

冬灌对农牧交错带人工草地越冬期土壤水热状况的影响

李子忠,王皓

(中国农业大学资源与环境学院,北京 100193)

摘要:通过2005~2007年2个越冬期的田间试验,利用烘干法和时域反射仪测定的土壤总含水量和液态含水量,土壤温度探头测定土壤温度,结合气象资料,分析了处于华北农牧交错带的坝上地区冬灌对越冬期土壤水热动态状况的影响机制,进一步分析了冬灌对土壤水热状况的作用。结果表明,冬灌使土壤入冬时冻结较慢,入春时融化也较慢;冬灌可以缓冲土壤温度的剧烈变化,入冬时使土壤温度降低较慢,入春时使土壤温度的升高也较慢,显著提高表层土壤在入冬和越冬期的温度,有利于牧草的越冬;整个越冬期各处理的土壤总贮水量变化微弱,冬灌的土壤剖面水分优势可以持续到第二年作物返青。

关键词:冬灌;越冬期;土壤水热状况;坝上地区

中图分类号: S152.7;S152.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)04-0007-07

河北坝上农牧交错带地处内蒙古高原的南缘,多年生老芒麦是当地的主要栽培牧草之一^[1]。但是,当地气候条件恶劣,冬季漫长,极端温度在-30℃以下。据作者观测,土壤从10月中旬开始冻结,到第二年5月上旬1m以下还存在冻层。另外,该地区属于半干旱气候区,降水较少,且降水的季节分布非常不均衡,1~6月份降水很少,7~9月份的降水占全年降水量的60%以上。因此,低温对多年生牧草造成的冻害^[2,3]和春季干旱造成的牧草缺水是导致当地牧草低产的关键因素^[3],也是困扰当地畜牧业发展的主要障碍。

近年来,为解决牧草春季干旱问题,许多学者研究了生长季补充灌溉对老芒麦生长发育的影响^[4-6],而对于冬灌措施对老芒麦人工草地水分和热量状况的影响,则少有研究。李英年分析了高寒草甸地区冷季降水和土壤水分资源分布特征及其对牧草产量的可能影响,认为冷季9月~翌年4月各月及多年平均降水量与年牧草产量普遍存在正相关性^[7]。第一年夏天充足的田间水分状况会促进第二年春天苜蓿的快速再生^[8]。冬季良好的土壤水分状况对于多年生牧草的生长发育具有促进作用^[9,10],其原因可能是冬前好的土壤水分条件有利于改善牧草越冬的温度条件和次年春天的水分条件,从而为冬灌措施的采用提供了可能。在农作物上的许多研

究也表明,冬灌能减轻冻害,为作物提供良好的土壤水分条件和温度条件,目前已经成为北方类似小麦等越冬农作物和类似春小麦等春播作物的常规水分管理措施^[11-13]。尚松浩等研究了冬灌对整个越冬期冬小麦水热状况的影响,并建立了越冬期土壤冻融条件下土壤—大气连续体的水热传输模型,模拟了北京地区冬灌对越冬期土壤水分状况的影响,从理论上得到了冬灌具有贮水和保持土壤水分作用的结论^[14,15]。Lauriault研究了冬灌对美国西南部高平原地区高冰草产量的影响,表明冬灌可以提高牧草产量^[9,10]。但是,冬灌措施在类似坝上的高寒地区的农牧业生产中极少应用^[2],并且当前研究还不能回答“是否可以通过冬灌改变土壤的热特性,改善土壤的温度条件从而利于牧草越冬?是否可以通过冬灌增加土壤水分并保持到第二年春季供牧草利用以提高产量?”的问题。因此,为了定量研究冬灌对越冬期土壤水热状况的作用,本试验研究了冬灌条件下越冬期老芒麦人工草地土壤的水热动态变化规律,期望为该地区多年生牧草的越冬和水分管理提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区自然概况

试验于2005~2007年在农牧交错带典型地段

收稿日期:2009-11-12

基金项目:国家自然科学基金项目(30100128和30471228);国家科技部科技支撑项目(2006BAD16B01)

作者简介:李子忠(1972-),男,山东平原人,副教授,硕士生导师,主要从事农业水土资源利用和土壤物理学的研究。E-mail: zizhong@cau.edu.cn.

——河北省草地生态系统国家野外科学观测研究站进行。试验区地处丰宁县西北部的坝上高原,东经 $116^{\circ}11'$,北纬 $41^{\circ}45'$,海拔 1460 m。属于半干旱大陆季风气候带,年均气温 1°C ,1 月份平均气温 -18.6°C ,7 月份平均气温 17.6°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 1 600

$\sim 2\ 200^{\circ}\text{C}$,无霜期 85 d。年平均降水量在 300~400 mm,主要集中在 6~9 月。年平均蒸发量 1 735.7 mm,年日照时数 2 930.9 h。主要土壤类型为栗钙土,土壤质地为砂质壤土。试验地土壤的基本理化性质见表 1。试验期间的气温及降水情况列于图 1。

表 1 供试土壤基本理化性质

Table 1 Primary soil properties of experimental site

| 土层 Soil depth (cm) | 容重 Bulk density (g/cm^3) | 有机质 Organic matter (g/kg) | pH | 电导率 Electrical conductivity (mS/cm) | 田间持水量 Field capacity (m^3/m^3) | 凋萎含水量 Wilting point (m^3/m^3) |
|--------------------------|--|---|------|---|--|---|
| 0~15 | 1.40 | 28.94 | 8.20 | 0.15 | 0.268 | 0.088 |
| 15~30 | 1.49 | 25.07 | 8.32 | 0.15 | 0.275 | 0.087 |
| 30~45 | 1.63 | 16.89 | 8.42 | 0.15 | 0.184 | 0.044 |
| 45~60 | 1.59 | 6.67 | 8.48 | 0.14 | 0.162 | 0.062 |

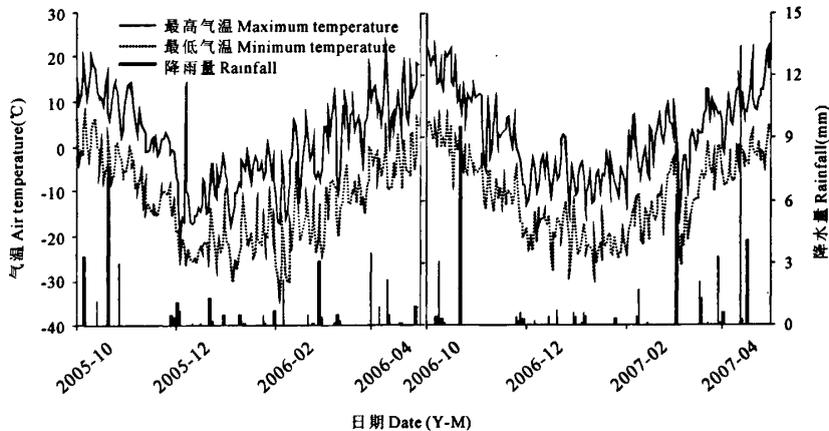


图 1 试验地点越冬期气温及降水情况

Fig. 1 Air temperature and rainfall in winter at the experimental site

1.2 试验材料与处理

试验地种植作物为多年生老芒麦,试验设置两个水分处理:

(1) 冬前灌溉处理(W1),即在土壤冻结前,一次性灌溉到 0~60 cm 土层的田间持水量,2005、2006 年的灌水量分别为 44 mm 和 75 mm。

(2) 对照处理(W2),即不灌溉处理。

试验小区大小为 20 m × 8 m,每两个小区间隔 1.5 m 作为保护行,每个处理设置 2 个重复。试验灌溉设备采用微型喷灌系统,用水表确定灌水量。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤总含水量的测定 在越冬期,利用特制的土钻在越冬期分 4 次采集 0~15,15~30,30~45,45~60 cm 处的土壤样品,然后用烘干法测定土壤的质量含水量,再通过容重换算为土壤体积含水量。

1.3.2 土壤液态含水量的测定 利用时域反射仪系统(美国 Campbell Scientific Inc.生产的 TDR100 及

CS605 型三针式探针,长 15 cm,间距 2.25 cm,直径 0.476 cm)及软件(PCTDR & WinTDR)测定 7.5、22.5、37.5、52.5、62.5 cm 处的土壤液态含水量。土壤未冻结时,时域反射仪的测定值即为总的体积含水量,3~5 d 测定 1 次。

1.3.3 土壤温度的测定 利用温度传感器(ESS-T1)测定 2.5、7.5、22.5、37.5、52.5、62.5 cm 深处的土壤温度,上午 9:00 测定,每 3 天测定 1 次。

1.3.4 冻结深度的测定 利用安装在各处理内的冻土管(深度 150 cm)测定土壤的冻结深度,每 3 天测定 1 次。

2 结果与分析

2.1 越冬期土壤冻结深度的变化

由于当地气候条件比较恶劣,气温较低,在坝上地区,每年的 12 月底或第二年 1 月初,土壤的冻结深度达到 150 cm,并一直持续到 4 月初,之后表层土

壤开始融化,全部土层融化的时间约30 d左右,一般在5月初150 cm土层全部融化(图2)。进行冬灌的处理,其入冬时土壤冻结速度较慢,同期冻结深度小于非冬灌处理;而在春季融化时,冬灌处理冻结土

壤的融化速度也较慢,导致同期冬灌处理的融化深度小于非冬灌处理。冻结土壤的蒸散较小,利于水分的保持,可为春季作物的返青和生长提供保证。

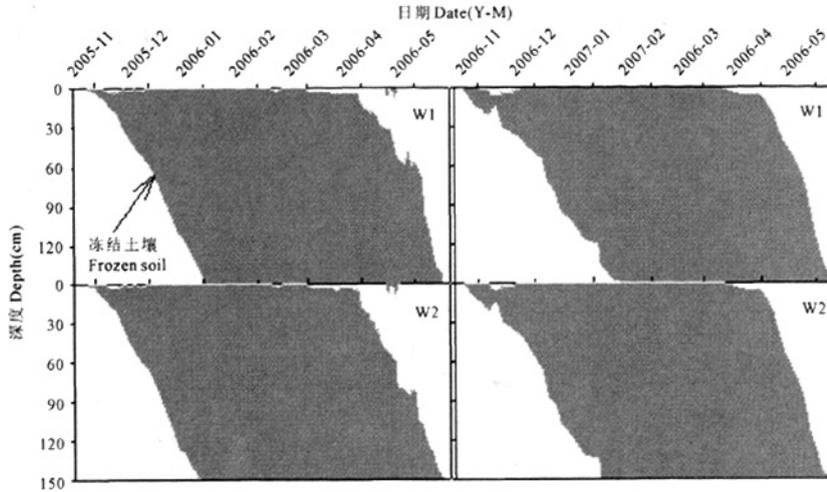


图2 越冬期土壤冻结深度的动态变化

Fig. 2 Seasonal change of frost depth in winter

2.2 越冬期土壤热量状况

不同深度的土壤温度呈现一致的季节变化规律(图3)。表层温度受气候条件的影响波动较大,深层土壤的波动幅度较小。入冬时,土壤由表层向底层逐渐降温,上层温度低于下层,一般在1月份达到土壤温度的最低值,2005~2006年越冬期在 -14°C 左右,2006~2007年越冬期在 -16°C 左右,60 cm深度的土壤最低温度一般在 -10°C 以上。进入春季以后,表层土壤温度的上升较快,越往土壤深处,其温度的上升越慢,一般在每年的3月中旬左右土壤各层的温度达到平衡,之后随气温的不断升高,表层温度迅速升高并高于土壤底层。

入冬时(10~11月份)冬灌处理具有一定的保温作用,非冬灌处理的温度降低较快,同时期冬灌处理的表层0~15 cm土层土壤温度高于非冬灌处理0~3 $^{\circ}\text{C}$,随着深度增加,该效应减弱。在越冬期(当年12月~次年3月),冬灌使表层0~15 cm土层温度高于非冬灌处理,而下层土壤则为冬灌处理的土温比非冬灌处理低0~2 $^{\circ}\text{C}$,原因可能是冬灌的土壤含水量比非冬灌处理的高,土壤热容量增大,因而降温过程中土温降低缓慢,表层温度高于非冬灌处理。4月份以后,由于含水量比较高,冬灌处理各土层土壤温度升高的比较慢,导致同期冬灌处理的土壤温度低于非冬灌处理0~2 $^{\circ}\text{C}$,甚至达到4 $^{\circ}\text{C}$,其中表层土

壤表现更加突出;4月底各处理的土壤温度达到一致。在作物尚未返青的时期,土壤的低温可能更有利于土壤水分的保持,为返青后作物的生长提供有利的条件,李英年研究^[7]认为高寒地区冬季气温越低越有利于次年作物的生长,与本研究的结论一致。因此,冬灌措施在入冬和越冬时能延缓土壤温度的降低,对牧草越冬起关键作用的表层土壤温度比不冬灌处理高0~2 $^{\circ}\text{C}$,甚至达到4 $^{\circ}\text{C}$,有利于牧草根系的越冬;春季融化阶段,冬灌处理的土壤温度升高较缓慢,有利于保持土壤水分,也有利于防止升温太快,一旦出现倒春寒而使牧草受害。

2.3 越冬期土壤水分状况

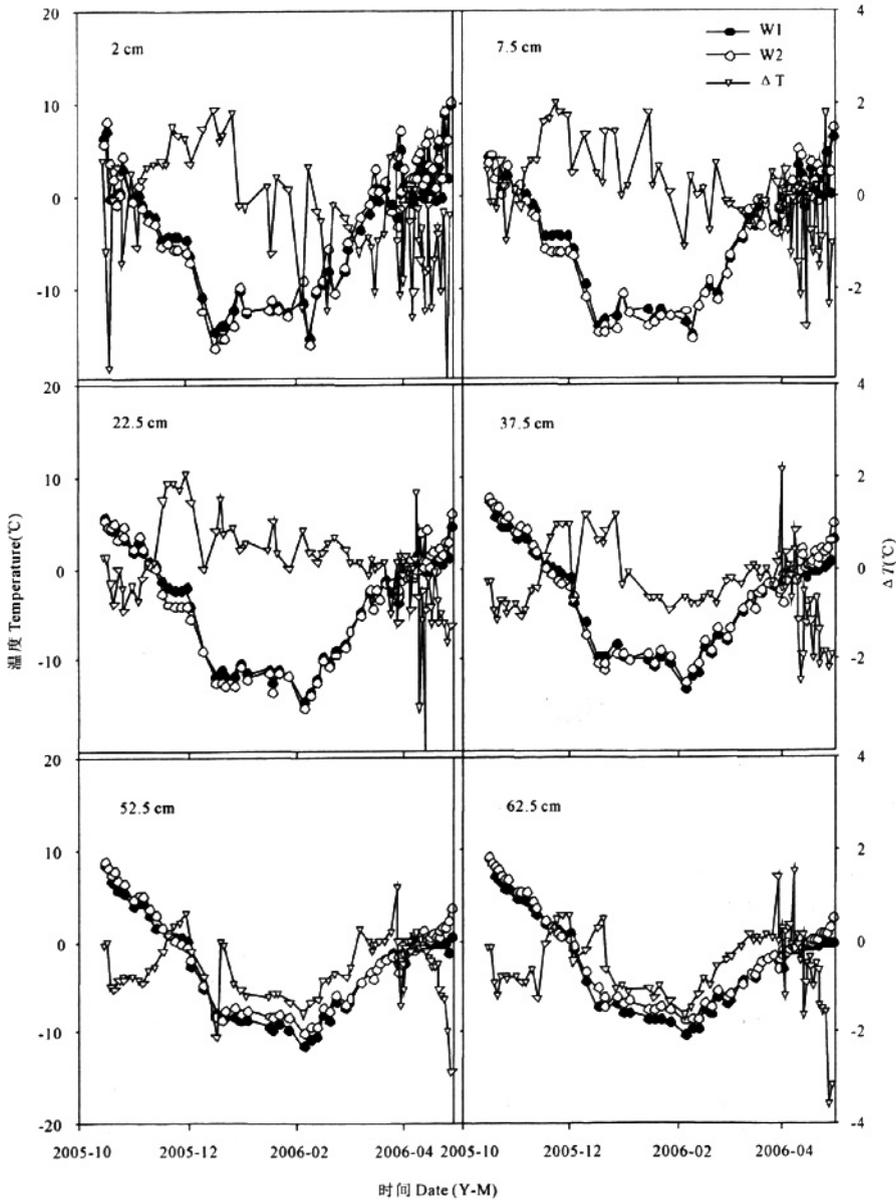
2.3.1 土体贮水量的动态变化

两年试验中,同一处理的老芒麦在越冬期0~60 cm土壤总水量的变化不大(图3),2005~2006年越冬期冬灌处理的贮水量由越冬前(2005年10月27日)的145.0 mm降低到越冬后(2006年4月26日)的136.3 mm,不灌水处理由94.6 mm降低到88.6 mm。2006~2007年越冬期冬灌处理的贮水量由越冬前(2006年10月22日)的135.4 mm降低到越冬后(2006年4月26日)的116.8 mm,不灌水处理由63.5 mm升高到73.8 mm。冻结保护土壤水分,减少水分损耗的作用曾在郭占荣等的试验研究中得到证实^[16]。春季返青时,冬灌处理的土壤水分状况要远优于未冬灌

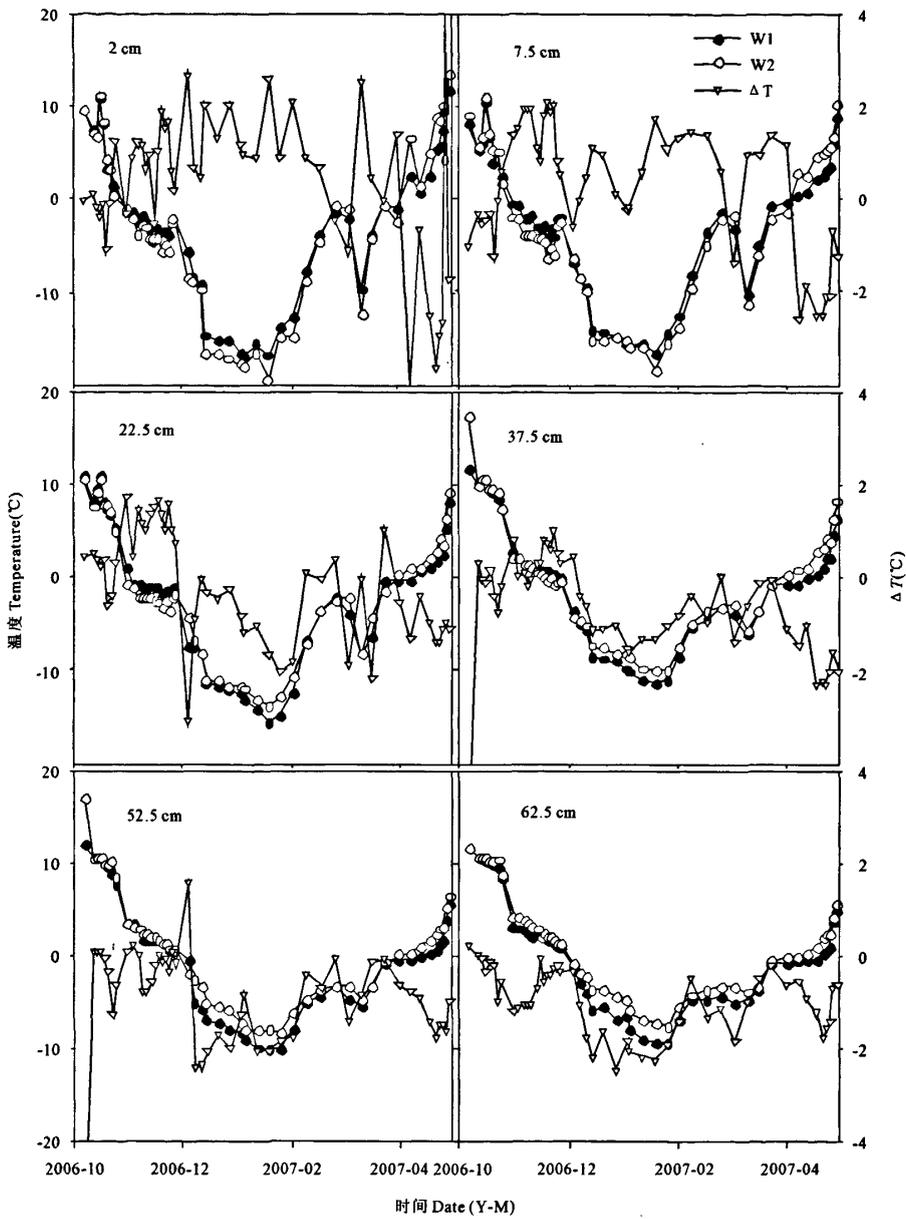
处理。因此,寒冷地区越冬期土壤总贮水量的变化不大,冬前的灌溉水分可以保持到第二年春天,为作物的返青和生长提供充足的水分条件。2006~2007年不灌水处理的贮水量略微增加,主要是由于“冻后聚墒”作用使底层土壤水分向表层聚集。

2.3.2 土体液态含水量的时空变化 两年的试验表明,冬灌导致越冬前土壤各层的含水量较高(图5),最大含水量在 $0.20 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 以上,水分主要集中在 20~70 cm 的土层,土层上下的含水量分布比较

均匀。入冬后,液态含水量由表层开始逐渐减小,土壤层次越深,液态含水量越大,土壤液态含水量在每年 12 月底达到最小值,该值一直持续到第二年 3 月份,3 月份后土壤液态含水量从下层开始逐渐增加,4 月份以前下层液态含水量高于上层,至五月初全部融化。整个越冬期土壤的液态含水量曲线呈现“V”形状。不灌溉的处理土壤液态含水量的季节变化趋势跟冬灌处理类似,入冬时由表层开始逐渐冻结,后期由底层开始逐渐增加。冬季土壤最大冻结时,



(a) 2005 - 2006



(b) 2006~2007

图3 越冬期土体各层温度的变化($\Delta T = T_{W1} - T_{W2}$)

Fig.3 Seasonal change and vertical distribution of soil temperature in 0~60 cm soil layer in winter

冬灌处理的液态含水量略大于非冬灌处理,0~60 cm 土壤液态含水量维持在 $0.12 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 左右。冬灌处理因含水量较高,“冻后聚墒”现象不明显,非冬灌处理因含水量较小,下层水有明显向表层聚集的现象,越冬过程中的水分表聚现象利于春季作物返青时对土壤表层水分的吸收,但在初春地表裸露的情况下极易蒸发损失。

3 结论

1) 在农牧交错带地区,入冬时冬灌处理土壤冻结速度较慢,同期冻结深度小于非冬灌处理;而在春季融化时,冬灌处理冻结土壤的融化速度也较慢,导致同期的融化深度小于非冬灌处理。

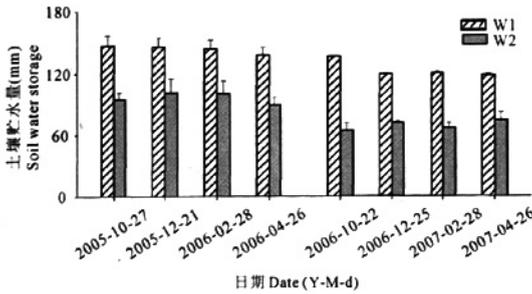


图 4 越冬期 0~60 cm 土体贮水量的变化

Fig. 4 Seasonal change of soil water storage in 0~60 cm soil layer in winter

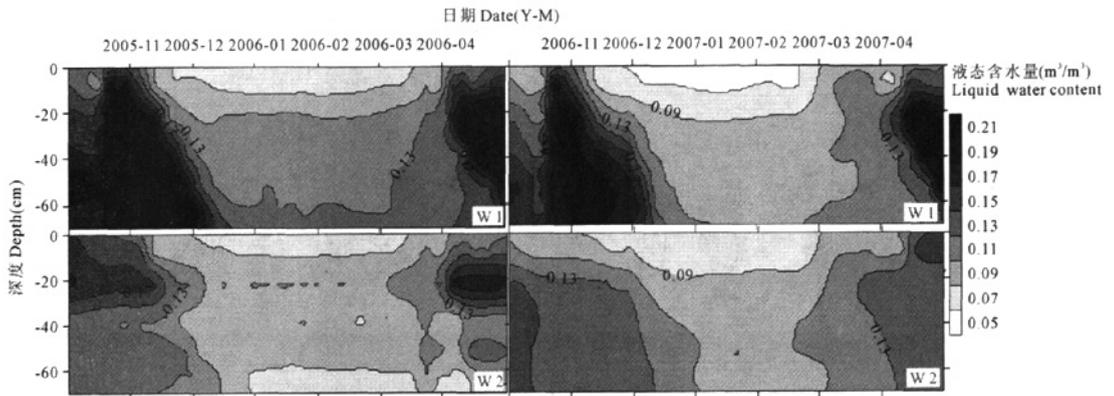


图 5 越冬期土体液态含水量的时空变化

Fig. 5 Seasonal change and vertical distribution of liquid water content in 0~60 cm soil layer in winter

参考文献:

- [1] 毛培胜, 韩建国, 吴喜才. 收获时间对老芒麦种子产量的影响[J]. 草地学报, 2003, 11(1): 33—37.
- [2] 孙启忠, 王育青, 侯向阳. 紫花苜蓿越冬性研究概述[J]. 草业科学, 2004, 21(3): 21—25.
- [3] 孙启忠, 桂荣, 韩建国. 赤峰地区数汉苜蓿冻害及其防御技术[J]. 草地学报, 2001, 9(1): 50—57.
- [4] 李子忠, 黄顶, 王忠彦. 灌溉制度对老芒麦 (*Elymus sibiricus*) 生长的影响[J]. 中国农业科学, 2005, 38(8): 1621—1628.
- [5] 刘承吉, 郭克贞, 何京丽. 草原灌溉[M]. 北京: 水利电力出版社, 1995: 84—109.
- [6] 刘文清, 陈凤林. 老芒麦需水特性及灌溉效果的研究[J]. 草地学报, 2004, 3(1): 57—59, 65.
- [7] 李英年. 高寒草甸地区冷季水分资源及对牧草产量的可能影响[J]. 草业学报, 2001, 10(3): 15—20.
- [8] Juste E, Thiebaut P, Avicé J C, et al. Influence of summer sowing dates, N fertilization and irrigation on autumn VSP accumulation and dynamics of spring regrowth in alfalfa (*Medicago sativa* L.) [J]. Journal of experimental botany, 2002, 53(366): 111—121.
- [9] Laurialt L M, Kirksey R E, Donat G B. Irrigation and nitrogen effects on tall wheatgrass yield in the Southern High Plains [J]. Agronomy Journal, 2002, 94: 792—797.
- [10] Laurialt L M, Kirksey R E, VanLeeuwen D M. Performance of perennial cool-season forage grasses in diverse soil moisture environments, southern high plains, USA [J]. Crop Science, 2005, 45: 909—915.
- [11] 郭晓维, 赵春江, 梁振兴, 等. 冬小麦冻水与起身水效应研究进展[J]. 北京农业科学, 1999, 17(3): 4—7.
- [12] 胡想全, 张新民. 干旱缺水地区冬季储水灌溉水分利用效率试验[J]. 节水灌溉, 2005, (5): 23—24, 27.
- [13] 张新民, 马忠民, 胡想全, 等. 节水型冬季储水灌溉技术及其应用前景[J]. 中国农村水利水电, 2007, (3): 48—49, 54.
- [14] 尚松浩, 雷志栋, 杨诗秀. 冬灌对越冬期土壤水分状况影响的数值模拟[J]. 农业工程学报, 1997, 13(3): 65—70.
- [15] Shang S H, Li X C, Mao X M, et al. Simulation of water dynamics and irrigation scheduling for winter wheat and maize in seasonal frost areas [J]. Agricultural Water Management, 2004, 68: 117—133.
- [16] 郭占荣, 荆恩春, 聂振龙, 等. 冻结期和冻融期土壤水分运移特征分析[J]. 水科学进展, 2002, 13(2): 298—302.

Effects of winter irrigation on soil moisture and thermal condition of artificial grassland during the winter in agro – pastoral ecotone of China

LI Zi-zhong, WANG Hao

(College of Resources and Environment Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: Field experiments were carried out in Bashang plateau in the agro-pastoral transition zone of North China during two winter periods of 2005 ~ 2007. The objective of the study was to investigate the effects of winter irrigation on soil moisture and thermal condition in winter based on data of total water content by the oven-dried method, unfrozen water content by time domain reflectometry (TDR), soil thermal condition by thermistors, and meteorological data. The results showed that, winter irrigation delayed the freezing process at the beginning of winter and thawing process at the beginning of spring. And winter irrigation also delayed the change of soil temperature because it resulted in soil temperature decreasing slowly in freezing soil and increasing slowly in thawing soil, so winter irrigation kept high soil temperature in winter and decreased the risk of frozen injury. The total water storage before and after winter changed little, as winter irrigation improved soil water condition largely and this effect was kept until next spring.

Keywords: winter irrigation; winter season; soil moisture and thermal condition; Bashang plateau

(上接第6页)

The spatial-temporal variability of sandy bared soil evaporation before and after irrigation

LONG Tao^{1,3}, XIONG Hei-gang^{2,3}, LI Bao-fu^{1,3},

ZHANG Jian-bing^{1,3}, WAHAP·Halik^{1,3}

(1. College of Resources & Environmental Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China;

2. Urban Department, College of Art & Science, Beijing Union University, Beijing 100083, China;

3. Key Laboratory of Oasis Ecology of Ministry of Education, Urumqi 830046, China)

Abstract: The method of obtaining sandy soil daily evaporation from a function is very useful when needing a mass of data. The aim of this study is to find such a function, and to discuss the spatial-temporal variability of sandy bared soil evaporation before and after irrigation by using the accounting data. An experiment is carried out to study the problems. The results indicate that the soil evaporation one week before and three weeks after irrigation has distinct correlativity, but that in other stages does not. Whereas, the evaporation before irrigation differs much, and its spatial relationship is weak, but it reverses after irrigation. Moreover, the spatial conjunction is controlled more by spatial self-correlation but spatial heterogeneity in this stage. Also the spatial distribution of soil evaporation changes over time and space. Because of vegetation and landform of the study area, the evaporation of west zone was larger than that of east one a week after irrigation, while that in other two stages has no marked differences in the west and east. In time sequence, the evaporation of north region was stronger than that of south zone before irrigation. But a week after irrigation, the evaporation of south-east part was stronger, and it changed over again three weeks after irrigation.

Keywords: irrigation; sandy bared land; soil evaporation; spatial-temporal variability; geostatistics