

秸秆还田后覆膜镇压对旱地冬小麦 土壤温度和产量的影响

谭凯敏¹, 杨长刚¹, 柴守玺¹, 常磊¹,
程宏波², 黄彩霞³, 王燕培¹

(1. 甘肃省干旱生境作物学重点实验室/甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070;

2. 甘肃农业大学生命科学与技术学院, 甘肃 兰州 730070; 3. 甘肃农业大学工学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 在黄土高原雨养条件下, 研究了玉米秸秆还田 + 全膜覆土穴播 + 播前镇压(T1), 玉米秸秆还田 + 不覆膜 + 播前镇压(T2), 玉米秸秆还田 + 不覆膜 + 播前不镇压(T3), 小麦秸秆还田 + 全膜覆土 + 播前镇压(T4), 小麦秸秆还田 + 不覆膜 + 播前镇压(T5), 小麦秸秆还田 + 不覆膜 + 播前不镇压(T6), 露地穴播(CK)对冬小麦土壤温度和产量的影响。结果表明: 各处理全生育期 0~25 cm 土层均温依次为 T4(15.26℃) > T1(14.94℃) > T5(14.80℃) > CK(14.66℃) > T3(14.64℃) > T2(14.57℃) > T6(14.47℃); 还田方式间比较, 秸秆还田 + 全膜覆土穴播 + 播前镇压、秸秆还田 + 不覆膜 + 播前镇压处理在整个生育期表现为增温效应, 秸秆还田 + 不覆膜 + 播前不镇压表现为降温效应; 小麦秸秆还田增温效果大于玉米秸秆还田; 各还田处理均表现为增产效应, 平均较 CK 增产 69.36%、27.94%、19.38%、45.12%、13.30%、9.79%。

关键词: 秸秆还田; 覆膜; 镇压; 旱地; 冬小麦; 土壤温度; 产量

中图分类号: S512.1⁺1; S345 **文献标志码:** A

Effect of mulching film after straw returning on soil temperature and grain yield of dryland winter wheat

TAN Kai-min¹, YANG Chang-gang¹, CHAI Shou-xi¹, CHANG Lei¹,
CHENG Hong-bo², HUANG Cai-xia³, WANG Yan-pei¹

(1. Gansu Provincial Key Laboratory of Aridland Crop Science/ College of Agronomy,

Gansu Agricultural University,

Lanzhou, Gansu 730070, China; 2. College of Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

3. College of Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: The study were conducted investigate the effect of mulching film after straw returning on soil temperature and grain yield under rainfed condition in Loess Plateau of northwestern China. Seven treatments were conducted: maize straw returning + whole mulching film + rolling pre-sowing (T1), maize straw returning + rolling pre-sowing (T2), maize straw returning(T3), wheat straw returning + whole mulching film + rolling pre-sowing (T4), wheat straw returning + rolling pre-sowing (T5), wheat straw returning(T6) and open field dibble(CK). The average temperature at soil layer of 0~25 cm during whole growth period were in the order of T4(15.26℃) > T1(14.94℃) > T5(14.80℃) > CK(14.66℃) > T3(14.64℃) > T2(14.57℃) > T6(14.47℃). The temperature increased in treatments of straw returning + whole mulching film + rolling pre-sowing and straw returning + rolling pre-sowing, while temperature decreased in straw returning treatment. The warming effect of wheat straw returning was higher than that of the maize straw returning. Significant increase in grain yield existed among the six treatments, being 69.36%, 27.94%, 19.38%, 45.12%, 13.30% and 9.79% higher than that of CK, respectively.

Keywords: straw returning; mulching film; rolling; dryland; winter wheat; soil temperature; grain yield

收稿日期:2014-03-23

基金项目:现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-3-2-49);公益性行业(农业)科研专项(201303104)

作者简介:谭凯敏(1987—),男,山西洪洞人,在读硕士,研究方向为作物生态生理。E-mail:641537430@qq.com。

通信作者:柴守玺(1962—),男,甘肃会宁人,教授,博士生导师,主要从事小麦栽培育种和生态生理研究。E-mail:sxchai@126.com。

土壤温度对作物的生长发育^[1-6]、土壤肥力^[7]的影响很大,研究耕作方式对土壤温度效应的影响,对于揭示耕作方式对作物生长发育的机理及其耕作技术的改进具有重要的作用。土壤耕作改变了土壤的物理特性,影响了土壤的热量流动,进而影响了土壤的温度状况^[8]。有研究者认为秸秆翻耕还田对土壤有增温效应。常晓慧等^[9]研究表明秸秆深施还田日平均地温要高出覆盖还田和对照地,平均高出 0.8℃和 1.2℃,且随着深施还田量的增加,对地温的影响更明显。张淑香等^[10]研究认为秸秆还田可提高 0~25 cm 土壤积温总和,比不还田对照高 7.5℃,其中 0~5 cm 土层增温最明显,平均比对照高 9℃。相反,刘爽等^[11]在不同耕作措施对旱地农田土壤温度的影响研究结果中发现,秸秆还田处理在各时期的地温均要低于常规耕作。还有研究者认为秸秆翻压还田对作物生长发育的影响是两方面的。李新举等^[12]认为秸秆翻压还田在秸秆腐解过程中放出的热量使地温增加,在寒冷季节对作物的生长有利,在夏季会因为地温过高而影响作物生长发育。本研究对几种不同的还田方式分土层、分时期地进行土壤温度的差异比较,研究结果将为深化还田增产机理认识和技术改进创新提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验环境条件

试验于 2012—2013 年在甘肃省通渭县常河镇进行。该区属黄土高原丘陵沟壑区,土壤为黄绵土,黄土层深厚,保水肥。气候类型属温带半湿润半干旱性季风气候,为旱作雨养农业区,平均海拔 1 590 m,年日照时数 2 100~2 430 h,年均气温 7.4℃,无霜期 120~170 d,年均降水量 444.2 mm,年蒸发量 > 1 500 mm,2012—2013 年同期降雨量持平,属正常年份。

1.2 试验设计

试验地前茬为冬小麦,于 2012 年 6 月底收获,收获后地块闲置。试验于 9 月 29 日处理地块,9 月 30 日播种。试验共设 7 个种植处理,其中 3 个玉米秸秆还田处理(T1、T2、T3),3 个小麦秸秆还田处理(T4、T5、T6),以露地穴播为对照。随机区组排列,3 次重复,小区面积 40 m²。播种量为 202.5 kg·hm⁻²,每个小区播种 20 行,穴距 15 cm,行距 20 cm。玉米与小麦秸秆还田量为 4 500 kg·hm⁻²,用秸秆粉碎机将秸秆粉碎,粉碎后秸秆长度为 5~10 cm,均为粉碎后旋耕还田,翻压深度 5~15 cm,旋耕后约有 20%

秸秆暴露在地面,耙平后覆膜。单行穴播机播种,灌浆后期一喷三防。各处理方式如下:

T1:玉米秸秆还田+全膜覆土穴播+播前镇压。将玉米秸秆粉碎为 5~10 cm,旋耕还田,平作,然后用轻磙镇压,镇压后地膜全地面覆盖、膜面覆土 1 cm。

T2:玉米秸秆还田+不覆膜+播前镇压。镇压后,地面不覆膜,其余同 T1。

T3:玉米秸秆还田+不覆膜+播前不镇压。播前不镇压,不覆盖,其余同 T1。

T4:小麦秸秆还田+全膜覆土+播前镇压。小麦秸秆粉碎还田,镇压后,地面覆膜,其余同 T1。

T5:小麦秸秆还田+不覆膜+播前镇压。镇压后,地面不覆膜,其余同 T4。

T6:小麦秸秆还田+不覆膜+播前不镇压。不镇压,不覆盖,其余同 T4。

CK:露地穴播(对照)。不还田,旋耕后不覆膜,不镇压。

1.3 测定项目与方法

在小麦主要生育时期,分 5 cm、10 cm、15 cm、20 cm、25 cm 共 5 个土层,测定 0~25 cm 土体各土层土壤温度变化。在生育的主要时期(苗期、越冬期、返青期、拔节期、抽穗期、开花期、灌浆初期、灌浆中期、完熟期)每天测定 1 次,每次分别在早晨(6:00—8:00)、中午(12:00—14:00)和傍晚(17:00—18:30)进行测定,取其平均值作为日均温度;每 667 m²产量由小区实际产量折算获得。

1.4 数据处理

实验数据处理用 Excel 2003 和 SPSS 20.0 软件处理。

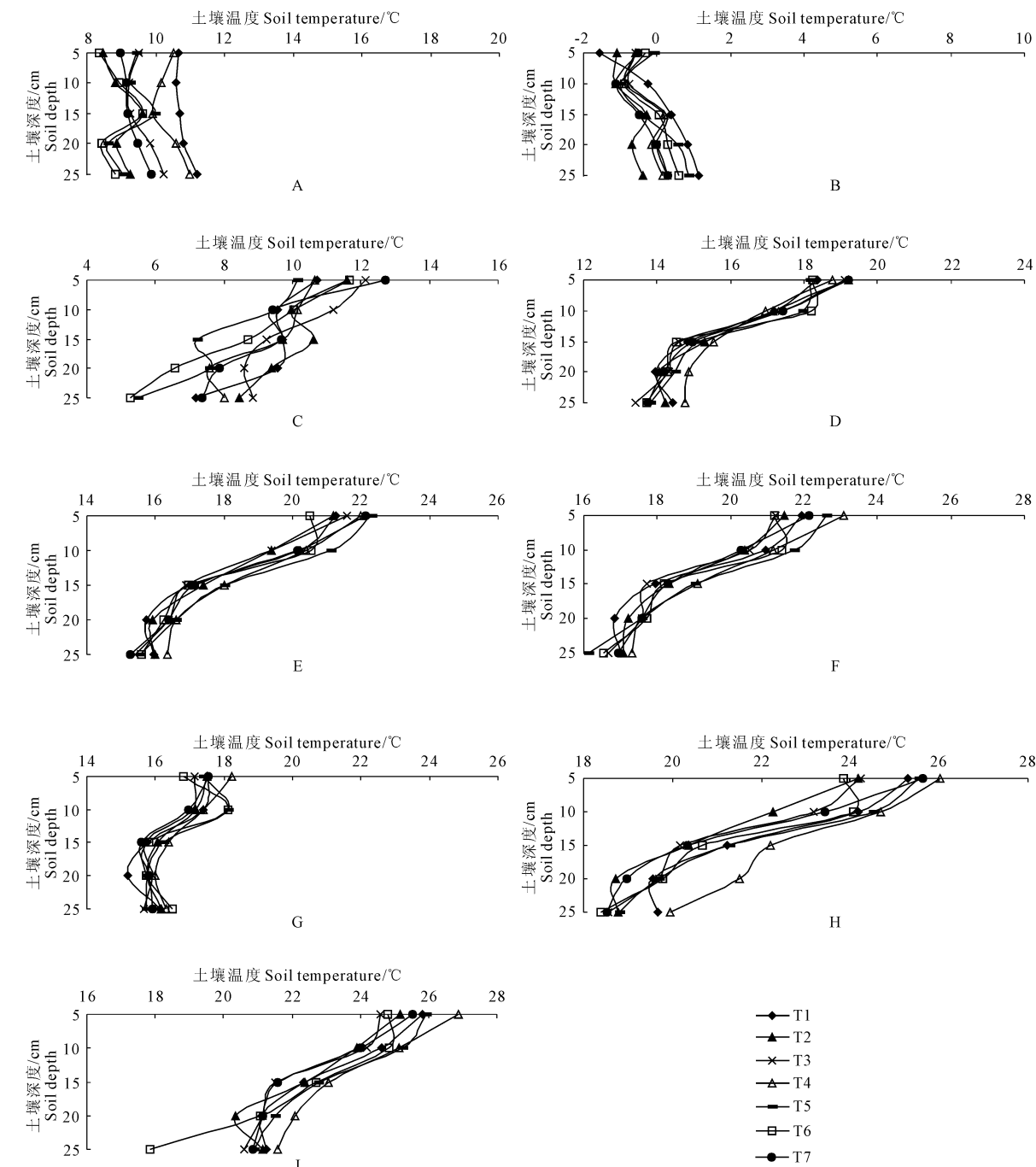
2 结果与分析

2.1 不同秸秆还田方式和生育时期对土壤温度的影响

由图 1 和图 2 可见,处理间土壤温度的时空差异明显。比较全生育期 0~25 cm 土层均温,秸秆还田普遍表现为增温效应,平均较 CK 增温 0.13℃。秸秆还田材料间比较,小麦秸秆还田的增温效果要大于玉米秸秆还田,二者土壤温度依次较 CK 高出 0.2℃、0.06℃;各秸秆还田处理间比较,增温效果以全膜覆土穴播+镇压最大、不覆膜+镇压次之、不覆膜+不镇压最小,三者依次高出 CK 0.44℃、0.05℃、-0.1℃;镇压与不镇压处理方式间比较,镇压处理的增温效果要大于不镇压处理,平均较不镇压处理

高 0.15℃; 不镇压处理在温度较低的越冬期一返青期表现为增温效应, 在苗期、拔节期一成熟期表现为降温效应。

变异系数是一个相对数, 变异系数越大说明变量的离散程度越大, 即温度的波动越大。



注: A. 苗期; B. 越冬期; C. 返青期; D. 拔节期; E. 抽穗期; F. 开花期; G. 灌浆初期; H. 灌浆中期; I. 完熟期。T1: 玉米秸秆还田 + 全膜覆土穴播 + 播前镇压; T2: 玉米秸秆还田 + 不覆膜 + 播前镇压; T3: 玉米秸秆还田 + 不覆膜 + 播前不镇压; T4: 小麦秸秆还田 + 全膜覆土 + 播前镇压; T5: 小麦秸秆还田 + 不覆膜 + 播前镇压; T6: 小麦秸秆还田 + 不覆膜 + 播前不镇压; CK: 露地穴播(对照)。下同。

Note: A. Seedling stage; B. Over-wintering stage; C. Returning green stage; D. Jointing stage; E. Heading stage; F. Flowering stage; G. Early filling stage; H. Middle filling stage; I. Ripening stage. T1: maize straw returning + mulching film + rolling at pre-sowing; T2: maize straw returning + rolling at pre-sowing; T3: maize straw returning; T4: wheat straw returning + mulching film + rolling at pre-sowing; T5: wheat straw returning + rolling at pre-sowing; T6: wheat straw returning; CK: control. The same below.

图 1 不同处理 0~25 cm 土层温度的时空变化

Fig.1 Temporal and spatial change of soil temperature in 0~25 cm soil layer under different mulching treatments

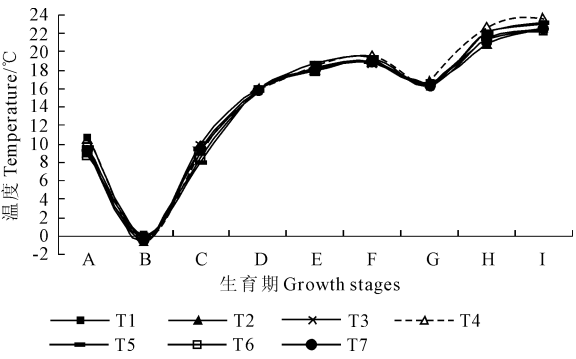


图 2 不同生育时期 0~25 cm 土层土壤平均温度的变化
Fig. 2 Change of soil temperature in 0~25 cm at different growth stages under different mulching treatments

比较 0~25 cm 土体温度在各生育时期的变异系数,各处理依次为: T5(50.90%) > T6(50.46%) > T2(50.03%) > T4(49.93%) > CK(49.85%) > T3(48.31%) > T1(48.06%)。可见,玉米秸秆覆膜和镇压均可有效地平抑地温的剧烈变化,小麦秸秆还田各处理均加剧了地温的波动变化。

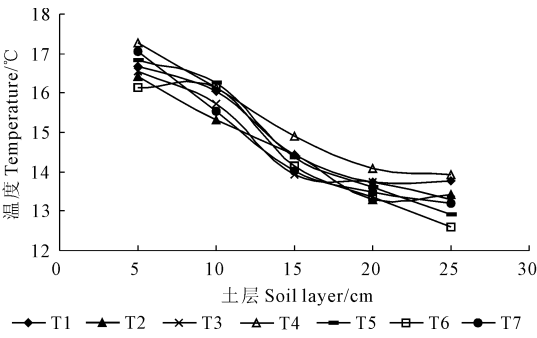
各处理方式间变异系数表现为: 秸秆还田 + 不覆膜 + 播前镇压(50.38%) > CK(49.85%) > 秸秆还田 + 不覆膜 + 播前不镇压(49.34%) > 秸秆还田 + 全膜覆土穴播 + 播前镇压(49%),可见,全膜覆土穴播 + 播前镇压处理可以有效地平抑地温的剧烈变化。

土壤温度的高低变化与大气温度随着季节的不

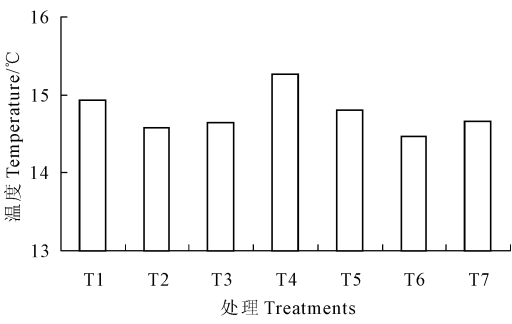
断变化密切相关,由图 2 可看出,总体上来讲,0~25 cm 土体平均温度的变化与大气温度随着季节不断变化的趋势相一致,从秋天播种到进入冬季,各处理的地温都随着气温的降低而降低,春季返青期以后,各处理地温随着大气温度的升高而逐渐升高。

比较全生育期各土层温度(图 3a),全生育期各土层温度一致表现为:上层 > 下层,即 5 cm > 10 cm > 15 cm > 20 cm > 25 cm;其中 5 cm 土层较 CK 表现为降温效应,平均较 CK 低 0.39℃,这主要是由于 CK 处理在作物茎叶遮光度上小于其它处理,土壤表面接受日光辐射更多导致土壤表层温度要高于其它处理;10~25 cm 各土层较 CK 表现为增温效应,平均较 CK 高 0.42℃、0.34℃、0.14℃、0.12℃。各处理方式间比较,秸秆还田 + 全膜覆土穴播 + 播前镇压处理(T1、T4)各土层温度普遍高于 CK,平均较 CK 高 0.28℃和 0.61℃。

比较全生育期 0~25 cm 土体均温差异(图 3b),处理间以小麦秸秆还田 + 全膜覆土 + 播前镇压(T4)增温最为明显,平均高出 CK 0.61℃,各处理依次为 T4(15.26℃) > T1(14.94℃) > T5(14.80℃) > CK(14.66℃) > T3(14.64℃) > T2(14.57℃) > T6(14.47℃)。平均来讲,各处理的增温效果表现为:小麦秸秆还田处理(14.86℃) > 玉米秸秆还田(14.72℃) > CK(14.66℃)。



(a) 不同处理各土层土壤平均温度变化
Change of mean soil temperature of different soil layer under different mulching treatments



(b) 不同处理 0~25 cm 土壤平均温度变化
Change of mean soil temperature at 0~25 cm under different mulching treatments

图 3 不同处理全生育期温度的变化

Fig. 3 Change of soil temperature at the whole growth period under different treatments

2.2 不同处理土壤温度的日变化差异

如图 4,各处理的土壤温度的日变化特点相似:早晨土层温度表现为上层 < 下层,中午和傍晚表现为上层 > 下层;各处理温度变化趋势基本一致,早晨和中午各处理在各土层基本都大于 CK,傍晚各处理在各土层则表现为小于 CK,可见秸秆还田处理在早晨和中午表现为增温效应,在傍晚则表现为降温效应;中午秸秆还田各处理在 5 cm 土层表现为降温效

应,平均较 CK 低 0.48℃,在 10、15、20、25 cm 土层表现为增温效应,可见秸秆还田处理在 0~5 cm 土层的降温效应小于 10~25 cm 的增温效应。

各处理比较发现,秸秆还田与 CK 差值以早晨最大(0.57℃)、中午次之(0.09℃)、傍晚最小(-0.27℃),由此可见,秸秆还田的增温效应早晨 > 中午 > 傍晚;玉米秸秆还田在早晨、中午、傍晚与 CK 差值依次为 0.63℃、-0.07℃、-0.38℃,平均高出

0.18℃,小麦秸秆还田在早晨、中午、傍晚与 CK 差值依次为 0.52℃、0.25℃、- 0.15℃,平均高出 CK 0.62℃,由此可见,玉米秸秆在早晨的增温效应要大于小麦秸秆,而在中午和傍晚的降温效应要大于小麦秸秆,总体上小麦秸秆的增温效应要大于玉米秸秆的增温效应。

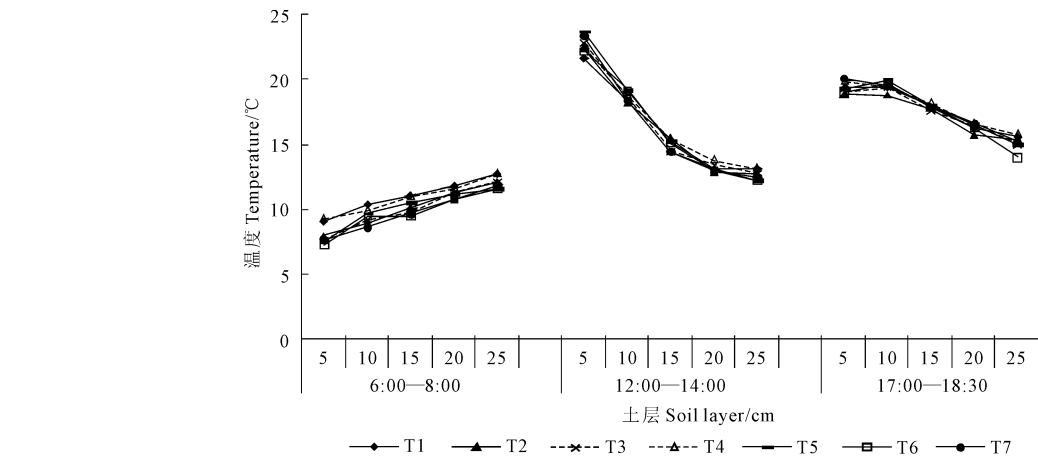


图 4 全生育期不同土层温度日变化/℃

Fig.4 Diurnal changes of soil temperature(℃) at different soil layers during the whole growth stage

2.3 不同秸秆还田处理对冬小麦产量的影响

比较各处理下的冬小麦产量(表 1),各秸秆还田处理总体上表现为增产效应。方差分析结果表明,T1、T4 处理与 CK 差异显著,T2、T3、T5、T6 与 CK 差异不显著。各处理的增产效果依次为:玉米秸秆还田 + 播前镇压 + 全膜覆土 (T1) (253.34 kg·667m⁻²) > 小麦秸秆还田 + 播前镇压 + 全膜覆土 (T4) (217.07 kg·667m⁻²) > 玉米秸秆还田 + 不覆膜 + 播前镇压 (T2) (191.38 kg·667m⁻²) > 小麦秸秆还田 + 不覆膜 + 播前镇压 (T5) (178.57 kg·667m⁻²) > 玉米秸秆还田 + 不覆膜 + 播前不镇压 (T3) (169.48 kg·667m⁻²) > 小麦秸秆还田 + 不覆膜 + 播前不镇压 (T6) (164.22kg·667m⁻²) > 露地穴播 (CK) (149.59

各秸秆还田处理间积温效应表现为: T1 (2415.45℃) > T4 (2428.01℃) > T3 (2400.85℃) > T2 (2361.51℃) > CK (2359.15℃) > T5 (2324.46℃) > T6 (2299.61℃),秸秆还田 + 播前镇压 + 全膜覆土处理在全生育期的活动积温最高,平均较 CK 提高2.65%,其它两种处理方式平均较 CK 低 0.69%和 0.38%。

kg·667m⁻²);平均较 CK 增产 69.36%、45.12%、27.94%、19.38%、13.30%、9.79%。由此还可以看出,处理方式对产量的影响要大于还田材料对产量的影响。

还田材料间比较,玉米秸秆还田处理增产效应普遍要大于小麦秸秆还田处理。玉米秸秆较小麦秸秆还田平均增产 16.71%、7.17%、3.20%。这主要是由于同种作物秸秆还田存在化感作用和自毒作用^[13-14],对冬小麦的生长发育带来不良影响所造成的,可以通过控制还田量来缓解其化感作用和自毒作用^[15]。

3 结论与讨论

秸秆还田对土壤温度的影响,既与还田所使用的秸秆材料种类有关,也与各种还田处理方式所影响的水分与热量的交流和平衡有关。本试验研究结果表明:

1) 冬小麦全生育期 0 ~ 25 cm 土层范围内,各处理平均温度依次为:小麦秸秆还田 + 全膜覆土 + 播前镇压 T4 (15.26℃) > 玉米秸秆还田 + 全膜覆土穴播 + 播前镇压 T1 (14.94℃) > 小麦秸秆还田 + 不覆膜 + 播前镇压 T5 (14.80℃) > 露地穴播 CK (14.66℃) > 玉米秸秆还田 + 不覆膜 + 播前不镇压 T3 (14.64℃) > 玉米秸秆还田 + 不覆膜 + 播前镇压

表 1 不同秸秆还田方式对产量及产量要素的影响

Table 1 The effect of straw returning on grain yield and yield component

处理 Treatment	千粒重 1000-seeds weight/g	穗粒数 Grain No. /个	667m ² 穗数 Ear No. per 667m ² /10 ⁴ 个·667m ⁻²	产量 Grain yield (kg·667m ⁻²)
T1	52.81ab	35.63ab	13.48a	253.34a
T2	52.66ab	33.13a	10.98a	191.38bc
T3	52.47ab	34.1ab	9.46a	169.48bc
T4	53.59a	36.75a	11.03a	217.07ab
T5	52.9ab	35.87ab	9.47a	178.57bc
T6	53.39a	34.17ab	9.21a	164.22bc
CK	52.07a	30.6ab	9.29a	149.59c

T2(14.57℃) > 小麦秸秆还田 + 不覆膜 + 播前不镇压 T6(14.47℃)。T4、T1、T5 比 CK 高出 4.09%、1.91%、0.95%，T3、T2、T6 比 CK 低 0.13%、0.61%、1.26%。

2) 各秸秆还田处理间比较, 增温效果表现为: 全膜覆土穴播 + 镇压 > 不覆膜 + 镇压 > 不覆膜 + 不镇压, 三者依次高出 CK 0.44℃、0.05℃、- 0.1℃。分析其原因: 一方面, 镇压使土壤紧密、孔隙度减小、土壤容重增加, 土壤容积热容量增大, 土壤冻结深度变浅, 解冻耗热量减少, 有利于土壤增温; 另一方面, 地膜隔断了土壤与外界的水分交换, 抑制了潜热交换, 减弱外界影响, 地膜及其表面附着的水层对长波反辐射有削弱作用, 使夜间温度下降减缓。地膜与镇压相结合的处理方式使得增温效应更加明显。

3) 还田材料间比较, 小麦秸秆还田的增温效果要大于玉米秸秆还田, 二者日平均土壤温度依次较 CK 高出 0.2℃、0.06℃。究其原因, 一方面, 玉米秸秆表层附有保护层, 其腐解速率要小于小麦秸秆, 腐解过程中释放的热量要少于小麦秸秆还田; 另一方面, 玉米秸秆自身体积大于小麦秸秆, 还田后土壤容重要小于小麦秸秆, 土壤容积热容量要小于小麦秸秆。

4) 相关性分析表明, 产量与 667m² 穗数呈极显著正相关(相关系数为 0.956), 与穗粒数(相关系数为 0.657)和千粒重(相关系数为 0.377)呈不显著正相关, 由此得知 667m² 穗数是影响产量的关键; 而 667m² 穗数又由出苗率与总茎数所决定, 土壤温度又直接影响了冬小麦苗期的出苗率和越冬期的分蘖数, 因此, 土壤温度是影响产量的主要因素。

5) 各秸秆还田处理均能增加冬小麦产量, 其中以玉米秸秆还田 + 播前镇压 + 全膜覆土增产效果最明显, 比 CK 增产 103.75 kg·667m⁻², 增产幅度达 69.36%, 是最适合该地区农业生产的栽培方式; 秸秆还田 + 全膜覆土穴播 + 播前镇压处理方式无论在玉米秸秆还田还是小麦秸秆还田上都取得了良好的增温、增产效果, 应在该地区推广。同时, 镇压处理土壤温度较不镇压处理和 CK 分别高出 1.03%、0.89%; 单位面积产量较不镇压处理和 CK 分别高

出 10.86%、11.54%。冬小麦播前镇压作为一种简单有效的增温增产方式, 也应在该地区得到推广。然而玉米秸秆还田镇压与不镇压的温度效应差异并不明显, 这应该是镇压的力度不够造成镇压的效果不明显所造成的, 应进一步深入研究。

参 考 文 献:

[1] 陈绍兰. 土壤温度对植物生长发育的影响[J]. 农业科技情报, 1990, (2): 12-14.

[2] 冯玉龙, 刘恩举, 孙国斌. 根系温度对植物的影响: I. 根温对植物生长及光合作用的影响[J]. 东北林业大学学报, 1995, 23(3): 63-69.

[3] 冯玉龙, 刘恩举, 孟庆超. 根系温度对植物的影响: II. 根温对植物代谢的影响[J]. 东北林业大学学报, 1995, 23(4): 94-99.

[4] 任志雨, 王秀峰. 根区温度对作物生长和生理代谢的影响综述[J]. 天津农学院学报, 2003, 10(2): 32-36.

[5] 沈积坤, 潘 坤. 地面增温剂在落叶松育苗中的应用[J]. 林业科技, 1987, (3): 16-17.

[6] 王会肖, 土壤温度、水分胁迫和播种深度对玉米种子萌发出苗的影响[J]. 生态农业, 1995, 3(4): 70-74.

[7] Yukiko S B, Takayuki N, Atsushi K, et al. Effect of warming on the temperature depend-ence of soil respiration rate in arctic, temperate and tropical soils[J]. Applied Soil Ecology, 2003, 22: 205-210.

[8] Mark A L, Mahdi A. Strip-tillage effect on seedbed soil temperature and other soil physical properties[J]. Soil & Tillage Research, 2005, 80: 233-249.

[9] 常晓慧, 孔德刚, 井上光弘, 等. 秸秆还田方式对春播期土壤温度的影响[J]. 东北农业大学学报, 2011, 42(5): 117-120.

[10] 张淑香, 吕庭宏, 杨建林, 等. 旱塬农区秸秆还田对土壤理化性质的影响[J]. 土壤肥料, 1999, (4): 15-17.

[11] 刘 爽, 何文清, 严昌荣, 等. 不同耕作措施对旱地农田土壤物理特性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(2): 65-70.

[12] 李新举, 张志国. 秸秆覆盖与秸秆翻压还田效果比较[J]. 国土与自然资源研究, 1999, (1): 43-45.

[13] 李启海. 秸秆还田技术的方式及影响[J]. 资源与环境科学, 2010, 15: 322-323.

[14] 邵庆勤, 何克勤, 张 伟. 小麦秸秆浸提物的化感作用研究[J]. 种子, 2007, 26(4): 11-13.

[15] 郑 丹, 迟凤琴. 秸秆还田在可持续发展中的综合评价[J]. 黑龙江农业科学, 2012, (1): 133-138.

[16] 江广恒, 马荣荣. 南京沿江地区冬季麦田镇压微气象效应的探讨[J]. 气象学报, 1964, 34(1): 111-121.