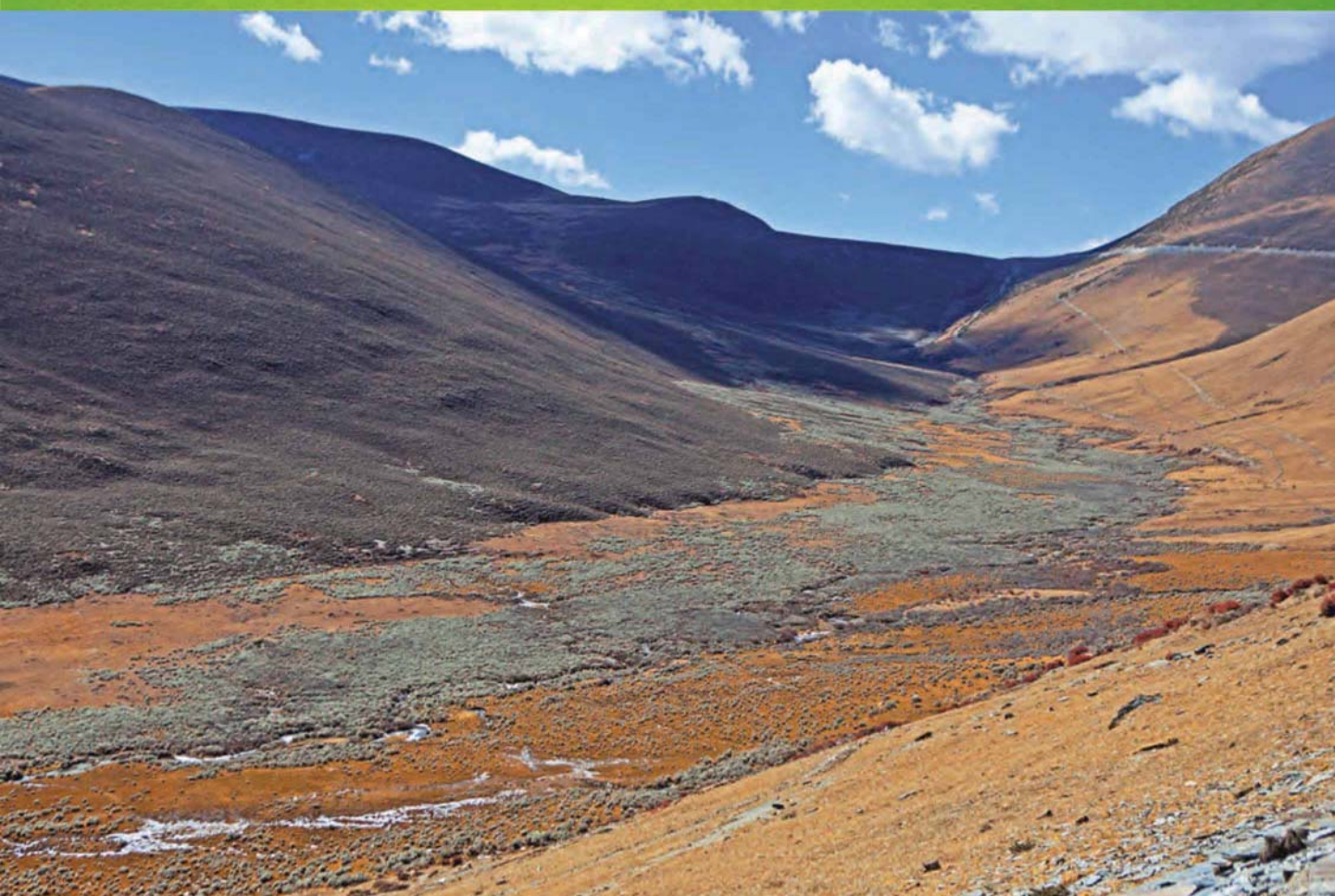


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

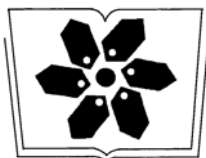
中国生态学会 2013 年学术年会专辑



第 33 卷 第 18 期 Vol.33 No.18 **2013**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 18 期 2013 年 9 月 (半月刊)

目 次

中国生态学会 2013 年学术年会专辑 卷首语

- 美国农业生态学发展综述 黄国勤, Patrick E. McCullough (5449)
- 水足迹研究进展 马 晶, 彭 建 (5458)
- 江西省主要作物(稻、棉、油)生态经济系统综合分析评价 孙卫民, 欧一智, 黄国勤 (5467)
- 植物干旱胁迫下水分代谢、碳饥饿与死亡机理 董 蕾, 李吉跃 (5477)
- 生态化学计量学特征及其应用研究进展 曾冬萍, 蒋利玲, 曾从盛, 等 (5484)
- 三峡库区紫色土植被恢复过程的土壤团粒组成及分形特征 王轶浩, 耿养会, 黄仲华 (5493)
- 城市不同地表覆盖类型对土壤呼吸的影响 付芝红, 呼延佼奇, 李 锋, 等 (5500)
- 华南地区 3 种具有不同入侵性的近缘植物对低温胁迫的敏感性 王宇涛, 李春妹, 李韶山 (5509)
- 沙丘稀有种准噶尔无叶豆花部综合特征与传粉适应性 施 翔, 刘会良, 张道远, 等 (5516)
- 水浮莲对水稻竞争效应、产量与土壤养分的影响 申时才, 徐高峰, 张付斗, 等 (5523)
- 珍稀药用植物白及光合与蒸腾生理生态及抗旱特性 吴明开, 刘 海, 沈志君, 等 (5531)
- 不同温度及二氧化碳浓度下培养的龙须菜光合生理特性对阳光紫外辐射的响应 杨雨玲, 李 伟, 陈伟洲, 等 (5538)
- 土壤氧气可获得性对双季稻田温室气体排放通量的影响 秦晓波, 李玉娥, 万运帆, 等 (5546)
- 免耕稻田氮肥运筹对土壤 NH_3 挥发及氮肥利用率的影响 马玉华, 刘 兵, 张枝盛, 等 (5556)
- 香梨两种树形净光合速率特征及影响因素 孙桂丽, 徐 敏, 李 疆, 等 (5565)
- 沙埋对沙米幼苗生长、存活及光合蒸腾特性的影响 赵哈林, 曲 浩, 周瑞莲, 等 (5574)
- 半干旱区旱地春小麦全膜覆土穴播对土壤水热效应及产量的影响 王红丽, 宋尚有, 张绪成, 等 (5580)
- 基于 Le Bissonnais 法的石漠化区桑树地埂土壤团聚体稳定性研究 汪三树, 黄先智, 史东梅, 等 (5589)
- 不同施肥对雷竹林径流及渗漏水中氮形态流失的影响 陈裴裴, 吴家森, 郑小龙, 等 (5599)
- 黄土丘陵区不同植被土壤氮素转化微生物生理群特征及差异 邢肖毅, 黄懿梅, 安韶山, 等 (5608)
- 黄土丘陵区植被类型对土壤微生物量碳氮磷的影响 赵 彤, 闫 浩, 蒋跃利, 等 (5615)
- 林地覆盖对雷竹林土壤微生物特征及其与土壤养分制约性关系的影响 郭子武, 俞文仙, 陈双林, 等 (5623)
- 降雨对草地土壤呼吸季节变异性的影响 王 旭, 闫玉春, 闫瑞瑞, 等 (5631)
- 基于土芯法的亚热带常绿阔叶林细根空间变异与取样数量估计 黄超超, 黄锦学, 熊德成, 等 (5636)
- 4 种高大树木的叶片性状及 WUE 随树高的变化 何春霞, 李吉跃, 孟 平, 等 (5644)
- 干旱荒漠区银白杨树干液流动态 张 俊, 李晓飞, 李建贵, 等 (5655)
- 模拟增温和不同凋落物基质质量对凋落物分解速率的影响 刘瑞鹏, 毛子军, 李兴欢, 等 (5661)
- 金沙江干热河谷植物叶片元素含量在地表凋落物周转中的作用 闫帮国, 纪中华, 何光熊, 等 (5668)
- 温带 12 个树种新老树枝非结构性碳水化合物浓度比较 张海燕, 王传宽, 王兴昌 (5675)
- 断根结合生长素和钾肥施用对烤烟生长及糖碱比、有机钾指数的影响 吴彦辉, 薛立新, 许自成, 等 (5686)
- 光周期和高脂食物对雌性高山姬鼠能量代谢和产热的影响 高文荣, 朱万龙, 孟丽华, 等 (5696)
- 绿原酸对凡纳滨对虾抗氧化系统及抗低盐度胁迫的影响 王 芸, 李 正, 李 健, 等 (5704)

基于盐分梯度的荒漠植物多样性与群落、种间联接响应	张雪妮, 吕光辉, 杨晓东, 等 (5714)
广西马山岩溶植被年龄序列的群落特征	温远光, 雷丽群, 朱宏光, 等 (5723)
戴云山黄山松群落与环境的关联	刘金福, 朱德煌, 兰思仁, 等 (5731)
四川盆地亚热带常绿阔叶林不同物候期凋落物分解与土壤动物群落结构的关系	王文君, 杨万勤, 谭 波, 等 (5737)
中亚热带常绿阔叶林不同演替阶段土壤活性有机碳含量及季节动态	范跃新, 杨玉盛, 杨智杰, 等 (5751)
塔克拉玛干沙漠腹地人工植被及土壤 C N P 的化学计量特征	李从娟, 雷加强, 徐新文, 等 (5760)
鄱阳湖小天鹅越冬种群数量与行为学特征	戴年华, 邵明勤, 蒋丽红, 等 (5768)
营养盐加富和鱼类添加对浮游植物群落演替和多样性的影响	陈 纯, 李思嘉, 肖利娟, 等 (5777)
西藏达则错盐湖沉积背景与有机沉积结构	刘沙沙, 贾沁贤, 刘喜方, 等 (5785)
西藏草地多项供给及调节服务相互作用的时空演变规律	潘 影, 徐增让, 余成群, 等 (5794)
太湖水体溶解性氨基酸的空间分布特征	姚 昕, 朱广伟, 高 光, 等 (5802)
基于遥感和 GIS 的巢湖流域生态功能分区研究	王传辉, 吴 立, 王心源, 等 (5808)
近 20 年来东北三省春玉米物候期变化趋势及其对温度的时空响应	李正国, 杨 鹏, 唐华俊, 等 (5818)
鄱阳湖湿地景观恢复的物种选择及其对环境因子的响应	谢冬明, 金国花, 周杨明, 等 (5828)
珠三角河网浮游植物生物量的时空特征	王 超, 李新辉, 赖子尼, 等 (5835)
南京市景观时空动态变化及其驱动力	贾宝全, 王 成, 邱尔发 (5848)
川西亚高山-高山土壤表层有机碳及活性组分沿海拔梯度的变化	秦纪洪 王 琴 孙 辉 (5858)
城市森林碳汇及其抵消能源碳排放效果——以广州为例	周 健, 肖荣波, 庄长伟, 等 (5865)
基于机器学习模型的沙漠腹地地下水含盐量变化过程及模拟研究	范敬龙, 刘海龙, 雷加强, 等 (5874)
干旱区典型绿洲城市发展与水资源潜力协调度分析	夏富强, 唐 宏, 杨德刚, 等 (5883)
海岸带区域综合承载力评估指标体系的构建与应用——以南通市为例	魏 超, 叶属峰, 过仲阳, 等 (5893)
中街山列岛海洋保护区鱼类物种多样性	梁 君, 徐汉祥, 王伟定 (5905)
丰水期长江感潮河口段网采浮游植物的分布与长期变化	江志兵, 刘晶晶, 李宏亮, 等 (5917)
基于生态网络的城市代谢结构模拟研究——以大连市为例	刘耕源, 杨志峰, 陈 彬, 等 (5926)
保护区及周边居民对野猪容忍性的影响因素——以黑龙江凤凰山国家级自然保护区为例	徐 飞, 蔡体久, 琚存勇, 等 (5935)
三江源牧户参与草地生态保护的意愿	李惠梅, 张安录, 王 珊, 等 (5943)
沈阳市降雨径流初期冲刷效应	李春林, 刘 淼, 胡远满, 等 (5952)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 514 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 59 * 2013-09	



封面图说: 川西高山地带土壤及植被——青藏高原东缘川西的高山地带坡面上为草地, 沟谷地带由于低平且水分较充足, 生长有很多灌丛。川西地区大约在海拔 4000m 左右为林线, 以下则分布有亚高山森林。亚高山森林是以冷、云杉属为建群种或优势种的暗针叶林为主体的森林植被。作为高海拔低温生态系统, 高山-亚高山地带土壤碳被认为是我国重要的土壤碳库。有研究表明, 易氧化有机碳含量与海拔高度呈显著正相关, 显示高海拔有利于土壤碳的固存。因而, 这里的表层土壤总有机碳含量随着海拔的升高而增加。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201306081434

王红丽, 宋尚有, 张绪成, 高世铭, 于显枫, 马一凡. 半干旱区旱地春小麦全膜覆土穴播对土壤水热效应及产量的影响. 生态学报, 2013, 33(18): 5580-5588.

Wang H L, Song S Y, Zhang X C, Gao S M, Yu X F, Ma Y F. Effects of using plastic film as mulch combined with bunch planting on soil temperature, moisture and yield of spring wheat in a semi-arid area in drylands of Gansu, China. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(18): 5580-5588.

半干旱区旱地春小麦全膜覆土穴播对 土壤水热效应及产量的影响

王红丽¹, 宋尚有¹, 张绪成^{1,2,3,*}, 高世铭⁴, 于显枫¹, 马一凡¹

(1. 甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 兰州 730070;

2. 中国科学院水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 杨陵 712100;

3. 中国农业大学资源环境学院, 北京 100193; 4. 甘肃省科学院, 兰州 730000)

摘要:以春小麦“陇春 27”为试材, 研究半干旱区旱地全膜覆土穴播对土壤水热效应及小麦产量的影响。结果表明: 与裸地平作 (CK) 相比, 全膜覆土穴播 (PM) 和全沙覆盖平作 (SM) 增温效果呈“挂钩型”, 增温效果在小麦拔节期前最为明显, PM 0—25 cm 土壤平均温度较 CK 提高 1.8 °C, 全沙覆盖平作提高 1.4 °C, 拔节后 PM 和 SM 的增温效果逐渐减弱直至消失, 而在成熟期又呈现较弱的增温效果。PM 和 SM 能提高小麦出苗后耗水速度并加大耗水量, 其中, 小麦拔节到扬花期耗水量增加最多, 分别较 CK 平均增加 54.93% 和 31.54%, 且此阶段越是干旱, 促进耗水作用越明显, PM 促进作用大于 SM。PM 和 SM 能显著提高小麦阶段性水分利用效率 (WUE_b), 其中 PM 以苗期提高最多, 2a 平均较 CK 提高 365.17%, SM 拔节期提高最多, 2 年平均较 CK 提高 119.00%。PM 和 SM 在增温、促进耗水作用下使小麦各生育期提前并增加单株干重, 产量较 CK 分别平均增加 432.28% 和 375.82%, 水分利用效率 (WUE) 分别平均增加 351.51% 和 338.29%, 而且越干旱年份增产效应愈加明显。可见, PM 和 SM 在越为干旱的年份促进耗水、增产和提高 WUE 的作用越显著, PM 效果强于 SM。

关键词:全膜覆土穴播; 土壤水热效应; 产量; 春小麦; 旱地

Effects of using plastic film as mulch combined with bunch planting on soil temperature, moisture and yield of spring wheat in a semi-arid area in drylands of Gansu, China

WANG Hongli¹, SONG Shangyou¹, ZHANG Xucheng^{2,3,4,*}, GAO Shiming⁵, YU Xianfeng¹, MA Yifan¹

1 Dryland Agriculture Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070 China

2 State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Institute of Soil Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, Yangling 712100, China

3 College of Resources and Environment, China Agricultural University, Beijing 100193, China

4 Gansu Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

Abstract: The differences between the timing of natural rainfall and demands of crops for water during seasonal drought is one of the main factors restricting crop production in semi-arid areas. As a new agricultural technology, the use of plastic film as mulch to cover the entire soil surface, combined with bunch planting of wheat with no-tillage has several effects; the plastic captures evaporating water and so suppresses evaporation and maintains soil moisture. This significantly improves rainfall use efficiency, allows the full use of light and heat resources, and significantly increases yield of wheat, flax and other crops. Therefore, the use of plastic film as mulch with bunch planting has been widely applied in dryland agriculture in the middle and eastern parts of Gansu Province, China. However, systematic methods for the use of plastic mulch in wheat

基金项目:国家自然科学基金资助项目 (31060071); 农业部行业科技资助项目 (201203031-05); 甘肃省自然科学基金资助项目 (1010RJZA177)

收稿日期:2013-06-08; **修订日期:**2013-07-08

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gs-zhangxucheng@163.com

production are still lacking; in particular, research is lacking on the effects of plastic film mulching with bunch planting on soil temperature, moisture, water consumption, water use efficiency (WUE), and effects on the various growth stage of wheat and on dry matter accumulation. To understand how this new technology improves crop development and yield and how it affects soil hydrothermal conditions, we designed and implemented a field experiment using three treatments: the use of plastic film as mulch to cover the entire soil surface with bunch planting (PM), the use of sand mulching on the entire field and traditional scattered seed planting (SM) and un-mulched planting and with traditional scattered seed planting (CK). The study was carried out to determine the effects of different mulching methods on soil temperature, moisture and yield of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) in the semi-arid area in drylands in central Gansu. In this experiment, we used "Long Spring 27" (*Triticum aestivum* L.) as the test material to study the effects of different mulching methods on soil temperature, moisture and spring wheat yield in a semi-arid area. The results showed that PM and SM increased soil temperature in the entire growth period for spring wheat; this increase in soil temperature is most obvious before the jointing stage of wheat. PM and SM could result in a 1.8 °C and 1.4 °C increase in average soil temperatures in the 0—25 cm soil layer, respectively, compared with CK. After the jointing stage, the warming effect of PM and SM gradually weakened or disappeared, although it reappeared in a weaker state as the wheat matured. PM and SM could improve the rate of water consumption and increase water consumption after seedling emergence. Water consumption was largest during the jointing-flowering stage and PM and SM increased water consumption up to 54.93% and 31.54%, respectively, compared with CK. With increased drought intensity the effects of the treatments were more obvious at the jointing-flowering stage. PM and SM could improve biomass water use efficiency of wheat (WUE_b) significantly; the improvement was highest (up to 365.17%) at the seedling stage of PM and at the jointing stage of SM (up to 119.00%), compared with CK. PM and SM treatments resulted in increased soil temperatures and improved soil water consumption; therefore, these treatments extended the growing period for spring wheat and increased the dry matter weight per plant. Also PM and SM increased yield by 432.28% and 375.82% and increased WUE by 351.51% and 338.29%, respectively, compared with CK; with increased drought intensity, yield increased more obviously with the PM and SM treatments. Therefore, PM and SM can significantly promote water consumption, increase yield and improve WUE by a higher percentage in a drought year, although the effect is stronger with PM than with SM.

Key Words: the use of plastic film as mulch to cover the entire soil surface with bunch planting; soil temperature and moisture; yield; spring wheat; dryland

甘肃陇中地处 400 mm 降水等值线上,降水年际变率大且分布不均,7、8、9 月 3 个月降水量占全年降水量一半^[1],自然降水与农作物需水供需错位所致的季节性干旱是该区作物低产的主要原因之一^[2-4]。小麦是该区主要粮食作物之一^[5],但多年来产量因受水分胁迫影响低而不稳^[1,6],尤其干旱年份,近乎绝收。研究表明,地膜覆盖能够显著降低棵间蒸发,从而改善土壤水热状况,有效减轻干旱和春季低温对作物的伤害,促进作物正常的生长发育,提高降水利用效率和作物产量^[7-8],是实现旱地小麦高产的一项突破性技术^[4,9-10]。全膜覆土穴播是一项集全地面平铺地膜+膜上覆土+穴播+免耕多茬种植为一体的高效旱作小麦栽培技术,因集雨抑蒸,充分利用光热资源,最大限度地拦截并汇集降雨,保蓄土壤水分,大幅提高农田降水利用率,可使小麦、胡麻等作物显著增产而在小麦生产中大面积推广^[4,9-11]。目前,对全膜覆土穴播小麦栽培技术和增产效应报道较多^[4,9-11],但对其增产机制仍缺乏系统研究,尤其从全膜覆土穴播对土壤温度、土壤贮水量、耗水量、水分利用效率、生育期和干物质累积等的影响入手系统分析其增产机制方面未见报道。本试验以春小麦“陇春 27”为试验材料,在小麦全生育期测定土壤 0—25 cm 平均温度、土壤含水量,计算小麦不同生育期耗水量和干物质水分利用效率并测定小麦产量,揭示全膜覆土穴播的土壤水热效应及其对春小麦产量的影响,分析其增产机制,为进一步探讨旱作区高产高效、生态安全的小麦栽培技术体系提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验于 2010 年和 2011 年在甘肃省定西县唐堡试验站进行。该区海拔 1970 m,年均气温 6.2 °C,年辐射总量 5898 MJ/m²,年日照时数 2500 h,≥10 °C 积温 2075.1 °C,无霜期 140 d,属中温带半干旱气候。作物一年一熟,无灌溉,为典型旱地雨养农业。年均降水总量为 415 mm,6—9 月降水量占年降水的 68%,降水相对变率为 24%,400 mm 降水保证率为 48%。试验区土壤为黄绵土,0—30 cm 土层平均容重 1.25 g/m³,永久凋萎系数为 7.2%。降雨分布及气温见图 1,2010 年小麦全生育期内降水 183.8

mm,主要集中在5月份和6月份,属平水年。2011年小麦全生育期降雨130.7 mm,播种至6月下旬均无有效降雨,属欠水年。

1.2 试验设计

试验以春小麦(*Triticumaestivum* L.)为材料,品种为‘陇春27’,采用完全随机设计,设全膜覆土穴播(PM)、全沙覆盖平作(SM)和裸地平作(CK)3个处理,每处理3次重复,小区面积 $6\text{ m}\times 10\text{ m}=60\text{ m}^2$ 。种植行距20 cm,穴距为5 cm,每穴4—6株,密度30万株/666.7 m^2 。种植第1年于小麦播种前整地使地面完全平整,用农膜全地面覆盖后,膜上均匀铺一层厚度约1 cm左右的细绵土,以防止小麦出苗时与播种孔错位并对地膜起一定的保护作用,以实现一次覆膜覆土连续种植3—4a,节约劳动力,节本增效,然后用穴播机械播种。当年小麦收获后不断膜以减少休闲期水分耗散,到第2年种植时如地膜无严重破损则不进行更换。全沙覆盖处理中用当地河沙,粒径1 mm左右,于第1年小麦播种前均匀覆盖于小区,厚度3—5 cm,两年种植期间不更换。小麦两年连作,不更换试验地。施肥量为:N 150 kg/hm²、P₂O₅ 75 kg/hm²、K₂O 45 kg/hm²,肥料均在播前作为底肥一次施入。2010年小麦3月24日播种,7月26日收获,2011年3月20日播种,7月15日收获。

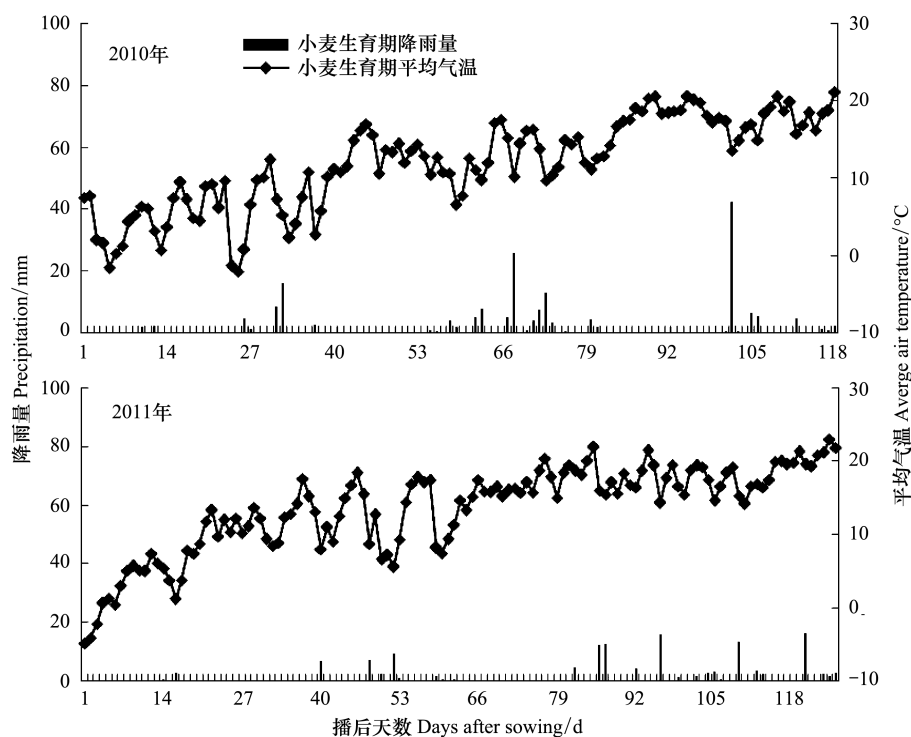


图1 小麦生育期降雨和气温变化

Fig.1 Dynamic of precipitation and average air temperature during the growth stages of wheat

1.3 测定项目与方法

1.3.1 地温参考 Cook等^[12]的方法,在小麦生长的全生育期用地温计测定0—25 cm地温,每5 cm为1层,每小区测定1个位点,定点测定。每10—15 d在8:00、14:00、20:00各测定1次。

1.3.2 土壤水分测定及计算方法在小麦全生育期用烘干法测定0—200 cm土层土壤贮水量,每20 cm为1层,平均每10—15 d每小区测定1次,选1个位点,定点测定。

土壤贮水量(mm)计算公式为: $SWS = W_s \cdot b \cdot d$,式中 W_s 为土壤质量含水量; b 为土壤容重; d 为土壤深度。

1.3.3 小麦耗水量与水分利用效率小麦某一生育时期耗水量 $WC_i(\text{mm}) = WS_{i-1} - WS_i + P_i$,某一生育期地上干物质水分利用效率 $WUE_{bi} = DM_i / WC_i$,式中 WS_{i-1} 为上一生育期0—200 cm土壤贮水量; WS_i 为小麦当前生育期0—200 cm土壤贮水量; P_i 为小麦这一时段降雨量, DM_i 为某一生育期累积干物质重量(kg/hm²)。

籽粒水分利用效率 $WUE_g = Y_d / WC$,式中 Y_d 为作物单位面积籽粒产量, WC 为全生育期的作物耗水量, $WC = WS_B - WS_H + P$,其中 WS_B 为播前0—200 cm土壤贮水量, WS_H 为小麦收获后0—200 cm土壤贮水量, P 为小麦生育期降雨量。

水分利用效率计算公式为: $WUE = Y / ET$, $ET = SWS_{BF} - SWS_{HA} + P$,式中 Y 为作物单位面积产量; SWS_{BF} 为播前土壤贮水量; SWS_{HA} 为收获后土壤贮水量; P 为生育期降雨量。

1.3.4 产量每小区按实收计算产量。

1.4 数据处理

采用Microsoft Excel 2007和DPS统计软件对数据进行统计分析,并用LSD法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同覆盖种植方式对土壤温度与水分的影响

2.1.1 不同覆盖种植方式对土壤温度的影响

在小麦播种到拔节期(3月20日—5月16日),全膜覆土穴播(PM)和全沙覆盖平作(SM)0—25 cm 土层平均地温较裸地平作(CK)分别平均增加 1.8 ℃ 和 1.4 ℃(图 2);拔节到抽穗期(5月17日—6月13日),分别增加 0.8 ℃ 和 0.6 ℃;抽穗到扬花期(6月14日—6月21日),PM 和 SM 处理无增温效应,二者 0—25 cm 土层土壤平均温度均略低于 CK。到小麦收获期,PM 和 SM 处理又表现增温效应,0—25 cm 土层土壤平均温度较 CK 分别增加 0.7 ℃ 和 0.9 ℃。这主要是由于小麦收获期正值气温最高的 7 月中下旬,太阳辐射强烈,而小麦则因成熟部分叶片干枯,对地面遮光作用减弱导致的。可见,PM 和 SM 在小麦生育早期增温效果明显,可促进小麦幼苗发育,有利于小麦生育前期对光能和水分的利用,为提高产量奠定了基础。

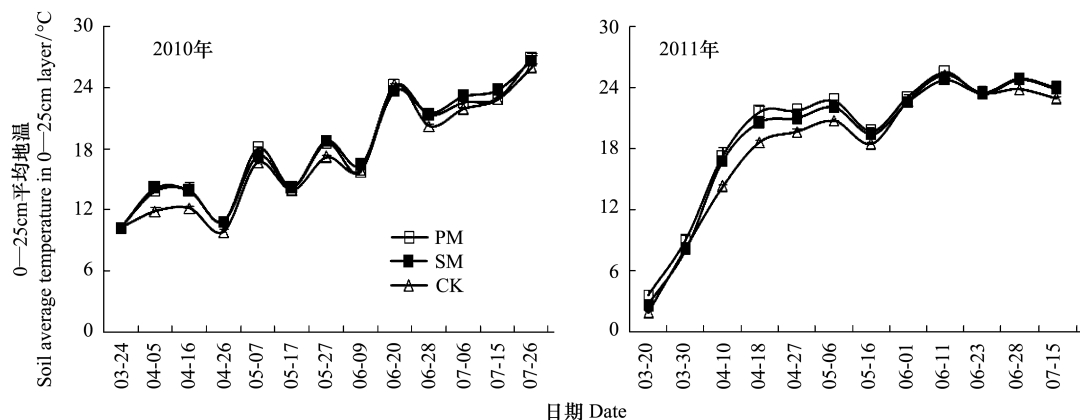


图 2 不同覆盖种植方式对小麦田土壤 0—25 cm 平均温度的影响

Fig.2 Effect of different mulching methods on soil average temperature in 0—25 cm layer

PM:全膜覆土穴播 the use of plastic film as mulch to cover the entire soil surface with bunch planting; SM:全沙覆盖平作 the use of sand mulching on the entire field and traditional scattered seed planting; CK:裸地平作 un-mulched planting and with traditional scattered seed planting

2.2 不同覆盖种植方式对土壤水分含量的影响

旱地不同覆盖种植方式小麦田 0—200 cm 土壤贮水量季节变化与小麦生育期和当年降雨分布密切相关(图 3)。2010 年,小麦播前各处理底墒较好,播前 0—200 cm 土壤贮水量均较高,到小麦出苗后(4月7日左右),PM 和 SM 0—200 cm 贮水量高于 CK,原因是此期间无降雨而且多风,CK 因地表无覆盖而蒸发量大于覆盖处理;随小麦生长,耗水量逐渐增大,各处理 0—200 cm 土壤贮水量整体均呈下降趋势,而且覆盖处理 0—200 cm 土壤贮水量明显低于 CK,原因是覆盖处理小麦生长旺盛,耗水量大于 CK。随 5 月 26 日一次较大降雨(25.5 mm),覆盖处理 0—200 cm 土壤贮水量明显上升,但此时正值小麦拔节到抽穗期,土壤贮水量因小麦生长消耗而快速下降,到 6 月 28 日降至最低;CK 降雨后 0—200 cm 土壤贮水量无明显上升,随后也无明显下降,可见,一方面覆盖处理降雨入渗补给率大于 CK,另一方面耗水速度大于 CK。在 6 月 29 日 42.4 mm 的降雨后,各处理 0—200 cm 土壤贮水量大幅增加,但此阶段为小麦扬花到成熟阶段,小麦耗水速度快而且气温高蒸发蒸腾强烈,各处理 0—200 cm 土壤贮水量快速下降,其中 CK 下降最多。

2011 年小麦播种至 6 月下旬均无有效降雨,属欠水年。小麦田 0—200 cm 土壤贮水量季节变化与上一年不同,整体变化趋势较为平稳。播种前各处理 0—200 cm 土壤贮水量与上一年收获后相比有小幅上升,但明显低于上一年播种前,其中,CK 最低,SM 次之,PM 最大;随小麦生育进程的推进,小麦耗水量增加,各处理 0—200 cm 土壤贮水量均下降,其中 PM 和 SM 下降速度大于 CK;在 5 月 13 日 9.2 mm 的降雨后,PM 和 SM 0—200 cm 土壤贮水量有小幅增加,而 CK 仍在降低,可见,PM 和 SM 对降雨的接纳入渗能力优于 CK。

2.2 不同覆盖种植方式对小麦生长发育与产量的影响

2.2.1 不同覆盖种植方式对小麦生育期的影响

旱地不同覆盖种植方式对小麦生育期和单株干重有显著影响。与 CK 相比,PM 和 SM 因前期显著增温(图 2)而使小麦各生育期均不同程度提前,其中出苗分别提前 8—10 d 和 4—5 d,拔节分别提前 6—8 d 和 3 d,抽穗分别提前 3—9 d 和 3—6 d,扬花分别提前 2—6 d 和 2—4 d,成熟期分别提前 4—5 d 和 2—3 d(表 1)。

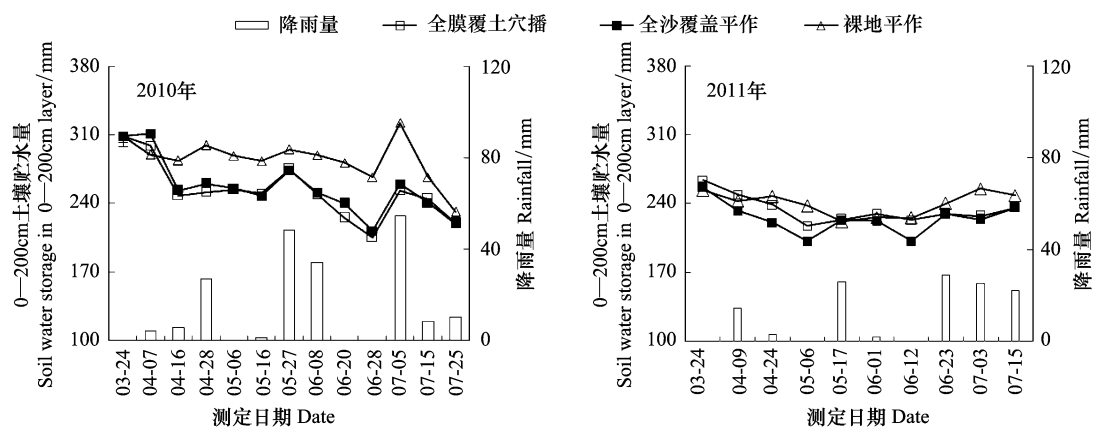


图3 不同覆盖种植方式小麦田0—200 cm 土壤贮水量季节变化

Fig.3 Seasonal dynamics of soil water storage in 0—200 cm profile of different mulching methods

表1 旱地不同覆盖种植方式对小麦生育期的影响(月-日)

Table 1 Effect of different mulching method on growth stage of wheat (Month-day)

处理 Treatments	播种期 Sowing	出苗期 Seedling	拔节期 Jointing	抽穗期 Heading	扬花期 Blooming	成熟期 Maturing
2010 年						
PM	03-23	04-01	05-18	06-13	06-23	07-20
SM	03-23	04-05	05-21	06-13	06-23	07-22
CK	03-23	04-09	05-24	06-16	06-25	07-25
2011 年						
PM	03-17	03-28	05-18	06-10	06-20	07-16
SM	03-17	04-03	05-21	06-13	06-24	07-18
CK	03-17	04-08	05-24	06-19	06-28	07-20

PM:全膜覆土穴播 the use of plastic film as mulch to cover the entire soil surface with bunch planting; SM:全沙覆盖平作 the use of sand mulching on the entire field and traditional scattered seed planting; CK:裸地平作 un-mulched planting and with traditional scattered seed planting

2.2.2 不同覆盖种植方式对小麦干物质累积和产量的影响

PM 和 SM 的增温效应一方面保证出苗率,一方面使小麦早生快发,生长较 CK 更为旺盛(表2)。与 CK 相比,PM 和 SM 小麦单株干重明显增加,PM 小麦单株干重在苗期、拔节期、抽穗期、扬花期和收获期分别较 CK 增加 333.3%—650.00%、123.66%—481.96%、134.29%—160.63%、68.44%—168.85%和 52.63%—176.78%,SM 分别增加 166.67%—200.00%、124.73%—199.36%、91.69%—122.86%、62.20%—100.99%和 44.07%—103.13%。可见,本试验区小麦覆盖种植可使小麦提前出苗,早生快发,生育期提前,单株干重增加,为小麦高产奠定了基础。

表2 不同覆盖种植方式小麦单株干重的影响

Table 2 Effect of different mulching methods on dry matter weight per plant

处理 Treatments	苗期 Seedling	拔节期 Seedling	抽穗期 Heading	扬花期 Blooming	收获期 Maturing
2010 年					
PM	0.13a	0.57a	0.82a	1.49a	2.32a
SM	0.08b	0.57a	0.78a	1.44a	2.19a
CK	0.03c	0.25b	0.35b	0.89b	1.52b
2011 年					
PM	0.15a	0.30a	1.38a	1.46a	1.57a
SM	0.06b	0.16b	1.02b	1.09b	1.15b
CK	0.02c	0.05c	0.53c	0.54c	0.57c

不同字母表示同一年份不同处理测定结果在 5% 水平上差异显著

旱地不同覆盖种植方式对小麦产量和水分利用效率有显著影响并与当年降雨分布密切相关(图4)。虽然 2010 年为平水年,2011 年为欠水年,且小麦播种至扬花期(6 月下旬)均无有效降雨,小麦前期生长严重受旱。但两年试验结果均显示,覆盖处理小麦产量和 WUE 显著高于不覆盖处理,PM 和 SM 间差异不显著($P < 0.05$)。2010 年 PM 和 SM 小麦产量分别较 CK 增加 48.78% 和 9.41%,WUE 分别提高 41.82% 和 36.15%;2011 年虽然各处理产量耗水量均大幅小于 2010 年,但 PM 和 SM 小麦产量

分别较 CK 增加 857.90%和 702.23%,*WUE* 分别提高 661.20%和 640.43%。可见,小麦产量与 *WUE* 的绝对大小随降水量增加而增加,而 PM 和 SM 的增产率和 *WUE* 提高率则随降水量减少而增加。

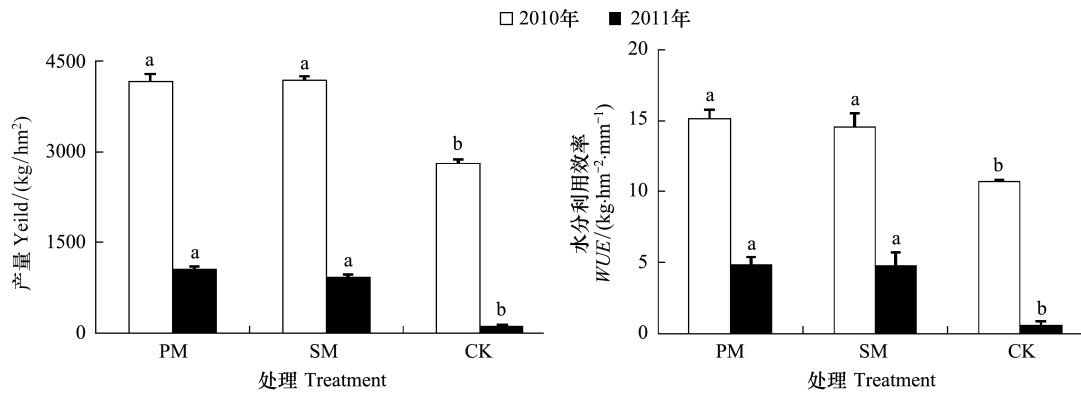


图 4 不同覆盖种植方式对小麦产量和水分利用效率的影响
Fig.4 Effect of different mulching methods on yield and water use efficiency of wheat

2.3 不同覆盖种植方式对小麦耗水量和水分利用效率的影响

2.3.1 不同覆盖种植方式对小麦阶段性耗水量的影响

旱地不同覆盖种植方式对小麦阶段性耗水量有显著影响并与当年降雨分布密切相关(表 3)。2010 年小麦播种到拔节期处理间耗水量表现为 PM > SM > CK,差异达显著水平($P < 0.05$),其中 PM 和 SM 耗水量大于降雨量,需耗散土壤贮存水分,CK 耗水量小于降雨量;2011 年虽然播种到拔节降雨量总量为 29.1 mm,但降雨分散,均为无效降雨(图 1),然而各处理耗水量与上一年相比并无减少,CK 甚至增加 21.04 mm,原因是受上一年小麦收获后降雨影响,2011 年播前底墒较好,仍能满足小麦这一阶段水分需求;小麦拔节到抽穗期,两年降雨量相差很大,2010 年各处理耗水量间差异不显著且均小于降雨量;2011 年此时期降雨仅 2.6 mm,PM、SM 和 CK 间耗水量差异显著,分别达 41.40、30.58、21.41 mm,远大于降雨量,需要耗散大量土壤水分,其中,PM 和 SM 分别较 CK 多消耗土壤水分 19.99 mm 和 9.17 mm,PM 对土壤水分耗散最大,SM 次之,CK 最小。小麦抽穗到扬花期,2010 年无降雨,小麦生长完全依靠土壤水分,3 种处理间耗水量差异显著,PM 和 SM 分别较 CK 多消耗土壤水分 29.36 mm 和 16.72 mm;2011 年此阶段降雨 29.00 mm,3 种处理耗水量表现为 PM > CK > SM,差异显著,PM 较 CK 多消耗土壤水分 7.36 mm。小麦扬花到成熟期,两年降雨均增多,2010 年处理间耗水量表现为 CK 显著高于 PM 和 SM,PM 和 SM 间差异不显著,且均大于降雨量,但此时段正值全年最高温阶段,蒸发强烈,CK 因地表无覆盖,显著高于 PM 和 SM 的耗水量大多因蒸发而散失,小麦仅利用一部分;2011 年处理间耗水量亦表现为 CK 显著高于 PM 和 SM,PM 和 SM 间差异不显著,但均小于降雨量,可能的原因一方面是当年小麦生长前期干旱对小麦生长造成一定的损伤,另一方面小麦部分叶片干枯,影响了此阶段小麦对水分的利用。可见,PM 和 SM 可促进小麦拔节到扬花期耗水,此阶段 PM 和 SM 耗水量分别较 CK 增加 54.93%和 31.54%,且此阶段越是干旱,促进耗水作用越明显。

表 3 不同覆盖种植方式对小麦阶段性耗水量的影响
Table 3 Effects of different planting methods on seasonal water consumption of wheat

小麦阶段性耗水量与降水量 seasonal water consumption and rainfall/mm										
年份 Year	处理 Treatment	播种-拔节 Sowing-Jointing		拔节-抽穗 Jointing-Heading		抽穗-扬花 Heading-Blooming		扬花-成熟 Blooming -Filling		总耗水量 Total water consumption /mm
		耗水量 Consumption /mm	降雨量 Rainfall /mm	耗水量 Consumption /mm	降雨量 Rainfall /mm	耗水量 Consumption /mm	降雨量 Rainfall /mm	耗水量 Consumption /mm	降雨量 Rainfall /mm	
2010	PM	74.53a	43.50	71.36a	77.20	51.93a	0.00	72.33b	63.10	275.02a
	SM	63.99b	43.50	75.16a	77.20	39.29b	0.00	77.38b	63.10	280.84a
	CK	28.21c	43.50	72.49a	77.20	22.57c	0.00	120.37a	63.10	259.40b
2011	PM	75.67a	29.10	41.40a	2.60	42.47a	29.00	41.54b	70.00	202.08a
	SM	66.62b	29.10	30.58b	2.60	35.84b	29.00	40.65b	70.00	181.01b
	CK	49.25c	29.10	21.41c	2.60	25.14c	29.00	69.56a	70.00	178.63b

2.3.2 不同覆盖种植方式对小麦水分利用效率(*WUE*)的影响

旱地不同覆盖种植方式对小麦水分利用效率(*WUE*)有显著影响(表 4)。2010 年各处理小麦阶段性水分利用效率(WUE_b)

呈抛物线型变化,均在小麦扬花期达到最大值,其中 PM 最大,SM 次之,CK 最小。PM 和 SM 因地膜覆盖的保墒作用,水分条件好于 CK,苗期小麦 WUE_b 表现为 PM 显著高于 SM 和 CK,SM 和 CK 间差异不显著。随小麦生育进程的推进,各处理 WUE_b 快速增加,进入抽穗期,小麦以生殖生长为主, WUE_b 进一步增加,扬花期前后均无有效降雨,但 WUE_b 却达最大值,PM 的 WUE_b 达到 $107.64 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$,SM 为 $103.28 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$,CK 为 $81.42 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$,PM 和 SM 处理间差异不显著,但均显著高于 CK ($P < 0.05$)。与 CK 相比,PM 的 WUE_b 在苗期、拔节期、抽穗期、扬花期和灌浆成熟期分别提高 268.59%、163.59%、85.59%、32.20% 和 100.88%,SM 分别提高 50.32%、128.55%、19.21%、26.85% 和 79.8%。

2011 年小麦生育期降雨量少于 2010 年且分布不同,小麦抽穗期前均无有效降雨, WUE_b 却在抽穗期达到最大值,PM、SM 和 CK 的 WUE_b 分别达到 $104.54 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$, $90.16 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$, $61.35 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$ 。小麦扬花期前虽有两次 12 mm 左右的降雨,但因此阶段蒸发强烈,降雨并未提高小麦 WUE_b 。随降雨逐渐增多,小麦成熟期 WUE_b 与扬花期相比有一定提高,但因降雨量少而表现为所有处理所有阶段 WUE_b 均小于上一年。与 CK 相比,PM 的 WUE_b 在苗期、拔节期、抽穗期、扬花期和灌浆成熟期分别提高 461.75%、147.12%、70.40%、50.13% 和 126.52%,SM 分别提高 92.35%、109.45%、46.96%、47.40% 和 110.09%。在 PM 和 SM 的 WUE_b 提高的前提下,小麦生长较 CK 更为旺盛,表现为 PM 和 SM 籽粒水分利用效率 (WUE_g) 显著高于 CK。可见,覆盖种植可促进本试验区小麦生长,提高作物水分利用效率,为高产奠定基础。

表 4 不同覆盖种植方式对小麦阶段性水分利用效率的影响

Table 4 Effects of different planting methods on seasonal water use efficiency of wheat

年份 Year	处理 Treatment	小麦阶段性水分利用效率 Biomass water use efficiency of wheat					籽粒水分利用效率 Grain water use efficiency
		苗期 Seeding	拔节期 Jointing	抽穗期 Heading	扬花期 Blooming	灌浆成熟期 Filling	
2010	PM	11.50a	31.21a	88.79a	107.64a	63.82a	15.14a
	SM	4.69b	27.06a	57.03b	103.28a	62.11a	14.54a
	CK	3.12b	11.84b	47.84c	81.42b	31.77b	10.68b
2011	PM	10.28a	16.73a	104.54a	11.53a	37.22a	5.19a
	SM	3.52b	14.18a	90.16b	11.32a	30.59b	5.08a
	CK	1.83c	6.77b	61.35c	7.68b	17.18c	0.64b

3 讨论与结论

早春低温可影响春性作物的种子萌发和苗期形态建成^[13]。地膜覆盖后显著的增温效果可有效解决这一问题^[14],尤其对甘肃陇中地区季节性低温有很好的缓解作用,利于作物出苗保苗^[15]。本试验条件下,小麦播种到拔节期(3月20日—5月16日),全膜覆土穴播(PM)和全沙覆盖平作(SM)0—25 cm 土层平均地温较裸地平作(CK)分别平均增加 1.8 °C 和 1.4 °C(图2);拔节到抽穗期(5月17日—6月13日),分别增加 0.8 °C 和 0.6 °C;抽穗到扬花期(6月14日—6月21日),PM 和 SM 处理无增温效应,二者 0—25 cm 土层土壤平均温度均略低于 CK。到小麦收获期,PM 和 SM 处理又表现增温效应,0—25 cm 土层土壤平均温度较 CK 分别增加 0.7 °C 和 0.9 °C,增温效果呈“挂钩型”(图2),与已有研究所示增温“U”型变化趋势有所不同^[16-17],可能的原因是覆盖方式和所在试验区域不同所致。

地膜覆盖能调控土壤水分时空再分配,使其更高效的被作物利用^[18-20]。近年国内外许多研究发现,地膜覆盖后小麦的初生根可能更发达、下扎深度达 2 m 以下,可通过根系的各种纵向和侧向运输进行水分再分配^[21],使小麦在干旱条件下获得生长必须的水分保障^[22]。本试验条件下,2010 年为平水年,2011 年为缺水年,且两年降雨分布不同(图1),但两年试验均显示,PM 和 SM 能促进小麦耗水,尤其是小麦拔节到扬花期,如此阶段遭遇干旱,PM 和 SM 能充分调动土壤贮存水分供小麦生长需要。如 2011 年小麦拔节到抽穗期降雨仅 2.6 mm,PM、SM 和 CK 耗水量分别达 41.40、30.58、21.41 mm,远大于降雨量,PM 和 SM 分别较 CK 多消耗土壤水分 19.99 mm 和 9.17 mm,PM 对土壤水分耗散最大,SM 次之,CK 最小。2010 年小麦抽穗到扬花期无降雨,小麦生长完全依靠土壤水分,PM 和 SM 分别较 CK 多消耗土壤水分 29.36 mm 和 16.72 mm;小麦扬花到成熟期,两年 CK 耗水量均显著高于 PM 和 SM,但此时段 CK 显著高于 PM 和 SM 的耗水量大多因蒸发而散失,小麦仅利用一部分(表3)。可见,PM 和 SM 可保证小麦拔节前正常生长和幼穗分化,促进小麦拔节到扬花期耗水,且此阶段越是干旱,促进耗水作用越明显。

地膜覆盖对土壤水分时空再分配的调控作用,有效地促进了土壤-作物水分的良性循环^[20,23],满足小麦生长水分需求,使小麦株高、穗长、穗数和穗粒数均增加,产量和水分利用效率显著提高^[4,24-25]。另已有研究表明,春小麦苗期干旱胁迫和水分亏缺会造成对幼穗的伤害,导致小穗数和穗粒数大幅度减少,而且拔节前穗的大小已基本定型,苗期受到严重干旱胁迫造成幼穗伤害后即使后期水分条件改善亦难以弥补因小穗数和穗粒数减少而造成的产量损失^[26]。拔节到抽穗期是小麦生理需水关键期和临界期,此期水分满足,可大幅提高产量^[27]。本试验条件下,PM 和 SM 能提高小麦苗期耗水,促进拔节后耗水,尤其是拔节到抽穗期,同时显著提高小麦苗期、拔节期和灌浆成熟期 WUE_b (表4),因而小麦小穗数、穗粒数和产量显著增加,PM 增产效

应好于 SM 且增产效应在干旱年份愈加明显(表 3)。与已有研究结果一致^[26-27],另外本研究得出 PM 增产效应在干旱年份愈加明显这一结论,但由于试验年限较短,这一结论仍需验证。

地膜覆盖后,土壤水温条件得以改善^[15],作物生育期提前,早出苗不仅对作物生长季最初干物质生产及其重要^[16],而且利于早期的穗分化及产量形成^[13,15],成熟期提前有利于同化物自营养器官向籽粒的分配和转移^[28]。本试验条件下,PM 和 SM 在增温和促进耗水作用下均使小麦早出苗,各生育期均提前,单株干重明显增加,旺盛的营养生长为小麦高产奠定了基础。PM 较 CK 增产 48.78%—857.90%,随产量显著增加,WUE 亦显著提高;SM 产量和 WUE 均显著高于 CK,但低于 PM。

References:

- [1] Wang J. The effects of spring drought on spring wheat in the semi-arid areas. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 1996, 10(3): 56-61.
- [2] Xiao G Y, Wang J. Research on progress of rainwater harvesting agriculture on the Loess Plateau of China. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(5): 1003-1008.
- [3] Li F M, Xu J Z. Rainwater-collecting eco-agriculture in semi-arid region of Loess Plateau. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2002, 10(1): 101-103.
- [4] Zhang P L, Guo T W, Hou H Z, Lü J F. Effects of different cultivation and balanced fertilization on spring wheat yield and water use efficiency in semiarid areas. *Agriculture Research in the Arid Areas*, 2012, 30(1): 132-136.
- [5] Yang Y Z, Feng Z M, Lin Y M. Wheat water balance and its distribution in Gansu province. *Geographical Research*, 2005, 24(6): 853-859.
- [6] Shi X X. Variations of soil moisture during the growth phase of main crops in Semi-arid Region in Gansu. *Journal of Arid Meteorology*, 2011, 29(4): 461-465.
- [7] Wang X Q, Li S X, Gao Y J. Effect of Plastic Film mulching on ecophysiology and yield of the spring Maize's on the arid land. *Acta Agronomica Sinica*, 1998, 24(3): 348-353.
- [8] Wang J, Li F M, Song Q H, Li S Q. Effects of plastic film mulching on soil temperature and moisture and on yield formation of spring wheat. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(2): 205-210.
- [9] Hou H Z, Lü J F, Zhang X C, Yang R P, Guo T W. Effects of film-mulched soil and bunch-seeded wheat in Semi-arid Region on soil moisture content and grain yield. *Crops*, 2010, (1): 13-15.
- [10] He C Y, Zhou X C, Du J Y, Lu Q L, Zhang L J, Zhou J, Bai B, Zhou G. Study on winter wheat yield under technology of no-tillage, bunch-planting, whole film and soil mulching during whole growth. *Research of Agricultural Modernization*, 2010, 31(6): 746-749.
- [11] Yang X M. 2009-2010 Demonstration culture of bunch-planted soil-covered wheat with full film coverage in Zhangjiachuan county. *Seed World*, 2010, (11): 33-34.
- [12] Cook H F, Valdes G S B, Lee H C. Mulch effects on rainfall interception, soil physical characteristics and temperature under *Zea mays* L. *Soil & Tillage Research*, 2006, 91(1/2): 227-235.
- [13] Chaudhary T N, Chopra U K. Effect of soil covers on growth and yield of irrigated wheat planted at two dates. *Field Crops Research*, 1983, 6: 293-304.
- [14] Wang S S, Deng G Y. A study on the mechanism of soil temperature in creasing under plastic mulch. *Scientia Agricultura Sinica*, 1991, 24(3): 74-78.
- [15] Wang H L, Zhang X C, Song S Y, Ma Y F, Yu X F, Liu Y L. Effects of whole field-surface plastic mulching and planting in furrow on soil temperature, soil moisture, and corn yield in arid area of Gansu province, Northwest China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(10): 2609-2614.
- [16] Wang J, Li F M, Li S Q, Song Q H. Effects of plastic film mulching on soil temperature and moisture and on yield formation of spring wheat. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(2): 205-210.
- [17] Li S Q, Li D F, Li F M, Bai H Y, Ling L, Wang J. Soil ecological effects of plastic film mulching in semiarid agro-ecological system. *Journal of Northwest A & F University: Natural Science Edition*, 2003, 31(5): 21-29.
- [18] Caldwell M M, Dawson T E, Richards J H. Hydraulic lift: consequences of water efflux from the roots of plants. *Oecologia*, 1998, 113(2): 151-161.
- [19] Emerman S H, Dawson T E. Hydraulic lift and its influence on the water content of the rhizosphere: an example from sugar maple, *Acer Saecharum*. *Oecologia*, 1996, 108(2): 273-278.
- [20] Wang H L, Zhang X C, Song S Y, Ma Y F, Yu X F. Regulation of whole field surface plastic mulching and double ridge-furrow planting on seasonal soil water loss and maize yield in rain-fed area of northwest Loess plateau. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(5): 917-926.
- [21] Burgess S S, Adams M A, Turner N C, Ong C K. The redistribution of soil water by tree root systems. *Oecologia*, 1998, 115(3): 306-311.
- [22] Zhang S F, Chai S X, Lin Y C, Chang L, Yang C G. Effects of plastic film mulching patterns on soil moisture and spring wheat Yields in drought years. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2011, 32(3): 368-374.

- [23] Hu F, Chen S M. Effect of film-mulching on water regulation in dryland. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2000, 21(4): 14-17.
- [24] Chen Y H, Zhang S Q, Tian H Y, Chen W. Effects of plastic mulch and manure on soil temperature and water consumption of winter wheat. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2010, 30(3): 59-63.
- [25] Dang T H, Guo D, Qi H L. Effects of wheat yield and water use under dual-mulching mode of plastic film and straw in the dryland farming. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(10): 20-24.
- [26] Wei H, Lin K, Li F M, Zhao S L, Zhang R, Yuan B Z. A study of the water compensatory effects on spring wheat in the semiarid regions. *Journal of Lanzhou University: Natural Sciences*, 1996, 32(3): 120-126.
- [27] Jin S B. *Wheat Ecology of China*. Beijing: Science Press, 1991: 345-346.
- [28] Niu J Y, Gan J W, Zhang J W, Yang Q F. Postanthesis dry matter accumulation and redistribution in spring wheat mulched with plastic film. *Crop Science*, 1998, 38(6): 1562-1568.

参考文献:

- [1] 王静. 半干旱地区春旱对春小麦生长发育的影响. *干旱区资源与环境*, 1996, 10(3): 56-61.
- [2] 肖国举, 王静. 黄土高原集水农业研究进展. *生态学报*, 2003, 23(5): 1003-1008.
- [3] 李凤民, 徐进章. 黄土高原半干旱地区集水型生态农业分析. *中国生态农业学报*, 2002, 10(1): 101-103.
- [4] 张平良, 郭天文, 侯慧芝, 吕军峰. 不同穴播种植方式与平衡施肥对旱地春小麦产量及水分利用效率的影响. *干旱地区农业研究*, 2012, 30(1): 132-136.
- [5] 杨艳昭, 封志明, 林耀明. 甘肃省小麦水分平衡及其时空分布模式. *地理研究*, 2005, 24(6): 853-859.
- [6] 史晓霞. 黄土高原半干旱区主要作物生育期土壤水分变化. *干旱气象*, 2011, 29(4): 461-465.
- [7] 王喜庆, 李生秀, 高亚军. 地膜覆盖对旱地春玉米生理生态和产量的影响. *作物学报*, 1998, 24(3): 348-353.
- [8] 王俊, 李凤民, 宋秋华, 李世清. 地膜覆盖对土壤水温和春小麦产量形成的影响. *应用生态学报*, 2003, 14(2): 205-210.
- [9] 侯慧芝, 吕军峰, 张绪成, 杨茹萍, 郭天文. 陇中半干旱区全膜覆土穴播小麦的土壤水分及产量效应. *作物杂志*, 2010, (1): 13-15.
- [10] 何春雨, 周祥椿, 杜久元, 鲁清林, 张礼军, 周洁, 白斌, 周刚. 全膜覆土免耕穴播栽培技术对冬小麦产量效应的研究. *农业现代化研究*, 2010, 31(6): 746-749.
- [11] 杨小梅. 张家川县 2009-2010 年度全膜覆土穴播小麦示范. *种子世界*, 2010, (11): 33-34.
- [14] 王树森, 邓根云. 地膜覆盖增温机制研究. *中国农业科学*, 1991, 24(3): 74-78.
- [15] 王红丽, 张绪成, 宋尚有, 马一凡, 于显枫, 柳燕兰. 旱地全膜双垄沟播玉米的土壤水热效应及其对产量的影响. *应用生态学报*, 2011, 22(10): 2609-2614.
- [16] 王俊, 李凤民, 李世清, 宋秋华. 地膜覆盖对土壤水温和春小麦产量形成的影响. *应用生态学报*, 2003, 14(2): 205-210.
- [17] 李世清, 李东方, 李凤民, 白红英, 凌莉, 王俊. 半干旱农田生态系统地膜覆盖的土壤生态效应. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2003, 31(5): 21-29.
- [20] 王红丽, 张绪成, 宋尚有, 马一凡, 于显枫. 西北黄土高原旱地全膜双垄沟播种植对玉米季节性耗水和产量的调节机制. *中国农业科学*, 2013, 46(5): 917-926.
- [22] 张淑芳, 柴守玺, 蔺艳春, 常磊, 杨长刚. 旱年份地膜覆盖模式对春小麦土壤水分和产量的影响. *中国农业气象*, 2011, 32(3): 368-374.
- [23] 胡芬, 陈尚谟. 旱地玉米农田地膜覆盖的水分调控效应研究. *中国农业气象*, 2000, 21(4): 14-17.
- [24] 陈玉华, 张岁岐, 田海燕, 陈伟. 地膜覆盖及施用有机肥对地温及冬小麦水分利用的影响. *水土保持通报*, 2010, 30(3): 59-63.
- [25] 党廷辉, 郭栋, 戚龙海. 旱地地膜和秸秆二元覆盖栽培下小麦产量与水分效应. *农业工程学报*, 2008, 24(10): 20-24.
- [26] 魏虹, 林魁, 李凤民, 赵松岭, 张荣, 原保中. 补充供水对半干旱区旱地春小麦水分亏缺的补偿效应研究. *兰州大学学报: 自然科学版*, 1996, 32(3): 120-126.
- [27] 金善宝. *中国小麦生态*. 北京: 科学出版社, 1991: 345-346.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33 ,No.18 Sep. ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Development of agroecology in USA	HUANG Guoqin, McCullough Patrick E. (5449)
Research progress on water footprint	MA Jing, PENG Jian (5458)
Analysis and evaluation of the eco-economic systems of the main crops (rice, cotton and rapeseed) in Jiangxi Province, China	SUN Weimin, OU Yizhi, HUANG Guoqin (5467)
Relationship among drought, hydraulic metabolic, carbon starvation and vegetation mortality	DONG Lei, LI Jiyue (5477)
Reviews on the ecological stoichiometry characteristics and its applications	ZENG Dongping, JIANG Liling, ZENG Congsheng, et al (5484)
Composition and fractal features of purple soil aggregates during the vegetation restoration processes in the Three Gorges Reservoir Region	WANG Yihao, GENG Yanghui, HUANG Zhonghua (5493)
Impacts of different surface covers on soil respiration in urban areas	FU Zhihong, HUYAN Jiaoqi, LI Feng, et al (5500)
Chilling sensitivities of three closely related plants with different invasiveness in South China	WANG Yutao, LI Chunmei, LI Shaoshan (5509)
The flower syndrome and pollination adaptation of desert rare species <i>Eremosparton songoricum</i> (litv.) Vass.(Fabaceae)	SHI Xiang, LIU Huiliang, ZHANG Daoyuan, et al (5516)
Competitive effect of <i>Pistia stratiotes</i> to rice and its impacts on rice yield and soil nutrients	SHEN Shicai, XU Gaofeng, ZHANG Fudou, et al (5523)
Photosynthetic physiological ecology characteristics of rare medicinal plants <i>Bletilla striata</i>	WU Mingkai, LIU Hai, SHEN Zhijun, et al (5531)
Photosynthetic responses to Solar UV radiation of <i>Gracilaria lemaneiformis</i> cultured under different temperatures and CO ₂ concentrations	YANG Yuling, LI Wei, CHEN Weizhou, et al (5538)
The effect of soil oxygen availability on greenhouse gases emission in a double rice field	QIN Xiaobo, LI Yu'e, WAN Yunfan, et al (5546)
Effects of nitrogen management on NH ₃ volatilization and nitrogen use efficiency under no-tillage paddy fields	MA Yuhua, LIU Bing, ZHANG Zhisheng, et al (5556)
Study on characteristics of net photosynthetic rate of two kinds of tree shape and Impact Factors in Korla fragrant pear	SUN Guili, XU Min, LI Jiang, et al (5565)
Effects of sand burial on growth, survival, photosynthetic and transpiration properties of <i>Agriophyllum squarrosum</i> seedlings	ZHAO Halin, QU Hao, ZHOU Ruilian, et al (5574)
Effects of using plastic film as mulch combined with bunch planting on soil temperature, moisture and yield of spring wheat in a semi-arid area in drylands of Gansu, China	WANG Hongli, SONG Shangyou, ZHANG Xucheng, et al (5580)
Study on soil aggregates stability of mulberry ridge in Rocky Desertification based on Le Bissonnais method	WANG Sanshu, HUANG Xianzhi, SHI Dongmei, et al (5589)
Effects of fertilization on nitrogen loss with different forms via runoff and seepage under <i>Phyllostachy praecox</i> stands	CHEN Peipei, WU Jiasen, ZHENG Xiaolong, et al (5599)
Characteristics of physiological groups of soil nitrogen-transforming microbes in different vegetation types in the Loess Gully region, China	XING Xiaoyi, HUANG Yimei, AN Shaoshan, et al (5608)
Effects of vegetation types on soil microbial biomass C, N, P on the Loess Hilly Area	ZHAO Tong, YAN Hao, JIANG Yueli, et al (5615)
Influence of mulching management on soil microbe and its relationship with soil nutrient in <i>Phyllostachys praecox</i> stand	GUO Ziwu, YU Wenxian, CHEN Shuanglin, et al (5623)
Effect of rainfall on the seasonal variation of soil respiration in Hulunber Meadow Steppe	WANG Xu, YAN Yuchun, YAN Ruirui, et al (5631)
Spatial heterogeneity of fine roots in a subtropical evergreen broad-leaved forest and their sampling strategy based on soil coring method	HUANG Chaochao, HUANG Jinxue, XIONG Decheng, et al (5636)
Changes of leaf traits and WUE with crown height of four tall tree species	HE Chunxia, LI Jiyue, MENG Ping, et al (5644)
Sap flow dynamics of <i>Populus alba</i> L.× <i>P.talassica</i> plantation in arid desert area	ZHANG Jun, LI Xiaofei, LI Jiangui, et al (5655)
Effects of simulated temperature increase and vary little quality on litter decomposition	LIU Ruipeng, MAO Zijun, LI Xinghuan, et al (5661)
The effects of leaf stoichiometric characters on litter turnover in an arid-hot valley of Jinsha River, China	YAN Bangguo, JI Zhonghua, HE Guangxiong, et al (5668)
Comparison of concentrations of non-structural carbohydrates between new twigs and old branches for 12 temperate species	ZHANG Haiyan, WANG Chuankuan, WANG Xingchang (5675)
Combined effects of root cutting, auxin application, and potassium fertilizer on growth, sugar:nicotine ratio, and organic potassium index of flue-cured tobacco	WU Yanhui, XUE Lixin, XU Zicheng, et al (5686)
Effects of photoperiod and high fat diet on energy intake and thermogenesis in female <i>Apodemus chevrieri</i>	GAO Wenrong, ZHU Wanlong, MENG Lihua, et al (5696)
Effects of dietary chlorogenic acid supplementation on antioxidant system and anti-low salinity of <i>Litopenaeus vannamei</i>	WANG Yun, LI Zheng, LI Jian, et al (5704)

- Responses of desert plant diversity, community and interspecific association to soil salinity gradient ZHANG Xueni, LÜ Guanghui, YANG Xiaodong, et al (5714)
- Community characteristics in a chronosequence of karst vegetation in Mashan county, Guangxi WEN Yuanguang, LEI Liquan, ZHU Hongguang, et al (5723)
- Association between environment and community of *Pinus taiwanensis* in Daiyun Mountain LIU Jinfu, ZHU Dehuang, LAN Siren, et al (5731)
- The dynamics of soil fauna community during litter decomposition at different phenological stages in the subtropical evergreen broad-leaved forests in Sichuan basin WANG Wenjun, YANG Wanqin, TAN Bo, et al (5737)
- Seasonal dynamics and content of soil labile organic carbon of mid-subtropical evergreen broadleaved forest during natural succession FAN Yuexin, YANG Yusheng, YANG Zhijie, et al (5751)
- The stoichiometric characteristics of C, N, P for artificial plants and soil in the hinterland of Taklimakan Desert LI Congjuan, LEI Jiaqiang, XU Xinwen, et al (5760)
- A preliminary investigation on the population and behavior of the Tundra Swan (*Cygnus columbianus*) in Poyang Lake DAI Nianhua, SHAO Mingqin, JIANG Lihong, et al (5768)
- Effects of nutrient enrichment and fish stocking on succession and diversity of phytoplankton community CHEN Chun, LI Sijia, XIAO Lijuan, HAN Boping (5777)
- The depositional environment and organic sediment component of Dagze Co, a saline lake in Tibet, China LIU Shasha, JIA Qinxian, LIU Xifang, et al (5785)
- Spatiotemporal variation of interacting relationships among multiple provisioning and regulating services of Tibet grassland ecosystem PAN Ying, XU Zengrang, YU Chengqun, et al (5794)
- Spatial distribution of dissolved amino acids in Lake Taihu, China YAO Xin, ZHU Guangwei, GAO Guang, et al (5802)
- RS- and GIS-based study on ecological function regionalization in the Chaohu Lake Basin, Anhui Province, China WANG Chuanhui, WU Li, WANG Xinyuan, et al (5808)
- Trends of spring maize phenophases and spatio-temporal responses to temperature in three provinces of Northeast China during the past 20 years LI Zhengguo, YANG Peng, TANG Huaqun, et al (5818)
- Species selection for landscape rehabilitation and their response to environmental factors in Poyang Lake wetlands XIE Dongming, JIN Guohua, ZHOU Yangming, et al (5828)
- Temporal and spatial pattern of the phytoplankton biomass in the Pearl River Delta WANG Chao, LI Xinhui, LAI Zini, et al (5835)
- Spatio-temporal dynamics of land use/land cover and its driving forces in Nanjing from 1995 to 2008 JIA Baoquan, WANG Cheng, QIU Erfa (5848)
- Changes of organic carbon and its labile fractions in topsoil with altitude in subalpine-alpine area of southwestern China QIN Jihong, WANG Qin, SUN Hui (5858)
- The carbon sink of urban forests and efficacy on offsetting energy carbon emissions from city in Guangzhou ZHOU Jian, XIAO Rongbo, ZHUANG Changwei, et al (5865)
- Groundwater salt content change and its simulation based on machine learning model in hinterlands of Taklimakan Desert FAN Jinglong, LIU Hailong, LEI Jiaqiang, et al (5874)
- Analysis of coordination degree between urban development and water resources potentials in arid oasis city XIA Fuqiang, TANG Hong, YANG Degang, et al (5883)
- Constructing an assessment indices system to analyze integrated regional carrying capacity in the coastal zones: a case in Nantong WEI Chao, YE Shufeng, GUO Zhongyang, et al (5893)
- Fish species diversity in Zhongjieshan Islands Marine Protected Area (MPA) LIANG Jun, XU Hanxiang, WANG Weiding (5905)
- Distribution and long-term changes of net-phytoplankton in the tidal freshwater estuary of Changjiang during wet season JIANG Zhibing, LIU Jingjing, LI Hongliang, et al (5917)
- Study of urban metabolic structure based on ecological network: a case study of Dalian LIU Gengyuan, YANG Zhifeng, CHEN Bin, et al (5926)
- Factors influencing of residents' tolerance towards wild boar in and near nature reserve: Taking the Heilongjiang Fenghuangshan Nature Reserve as the example XU Fei, CAI Tijiu, JU Cunyong, et al (5935)
- Herdsmen's willingness to participate in ecological protection in Sanjiangyuan Region, China LI Huimei, ZHANG Anlu, WANG Shan, et al (5943)
- Analysis of first flush in rainfall runoff in Shenyang urban city LI Chunlin, LIU Miao, HU Yuanman, et al (5952)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 陈利顶

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 18 期 (2013 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 18 (September, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元