

不同土壤水分处理对膜上灌春小麦土壤温度的影响

陈丽娟¹, 张新民^{2*}, 王小军³, 成自勇¹, 单鱼洋¹

(1. 甘肃农业大学工学院, 兰州 730070; 2. 甘肃省水利水电科学研究院, 兰州 730000;
3. 广东省水利水电科学研究院, 广州 510610)

摘要: 依据膜上灌春小麦大田试验资料, 研究了地膜覆盖和露地处理不同土壤水分亏缺水平对土壤温度变化特征的影响。结果表明: 不同土壤水分处理对土壤温度的影响差异较大, 覆膜重度水分亏缺处理土壤温度在全生育期始终较高, 日最高土壤温度较露地丰水处理高 9.8℃, 而覆膜丰水、轻度与中度水分亏缺处理日最高土壤温度依次较露地丰水高 6.4℃、4.6℃和 1.7℃; 受不同因素影响, 三叶期和灌浆期各处理间土壤温度差异较大, 日变幅分别在 2.1~11.4℃和 2.4~13.5℃之间; 在不同土层中, 各处理土壤温度变化幅度大致沿深度递减, 0 cm 土壤温度日变幅最大, 为 34.6~40.9℃, 25 cm 处土壤温度日变幅最小, 为 3.0~3.5℃, 0~5 cm 处除覆膜轻度和中度处理之间无显著性差异, 其余各处理均达到极显著差异。试验结果将对膜上灌春小麦土壤温度调控及制定合理的灌溉制度提供理论依据。

关键词: 春小麦; 地膜覆盖; 土壤水分; 土壤温度

中图分类号: S152.8

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2008)-4-0009-05

陈丽娟, 张新民, 王小军, 等. 不同土壤水分处理对膜上灌春小麦土壤温度的影响[J]. 农业工程学报, 2008, 24(4): 9-13.

Chen Lijuan, Zhang Xinmin, Wang Xiaojun, et al. Effect of different soil moisture treatments on soil temperature of plastic film mulched spring wheat [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(4): 9-13.(in Chinese with English abstract)

0 引言

水、热因子是水文学、气象学以及农业科学等研究的重要参评因子, 作为影响作物生长的两大重要因素, 其对作物不同的影响机制一直是农艺学家和节水专家们研究的重点。自 20 世纪 80 年代以来, 国内外学者对作物水分胁迫后复水出现的生长和光合作用的补偿效应做了大量的研究工作^[1-6], 90 年代陆续出现将有限灌溉原理与覆膜栽培技术相结合的研究。如张振华, 蔡焕杰^[7]就不同生育期内不同程度的水分亏缺对覆膜玉米生长发育、光合作用、产量及水分利用效率等的影响进行了研究。马忠明^[8]研究了有限灌溉条件下穴播地膜小麦的产量变化、根系分布、群体动态等, 认为地膜覆盖有效减缓了水分胁迫对产量的影响。杨锦忠^[9]等研究了在高水肥条件下覆膜、揭膜、露地玉米对土壤温度的影响, 李毅^[10]则将覆膜与不覆膜地温进行对比, 分析了种植季节地温特征的变化规律。上述研究重在对覆膜栽培土壤水分或温度的单方面分析, 而对膜上灌溉条件下土壤水分亏缺对

土壤热状况及温度的影响很少有较深入的研究。本文在对不同水分处理条件下春小麦膜上灌和露地灌溉田间试验的基础上, 对土壤温度变化特征进行研究, 探讨了不同水分亏缺水平对土壤温度的影响, 研究结果对于膜上灌春小麦灌溉制度的制定及技术的完善具有指导作用。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2005 年 3~8 月在张掖市大满灌区的甘肃农业大学试验基地进行。张掖市位于河西走廊中部, 东经 100°27', 北纬 38°56', 海拔 1570 m。境内地势平坦, 沙漠、绿洲、戈壁相间, 是一个具有多种生态、生产类型和鲜明特色的内陆封闭灌溉农业区^[11]。张掖市属典型的大陆性干旱气候, 区内光热资源丰富, 但降水稀少, 蒸发量大。全年日照时数 2932~3085 h, 昼夜温差 13.0~16.0℃, $\geq 0^\circ\text{C}$ 的有效积温为 3388℃, 年平均降雨量为 129 mm, 年平均蒸发量 2291 mm。气候干旱和水资源缺乏是当地农业生产的主要制约因素, 发展节水农业具有极其重要的意义^[12]。试验区土壤为荒漠土, 0~60 cm 土壤剖面物理和化学性状见表 1。

1.2 试验设计

试验作物品种为当地春小麦主栽培品种掖春 94-1。试验小区按随机区组设计, 采用露地 (B) 和覆膜穴播 (FM) 两种种植形式, 试验设 4 个水分控制水平 (以土壤水分控制下限占田间持水量 θ_f 的百分数计), 即丰水 F

收稿日期: 2007-04-17 修订日期: 2007-12-15

基金项目: 国家高科技农业“863”计划, 北方干旱内陆河灌区(甘肃张掖)节水农业综合技术体系集成与示范(2002AA6Z3191)

作者简介: 陈丽娟(1982-), 女, 甘肃天水人。兰州 甘肃农业大学工学院, 730070。Email: chenlj2001@126.com

*通讯作者: 张新民, 男, 高级工程师, 硕士生导师, 主要从事旱区水资源利用与管理的研究。兰州 甘肃省水利水电科学研究院, 730000。

Email: xmzhgs@yahoo.com.cn

(65%~70% θ_f)、轻度胁迫 L (60%~65% θ_f)、中度胁迫 M (50%~60% θ_f)、重度胁迫 S (45%~50% θ_f)，试验共设置 6 个处理，其中露地 2 个，丰水和中度水分胁迫处理 (结合当地自然和生产实际，对露地方式下不再设轻

度和重度水分胁迫处理)；覆膜种植 4 个，丰水、轻度、中度和重度水分胁迫处理，各处理的种植形式、土壤水分亏缺水平等因素见表 2。

表 1 供试土壤理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of experimental soil

容重 /g·cm ⁻³	密度 /g·cm ⁻³	总孔隙度 /%	田间持水量 /%	有机质 /%	全氮 /%	碱解性氮 /mg·kg ⁻¹	全磷 /%	全钾 /%	速效钾 /mg·kg ⁻¹	pH 值
1.37	2.65	50.72	22.07	1.44	0.095	87.5	25.8	1.39	143	8.52

表 2 试验处理

Table 2 Experimental treatments

处 理	F (B)	M (B)	F (FM)	M (FM)	L (FM)	S (FM)
种植方式	B	B	FM	FM	FM	FM
土壤水分	F	M	F	M	L	S
灌溉方式	常规地面灌	常规地面灌	膜上灌	膜上灌	膜上灌	膜上灌

1.3 试验观测

试验区的降雨量、气温等气象资料从当地气象部门获得，主要观测内容有土壤水分、土壤温度、灌水量等。其中土壤水分观测采用取样称重法，观测深度 120 cm，采用不定期观测，灌溉时间依据 0~120 cm 土层土壤水分降低程度进行控制，当水分控制限低于设计水平时进行灌水。土壤温度观测采用曲管式温度计，按小区定点定时测定，自播种之日起每天在 8:00、14:00、20:00 时定时观测记录，测定深度分 0、5、10、15、20、25 cm 6 个层次，日均土壤温度为每日 3 次观测值与次日 8:00 观测值的平均值。试验区灌溉水采用水表计量。

采用 DPS 和 EXCLE 统计分析软件进行数据分析。

2 不同水分处理对膜上灌春小麦土壤温度时间变化的影响

2.1 对 5 cm 处土壤温度日变化的影响

地膜覆盖增产的一个重要原因是提高了土壤温度，特别是在生育前期能显著增加 0~5 cm 土层的温度^[13, 14]，因此，掌握土壤温度的日变化规律对于调节土壤温度、精确确定灌溉时间，为作物生长创造一个适宜的土壤温度环境是很有必要的。

膜上灌条件下不同土壤水分处理土壤温度的日变化规律与露地处理相同，从日出开始，随太阳辐射的不断增强，各层土壤逐层增温，图 1 为 4 月 27 日地表 5 cm 处不同水分状况下土壤温度变化过程，可以看出，一日内表层 5 cm 处土壤温度在 9:00~15:00 处于明显的升温阶段，在 15:00 达到最大值，之后则缓慢下降，直到晚上 20:00 各层仍保持较高温度。

土壤含水率的变化是影响土壤温度状况的主要因素，通常当土壤含水率较高时土壤温度相应较低，土壤含水率和土壤温度呈极显著的负相关关系。膜上灌条件

下不同水分处理土壤温度的变化受地膜覆盖和水分的双重影响，从图 1 可以看出，不同水分梯度下土壤温度按照处理 S (FM)、F (FM)、L (FM)、M (FM)、M (B)、F (B) 依次递减，S (FM) 有明显的增温效果 (日最高土壤温度 39.1℃，比露地丰水高 9.8℃)，F (FM)、L (FM) 和 M (FM) 处理日最高温度较 F (B) 处理依次高出 6.4℃、4.6℃和 1.7℃。S (FM) 水分亏缺处理土壤温度较高是因为土壤含水率过低，始终处于干燥状态，土壤热容量小，日间受外界温度的影响升温速度快，土壤温度也较高。同样到了晚上和清晨随着气温的降低降温速度也比较快，在早晨 6:00 覆膜重度水分亏缺处理土壤温度最低，较露地丰水处理低 1.2℃。

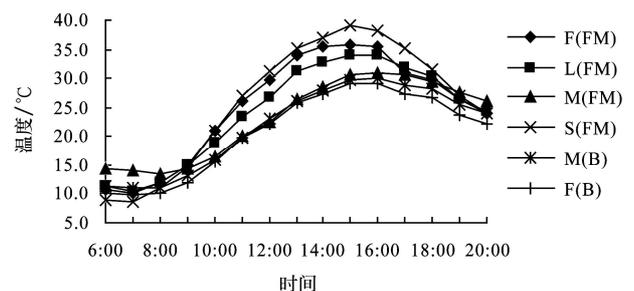


图 1 不同水分处理 5 cm 处土壤温度日变化

Fig.1 Changes of daily soil temperature at 5 cm depth under different treatments

相对而言，对于露地种植不同水分条件下，露地中度水分亏缺处理土壤温度在全天各个时刻均高于露地丰水处理，就生育期内全天平均土壤温度而言，中度水分胁迫处理比丰水处理高 2.35℃。这表明，对露地小麦施加一定的水分胁迫不仅可以节约水量还能增加土壤温度，促进小麦生长，但膜上灌条件下水分亏缺到重度水平时对作物的生长的不利影响远大于同水平露地处理，因此，应根据实际情况制定合理的灌溉制度，为作物生

长创造良好的条件。

2.2 对各生育期土壤温度的影响

在作物的不同生育阶段内, 因受作物覆盖度、日照时间及气温等因素的影响, 膜上灌条件下各水分处理对土壤温度的影响差异较大。

图2为各生育期实测5 cm处不同处理土壤温度的日变化过程。分析发现, 三叶期的土壤温度变化较其他生育期显著, 各处理间日温差变幅在2.1~11.4℃之间, 同一水分梯度下一日内覆膜各处理的土壤温度在各时刻均高于露地处理, 全天平均土壤温度F(FM)处理比F(B)处理高4.5℃, M(FM)处理比M(B)处理高3.1℃, 地膜覆盖下土壤温度的上升速率亦明显快于露地土壤温度的上升速率, 地膜覆盖成为影响该生育期土壤温度变化的主要因素。随着生育期的推进, 各处理土壤温度的日变幅减小, 各处理间的差异也逐渐趋同, 孕穗期是全生育期各处理间温差最小的时期, 一日内处理间温差变幅在2.1~4.6℃之间, 其变化主要与地表的植被覆盖度差异不大有关。灌浆期各处理间差异增大, 各时刻各处理

间温差变幅在2.4~13.5℃之间, 全天平均土壤温度F(FM)处理比F(B)处理高1.9℃, M(FM)处理比M(B)处理高1.7℃, 而尤其以S(FM)处理的土壤温度变化最大, 日变幅为28.6℃, 与其他各处理达到极显著差异, 不同土壤水分使得各处理间的生长状况有了很大的差异, 水分是影响该生育期土壤温度变化的最主要因素。成熟期除了F(B)处理土壤温度明显低于其他处理外, 其他处理间差异不大, 主要是该处理生育期较晚, 水分较好, 叶面指数远高于其他处理, 而M(FM)处理则由于水分不足导致提前成熟, 与覆膜各处理土壤温度达不到显著性差异, 春小麦成熟期叶面积指数是影响土壤温度的主要因素。

地膜覆盖在生育前期的增温作用可促进早期小麦的生长发育, 具有一定的防寒抗冻等作用, 使小麦高产早熟。通过对小麦生育进程观测表明(同露地小麦相比), 覆膜小麦出苗时间提前3~5 d, 并且苗齐苗壮, 为丰产打下了良好的基础。

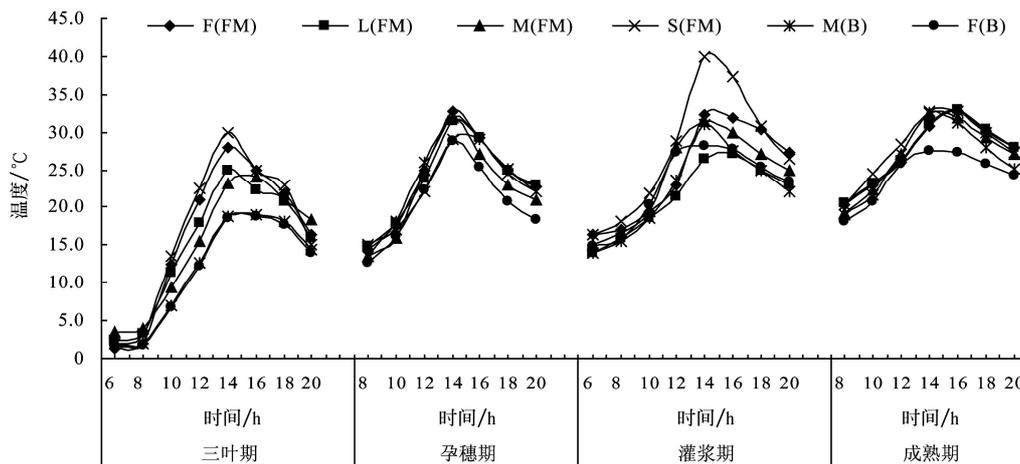


图2 春小麦各生育期不同水分处理5 cm处土壤温度日变化

Fig.2 Changes of daily soil temperature at 5 cm depth under different treatments in the whole stages of spring wheat

3 不同水分处理对膜上灌春小麦土壤温度垂向变化的影响

3.1 覆膜单因子对土壤温度垂向变化的影响

试验表明, 地膜覆盖各处理不同深度土壤温度从0:00~6:00呈现降低趋势, 在6:00~8:00最低; 9:00~22:00土壤层处于升温过程, 但各深度升温不同步^[15]。以4月19日覆膜丰水和露地丰水处理为例, 各深度土壤温度的变化过程见图3、图4。无论是覆膜处理还是露地处理, 土壤温度的变化幅度均沿深度递减, 0 cm温度直接受辐射和气温变化的影响, 其土壤温度日变幅最大, 分别为40.9℃和34.6℃, 25 cm土壤温度日变幅最小, 为3.5℃和3.0℃。随着土层的加深, 土壤温度到达最高值的时间也相应后移(表3)。0~25 cm深度, 土层覆膜丰水

处理土壤的最高温度分别出现在13:00、14:00、15:00、17:00、18:00和19:00, 这说明随着土层深度的增加, 土壤温度缓慢向底层传递的过程中对太阳辐射的滞后性逐渐变大, 深度每增加5 cm最高温度出现时间依次滞后1 h左右。而同一水分条件下地膜覆盖各深度的最高温度出现时刻比露地处理相对滞后, 露地处理从表层发生在13:00延至25 cm处的20:00, 依次较覆膜处理提前1 h, 最低温度出现的时刻相差不大, 各层均发生在6:00~7:00之间。

地膜覆盖对土壤各层的增温作用明显大于露地各层, 0~25 cm各层土壤最高温度覆膜丰水处理比露地丰水处理分别高出9.9℃、8.6℃、3.8℃、1.6℃、1.6℃、1.7℃, 可见地膜覆盖的增温效果在0~10 cm土层内最为明显, 当深度大于10 cm时, 其增温效果大大降低, 说明地膜

覆盖对土壤温度的影响深度主要在 0~5 cm 和 5~10 cm 两层, 据此可将地膜覆盖的增温作用分为 3 层: 0~10 cm 为易变层, 10~15 cm 为过渡层, 15~25 cm 及以下的基本稳定层。

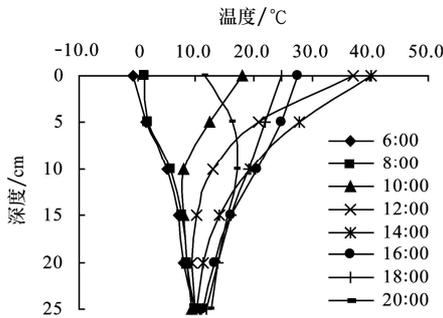


图3 覆膜丰水处理土壤温度沿深度的日变化

Fig.3 Changes of daily soil temperature for mulched field under the well-watering treatment

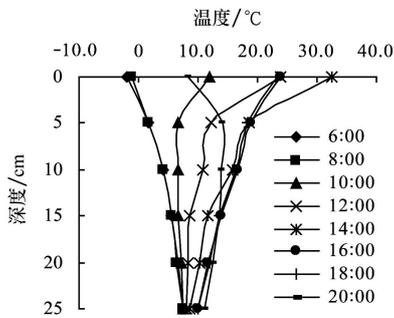


图4 露地丰水处理土壤温度沿深度的日变化

Fig.4 Changes of daily soil temperature for non-mulched field under the well-watering treatment

表3 覆膜与露地丰水处理不同深度最高温度出现时刻
Table 3 Time of maximum temperature for mulched and non-mulched treatments at different depths

深度/cm	处理	最高温度/°C	出现时刻
0	F(FM)	42.92	13:00
	F(B)	33.02	13:00
5	F(FM)	27.87	14:00
	F(B)	19.27	15:00
10	F(FM)	20.57	15:00
	F(B)	16.77	16:00
15	F(FM)	16.27	17:00
	F(B)	14.67	17:00
20	F(FM)	13.87	18:00
	F(B)	12.52	19:00
25	F(FM)	12.77	19:00
	F(B)	11.07	20:00

3.2 覆膜与土壤水分双重因子对土壤温度垂向变化的影响

以 4 月 27 日数据为例, 覆膜条件下不同水分处理日平均土壤温度随深度的变化规律见图 5。覆膜条件下不同水分处理日平均土壤温度随深度的变化规律与露地日变

化规律基本相同, 总体沿深度递减, 各处理土壤温度按照 S (FM)、F (FM)、L (FM)、M (FM)、F (B) 依次递减, F (B) 处理在各层都显著小于覆膜各处理, 达到显著性差异 (见表 4)。同一水分条件下 F (FM) 在各深度处比 F (B) 分别增加了 6.1°C、4.5°C、2.5°C、1.9°C、1.1°C、1.8°C, 覆膜各水分梯度间, 不同深度处 F (FM) 与 L (FM)、M (FM) 差值在 -1.2~3.9°C 之间。说明覆膜对土壤温度各层的传导起决定作用, 其次为水分含量高低的影响。

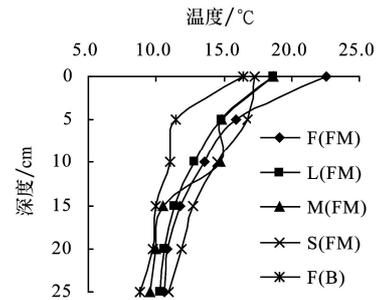


图5 不同土壤水分处理日平均土壤温度沿深度变化

Fig.5 Changes of daily mean temperatures of each treatment at different depth

各处理土壤温度在深度上的变化以 5 cm 或 10 cm 为转折点, 大于此深度, 土壤温度变化表现不明显。这主要与不同水分处理的热传导梯度有关, 通过对不同处理各深度土层土壤温度进行方差分析 (见表 4), 0 和 5 cm 处覆膜轻度和中度处理之间无显著性差异, 其余各处理均达到极显著性差异; 10 cm 处中度和重度之间无显著性差异, 15 cm 和 20 cm 处丰水和轻度之间无显著性差异, 而 25 cm 处丰水、轻度和重度之间均无显著性差异。说明覆膜与土壤水分双重因子对土壤温度的影响主要表现在 0~10 cm 土层, 15 cm 以下以水分因子起主导作用。

表4 膜上灌不同水分处理不同深度平均土壤温度比较

处理	0	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm
F(FM)	22.6 ^{aA}	15.9 ^{bB}	13.5 ^{bB}	11.8 ^{bB}	10.8 ^{bB}	10.6 ^{abA}
L(FM)	18.7 ^{bB}	14.9 ^{cC}	12.9 ^{cB}	11.4 ^{bB}	10.7 ^{bB}	10.3 ^{bA}
M(FM)	18.7 ^{bB}	14.9 ^{cC}	14.7 ^{aA}	10.5 ^{cC}	10 ^{cC}	9.5 ^{cB}
S(FM)	14.1 ^{dD}	16.8 ^{aA}	14.6 ^{aA}	12.7 ^{aA}	11.9 ^{aA}	10.9 ^{aA}
F(B)	16.4 ^{cC}	11.5 ^{dD}	11.1 ^{dC}	9.9 ^{dC}	9.8 ^{cC}	8.8 ^{dC}

4 结论

1) 膜上灌条件下不同水分处理土壤温度的变化受地膜和水分亏缺的双重影响, 各试验处理中 S (FM) 有明显的增温效果, 日最高土壤温度达 39.1°C, 比 F (B) 处理高 9.8°C, F (FM)、L (FM) 和 M (FM) 处理日最高温度较 F (B) 处理高 1.7~6.4°C。

2) 各生育期受不同因素的影响, 土壤温度变化差异

较大, 三叶期和灌浆期, 各处理间土壤温度差异较大, 分别在 2.1~11.4℃和 2.4~13.5℃之间, 其他两个生育期土壤温度差异较小, 分别为 2.1~4.6℃和 2.5~5.7℃之间。这说明膜上灌条件下不同土壤水分处理有明显的保温节水效果, 能促进小麦的生长和产量的提高, 只要严格控制使灌浆期不出现重度水分亏缺, 不会对小麦产量造成不利影响, 可以根据实际情况对各生育期土壤温度进行调节以满足作物生长需要。

3) 覆膜与土壤水分双重因子对土壤温度的影响主要表现在 0~10 cm 土层, 15 cm 以下以水分因子起主导作用。

[参 考 文 献]

- [1] 康绍忠, 张建华. 不同土壤水分和温度条件下土根系统中水分传导的变化极其相对重要性[J]. 农业工程学报, 1997, 13 (2): 76—81.
- [2] 马爱生, 刘思春, 高亚军. 旱作农业区土壤水分保蓄状态及其能量特征[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 11 (6): 155—157.
- [3] 付国占, 李潮海, 王俊忠. 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.
- [4] 康绍忠, 史文娟, 胡笑涛. 调亏灌溉对于玉米生理指标及水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 1998, 14 (4): 82—87.
- [5] Li F M, Guo A H, Wei H. Effect of clear plastic film mulch on yield of spring wheat[J]. *Field Crops Res*, 1999, (63): 79—86.
- [6] Ravi V, Lourduraj A C. Comparative performance of plastic mulching on soil moisture content, soil temperature and yield of rain field cotton[J]. *Madras Agric J*, 1996, (83): 709—711.
- [7] 张振华, 蔡焕杰. 水分亏缺对覆膜玉米生长发育及产量的影响[J]. 灌溉排水, 2001, 20 (2): 13—16.
- [8] 马忠明. 穴播地膜小麦有限灌溉的产量效应及其影响机制[J]. 干旱地区农业研究, 1999, 17 (1): 67—71.
- [9] 杨锦忠, 郝建平, 赵彦宏. 高水肥地覆膜玉米温度效应研究[J]. 山西农业大学学报, 1997, 17 (4): 322—324.
- [10] 李 毅, 王文焰, 潘 渝. 覆膜与不覆膜条件下地温场特性研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16 (5): 121—123.
- [11] 钟玉秀, 刘洪先, 杨 柠, 等. 张掖市节水型社会建设试点的经验和启示[J]. 水利发展研究, 2003, (7): 45—49.
- [12] 王小军, 成自勇, 张自和. 调亏对膜上灌春小麦生长特性及产量效应的研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20 (3): 192—196.
- [13] 张 伟, 汪 春, 梁 远. 残茬覆盖对寒地旱作区土壤温度的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 5 (5): 70—73.
- [14] 王树森, 邓根之. 地膜覆盖增温机制研究[J]. 中国农业科学, 1991, 24 (3): 74—78.
- [15] 李 毅. 覆膜条件下土壤水、盐、热耦合迁移试验研究: [D]. 西安: 西安理工大学, 2002, 25—44.

Effect of different soil moisture treatments on soil temperature of plastic film mulched spring wheat

Chen Lijuan¹, Zhang Xinmin^{2*}, Wang Xiaojun³, Cheng Ziyong¹, Shan Yuyang¹

(1. Engineering College, Gansu Agricultural University, Lanzhou, 730070, China; 2. Gansu Research Institute of Water Resources and Hydropower, Lanzhou, 730000, China; 3. Guangdong Research Institute of Water Resources and Hydropower, Guangzhou, 510610, China)

Abstract: Effects of soil moisture under different treatments on the changes of soil temperature were analyzed according to the field experiment of plastic film mulched and non-mulched spring wheat. The results show that the difference of soil temperature among different soil moisture treatments is remarkable. Soil temperature under severe water deficit treatment is higher than that under other water deficit treatments in the whole growth stage of spring wheat, and the daily maximum temperature is 9.8℃ higher than that under the well-watering treatments on non-mulched field. And the daily maximum soil temperature under the well-watering treatment, the light water deficit treatment and the medium water deficit treatment on plastic film mulched wheat is 6.4℃, 4.6℃ and 1.7℃ higher than that under the well-watering treatments, respectively. Influenced by the different factors, there is a remarkable difference of soil temperature during the trefoil stage and filling stage, which the range of daily soil temperature varies from 2.1℃ to 11.4℃, and from 2.4℃ to 13.5℃, respectively. The variation of daily soil temperature decreases from the top (34.6—40.9℃) to 25cm depth (3.0—3.5℃). There is no significant difference under the light water deficit and the medium water deficit treatment on plastic film mulched wheat at the depth of 0—5cm from the top. There is extremely significant difference among other treatments. The research results provides a theory basis for regulating soil temperature of plastic film mulched spring wheat and establishing irrigation schedule.

Key words: spring wheat; film mulch; soil moisture; soil temperature