

农牧交错区保护性耕作对土壤含水量和温度的影响^①

常旭虹¹, 赵广才^{1*}, 孟祥云², 杨丽珍¹, 皮福忠³, 毕玉强³, 刘秀全³

(1 中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081; 2 沈阳农业大学农学院, 沈阳 110161;

3 喀喇沁旗农业局, 内蒙古赤峰 024000)

摘 要: 试验比较了保护性耕作与常规翻耕处理土壤的含水量和温度。结果表明, 保护性耕作土壤含水量比常规翻耕处理有所增加, 整个生长季表现为: 秸秆覆盖>留茬>常规翻耕; 0~40 cm 土层, 随着土壤深度的增加含水量逐渐增加, 其中留茬处理较常规翻耕处理增加 11.8 g/kg, 秸秆覆盖较常规翻耕处理增加 23.2 g/kg。地温的变化规律表现为玉米大喇叭口期以前保护性耕作各土层地温均低于常规翻耕处理, 即常规翻耕>留茬>秸秆覆盖; 0~20 cm 耕作层内, 播种时留茬处理土壤温度比常规翻耕处理低 0.5℃, 秸秆覆盖处理比常规翻耕处理低 6.6℃; 出苗时, 留茬处理的土壤温度较常规翻耕处理低 0.8℃, 秸秆覆盖处理较常规翻耕处理低 4.3℃; 大喇叭口期以后, 各处理地温逐渐降低并趋于一致。保护性耕作土层的含水量增加, 有利于作物生长; 而早春地温低则不利于出苗, 易对作物生长造成不利影响, 两者有一定的补偿效果, 有必要进一步深入研究以克服其早春地温低回升慢的缺点。

关键词: 农牧交错区; 保护性耕作; 土壤含水量; 土壤温度

中图分类号: S345; S152.7; S152.8

保护性耕作作为新型耕作方式之一, 主要通过减少土壤翻耕次数或进行免耕作业, 利用作物残茬覆盖地表, 达到提高作物产量, 抑制田间扬沙, 减轻土壤侵蚀, 保持水土, 改善人们生活环境和生活质量的效果。由于对土壤的作业次数明显减少, 土壤受风蚀水蚀程度减轻, 保护性耕作使土壤性质发生显著的变化^[1-3], 对土壤温度和水分含量的影响尤为明显, 进而影响作物生产。大量研究表明, 保护性耕作与常规翻耕相比, 土壤温度较低, 土壤含水量较高^[4-10]。但类似研究在内蒙古东部农牧交错区很少, 因此, 对该地区保护性耕作土壤的温度和水分变化规律进行研究是十分必要的。考虑到土壤温度和水分密切相关性, 我们把两者的测定结果放在一起, 更加有利于明确土壤温度和水分的变化规律, 对保护性耕作的推广有借鉴意义, 同时为研究保护性耕作下作物高效栽培技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

喀喇沁旗位于内蒙古自治区赤峰市, 地处中纬

度(北纬 41°33'~42°14'), 属于温带干旱半干旱农牧交错区。该区季风气候, 雨热同期特点明显。耕作方式为传统的秋翻地, 裸露休闲过冬。试验在旗农业高新技术示范园保护性耕作试验区进行, 土质为沙壤土, 0~20 cm 土层含有机质 17.0 g/kg, 全 N 1.14 g/kg, 碱解 N 102 mg/kg, 有效 P 14.4 mg/kg, 速效 K 216 mg/kg, pH 7.8。

试验设 3 种耕作处理(以常规翻耕处理为对照), 小区面积 600 m², 3 次重复, 随机区组排列, 试验总面积约 0.54 hm²。各处理按如下标准进行: ①留茬: 玉米收获时, 距地面 20 cm 处割去秸秆, 留下约 20 cm 高的残茬; ②秸秆覆盖: 玉米收获时, 整秸秆顺行铺倒, 全生育期覆盖; ③常规翻耕(CK): 玉米收获时, 用铧式犁翻耕, 并清理田间根茬残体。①和②处理为保护性耕作方式, 采用 2BMF-4 型玉米免耕播种机播种; ③处理为正常播种中耕起垄。2003 年 4 月 26 日播种, 供试品种为“丹玉 638”, 各处理均底施磷酸二铵 375 kg/hm², 于大喇叭口期每公顷追施尿素 300 kg, 8 月 28 日浇水 1 次, 整个生育期多次进行人工除草。

①基金项目: 农业部专项“发展生态农业治理沙漠化土地”项目资助。

* 通讯作者

作者简介: 常旭虹(1976—), 男, 山西人, 助理研究员, 主要从事保护性耕作和小麦优质高产栽培研究。E-mail: changxuhongasdf@163.com

1.2 测定项目及方法

1.2.1 土壤水分 用取土钻钻取不同深度（0 ~ 20、20 ~ 40 和 40 ~ 60 cm）土层土壤，采用烘干法测定含水量，每个小区按对角线取 5 点，求 3 次重复平均值，作为该处理各土层的水分含量值。取样时间为播种前 10 天、播种时及出苗后每半个月测量 1 次。

1.2.2 土壤温度 利用垂直地温计测量不同深度（0、5、10、15 和 20 cm）土层温度，测量时期为播种前 15 天到收获，每半个月测量 1 次，每次连续测量 3 天，记录每天 2:00、8:00、14:00 和 20:00 的温度，求其平均值作为该次温度测量结果。

2 结果与分析

2.1 不同耕作方式对土壤含水量的影响

试验结果表明，0 ~ 20 cm 土层（耕作层）内，出苗（5 月 22 日）之前，秸秆覆盖和留茬处理的含水量均明显高于 CK。播种时，秸秆覆盖处理的含水量比 CK 增加约 69 g/kg，留茬处理增加约 16 g/kg；出苗时，秸秆覆盖处理含水量增加 28 g/kg，留茬处理增加 6 g/kg（图 1）。20 ~ 40 cm 土层内，播种时秸秆覆盖处理含水量比 CK 增加 45 g/kg 左右，留茬处理增加 17 g/kg；出苗时，秸秆覆盖处理比 CK 增加 27 g/kg，留茬处理增加 7 g/kg。40 ~ 60 cm 的深层土壤中，各处理土壤水分变化规律基本上与前两个土层一样，但处理之间的水分含量差距减少，其中播种时秸秆覆盖处理含水量比 CK 增加 18 g/kg，

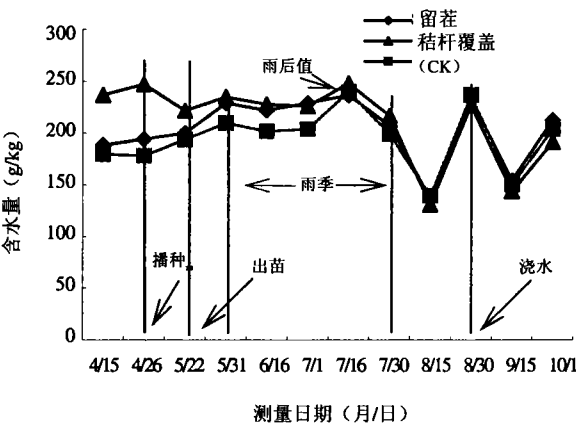


图 1 不同耕作方式土壤水分含量变化
Fig. 1 Variation of soil moisture in the 0~20cm soil layer

留茬处理增加 9 g/kg；出苗时，秸秆覆盖处理较 CK 增加 4 g/kg，留茬处理增加 2 g/kg。

结合表 1 可看出，在 5 ~ 7 月降水高峰月份，各处理耕作层水分含量变化不大，但保护性耕作方式的土壤含水量仍高于 CK，表明保护性耕作条件下土壤蓄水能力要好于 CK，有利于水分贮留。作物生育中后期正值作物生殖生长期，需水量增大，而降水量明显减少，致使土壤水分含量迅速下降，各处理土壤含水量变化趋势一致。作物生育后期秸秆覆盖处理土壤水分含量偏少，因为后期耗水量增加，蒸散量加大，秸秆覆盖有效地减少了土壤茬间蒸发，却增加了作物的蒸腾量，变非生产性耗水为有效耗水，有利于玉米产量和水分利用效率的提高^[11]。

表 1 2003 年 1—10 月份喀喇沁旗降水量
Table 1 Distribution of rainfall at Kalaqin County in Jan. ~ Oct., 2003

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	总计
降水量 (mm)	1.9	0.0	31.6	5.0	57.7	134.6	160.4	15.0	69.9	40.3	516.40

注：资料来源于喀喇沁旗气象局。

全年水分含量比较（表 2）可以看出，留茬处理 ~ 20 cm 土层，留茬处理比 CK 含水量增加 8.9 g/kg，和秸秆覆盖处理的土壤含水量均比 CK 有所增加。0 20 ~ 40 cm 增加 14.7 g/kg，40 ~ 60cm 增加 7.7 g/kg；

表 2 不同耕作方式不同土层全年土壤平均含水量比较
Table 2 Comparison between different tillage patterns in average soil moisture content throughout the year

耕作方式	0 ~ 20 cm 土层		20 ~ 40 cm 土层		40 ~ 60 cm 土层	
	含水量 (g/kg)	与 CK 比较 (± g/kg)	含水量 (g/kg)	与 CK 比较 (± g/kg)	含水量 (g/kg)	与 CK 比较 (± g/kg)
常规翻耕 (CK)	194.9	-	198.3	-	200.1	-
留茬	203.8	8.9	213.0	14.7	207.8	7.7
秸秆覆盖	212.8	17.9	226.9	28.6	209.7	9.6

秸秆覆盖处理的相应增加为 17.9 g/kg、28.6 g/kg 和 9.6 g/kg。因此,保护性耕作可以起到节水节本的效果。

保护性耕作可以提高土壤含水量,原因是常规翻耕(CK)地表径流多,土壤孔隙度较小,不利于水分下渗,且后期中耕起垄增大了地面裸露表面积,地温较高,土壤蒸发损耗相对加快。而保护性耕作条件下有根茬覆盖,地表裸露面积相对较少,地表径流减少,蒸发量降低,且土壤结构得以改善,提高了土壤孔隙度,大孔隙减少,充水孔隙数量增加。以上诸因素均有利于增加入渗蓄水时间,提高入渗率,从而使保护性耕作利于保水保墒^[12-16],土壤含水量高于 CK。

2.2 不同耕作方式对土壤温度的影响

结果表明,播种前秸秆覆盖处理地表温度明显偏低(仅有 9.5℃),留茬处理与 CK 之间无明显差异;播种后随着气温的升高,地表温度逐步升高,大喇叭口期前,CK 的地温比留茬处理高 2.7℃,比秸秆覆盖处理高 7.4℃。

5 cm 深度土层是与种子出苗有关的关键土层,此层的温度直接影响作物种子出苗生长。由图 2 可以看出,与 CK 相比,播种时,留茬处理土壤温度降低 0.9℃,秸秆覆盖处理降低约 8℃;出苗时,留茬处理土壤温度比 CK 低 1.2℃,秸秆覆盖比 CK 低 4.1℃;大喇叭口期时,5 cm 土层温度仍然以 CK 最高,秸秆覆盖处理最低。大喇叭口期以后,3 种处理方式相同土层之间温度趋于一致,差异不大(图 2)。各土层土温变化规律相同。

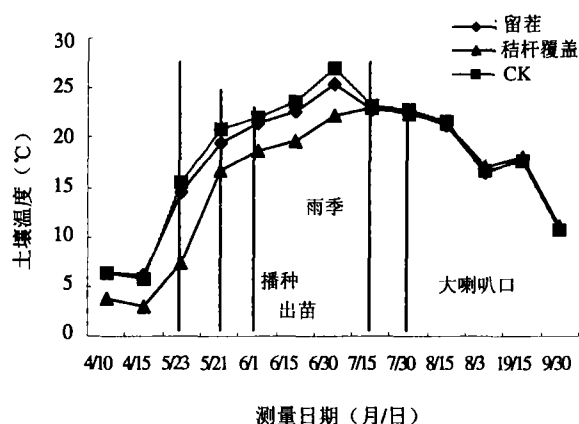


图 2 不同耕作方式土壤温度变化

Fig. 2 Variation of soil temperature at 5 cm in depth

10 cm 土层温度在播种时,留茬处理较 CK 低 0.7℃,秸秆覆盖处理比 CK 低 6.4℃;出苗时,留

茬和秸秆覆盖处理比 CK 分别低 0.5℃和 4.6℃;大喇叭口期 CK 比秸秆覆盖处理仍高出 3.7℃。

15 cm 深度土温,播种时留茬处理与 CK 基本相同,秸秆覆盖处理比 CK 低 4.9℃;出苗时,留茬处理比 CK 低 0.7℃,秸秆覆盖处理比 CK 低 3.5℃;大喇叭口期前,留茬处理与 CK 基本相同,秸秆覆盖处理比 CK 低 1.3℃。

20 cm 深度土层,播种时留茬处理比 CK 低 0.3℃,秸秆覆盖处理比 CK 低 4.6℃;出苗时,留茬处理与 CK 相差 0.8℃,秸秆覆盖处理与 CK 差 3.7℃;大喇叭口期,留茬处理比 CK 低 0.3℃,秸秆覆盖处理比 CK 低 1.3℃。

由以上分析可以得出,各处理土壤温度差异主要在大喇叭口期以前,因为这段时期玉米叶片未完全展开,对太阳辐射截获较少,而留茬和秸秆覆盖处理均有残茬覆盖地面,使得地表接受的太阳辐射少于无任何覆盖的 CK。大喇叭口期以后,受玉米叶片生长影响,叶片成为截获土壤太阳辐射的主要因素,土壤接受的太阳辐射减少,因此各处理土壤温度趋于一致。此外,随着土层加深,各处理土壤温度均表现下降趋势,且差异越来越小,表明保护性耕作主要是影响作物生育前期表层土壤温度,造成早春地温低且回升较慢,影响种子发芽和幼苗生长,不利于形成壮苗,对作物生长造成一定影响,因此,出苗保苗难成为北方保护性耕作推广难的主要限制性因素^[10,17-18]。研究表明,播种以后,随着气温升高,各处理土壤温度便迅速上升,其中 CK 的升高幅度最大,速度最快,因此利于出苗(田间观察 CK 出苗较早)。到了生育中后期,温度已不是作物生长的限制因素,各处理的土壤温度逐渐趋于一致,作物生育进程加快,最终正常成熟。

多数研究认为地温低原因是多方面的,首先是由于地表有残茬等物覆盖减少了太阳辐射,降低了地表风速,减少了地表蒸发^[6-7,19-22];其次是土壤含水量增加,加快了热量的向下传递;第三就是水的热容量大,使得土壤吸收相同的热量,地温升高幅度偏低^[23]。但也有研究认为如果在土壤水、气、肥等条件适宜时,种子正常生根发芽后,一直到生长中前期,主要是作物根系发育时期,此期的适当低温反而有利于根系深扎,起到蹲苗的作用^[24]。因此,对于保护性耕作条件下土壤水温变化对作物生长的影响还应综合各方面因素进一步深入系统地研究。

3 结论

在内蒙古东部的农牧交错区, 保护性耕作方式的土壤含水量均比CK有所增加, 其中0~20 cm土层, 留茬处理比CK含水量增加8.9 g/kg, 20~40 cm增加14.7 g/kg, 40~60 cm增加7.7 g/kg; 秸秆覆盖处理的相应增加为17.9、28.6和9.6 g/kg。从整个生长季水分变化来看, 其规律表现为秸秆覆盖>留茬>CK。玉米大喇叭口期以前各土层保护性耕作方式地温均低于CK。其中, 20 cm耕作层之内在播种时留茬处理地温较CK低0.5℃, 秸秆覆盖处理较CK低6.6℃; 出苗时, 留茬处理土壤温度比CK低0.8℃, 秸秆覆盖处理则低4.3℃。大喇叭口期以后, 各处理地温逐渐降低趋于一致。

综上所述, 保护性耕作方式在不同程度上可以降低土壤温度, 提高土壤含水量。早春地温低回升慢, 影响作物出苗, 但含水量提高有利于作物生长, 两者的补偿效应能保证作物正常生长。保护性耕作可以提高水分利用率, 减少灌溉量, 起到节本增效的作用。因此, 建议在北方农牧交错区发展保护性耕作要注意早春低温对作物的影响, 做到适时播种, 保证出苗率。为解决地温偏低的问题, 可应用早春移栽或重新分配秸秆以使播区接受更多的太阳辐射, 提高土壤温度, 利于出苗^[25]。另外, 应使用种衣剂防止粉种, 注意防治地下害虫。

参考文献:

- [1] Tian GM, Wang FE, Chen YX, He YF, Fu QL, Kumar S, Lin Q. Effect of different vegetation systems on soil erosion and soil nutrients in red soil region of southeastern China. *Pedosphere*, 2003, 13 (2): 121-128
- [2] Zhang Y, Peng BZ, Gao X, Yang H. Degradation of soil properties due to erosion on sloping land in southern Jiangsu Province, China. *Pedosphere*, 2004, 14 (1): 17-26
- [3] 吕彪, 秦嘉海, 赵芸晨. 麦秸覆盖对盐渍土肥力及作物产量的影响. *土壤*, 2005, 37 (1): 52-55
- [4] 籍增顺, 王盛霞, 洛希图, 张象俊, 武金芳. 旱地玉米免耕覆盖土壤水分研究. *山西农业科学*, 1994, 22 (3): 7-12
- [5] 李洪文, 陈君达, 高焕文. 旱地农业三种耕作措施的对比较研究. *干旱地区农业研究*, 1997, 15 (1): 7-11
- [6] 周凌云, 周刘宗, 徐梦雄. 农田秸秆覆盖节水效应研究. *生态农业研究*, 1996, 4 (3): 49-52
- [7] 刘杰, 籍增顺, 杨志民, 赵金梅. 旱地玉米、小麦免、少耕秸秆覆盖技术. *山西农业科学*, 1994, 22 (3): 1-6
- [8] Waddell JT, Weil RR. Water distribution in soil under ridge-till and no-till corn. *Soil Science Society of America Journal*, 1996, 60: 230-237
- [9] McGee EA, Peterson GA, Westfall DG. Water storage efficiency in no-till dryland cropping systems. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1997, 52 (2): 131-136
- [10] Al-Darby AM, Lowery B. Seed zone soil temperature and early corn growth with three conservation tillage systems. *Soil Science Society of America Journal*, 1987, 51: 768-774
- [11] 张海林, 陈阜, 秦耀东. 覆盖免耕夏玉米耗水特性的研究. *农业工程学报*, 2002, 18 (2): 36-40
- [12] 余汉章译. 罗伯特E.B., 拉里A.K.著. 玉米地传统耕作和保护性耕作的多年平均流失量. *中国水土保持*, 1985, 34 (7): 55-61
- [13] 卜玉山, 苗果园, 周乃健, 王建程, 邵海林. 秸秆与地膜覆盖玉米农田土壤水分时空动态变化—兼评回归等值线法的应用. *土壤学报*, 2004, 41 (5): 795-802
- [14] Baeumer K, Bakermans WAP. Zero-tillage. *Advances in Agronomy*, 1973, 25: 84-91
- [15] Dick WA. Surface hydrologic response of soil to no-tillage. *Soil Science Society of America Journal*, 1989, 53: 1520-1525
- [16] Unger PW, Vigil MF. Cover crop effects on soil water relationships. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1998, 53 (3): 200-207
- [17] Griffith DR, Mannering JV, Galloway HM, Parsons SD, Richey CB. Effect of eight tillage-planting systems on soil temperature, percent stand, plant growth, and yield of corn on five Indiana soils. *Agronomy Journal*, 1973, 65: 321-326
- [18] Hammell JE, Papendick RI, Campbell GS. Fallow tillage effects on evaporation and seed-zone water content in dry summer climate. *Soil Science Society of America Journal*, 1981, 45: 1016-1022
- [19] 洪晓强. 渭北旱垣不同耕作法蓄水效果研究. *水土保持通报*, 1996, 16 (4): 51-53
- [20] 蔺海明, 陈垣, 李有忠, 胡恒觉. 半干旱地区少免耕对土壤水分动态的影响. *甘肃农业大学学报*, 1996, 31 (1): 32-35
- [21] 张信宝, 安芷生. 减少地面蒸发充分利用降水资源. *水*

- 土保持通报, 1997, 17 (1): 57-62
- [22] 梁银丽. 黄土区地面覆盖的主要类型及其保水效应. 水土保持通报, 1997, 17 (1): 133-134
- [23] 张海林, 高旺盛, 王广章, 朱文珊. 覆盖免耕夏玉米生长及水分利用的研究. 作物杂志, 2000, (4): 7-9
- [24] 张乃生, 薛宗让, 洛希图, 张象俊, 武金芳. 旱地玉米免耕覆盖土壤温度效应. 山西农业科学, 1994, 22 (3): 13-16
- [25] 中国耕作制度研究会编著. 中国少耕免耕与覆盖技术研究. 北京: 北京科学技术出版社, 1991

Effect of Conservation Tillage on Soil Moisture and Temperature in the Farming-Pasture Zone

CHAGN Xu-hong¹, ZHAO Guang-cai¹, MENG Xiang-yun²,
YANG Li-zhen¹, PI Fu-zhong³, BI Yu-qiang³, LIU Xiu-quan³

(1 *Institute of Crop Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China*; 2 *Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China*; 3 *Agricultural Bureau of Kalaqin County, Chifeng, Inner Mongolia 024000, China*)

Abstract: An experiment was carried out to compare conservation tillage with the traditional one in soil moisture and temperature. The results of the experiment showed that the former was higher than the latter in soil moisture content. In terms of soil moisture content throughout the whole growth season, the three treatments in the experiment were in the order of Treatment I (mulching the field with crop stalks) > Treatment II (leaving stubbles in the field) > CK (conventional tillage). In the 0 ~ 40 cm soil layer, soil moisture increased gradually with the soil depth. In Treatment II it increased by 11.8 g/kg while in Treatment I it did by 23.2 g/kg. In terms of soil temperature in various soil layers at the booting stage, the three treatments were in a reverse order, i.e. CK > Treatment II > Treatment I. Within the 20 cm plowing layer, in the seeding period Treatment II was 0.5°C lower in temperature than CK and Treatment I was 6.6°C lower, while in the period of emergence, Treatment II was 0.8°C lower and Treatment I was 4.3°C lower. However, at the booting stage, the three treatments tended to come close in soil temperature. The higher moisture content in the conservation tillage was beneficial to crop growth, but the lower soil temperature in early spring could bring about negative effect on emergence of seedlings, and hence crop growth. Though there was some compensative effect between them, further study should be done in order to overcome the disadvantage of lower ground temperature in early spring.

Key words: Farming-pasture zone, Conservation tillage, Soil water content, Soil temperature