

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第34卷 第10期 Vol.34 No.10 **2014**

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 34 卷 第 10 期 2014 年 5 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 景观可持续性与景观可持续性科学..... 赵文武,房学宁 (2453)
- 生态系统服务付费的诊断框架及案例剖析 朱文博,王 阳,李双成 (2460)
- 湿地植物根表铁膜研究进展..... 刘春英,陈春丽,弓晓峰,等 (2470)
- 水生生态环境中捕食信息素的生态学效应..... 覃光球,卢豪良,唐振柱,等 (2481)
- 脊椎动物传播植物肉质果中的次生物质及其生态作用 潘 扬,罗 芳,鲁长虎 (2490)

个体与基础生态

- 中亚热带天然林土壤 CH_4 吸收速率对模拟 N 沉降的响应 陈朝琪,杨智杰,刘小飞,等 (2498)
- 塔里木盆地南缘早生芦苇生态特征与水盐因子关系..... 贡 璐,朱美玲,塔西甫拉提·特依拜,等 (2509)
- 黄刺玫叶片光合生理参数的土壤水分阈值响应及其生产力分级..... 张淑勇,夏江宝,张光灿,等 (2519)
- 亚热带杉木和米老排人工林土壤呼吸对凋落物去除和交换的响应..... 余再鹏,万晓华,胡振宏,等 (2529)
- 施钾提高蚜害诱导的小麦茉莉酸含量和叶片相关防御酶活性..... 王 伟,张月玲,苏建伟,等 (2539)
- 高浓度 O_3 及太阳辐射减弱对冬小麦 PS II 光合活性及光能耗散的影响 孙 健,郑有飞,吴荣军,等 (2548)
- 蜡样芽孢杆菌 B3-7 在大田小麦根部的定殖动态及其对小麦纹枯病的防治效果 黄秋斌,张 颖,刘凤英,等 (2559)
- 有限供水下冬小麦全程耗水特征定量研究..... 张兴娟,薛绪掌,郭文忠,等 (2567)
- 抗真菌转基因水稻生态适合度评价..... 李 伟,郭建夫,袁红旭,等 (2581)
- 花生叶片蛋白组对 UV-B 辐射增强的响应 杜照奎,李钧敏,钟章成,等 (2589)
- 南海南部悬浮颗粒物脂肪酸组成..... 刘华雪,柯常亮,李纯厚,等 (2599)
- 年龄、集群、生境及天气对鄱阳湖白鹤越冬期日间行为模式的影响..... 袁芳凯,李言阔,李凤山,等 (2608)
- [树]麻雀羽再生的能量预算和水代谢散热调节 杨志宏,吴庆明,杨 渺,等 (2617)
- 低剂量杀虫剂对星豹蛛捕食效应的影响及其机理 李 锐,李 娜,刘 佳,等 (2629)
- 空心莲子草叶甲对越冬保护的响应与控害效能..... 刘雨芳,王秀秀,李 菲,等 (2638)

种群、群落和生态系统

- 气候变化对鄱阳湖白鹤越冬种群数量变化的影响..... 李言阔,钱法文,单继红,等 (2645)
- 不同退耕年限下菜子湖湿地土壤磷素组分特征变化..... 刘文静,张平究,董国政,等 (2654)

查干湖湿地浮游植物与环境因子关系的多元分析	李然然,章光新,张 蕾 (2663)
闽江河口区淡水和半咸水潮汐沼泽湿地土壤产甲烷菌多样性.....	曾志华,杨民和,余晨兴,等 (2674)
环境及遗传背景对延河流域植物叶片和细根功能性状变异的影响.....	郑 颖,温仲明,宋 光,等 (2682)
衡阳紫色土丘陵坡地植被恢复阶段土壤特性的演变.....	杨 宁,邹冬生,杨满元,等 (2693)
海平面上升影响下广西钦州湾红树林脆弱性评价.....	李莎莎,孟宪伟,葛振鸣,等 (2702)
中国南方 3 种主要人工林生物量和生产力的动态变化.....	杜 虎,曾馥平,王克林,等 (2712)
杉木人工林土壤真菌遗传多样性.....	何苑擘,周国英,王圣洁,等 (2725)
科尔沁固定沙地植被特征对降雨变化的响应.....	张腊梅,刘新平,赵学勇,等 (2737)
黄土丘陵区退耕还林地刺槐人工林碳储量及分配规律.....	申家朋,张文辉 (2746)
景观、区域和全球生态	
南亚热带森林演替过程中小气候的改变及对气候变化的响应.....	刘效东,周国逸,陈修治,等 (2755)
黄淮海平原典型站点冬小麦生育阶段的干旱特征及气候趋势的影响.....	徐建文,居 辉,刘 勤,等 (2765)
资源与产业生态	
基于 GIS 的山西省矿产资源规划环境影响评价	刘 伟,杜培军,李永峰 (2775)
基于效益分摊的水电水足迹计算方法——以密云水库为例	赵丹丹,刘俊国,赵 旭 (2787)
学术信息与动态	
全球土地计划第二次开放科学大会 (GLP 2 nd Open Science Meeting) 会议述评	段宝玲,卜玉山 (2796)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 348 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 36 * 2014-05	



封面图说: 鄱阳湖越冬的白鹤群——白鹤为国家一级保护动物,世界上白鹤东部种群的迁徙路线是从俄罗斯西伯利亚的雅库特,向南迁飞 5100km 到中国长江下游的鄱阳湖越冬,其中途经俄罗斯的雅纳河、印迪吉尔卡河和科雷马河流域,进入中国后主要停歇地有扎龙、林甸、莫莫格以及双台河口、滦河口、黄河三角洲和升金湖等地。多年的监测表明,世界 90% 以上的白鹤种群都在鄱阳湖越冬。越冬初期和末期是白鹤补充能量的关键阶段,因此,研究鄱阳湖国家级自然保护区越冬白鹤种群数量和当地气候变化的相关性具有重要意义。

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/stxb201308072041

张兴娟,薛绪掌,郭文忠,李亮,王志敏.有限供水下冬小麦全程耗水特征定量研究.生态学报,2014,34(10):2567-2580.

Zhang X J, Xue X Z, Guo W Z, Li L, Wang Z M. Quantitative study of water consumption characteristics of winter wheat under deficit irrigation. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(10): 2567-2580.

有限供水下冬小麦全程耗水特征定量研究

张兴娟^{1,2}, 薛绪掌¹, 郭文忠¹, 李 亮¹, 王志敏^{2,*}

(1. 国家农业智能装备工程技术研究中心, 北京 100097; 2. 中国农业大学, 北京 100193)

摘要:为明确冬小麦不同水分条件下全生育过程日耗水及阶段耗水特征,在北京地区利用蒸渗仪系统连续监测了几种灌溉处理(W4:起身水+孕穗水+开花水+灌浆水;W2:拔节水+开花水;W1:拔节水;W0:无灌水)耗水动态变化。结果表明:冬小麦全生育期的耗水动态可分为3个阶段:(1)播种至11月底的冬前阶段,这个阶段日耗水量波动明显,一般低于3 mm/d;(2)12月上旬至来年2月底的冬季阶段,这个阶段日耗水量低于0.4 mm/d,且波动很小;(3)3月初小麦返青至收获的春后生长阶段,这个阶段日耗水量总体上是一个先升高后降低的过程,但波动很大,每次灌水都会引起1个日耗水高峰的出现。耗水日变化呈单峰或双峰曲线,高峰出现在正午前后,高峰值因灌水处理而有明显差异,灌水多则耗水峰值显著升高,而夜间耗水量及其在不同处理间差异均很小。拔节至成熟期是冬小麦耗水的主要时期,该期耗水占总耗水60%以上。减少灌溉会增加土壤贮水消耗,但降低了总耗水量。综合比较表明,在有限灌溉下,拔节水和开花水组合是高产和高水分效率相统一的灌溉模式。

关键词:冬小麦;限量灌溉;耗水特征;水分利用效率;蒸渗仪

Quantitative study of water consumption characteristics of winter wheat under deficit irrigation

ZHANG Xingjuan^{1,2}, XUE Xuzhang¹, GUO Wenzhong¹, LI Liang¹, WANG Zhimin^{2,*}

1 The National Research Center for Intelligent Equipments in Agriculture, Beijing 100097, China

2 China Agricultural University, Beijing 100193, China

Abstract: From October of 2011 to June of 2012, water consumption of a winter wheat cultivar Jingdong 22 under four irrigation treatments was monitored continuously using 24 weighing lysimeters in Beijing, China. The weighing lysimeters monitored water consumption of winter wheat at an interval of five minutes. Soil water content within all the lysimeters was adjusted to field capacity before plantation. The four irrigation treatments were W0 (no irrigation after plantation), W1 (one irrigation after plantation at the jointing stage), W2 (two irrigations after plantation at the jointing and flowering stages, respectively), and W4 (four irrigations after plantation at the erecting, booting, flowering and grain-filling stages, respectively). The amount of water applied in each irrigation was 40 mm. Rainfall during the growth season was kept away from the lysimeters with an automatic rain-proof shelter. The experiment results showed that water consumption during this winter wheat season could be divided into three stages. The first stage was from the plantation date to the stable freezing date at early December of 2011. Daily water consumption during this stage fluctuated significantly and was usually less than 3 mm/day. Total water consumption during this stage was between 32 to 35 mm. The second stage was during freezing season spanned from early December of 2011 to early March of 2012. During this stage, daily water consumption was less than 0.4 mm/d and fluctuated little. Total water consumption during this stage was between 21 to 24 mm. The third stage was from

基金项目:国家自然科学基金(31171489);国家重点基础研究发展计划项目(2012CB955904);农业部公益性行业专项(200903007);国家小麦产业技术体系(CARS-3)

收稿日期:2013-08-07; **网络出版日期:**2014-02-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhimin206@263.net

green-up in early March of 2012 to harvest. During this stage, daily water consumption increased first, reached the highest value around heading stage, remained at high value until mid-grain-filling and decreased quickly approaching ripening, with large increase of daily water consumption after each irrigation. Changes of evapotranspiration rates showed patterns of single or double peak curves for each day, with different peaks appearing around midday for the four treatments. Evapotranspiration rates were significantly correlated to total radiation, temperature, and relative humidity, with the highest correlation coefficient with total radiation. Night water consumption and its variation were small for all irrigation treatments. Water consumption of winter wheat mainly happened after the jointing stage. With increasing irrigation amount, more irrigation water and less soil water were consumed. In the treatments of W1 and W0, soil water contributed 62% and 76% of total water consumption, respectively. In the W2 treatment, irrigation water contributed 32%, and soil water contributed 50% of water consumption. Irrigation water contributed to 50%, and soil water contributed 36% of water consumption of the W4 treatment. Grain yield levels of the four treatments were in the order of $W4 > W2 > W1 > W0$, whereas water use efficiencies of the four treatments were $W2 > W4 > W1 > W0$. Among the deficit irrigation treatments, incorporation of irrigations at the jointing and flowering stages led to high grain yield and water use efficiency, while water use efficiencies for the four treatments were similar (about $15 \text{ kg/hm}^2/\text{mm}$).

Key Words: winter wheat; deficit irrigation; water consumption characteristics; water use efficiency; lysimeter

我国北方小麦生产受水资源紧缺的限制,发展节水灌溉、提高水分利用效率具有重要意义^[1]。小麦的水分利用效率是由产量和耗水量共同决定的,在保持或提高产量的前提下,尽可能降低耗水量是节水栽培的重要方向。为了降低耗水量,需要了解小麦生育过程不同时段的耗水特征及其与产量形成的关系。研究表明,增加灌溉会增加小麦耗水量,在小麦某些生育时期适度水分亏缺有利于提高籽粒产量和水分利用效率,有利于增加土壤贮水的有效利用^[2-8]。然而,以往研究大多采用取土样烘干称重法测定土壤含水量变化并估算农田耗水量,但因受取样点数量限制误差较大,且难以对农田耗水进行逐日逐时连续动态的监测^[9-10]。

近年来蒸渗仪测定法作为一种准确性较高、能够连续测定农田蒸散变化、反映作物生长发育过程中的详细耗水过程的一种方法,正日益受到国内外研究者的重视和使用^[11-12]。利用蒸渗仪测定法,刘昌明等研究了冬小麦生长期间的逐日蒸散和蒸发过程,确定了棵间蒸发占蒸散的比例随生育时期叶面积指数和表层土壤含水量的变化而变化的定量关系^[13]。一些学者研究了冬小麦在土壤水分较好的条件下农田耗水变化,表明耗水高峰与灌水时期一致,同时灌溉能够降低冬小麦利用土壤底墒水的能力^[10,14]。还有人分析了冬小麦返青~收获期相对蒸散与叶面积指数和 0—60 cm 表层土壤含水量的关

系^[15]。但是,这些研究多为单一灌溉制度下的研究,未详细分析不同生育阶段日耗水特征。对不同灌溉模式下冬小麦全程耗水动态变化规律尚需系统定量测试分析。

本试验利用 24 套小型蒸渗仪对不同水分条件下冬小麦全生育期内耗水连续变化及其与环境因子的关系进行分析研究,旨在为提高水分利用效率,发展节水栽培提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2011—2012 年在北京市昌平区国家精准农业试验基地进行。试验地建有 24 套小型称重式蒸渗仪系统,每个蒸渗仪土箱占地面积为 1.0 m^2 ,深度为 2 m,内装大田原状土壤,配置有美国进口的杠杆式称重系统和重量传感器,每隔 5 min 测定和记录一次土体内水分变化,测定耗水量的灵敏度在 0.05—0.1 mm 之间,由计算机自动控制采集记录数据。田间配备气象站,全程采集空气温湿度、光照、风速、降雨量等数据。

试验前耕层土壤容重为 1.39 g/cm^3 ,全 N 含量为 86.2 mg/kg ,速效磷含量为 21.5 mg/kg ,速效钾含量为 83.5 mg/kg 。供试冬小麦品种为京冬 22。播前施底肥并浇足底墒水,底肥量为纯 N 24 g/m^2 , P_2O_5 16 g/m^2 , K_2O 7.5 g/m^2 ,硫酸锌 ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 1.5

g/m²,有机肥(鸡粪)2 kg/m²。10 月 15 日播种,播种时每个小蒸渗仪小区播 5 行,行间距 15 cm,基本苗为 400 株/m²。为了保证苗期安全越冬生长,播后至起身期末阻隔降水(期间累计降水 45.7 mm),待返青起身后利用遮雨棚阻隔降雨,并进行 4 个不同灌溉模式的水分处理:起身水+孕穗水+开花水+灌

浆水(W4)、拔节水+开花水(W2)、拔节水(W1)和不灌水(W0),每个处理 6 个重复,随机区组排列。各灌溉处理限量灌水,灌水量及灌水时期见表 1。试验分布情况见图 1。春季未追肥,其他管理同常规栽培。

表 1 不同处理灌水量及灌水时期
Table 1 Irrigation volume and irrigation stages of different treatments

处理 Treatment	灌水量 Irrigation amount/mm				
	起身水(4月1日) Irrigation at standing stage	拔节水(4月14日) Irrigation at jointing stage	孕穗水(4月22日) Irrigation at booting stage	开花水(5月6日) Irrigation at flowering stage	灌浆水(5月16日) Irrigation at grain-filling stage
W4	40	0	40	40	40
W2	0	40	0	40	0
W1	0	40	0	0	0
W0	0	0	0	0	0

W4:起身水+孕穗水+开花水+灌浆水;W2:拔节水+开花水;W1:拔节水;W0:不灌水

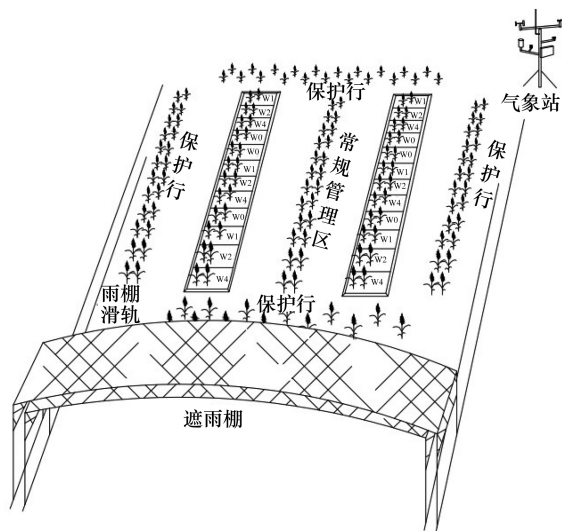


图 1 试验分布图
Fig.1 Experimental plots arrangement

1.2 测定项目与方法

1.2.1 生育进程

密切关注冬小麦生长发育状况,随时记录各小区进入关键生长发育时期的时间。

1.2.2 耗水动态

蒸渗仪系统自动连续记录各小区土体重量变化,通过农田水分平衡法^[3,12,16]计算出作物耗水量:

$$ET=P+I-\Delta SW$$

式中,ET 为作物耗水量,包括植株蒸腾量与裸间蒸发量;P 为降水量;I 为灌溉量; ΔSW 为土壤贮水变化

量,即土壤贮水消耗量。

1.2.3 生物量与产量

在拔节、开花、成熟等主要生育时期测定植株干物量,每小区每次取代表性植株样 20 株。各小区收获后测籽粒产量。

1.2.4 水分利用效率

根据不同生育阶段群体干物质积累量和耗水量,计算阶段生物量水分利用效率(WUEb)^[17];根据最终籽粒产量和总耗水量计算籽粒产量水分利用效率(WUEy):

$$WUEb = \text{阶段干物质积累量} / \text{阶段耗水量}$$

$$WUEy = \text{籽粒产量} / \text{总耗水量}$$

1.3 数据处理

利用 Microsoft excel 2007 对数据进行绘图,采用 SAS9.2 进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 全生育期日耗水量动态

图 2 为试验期间气温、日辐射量变化,由图可看出冬小麦全生育期内日平均温度基本呈 V 或 U 型曲线变化,先降低后升高,冬前于 11 月 30 日以后稳定低于 0℃,于 1 月 20 日达最低气温,之后开始回升,约在 3 月 12 日以后稳定高于 0℃;日辐射量变化也呈类似曲线变化,先降低后升高,约在 1 月 7 日达到全生育期最低日辐射量。

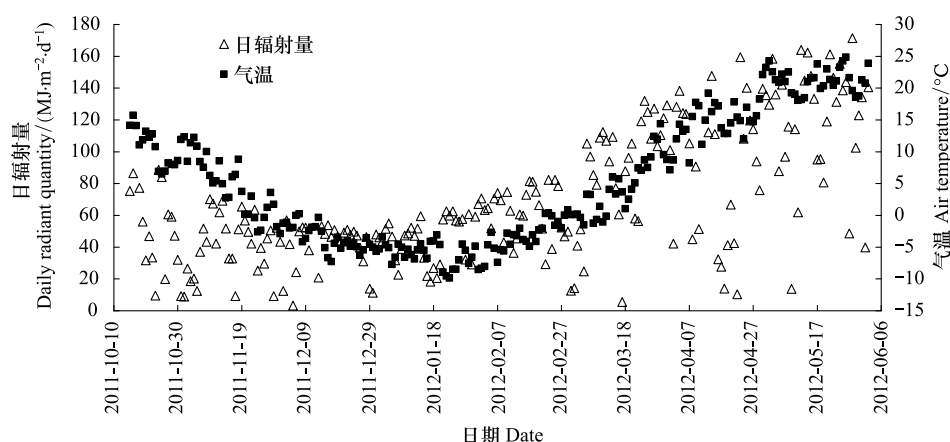


图2 小麦生长季气温和日辐射量变化

Fig.2 Changes of air temperature and daily radiant quantity in winter wheat growth season

图3为不同水分条件下冬小麦全生育期内日蒸散量变化。由图看出,播后至12月前冬小麦日蒸散量虽有较大波动,但期间最大值低于3 mm/d,且总体上逐渐减小;从12月中下旬直至下年3月上旬,日均温处于0℃以下,每日蒸散量也处于低值平稳期,波动小,日蒸散量均低于0.4 mm/d。但日蒸散量变化进入平稳期的时间晚于日平均温度稳定低于0

℃的时间。3月中旬以后,日蒸散量逐渐上升并进入高值期,处理间差异明显。相对于W0处理,W4、W2和W1灌水处理每次灌水后都会出现日耗水量明显上升的过程。从全生育期看,日耗水量高值期为4月中旬至5月中旬,最高值出现在孕穗至灌浆前,且受灌水的影响,灌水次数越多日耗水量越大。5月下旬至成熟日耗水量迅速下降。

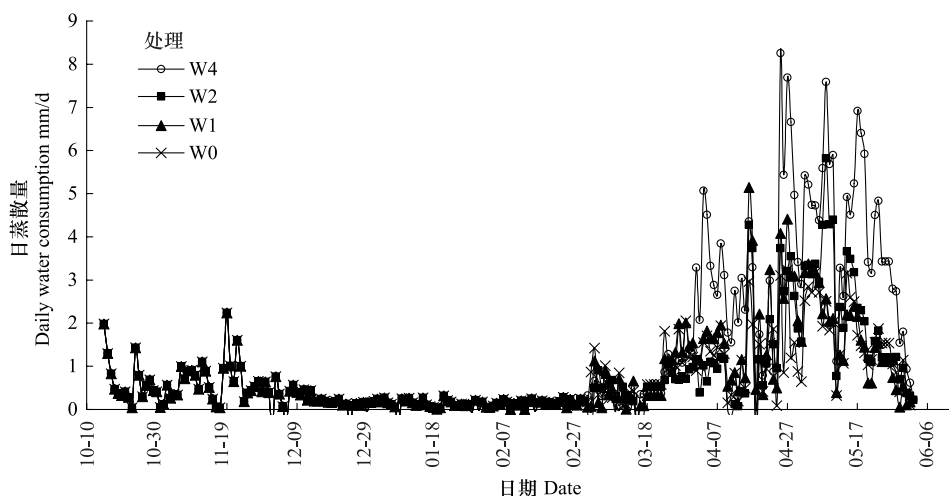


图3 不同水分条件下冬小麦全生育期内日蒸散量变化

Fig.3 Daily water consumption of winter wheat during total growth period under different water conditions

W4:起身水+孕穗水+开花水+灌浆水;W2:拔节水+开花水;W1:拔节水;W0:不灌水

2.2 不同时期耗水日变化动态

为了解不同水分条件下冬小麦不同生育时期一日中不同时间的耗水特征,对每次灌水后第2至5日每日不同时间耗水动态(图4—图8)进行比较分析。

由图4看出,在4月3日—5日内,W4处理灌起身水后日耗水动态变化趋势与未浇水的W0处理

(W1、W2处理此时也未浇水,同W0)基本相似,均呈现双峰曲线特征,12:00左右出现第1个高峰值,之后有一个下降又上升的过程,在15:00左右出现第2个小峰值。浇水处理(W4)一日中不同时间的耗水速率均高于未浇水处理(W0),但夜间差异较小,白天差异显著,即灌水引起小麦白天耗水速率

的显著增加。耗水日变化动态与总辐射及温度的日变化动态存在相似趋势。

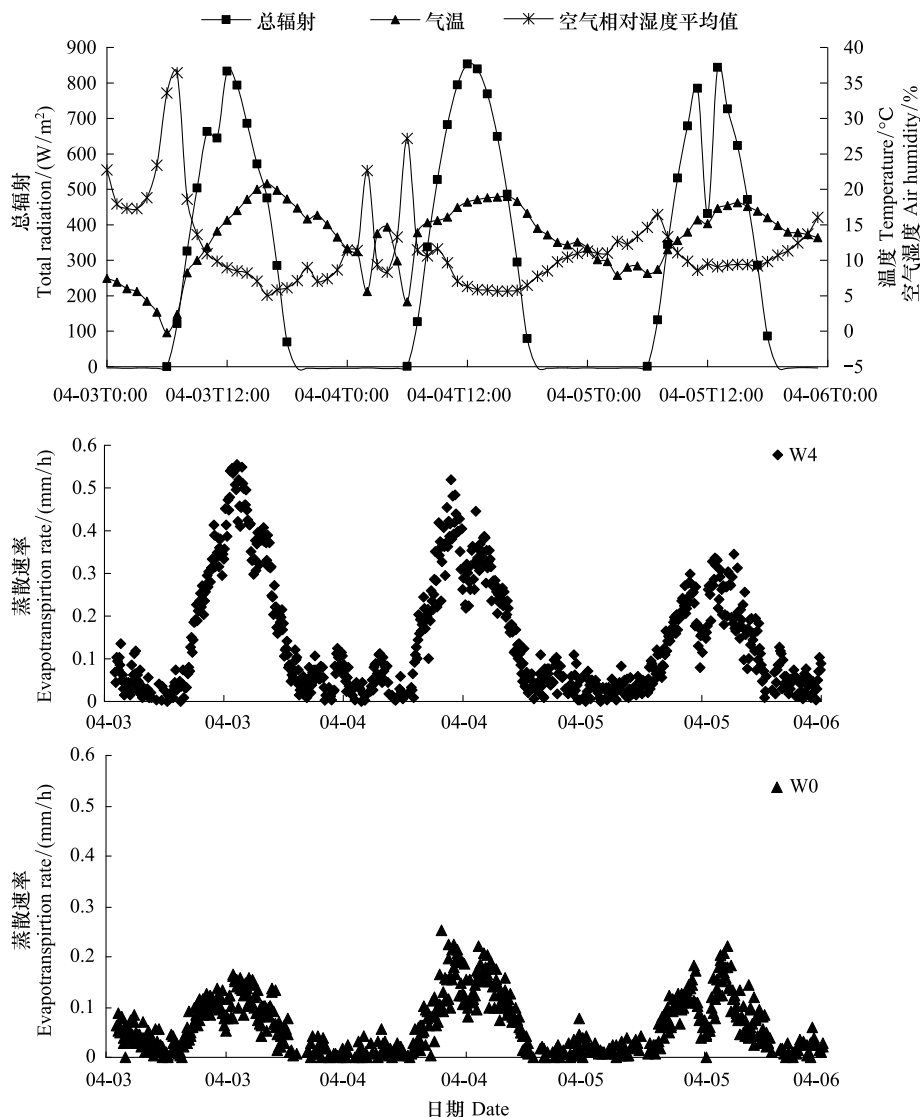


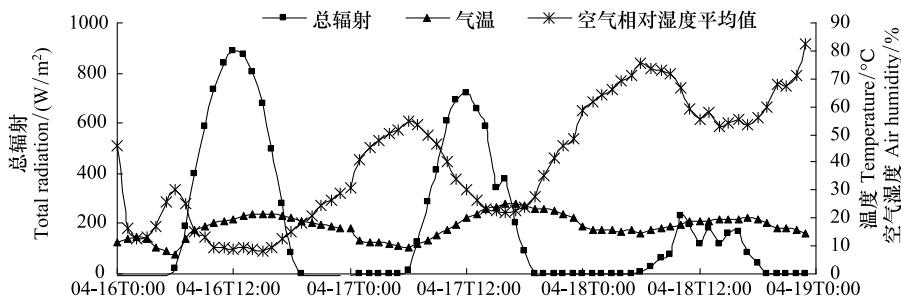
图4 浇起身水(W4)后不同处理的日耗水动态

Fig.4 Daily dynamic change of wheat water consumption at standing stage under different irrigation treatments

由图5知,在W2(W1同)处理灌拔节水后的4月16日—18日,各处理日耗水动态出现一定差异,此时W2和W4处理表现为单峰曲线,峰值出现在12:00稍后。而W0处理耗水速率则呈现出双峰型特征,两峰值分别出现在12:00前、后,且高峰值明

低于W2与W4。

由图6知,在W4处理浇孕穗水后,因受天阴影响,4月24日耗水速率小,峰值不明显;25—26日耗水速率W4和W1(W2同)呈单峰曲线,而W0呈不明显的双峰型,高峰值 $W4 > W1 > W0$,差异显著。



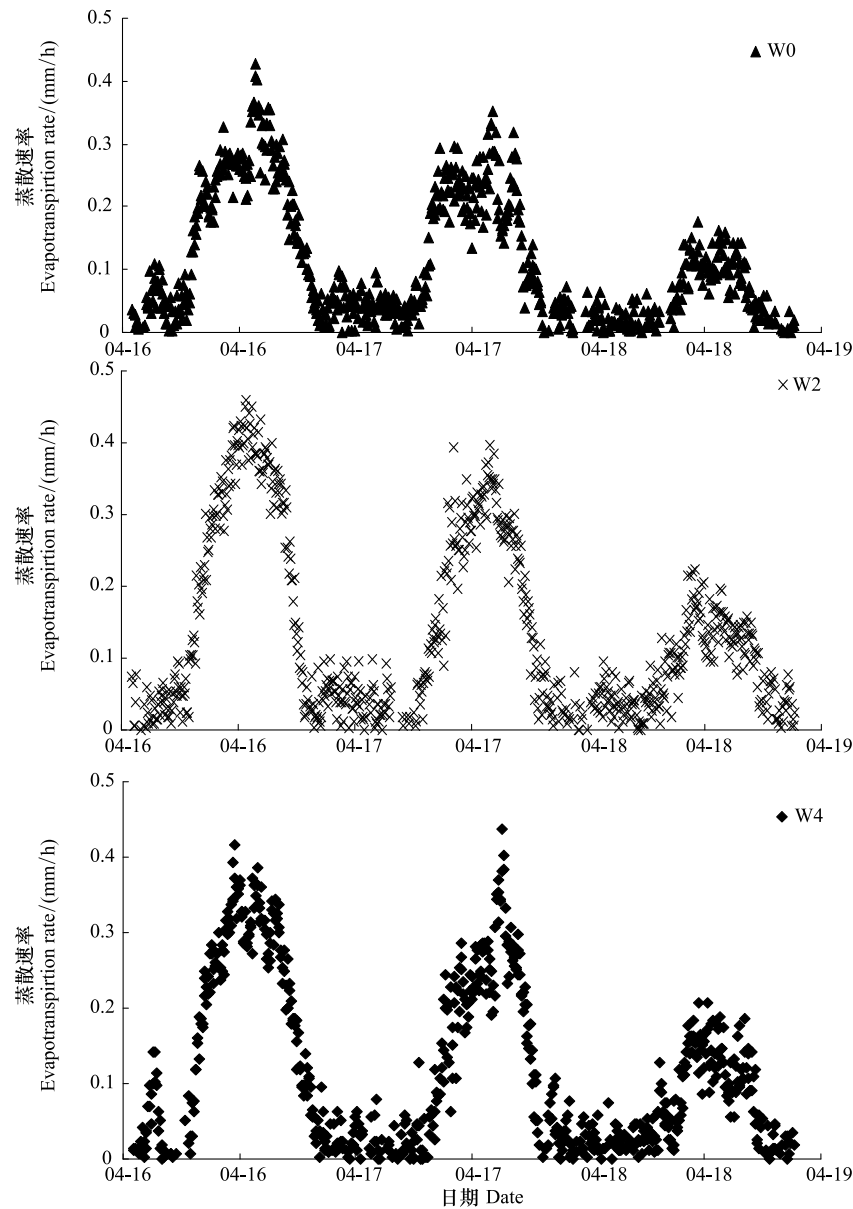
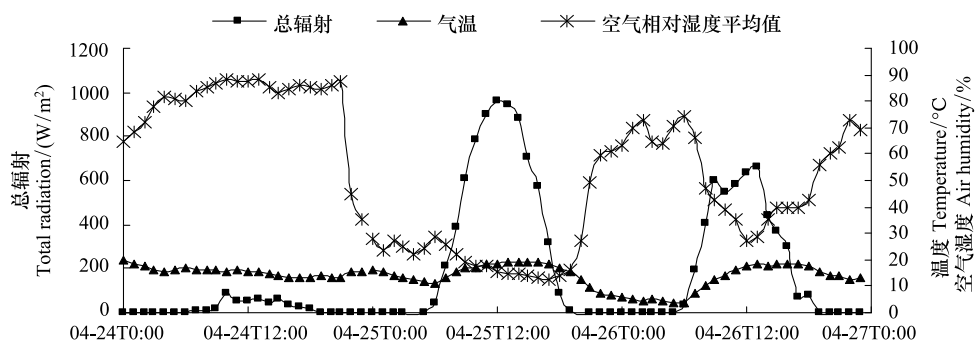


图 5 浇拔节水(W1,W1)后不同处理的日耗水动态

Fig.5 Daily dynamic change of wheat water consumption at jointing stage under different irrigation treatments



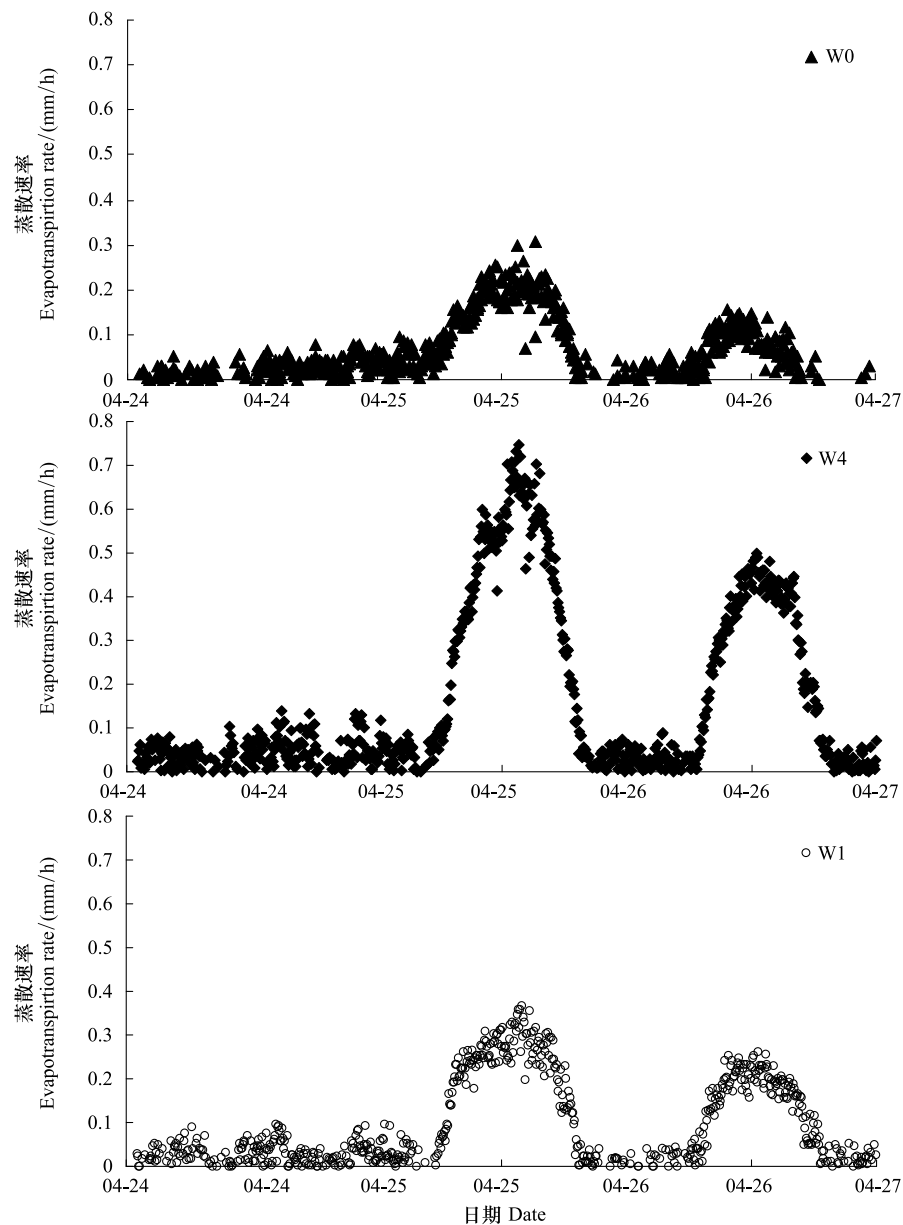
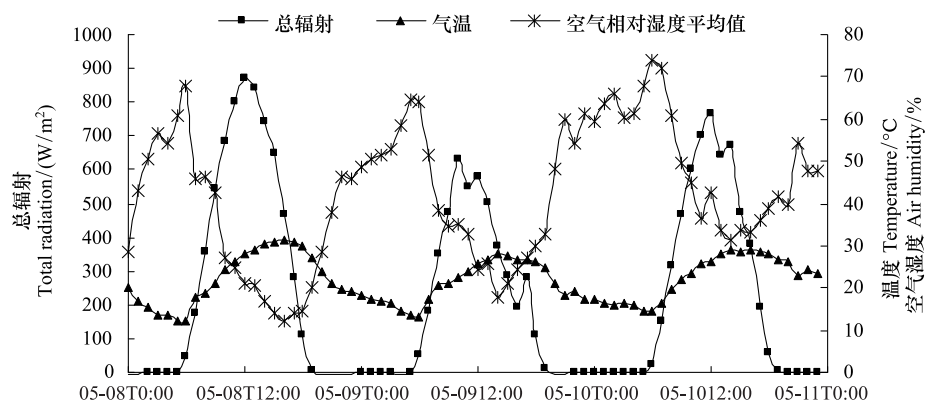


图6 浇孕穗水(W4)后不同处理的日耗水动态

Fig.6 Daily dynamic change of wheat water consumption at booting stage under different irrigation treatments

由图7可知,在W4和W2浇开花水后,各处理日耗水速率基本呈单峰曲线型变化,高峰值 $W4 > W2 > W1 > W0$,处理间白天耗水差异显著,夜间差异很小。



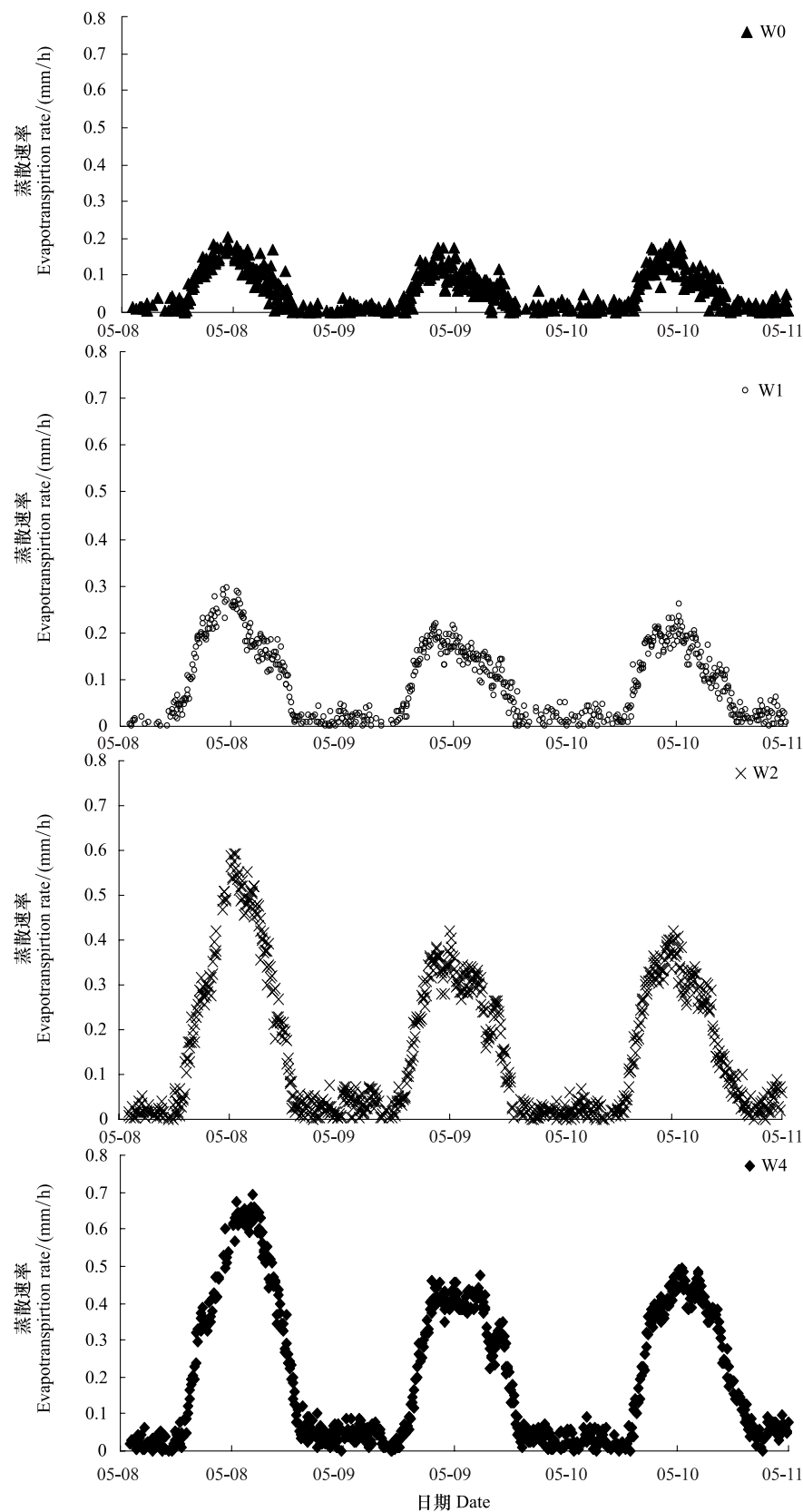
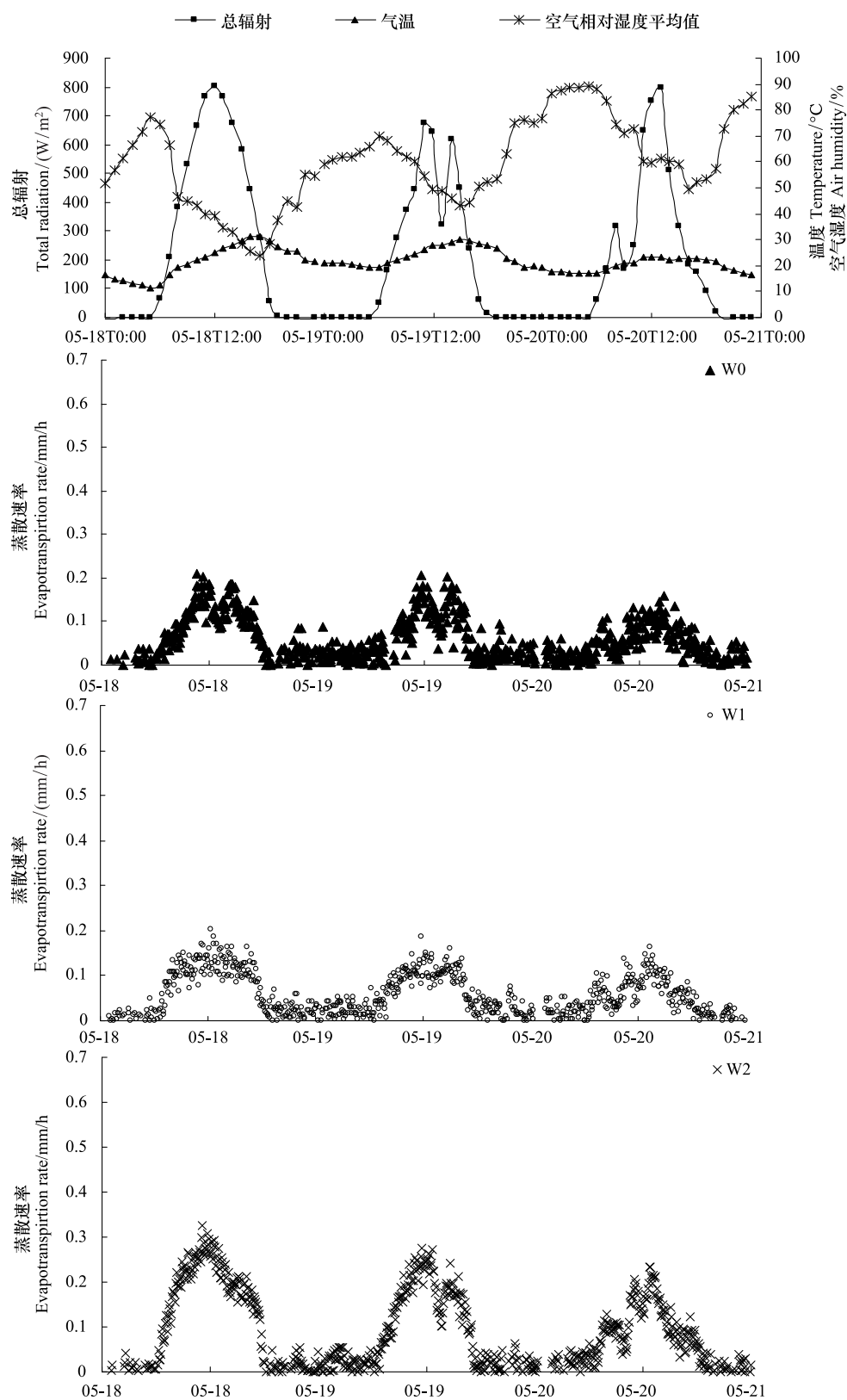


图 7 浇开花水(W4,W2)后不同处理的日耗水动态

Fig.7 Daily dynamic change of wheat water consumption after flowering under different irrigation treatments

由图 8 可知,在 W4 浇灌浆水后,各处理日耗水速率变化均呈现类似双峰曲线特征,高峰出现在 12:00 前、后。不同处理夜间耗水差异较小,白天不

同时间耗水速率平均值与高峰值均表现为 $W4 > W2 > W1 > W0$,以 W4 显著高于其他处理。



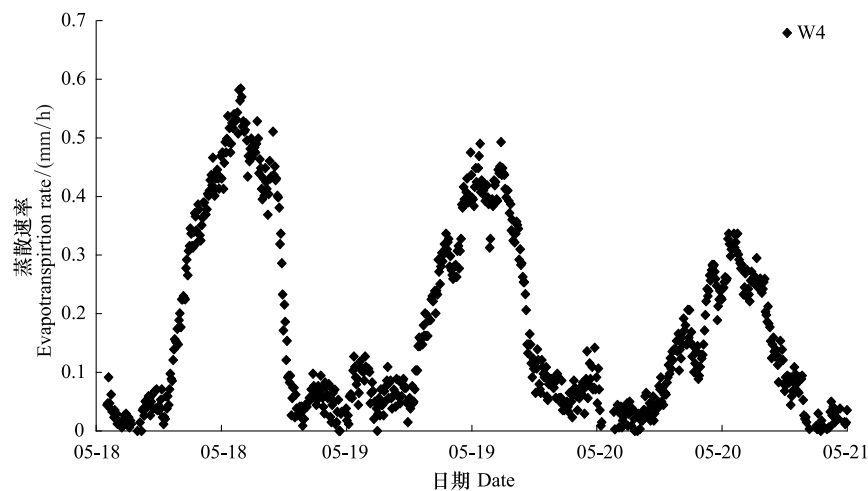


图 8 浇灌浆水 (W4) 后不同处理的日耗水动态图

Fig.8 Daily dynamic change of wheat water consumption at grain-filling stage under different irrigation treatments

2.3 耗水日变化与气象因子间的关系

为探究不同水分条件下冬小麦日耗水动态与气象因子(空气温度、总辐射和空气湿度)间的关系,将冬小麦不同生育时期连续 3d 的日耗水变化动态与气象因子的变化动态进行相关性分析(表 2)。表明,冬小麦生育期内的耗水日变化与空气温度和总辐射的日变化均呈极显著正相关关系(和总辐射的相关系数最高),和空气湿度呈极显著负相关关系。

表 2 不同水分条件下冬小麦不同生育阶段日耗水动态与气象因子间的关系

Table 2 Relation between dynamic changes of daily water consumption of winter wheat and meteorological factors under different irrigation treatments

日期 Date	处理 Treatment	气温 Air temperature	总辐射 Total radiation	空气湿度 Air humidity
2011-11-06—8	平均	0.58 **	0.781 **	-0.615 **
2012-04-03—5	W0	0.464 **	0.854 **	-0.313 **
	W4	0.635 **	0.878 **	-0.473 **
	W4	0.635 **	0.878 **	-0.473 **
2012-04-16—18	W0	0.296 **	0.672 **	-0.572 **
	W2	0.426 **	0.711 **	-0.534 **
	W4	0.426 **	0.660 **	-0.542 **
2012-04-24—26	W0	0.370 **	0.779 **	-0.687 **
	W1	0.535 **	0.899 **	-0.665 **
	W4	0.541 **	0.928 **	-0.686 **
2012-05-08—10	W0	0.503 **	0.907 **	-0.501 **
	W1	0.653 **	0.942 **	-0.655 **
	W2	0.708 **	0.951 **	-0.714 **
	W4	0.773 **	0.928 **	-0.771 **
2012-05-18—20 日	W0	0.572 **	0.766 **	-0.562 **
	W1	0.624 **	0.821 **	-0.619 **
	W2	0.544 **	0.916 **	-0.581 **
	W4	0.719 **	0.860 **	-0.711 **

** 表示相关性达极显著水平(0.01 水平)

2.4 不同生育阶段耗水特征

2.4.1 不同阶段耗水量及比例

小麦生长不同阶段耗水量见表 3。由于灌水量有限且起身后阻挡降水,各处理小麦全生育期总耗水量均较低,但处理间仍有显著差异,耗水量大小表现为:W4>W2>W1>W0。冬前(从播种到日平均温

度稳定低于 0℃期间)小麦苗龄小,期间耗水量为 32—35 mm。冬季(日均温低于 0℃期间)耗水量更低,为 21—24 mm。春季气温回升和冬小麦恢复生长后耗水增加,不同灌溉处理间耗水量也出现明显差异。从年后日均温稳定达到 0℃至拔节期,W4 耗水量显著高于其他处理。拔节至开花期 W4 耗水量显著高于其他处理,W2 和 W1 间耗水量无显著差异,但显著高于 W0;开花至成熟期,不同处理阶段耗水量仍表现明显差异,即 W4>W2>W1>W0。以拔节为界,灌溉越少,拔节前耗水量占总耗水量的比例越大;灌溉越多,拔节后耗水量占总耗水量的比例越大。W4 拔节至成熟期耗水占总耗水比例超过 60%。

表 3 不同水分条件下冬小麦不同生育阶段耗水量及比例

Table 3 Water consumption and percentage in different growth periods of winter wheat under different irrigation treatments

处理 Treatment	播种-日均温 0℃ Period from sowing to a daily mean temperature of 0℃		日均温低于 0℃ Period with a daily mean temperature below 0℃		日均温 0℃-拔节 Period from daily mean temperature of 0℃ to jointing		拔节-开花 Period from jointing to flowering		开花-成熟 Period from flowering to mature		总耗水量 Total water consumption /mm
	丰水量/mm	%	丰水量/mm	%	丰水量/mm	%	丰水量/mm	%	丰水量/mm	%	
W4	34.3a	10.7	20.7a	6.4	70.4a	21.9	94.3a	29.4	101.6a	31.6	321.3a
W2	33.3a	13.2	23.4a	9.3	46.5b	18.5	76.9b	30.5	71.7b	28.5	252.0b
W1	34.6a	15.4	23.9a	10.7	45.2b	20.1	78.0b	34.8	42.7c	19.0	224.4c
W0	31.5a	16.71	21.4a	11.4	48.3b	25.6	49.5c	26.2	37.8c	20.1	188.5d

表中不同小写字母表示 5%水平的差异显著性

2.4.2 不同阶段耗水来源构成

小麦耗水来源包括灌溉水、降水和播前土壤贮水。在本试验条件下,不同处理在不同阶段的耗水来源及其构成比例有很大不同(表 4)。从全生育期看,随灌溉量增加,灌溉水消耗越多,土壤贮水消耗越少,W4 处理总耗水中灌溉水占 50%,土壤贮水消

耗量占 36%;W2 处理,灌水占 32%,土壤贮水占 50%;W1 和 W0 处理土壤水消耗占总耗水比例分别达 62%和 76%。在前期管理一致的情况下,拔节至成熟期灌水量和灌水次数的增加会显著减少冬小麦此阶段对土壤水的消耗。

表 4 不同水分条件下冬小麦生育期耗水来源及其比例

Table 4 Water use constituents of winter wheat under different irrigation treatments

处理 Treatment	播种-拔节 Sowing-Jointing			拔节-开花 Jointing-Anthesis			开花-成熟 Anthesis-Maturity			全生育期 Sowing-Maturity		
	灌水量 I/mm	降水量 P/mm	土壤贮 水消耗量 ΔSW/mm	灌水量 I/mm	降水量 P/mm	土壤贮 水消耗量 ΔSW/mm	灌水量 I/mm	降水量 P/mm	土壤贮 水消耗量 ΔSW/mm	灌水量 I/mm	降水量 P/mm	土壤贮 水消耗量 ΔSW/mm
W4	40	45.7	39.7	40	0	54.3	80	0	21.6	160 (50%)	45.7 (14%)	115.6 (36%)
W2	0	45.7	57.5	40	0	36.9	40	0	31.7	80 (32%)	45.7 (18%)	126.3 (50%)
W1	0	45.7	58.0	40	0	38.0	0	0	42.7	40 (18%)	45.7 (20%)	138.7 (62%)
W0	0	45.7	55.5	0	0	49.5	0	0	37.8	0 (0%)	45.7 (24%)	142.8 (76%)

I: Irrigation; P: Precipitation; ΔSW: Soil storage water consumption; 括号内数据为不同耗水来源占总耗水比例

2.5 不同水分条件下冬小麦产量与水分利用效率

在本试验条件下,拔节之前气温较低,小麦生长量较小,但因历时较长,虽日耗水量低,而阶段总耗水量仍较高,使得生物量的水分利用效率较低。拔节后植株生长量显著增大,在控制降水和按处理限

量灌水下,中后期生物量水分利用效率较高,处理间比较以 W2 处理生物量水分利用效率最高(表 5)。籽粒产量表现为 W4>W2>W1>W0,而产量水分利用效率表现为 W2>W4>W1>W0。可见,拔节和开花期灌水处理的水分效率最高。

表 5 不同水分条件下冬小麦水分利用效率

Table 5 Water use efficiency of winter wheat under different irrigation treatments

处理 Treat	播种-拔节 Sowing-Jointing		拔节-开花 Jointing-Anthesis		开花-成熟 Anthesis-Maturity		籽粒产量 Grain Yield/ (kg/hm ²)	产量水分 利用效率 WUEy/ (kg hm ⁻² mm ⁻¹)
	阶段物质 积累量 Biomass accumulation/ (kg/hm ²)	生物量水分 利用效率 WUEb / (kg hm ⁻² mm ⁻¹)	阶段物质 积累量 Biomass accumulation/ (kg/hm ²)	生物量水分 利用效率 WUEb / (kg hm ⁻² mm ⁻¹)	阶段物质 积累量 Biomass accumulation/ (kg/hm ²)	生物量水分 利用效率 WUEb / (kg hm ⁻² mm ⁻¹)		
W4	2040a	16.3	5985a	63.4	3960a	39.0	4920a	15.3
W2	1770b	17.2	5760b	74.9	3210ab	44.8	4244b	16.8
W1	1695b	16.3	4410b	56.5	2610ab	61.1	3375c	15.0
W0	1650b	16.3	3675c	74.2	2070b	54.7	2790c	14.8

WUEb; WUE for biomass; WUEy; WUE for grain yield

3 讨论

本试验通过蒸渗仪对冬小麦全生育期的耗水动态进行了连续定量测定,反映了小麦水分利用的基本变化特征。研究表明,小麦日耗水量在不同阶段变化较大,大致可区分为 3 个阶段:(1)播种至越冬前,这个阶段日耗水量虽有明显波动,但一般低于 3 mm/d,这主要是冬小麦处于苗期,作物虽在生长,但气温在逐渐下降,蒸散较小;(2)12 月中下旬至 3 月上旬,日均温低于 0 ℃,日耗水量低于 0.4 mm/d,波动极小,主要是土壤蒸发;(3)3 月下旬至收获,这个阶段日耗水量总体上是一个先升高后降低的抛物线型动态变化过程,拔节前为耗水上升期,随气温回升和小麦迅速生长,蒸发加强,蒸腾也逐渐增强。拔节至灌浆为耗水高值期,以作物蒸腾为主^[10],日耗水量最高值 W4 处理可达 8 mm/d。灌浆后期至成熟,蒸腾减弱,为耗水迅速下降期。受灌水的影响春季耗水波动很大,每次灌水都会引起一个日耗水短期快速上升的波峰。拔节和开花期灌水可显著增加冬小麦耗水高值持续期的耗水量,开花水和灌浆水可增加耗水下降期的实际耗水量。

由于一日中不同时段植株功能状态和综合环境的不同,小麦耗水动态也表现出日变化特点。程维新曾报道,小麦耗水日变化呈单峰型曲线特征,峰值一般在中午出现,但峰值带较宽^[18]。王会肖等对小麦叶片蒸腾与光合有效辐射的日变化进程进行研究,水分充足条件下两者间的变化过程非常相似,都是早晚低、中午高的单峰曲线^[19]。但王润元等对半干旱雨养区春小麦的测定表明,光合日变化呈典型的“双峰”特征,而蒸腾速率日变化也呈不明显的“双峰”型,且其最大值的出现晚于净光合速率最大

值出现的时间,并认为有效辐射是影响蒸腾速率最主要因素^[20]。这些研究主要观测的是蒸腾的日变化,未包括土壤蒸发的变化。本试验利用蒸渗仪综合测定小麦蒸散量动态表明,天气晴朗条件下,冬小麦在 6:00—18:00 之间的蒸散量动态基本是一个先升高后降低的过程,但在中午会有明显的蒸散波动,在 12:00—15:00 之间出现一个先下降再上升的历程,从而会表现出双峰型变化特征,且不浇水处理表现更明显。浇水处理使日耗水峰值明显升高,但不同处理晚间蒸散量均很低。在冬小麦生育期内,气象因子的日变化影响冬小麦日耗水动态^[21]。从本试验看,辐射和温度两者的日变化是决定冬小麦日耗水动态的主要气象因素,且辐射的影响相对更大一些。光、温既影响土壤蒸发量,也影响叶面蒸腾量,特别是对叶片蒸腾日变化有很大影响。但在中午强光和高温条件下,冬小麦蒸散动态出现了波动性下降,这可能与气孔导度在中午高温强光低湿下的适应性下降有密切关系^[22-25]。小麦日蒸散量是日蒸发量和日蒸腾量两者之和,未来需要进一步研究蒸发和蒸腾两个方面的日变化特征及其对日耗水动态的相对影响^[26-27]。

从各生育阶段耗水量分析,拔节至成熟期是冬小麦耗水的主要阶段,在本试验中,W4 处理此阶段耗水占全生育期耗水的 60%,这与大田试验测定结果相似^[3]。在北京地区较晚播条件下,拔节前冬小麦对土壤水的消耗很少,在拔节至成熟期无灌溉或减少灌溉下冬小麦会大量消耗土壤水,而增加灌水量和灌水次数则减少了土壤水消耗,但却增加了总的耗水量;限量灌溉条件下,起身期、拔节期灌水可显著促进冬小麦前中期生长,开花期和灌浆期灌水显著促进后期物质积累,灌水次数越多,生物量越

大,但生物量的水分利用效率并不随生物量增加而同步增加。在本试验中,虽然籽粒产量表现为 $W_4 > W_2 > W_0 > W_1$,但产量水分利用效率却以 W_2 最高。可见,拔节水和开花水两者的组合是相对最高效的灌水模式。以往研究也指出,拔节至开花期是冬小麦需水的生理生态临界期^[3,14],此期水分胁迫对冬小麦的产量和水分利用效率影响最大^[10]。因此,在农田灌溉中,将有限的水资源优先在拔节-开花期补给是合适的^[3,7-8]。

References:

- [1] Fang Q X, Ma L, Green T R, Yu Q, Wang T D, Ahuja L R. Water resources and water use efficiency in the North China Plain: Current status and agronomic management options. *Agricultural Water Management*, 2010, 97(8): 1102-1116.
- [2] Schillinger W F, Schofoll S E, Alldredge J R. Available water and wheat grain yield relations in a Mediterranean climate. *Field Crops Research*, 2008, 109(1/3): 45-48.
- [3] Zhang S Q, Fang B T, Wang Z M, Zhou S L, Zhang Y H. Influence of different spring irrigation treatments on water use and yield formation of late-sowing winter wheat. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(4): 2035-2044.
- [4] Li F M, Liu X L, Li S Q. Effects of early soil water distribution on the dry matter partition between roots and shoots of winter wheat. *Agricultural Water Management*, 2001, 49(3): 163-171.
- [5] Jiang J, Zhang Y Q. Soil-water balance and water use efficiency on irrigated farm land in the North China Plain. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18(3): 61-65.
- [6] Li Y S, Wang L, Liu S P, Wang J S. The influence of different amounts of water supplied at different depths in soil-root interface on root distribution and yield of winter wheat. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(10): 1680-1687.
- [7] Wang D M, Yu Z W. Effects of irrigation amount and stage on water consumption characteristics and grain yield of wheat. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(9): 1965-1970.
- [8] Chu P F, Wang D, Zhang Y L, Wang X Y, Wang X Z, Yu Z W. Effects of irrigation stage and amount on water consumption characteristics, grain yield and content of protein components of wheat. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(4): 1306-1315.
- [9] Cheng L, Yang G X, Chen H B, Shi L K. Analysis of sampling error for soil water measured by drying and weighing method. *Meteorological and Environmental Sciences*, 2009, 32(2): 33-36.
- [10] Fang Q X, Chen Y H, Li Q Q, Yu S Z, Luo Y, Yu Q, Ouyang Z. Effect of irrigation on water use efficiency of winter wheat. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2004, 20(4): 34-39.
- [11] Lopez-Urrea R, Martin de Santa Olalla F, Fabeiro C, Moratalla A. Testing evapotranspiration equations using lysimeter observations in a semiarid climate. *Agricultural Water Management*, 2006, 85(1/2): 15-26.
- [12] Liu S P, Yang J F, Li B Q, Li Y S. A new large weighing lysimeter and its application to agro-hydrological process studies. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2000, 31(3): 29-36.
- [13] Liu C M, Zhang X Y, You M S. Determination of daily evaporation and evapotranspiration of winter wheat field by large scale weighing lysimeter and micro lysimeter. *Journal of Hydraulic Engineering*, 1998, 29(10): 36-39.
- [14] Sun H Y, Liu C M, Zhang Y Q, Zhang X Y. Effects of water stress in different growth stage on water consumption and yield in winter wheat. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2003, 22(2): 13-16.
- [15] Wang J, Li X G, Liu E M, Yu Q. The relationship between relative evapotranspiration and leaf area index and surface soil water content in winter wheat field of North China Plain. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2003, 11(2): 32-34.
- [16] Li J M, Wang P, Zhou D X, Lan L W. Effect of the irrigation systems of winter wheat on the soil storage water utilization. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 1999, 7(1): 54-57.
- [17] Steduto P, Hsiao T C, Fereres E. On the conservative behavior of biomass water productivity. *Irrigation Science*, 2007, 25(3): 189-207.
- [18] Cheng W X. Effect of crop biology on water consumption. *Geographical Research*, 1985, 4(3): 24-31.
- [19] Wang H X, Liu C M. Experimental study on crop photosynthesis, transpiration and high efficient water use. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(10): 1632-1636.
- [20] Wang R Y, Yang X G, Zhao H, Liu H Y. Eco-physiological characteristics of wheat leaf photosynthesis and their responses to environmental factors in semiarid rain-fed region. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(10): 1161-1166.
- [21] Gao Z Q, Zou Y J, Wang X W, Wei Q P. Advance of influence factors for water transport in plants. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2004, 22(2): 200-204.
- [22] Lhomme J P, Elguero E, Chehbouni A, Boulet G. Stomatal control of transpiration: examination of Monteith's formulation of canopy resistance. *Water Resources Research*, 1998, 34(9): 2301-2308.
- [23] Jones H G, Lakso A N, Syvertsen J P. Physiological control of water status in temperate and subtropical fruit tree. *Horticultural Reviews*, 1985, 7: 301-304.
- [24] Johnson I R, Melkonian J J, Thornley J H M, Riha S J. A model of water flow through plants incorporating shoot/root 'message' control of stomatal conductance. *Plant Cell and Environment*, 1991, 14(6): 531-544.
- [25] Zhang J, Davies W J. Does ABA in the xylem control the rate of

leaf growth in soil dried maize and sunflower plants? Journal of Experiment Botany, 1990, 41(9): 1125-1132.

- [26] Budagovsky A I, Novák V. Theory of evapotranspiration: 1. Transpiration and its quantitative description. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 2011, 59(1): 3-23.
- [27] Budagovsky A I, Novák V. Theory of evapotranspiration: 2. Soil and intercepted water evaporation. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 2011, 59(2): 73-84.

参考文献:

- [3] 张胜全, 方保停, 王志敏, 周顺利, 张英华. 春灌模式对晚播冬小麦水分利用及产量形成的影响. 生态学报, 2009, 29(4): 2035-2044.
- [5] 姜杰, 张永强. 华北平原灌溉农田的土壤水量平衡和水分利用效率. 水土保持学报, 2004, 18(3): 61-65.
- [6] 李运生, 王菱, 刘士平, 王吉顺. 土壤-根系界面水分调控措施对冬小麦根系和产量的影响. 生态学报, 2002, 22(10): 1680-1687.
- [7] 王德梅, 于振文. 灌溉量和灌溉时期对小麦耗水特性和产量的影响. 应用生态学报, 2008, 19(9): 1965-1970.
- [8] 褚鹏飞, 王东, 张永丽, 王小燕, 王西芝, 于振文. 灌水时期和灌水量对小麦耗水特性、籽粒产量及蛋白质组分含量的影响. 中国农业科学, 2009, 42(4): 1306-1315.
- [9] 成林, 杨光仙, 陈海波, 师丽魁. 烘干称重法测定土壤水分取样误差分析. 气象与环境科学, 2009, 32(2): 33-36.
- [10] 房全孝, 陈雨海, 李全起, 于舜章, 罗毅, 于强, 欧阳竹. 灌溉对冬小麦水分利用效率的影响研究. 农业工程学报, 2004, 20(4): 34-39.
- [12] 刘士平, 杨建锋, 李宝庆, 李运生. 新型蒸渗仪及其在农田水文过程研究中的应用. 水利学报, 2000, 31(3): 29-36.
- [13] 刘昌明, 张喜英, 由懋正. 大型蒸渗仪与小型棵间蒸发器结合测定冬小麦蒸散的研究. 水利学报, 1998, 29(10): 36-39.
- [14] 孙宏勇, 刘昌明, 张永强, 张喜英. 不同时期干旱对冬小麦产量效应和耗水特性研究. 灌溉排水学报, 2003, 22(2): 13-16.
- [15] 王靖, 李湘阁, 刘恩民, 于强. 华北平原冬小麦相对蒸散与叶面积指数及表层土壤含水量的关系. 中国生态农业学报, 2003, 11(2): 32-34.
- [16] 李建民, 王璞, 周殿玺, 兰林旺. 冬小麦灌溉制度对土壤贮水利用的影响. 中国生态农业学报, 1999, 7(1): 54-57.
- [18] 程维新. 作物生物学特性对耗水量的影响. 地理研究, 1985, 4(3): 24-31.
- [19] 王会肖, 刘昌明. 作物光合、蒸腾与水分高效利用的试验研究. 应用生态学报, 2003, 14(10): 1632-1636.
- [20] 王润元, 杨兴国, 赵鸿, 刘宏谊. 半干旱雨养区小麦叶片光合生理生态特征及其对环境的响应. 生态学杂志, 2006, 25(10): 1161-1166.
- [21] 高照全, 邹养军, 王小伟, 魏钦平. 植物水分运转影响因子的研究进展. 干旱地区农业研究, 2004, 22(2): 200-204.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.10 May, 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Landscape sustainability and landscape sustainability science ZHAO Wenwu, FANG Xuening (2453)
- A diagnostic framework of payments for ecosystem services and associated case studies
..... ZHU Wenbo, WANG Yang, LI Shuangcheng (2460)
- Progress in research of iron plaque on root surface of wetland plants
..... LIU Chunying, CHEN Chunli, GONG Xiaofeng, et al (2470)
- Ecological effects of predator chemical cues in aquatic ecosystem QIN Guangqiu, LU Haoliang, TANG Zhenzhu, et al (2481)
- Secondary substances and their ecological effects on seed dispersal in vertebrate-dispersed fleshy fruit plants
..... PAN Yang, LUO Fang, LU Changhu (2490)

Autecology & Fundamentals

- Responses of CH₄ uptake rates to simulated N deposition in a nature forest in mid-subtropical China
..... CHEN Chaoqi, YANG Zhijie, LIU Xiaofei, et al (2498)
- Ecological characteristics of *Phragmites australis* and their relationship to water-salt indicators in dry habitats of the southern
marginal zones of the Tarim Basin, China GONG Lu, ZHU Meiling, TASHPOLAT · Tiyp, et al (2509)
- Threshold effect of soil moisture on photosynthetic and physiological parameters in *Rosa xanthina* L. and its photosynthetic
productivity classification ZHANG Shuyong, XIANG Jiangbao, ZHANG Guangcan, et al (2519)
- Contrasting responses of soil respiration to litter manipulation in subtropical *Mytilaria laosensis* and *Cunninghamia lanceolata*
plantations YU Zaipeng, WAN Xiaohua, HU Zhenhong, et al (2529)
- Potassium application for increased jasmonic acid content and defense enzyme activities of wheat leaves infested by aphids
..... WANG Yi, ZHANG Yueling, SU Janwei, et al (2539)
- Combined effects of elevated O₃ concentration and reduced solar irradiance on photosynthetic activity and energy dissipation
of winter wheat SUN Jian, ZHENG Youfei, et al (2548)
- Colonization dynamics of *Bacillus cereus* B3-7 on wheat roots and control efficiency against sharp eyespot of wheat
..... HUANG Qiubin, ZHANG Ying, LIU Fengying, et al (2559)
- Quantitative study of water consumption characteristics of winter wheat under deficit irrigation
..... ZHANG Xingjuan, XUE Xuzhang, GUO Wenzhong, et al (2567)
- Assessment on the ecological fitness of anti-fungal transgenic rice LI Wei, GUO Jianfu, YUAN Hongxu, et al (2581)
- A proteomic analysis of *Arachis hypogaea* leaf in responses to enhanced ultraviolet-B radiation
..... DU Zhaokui, LI Junmin, ZHONG Zhangcheng, et al (2589)
- Composition of fatty acids from suspended particulate matter in southern South China Sea
..... LIU Huaxue, KE Changliang, LI Chunhou, et al (2599)
- The influence of age, flock size, habitat, and weather on the time budget and the daily rhythm of wintering Siberian Cranes
in Poyang Lake YUAN Fangkai, LI Yankuo, LI Fengshan, et al (2608)
- The energy budget and water metabolism heat regulation of tree sparrows *Passer montanus* of toba compensatory regeneration
..... YANG Zhihong, WU Qingming, YANG Miao, et al (2617)
- The effect of low-dose of pesticide on predation of spider and its preliminary mechanisms LI Rui, LI Na, LIU Jia, et al (2629)
- Response of the alligator weed flea beetle, *Agasicles hygrophila* (Coleoptera: Chrysomelidae) to overwintering protection and
its controlling effect on alligator weed *Alternanthera philoxeroides* (Amaranthaceae: Alternanthera)
..... LIU Yufang, WANG Xiuxiu, LI Fei, et al (2638)

Population, Community and Ecosystem

- The effect of climate change on the population fluctuation of the Siberian crane in Poyang Lake LI Yankuo, QIAN Fawen, SHAN Jihong, et al (2645)
- Characteristics of soil phosphorus fractions in wetlands with various restoration age in caizi lake, Anhui Province LIU Wenjing, ZHANG Pingjiu, DONG Guozheng, et al (2654)
- Multivariate analysis of the relations between phytoplankton assemblages and environmental factors in Chagan Lake Wetland LI Ranran, ZHANG Guangxin, ZHANG Lei (2663)
- Diversity of methanogen communities in tidal freshwater and brackish marsh soil in the Min River estuary ZENG Zhihua, YANG Minhe, SHE Chenxing, et al (2674)
- The influence of environment and phylogenic background on variation in leaf and fine root traits in the Yanhe River catchment, Shaanxi, China ZHENG Ying, WEN Zhongming, SONG Guang, et al (2682)
- Changes of soil properties in re-vegetation stages on sloping-land with purple soils in hengyang of Hunan Province, South-central China YANG Ning, ZOU Dongsheng, YANG Manyuan, et al (2693)
- Vulnerability assessment on the mangrove ecosystems in qinzhou bay under sea level rise LI Shasha, MENG Xianwei, GE Zhenming, et al (2702)
- Dynamics of biomass and productivity of three major plantation types in southern China DU Hu, ZENG Fuping, WANG Kelin, et al (2712)
- Fungal diversity in *Cunninghamia lanceolata* plantation soil HE Yuanhao, ZHOU Guoying, WANG Shenjie, et al (2725)
- Response of sandy vegetation characteristics to precipitation change in Horqin Sandy Land ZHANG Lamei, LIU Xinping, ZHAO Xueyong, et al (2737)
- Characteristics of carbon storage and sequestration of *Robinia pseudoacacia* forest land converted by farmland in the Hilly Loess Plateau Region SHEN Jiapeng, ZHANG Wenhui (2746)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Forest microclimate change along with the succession and response to climate change in south subtropical region LIU Xiaodong, ZHOU Guoyi, CHEN Xiuzhi, et al (2755)
- Drought variations of winter wheat in different growth stages and effects of climate trend in Huang-Huai-Hai Plain, China XU Jianwen, JU Hui, LIU Qin, et al (2765)

Resource and Industrial Ecology

- A method of environment assessment of mineral resources planning for shanxi provinces base on GIS LIU Wei, DU Peijun, LI Yongfeng (2775)
- A new approach to assess the water footprint of hydropower: a case study of the Miyun reservoir in China ZHAO Dandan, LIU Junguo, ZHAO Xu (2787)

《生态学报》2014 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,280 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 祖元刚

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 34 卷 第 10 期 (2014 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 10 (May, 2014)

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