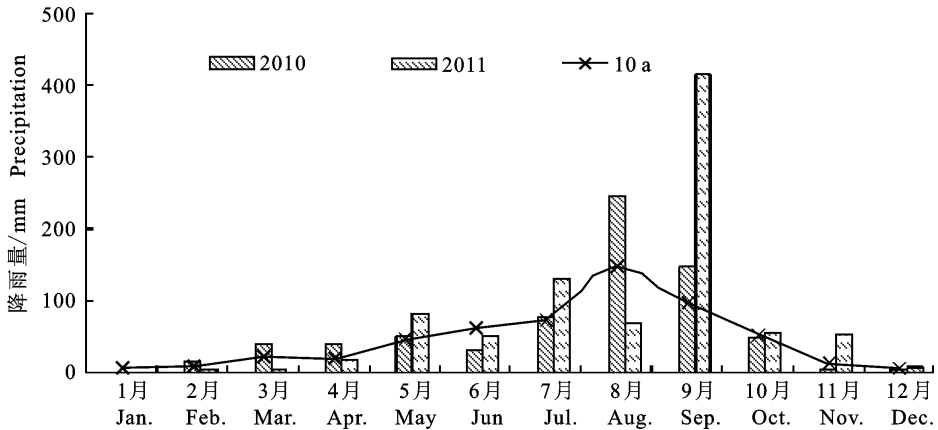


图 1 夏玉米生长季降雨量

Fig. 1 Rainfall of summer maize during growth period

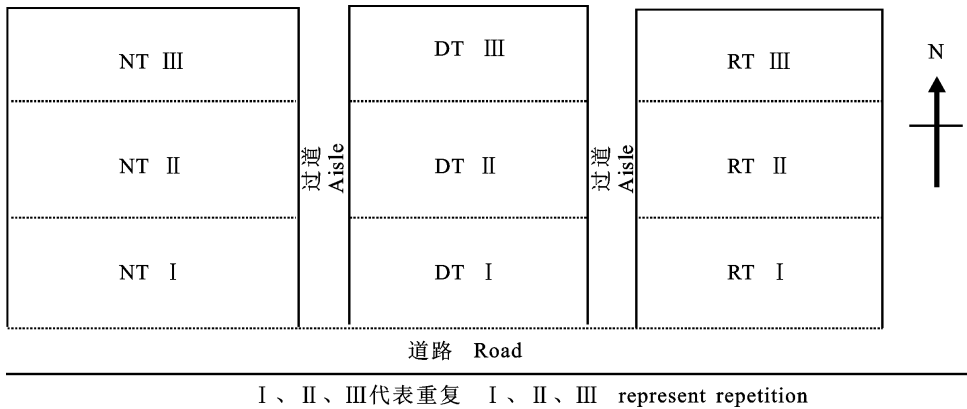


图 2 田间布局图

Fig. 2 Test layout

1.2 测定项目与方法

1.2.1 土壤体积质量 采用环刀法测定土壤体积质量。

1.2.2 土壤水分 采用烘干称量法测定 0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm、30~40 cm、40~60 cm、60~80 cm、80~100 cm 土壤质量含水量。于播种前和夏玉米关键生育时期测定。3 次重复。

土壤储水量计算公式:

$W = \sum (\Delta\theta_i \times \rho_i \times h_i)$ 式中, W 为土壤储水量(mm); $\Delta\theta_i$ 为第 i 层土壤质量含水量(%); ρ_i 为

第 i 层土壤体积质量(g/cm³); h_i 为第 i 层土壤厚度(mm)。

1.2.3 土壤温度 采用曲管地温计测定 5、10、15 和 20 cm 土壤温度。每小区埋设 3 套地温计作为 3 次重复。

1.3.4 产量和水分利用效率 收获时,各小区均取连续 2 行测产(每行行距 60 cm,长 5 m),测产样方面积为 6 m²(2×0.6 m×5 m)。根据宋振伟等^[4]方法计算产量。

土壤水分利用效率计算公式: $WUE = Y/ET$;

$$ET = W_s + P - W_h$$

式中, WUE 为土壤水分利用效率 [$\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$]; Y 为玉米产量 (kg/hm^2); ET 为生育期内土壤耗水量 (mm); W_s 为播前土壤储水量 (mm); P 为生长季降雨量 (mm); W_h 为收获后土壤储水量 (mm)。

1.4 数据处理

采用 Excel 2007 和 DPS 7.05 软件处理分析数据, Duncan 新复极差法进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 土壤体积质量

土壤体积质量可反映土壤孔隙状况、紧实程

度等结构性特征^[9]。翻耕处理可降低土壤紧实度, 增加土壤通透性, 降低土壤体积质量, 而少免耕农田土壤体积质量则相对增加^[10]。由表 1 可知, 采取耕作处理后, 3 个处理间土壤体积质量差异主要集中在 0~40 cm, RT 和 DT 处理 0~40 cm 土壤体积质量明显低于 NT ($P < 0.05$); DT 处理 0~20 cm 土壤体积质量显著高于 RT, 20~40 cm 低于 RT, 但差异不显著 ($P > 0.05$); 3 种处理耕作前后 40~60 cm 土壤体积质量变化不明显 ($P > 0.05$)。随作物生长发育进程推进, 各处理间差异逐渐缩小, 至收获期, DT、NT 和 RT 3 处理间土壤体积质量差异均不显著 ($P > 0.05$)。

表 1 耕作前后土壤体积质量变化

Table 1 Soil buck density before and after tillage

g/cm^3

耕作时期 Measurement time	10 cm			20 cm		
	NT	DT	RT	NT	DT	RT
耕作前 Before tillage	1.25 a	1.25 a	1.25 a	1.36 a	1.36 a	1.36 a
耕作后 After tillage	1.25 a	1.21 b	1.07 b	1.32 a	1.26 b	1.17 c
收获后 After harvesting	1.24 a	1.23 a	1.22 a	1.34 a	1.30 a	1.32 a
平均值 Average	1.245 a	1.220 a	1.140 b	1.330 a	1.280 b	1.245 b
耕作时期 Measurement time	40 cm			40~60 cm		
	NT	DT	RT	NT	DT	RT
耕作前 Before tillage	1.47 a	1.47 a	1.47 a	1.47 a	1.47 a	1.47 a
耕作后 After tillage	1.45 a	1.40 b	1.40 b	1.46 a	1.45 a	1.45 a
收获后 After harvest	1.47 a	1.48 a	1.53 a	1.48 a	1.47 a	1.49 a
平均值 Average	1.460 a	1.440 b	1.445 b	1.470 a	1.460 a	1.470 a

注: 同列同土层数据后的不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Different lowercase letters after the same column and soil layer mean significant difference ($P < 0.05$).

2.2 土壤水热特征分析

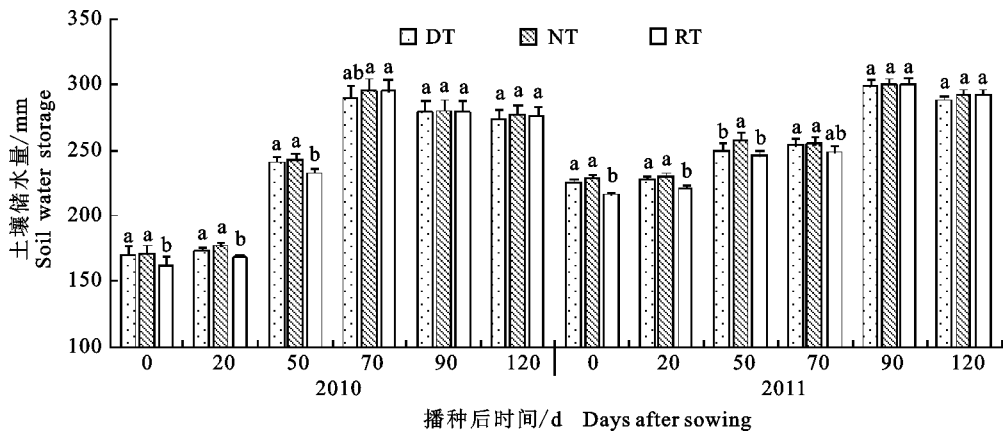
2.2.1 土壤水分变化特征 不同耕作方式下土壤储水量存在差异(图 3)。播种后 0~50 d, RT 处理 0~100 cm 土壤储水量低于 DT 和 NT, 2010 年播种当天, RT 处理土壤储水量较 DT 和 NT 分别低 7.32 (4.51%) 和 8.36 mm (5.51%), 2011 年则较 DT 和 NT 分别低 5.42 mm (4.36%) 和 11.99 mm (5.15%), 差异均达到显著水平 ($P < 0.05$)。说明, DT、NT 2 种少免耕措施有一定的保墒蓄水作用, 并且试验区夏玉米生长季气温高, 土壤水分蒸发量大, 导致旋耕处理土壤水分流失严重。随后, 不同处理间土壤储水量差异逐渐减小, 至播种后 70 d, 3 种处理下土壤储水量差异不显著 ($P > 0.05$)。2010 年全生育期, DT 和 NT 土壤储水总量分别较 RT 高 14.27 mm 和 30.03

mm, 2011 年则分别为 20.49 mm 和 38.86 mm。总体上, NT 处理对土壤扰动较轻, 播种后 0~50 d 土壤储水量持续高于其他处理; 而 DT 和 RT 对土壤进行耕翻, 有助于水分下渗, 播种 50 d 后, 土壤储水量增加, 呈现出较好的蓄水效果。

降雨年型不同土壤储水量也存在差异。2010 年夏玉米生长季有 496.0 mm 降雨, NT 和 DT 土壤储水量分别较 RT 增加 8.73% 和 15.63%; 2011 年夏玉米生长季有 696.4 mm 降雨, NT 和 DT 土壤储水量分别较 RT 增加 9.47% 和 16.92%。2010 年, 播种后 0~20 d 降雨稀少, 土壤水分不足, 作物通过消耗土壤水满足蒸腾需求, 播种 20 d 后降雨明显增加, 因此, 播种 50 d 后土壤储水量开始增加, 播种后 70~120 d 土壤储水量均保持相对较高水平; 2011 年, 播种后 0~20 d

有少量降雨,开花期(播种后 90 d)有集中降雨,因此 2011 年播种后 0~20 d、播种后 90~120 d 土

壤储水量显著高于 2010 年,而播种后 50~70 d 土壤储水量显著低于 2010 年。



不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$) The different lowercase letters mean significant difference($P < 0.05$)

图 3 3 种耕作方式下 0~100 cm 土壤储水量

Fig. 3 Soil water storage at 0–100 cm soil depth under different tillage systems

2.2.2 土壤温度变化特征 2010—2011 年夏玉米生长季,土壤温度变化趋势与日均温一致,不同处理对土壤温度的影响在玉米生育前期(播种后 0~30 d)表现明显,后期(播种后 50~120 d)差异逐渐缩小(表 2)。播种后 0~30 d,不同处理对 5 cm 土壤温度影响有明显差异(表 3),2010 年,播种后 0~30 d,各处理土壤温度均值表现为 RT (27.2 °C) > DT (27.1 °C) > NT (26.7 °C),RT 和 DT 处理 5 cm 土壤温度差异均不显著 ($P > 0.05$);2011 年则为 RT (27.3 °C) > DT (27.2 °C)

表 2 播种后 0~30 d 不同耕作处理下 5 cm 土壤温度

Table 2 Mean daily temperature at 5 cm soil depth under different treatments °C

年份 Year	播种后时间/d Days after sowing	NT	DT	RT
2010	0	27.2 b	27.8 a	27.9 a
	11	26.9 b	27.3 a	27.4 a
	21	26.1 ab	26.6 a	26.4 a
	30	26.7 a	26.8 a	27.0 a
	平均值 Average	26.7 b	27.1 a	27.2 a
2011	0	26.9 c	27.9 b	28.5 a
	9	28.3 b	28.5 b	29.3 a
	11	25.4 b	25.8 a	25.9 a
	21	25.9 b	26.4 a	26.4 a
	30	27.2 a	27.4 a	27.6 a
	平均值 Average	26.7 b	27.2 a	27.3 a

注:同行数据后不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。表 3 同。

Note: Different lowercase letters after same rows mean significant difference ($P < 0.05$). The same as table 3.

> NT (26.7 °C), 播种后 0~9 d RT 和 DT 处理 5 cm 土壤温度差异显著 ($P < 0.05$), 播种后 11~30 d 差异则不显著 ($P > 0.05$)。播种后 50~120 d, 3 种耕作方式下 5 cm 土壤温度无显著差异 ($P > 0.05$)。从垂直变化来看, 各处理土壤平均温度随土层深度增加而逐渐减弱, 总体上表现为 RT 和 DT 高于 NT, 但整个生长季各处理 20 cm 土壤温度差异均未达到显著水平 ($P > 0.05$)。

2.3 产量和水分利用效率

由表 3 可知, 2 a 试验期间, RT 处理玉米籽粒产量均高于 DT 和 NT, 2 a 均值表现为 RT (9 854.68 kg/hm²) > DT (9 716.79 kg/hm²) > NT (9 534.98 kg/hm²)。其中, 2010 年 RT 产量分别较 DT 和 NT 高 67.80 kg/hm² (6.97%) 和 446.1 kg/hm² (4.77%), 2011 年则分别高 207.97 kg/hm² (2.14%) 和 193.30 kg/hm² (1.99%)。深松耕处理夏玉米产量较高主要是因为该处理下玉米穗粒数增加。年际间夏玉米产量不同, 主要与降雨和光热条件有关, 气温和降雨均较高的 2011 年 NT 处理的玉米产量显著高于 2010 年。

2 a 试验期间, 各处理土壤水分利用效率为 24.053~25.103 [kg/(hm²·mm)], 15.273~15.697 [kg/(hm²·mm)]。土壤水分利用效率均值为 RT 20.400 [kg/(hm²·mm)] > DT 20.056 [kg/(hm²·mm)] > NT 19.721 [kg/(hm²·mm)], 与产量排序一致。年际间, 2011 年各处理土壤水分利用效率显著低于 2010

表 3 夏玉米产量及土壤水分利用效率

Table 3 Grain yield of summer maize and water use efficiency

年份 Year	处理 Treatment	穗粒数 Kernels per spike	百粒质量/g Mass of 100-kernel	产量/ (kg/hm ²) Grain yield	耗水量/mm ET	WUE/ [kg/(hm ² ·mm)]
2010	NT	470.6 b	32.34 a	9 354.75 b	388.92 a	24.053 b
	DT	482.3 a	32.23 a	9 733.05 a	391.84 a	24.839 a
	RT	474.2 b	35.56 a	9 800.85 a	390.43 a	25.103 a
2011	NT	468.4 b	32.60 a	9 715.20 a	631.34 a	15.388 a
	DT	479.2 a	32.64 a	9 700.53 a	635.13 a	15.273 a
	RT	477.4 ab	33.52 a	9 908.50 a	630.98 a	15.697 a

年,这主要是受生长季内降雨量的影响。

2.4 经济效益

分析经济效益可知,NT 和 DT 2 种少免耕减少了人工投入和机械作业投入,表现为净收入增加。由表 4 可知,NT 和 DT 处理的投入成本分别较 RT 少 480 元/hm² 和 650 元/hm²,其中,NT 处理因对土壤扰动轻,田间杂草及前茬作物冬小麦有明显生长优势,使得除草剂成本比其他 2 个

处理高 30 元/hm²。另外,由表 4 可知,2 a 试验期间,各处理投入成本表现为 RT>DT>NT,产出表现为 RT>DT>NT,NT 和 DT 玉米田的净收入分别较 RT 高 138.48 元/hm² 和 259.38 元/hm²。NT 和 DT 产投比分别比 RT 高 1.18 和 0.87;净收入表现为 DT>NT>RT,其中,NT 和 DT 处理玉米田净收入分别较 RT 高 1.09%和 2.04%。

表 4 不同耕作方式下夏玉米田投入和产出分析

Table 4 Input and output of maize production under different systems

处理 Treatment	种子、肥料、除草剂成本/ (元/hm ²) Cost of seed, fertilizer and herbicide	机械作业成本/ (元/hm ²) Cost of mechanism task	劳力成本/ (元/hm ²) Labor cost	投入/ (元/hm ²) Input value	产出/ (元/hm ²) Output value	产投比 Output/Input	净收入差/ (元/hm ²) NID
NT	1 615.5	400	400	2 415.5	15 255.96	6.32	138.48
DT	1 585.5	600	400	2 585.5	15 546.86	6.01	259.38
RT	1 585.5	680	800	3 065.5	15 767.48	5.14	0

注:种子价格为 1.60 元/kg,劳力成本为每人每天 40 元。产量为 2010~2011 年作物产量平均值。

Note:Seed price was 1.60 yuan/kg;labor cost was 40 yuan per person per day. Yields were the mean value of 2010-2011.

3 结论与讨论

耕作措施通过改善土壤物理结构,影响土壤持水性能,且在作物苗期表现较明显^[1,4,8]。不采取耕作措施,减少对土壤的扰动,降低土壤蒸发,可以暂时保墒,为玉米出苗和前期生长创造有利条件^[4];免耕处理土壤储水量高于耕翻处理,尤其在作物生育前期免耕蓄水保墒效果较好,主要是因为免耕未进行耕翻,表土水分损失较小,而耕翻处理有效增加土壤与空气的接触面积,提高了土壤透气性,底墒蒸发多,土壤储水量下降^[1,11];耕翻可减少地表径流,可有效增加土壤与雨水的接触,提高下渗速度与下渗量,使土壤储水量增加^[4];付国占等^[1]在华北地区的研究显示,耕翻后农田土壤水分损耗较大,不利于作物出苗;另外,黄明等^[7]和许迪等^[8]研究显示,免耕因犁地层存

在,不利于水分下渗,而深松耕作程度较大,能有效打破犁地层,提高土壤蓄水量,且深松耕后农田土壤松紧适宜,作物植根环境良好且土壤水、热、气能得到有效协调,利于作物生长发育。不同耕作处理间土壤储水量在作物生长后期逐渐缩小,这主要与土壤固结沉降作用和作物植被覆盖率增加有关^[4]。

除土壤水分外,温度是影响玉米产量的另一重要因素^[4]。与土壤水分比较,土壤颗粒热容量低,热传导率较高,导致水分含量较低土壤的温度变化幅度较大^[4,12]。玉米是喜温作物,对温度反应较为敏感,即使是 1℃ 的差异也会对其生长发育造成明显影响^[13-14]。本研究显示,耕作措施对夏玉米生育前期土壤温度影响较大,2010 年播种后 0~30 d,旋耕和深松耕农田 5 cm 土壤温度分别较免耕提高 0.5℃ 和 0.4℃,2011 年同时期则

分别提高 0.8 °C 和 0.5 °C。Hatfield 等^[13]研究表明,免耕可暂时保墒,但会降低作物生育前期土壤温度,影响作物生长发育。拔节期后,随植物生长发育,植物地表植被遮蔽程度增加,太阳辐射对土壤影响减弱,不同耕作处理下土壤平均温度的差异逐渐减小^[4]。

本研究中,旋耕玉米田土壤储水量低于免耕和深松耕,而土壤温度略高免耕和深松耕,且作物产量与土壤温度变化趋势一致,均表现为旋耕>深松耕>免耕。这可能是由于试验区夏玉米生长季降雨丰富,土壤水分充沛,在一定程度上土壤温度表现为增产的限制因素,玉米产量对土壤温度的响应更灵敏;并且耕翻措施能有效改善土壤物理特性,促进根系延伸,汲取水分和营养,助于作物高产^[1]。李荣等^[15]研究显示,旱作条件下,合理的耕作措施在降雨相对较少年份的增产效果高于降雨较多年份,这与本研究条件下降雨相对较少的 2010 年深松耕和旋耕较免耕分别增产 4.04% 和 4.77% 的结论一致。结合经济效益分析,深松耕和免耕净收入较旋耕分别高 259.38 元/hm² 和 138.48 元/hm²。说明,深松耕有利于土壤水分下渗,增加玉米中后期土壤储水量,且可适度增加玉米苗期土壤温度,促进玉米发育,籽粒产量和经济效益均高于相同试验条件下的旋耕和免耕,即深松耕为旱作夏玉米田较适宜的耕作方式。

参考文献 Reference:

- [1] 付国占,李潮海,王俊忠,等. 残茬覆盖与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 G ZH, LI CH H, WANG J ZH, *et al.* Effects of stubble mulch and tillage managements on soil physical properties and water use efficiency of summer maize[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2005, 21(1):52-56(in Chinese with English abstract).
- [2] USOWICZ B, KOSSOWSKI J, BARANOWSKI P. Spatial variability of soil thermal properties in cultivated fields[J]. *Soil and Tillage Research*, 1996, 39(1/2):85-100.
- [3] CHEN Y, LIU S, LI H, *et al.* Effects of conservation tillage on corn and soybean yield in the humid continental climate region of Northeast China[J]. *Soil and Tillage Research*, 2011, 115(5):56-61.
- [4] 宋振伟,郭金瑞,邓艾兴,等. 耕作方式对东北春玉米农田土壤水热特征的影响[J]. 农业工程学报,2012,28(16):108-114.
SONG ZH W, GUO J R, DENG A X, *et al.* Effects of surface tillage regimes on soil moisture and temperature of spring corn farmland in Northeast China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(16):108-114 (in Chinese with English abstract).
- [5] SARKER S, PARAMANICK M, GOSWAMI S B. Soil temperature, water use and yield of yellow sarson (*Brassica napus* L. var. glauca) in relation to tillage intensity and mulch management under rainfed lowland ecosystem in eastern India[J]. *Soil and Tillage Research*, 2007, 93(1):94-101.
- [6] QIN RUIJUN, STAMP P, RICHER W. Impact of tillage on maize rooting in a Cambisol and Luvisol in Switzerland[J]. *Soil and Tillage Research*, 2006, 85(1/2):50-61.
- [7] 黄明,吴金芝,李友军,等. 不同耕作方式对旱作区冬小麦生产和产量的影响[J]. 农业工程学报,2009,25(1):50-54.
HUANG M, WU J ZH, LI Y J, *et al.* Effects of different tillage management on production and yield of winter wheat in dryland[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2009, 25(1):50-54 (in Chinese with English abstract).
- [8] 许迪, SCHMID R, MERMOUD A. 耕作方式对土壤水动态变化及夏玉米产量的影响[J]. 农业工程学报,1999,15(3):101-106.
XU D, SCHMID R, MERMOUD A. Effect of tillage practices on the variation of soil moisture and the yield of summer maize[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 1999, 15(3):101-106 (in Chinese with English abstract).
- [9] 李明德,刘琼峰,吴海勇,等. 不同耕作方式对红壤旱地土壤理化性状及玉米产量的影响[J]. 生态环境学报,2009,18(4):1522-1526.
LI M D, LIU Q F, WU H Y, *et al.* Effects of different cultivation on soil physico-chemical properties of upland red soils and maize yield[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2009, 18(4):1522-1526(in Chinese with English abstract).
- [10] 蒋向,贺德先,任洪志,等. 轮耕对麦田土壤体积分量和小麦根系发育的影响[J]. 麦类作物学报,2012,32(4):711-715.
JIANG X, HE D X, REN H ZH, *et al.* Effect of different patterns of rotational tillage on soil bulk density in wheat field and wheat root development[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2012, 32(4):711-715(in Chinese with English abstract).
- [11] 张岁岐,周小平,慕自新,等. 不同灌溉制度对玉米根系生长及水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报,2009,25(10):1-6.
ZHANG S Q, ZHOU X P, MU Z X, *et al.* Effects of different irrigation patterns on root growth and water use efficiency of maize[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2009, 25(10):1-6 (in Chinese with English abstract).
- [12] HILLEL D. Environmental Soil Physics [M]. San Diego, CA, USA: Academic Press, 1998.

- [13] HATFIELD J L, ALLMARAS R R, REHM G W, *et al.* Ridge tillage for corn and soybean production; environmental quality impacts[J]. *Soil & Tillage Research*, 1998, 48(3):145-154.
- [14] BARLOW E W R, BOERSMA L, YOUNG J L. Photosynthesis, transpiration, and leaf elongation in corn seedlings at suboptimal soil temperatures[J]. *Agronomy Journal*, 1977, 69(1):95-100.
- [15] 李 荣, 王 敏, 贾志宽, 等. 渭北旱塬区不同沟垄覆盖模式对春玉米土壤温度、水分及产量的影响[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(2):106-113.
- LI R, WANG M, JIA ZH K, *et al.* Effects of different mulching patterns on soil temperature, moisture water and yield of spring maize in Weibei Highland[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(2):106-113 (in Chinese with English abstract).

Effects of Different Tillage Systems on Soil Temperature and Moisture in Dryland Field and Summer Maize Yield

ZHANG Junli¹, Sikander Khan Tanveer², XUE Jing¹, ZOU Hong¹,
DONG Xiaomei¹, LI Kang¹ and BAI Yisha¹

(1. Weinan Center for Agricultural Technology Extension, Weinan Shaanxi 714000, China;

2. Wheat Program of National Agricultural Research Center, Islamabad 44000, Pakistan)

Abstract A comparative study were conducted from 2010 and 2011 in dryland area of Loess Plateau in China for investigating the effect of different tillage systems including deep tillage (DT), no tillage (NT) and rotary tillage (RT) on soil bulk density, soil temperature, soil moisture as well as summer maize yield after tillage practices, the results of two years studies indicated that differences of soil volume mass in various treatments were mainly concentrated in the profile 0—40 cm while differences in the profile of 40—60 cm were not statistically significant. It is suggested that tillage management had a obvious effect on soil water storage. 0—50 days after sowing (DAS), soil water storage of 0—100 cm under DT and NT treatments was higher than that of RT treatment; for 70—120 DAS, the difference of soil water storage under three tillage practices failed to reach significant level. The effect of tillage practice on soil temperature was significant at earlier stage (0—30 DAS), and it showed RT treated soil temperature was higher than that of DT and NT treatment, while the disparity of various treatments was not obtained statistically significant level at late stage (50—120 DAS). The grain yield of maize treated by DT and RT was 3.35% and 1.91% higher than that of NT, respectively. Combining with economic benefits analysis, the net income of DT and NT was 259.38 yuan/hm² and 138.48 yuan/hm⁻² higher than that of RT. Consequently, deep tillage was an appropriate tillage practice for summer maize.

Key words Tillage system; Soil moisture; Soil temperature; Yield; Summer maize

Received 2017-04-10 **Returned** 2017-05-05

First author ZHANG Junli, female, Ph. D. Research area: high-efficiency farming system and agro ecology. E-mail: junlizhang2011@163.com

(责任编辑: 成 敏 **Responsible editor: CHENG Min**)