

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第9期 Vol.31 No.9 **2011**

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 31 卷 第 9 期

2011 年 5 月 (半月刊)

目 次

EAM 会议专刊述评——气候变化下旱区农业生态系统的可持续性	李凤民, Kadambot H. M Siddique, Neil C Turner, 等 (I)
第二届生态系统评估与管理(EAM)国际会议综述	李朴芳, 赵旭喆, 程正国, 等 (2349)
应对全球气候变化的干旱农业生态系统研究——第二届 EAM 国际会议青年学者论坛综述	赵旭喆, 李朴芳, Kadambot H. M Siddique, 等 (2356)
微集雨模式与降雨变律对燕麦大田水生态过程的影响	强生才, 张恒嘉, 莫非, 等 (2365)
黑河中游春小麦需水量空间分布	王 瑶, 赵传燕, 田风霞, 等 (2374)
祁连山区青海云杉林蒸腾耗水估算	田风霞, 赵传燕, 冯兆东 (2383)
甘肃小陇山不同针叶林凋落物量、养分储量及持水特性	常雅军, 陈 琦, 曹 靖, 等 (2392)
灌水频率对河西走廊绿洲菊芋生活史对策及产量形成的影响	张恒嘉, 黄高宝, 杨 斌 (2401)
玛纳斯河流域水资源可持续利用评价方法	杨 广, 何新林, 李俊峰, 等 (2407)
西北旱寒区地理、地形因素与降雨量及平均温度的相关性——以甘肃省为例	杨 森, 孙国钧, 何文莹, 等 (2414)
黑河河岸植被与环境因子间的相互作用	许莎莎, 孙国钧, 刘慧明, 等 (2421)
干旱胁迫对高山柳和沙棘幼苗光合生理特征的影响	蔡海霞, 吴福忠, 杨万勤 (2430)
树锦鸡儿、柠条锦鸡儿、小叶锦鸡儿和鹰嘴豆干旱适应能力比较	方向文, 李凤民, 张海娜, 等 (2437)
胡杨异形叶绿素荧光特性对高温的响应	王海珍, 韩 路, 徐雅丽, 等 (2444)
柠条平茬处理后不同组织游离氨基酸含量	张海娜, 方向文, 蒋志荣, 等 (2454)
玛河流域扇缘带盐穗木土壤速效养分的“肥岛”特征	涂锦娜, 熊友才, 张 霞, 等 (2461)
摩西球囊霉对三叶鬼针草保护酶活性的影响	宋会兴, 钟章成, 杨万勤, 等 (2471)
燕麦属不同倍性种质资源抗旱性状评价及筛选	彭远英, 颜红海, 郭来春, 等 (2478)
光周期对燕麦生育时期和穗分化的影响	赵宝平, 张 娜, 任长忠, 等 (2492)
水肥条件对新老两个春小麦品种竞争能力和产量关系的影响	杜京旗, 魏盼盼, 袁自强, 等 (2501)
猪场沼液对蔬菜病原菌的抑制作用	尚 斌, 陈永杏, 陶秀萍, 等 (2509)
不同夏季填闲作物种植对设施菜地土壤无机氮残留和淋洗的影响	王芝义, 郭瑞英, 李凤民 (2516)
不同群体结构夏玉米灌浆期光合特征和产量变化	卫 丽, 熊友才, Baoluo Ma, 等 (2524)
脱硫废弃物对碱胁迫下油菜幼叶细胞钙分布及 Ca^{2+} -ATPase 活性的影响	毛桂莲, 许 兴, 郑国琦, 等 (2532)
过去 30a 玛纳斯河流域生态安全格局与农业生产力演变	王月健, 徐海量, 王 成, 等 (2539)
基于 RS 和转移矩阵的泾河流域生态承载力时空动态评价	岳东霞, 杜 军, 刘俊艳, 等 (2550)
毛乌素沙地农牧生态系统能值分析与耦合关系	胡兵辉, 廖允成 (2559)
民勤绿洲农田生态系统服务价值变化及其影响因子的回归分析	岳东霞, 杜 军, 巩 杰, 等 (2567)
青岛市城市绿地生态系统的环境净化服务价值	张绪良, 徐宗军, 张朝晖, 等 (2576)
基于 3S 技术的祖厉河流域农村人均纯收入空间相关性分析	许宝泉, 施为群 (2585)
专论与综述	
全球变化下植物物候研究的关键问题	莫非, 赵 鸿, 王建永, 等 (2593)
区域气候变化统计降尺度研究进展	朱宏伟, 杨 森, 赵旭喆, 等 (2602)
干旱胁迫下植物根源化学信号研究进展	李冀南, 李朴芳, 孔海燕, 等 (2610)
山黧豆毒素 ODAP 的生物合成及与抗逆性关系研究进展	张大伟, 邢更妹, 熊友才, 等 (2621)
旱地小麦理想株型研究进展	李朴芳, 程正国, 赵 鸿, 等 (2631)
小麦干旱诱导蛋白及相关基因研究进展	张小丰, 孔海燕, 李朴芳, 等 (2641)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 306 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-05



封面图说: 覆膜-垄作燕麦种植——反映了雨水高效利用和农田水生态过程的优化(详见强生才 P2365)。

彩图提供: 兰州大学干旱与草地生态教育部重点实验室莫非 E-mail: mofei371@163.com

微集雨模式与降雨变律对燕麦大田水生态过程的影响

强生才^{1,2,4}, 张恒嘉^{1,4}, 莫非², 赵 鸿^{2,3}, 周 宏^{1,2}, 熊友才^{2,*}

(1. 甘肃农业大学工学院, 兰州 730070; 2. 兰州大学干旱与草地教育部重点实验室, 兰州 730000; 3. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省气候变化与减灾重点(开放)实验室, 兰州 730020; 4. 甘肃省干旱生境作物学重点实验室, 兰州 730070)

摘要:以春燕麦坝莜3号品种为试材,分别于2009年和2010年在甘肃省定西市农业气象站进行大田试验。两个生育期的降雨总量基本一致,其中2009年生长季的降雨变律特征与多年观察值相似,而2010年则表现为“前半期降雨多、后半期降雨少”的变律特征。微集雨技术共含8个不同处理,包括①平地不种植(裸地)、②平地种植和③6个垄沟和覆膜处理组(3种垄沟宽度比(2:1、1:1和2:3)×2种覆膜方式(垄上覆膜和不覆膜)),测定了各处理组土壤剖面贮水量、耗水量、水分利用效率和产量相关指标。结果表明,垄上覆膜处理组的叶面积指数、水分利用效率和产量显著高于其它处理组,同时提高了雨水转化为土壤水和作物水的转化效率,并促进了生育后期土壤贮水量的迅速回升。就不同垄沟比来说,各参数值在垄沟比为1:1的处理组中最高。此外,就两种降雨变律年型而言,“降雨量前倾”的2010年燕麦的水分利用效率、产量和叶面积指数显著高于2009年($P < 0.05$),且显著提高了0—130 cm剖面土壤贮水量。

关键词:降雨变律;微集雨模式;水生态过程;水分利用效率;燕麦

The effects of micro-rainwater harvesting pattern and rainfall variability on water ecological stoichiometry in oat (*Avena sativa* L.) field

QIANG Shengcai^{1,2,4}, ZHANG Hengjia^{1,4}, MO Fei², ZHAO Hong^{2,3}, ZHOU Hong^{1,2}, XIONG Youcai^{2,*}

1 College of Engineering Sciences, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China

2 MOE Key Laboratory of Arid and Grassland Ecology, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

3 Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Key Open Laboratory of Arid climate Change and disaster Reduction of CMA, Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou 730020, China

4 Gansu Key Laboratory of Aridland Crop Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China

Abstract: Over last two decades, micro-rainwater harvesting technology has been widely used in dryland agricultural practice, but the effects of the design of this technique and the variability of regional rainfall on the storage, migration and utilization of rainwater in soil is very rare. Field experiments were conducted using the spring oat (*Avena sativa* L.) variety, *Dingyou 3* as test material, at Dingxi Agricultural Meteorological Experimental Station of Gansu Province in 2009 and 2010. Despite the total rainfall amount for the growing period of oat being basically consistent in 2009 and 2010, there was a significant difference in the temporal distribution of rainfall in the two growing seasons. In 2009, the rainfall distribution was similar to the long-term trend in rainfall (consisting of 33.1% of total rainfall in the first half and 66.9% in the second half of whole growth period). Conversely, the year 2010 turned to be characterized by “more in the first half and less in the second half” (accounting for 46.4% and 53.6% of total rainfall of whole growth period, respectively). The coefficients of variation of rainfall distribution were 1.0 and 0.8 in 2009 to 2010, respectively. In this study, eight treatments of micro-rainwater harvesting were designed, including: (1) the flat bare plot without cultivation (CK group 1), (2) flat plot with cultivation (CK group 2), and (3) six treatments with ridge-furrow and plastic mulch (3 width ratios of ridge to furrow (2:1, 1:1 and 2:3), and two mulching patterns (plastic mulch and no mulch). Water storage and

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金项目(lzujbky2010k02);国家公益性行业(气象)科研专项子课题(GYHY201106029);国家自然科学基金项目(31070372);教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-07-0396);兰州大学人才引进专项(582449)

收稿日期:2011-03-06; 修订日期:2011-04-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xiongye@lzu.edu.cn

consumption in the soil profile, water use efficiency and yield-related indicators were collected from all the treatment groups in both years. The data from the two years showed that the leaf area index, water use efficiency and yield were significantly higher in the three treatments with film mulching on the ridge than those of other treatments. The patterns of film mulching on the ridge were found to improve water conversion efficiency from rainwater into soil and crop, and induced a rapid recovery of the water stored in soil in the later growth period. With respect at the width ratios of ridge to furrow, the parameters mentioned above were the highest in the treatment groups with 1:1 width ratios of ridge to furrow in all treatments. Furthermore, the stored water in the treatments of 1:1 or 2:1 width ratios from ridge to furrow was significantly greater than that of the 2:3 ratio treatment groups. Importantly, analysis of the performance in the two years with different temporal variability in rainfall showed that water use efficiency, grain yield and leaf area index of oat were all significantly higher in 2010 than those in 2009 ($P < 0.05$), and the total volume of water stored in 0—130 cm soil profile were also higher in 2010 than 2009. Our results suggest that the “forward transfer” of rainfall distribution was conducive to optimizing the soil ecological processes in the case of similar total rainfall amount. Our study provides a foundation for future understanding on the effects of micro-rainwater harvesting pattern and rainfall change on ecological processes of dryland agriculture, and also provides a new strategy for phenological management in rain-fed farming regions.

Key Words: rainfall variability; micro rainwater-collecting; water ecological process; water use efficiency; oat

地膜覆盖技术自 1978 年被引入中国,在我国的西北雨养农业区得到了迅速和大面积的推广^[1-2],这主要是由于地膜覆盖技术可以更有效的利用有限的降雨^[3],它可以使垄上降雨顺垄面流入沟中,把两个面上的降雨集中到一个面上,同时垄上覆盖减少了地面蒸发,使降雨入渗更深,蒸发损失减小^[4]。近年来这项技术已近成功应用在玉米^[5]、春小麦^[6]、棉花^[7]和土豆^[8]等很许多粮食作物上。诸多研究表明,该技术相对于传统的平地种植可显著的提高作物产量和水分利用效率^[9-13]。

在沟垄地膜微集雨技术体系中,垄的主要作用在于产流,沟的主要作用在于集流,产流和集流之间的比例匹配问题显得尤为重要,这与最终的集雨效率密切相关。前期垄沟宽度比例设计方面研究主要集中在马铃薯和玉米等稀疏型作物上,但是对于燕麦等密植型作物的垄沟宽度比研究非常少见,且在宽度比例对雨水-土壤水-作物水的转化效率研究基本没有文献记载,三者之间的转化结果直接影响到作物的产量和水分利用效率,最终影响到微集雨技术的示范与推广。

降雨变率是指降雨量的年(月或季)变化,是控制植物种群动态的关键因子。降雨变率通过决定植物种群的种子萌发、出苗、生长速率和竞争能力,来形成差异化的植物种群组成和丰富度^[14-15]。IPCC 第四次评估报告显示了对影响生态系统的降雨变率已经,并将持续发生变化^[16]。无论是在干旱半干旱,或者湿地生态系统中,这种降雨量变化将会对自然生态系统、农业生态系统均具影响^[17-18]。而作为由大量 1 年生作物组成的我国西北干旱半干旱雨养农业生态系统,经受着该区域降雨量少和变率大两个不利的自然降雨状况,显示了该区 1 年生作物对这种降雨变率响应的极度敏感性。

目前,在西北干旱半干旱区降雨变率增大的大背景下,大量研究集中在生育期降雨总量对水分利用和产量形成的耦合关系上^[19-23],但对涉及到降雨变率对作物生长和土壤水分动态的研究国内严重不足,而国外已有针对降雨总量和降雨变率对草原生态系统重要性^[24-28]的相关研究。对于干旱半干旱 1 年生作物而言,不同物候期自然降雨频率和强度的变化,将会对作物产量形成和水分利用效率产生多变的影响。尤其是在前期作物萌发、成苗^[29-31]以及作物需水临界期降雨的分配都会对作物的生长造成很大的影响,前期的缺水会造成作物出苗率差,而在后期,作物的需水临界期降雨量的不足则会极大的降低作物的产量。因此降雨变律的研究对于提高雨水资源利用率显得尤为重要。

本研究以燕麦为供试作物,通过设置不同微集雨模式,研究了其在两种降雨变律年型下各处理组的土壤水分动态、产量及水分利用效率的变化;旨在为深层认识不同降水变律年份下,不同垄沟为集雨模式土壤水分

变化和为水分利用效率的提高提供理论积累,与此同时为干旱半干旱地区农业生态系统应对不同降雨变律年型提出恰当的微集雨模式。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地点设在中国气象局兰州干旱气象研究所定西干旱气象与生态环境试验基地(35°35'N,104°37'E),海拔约为 1896.17m。试验区地处欧亚大陆腹地,属半干旱区,大陆性季风气候明显,其特点是光能较多,雨热同季,降水少且变率大,气候干燥;年日照时间为 2433h;年平均气温 6.7℃;多年平均降水量为 381.7mm,且降水主要集中在 7—10 月,占年降水量的 86.9%;平均无霜期 140d,为典型的黄土高原雨养农业区;试验地表层土壤为重壤土,1m 深土壤剖面平均容重为 1.38g/cm³,田间持水率的质量含水率为 25.6%,凋萎系数为 6.7%。

1.2 试验区降雨状况

2009 年和 2010 年年降雨量分别为 284.6mm 和 327.8mm,年降雨量显著地低于多年平均值 381.7mm,均为枯水年。从表 1 可以看出,2009 年生育期降雨量为 196.4mm(实际在 5 月上半月降雨量为 12.5mm,造成作物出苗困难,故与多年该时段平均值相比,通过喷灌模拟降雨约 30mm),2010 年为 206.6mm,多年平均值为 240mm。2009 年生育期前期的降雨量只占全生育期降雨量的 33.1%,后期占 66.9%,与多年值相似,而 2010 年前期所占比例为 46.4%,后期为 53.6%,呈现显著地“前多后少”型,2009 年与 2010 年在生育期内降雨分布总体呈现出两种变律,分析结果见表 1。

表 1 2009—2010 年年降雨量和生育期降雨量时间分布

Table 1 Temporal distribution of annual rainfall and growth period rainfall in 2009 and 2010

年份 Year	降雨 Rainfall /mm	生育期前期(4月15日—6月15日) Early growth stage (按每两周统计)					生育期后期(6月16日—8月15日) Late growth stage (按每两周统计)					降雨变律 Rainfall variability	
		1—2	3—4	5—6	7—8	小计	9—10	11—12	13—14	15—16	小计	变异系数	分布特征
2009	降雨量/mm	6.3	42.5	12.0	4.2	65	11.7	1.7	57.9	60.1	131.4	1.0	同多年值
	比率%	3.2	24.7	30	33.1	33.1	6.0	6.8	36.3	66.9	66.9		
2010	降雨量/mm	32.4	0	60.2	6.5	99.1	33	16	14.2	44.3	107.5	0.8	前多后少
	比率%	15.7	15.7	44.8	47.8	47.8	16.1	7.8	6.9	52.2	52.2		
近 30a	降雨量/mm	10.9	24.4	22.1	20.1	77.5	35.5	31.4	40.8	54.8	162.5	0.4	对照
	比率%	4.5	14.7	23.9	32.3	32.3	14.8	13.1	17	67.7	66.7		

表中所指的比率是累计比率(%);累计比率为该时段降雨量与全生育期降雨总量之比

1.3 试验布置

试验于 2009 年和 2010 年在甘肃省气象局定西干旱气象与生态环境试验基地的试验田中进行;供试燕麦品种为坝莜 3 号,燕麦于每年的 4 月中旬播种,约 8 月中旬收获;各处理小区面积为 36m²,播种量为 135kg/hm²,播前将试验小区进行 20—30cm 的翻耕,同时施入底肥尿素 270kg/hm²,硫酸钾 105kg/hm²,过磷酸钙 750 kg/hm²。试验共设 8 个处理,共设 3 次重复,随机区组排列,各处理代码、垄沟宽度比和覆膜状况见表 2。

1.4 测定项目

1.4.1 叶面积指数

在分蘖期,拔节期,抽穗期,灌浆期,成熟期采用 LAI-2000 叶面积仪测定,而在苗期利用以下公式计算而来:

$$\text{苗期叶面积指数} = \text{小区苗数} \times \text{单株叶面积} \div \text{小区面积}$$

$$\text{单叶叶面积} = \text{叶长} \times \text{叶宽} \times 0.83$$

1.4.2 土壤水分状况指标

采用烘干法测定,播种前和收获后取样深度为 130cm,其中 0—10cm 为一层,10—130cm 以 20cm 为梯度

进行采样测定。生育期间取样深度为 100cm,0—10cm 为一层,10—100cm 以 20cm 为梯度进行采样测定。本研究采用土壤贮水量、土壤贮水量变化和耗水量 3 个重要指标对土壤水分状况进行计量分析,其具体计算公式如下:

土壤贮水量=土层厚度(mm)×土壤含水量(质量%)×土壤容重

土壤贮水量变化=收获时土壤贮水量-播种时土壤贮水量

耗水量=生育期总降雨量+(播种时土壤贮水量-收获时土壤贮水量)

表 2 微集水技术模式设计

Table 2 Model design of micro-rainwater harvesting techniques

集雨模式 Rainwater-harvesting patterns	处理 Treatments	垄 宽 Ridge width/cm	沟 宽 Furrow width/cm	垄沟宽度比例 Ratio of ridge to furrow	技术设计 Pattern design
裸地	Bare (B)	—	—	—	无垄、无覆盖、无种植
平地	F	—	—	—	无垄、无覆盖、种植
土垄	NM20	40	20	2 : 1	垄、无覆盖、种植
	NM40	40	40	1 : 1	垄、无覆盖、种植
	NM60	40	60	2 : 3	垄、无覆盖、种植
膜垄	M20	40	20	2 : 1	垄、膜覆盖、种植
	M40	40	40	1 : 1	垄、膜覆盖、种植
	M60	40	60	2 : 3	垄、膜覆盖、种植

1.4.3 产量的测定

燕麦成熟时各小区单独收获,脱粒、晒干并计产,各处理的实际产量以 3 个重复小区产量的平均值获得。

1.5 统计分析

实验数据采用 Excel2003 做图和 SPSS18.0 软件中的 LSD 多重比较法比较数据差异的显著性,各图表中的数据均为平均值。

降雨量分布的变异系数计算如下:变异系数=生育期间每两周降雨量标准差/每两周的降雨量均值

2 结果与分析

2.1 不同处理的贮水量的时间变化

由图 1、图 2 可见,不同处理贮水量变化趋势呈现 3 个阶段。第 1 阶段,前期土壤贮水量略有增加阶段;第 2 阶段,播种后约 40d 至 90d 期间土壤贮水量急剧下降阶段;第 3 阶段,成熟期的贮水量回升阶段。

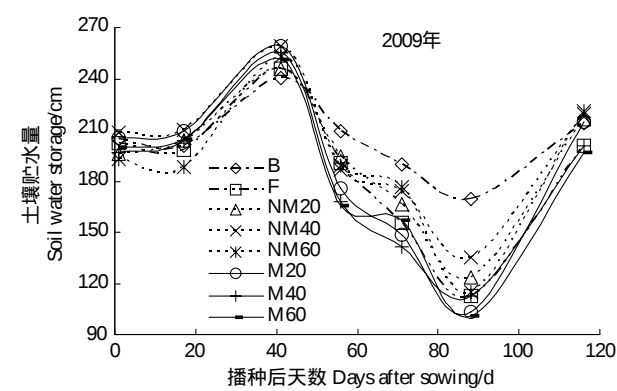


图 1 2009 年全生育期不同处理组 1m 深土壤内贮水量变化

Fig.1 Dynamics of stored water amount within one-meter soil depth in treatment groups in 2009

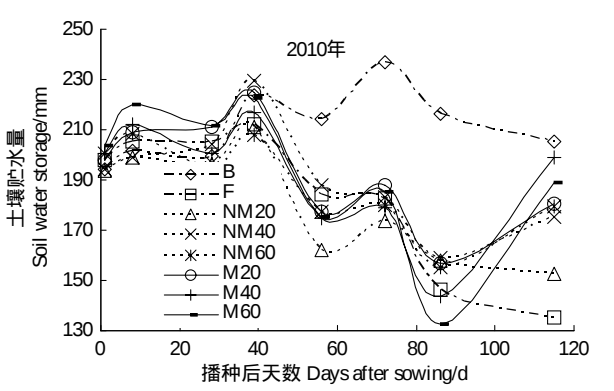


图 2 2010 年全生育期不同处理组 1m 深土壤内贮水量变化

Fig.2 Dynamics of stored water amount within one-meter soil depth in treatment groups in 2010

从图 1 和 2 中还可以看出在第 1 阶段,膜垄处理的土壤贮水量相对于土垄和平地处理要高;在第 2 阶段,表现出膜垄处理的土壤水消耗大于土垄和平地,在播种前土壤贮水量基本相同的情况下,2009 年 M20 和 M60 的贮水量最低减少到约 97mm,而在 2010 年的同期 M60 处理只减少到 136mm,这与 2009 年灌浆期前降雨量过少,膜垄处理为满足正常的生长加大了对土壤水分的消耗有关,而在 2010 年的同期由于降雨量较丰富作物对降雨的利用较多,故土壤水下降幅度较小;第 3 阶段在 2009 年生育期中后期由于降雨量过少,各处理间土壤含水率都显著的降低,随着降雨的到来各集雨模式的贮水量显著地增加,而在 2010 年由于前期降雨相对较多,而平地 and 土垄由于其土壤初始含水率相对膜垄较高,故造成其产流快,平均入渗率小,从而造成贮水量上升不显著,沟垄膜垄处理在后期含水率相对较低,减少了径流量,所以该处理可以更有效的贮存水分,尤以 M40 和 M60 处理最为明显;由此可见膜垄较传统的平地种植模式可以汇集更多的降雨^[32],并最终转换为土壤水。

2.2 不同集雨模式在两种降雨年型下 3 个不同剖面水分变化

从表 3 中可以看出,各集雨模式在两种降雨年型下 0—30cm 剖面的贮水量变化趋势是相似的,与 B 处理相比其余各处理贮水量均显著的增加,在 2009 年 M20 和 NM20 处理贮水量回升显著高于($P<0.05$)其它处理,分别达到了 29.9mm 和 29.8mm,而在 2010 年相对于 B 处理, F 和 NM20 处理贮水量减少,其余各处理均显著高于 B 处理,膜垄模式增加最显著,其中以 M40 处理贮水量增加最显著,达到 33.9mm。30—90cm 剖面为作物根系主要分布区,相对于 B 处理(贮水量增加)其余各处理贮水量在两年均表现出不同程度的降低,总体表现为膜垄和平地处理较土垄处理水分消耗更大,2010 年各微集雨模式水分消耗显著大于 2009 年。在 90—130cm 剖面,2009 年各处理表现为贮水量减少。相对于 B 处理贮水量的略有减少,其余各种种植处理的贮水量与裸地相比消耗更大,其中以平地和膜垄处理最显著,而在 2010 年各处理则表现为贮水量增加,各集雨模式之间除平地 and 裸地之外各集雨模式差异不显著。

表 3 不同微集雨模式下燕麦大田土壤剖面贮水量变化

Table 3 Change of stored water amount in the soil profile in different micro-rainfall harvesting patterns in an oat field

年份 Year	深度 Soil depth/cm	B	F	NM20	NM40	NM60	M20	M40	M60
2009	0—30	12.0c	16.2b	29.8a	21.8b	24.7b	29.9a	23.0b	19.7b
	30—90	10.8a	-8.3a	-5.4b	-0.8c	-2.3c	-9.7a	-10.4a	-12.2a
	90—130	-3.2d	-12.8a	-6.8c	-8.7b	-9.3b	-15.4a	-12.8a	-13.1a
	合计	19.6	-4.9	17.6	12.3	13.1	4.8	-0.2	-5.6
2010	0—30	-2.5e	-17.0bc	-9.7d	7.8d	6.3d	14.5c	33.9a	21.1b
	30—90	13.4d	-45.4a	-31.5b	-27.0c	-27.5c	-31.8b	-35.3b	-36.2b
	90—130	21.8b	23.3b	16.7c	17.4c	28.8a	17.7c	16.0c	18.8c
	合计	32.7	-39.1	-24.5	-1.8	7.6	0.4	14.6	3.7

负号表示贮水量的亏缺,同一行中不同字母表示不同处理间达到 0.05 水平显著差异($P<0.05$)

2.3 不同沟垄地膜覆盖条件对作物生育期、耗水量、产量及水分利用效率的影响

从表 4 中可见,对于各集雨模式生育期长短来说,两种降雨变律年型下均表现出土垄和平地处理的生育期长于膜垄处理约 7d 时间,在“降雨前倾”的 2010 年在保持上面模式差距的情况下,各处理又相对于 2009 年提早约 7d 时间。

在两种不同降雨变律年型下各集雨模式的产量和水分利用效率是不同的;就各微集雨模式对产量、水分利用效率、干物质和基于干物质的水分利用效率的影响而言,膜垄处理显著高于($P<0.05$)土垄和平地处理,在 2009 年膜垄以上 4 个指标依次较平地增加 53.4%、75%、45.2% 和 53.5%,较土垄增加 42.7%、45.5%、45% 和 57.7%。在 2010 年膜垄以上 4 个指标依次较同年份平地增加 35%、66.7%、26.1% 和 56.3%,较土垄增加 34.1%、43.7%、43.9% 和 53.9%,而在两种降雨年型下土垄和平地处理无显著性差异, ($P>0.05$)。就

各微集雨模式在两种降雨变律年型的响应来看,“降雨前倾”的 2010 年各处理以上 4 个指标均显著高于 2009 年,平地各处理较 2009 年依次增加 106.2%、78.6%、60% 和 27.1%,土垄依次增加 92.8%、72.3%、40% 和 32.7%,膜垄依次增加 81.2%、70.1%、39% 和 29.5%。两种降雨变律年型中 M40 处理的产量分别达到了 989 kg/hm² 和 1833.5 kg/hm²,基于产量的水分利用效率依次为 6.2 kg·mm⁻¹·hm⁻² 和 9.3 kg·mm⁻¹·hm⁻²,干物质质量分别为 11034.2 kg/hm² 和 15339.8 kg/hm²,与此同时基于干物质质量的水分利用效率也分别达到了 59.6 kg·mm⁻¹·hm⁻² 和 77.5 kg·mm⁻¹·hm⁻²,所有指标均为两年各集雨模式中最高。

表 4 不同微集雨模式下燕麦耗水量、产量和水分利用效率比较

年份 Year	处理 Treatment	灌水量 Irrigation /mm	生育期 Whole growth period /d	降雨 Rainfall /mm	土壤供水量 Soil water supply /mm	耗水量 Water consumption /mm	产量 Yield /(kg/hm ²)	WUE (Yield) /(kg·mm ⁻¹ · hm ⁻²)	干物质 Dry matter /(kg/hm ²)	WUE (Dry matter) /(kg·mm ⁻¹ · hm ⁻²)
2009	B	30	—	180.6	-9.4c	201.2b	—	—	—	—
	F	30	123a	180.7	5.1d	215.8a	610.2b	2.8d	7043.5c	35.0c
	NM20	30	126a	180.6	-17.2b	193.4c	654.7b	3.4c	6628.9c	30.7c
	NM40	30	124a	194.6	-9.8c	214.8a	676.0b	3.3c	7423.7c	38.4c
	NM60	30	124a	194.6	-27.5a	197.1c	639.9b	3.4c	7102.4c	33.1c
	M20	30	115b	163.8	-8.5c	185.3c	897.3a	4.8b	9765.2b	49.7b
	M40	30	117b	163.8	-3.4d	190.4c	989.0a	5.2a	11034.2a	59.6a
	M60	30	117b	163.8	4.6d	198.4c	925.1a	4.7b	9872.7b	51.9b
2010	B	0	—	206.6	-25.2b	181.4d	—	—	—	—
	F	0	116a	206.6	46.8a	253.4a	1258.4c	5.0d	11271.3c	44.5c
	NM20	0	118a	206.6	29.8b	236.4ab	1266.8c	5.4d	8637.3d	36.5c
	NM40	0	115a	206.6	10.5c	217.1c	1155.6c	5.3d	10267.9c	47.3bc
	NM60	0	116a	206.6	-0.1d	206.5c	1377.9c	6.7c	10706.6c	51.8b
	M20	0	109b	200.5	7.2c	207.7c	1611.2ab	7.8b	12441.5c	59.9b
	M40	0	111b	206.4	-8.4c	198.0d	1833.5a	9.3a	15339.8a	77.5a
	M60	0	111b	206.4	2.2d	208.6c	1650.1ab	7.9ab	14843.1ab	71.3a

各年同一列中不同字母表示不同处理间达到 0.05 水平显著差异 ($P < 0.05$); 土壤供水量一列负号表示土壤水的增加值

2.4 生育期叶面积指数变化

从图 3 和图 4 中可以看出,2009 年燕麦各集雨模式的叶面积指数在其主要生育期要低于 2010 年。膜垄处理叶面积指数显著高于土垄和平地处理,NM20 处理的叶面积指数两年均为最低。不同集雨模式的叶面积指数约在 80—90d 左右(孕穗期)达到最大值,两年的膜垄处理叶面积指数最大值分别为 3.64 和 4.03,土垄为 2.87 和 2.92,平地为 3.02 和 3.56;2009 年叶面积指数最大值出现时间滞后 2010 年约 10d,M20 和 M40 处理在苗期后 20d 内叶面积指数增长迅速,尤其以 2010 年表现最为明显,其余各主要时段增长趋势相类似。降雨在两种降雨年型的分配是造成上述差异的主要原因,也是作物对不同时期降雨胁迫下的一种响应。

3 结论与讨论

以下讨论以不同沟垄集雨模式应对两种降雨变律年型为前提,讨论了各微集雨模式的产量、水分利用效率、三水的迁移和各剖面水分变化。

就产量、地上干物质质量和水分利用效率而言,不同沟垄覆膜微集雨模式在应对两种降雨变律年型的响应是非常显著的;两种降雨年型均表现出膜垄显著高于土垄和平地处理,“降雨前倾”年份以上各指标显著高于降雨分配常规年份;降雨常规年份膜垄的优越性高于“降雨前倾”年份。在应对两种降雨变律的集雨模式中,采用垄沟宽度比为 1:1 的 M40 膜垄集水模式产量、干物质质量和水分效率均为两年最高,由此可见在所有集雨模式中 M40 处理是一种应对这两种降雨变律年型最优的微集雨模式;本文中只研究了两个典型降雨变律年,不能完全代表我国黄土高原雨养农业区降雨变律的特点,今后还需加大不同降雨变律对雨养农业区农业影响

的相关研究。

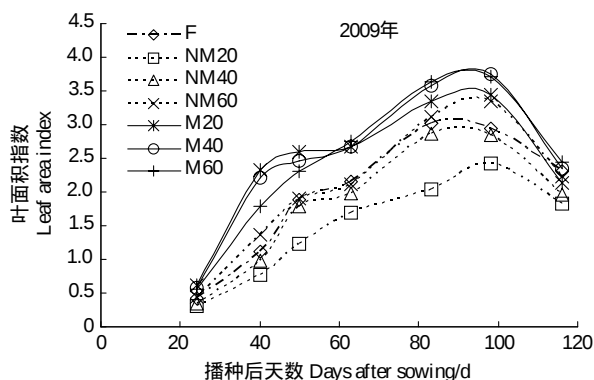


图3 2009年不同处理组叶面积指数变化

Fig. 3 Dynamics of leaf area index among treatment groups in 2009

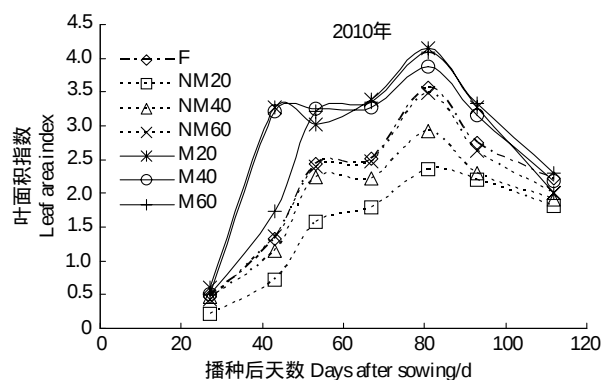


图4 2010年不同处理组叶面积指数变化

Fig. 4 Dynamics of leaf area index among treatment groups in 2010

三水(降雨-土壤水-作物水)在两种降雨变律年型下的迁移过程对于研究水分动态有着极其重要的作用;降雨量在生育期的前后分配,对作物在降雨和土壤水之间的先后利用关系起到重要的作用,在降雨变律常规年份作物对降雨的利用率呈现“先低后高”的变化趋势,对土壤水的利用率呈现“先增加后减少”的趋势。而在降雨变律呈现“前多后少”的年型下,则表现出相反的先后利用过程。在各集雨模式中,膜垄尤其是M20和M40处理由于其显著的集雨性和抑蒸性,其在各阶段对降雨和土壤水的利用率相对于土垄和平地要高,正是由于膜垄集雨模式的这种优点使得其作物水的利用效率最高,于此同时,由于在“降雨前倾”变律年份作物水分利用效率高于降雨变律常规年份,所以其对降雨和土壤水的总体利用率要高于降雨变律常规年份。

就不同剖面土壤水分的变化来看,耕作层0—30cm剖面贮水量以增加为主,在2009年降雨变律下,垄沟比为2:1模式集水能力好于1:1和2:3模式,而在2010年降雨变律为“前多后少”年,垄沟比为1:1模式集水能力好于2:1和2:3模式,其中膜垄处理的贮水量增加显著高于其余处理^[33-34],90—130cm剖面在两种降雨变律下表现出截然相反的结果,2009年表现为贮水量减少,但是在降雨变律为“前多后少”的2010年该剖面水分增加,这对于应对深层土壤干层具有重要的意义;在30—90cm剖面,平地处理在两种降雨变律下对该剖面水分消耗均为最大,尤其以降雨量分布“前多后少”的2010年表现最为显著,亏缺达到了45.4mm,而膜垄和土垄的消耗则要显著小于平地。由此可见,相对于传统的平作处理,垄作处理尤其是膜垄处理可以更有效地将降雨转化为土壤水,优化土壤水生态;但是也应注意到,膜垄处理对该层段土壤水的消耗非常明显,这与膜垄处理出苗率和叶面积指数显著高于其余几个处理,而与此同时作物的主要根系分布在此剖面有关,因而沟垄地膜集雨模式降低了土壤水系统的可持续性,下茬作物种植甚至可能出现作物的减产^[35]危险,这也是沟垄地膜种植模式所带来的弊端,尤其是在降雨变律呈现“前多后少”的年型,虽然取得了经济产量的大幅增加,但是导致了30—90cm剖面水分极大的消耗,为此可以通过采用休耕、免耕和草田轮作^[36]等方法恢复土壤水分,实现土壤水的可持续性发展,同时也使沟垄地膜集雨技术走上可持续发展的道路。

研究为优化垄沟地膜微集雨技术体系提供了新的途径。在降雨总量相近的2009年和2010年,由于2010年生育期雨水“前倾”式分布,结果导致了一系列连锁效应,这种降雨变律有利于土壤水生态过程优化。同时为微集雨模式和降雨变律对旱地农田水生态过程的影响研究提供了范式基础,为雨养农业区的物候管理对策提供新的理论潜力。相关土壤质量和碳过程变化研究有待深入探讨。

References:

- [1] Dong H Z, Li W J, Tang W, Zhang D M. Early plastic mulching increases stand establishment and lint yield of cotton in saline fields. *Field Crops Research*, 2009, 111(3): 269-275.
- [2] Luo Y Q. Talking about the plastic film mulching. *China State Farms*, 1982, 3:19-20

- [3] Dong H Z, Li W J, Tang W, Zhang D M. Early plastic mulching increases stand establishment and lint yield of cotton in saline fields. *Field Crops Research*, 2009, 111: 269-275.
- [4] Han Y X, Wan X. A preliminary analysis on agricultural effects of cotton field mulched with plastic film. *Gansu Agricultural Science Technology*, 1995, 8:14-16.
- [5] 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, 50:173-183.
- [6] Li F M, Guo A H, Wei H. Effects of clear plastic film mulch on yield of spring wheat. *Field Crops Research*, 1999, 63: 79-86.
- [7] Xie Z K, Wang Y J, Li F M. Effect of plastic mulching on soil water use and spring wheat yield in arid region of northwest China. *Agricultural Water Management*, 2005, 75: 71-83.
- [8] Wang X L, Li F M, Jia Y, Shi W Q. Increasing potato yields with additional water and increased soil temperature. *Agricultural Water Management*, 2005, 78: 181-194.
- [9] Li X Y, Gong J D, Wei X H. In situ rainwater harvesting and gravel mulch combination for corn production in the dry semiarid region of China. *Arid Environment*, 2000, 46: 371-382.
- [10] Chakraborty D, Nagarajan S, Aggarwal P, Gupta V K, Tomar R K, Garg R N, Sahoo R N, Sarkar A, Chopra U K, Sundara, Sarma K S, Kalra N. Effect of mulching on soil and plant water status, and the growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) in a semiarid environment. *Agricultural Water Management*, 2008, 95: 1323-1334.
- [11] Wang Y J, Xie Z K, Malhi S S. Effect of rainfall harvesting and mulching technologies on water use efficiency and crop yield in the semi-arid Loess Plateau, china. *Agricultural Water Management*, 2009, 96: 374-382.
- [12] Li X L, Su D R, Yuan Q H. Ridge-furrow planting of alfalfa for improved rainwater harvest in the rainfed semiarid areas in the Northwest China. *Soil & Tillage Research*, 2007, 93: 117-125.
- [13] Jana L, Heisler W, John M, Blair W, Eugene F, Kelly Z. Contingent productivity responses to more extreme rainfall regimes across a grassland biome. *Global Change Biology*, 2009, 15: 2894-2904.
- [14] Baskin C C, Jerry M, Baskin; Seeds, ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. Academic Press, 2001.
- [15] Lundholm J T, Larson D W. Experimental separation of resource quantity from temporal variability: seedling responses to water pulses. *Oecologia*, 2004, 141: 346-352.
- [16] [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers*, New York: Cambridge University Press, 2007.
- [17] Schwinning, Sala S O E. Hierarchy of responses to resource pulses in arid and semi-arid ecosystems. *Oecologia*, 2004, 141(2): 211-220.
- [18] Fay P A, Schultz M J. Germination, survival, and growth of grass and forb seedlings: Effects of soil moisture variability. *Acta Oecologica*, 2009, 35: 679-684.
- [19] Liu C A, Jin S L, Zhou L M, Jia Y, Li F M, Xiong Y C, Li X G. Effects of plastic film mulch and tillage on maize productivity and soil parameters. *European Journal of Agronomy*, 2009, 31: 241-249.
- [20] Zhang B C, Li F M, Huang G B, Cheng Z Y, Zhang Y H. Yield performance of spring wheat improved by regulated deficit irrigation in an arid area. *Agricultural Water Management*, 2006, 79: 28-42.
- [21] 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: 385-391.
- [22] Li X Y. Experimental study on rainfall harvesting and microcatchment model for ecosystem construction in the transitional zone between arid and semiarid region. Ph. D. thesis, cold and arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Science, 2000.
- [23] Zhou L M, Li F M, Jin S L, Song Y J. How two ridges and the furrow mulched with plastic film affect soil water, soil temperature and yield of maize on the semiarid Loess Plateau of China. *Field Crops Research*, 2009, 11:41-47.
- [24] Fay P A, Carlisle J D, Knapp A K, Blair J M, Collins S L. Productivity responses to altered rainfall patterns in a C4-dominated grassland. *Oecologia*, 2003, 137: 245-251.
- [25] Fay P A, Carlisle J D, Danner B N, Lett M S, Mc C J K, Stewart C, Knapp A K, Blair J M, Collins S L. Altered rainfall patterns, gas exchange, and growth in grasses and forbs. *International Journal of Plant Science*, 2002, 163: 549-557.
- [26] Knapp A K, Fay P A, Blair J M, Collins S L, Smith M D, Carlisle J D, Harper C W, Danner B T, Lett M S, McCarron J K. Rainfall variability, carbon cycling, and plant species diversity in a mesic grassland. *Science*, 2002, 298: 2202-2205.
- [27] Jonathan M, Levine, A K M, Eachernand C C. Rainfall effects on rare annual plants. *Journal of Ecology*, 2008, 96: 795-806.
- [28] Clauss M J, Venable D L. Seed germination in desert annuals: An empirical test of adaptive bet hedging. *American Naturalist*, 2000, 155: 168-186.

- [29] Lundholm J, Larson D W. Experimental separation of resource quantity from temporal variability: seedling responses to water pulses. *Oecologia*, 2004, 141: 346-352.
- [30] Nippert J B, Knapp A K, Briggs J M. Intra-annual rainfall variability and grassland productivity: can the past predict the future. *Plant Ecology*, 2006, 184: 65-74.
- [31] Davis M A, Grime J P, Thompson K. Fluctuating resources in plant communities: a general theory of invisibility. *Journal of Ecology*, 2000, 88: 528-534.
- [32] Li S, Kang S Z, Li F H, Zhang L. Evapotranspiration and crop coefficient of spring maize with plastic mulch using eddy covariance in northwest China. *Agricultural Water Management*, 2008, 95: 1214-1222.
- [33] Li X Y, Gong J D. Compacted catchment with local earth materials for rainwater harvesting in the semiarid region of China. *Hydrology*, 2002, 257: 134-144.
- [34] Li X Y, Xie Z K, Yan X K. Runoff characteristics of artificial catchment materials for rainwater harvesting in the semiarid regions of China. *Agricultural Water Management*, 2004, 65: 211-224.
- [35] Li F M, Yan X, Wang J, Li S Q, Wang T C. The mechanism of yield decrease of spring wheat resulted from plastic film mulching. *Scientia Agricultura Sinica*, 2001, 34: 330-333.
- [36] Wang X L, Jun S W G, Jia Y, Li F M, Xu J Z. Crop yield and soil water restoration on 9-year-old alfalfa pasture in the semiarid Loess Plateau of China. *Agricultural Water Management*, 2008, 95: 190-198.

参考文献:

- [3] 李小雁,张瑞玲.旱作农田沟垄微型集雨结合覆盖玉米种植试验研究. *水土保持学报*, 2005, 19 (2):45-52.
- [4] 李军,王龙昌,孙小文.宁南半干旱偏旱区农田沟垄径流集蓄保墒效果与增产效应研究. *干旱地区农业研究*, 1999, 17 (2):89-93.
- [10] 寇江涛,师尚礼.垄覆膜集雨对苜蓿草地土壤水分动态及利用效率的影响. *中国生态农业学报*, 2011, 19 (1):47-53.
- [12] 尹国丽,负旭疆,师尚礼.半干旱区沟垄集雨种植对紫花苜蓿出苗及草产量的影响. *甘肃农业大学学报*, 2010, 45 (1):111-115.
- [34] 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.
- [36] 郭清毅,黄高宝.保护性耕作对旱地麦-豆双序列轮作农田土壤水分及利用效率的影响. *水土保持学报*, 2009, 19 (3):165-169.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 9 May, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Guest Editorial from EAM Workshop—Sustainability of agricultural ecosystems in arid regions in response to climate change	
..... LI Fengmin, Kadambot H. M Siddique, Neil C Turner, et al (I)	
Overview on the 2 nd international workshop on ecosystem assessment and management (EAM)	
..... LI Pufang, ZHAO Xuzhe, CHENG Zhengguo, et al (2349)	
Arid agricultural ecology in response to global change: Overview on Young Scholar Forum of the 2 nd International Workshop on	
EAM	ZHAO Xuzhe, LI Pufang, Kadambot H. M Siddique, et al (2356)
The effects of micro-rainwater harvesting pattern and rainfall variability on water ecological stoichiometry in oat (<i>Avena sativa</i> L.)	
field	QIANG Shengcai, ZHANG Hengjia, MO Fei, et al (2365)
Spatial variation of water requirement for spring wheat in the middle reaches of Heihe River basin	
..... WANG Yao, ZHAO Chuanyan, TIAN Fengxia, et al (2374)	
Model-based estimation of the canopy transpiration of Qinghai spruce (<i>Picea crassifolia</i>) forest in the Qilian Mountains	
..... TIAN Fengxia, ZHAO Chuanyan, FENG Zhaodong (2383)	
Litter amount and its nutrient storage and water holding characteristics under different coniferous forest types in Xiaolong Mountain,	
Gansu Province	CHANG Yajun, CHEN Qi, CAO Jing, et al (2392)
Effect of irrigation frequency on life history strategy and yield formation in Jerusalem artichoke (<i>Helianthus tuberosus</i> L.) in oasis	
of Hexi Corridor	ZHANG Hengjia, HUANG Gaobao, YANG Bin (2401)
The evaluation method of water resources sustainable utilization in Manas River Basin	
..... YANG Guang, HE Xinlin, LI Junfeng, et al (2407)	
Correlation of topographic factors with precipitation and surface temperature in arid and cold region of Northwest China: a case	
study in Gansu Province	YANG Sen, SUN Guojun, HE Wenying, et al (2414)
The relationship between riparian vegetation and environmental factors in Heihe River Basin	
..... XU Shasha, SUN Guojun, LIU Huiming, et al (2421)	
Effects of drought stress on the photosynthesis of <i>Salix paraqulesia</i> and <i>Hippophae rhamnoides</i> seedlings	
..... CAI Haixia, WU Fuzhong, YANG Wanqin (2430)	
The comparison of drought resistance between <i>Caragana species</i> (<i>Caragana arborescens</i> , <i>C. korshinskii</i> , <i>C. microphylla</i>) and two	
chickpea (<i>Cicer arietinum</i> L.) cultivars	FANG Xiangwen, LI Fengmin, ZHANG Haina, et al (2437)
Response of chlorophyll fluorescence characteristics of <i>Populus euphratica</i> heteromorphic Leaves to high temperature	
..... WANG Haizhen, HAN Lu, XU Yali, et al (2444)	
Free amino acid content in different tissues of <i>Caragana korshinskii</i> following all shoot removal	
..... ZHANG Haina, FANG Xiangwen, JIANG Zhirong, et al (2454)	
“Fertile Island” features of soil available nutrients around <i>Halostachys caspica</i> shrub in the alluvial fan area of Manas River watershed	
..... TU Jinna, XIONG Youcai, ZHANG Xia, et al (2461)	
Analysis of the activities of protective enzymes in <i>Bidens pilosa</i> L. inoculated with <i>Glomus mosseae</i> under drought stress	
..... SONG Huixing, ZHONG Zhangcheng, YANG Wanqin, et al (2471)	
Evaluation and selection on drought-resistance of germplasm resources of <i>Avena</i> species with different types of ploidy	
..... PENG Yuanying, YAN Honghai, GUO Laichun, et al (2478)	
Ecophysiological mechanism of photoperiod affecting phenological period and spike differentiation in oat (<i>Avena nuda</i> L.)	
..... ZHAO Baoping, ZHANG Na, REN Changzhong, et al (2492)	
Effects of water and fertilization on relationship between competitive ability and seed yield of modern and old spring wheat varieties	
..... DU Jingqi, WEI Panpan, YUAN Ziqiang, et al (2501)	

- Inhibitory effect of biogas slurry from swine farm on some vegetable pathogen SHANG Bin, CHEN Yongxing, TAO Xiuping, et al (2509)
- Effects of different summer catch crops planting on soil inorganic N residue and leaching in greenhouse vegetable cropping system WANG Zhiyi, GUO Ruiying, LI Fengmin (2516)
- Photosynthetic characterization and yield of summer corn (*Zea mays* L.) during grain filling stage under different planting pattern and population densities WEI Li, XIONG Youcai, Baoluo Ma, et al (2524)
- Effects of desulfurization waste treatment on calcium distribution and calcium ATPase activity in oil-sunflower seedlings under alkaline stress MAO Guilian, XU Xing, ZHENG Guoqi, et al (2532)
- The evolution between ecological security pattern and agricultural productive force in Manas River Basin for the past 30 years WANG Yuejian, XU Hailiang, WANG Cheng, et al (2539)
- Spatio-temporal analysis of ecological carrying capacity in Jinghe Watershed based on Remote Sensing and Transfer Matrix YUE Dongxia, DU Jun, LIU Junyan, et al (2550)
- The coupling relationship and emergy analysis of farming and grazing ecosystems in Mu Us sandland HU Binghui, LIAO Yuncheng (2559)
- Dynamic analysis of farmland ecosystem service value and multiple regression analysis of the influence factors in Minqin Oasis YUE Dongxia, DU Jun, GONG Jie, et al (2567)
- Environment purification service value of urban green space ecosystem in Qingdao City ZHANG Xuliang, XU Zongjun, ZHANG Zhaohui, et al (2576)
- The spatial relationship analysis of rural per capital revenue based on GIS in Zulihe River basin, Gansu Province XU Baoquan, SHI Weiqun (2585)

Review and Monograph

- The key issues on plant phenology under global change MO Fei, ZHAO Hong, WANG Jianyong, et al (2593)
- Recent advances on regional climate change by statistical downscaling methods ZHU Hongwei, YANG Sen, ZHAO Xuzhe, et al (2602)
- Current progress in eco-physiology of root-sourced chemical signal in plant under drought stress LI Jinan, LI Pufang, KONG Haiyan, et al (2610)
- ODAP biosynthesis: recent developments and its response to plant stress in grass pea (*Lathyrus sativus* L.) ZHANG Dawei, XING Gengmei, XIONG Youcai, et al (2621)
- Current progress in plant ideotype research of dryland wheat (*Triticum aestivum* L.) LI Pufang, CHENG Zhengguo, ZHAO Hong, et al (2631)
- Recent advances in research on drought-induced proteins and the related genes in wheat (*Triticum aestivum* L.) ZHANG Xiaofeng, KONG Haiyan, LI Pufang, et al (2641)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

客座编辑 Guest Editors LI Fengmin XIONG Youcai Neil Turner Kadambot Siddique

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 31 卷 第 9 期 (2011 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 9 2011

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	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
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 70.00 元