

不同耕作方式对内蒙古旱作农田土壤水热状况的影响

孙建¹, 刘苗¹, 李立军^{1,*}, 刘景辉¹, Surya N. Acharya²

(1. 内蒙古农业大学农学院, 呼和浩特 010018; 2. 加拿大农业与农业食品部, 渥太华 K1A0C5)

摘要: 为了研究免耕留茬覆盖和传统耕作土壤水热状况的差异, 2005—2008 年在内蒙古呼和浩特市清水河县进行定位试验, 结果表明: (1) 免耕留茬覆盖能有效的调节土壤温度, 出现高温时抑制温度上升, 低温时抑制温度降低的现象; 土壤温度 24h 变化的振幅随着土壤深度的增加呈现逐渐减小的趋势, 表层 0—10 cm 的变化幅度最大, 变化范围为 17.6—34 °C; 不同耕作方式的土壤温度均从 09:00 开始升高, 至 15:00 达到最高值, 之后缓慢下降, 到 06:00 达到最低值; 土壤温度随季节动态变化的趋势, 受制于气候。 (2) 测定期内免耕留高茬覆盖平均土壤含水量较传统耕作增加了 7.37%, 免耕留低茬覆盖较传统耕作增加了 5.93%; 燕麦苗期, 不同耕作方式的土壤含水量随土层深度增加, 呈增大的态势。分蘖期, 不同耕作方土壤含水量在 0—20 cm 呈下降趋势, 之后逐渐升高。燕麦花期, 不同耕作方土壤含水量在 0—40 cm 呈下降趋势, 之后逐渐上升, 至 80—100 cm 土层深度达到最大值; 土壤含水量主要受季节影响, 随降雨量变化而变化。 (3) 免耕留茬覆盖耕作方式增加土壤有机质和土壤含水量, 其热容量增大, 因此能调节和保持温度变化平缓。

关键词: 耕作方式; 内蒙古; 旱作农田; 水热状况

Effects of different tillage systems on soil hydrothermal regimes in rain-fed field of Inner Mongolia

SUN Jian¹, LIU Miao¹, LI Lijun^{1,*}, LIU Jinghui¹, Surya N. Acharya²

1 College of Agronomy, Inner Mongolia Agriculture University, Huhhot 010018, China

2 Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa K1A0C5, Canada

Abstract: Soil hydrothermal regimes can be used for assessing the sustainability of agricultural ecosystems. The objective of this study was to determine the influence of five tillage practices (no tillage low stubble (NL), no tillage high stubble (NH), no tillage high stubble with residues (NHS), no tillage low stubble with residues (NLS) and conventional tillage (CT)) on soil temperature and soil moisture content in a degraded oat slope field under dry conditions. Samples taken were at soil depth of 0—80 cm and 0—100 cm layer in the Qing Shuihe county of Inner Mongolia for a period of 4 years. Data were analyzed by the Kriging interpolation method in the SUFER software. The results showed that: (1) There was a significant effect of no tillage with residue on soil temperature and soil temperature followed diurnal variation depending on the season although the magnitude decreased with soil depth. Maximum value of the surface soil layer (0—10 cm) was 17.6—34.0 °C; the soil temperature was lowest at 06:00, the maximum value at 15:00; (2) During whole growth period, soil moisture content of NHS increased by 7.37%, NLS by 5.93% compared to CT; At seeding stage, soil moisture content increased with soil depth up to a depth of 100 cm, at the tillering stage, it was low in 0—20 cm, at flowering stage it was low in 0—40 cm depth, followed by a gradual increase up to 100 cm depth. The moisture content also was affected by season and with the rainfall. (3) Thermal capacity increased as soil organic matter increased and the NHS had a buffering effect on the soil temperature. (4) In rain-fed areas of the Yellow River basin this study will help the farmland management.

基金项目: 国际玉米小麦改良中心 (CIMMYT) 挑战计划资助项目 (CPWFYRB200503); 国家科技支撑计划资助项目 (2006BAB15B05)

收稿日期: 2009-09-06; **修订日期:** 2009-12-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: imajlj@yahoo.com.cn

Key Words: tillage systems; Inner Mongolia; rain-fed field; soil hydrothermal regimes

干旱缺水严重制约着内蒙古黄土高原半干旱农作区农业可持续发展,免耕留茬及免耕留茬覆盖成为本区域涵养农田水土,防止春旱、春寒,获得生态、经济效益的有效耕作方式。国外关于免耕的报道很多,早在 20 世纪 80 年代, Gebhardt 等^[1]和 Phillips 等^[2]对免耕体系、发展趋势进行了研究。之后随着免耕技术成功推广,很多学者深入研究了免耕对土壤的理化及生物学性质、水文、生态功能、作物产出等方面的影响^[3-6]。大量研究表明,免耕是干旱地区增加土壤蓄水量,提高水分利用效率的有效措施之一,同时免耕覆盖能够抑制土壤温度激变。Vieira Cavalieri 等^[7]在巴西的巴拉那州, Martinez 等^[8]在智利, Mulumba 等^[9]在美国的俄亥俄州都有相关的报道。国内对免耕及免耕秸秆覆盖也有大量的报道,如马月存等^[10]对农牧交错带、苏子友等^[11]对豫西黄土坡耕地、张伟等^[12]对寒区旱地免耕及残茬覆盖做了研究。但是关于内蒙古黄河流域农田旱作区实施免耕留茬覆盖耕作方式对土壤水热状况的影响的研究报道少见。

清水河县地处黄河流域丘陵沟壑区,生态环境恶劣,春寒频率高,温度的激变易对作物造成伤害,春旱持续时间长,不利于作物发芽、出苗,长期的传统耕作更加剧了土地生产力水平的降低。试验通过对免耕留茬及免耕留茬覆盖耕作措施下土壤温度、土壤含水量变化与传统耕作进行比较研究,分析探讨了水热动态变化机理,试图从理论上阐明不同耕作方式之间土壤温度、土壤含水量差异的内在原因。

1 材料与方法

1.1 区域概况

试验在内蒙古呼和浩特市清水河县小庙子乡破头夭村(111°39'E, 39°57'N)进行,属于黄河流域黄土高原丘陵沟壑区,地貌复杂,平均海拔 1373.6 m,年平均温度 7.1℃,大于 10℃的积温 2200—3200℃,无霜期 110—160 d,年日照时数为 2914 h,年总辐射量为 570.6 kJ·cm⁻²,年平均八级以上大风(指瞬间风速达 17 m·s⁻¹)达 19 d,年平均降雨量 410 mm,年蒸发量 2577 mm,是降雨量的 6 倍多。气候特征为春季干旱,大风多,冬季寒冷,降雨少,蒸发量大,属典型的中温带半干旱大陆性季风气候。

1.2 试验设计

试验时间为 2005—2008 年,种植制度为大豆-黍子-玉米-燕麦轮作。供试作物为燕麦(雁鸿 1 号),前茬为玉米,2008 年 5 月末播种,10 月末收获。

试验田为典型的坡耕地,坡度为 5°11',试验田为典型的坡耕地,设免耕留低茬(NL)、免耕留高茬(NH)、免耕留低茬覆盖(NLS)、免耕留高茬覆盖(NHS)、传统耕作(CT)5 种耕作方式,重复 3 次,各小区面积均为 70 m²。所有耕作方式均不施肥,终年无灌溉,免耕采用除草剂除草,留低茬茬高为 3—5 cm,留高茬茬高为 10—15 cm,秸秆覆盖量为 6000 kg·hm⁻²。传统耕作所有农艺与当地农耕操作一致。

供试土壤为栗褐土,试验前有机质含量 10.38 g·kg⁻¹,全氮含量为 0.47 g·kg⁻¹,全磷含量为 0.43 g·kg⁻¹,碱解氮含量 37.7 mg·kg⁻¹,速效磷含量 3.8 mg·kg⁻¹,速效钾含量 100.6 mg·kg⁻¹,容重 1.51 g·cm⁻³,孔隙率 0.43%。2008 年测定的不同耕作方式下燕麦土壤理化性质见表 1。

1.4 实验方法

2008 年对不同耕作方式下燕麦田土壤温度及含水量进行了测定,利用 CRB 型电子测温仪测定燕麦苗期、分蘖期和花期 0—10、10—20、20—40、40—60 cm 的土壤温度,每次测定选择晴朗天气 9:00—11:00 进行。在分蘖期测定 0—10、10—20、20—40、40—60 和 60—80 cm 6:00, 9:00, 12:00, 15:00, 18:00, 21:00, 0:00, 3:00 的土壤温度,间隔 3h。采用烘干法测定苗期、分蘖期和花期 0—10、10—20、20—40、40—60、60—80 和 80—100 cm 土壤含水量,每次测定选择晴朗天气 9:00—11:00 进行。所有测定均重复 2 次。

本文所用气象数据(2000—2008 年)由内蒙古气象局提供。

1.5 数据分析

试验结果采用 SUFER 软件 Kriging 插值法进行网格化处理生成等值线图和三维线框图。

表 1 土壤理化性质

Table 1 Effects of long-term different tillage styles on soil physical-chemical properties in the 0—20cm Soil layer

处理 Treatments	有机质 Organic matter /(g·kg ⁻¹)	全氮 Total nitrogen /(g·kg ⁻¹)	全磷 Total phosphorus /(g·kg ⁻¹)	碱解氮 Available nitrogen /(mg·kg ⁻¹)	速效磷 Available phosphorus /(mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available potassium /(mg·kg ⁻¹)	容重 Bulk density /(g·cm ⁻³)	孔隙率 Porosity /%
NL	11.45 cC	0.56cC	0.43 cC	38.19 cC	4.65 dD	122.20 cC	1.50 aA	43 bB
NLS	11.78 bB	0.64bB	0.46 bB	44.39 bB	5.10 bB	127.92 bB	1.49 bB	44 aA
NHS	12.10 aA	0.70aA	0.53 aA	45.19 aA	5.93 aA	134.68 aA	1.48 bB	44 aA
NH	11.52 cC	0.54 cC	0.48 bB	38.11 cC	4.80 cC	120.57 cC	1.51 aA	43 bB
CT	10.96 dD	0.49 dD	0.43 cC	35.10 dD	4.35 eE	118.86 dD	1.52 aA	43 bB

同列中小写英文字母表示 $P < 0.05$ 水平差异显著,大写字母表示 $P < 0.01$ 水平差异显著;NL 代表免耕留低茬、NLS 代表免耕留低茬覆盖、NHS 代表免耕留高茬覆盖、NH 代表免耕留高茬、CT 代表传统耕作,下同

2 结果与分析

2.1 区域降雨量及蒸发量年际动态变化

2.1.1 2000—2007 年清水河县降雨量及蒸发量动态变化

根据 2000—2007 年气象数据所绘制出的年际降雨量和蒸发量动态变化图(图 1)可以看出,2003 年蒸发量相对较小,其他年份均达到 2000 mm 以上。降雨量以 2003 年最大,2005、2006 和 2007 近 3a 的降雨量均在 430 mm 以下。年平均气温 2005、2006 和 2007 年相对较高,以 2006 年最高,达到 8.6 ℃。

2.1.2 2008 年清水河县降雨量及气温动态变化

根据 2008 年气象数据所绘制出的降雨量和月平均气温动态变化图(图 2)可以看出,该区当年平均温度为 10.3 ℃,7 月份平均气温最高,为 23.3 ℃,1 月份平均气温最低,为 -9.6 ℃,温差达 32.9 ℃。降雨量最高出现在 7 月份,为 121.3 mm,最低出现在 3 月份,为 0.0 mm。

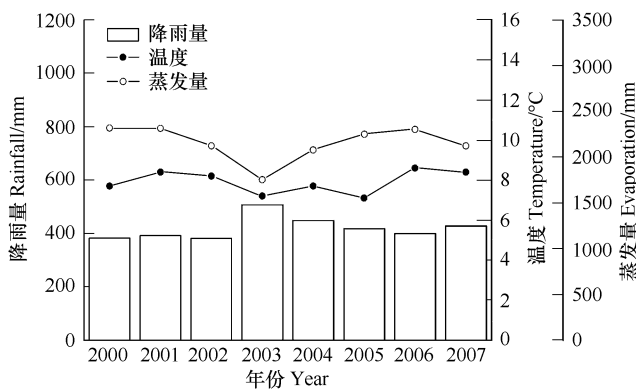


图 1 2000—2007 年清水河县降雨量及蒸发量年际动态变化

Fig. 1 Change of evaporation, temperature and rainfall in Qingshuihe County in 2000—2007

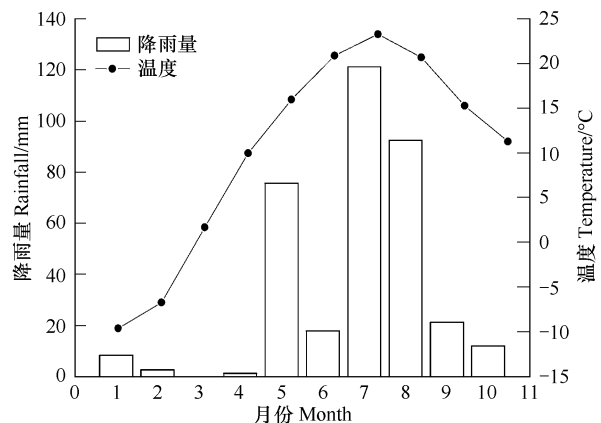


图 2 2008 年清水河县降雨量及气温动态变化

Fig. 2 Change of temperature and rainfall in Qingshuihe County in 2008

2.2 不同耕作方式对土壤温度的影响

2.2.1 燕麦分蘖期 0—60 cm 土壤温度日变化

土壤温度不仅影响土壤养分的转化、迁移和土壤呼吸、水分含量等,而且也是植物根系离子吸收、生长及土壤微生物群落构成的驱动因子之一。由燕麦分蘖期地温日变化等值线图与三维线框图(图 3)可知,(1)土壤温度 24h 变化幅度在表层 0—10 cm 最大,变化范围为 17.6—34 ℃,10—20 cm 土层波峰为 30.2 ℃,波谷为 18.1 ℃,其振幅为 12.1,20—40 cm 土层深度的温度波动范围在 20.1—25.1 ℃,振幅为 5,40—60 cm 土层深

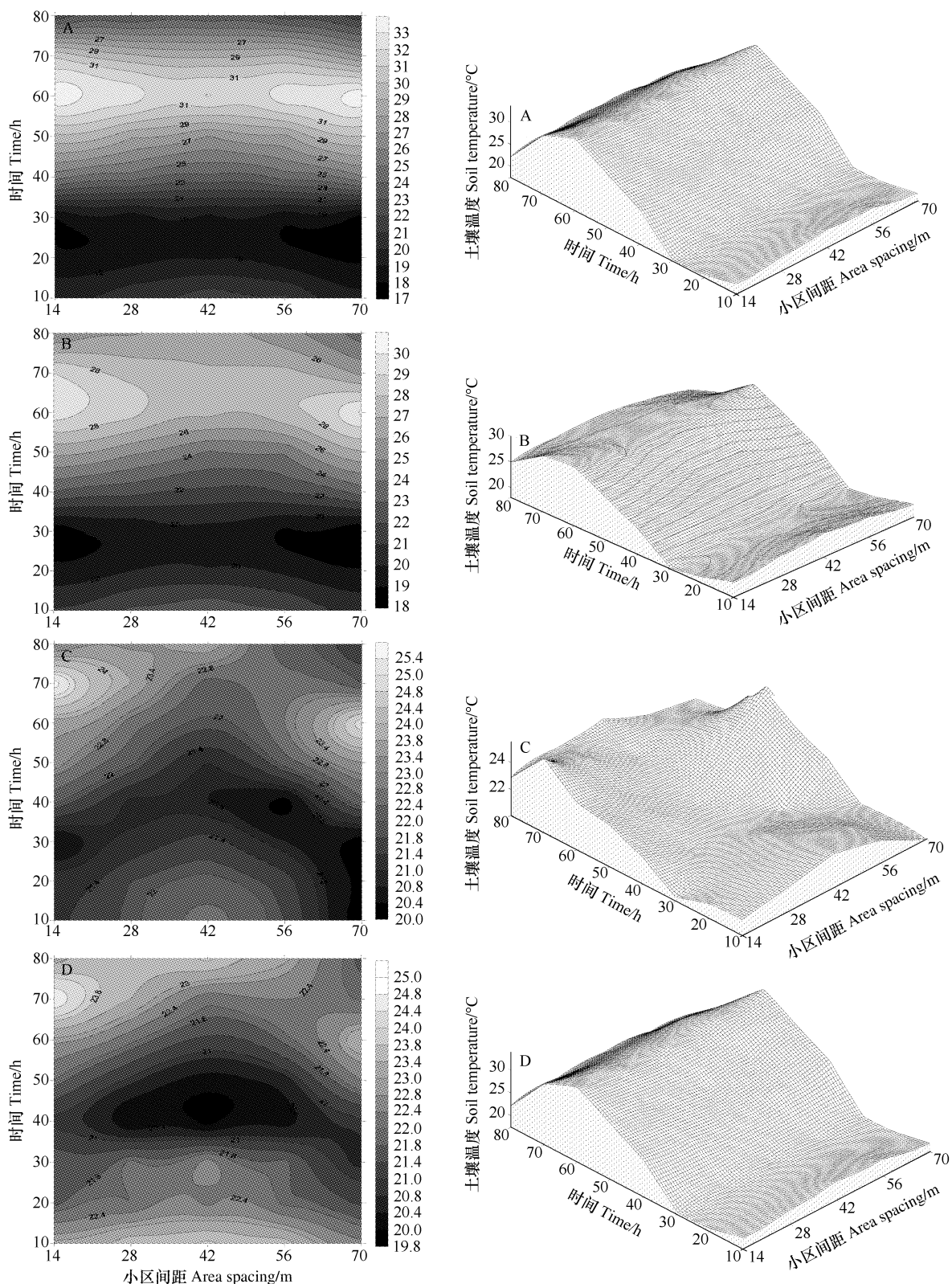


图3 燕麦分蘖期地温日变化等值线图与三维线框图

Fig. 3 The contour map and 3D wire frame map of soil temperature diurnal variation during tillering stage of oat

A、B、C、D 分别表示 2008 年 0—10、10—20、20—40 和 40—60 cm 土层深度的地温日变化图；图中 X 轴 14—70 表示不同耕作方式的小区间距 (14 m)，依次代表：NL、NLS、NHS、NH 和 CT；Y 轴 10、20、30、40、50、60、70 和 80 分别表示测定时间 00:00、03:00、06:00、09:00、12:00、15:00、18:00、21:00；Z 轴表示土壤温度 (°C)

度的振幅波动范围为 19.8—23.4 ℃。(2)不同耕作方式土壤温度均从 09:00 开始升高,至 15:00 达到最高值,之后缓慢下降,到 06:00 达到最低值。(3)以 0—10cm 为例,在温度最高的 15:00,免耕留低茬覆盖和免耕留高茬覆盖耕作方式土壤最高温分别较传统耕作降低了 1.4 ℃、1.9 ℃,在温度最低凌晨 06:00,较传统耕作高出 0.8 ℃、1.1 ℃;以 10—20 cm 土壤深度为例,与传统耕作相比,免耕留低茬覆盖和免耕留高茬覆盖,最高温时分别比传统减少了 1.8 ℃、2.9 ℃,最低温度时分别高于传统耕作 1.0 ℃、1.7 ℃;在 20—40、40—60 cm 土层深度,不同耕作方式之间土壤温度差值减小。总之,土壤温度 24h 变化幅度随着土壤深度的增加呈现逐渐减小的趋势,不同耕作方式在不同深度随时间变化的趋势基本一致,随土层深度的增加不同耕作方式温差逐渐减小。

2.2.2 燕麦生育期 0—60 cm 土壤温度变化

由燕麦生育期地温变化等值线图与三维线框图(图 4)可见,(1)不同耕作方式 0—60 cm 的土壤温度随季节变化的趋势,均从苗期开始逐渐上升,至花期达到最高,在 0—10 cm 土层深度,变化幅度最大,上升和下降的速率都较快,其他层次,土壤温度随季节变化的趋势与 0—10 cm 一致,但随土壤深度增加而趋于缓和。(2)在苗期气温较低的时候,0—10 cm 土层深度,免耕留高茬覆盖和免耕留低茬覆盖较传统耕作分别升高了 3.7、0.4 ℃,在花期气温较高时,免耕留高茬覆盖和免耕留低茬覆盖较传统耕作分别降低了 2.6、1.6 ℃,在 10—20 cm 土层深度,苗期免耕留高茬覆盖和免耕留低茬覆盖较传统耕作分别升高了 1.6、1.0 ℃,花期较传统耕作分别降低了 0.4、0.2 ℃,在 20—40cm 和 40—60 cm 不同耕作方式之间各个生育时期土壤温差均较小。总之土壤温度主要受季节影响,随气温变化而变化,各生育期不同耕作方式之间土壤温度均随深度增加而差异减小。

2.3 不同耕作方式下对燕麦生育期土壤含水量的影响

由各个生育期的土壤容积含水量等值线图与三维线框图(图 5)可知,(1)燕麦苗期,不同耕作方式在 0—100 cm 的土壤含水量随土层深度增加,均呈现增大的态势。燕麦分蘖期,不同耕作方土壤含水量在 0—20 cm 呈下降趋势,之后随着土壤深度的增加而升高。燕麦花期,不同耕作方土壤含水量在 0—40 cm 呈下降趋势,之后逐渐上升,至 80—100 cm 土层深度达到最大值。(2)燕麦苗期,免耕留低茬覆盖和免耕留高茬覆盖不同层次土壤平均含水量分别比传统耕作高出 3.37% 和 4.47%,分蘖期分别比传统耕作高出 12.59%、14.96%,花期分别比传统耕作高出 1.83%、2.67%。而免耕留高茬和免耕留低茬耕作方式的土壤含水量在整个生育期也基本高于传统耕作,增加幅度小于留茬覆盖。(3)在燕麦的各个生育时期,以苗期土壤的含水量最低,燕麦花期土壤含水量为最高,其动态变化呈上升趋势。总之土壤含水量主要受季节影响,随降雨量变化而变化,各生育期不同耕作方式之间土壤温度均随深度增加而差异减小,但是免耕留高茬覆盖及免耕留低茬覆盖具有良好的保水效果。

3 结论与讨论

3.1 免耕留茬覆盖能有效的调节、保持土壤温度稳定

土壤温度的高低与接受太阳的辐射量有关,同时也受地面向大气中散失热量多少的影响。相对留茬,传统耕作而言,留茬覆盖要明显表现为高温并不高,低温并不低的规律,在燕麦苗期差异尤为明显。是由于植株对地温并未形成大的干扰,秸秆覆盖阻隔了太阳和土壤表面的热传导,使得太阳辐射到地表的热量减少,而土壤的热量也不易散失。但是也有学者指出秸秆覆盖只具有降温作用,如陈素英等^[13]对冬小麦秸秆覆盖研究得出,在冬小麦整个生育季节,覆盖耕作方式对土壤的最高温度有明显的降低作用,尤其是冬季,降温作用更加明显。而 Zhang 等^[14]在研究黄土高原覆盖对土壤水热的影响时指出,在丘陵区,温度高时表层 0—10 cm 土壤温度能降低 0—4 ℃,温度低时能提高 0—2 ℃。分蘖以后,由于燕麦植株、叶面积增大,遮蔽了太阳的辐射,使得直接到达地面的太阳辐射减少,因此不同耕作方式之间的差异逐渐减小,这期间影响地温实质就是大气温度,植株间距一致,长势决定其遮蔽情况,从而导致温度差异。同时土壤温度随深度增加而降低,且不同耕作方式之间的差异随之减小。本研究分析 40—60 cm 土层,耕作方式之间温度差别不大,是由于此层地

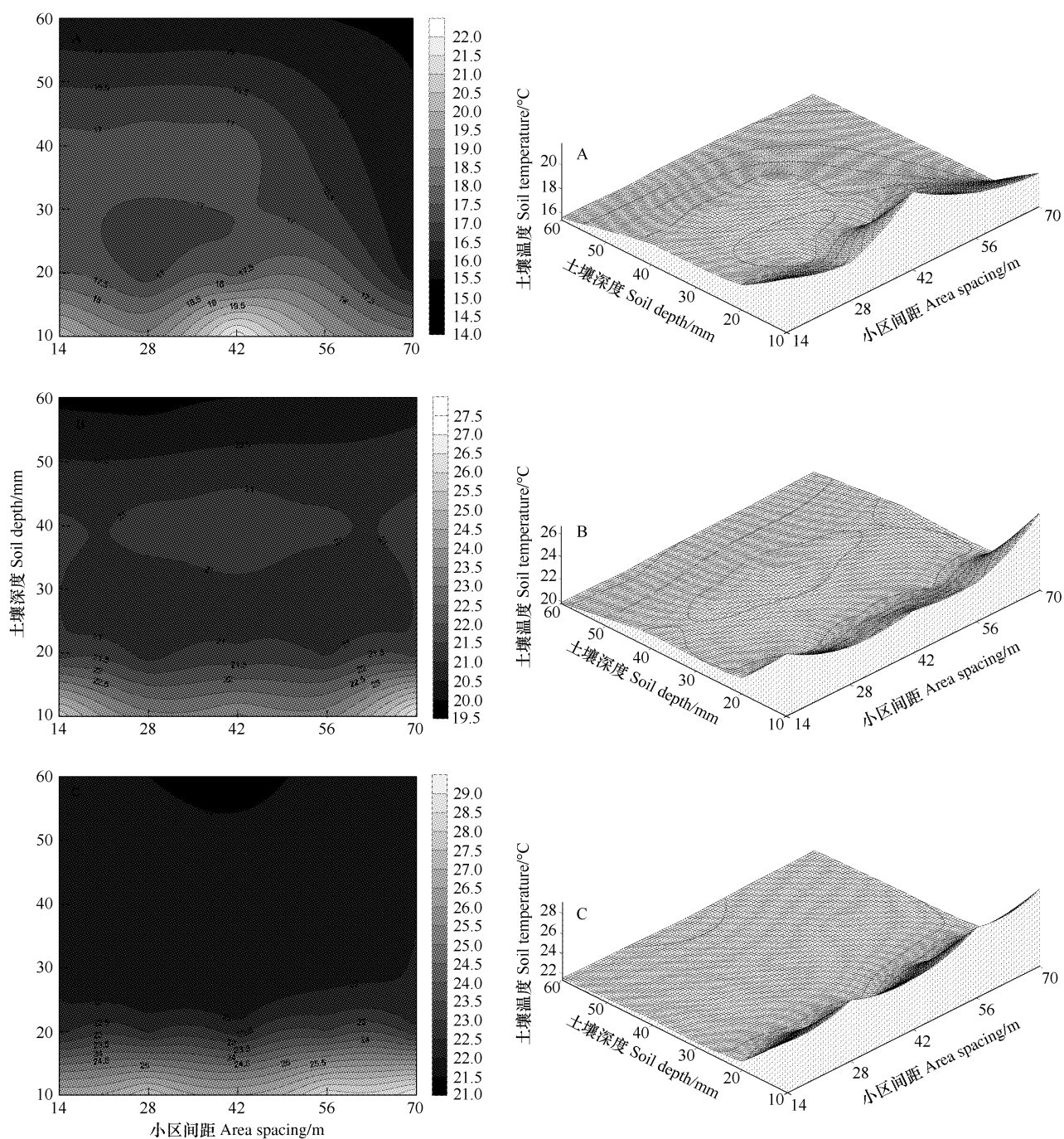


图4 燕麦生育期地温变化等值线图与三维线框图

Fig. 4 The contour map and 3D wire frame map of soil volume moisture in the growth stage

A、B、C 分别表示 2008 年燕麦苗期、分蘖期和花期的地温变化图;图中 X 轴 14—70 表示不同耕作方式的小区间距(14 m),依次代表:NL、NLS、NHS、NH 和 CT;Y 轴 10、20、30、40、50 和 60 分别表示 0—10、10—20、20—40 和 40—60 cm 土层深度;Z 轴表示土壤温度(°C)

温受外界热媒介干扰很少,主要是土壤内部温度传导的结果。

表层最低土壤温度之所以出现在 06:00 左右,是因为经过一整夜的热量散失,此时地面积温最低,地面吸收的太阳辐射能量向大气中散失到最大亏空值。从这一临界时刻开始,太阳辐射能量增强,土壤吸收热能,温度逐渐回升,直到 15:00 左右达到最大值,未出现在太阳辐射最强的 12:00,是由于此时地面还在吸收能量,12:00 之后,太阳辐射逐渐减弱,地面向大气中的辐射与太阳向地面辐射的能量相等时,土壤温度才达最

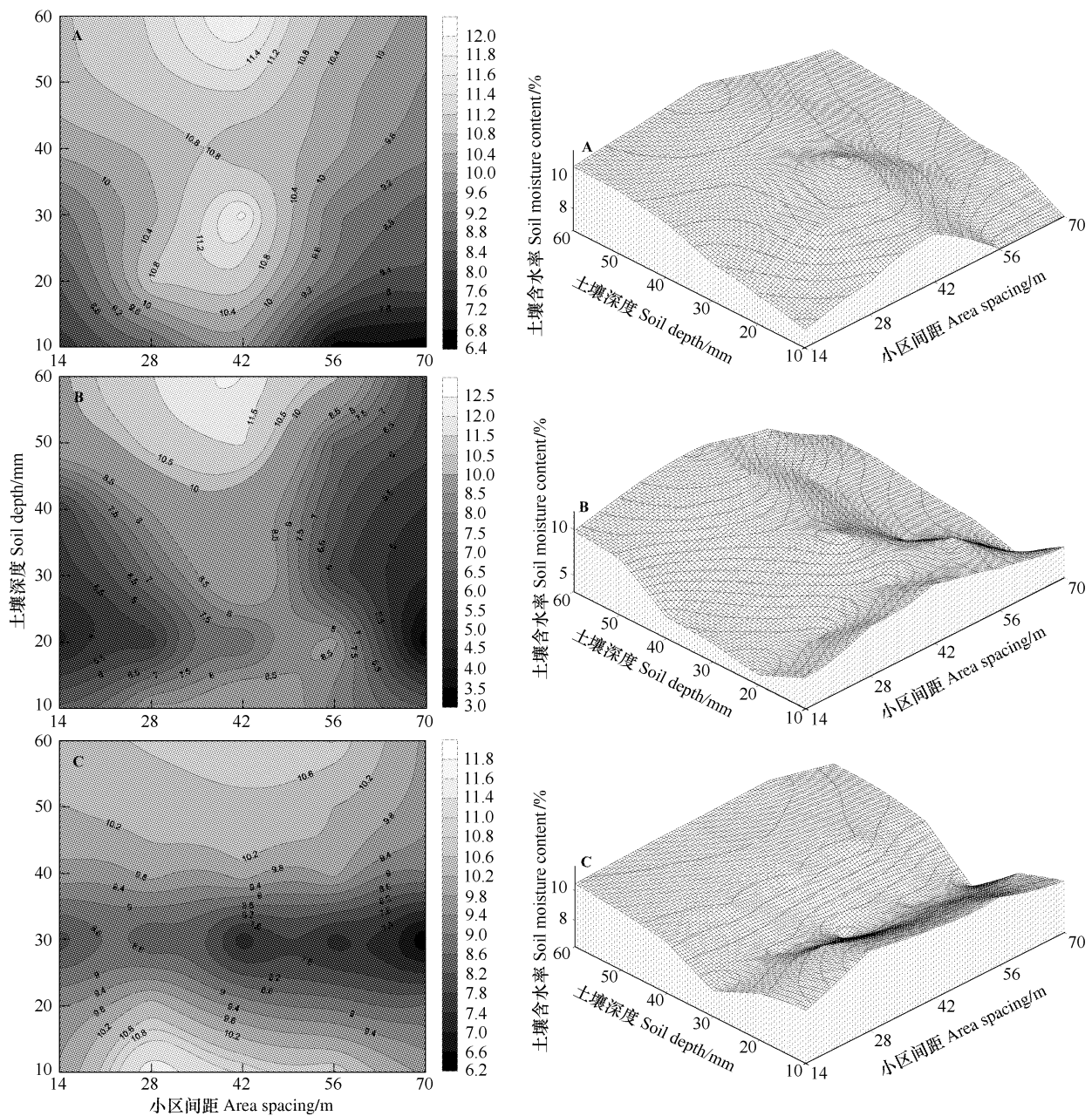


图5 各个生育期的土壤容积含水量等值线图与三维线框图

Fig.5 The contour map and 3D wire frame map of soil moisture content in the growth stage

A,B,C 分别表示燕麦苗期、分蘖期和花期土壤 0—100cm 含水量变化图;图中 X 轴 14—70 表示不同耕作方式的小区间距(14 m),依次代表:NL、NLS、NHS、NH 和 CT;Y 轴 10、20、30、40、50 和 60 分别表示 0—10、10—20、20—40、40—60、60—80 和 80—100 cm 土层深度;Z 轴表示土壤质量含水量(%)

大值。

3.2 免耕留茬覆盖能有效的保持土壤水分

免耕留茬覆盖表层土壤含水量要高于其它耕作方式,而深层土壤含水量不同耕作方式之间差异不明显,原因是表层秸秆覆盖可以有效阻挡太阳辐射,减少水分的蒸发,随着土壤深度的增加,外界因素对土壤含水量的影响趋于一致。张海林等^[15]也认为免耕秸秆覆盖,可以有效地控制土壤水分损失,李玲玲等^[16]指出不同保护性耕作措施对小麦播种期土壤含水量的影响主要在表土层,与本文的结论一致。

土壤含水量的季节变化,主要受降雨影响,虽然在燕麦分蘖期及花期,作物长势旺盛,作物耗水量增大,但

这并不影响土壤含水量呈上升的趋势,由于正处于进入了本区域密集的雨季(图2)。但是随着作物的生长,根系的发育,根部吸水量逐渐增大,因此出现苗期水分最低值在0—10 cm,分蘖期在10—20 cm,花期在20—40 cm的变化规律。

3.3 土壤性状对农田水热状况的影响

土壤结构是土壤中不同大小、形状、孔隙性、力稳性和水稳性团聚体的综合,所以土壤是由固、液、气三相混合组成。其固相包括矿物质和有机质,液相即土壤水分,气相则是土壤空隙中存在的空气。由于不同物质的热性质相差较大,见表2^[17],且土壤的结构和物理属性也存在一定的差别,从而导致土壤的热容量的明显变化。

连续4a实施免耕留茬覆盖耕作方式,增加了土壤空隙率,降低了土壤容重,同时提高了土壤有机质及养分含量(见表1)。土壤物理结构的变化,使得免耕留茬覆盖的贮水能力增强,同时相对稳定的温度利于保水。由表2可知水和有机质的热容量较其他物质都高,所以免耕留茬覆盖土壤的热容量大,温度不易升高,而干燥土壤空气多,热容量低,温度容易升高。同理其在对外传导热量的时候,速率缓慢,所以在传统耕作降温的时候,免耕覆盖依然能保持较高的温度。这也是表层土壤受大气温度影响剧烈,而随着土层深度的增加,外界热媒介作用减小的原因之一。

表2 土壤组分热性质
Table 2 Thermal properties of soil ingredients

物质 Matters	比热容/(J·g ⁻¹ ·K ⁻¹) Specific heat capacity	密度/(kg·m ⁻³) Density	热容量/(J·m ⁻³ ·K ⁻¹) Thermal capacity	热传导率/(W·m ⁻¹ ·K ⁻¹) Thermal conductivity
空气 Air	1.0	1.2	1.2 × 10 ³	0.025
水 Water	4.2	1.0 × 10 ³	4.2 × 10 ⁶	0.6
冰 Ice(0℃)	2.1	0.9 × 10 ³	1.9 × 10 ⁶	2.2
石英 Quartz	0.8	2.7 × 10 ³	2.0 × 10 ⁶	8.8
粘土矿物 Clay mineral	0.8	2.7 × 10 ³	2.0 × 10 ⁶	2.9
土壤有机质 Organic matter	2.5	1.1 × 10 ³	2.7 × 10 ⁶	0.25

对于黄河流域内蒙古干旱农作区,春旱持续时间长,不利于作物发芽、出苗,春寒严重,温度的激变易对作物造成伤害,且年降雨量少,蒸腾量大(图1和图2)。传统耕作对土地进行多次翻耕、犁耙和旋耕,土地疏松而裸露,在风吹日晒下使大量土壤水分蒸发、温度起伏较大。而免耕留茬覆盖有效的减少了蒸发、保持土壤温度稳定。

References:

- [1] Gebhardt M R, Daniel T C, Schweizer E E, Allmaras R R. Conservation Tillage. Science, 1985, 230(4726): 625-630.
- [2] Phillips R E, Blevins R L, Thomas G W, Frye W W, Phillips S H. No-Tillage Agriculture. Science, 1980, 208(4448): 1108-1113.
- [3] Rabary B, Sall S, Letourmy P, Husson O, Ralambofetra E, Moussa N, Chotte J L. Effects of living mulches or residue amendments on soil microbial properties in direct seeded cropping systems of Madagascar. Applied Soil Ecology, 2008, 39(2): 236-243.
- [4] Mohanty M, Painuli D K, Misra A K, Ghosh P K. Soil quality effects of tillage and residue under rice-wheat cropping on a Vertisol in India. Soil & Tillage Research, 2007, 92(1/2): 243-250.
- [5] Miura F, Nakamoto T, Kaneda S, Okano S, Nakajima M, Murakami T. Dynamics of soil biota at different depths under two contrasting tillage practices. Soil Biology & Biochemistry, 2008, 40(2): 406-414.
- [6] Ekenler M, Tabatabai M A. Effects of liming and tillage systems on microbial biomass and glycosidase in soils. Biology and Fertility of Soils, 2003, 39(1): 51-61.
- [7] Vieira Cavalieri K M, da Silva A P, Tormena C A, Leao T P, Dexter A R, Hakansson I. Long-term effects of no-tillage on dynamic soil physical properties in a Rhodic Ferrasol in Paraná, Brazil. Soil & Tillage Research, 2009, 103(1): 158-164.
- [8] Martinez E, Fuentes J P, Silva P, Valle S, Acevedo E. Soil physical properties and wheat root growth as affected by no-tillage and conventional tillage systems in a Mediterranean environment of Chile. Soil & Tillage Research, 2008, 99(2): 232-244.

- [9] Mulumba L N, Lal R. Mulching effects on selected soil physical properties. *Soil & Tillage Research*, 2008, 98(1):106-111.
- [10] Ma Y C, Qin H L, Gao W S, Chen Y Q, Li X D, Sui P, Huang F Q. Dynamics of soil water content under different tillage in agriculture-pasture transition zone. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(6):2523-2530.
- [11] Su Z Y, Yang Z L, Wang D L, Cai D X, Yao Y Q, Lu J J, Zhang J. Effect of conservation tillage on water conserving on loess slope-land in west Henan Province. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2004, 22(3):6-18.
- [12] Zhang W, Wang C, Liang Y, Li Y Q. Effect of crop residue cover on soil temperature in cold and dry farming areas. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2006, 22(5):70-73.
- [13] Chen S Y, Zhang X Y, Pei D, Sun H Y. Soil Evaporation and Soil Temperature in Maize Field Mulch with Wheat Straw. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2004, 23(4):32-35.
- [14] Zhang S L, Lövdahl L, Grip H, Tong Y N, Yang X Y, Wang Q J. Effects of mulching and catch cropping on soil temperature, soil moisture and wheat yield on the Loess Plateau of China. *Soil & Tillage Research*, 2009, 102(1):78-86.
- [15] Zhang H L, Qin Y D, Zhu W S. Study on Soil Evaporation of No-tillage with Mulch. *Chinese Journal of Soil Science*, 2003, 34(4):259-261.
- [16] Li L L, Huang G B, Zhang R Z, Jin X J, Li G, Chan K Y. Effect of No-till with Stubble Retention on Soil Water Regimes in Rainfed Areas. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 19(5):94-116.
- [17] Li H X, Xia Z Q, Ma G H. Effects of water content variation on soil temperature process and water exchange. *Journal of Hohai University (Natural Sciences)*, 2007, 35(2):172-175.

参考文献:

- [10] 马月存,秦红灵,高旺盛,陈源泉,李向东,隋鹏,黄凤球. 农牧交错带不同耕作方式土壤水分动态变化特征. *生态学报*, 2007, 27(6):2523-2530.
- [11] 苏子友,杨正礼,王德莲,蔡典雄,姚宇卿,吕军杰,张洁. 豫西黄土坡耕地保护性耕作保水效果研究. *干旱地区农业研究*, 2004, 22(3):6-18.
- [12] 张伟,汪春,梁远,李玉清. 残茬覆盖对寒地旱作区土壤温度的影响. *农业工程学报*, 2006, 22(5):70-73.
- [13] 陈素英,张喜英,裴冬,孙宏勇. 秸秆覆盖对夏玉米田棵间蒸发和土壤温度的影响. *灌溉排水学报*, 2004, 23(4):32-35.
- [15] 张海林,秦耀东,朱文珊. 覆盖免耕土壤棵间蒸发的研究. *土壤通报*, 2003, 34(4):259-261.
- [16] 李玲玲,黄高宝,张仁陟,晋小军, Guangdi LI, Kwong Yin CHAN. 免耕秸秆覆盖对旱作农田土壤水分的影响. *水土保持学报*, 2005, 19(5):94-116.
- [17] 李慧星,夏自强,马广慧. 含水量变化对土壤温度和水分交换的影响研究. *河海大学学报(自然科学版)*, 2007, 35(2):172-175.