

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第7期 Vol.33 No.7 **2013**

中国生态学学会
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 7 期

2013 年 4 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 线虫转型发育和寄主识别的化学通讯研究进展..... 张 宾,胡春祥,石 进,等 (2003)
- 生物物种资源监测原则与指标及抽样设计方法..... 徐海根,丁 晖,吴 军,等 (2013)

个体与基础生态

- 呼伦贝尔草原人为火空间分布格局..... 张正祥,张洪岩,李冬雪,等 (2023)
- 青藏高原草地地下生物量与环境因子的关系..... 杨秀静,黄 玫,王军邦,等 (2032)
- 1961—2010 年桂林气温和地温的变化特征 陈 超,周广胜 (2043)
- 黄泥河自然保护区狗冬季卧息地选择..... 朱洪强,葛志勇,刘 庚,等 (2054)
- 青藏高原草地植物叶解剖特征..... 李全发,王宝娟,安丽华,等 (2062)
- 青藏高原高寒草甸夏季植被特征及对模拟增温的短期响应..... 徐满厚,薛 娴 (2071)
- 高温影响番茄小孢子发育的细胞学研究..... 彭 真,程 琳,何艳军,等 (2084)
- 黄土丘陵半干旱区柠条林株高生长过程新模型..... 赵 龙,王振凤,郭忠升,等 (2093)
- 柝属 7 种植物种子的发芽抑制物质研究..... 李庆梅,刘 艳,刘广全,等 (2104)
- 水分胁迫和杀真菌剂对黄顶菊生长和抗旱性的影响..... 陈冬青,皇甫超河,刘红梅,等 (2113)
- 铜尾矿废弃地与相邻生境土壤种子库特征的比较..... 沈章军,欧祖兰,田胜尼,等 (2121)
- 云雾山典型草原火烧不同恢复年限土壤化学性质变化..... 李 媛,程积民,魏 琳,等 (2131)
- 根系分区交替灌溉条件下水肥供应对番茄果实硝酸盐含量的影响..... 周振江,牛晓丽,李 瑞,等 (2139)
- 喀斯特山区土地利用对土壤团聚体有机碳和活性有机碳特征的影响..... 李 娟,廖洪凯,龙 健,等 (2147)
- 自生固氮菌活化土壤无机磷研究..... 张 亮,杨宇虹,李 倩,等 (2157)
- 德国鳶尾对 Cd 胁迫的生理生态响应及积累特性 张呈祥,陈为峰 (2165)
- 施污土壤重金属有效态分布及生物有效性..... 铁 梅,宋琳琳,惠秀娟,等 (2173)
- 基于叶面积指数改进的直角双曲线模型在玉米农田生态系统中的应用..... 孙敬松,周广胜 (2182)
- 中稻田三种飞虱的捕食性天敌优势种及农药对天敌的影响..... 林 源,周夏芝,毕守东,等 (2189)

种群、群落和生态系统

- 珠江口超微型浮游植物时空分布及其与环境因子的关系..... 张 霞,黄小平,施 震,等 (2200)
- 输水前后塔里木河下游物种多样性与水因子的关系..... 陈永金,刘加珍,陈亚宁,等 (2212)
- 南海西北部陆架区鱼类的种类组成与群落格局..... 王雪辉,林昭进,杜飞雁,等 (2225)
- 滇西北高原碧塔湖滨沼泽植物群落分布与演替 韩大勇,杨永兴,杨 杨 (2236)
- 石羊河下游白刺灌丛演替过程中群落结构及数量特征..... 靳虎甲,马全林,何明珠,等 (2248)

资源与产业生态

- 土壤深松和补灌对小麦干物质生产及水分利用率的影响..... 郑成岩,于振文,张永丽,等 (2260)

豆科绿肥及施氮量对旱地麦田土壤主要肥力性状的影响..... 张达斌,姚鹏伟,李 婧,等 (2272)

沟壑全覆盖种植方式对旱地玉米生长及水分利用效率的影响..... 李 荣,侯贤清,贾志宽,等 (2282)

城乡与社会生态

北京北护城河河岸带的温湿度调节效应 吴芳芳,张 娜,陈晓燕 (2292)

西安太阳总辐射时空变化特征及对城市发展的响应..... 张宏利,张纳伟锐,刘敏茹,等 (2304)

研究简报

安徽琅琊山大型真菌区系多样性..... 柴新义,许雪峰,汪美英,等 (2314)

中国生态学会 2013 年学术年会征稿通知 (2320)

第七届现代生态学讲座、第四届国际青年生态学者论坛通知 (I)

中、美生态学会联合招聘国际期刊主编 (i)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 318 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-04



封面图说: 金灿灿的小麦熟了——小麦是世界上最早栽培的农作物之一,是一种在世界各地广泛种植的禾本科植物,起源于中东地区。全世界大概有 43 个国家,近 35%—40% 的人口以小麦为主要粮食。小麦是禾谷类作物中抗寒能力较强的越冬作物,具有一定的耐旱和耐盐碱能力。中国的小麦分布于全国各地,主要集中于东北平原、华北平原和长江中下游一带。小麦秋季播种、冬季生长、春季开花、夏季结实。子粒含有丰富的淀粉、较多的蛋白质、少量的脂肪,还有多种矿物质元素和维生素 B,是一种营养丰富、经济价值较高的粮食。

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/stxb201112081884

李荣, 侯贤清, 贾志宽, 韩清芳, 王敏, 杨宝平, 丁瑞霞, 王俊鹏. 沟垄全覆盖种植方式对旱地玉米生长及水分利用效率的影响. 生态学报, 2013, 33(7): 2282-2291.

Li R, Hou X Q, Jia Z K, Han Q F, Wang M, Yang B P, Ding R X, Wang J P. Effects of planting with ridge and furrow mulching on maize growth, yield and water use efficiency in dryland farming. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(7): 2282-2291.

沟垄全覆盖种植方式对旱地玉米生长 及水分利用效率的影响

李 荣^{1,2}, 侯贤清^{1,2}, 贾志宽^{1,2,*}, 韩清芳^{1,2}, 王 敏³, 杨宝平^{1,2},
丁瑞霞^{1,2}, 王俊鹏^{1,2}

(1. 西北农林科技大学中国旱区节水农业研究院, 杨凌 712100;

2. 农业部西北黄土高原旱地作物生理生态与耕作重点实验室, 杨凌 712100;

3. 宝鸡市农业技术推广中心, 宝鸡 721001)

摘要: 2008—2010 年在渭北旱塬区, 以沟不覆盖为对照 (CK), 研究垄上覆地膜沟内分别覆普通地膜 (PP)、生物降解膜 (PB)、玉米秸秆 (PS) 和液体地膜 (PL) 4 种沟垄全覆盖种植模式对土壤水温、玉米生长、产量及水分利用效率的影响。结果表明, 在玉米生长前期, PP、PB 和 PS 处理可明显提高 0—200 cm 土壤蓄水量; 生育中期, PS 处理蓄水保墒效果最为显著; 生育后期, 各沟垄全覆盖处理与对照的土壤蓄水量无显著差异; 整个生育期 PL 处理与 CK 的土壤蓄水量差异不显著。PP 和 PB 处理 3a 玉米生育期 5—25 cm 平均土壤温度分别较 CK 增高 1.6 °C 和 1.3 °C, PS 处理降低 1.9 °C, 而 PL 处理与 CK 无显著差异。PP 和 PB 的增温保水效应使玉米株高、叶面积及地上生物量均高于 CK; PS 处理的降温效应促进玉米中后期生长, 其株高、叶面积及地上生物量均高于 CK; PL 处理对玉米各生长指标影响不显著。与 CK 相比, PP、PB 和 PS 处理 3a 平均的籽粒产量分别提高 13.0%、13.8% 和 15.0%, 水分利用效率分别提高 9.8%、10.2% 和 11.6%。可见, 垄覆地膜沟覆地膜、生物降解膜或秸秆的沟垄全覆盖种植可明显改善土壤的水温状况, 促进玉米生长, 从而显著提高作物产量和水分利用效率, 对渭北旱塬区春玉米丰产栽培具有重要指导意义。

关键词: 沟垄全覆盖; 土壤水温; 作物生长; 春玉米产量; 水分利用效率

Effects of planting with ridge and furrow mulching on maize growth, yield and water use efficiency in dryland farming

LI Rong^{1,2}, HOU Xianqing^{1,2}, JIA Zhikuan^{1,2,*}, HAN Qingfang^{1,2}, WANG Min³, YANG Baoping^{1,2}, DING Ruixia^{1,2}, WANG Junpeng^{1,2}

1 The Chinese Institute of Water-saving Agriculture, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100, China

2 Key Laboratory of Crop Physi-ecology and Tillage Science in Northwestern Loess Plateau, Ministry of Agriculture, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100, China

3 Agro-technique Extension Center, Baoji, Shaanxi 721001, China

Abstract: From 2008—2010, we conducted a field experiment in the Weibei Highlands to determine the effects of planting with ridge and furrow mulching on the soil water and temperature, and the maize growth, yield, and water use efficiency. Ridges were covered with plastic film in all treatments, while furrows were mulched with plastic film (PP), biodegradable

基金项目: 国家“十一五”科技支撑课题 (2006BAD29B03); 国家“十二五”科技支撑课题 (2012BAD09B03)

收稿日期: 2011-12-08; **修订日期:** 2012-04-24

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhikuan@tom.com

film (PB), corn straw (PS), or liquid film (PL). In the control treatment (CK), ridges were covered with standard plastic film, while furrows received no mulching. The three-year trial showed that, during the early maize growth stage, the soil water storage (0—200 cm) was significantly higher with the PP, PB, and PS treatments compared with CK. The three-year average water storage increased by 14.1, 17.9, and 22.2 mm compared with CK. Our analysis of the vertical distribution of the soil water content in the 0—200 cm soil profile showed that the soil water content at the 0—20 cm and 100—200 cm depth were higher with PP, PB, and PS compared with CK. The effect of PS on water conservation was the highest during the middle growth stage, while the three-year average water storage was 16.9 mm higher with the PS treatment than CK. However, the soil storage with PP and PB was significantly lower than CK in 2008 and 2009. Compared with CK, the soil water content with PP and PB increased significantly at the 0—200 cm depth, whereas it decreased at the 80—180 cm depth. There were no significant differences among the mulching treatments during the later growth stage. Soil water storage was slightly higher with PL than CK, while there were no differences in soil water storage between the two treatments during the entire maize growing season. The three-year mean soil temperatures (5—25 cm) with the PP and PB treatments were 1.6 °C and 1.3 °C higher than CK, respectively, whereas the PS treatment was 1.9 °C lower than CK. However, there was no significant difference in the soil temperature with the PL treatment and CK during the maize growing season. The water retention and temperature-raising effects of the PP and PB treatments increased the plant height, leaf area, and aboveground biomass by 2.3% and 2.4%, 30.9% and 29.9%, and 15.5% and 13.9%, compared with CK, respectively, while the maize growing period was reduced by 5—6 d. The cooling effect of the PS treatment also increased the plant height, leaf area, and aboveground biomass by 7.0%, 34.6%, and 6.5% compared with CK, respectively, although the growing period was extended by 4—5 d. There was no difference between the maize growth indices of the PL treatment and CK during the entire maize growing period. PP, PB, and PS produced a higher maize yield and water use efficiency throughout the experimental period. Compared with CK, the PP, PB, and PS treatments increased the three-year mean maize yields by 13.0%, 13.8%, and 15.0%, with water use efficiency improvements of 9.8%, 10.2%, and 11.6%, respectively. Therefore, covering ridges with plastic film and mulching furrows with plastic film, biodegradable film, or corn straw, greatly improved the soil water and temperature status, promoted maize growth, and significantly increased the crop yield and water use efficiency. These results may have important implications for maize production in the Weibei Highlands, China.

Key Words: planting with ridge and furrow mulching; soil water and temperature; crop growth; spring maize yield; water use efficiency

沟垄集雨系统是一种集水农业技术,即在田间修筑沟垄,垄面覆膜沟内种植作物的方式,具有较好的集雨、蓄水保墒效果,且一次起垄多年不变、易于推广,已成为旱区农业主要的节水措施之一^[1]。但近几十年由于气候变暖、水污染状况日益加剧等原因,水资源日益紧缺。因此,如何以现有节水措施为基础更大幅度地提高有限降雨的利用效率、维持整个水资源的可持续利用和区域平衡已成为节水农业的主要课题^[2]。

垄上覆盖地膜的沟垄集雨系统可使当季无效和微效降水形成径流,叠加到种植沟内,且覆盖可抑制膜下土壤水分的无效蒸发,促进降雨入渗,改善作物根区土壤水分的供应状况,进而提高作物的产量和水分利用效率^[3-5]。关于沟垄集雨技术的研究已有不少报道。王俊鹏等在宁南国家旱农试验区研究表明^[6-9],当垄沟均为 60 cm 时,与平作对照相比,小麦、玉米、谷子、豌豆、糜子分别增产 80.8%、69.8%、83.6%、77.1% 和 37.2%;在定西半干旱雨养农业区采用微集水种植技术,可使春小麦产量提高 34.4%—58.8%^[10]。李小雁等^[11]认为,在沟垄比适宜的条件下,集雨系统不仅提高了土壤温度和养分利用效率,而且显著提高了作物的产量和水分利用效率。王琦等^[12-14]的研究结果也表明,沟垄集雨种植能够较好地提高降水利用率和作物产量。然而,这些研究均是以垄上覆膜沟内不覆盖种植为对象。垄上覆膜沟内不覆盖集雨种植模式在一定程度

上提高了降雨利用效率和作物产量^[11,15],但沟内不覆盖在利用自然降水、提高作物水分利用率方面受到一定的限制,进一步提高作物生产水平仍具有较大潜力。因此,在沟垄集雨模式下进行沟内覆盖可抑制土壤水分蒸发,对进一步提高降水利用率将具有重要意义。目前,关于沟垄全覆盖集雨种植模式的研究较少。

针对渭北旱塬区年降水量少、季节分布不均,特别是玉米生育期干旱问题,从改善旱地玉米生长环境及提高降水的高效利用出发,本研究将垄上覆盖集雨与沟内覆盖保水相结合,通过垄上覆盖普通地膜沟内覆盖普通地膜、生物降解膜、秸秆及液体地膜 4 种材料,以垄上覆膜沟内不覆盖种植为对照,研究不同沟垄种植模式对土壤水温、玉米生长及水分利用效率的影响,为完善集雨种植栽培技术提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2008—2010 年在陕西省合阳县旱作农业试验站(北纬 35°15′,东经 110°18′,海拔 910 m)进行,该区年平均降雨量为 550 mm,其中 65% 的降雨集中在 7—9 月份。年平均温度为 10.5℃,总平均日照时数为 2 528 h,无霜期 169—180 d。试验期间月降雨量分布如表 1。2008—2010 年总降雨量分别为 469.6、499.6 和 515.2 mm,3a 玉米播前 30 d 降雨量分别为 25.7、16.9 和 17.4 mm,生育期降雨量分别为 330.3、378.8 和 390.7 mm。试验地为平地,土壤为中壤质垆土,pH 值为 8.1。在 0—20 cm 土层,有机质、全氮、全磷和全钾含量分别为 10.9、0.8、0.6 和 7.1 g/kg,碱解氮、速效磷和速效钾含量分别为 74.4、23.2 和 135.8 mg/kg。2008 年试验前茬作物为春玉米。

表 1 2008—2010 年试验地的月降雨量分布

Table 1 Distribution of monthly precipitation at the experimental site during 2008—2010

年份 Year	月降雨量 Monthly precipitation/mm												玉米生育期降雨量 Rainfall in maize growing period/mm
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2008	29.1	8.3	13	31.9	23.5	105.7	54.4	123.5	65.2	15	0.0	0.0	330.3
2009	0.0	23.3	19.8	12.8	136.5	46.8	46.6	96.8	52.4	24.8	37.4	2.4	378.8
2010	0.0	20.8	10.9	40.3	44.3	56.7	127.2	123.4	70.2	21.4	0.0	0.0	390.7
30a 平均 30a avg.	5.6	9.3	19.6	31.2	44.1	57.4	111.9	114.7	77.3	46.7	15.3	5.2	380.0

1.2 试验设计与大田管理

将土壤表面改变为交替的沟垄集雨系统,沟垄均宽 60 cm,垄高 15 cm,垄上均覆盖塑料地膜,沟内覆塑料地膜(PP)、生物降解膜(PB)、液体地膜(PL)、秸秆(PS)和沟内不覆盖(CK),共 5 个处理。玉米种于沟内垄两侧,株距 30 cm。每处理 3 次重复,小区面积为 8.1 m×3.6 m,随机排列。

播种前 30 d,修筑沟垄,将基肥(N 150 kg/hm²、P₂O₅ 150 kg/hm² 和 K₂O 150 kg/hm²)均匀散在沟内,翻入土壤,然后进行覆盖。垄上均覆盖普通地膜(80 cm 宽,8 μm 厚,来自于陕西运城塑料厂)。PP 和 PB 处理沟内分别覆盖普通地膜和生物降解膜(80 cm 宽,8 μm 厚,由陕西华宇生物科技有限公司提供)。玉米秸秆被切成 15 cm 长,以 9000 kg/hm² 的覆盖量均匀覆于 PS 区沟内,液体地膜(北京金尚禾生物有限公司生产)按产品:水为 1:5 稀释,以公司推荐的 450 L/hm² 的总量用手动喷雾器喷施于 PL 区沟内土壤表面。

春玉米(豫玉 22)于 2008 年 4 月 15 日、2009 年 4 月 26 日和 2010 年 4 月 25 日播种,密度为 55558 株/hm²。在 7 月下旬分别追施 N 肥 150 kg/hm²。于 2008 年 9 月 5 日、2009 年 9 月 18 和 2010 年 9 月 17 日收获。当季作物收获后保持沟垄结构,来年继续使用。试验期间进行人工除草。

1.3 取样与测定

1.3.1 土壤水分测定

2008—2010 年,采用土钻取土法分别测定播种期(0 d)、拔节期(45—50 d)、抽雄期(85—90 d)、灌浆期(105—110 d)和收获期(135—140 d)种植沟内 0—200 cm 土层土壤含水量,以 20 cm 为间隔。播种前根据

Robertson^[16]测定土壤容重,并计算 0—200 cm 土层土壤蓄水量^[17]。

1.3.2 土壤温度测定

2008—2010 年,用曲管水银温度计从播种到收获期测定 08:00、14:00 和 20:00 土壤 5、10、15、20 和 25 cm 处的温度,3 次读数的平均值作为日均土壤温度,间隔为 10 d。

1.3.3 玉米生长测定

记录 2008—2010 年玉米生育进程。从播后 30 d 开始至收获期,以 30 d 为间隔,每小区选 5 株有代表性的长势基本一致的植株挂牌标记,测定其株高和叶面积,同时选 3 株有代表性的长势基本一致的植株,杀青、烘干,测定其地上部生物量。

1.3.4 籽粒产量及其构成要素

玉米成熟后收获中间两行(宽 0.6 m,长 8.1 m)测产,取有代表性的样穗 20 穗进行室内考种,考察穗长、穗粗、穗粒数和百粒重等指标。

1.3.5 水分利用效率^[18]

$$WUE = Y / ET$$

式中, WUE 为水分利用效率, Y 为籽粒产量, ET 为玉米生育期耗水量^[19]。

1.4 统计分析

用 SAS 进行方差分析,SSR (Duncan) 法用来检测各处理间平均差异。当 $P < 0.05$ 时认为统计上差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同沟垄覆盖处理 0—200 cm 土层土壤水分状况

2.1.1 0—200 cm 土层土壤水分时间动态变化

3a 试验期间,不同生育期各覆盖处理的土壤水分与对照(沟不覆盖处理)存在明显差异(表 2)。玉米生长前期(播后 0—60 d),地面裸露面积较大,土壤水分以棵间蒸发为主,沟垄全覆盖处理能有效抑制土壤水分蒸发,使土壤蓄水量明显高于对照,抑蒸效果以 PS 处理最好,PP 和 PB 处理次之。该时期 PP、PB 和 PS 处理 3 年平均 0—200 cm 土层土壤蓄水量分别较 CK 增加 9.1、10.2 和 16.5 mm;生育中期(60—120 d),玉米进入旺盛生长阶段,作物蒸腾耗水加大,各处理土壤水分降至最低且差异较大。该时期 PS 处理 3 年平均土壤蓄水量较 CK 显著增加 16.9 mm;PP 和 PB 处理的土壤蓄水量在 2008 和 2009 年分别平均较 CK 显著降低 11.8 和 10.7 mm,而 2010 年与 CK 处理差异不显著,这可能与该时期降雨量有关(2008 年 148.2 mm、2009 年 89.0 mm 和 2010 年 232.6 mm)。生育后期(120—140 d),作物耗水减少,各沟垄全覆盖处理与对照差异均不显著。整个生育期 PL 处理土壤蓄水量略高于 CK,但差异不显著。

2.1.2 0—200 cm 土层土壤水分垂直变化

不同年份因降雨量及其分布不同,各覆盖处理在不同时期 0—200 cm 土壤水分的垂直分布不同,而同一时期各覆盖处理的变化趋势相似(图 1)。生育前期(0—60 d),PS 处理 0—200 cm 各土层平均土壤含水量均显著高于 CK,PP 和 PB 处理 0—20 cm 和 100—200 cm 含水量显著高于 CK。玉米生育中期(60—120 d),2008 和 2009 年土壤水分垂直变化趋势较为相似,PP 和 PB 处理下 0—20 cm 层土壤水分高于 CK。然而,在 80—180 cm 层显著低于 CK,且这种趋势在该阶段降雨最少的 2009 年最为明显(图 1)。

2008 年 PP 和 PB 处理 80—180 cm 层平均土壤含水量分别较 CK 降低 5.1% 和 5.4%;2009 年分别降低 9.4% 和 9.3%。在 2010 年,土壤水分分布不同于 2008 和 2009 年,PP 和 PB 处理各土层土壤水分与 CK 无显著差异;3a 研究期间,该时期 PS 处理各层土壤含水量均高于 CK。在生长后期(120—140 d),土壤水分年际间垂直变化随后期降雨量的增加而增加,各处理 0—100 cm 土壤含水量较生育中期明显增加,且以 PP、PB 和 PS 处理 0—20 cm 土壤含水量增幅较大。整个生育期 PL 处理各层土壤含水量与 CK 无显著差异(图 1)。

表 2 2008—2010 年玉米生长期不同处理 0—200 cm 土层土壤贮水量

Table 2 Soil water storage in 0—200 cm soil profile at maize growing period under different treatments during 2008—2010

年份 Year	处理 Treatment	生长期土壤贮水量 Crowing season soil water storage/mm				
		0 d	60 d	90 d	120 d	140 d
2008	PP	520.1a	488.3b	465.4c	364.9c	413.9a
	PB	521.1a	488.1b	464.8c	365.7c	412.2a
	PS	520.8a	495.12a	493.2a	389.8a	417.0a
	PL	504.2b	478.4c	475.8b	377.8b	414.0a
	CK	506.2b	474.3c	475.1b	376.6b	420.8a
2009	PP	442.0b	510.6ab	429.5c	340.0c	402.7b
	PB	441.1b	512.8a	430.5c	343.1c	401.0b
	PS	451.7a	515.1a	459.1a	371.5a	413.0a
	PL	438.8c	507.1ab	441.9b	360.2b	411.7a
	CK	432.9c	502.6b	439.3b	355.9b	405.9ab
2010	PP	446.6b	440.0b	411.2b	421.3b	418.0a
	PB	446.7b	444.3b	411.2b	421.6b	416.3a
	PS	458.2a	451.0a	427.4a	438.3a	426.8a
	PL	442.8b	432.4c	409.4b	424.0b	422.3a
	CK	443.0b	434.2c	409.1b	421.5b	418.1a
3a 平均 3a avg.	PP	469.6b	479.6b	435.4c	375.4c	411.5a
	PB	469.6b	481.7b	435.5c	376.8c	409.8a
	PS	476.9a	487.1a	459.9a	399.9a	418.9a
	PL	461.9c	472.6c	442.4b	387.3b	416.0a
	CK	460.7c	470.4c	441.2b	384.7b	414.9a

相同年份同一列不同小写字母表示不同处理下差异达显著水平 ($P < 0.05$) ; PP: 沟内覆塑料地膜; PB: 生物降解膜; PL: 液体地膜; PS: 秸秆; CK: 沟内不覆盖

2.2 不同沟垄集雨种植下 5—25 cm 土层平均土壤温度

图 2 为 2008—2010 年玉米各生育时期 5—25 cm 处的土壤平均温度。研究期间,在 0—90 d,不同处理对土壤温度的影响效果显著,PP 和 PB 处理 3a 平均土壤温度分别较 CK 增高 1.6 °C 和 1.3 °C,PS 处理较 CK 降低 1.9 °C,而 PL 处理土壤温度略高于 CK,差异不显著。90 d 以后,PS 处理的土壤温度显著低于 CK 处理 0.8 °C,其它各处理与 CK 无显著差异。PL 处理在前期略高于 CK,其它各时期与 CK 无显著差异。

2.3 不同沟垄覆盖处理对玉米株高、叶面积及地上生物量的影响

由表 3 可知,不同沟垄集雨处理对玉米关键生育时期的生长产生一定的影响。PP 和 PB 处理主要促进玉米前中期生长,而 PS 处理促进玉米中后期生长,PL 处理整个生育期玉米各生长指标均略高于 CK,但差异不显著。在播后 50 和 90 d,PP 和 PB 处理玉米株高均显著高于 CK,而在 140 d 略高于 CK,但差异不显著。PS 处理玉米株高在 50 d 显著低于 PP 和 PB 处理,与 CK 无显著差异,但随生育期的推进,其株高超过 PL 和 CK 处理,与 PP 和 PB 处理差异不显著(2008 年)或显著高于其它各处理(2009 和 2010 年)。PP、PB 和 PS 处理 3a 平均最大株高(140 d)分别较 CK 增高 2.3%、2.4% 和 7.0%。PL 处理整个生育期玉米株高略高于 CK,差异不显著。

不同处理对叶面积的影响与株高相似。PP 和 PB 处理各时期玉米叶面积均显著高于 CK;PS 处理玉米叶面积在播后 50 d 与 CK 无显著差异,但在中后期(90 d 和 140 d)叶面积最大,均显著高于其它处理。PP、PB 和 PS 处理 3a 平均最大单株叶面积(90 d)分别较 CK 增加 30.9%、29.9% 和 34.6%。PL 处理整个生育期玉米叶面积略高于 CK,但差异不显著。

不同沟垄集雨处理显著影响玉米地上部生物量,PP 和 PB 处理下玉米生物量在各时期均显著高于 CK,PS 处理下玉米生物量在 50 d 与 CK 无显著差异,但 90 d 后显著高于 CK,PP、PB 和 PS 处理 3a 平均最大生物

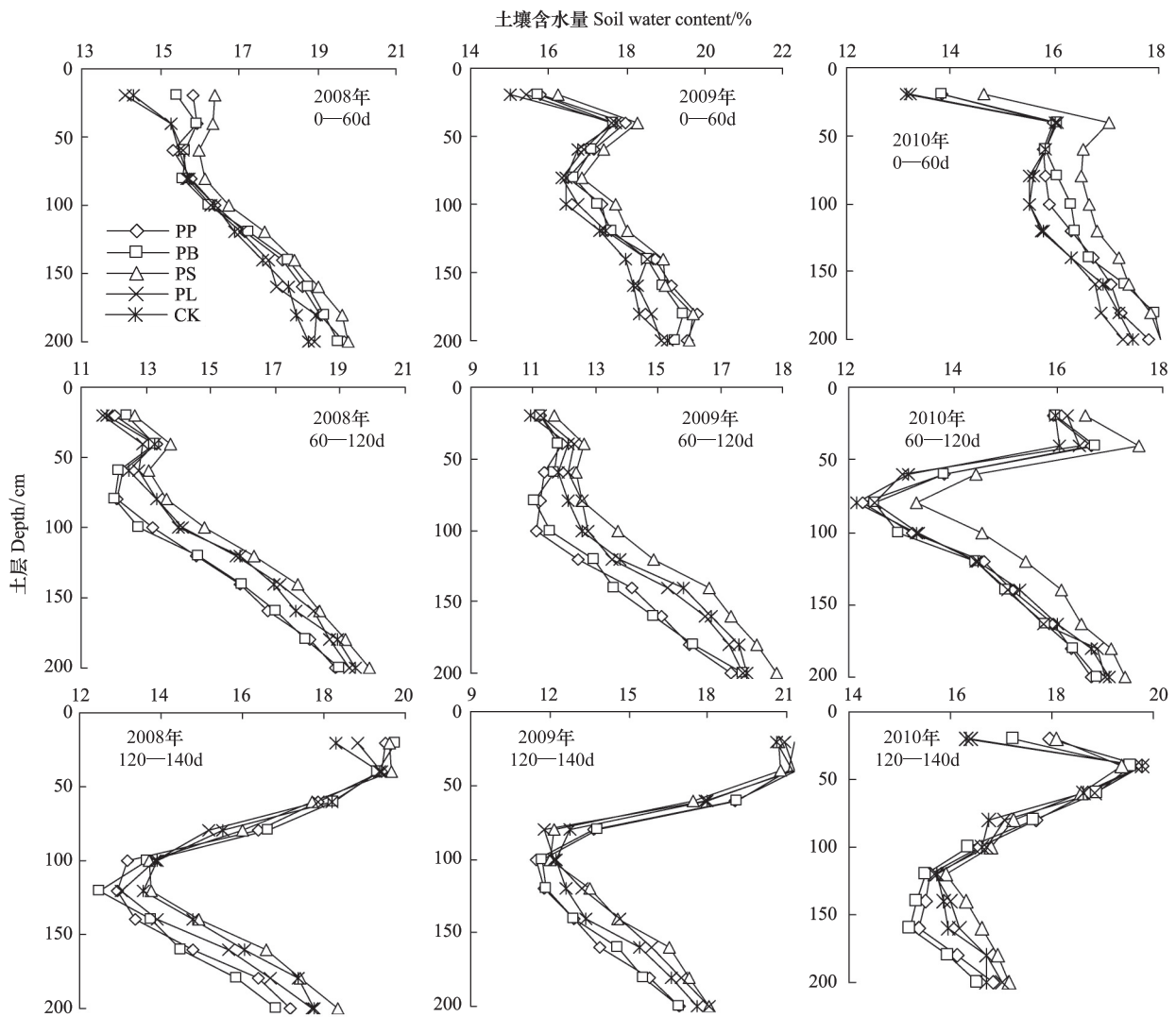


图 1 2008—2010 年玉米生长阶段不同处理 0—200 cm 土层土壤水分含量

Fig. 1 The soil water content (0—200 cm) at maize growing stages for different treatments during 2008—2010

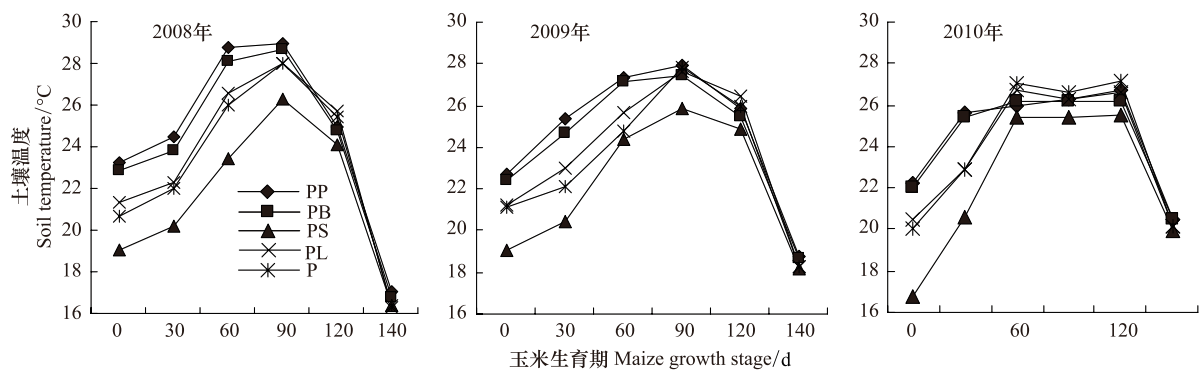


图 2 2008—2010 年玉米生长期不同处理 5—25 cm 平均土壤温度

Fig. 2 Mean soil temperature (5—25 cm) under different treatments in maize growing period during 2008—2010

量(140 d)分别较 CK 增加 15.5%、13.9% 和 6.5%。而 PL 处理整个生育期玉米生物量与 CK 差异不显著。

表 3 不同降雨量和种植方式对株高、叶面积及地上生物量的影响

Table 3 Effects of different treatments on plant height, leaf area and aboveground biomass

年份 Year	处理 Treatment	株高/cm Plant height			叶面积/(cm ² /株) Leaf area			地上生物量/(g/株) Aboveground biomass		
		50 d	90 d	140 d	50 d	90 d	140 d	50 d	90 d	140 d
2008	PP	59.8a	253.4a	260.3a	1913.0a	7797.6a	3795.2b	47.3a	198.0a	475.2a
	PB	54.0a	250.8a	258.7a	1866.6a	7810.2a	3836.7b	45.1a	215.0a	467.5a
	PS	39.9b	247.0a	260.4a	1433.9c	7933.9a	4044.6a	20.3b	157.0b	434.5ab
	PL	41.4b	239.8b	255.5ab	1651.4b	6081.3b	3789.0b	26.3b	147.0b	418.2b
	CK	41.4b	237.1b	254.6b	1641.7b	5871.0b	3667.4c	23.8b	135.0b	416.2b
2009	PP	56.7a	256.6a	262.6b	2106.8a	8194.9a	3581.5b	64.5a	261.0a	458.7a
	PB	55.2a	258.2a	264.0b	2065.5a	8111.5a	3656.8b	72.0a	268.0a	452.1a
	PS	45.6b	258.0a	270.6a	1748.4b	8466.8a	3875.3a	40.7b	191.4b	423.0a
	PL	46.0b	244.8b	259.8bc	1776.7b	6435.4b	3484.8bc	45.5b	182.3b	395.5b
	CK	45.8b	243.7b	256.0c	1654.9b	6196.5b	3459.5c	37.0b	174.4b	377.9b
2010	PP	64.2a	253.6b	260.0b	2389.3a	8463.8b	3688.4bc	69.0a	278.1a	468.6a
	PB	65.8a	254.0b	261.0b	2284.3a	8342.3b	3746.7b	63.0a	272.0a	462.6a
	PS	54.1b	280.0a	288.0a	2092.4b	8751.5a	3959.9a	40.6b	192.0b	434.8b
	PL	49.3bc	248.4c	256.0c	1983.7b	6894.5c	3636.9bc	36.3b	168.5b	421.3b
	CK	47.8c	246.4c	255.0c	1745.3c	6634.5c	3563.5c	37.0b	162.7b	419.7b
3a 平均	PP	60.2a	254.5b	261.0b	2136.4a	8152.1b	3688.4bc	60.3a	245.7a	467.5a
3a avg.	PB	58.3a	254.3b	261.2b	2072.1a	8088.0b	3746.7b	60.0a	251.7a	460.7a
	PS	46.5b	261.7a	273.0a	1758.2b	8384.1a	3959.9a	33.9b	180.1b	430.8b
	PL	45.6b	244.3c	257.1c	1803.9b	6470.4c	3636.9bc	36.0b	165.9b	411.7b
	CK	45.0b	242.4c	255.2c	1680.6c	6234.0c	3563.5c	32.6b	157.4b	404.6b

2.4 不同沟垄覆盖处理对玉米产量和水分利用效率的影响

不同沟垄覆盖方式可显著影响玉米的产量及构成(表4),玉米产量以2008年最高,2009年最低,各处理玉米产量顺序为PS>PB>PP>PL>CK。PP、PB和PS处理3a平均玉米产量分别较CK显著增加1252.1 kg/hm²(13.0%)、1330.8 kg/hm²(13.8%)和1423.9 kg/hm²(15.0%)。沟垄全覆盖处理能显著增产,其主要原因是明显增加玉米的百粒重和穗粒数,PP、PB和PS处理3a平均百粒重分别较CK提高9.4%、10.5%和11.6%;穗粒数分别提高13.0%、13.8%和14.8%。对于穗长,以PS处理最高,PB和PP处理次之,3a平均分别较CK提高10.0%、5.2%和4.8%。而穗粗以PB处理最高,其次为PP、PS处理,3a平均分别较CK提高4.0%、2.2%和1.6%。3a研究期间,PL处理下玉米产量及构成均略高于CK处理,但无显著差异。

不同处理对0—200 cm土层土壤水分利用状况不同,从而对玉米耗水量和水分利用效率产生显著影响(表4)。各覆盖处理玉米耗水量随产量的增加而增加,其中PP、PB和PS处理与CK处理差异显著,3a平均较CK分别增加12.3、14.1 mm和12.2 mm。水分利用效率(WUE)的变化规律与产量相似,各集雨覆盖处理的WUE均显著高于沟内不覆盖处理(CK)。PP、PB和PS处理3a平均WUE较CK分别增加2.3 kg·hm⁻²·mm⁻¹(9.8%)、2.4 kg·hm⁻²·mm⁻¹(10.2%)和2.7 kg·hm⁻²·mm⁻¹(11.6%)。

3 讨论

3.1 土壤水温状况

在旱作区一项重要的措施是减少土壤水分的蒸发,而沟垄集雨种植可有效阻止土壤水分蒸发,有助于土壤蓄水,从而改善农田的水分状况^[1]。申丽霞等^[20]认为,与露地栽培相比,可降解地膜和普通地膜覆盖使玉米三叶期至大喇叭口期0—40 cm的土壤水分含量明显提高。研究发现,PP和PB玉米生育前期土壤含水量显著高于对照,而在中后期显著低于(2008和2009年)对照或持平(2010年),这可能跟PP和PB处理下玉米生长较快,对下层水分消耗较多有关。结果表明,PS处理对春玉米全生育期的土壤水分均有抑制无效蒸发

的效果,可使 0—200 cm 土层土壤保持较高的贮水量。不同覆盖措施对土壤温度的影响效果随气候条件和覆盖材料的不同而不同^[21]。在本研究中,PP 处理生育期 5—25 cm 土壤温度均最高,这是由于地膜覆盖阻止了土壤和空气间的水分交换,降低了土壤和空气间的热通量和热交换^[22]。PB 处理下土壤温度低于 PP 处理,这跟地膜的透光性优于生物降解膜有关^[23]。秸秆覆盖的土壤表面比裸地有较高的反射率和较低的热传导性,降低了到达地面的热量,从而降低了土壤温度^[24]。PS 处理下土壤温度显著低于 CK。PL 处理土壤温度与 CK 无显著差异,这可能与液体地膜喷施后成膜效果较差,且易受外界环境条件使其受损有关^[25]。

表 4 不同处理对玉米产量及水分利用效率的影响

Table 4 Effects of different treatments on maize yields and water use efficiency (WUE)

年份 Year	处理 Treatment	产量 Yield /(kg/hm ²)	穗长 Ear length /cm	穗粗 Ear diameter /cm	百粒重 100-grain weight/g	穗粒数 Number of grains per ear	耗水量 ET /mm	水分利用效率 WUE /(kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹)
2008	PP	11792.0a	21.6b	5.60ab	38.5a	646.5a	436.5a	27.0a
	PB	11847.0a	21.6b	5.66a	39.0a	651.2a	439.3a	27.0a
	PS	11517.0a	22.7a	5.55ab	38.3a	633.2a	434.1a	26.5ab
	PL	10560.0b	20.8c	5.52ab	37.9a	584.4b	420.5b	25.1b
	CK	10401.3b	20.4cd	5.42bc	37.8a	574.7bc	415.6b	25b
2009	PP	10103.9a	21.0ab	5.45ab	35.2bc	620.5a	418.1a	24.2a
	PB	10194.2a	21.2ab	5.50a	35.7ab	629.5a	418.8a	24.3a
	PS	10568.3a	21.5a	5.40ab	36.5a	635.3a	417.5a	25.3a
	PL	9244.1b	20.5bc	5.39ab	34.5cd	591.3b	405.9b	22.8b
	CK	9021.4b	20.0c	5.29b	33.7d	574.5b	405.8b	22.2b
2010	PP	10709.4a	20.3b	5.42b	35.8a	640.5b	419.3a	25.5a
	PB	10800.4a	20.3b	5.56a	35.0b	645.3b	421.1a	25.7a
	PS	11035.4a	21.8a	5.39b	35.4ab	676.5a	422.1a	26.1a
	PL	9502.2b	19.2c	5.31c	34.0c	619.0c	411.0b	23.1b
	CK	9426.4b	19.5c	5.37bc	33.0d	594.5d	415.6b	22.7b
3a 平均	PP	10868.4a	21.0b	5.49b	36.5a	635.8a	424.6a	25.6a
3a avg.	PB	10947.2a	21.0b	5.57a	36.6a	642.0a	426.4a	25.7a
	PS	11040.2a	22.0a	5.45b	36.7a	648.3a	424.6a	26.0a
	PL	9768.8b	20.2c	5.41c	35.5b	598.2b	412.5b	23.7b
	CK	9616.4b	20.0c	5.36c	34.8b	581.2b	412.3b	23.3b

3.2 玉米生长

申丽霞等^[20]认为,可降解地膜和普通地膜有较高的土壤水分含量和温度,使玉米各时期株高、叶面积和地上部干物质重均明显高于露地对照。张杰等^[26]研究也发现,与传统平作相比,垄上覆盖普通地膜和生物降解膜处理均能显著增加玉米株高、叶面积和生物量,而液态膜的影响不显著。研究结果表明,PP 和 PB 处理比沟不覆盖处理的集雨增温效果显著,促进玉米前中期生长,使玉米前期株高、叶面积及地上部生物量显著其它各处理。PS 处理在前期土壤温度较低,玉米生长缓慢,但其土壤水分状况较好,对地上部生长的促进作用主要表现在生长中后期,中后期玉米株高、叶面积及生物量显著高于 CK。

3.3 玉米水分利用效率

相关研究表明^[27-29],地膜覆盖能提高玉米产量和水分利用效率,覆盖生物降解膜也具有极显著增产效果,与普通地膜无明显差异。本研究结果表明,在沟垄全覆盖种植模式下,沟覆地膜(PP)、生物降解膜(PB)和秸秆(PS)处理,可进一步抑制玉米种植沟内土壤水分的无效蒸发,调节沟内土壤水温状况,与沟不覆盖相比,明显增加玉米的百粒重和穗粒数,从而提高作物产量和水分利用效率。王敏等^[30]的研究表明,与露地平作相比,平覆生物降解膜和地膜覆盖种植能显著提高玉米穗长、穗粗、百粒重和产量,而秸秆覆盖处理显著降

低了玉米穗长和百粒重,造成玉米减产。而本研究发现,PS 处理的土壤水分状况较好,同时垄上覆盖地膜的增温效果一定程度上可弥补低温效应对玉米生长的影响,使其产量和水分利用效率比 CK 处理显著提高。黑色液膜作为一种新型覆盖材料,具有使用方便、成本低廉、无环境污染及应急性强等特点。王小彬等^[31]研究表明,液膜覆盖明显提高了土壤温度,促进春玉米的生长发育,增产效果显著。而在本研究中,PL 的土壤水温状况与 CK 处理无显著差异,在整个生育期玉米各生长、产量和水分利用效率无显著提高,这可能归因于不同的生态条件和液膜产品^[32]。

4 结论

与沟不覆盖处理相比,垄覆地膜沟覆地膜生物降解膜或秸秆的沟垄全覆盖处理能进一步改善作物种植沟内的土壤水温状况,促进玉米生长,显著增加其株高、叶面积和生物量,从而提高玉米的产量和水分利用效率。

References:

- [1] Han Q F, Li X T, Wang J P, Jiang J, Ding R X, Liu Z H, Jia Z K. Simulated study on soil moisture of field under water micro-collecting farming conditions. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2004, 20(2): 78-82.
- [2] Liu X Y, Li Y Z, Li Q Z, Xu C Y, Sun X B. Effects of field rainwater harvesting on the physiology, growth and yield of winter wheat. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2006, 22(9): 64-69.
- [3] Carter D C, Miller S. Three years experience with an on-farm macro-catchment water harvesting system in Botswana. *Agricultural Water Management*, 1991, 19(3): 191-203.
- [4] Tian Y, Su D R, Li F M, Li X L. Effect of rainwater harvesting with ridge and furrow on yield of potato in semiarid areas. *Field Crops Research*, 2003, 84(3): 385-391.
- [5] Zhang J Y, Sun J S, Duan A W, Wang J L, Shen X J, Liu X F. Effects of different planting patterns on water use and yield performance of winter wheat in the Huang-Huai-Hai plain of China. *Agricultural Water Management*, 2007, 92(1/2): 41-47.
- [6] Wang J P, Jiang J, Han Q F, Jia Z K, Zhang J C. Technique of spring wheat cultivation of farmland water micro-collection in semiarid areas of Southern Ningxia. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 1999, 17(2): 8-13.
- [7] Wang J P, Ma L, Jiang J, Jia Z K. Research on millet planting technique of micro-water harvesting in semi-arid area of the south part of Ningxia province. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2000, 20(3): 41-43.
- [8] Wang J P, Han Q F, Wang L C, Jia Z K. Research on the technique of micro-water harvesting plant in semiarid area of South Ningxia. *Acta Universitatis Agriculturae Boreali-Occidentalis*, 2000, 28(4): 16-20.
- [9] Wang J P, Ma L, Jiang J, Jia Z K. Research on corn planting technique of micro-water harvesting in semi-arid area of south Ningxia. *Acta Universitatis Agriculturae Boreali-Occidentalis*, 1999, 27(3): 22-27.
- [10] Zhu G Q, Shi X G, Li Q Z. Techniques of water micro-collection in spring wheat farmland in semiarid areas of Dingxi. *Agricultural Meteorology*, 2001, 22(3): 6-9.
- [11] Li X Y, Gong J D, Gao Q Z, Li F R. Incorporation of ridge and furrow method of rainfall harvesting with mulching for crop production under semiarid conditions. *Agricultural Water Management*, 2001, 50(3): 173-183.
- [12] Wang Q, Zhang E H, Li F M. Runoff efficiency and soil water comparison of plastic-covered ridge and ridge with compacted soil at different rainfall harvesting stages in semiarid area. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(8): 1820-1823.
- [13] Wang Q, Zhang E H, Li F M, Wang X L. Optimum ratio of ridge to furrow for planting potato in micro-water harvesting system in semiarid areas. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2005, 21(1): 38-41.
- [14] Wang Q, Zhang E H, Li F M, Li F R, Xu C L. Runoff generation characters of mini-size water collection by ridges and furrows in semiarid area of Loess Plateau and related potato-planting techniques. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(11): 1283-1286.
- [15] Li S Z, Wang Y, Fan T L, Wang L M, Zhang G, Tang X M, Dong Y, Wang L, Zhang J J. Effects of different plastic film mulching modes on soil moisture, temperature and yield of dryland maize. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(5): 922-931.
- [16] Robertson I D M. Origins and applications of size fractions of soils overlying the Beasley Creek gold deposit, Western Australia. *Journal of Geochemical Exploration*, 1999, 66(1/2): 99-113.
- [17] Zhao J B, Mei X R, Xue J H, Zhong Z Z, Zhang T Y. The effect of straw mulch on crop water use efficiency in dryland. *Scientia Agricultura Sinica*, 1996, 29(2): 59-66.
- [18] Duan A W. Connotation of water use efficiency and its application in water-saving practice. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2005, 24(1): 8-11.
- [19] Shang J X, Li J, Jia Z K, Zhang L H. Soil water conservation effect, yield and income increments of conservation tillage measures in spring maize field on Weibei Highland. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(13): 2668-2678.
- [20] Shen L X, Wang P, Zhang L L. Effects of degradable film on soil temperature, moisture and growth of maize. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(6): 25-30.
- [21] Ghosh P K, Dayal D, Bandyopadhyay K K, Mohanty M. Evaluation of straw and polythene mulch for enhancing productivity of irrigated summer groundnut. *Field Crops Research*, 2006, 99(2/3): 76-86.

- [22] 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.
- [23] Zhao A Q, Li Z Z, Gong Y S. Effects of biodegradable mulch film on corn growth and its degradation in field. *Journal of China Agricultural University*, 2005, 10(2): 74-78.
- [24] Horton R, Bristow K L, Kluitenberg G J, Sauer T J. Crop residue effects on surface radiation and energy balance-review. *Theoretical and Applied Climatology*, 1996, 54(1/2): 27-37.
- [25] Mahmoudpour M A, Stapleton J J. Influence of sprayable mulch colour on yield of eggplant (*Solanum melongena* L. cv. Millionaire). *Scientia Horticulturae*, 1997, 70(4): 331-338.
- [26] Zhang J, Jia Z K, Li G L, Luo S F. Influence of different mulching materials on biological the characteristics of corn. *Journal of Northwest A and F University: Natural Science Edition*, 2010, 38(12): 133-140, 147-147.
- [27] Li J Q. The mechanism study of the influences of plastics film mulch on grain yield and seed quality of spring maize. *Journal of Maize Sciences*, 2008, 16(5): 87-92, 97-97.
- [28] Qiao H J, Huang G B, Feng F X, Wang L L. Degradation and its effect on corn growth of biodegradable mulch film. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2008, 10(5): 71-75.
- [29] Ren X L, Jia Z K, Chen X L, Han Q F, Li R. Effects of rainwater-harvested furrow/ridge system on spring corn productivity under different simulated rainfalls. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(3): 1006-1015.
- [30] Wang M, Wang H X, Han Q F, Li R, Zhang R, Jia Z K, Yang B P. Effects of different mulching materials on soil water, temperature, and corn growth. *Acta Agronomica Sinica*, 2011, 37(7): 1249-1258.
- [31] Wang X B, Cai D X. Integrated management of conservation tillage, emulsified bituminous mulch and fertilization in dryland farming[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2005, 21(6): 22-25.
- [32] Yang Q H, Han J F, He D X, Liu H S. Study on water-retention effect of liquid film mulching. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18(4): 29-32.

参考文献:

- [1] 韩清芳, 李向拓, 王俊鹏, 蒋骏, 丁瑞霞, 刘正辉, 贾志宽. 微集水种植技术的农田水分调控效果模拟研究. *农业工程学报*, 2004, 20(2): 78-82.
- [2] 刘晓英, 李玉中, 李巧珍, 徐春英, 孙晓波. 田间集雨对冬小麦生理、生长和产量的影响. *农业工程学报*, 2006, 22(9): 64-69.
- [6] 王俊鹏, 蒋骏, 韩清芳, 贾志宽, 张久成. 宁南半干旱地区春小麦农田微集水种植技术研究. *干旱地区农业研究*, 1999, 17(2): 8-13.
- [7] 王俊鹏, 马林, 蒋骏, 贾志宽. 宁南半干旱地区谷子微集水种植技术研究. *水土保持通报*, 2000, 20(3): 41-43.
- [8] 王俊鹏, 韩清芳, 王龙昌, 贾志宽. 宁南半干旱地区农田微集水种植技术效果研究. *西北农业大学学报*, 2000, 28(4): 16-20.
- [9] 王俊鹏, 马林, 蒋骏, 贾志宽. 宁南半干旱地区农田微集水种植技术研究. *西北农业大学学报*, 1999, 27(3): 22-26.
- [10] 朱国庆, 史学贵, 李巧珍. 定西半干旱地区春小麦农田微集水种植技术研究. *中国农业气象*, 2001, 22(3): 6-9.
- [12] 王琦, 张恩和, 李凤民. 半干旱地区膜垄和土垄的集雨效率和不同集雨时期土壤水分比较. *生态学报*, 2004, 24(8): 1820-1823.
- [13] 王琦, 张恩和, 李凤民, 王晓凌. 半干旱地区沟垄微型集雨种植马铃薯最优沟垄比的确定. *农业工程学报*, 2005, 21(1): 38-41.
- [14] 王琦, 张恩和, 李凤民, 李锋瑞, 徐长林. 半干旱黄土高原沟垄微型集雨产流特征与马铃薯种植技术. *生态学杂志*, 2005, 24(11): 1283-1286.
- [15] 李尚中, 王勇, 樊廷录, 王立明, 赵刚, 唐小明, 党翼, 王磊, 张建军. 旱地玉米不同覆膜方式的水温及增产效应. *中国农业科学*, 2010, 43(5): 922-931.
- [17] 赵聚宝, 梅旭荣, 薛军红, 钟兆站, 张天佑. 秸秆覆盖对旱地作物水分利用效率的影响. *中国农业科学*, 1996, 29(2): 59-66.
- [18] 段爱旺. 水分利用效率的内涵及使用中需要注意的问题. *灌溉排水学报*, 2005, 24(1): 8-11.
- [19] 尚金霞, 李军, 贾志宽, 张丽华. 渭北旱塬春玉米田保护性耕作蓄水保墒效果与增产增收效应. *中国农业科学*, 2010, 43(13): 2668-2678.
- [20] 申丽霞, 王璞, 张丽丽. 可降解地膜对土壤、温度水分及玉米生长发育的影响. *农业工程学报*, 2011, 27(6): 25-30.
- [22] 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.
- [23] 赵爱琴, 李子忠, 龚元石. 生物降解地膜对玉米生长的影响及其田间降解状况. *中国农业大学学报*, 2005, 10(2): 74-78.
- [26] 张杰, 贾志宽, 李国领, 罗诗峰. 不同材料地膜覆盖对玉米生物学性状的影响. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2010, 38(12): 133-140, 147-147.
- [27] 李建奇. 地膜覆盖对春玉米产量、品质的影响机理研究. *玉米科学*, 2008, 16(5): 87-92, 97-97.
- [28] 乔海军, 黄高宝, 冯福学, 王利立. 生物全降解地膜的降解过程及其对玉米生长的影响. *甘肃农业大学学报*, 2008, 10(5): 71-75.
- [29] 任小龙, 贾志宽, 陈小莉, 韩清芳, 李荣. 模拟不同雨量下沟垄集雨种植对春玉米生产力的影响. *生态学报*, 2008, 28(3): 1006-1015.
- [30] 王敏, 王海霞, 韩清芳, 李荣, 张睿, 贾志宽, 杨宝平. 不同材料覆盖的土壤水温效应及对玉米生长的影响. *作物学报*, 2011, 37(7): 1249-1258.
- [31] 王小彬, 蔡典雄. 旱作农田保护性耕作-液膜-施肥综合技术研究. *农业工程学报*, 2005, 21(6): 22-25.
- [32] 杨青华, 韩锦峰, 贺德先, 刘华山. 液体地膜覆盖保水效应研究. *水土保持学报*, 2004, 18(4): 29-32.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 7 April, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Research progress on chemical communication of development and host-finding of nematodes ZHANG Bin, HU Chunxiang, SHI Jin, et al (2003)
- Principles, indicators and sampling methods for species monitoring XU Haigen, DING Hui, WU Jun, et al (2013)

Autecology & Fundamentals

- Spatial distribution pattern of human-caused fires in Hulunbeir grassland ZHANG Zhengxiang, ZHANG Hongyan, LI Dongxue, et al (2023)
- Belowground biomass in Tibetan grasslands and its environmental control factors YANG Xiuqing, HUANG Mei, WANG Junbang, et al (2032)
- Analysis on variation characteristics of air temperature and ground temperature in Guilin from 1961 to 2010 CHEN Chao, ZHOU Guangsheng (2043)
- Winter bed-site selection by roe deer (*Capreolus capreolus*) in Huangnihe Nature Reserve ZHU Hongqiang, GE Zhiyong, LIU Geng, et al (2054)
- Leaf anatomical characteristics of the plants of grasslands in the Tibetan Plateau LI Quanfa, WANG Baojuan, AN Lihua, et al (2062)
- A research on summer vegetation characteristics & short-time responses to experimental warming of alpine meadow in the Qinghai-Tibetan Plateau XU Manhou, XUE Xian (2071)
- Cytological study on microsporogenesis of *Solanum lycopersicum* var. Micro-Tom under high temperature stress PENG Zhen, CHENG Lin, HE Yanjun, et al (2084)
- A new plant height growth process model of *Caragana* forest in semi-arid loess hilly region ZHAO Long, WANG Zhenfeng, GUO Zhongsheng, et al (2093)
- Germination inhibitory substances extracted from the seed of seven species of *Quercus* LI Qingmei, LIU Yan, LIU Guangquan, et al (2104)
- Effects of water stress and fungicide on the growth and drought resistance of *Flaveria bidentis* CHEN Dongqing, HUANGFU Chaohe, LIU Hongmei, et al (2113)
- Characters of soil seed bank in copper tailings and its adjacent habitat ... SHEN Zhangjun, OU Zulan, TIAN Shengni, et al (2121)
- Changes of soil chemical properties after different burning years in typical steppe of Yunwun Mountains LI Yuan, CHENG Jimin, WEI Lin, et al (2131)
- Effects of water and fertilizers on nitrate content in tomato fruits under alternate partial root-zone irrigation ZHOU Zhenjiang, NIU Xiaoli, LI Rui, et al (2139)
- Effect of land use on the characteristics of organic carbon and labile organic carbon in soil aggregates in Karst mountain areas LI Juan, LIAO Hongkai, LONG Jian, et al (2147)
- Mobilization of inorganic phosphorus from soils by five azotobacters ZHANG Liang, YANG Yuhong, LI Qian, et al (2157)
- Physiological-ecological responses of *Iris germanica* L. to Cd stress and its accumulation of Cd ZHANG Chengxiang, CHEN Weifeng (2165)
- The available forms and bioavailability of heavy metals in soil amended with sewage sludge TIE Mei, SONG Linlin, HUI Xiujuan, et al (2173)
- LAI-based photosynthetic light response model and its application in a rainfed maize ecosystem SUN Jingsong, ZHOU Guangsheng (2182)
- The dominant species of predatory natural enemies of three kinds of planthoppers and impact of pesticides on natural enemies in paddy field LIN Yuan, ZHOU Xiazhi, BI Shoudong, et al (2189)

Population, Community and Ecosystem

- Spatial and temporal variation of picophytoplankton in the Pearl River Estuary ZHANG Xia, HUANG Xiaoping, SHI Zhen, et al (2200)

Analysis of the relationship between species diversity and hydrologic factors during an interval of intermittent water delivery at the Lower Reaches of Tarim River, China	CHEN Yongjin, LIU Jiazhen, CHEN Yaning, et al (2212)
Fish species composition and community pattern in the continental shelf of northwestern South China Sea	WANG Xuehui, LIN Zhaojin, DU Feiyan, et al (2225)
Distribution and succession of plant communities in Lake Bita coastal swamp on the plateau region, northwestern Yunnan	HAN Dayong, YANG Yongxing, YANG Yang (2236)
Analysis on community structure and quantitative characteristics of <i>Nitraria tangutorum</i> nebkhas at different succession stage in lower reaches of Shiyang River	JIN Hujia, MA Quanlin, HE Mingzhu, et al (2248)
Resource and Industrial Ecology	
Effects of subsoiling and supplemental irrigation on dry matter production and water use efficiency in wheat	ZHENG Chengyan, YU Zhenwen, ZHANG Yongli, et al (2260)
Effects of two years' incorporation of leguminous green manure on soil properties of a wheat field in dryland conditions	ZHANG Dabin, YAO Pengwei, LI Jing, et al (2272)
Effects of planting with ridge and furrow mulching on maize growth, yield and water use efficiency in dryland farming	LI Rong, HOU Xianqing, JIA Zhikuan, et al (2282)
Urban, Rural and Social Ecology	
Effects of riparian buffers of North Mort of Beijing on air temperature and relative humidity	WU Fangfang, ZHANG Na, CHEN Xiaoyan (2292)
Characteristics of spatial and temporal variations of global solar radiation in Xi'an and relevant response in urban development	ZHANG Hongli, ZHANG Naweirui, LIU Minru, et al (2304)
Research Notes	
A analysis of macrofungal flora diversity in Langyashan Nature Reserve, Anhui Province, China	CHAI Xinyi, XU Xuefeng, WANG Meiyong, et al (2314)

《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,探索自然奥秘,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 7 期 (2013 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 7 (April, 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