ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

第31卷 第8期 Vol.31 No.8 2011

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 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 8 期　　2011 年 4 月　（半月刊）

目　　次

塔里木河下游胡杨径向生长与地下水的关系…… 安红燕，徐海量，叶　茂，等（2053）
冲积平原区高程因子对土壤剖面质地构型的影响——以封丘县为例…… 檀满枝，密术晓，李开丽，等（2060）
臭氧胁迫对大豆叶片抗坏血酸-谷胱甘肽循环的影响 …… 王俊力，王　岩，赵天宏，等（2068）
重要理化因子对小球藻生长和油脂产量的影响…… 张桂艳，温小斌，梁　芳，等（2076）
北亚热带马尾松净生产力对气候变化的响应…… 程瑞梅，封晓辉，肖文发，等（2086）
亚热带沟叶结缕草草坪土壤呼吸…… 李熙波，杨玉盛，曾宏达，等（2096）
UV-B 辐射对马尾松凋落叶分解和养分释放的影响 …… 宋新章，张慧玲，江　洪，等（2106）
干旱胁迫下内生真菌感染对羽茅的生理生态影响…… 韩　荣，李　夏，任安芝，等（2115）
蜜环菌对锌的耐性和富集特性…… 朱　林，程显好，李维焕，等（2124）
干旱荒漠区狭叶锦鸡儿灌丛扩展对策…… 张建华，马成仓，刘志宏，等（2132）
黄土高原区不同植物凋落物搭配对土壤微生物量碳、氮的影响 …… 王春阳，周建斌，夏志敏，等（2139）
内蒙古典型草原克氏针茅与冰草的生存策略 …… 孙　建，刘　苗，李胜功，等（2148）
荒漠沙柳根围 AM 真菌的空间分布 …… 贺学礼，杨　静，赵丽莉（2159）
开放式昼夜不同增温对单季稻影响的试验研究…… 董文军，邓艾兴，张　彬，等（2169）
醉马草免培养内生细菌的多样性…… 张雪兵，史应武，曾　军，等（2178）
河南生态足迹驱动因素的 Hi_PLS 分析及其发展对策 …… 贾俊松（2188）
禹城市耕地土壤盐分与有机质的指示克里格分析 …… 杨奇勇，杨劲松，余世鹏（2196）
旋覆花提取物对朱砂叶螨的生物活性及酶活性的影响…… 段丹丹，王有年，成　军，等（2203）
白洋淀湖滨湿地岸边带氨氧化古菌与氨氧化细菌的分布特性…… 叶　磊，祝贵兵，王　雨，等（2209）
干旱胁迫条件下 6 种喀斯特主要造林树种苗木叶片水势及吸水潜能变化……
…… 王　丁，姚　健，杨　雪，等（2216）
桉树人工林物种多样性变化特征…… 刘　平，秦　晶，刘建昌，等（2227）
海河流域湿地生态系统服务功能价值评价…… 江　波，欧阳志云，苗　鸿，等（2236）
芦苇在微咸水河口湿地甲烷排放中的作用…… 马安娜，陆健健（2245）
云南不同土壤铅背景值下大叶茶种群对铅的吸收积累特征及其遗传分化……
…… 刘声传，段昌群，李振华，等（2253）
长江口和杭州湾凤鲚胃含物与海洋浮游动物的种类组成比较…… 刘守海，徐兆礼（2263）
江西大岗山地区 7—9 月降水量的重建与分析 …… 乔　磊，王　兵，郭　浩，等（2272）
山核桃免耕经营的经济效益和生态效益…… 王正加，黄兴召，唐小华，等（2281）
基于 GIS 的广州市中心城区城市森林可达性分析…… 朱耀军，王　成，贾宝全，等（2290）

专论与综述

土壤呼吸温度敏感性的影响因素和不确定性…… 杨庆朋，徐　明，刘洪升，等（2301）
植物代谢速率与个体生物量关系研究进展…… 程栋梁，钟全林，林茂兹，等（2312）
耕地生态补偿实践与研究进展 …… 马爱慧，蔡银莺，张安录（2321）

问题讨论

元谋干热河谷三种植被恢复模式土壤贮水及入渗特性…… 刘　洁，李贤伟，纪中华，等（2331）

研究简报

中微量元素和有益元素对水稻生长和吸收镉的影响…… 胡　坤，喻　华，冯文强，等（2341）

期刊基本参数：CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 296 * zh * P * ￥70.00 * 1510 * 33 * 2011-04

封面图说：巴西热带雨林——美丽的巴西北部玛瑙斯热带雨林景观。位于南美洲的亚马逊河是世界上流域最广、流量最大的河流，孕育了世界面积最大的热带雨林，雨林中蕴藏着极丰富的生物资源。

彩图提供：中国科学院生态环境研究中心徐卫华博士　E-mail：xuweihua@rcees.ac.cn

生 态 学 报 2011,31(8):2169—2177
Acta Ecologica Sinica

开放式昼夜不同增温对单季稻影响的试验研究

董文军[1],邓艾兴[2],张　彬[1],田云录[1],陈　金[1],杨　飞[1],张卫建[1,2,*]
(1.南京农业大学应用生态研究所,江苏 南京　210095;
2.中国农业科学院作物科学研究所/农业部作物生理生态与栽培重点开放实验室,北京　100081)

摘要:全球变暖趋势日益明朗,且存在明显的季节性差异和昼夜不对称性。水稻是我国最重要的粮食作物,研究水稻生产力对昼夜不同增温的响应与适应对我国未来粮食安全战略决策至关重要。在江苏南京设计我国首个稻田开放式增温(FATI:Free Air Temperature Increased)系统,在2007—2008年对水稻进行昼夜不同增温(全天增温、白天增温和夜间增温)的试验研究。结果表明,该增温系统可以形成4 m^2均匀且稳定的增温范围,全天、白天和夜间增温处理平均分别可以使水稻全生育期冠层日均温升高2.0℃、0.6℃和0.9℃。白天增温使水稻全生育期冠层白天温度平均升高1.1℃,夜间增温使夜间温度平均升高1.8℃,与未来的升温幅度相似。全天、白天和夜间增温处理下,水稻冠层温度日较差变化分别为0.1℃、0.6℃和-0.9℃。同时,在该系统的3种增温情景下,水稻分蘖期、孕穗期和灌浆期的田间冠层温度日变化趋势基本与常规对照区一致,全生育期的日平均温度变化趋势也基本一致。两年的增温试验表明,不同增温情景均对水稻的生育进程、成熟期地上生物量和产量产生了明显的影响。其中全天、白天和夜间增温分别使水稻从移栽到始穗平均的日期缩短3.5、2 d和2.5 d,但对始穗至成熟期的影响不明显;全天、白天和夜间增温分别使水稻地上生物量降低7.7%、6.6%和2.8%,但差异均不显著;白天和夜间增温分别使水稻产量下降8.9%和4.5%,而全天增温下水稻产量略有上升,但均未达到显著水平。从产量构成来看,增温下有效穗数和结实率呈现递增趋势,每穗粒数和千粒重呈现下降趋势。增温对水稻株高的影响不明显。上述结果表明,该稻田开放式增温系统能满足水稻系统生产力对未来气候变暖响应与适应的试验研究要求,气候变暖对水稻生产力影响的相关模型分析结果也尚需进一步的田间实际增温试验验证,模型所需的相关参数也需要进一步完善。

关键词:气候变暖;非对称性增温;昼夜增温;FATI系统;远红外;水稻

An experimental study on the the effects of different diurnal warming regimes on single cropping rice with Free Air Temperature Increased (FATI) facility

DONG Wenjun[1], DENG Aixing[2], ZHANG Bin[1], TIAN Yunlu[1], CHEN Jin[1], YANG Fei[1], ZHANG Weijian[1,2,*]
1 *Institute of Applied Ecology, Nanjing Agricultural University, Nanjing* 210095, *China*
2 *Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology & Production, Ministry of Agriculture, Beijing* 100081, *China*

Abstract: Climate warming shows great seasonal differences and diurnal variations with higher warming rate at nighttime, and will consequently cause significant impacts on crop production. Since most previous researches on the responses of crop growing to climate warming, especially asymmetric warming, are mainly based on modeling and historic data analyses, there are still great uncertainties remaining on the regional projections of crop production under future climate. Rice (*Oryza sativa* L.) is the most important stable food crop in China. Understanding of the realistic responses of rice growing to different climate warming regimes will benefit the technique selection for the adaptation of rice production to future climate warming. Therefore, we designed an experimental warming facility with three warming scenarios (AW: all-day warming; DW: daytime warming; NW: nighttime warming) using Free Air Temperature Increased (FATI) technique in 2007 and 2008 in Nanjing city, Jiangsu province, China. The results showed that this warming facility formed 4 m^2 of evenly and reliably

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30771278);江苏省自然科学基金重点资助项目(BK2004002);教育部新世纪优秀人才资助计划(NCET-050492);中国农业科学院院所长基金
收稿日期:2010-04-09;　　**修订日期**:2010-08-09
* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhangweij@caas.net.cn

warming area both at daytime and at nighttime. The daily mean temperatures in the crop canopy of the AW, DW and NW plots were 2.0℃, 0.6℃ and 0.9℃ higher than those in the un-warmed plots, respectively. DW increased the daily mean temperature during daytime of rice canopy by 1.1℃, and NW increased mean night temperature by 1.8℃, similar to the projected warming levels. The changes of daily temperature range were 0.1℃, 0.6℃ and -0.9℃ in the AW, DW and NW, respectively. The diurnal trends of temperature change in the crop canopy in different stages and the diurnal mean temperatures during the whole growing duration under warming plots were all similar to those under control. Meanwhile, field warming with this FATI facility caused significant impacts on rice growth durations. The durations from transplanting date to the initial heading date were respectively shorten by 3.5 days, 2 days and 2.5 days on average in the AW, DW and NW plots during the two years, while the durations from the initial heading date to the harvest kept unchanged compared to the un-warmed control. The aboveground biomass at the harvesting period were respectively declined by 7.7%、6.6% and 2.8% on average in the AW, DW and NW plots during the two years, though there was no significant difference existed between the treatments. Meanwhile, DW and NW decreased grain yield by 8.9% and 4.5%, respectively, while AW slightly increased grain yield on average during 2007 —2008. There was increasing trends of effective panicles numbers and seed setting rate, and decreasing trends of grains numbers per spike and 1000-grain weight under the warmed plots. There was no obvious impact of warming on rice height. These results suggest that our field warming system under FATI facility is suitable to study the actual responses and adaptations of rice growing duration and productivity to climate warming at system-level in *situ*. The significant differences in warming effects on rice growing duration and yield between the three warming scenarios suggest that the outputs from crop modeling for the assessment of climate warming influences on rice production needs be tested under field experiments and the parameters for crop modeling also need be further improved based on field warming.

Key Words: climate warming; asymmetric warming; diurnal warming scenario; free air temperature increased system; far infrared wave; rice

气温升高是气候变化的主要特征之一[1]。IPCC 第 4 次报告显示,在过去的 100 a 地表气温已经升高了 0.56—0.92℃[2]。模型预测结果显示,与 1980—1999 年相比,21 世纪末全球平均地表温度仍将升高 1.1—6.4℃[2-3]。而且全球变暖存在明显的昼夜不同步性,夜间增温幅度大于白天[4-5]。气候模式预测到 2050 年我国平均气温可能升高 1.2—2.0℃,到 21 世纪末可能升高 2.2—4.2℃[3]。水稻是我国第一大粮食作物[6],约占粮食总产量的 40%,探讨水稻产量和品质形成对昼夜不同增温的响应与适应对我国粮食安全决策至关重要[7-8]。

目前关于水稻生产力对气候变暖的响应研究,主要集中在模型预测与历史数据分析方面[9]。Peng 等[10]通过对多年气象数据和水稻产量变化的相关分析发现,日最低温每升高 1℃水稻将减产 10%;也有模型分析认为,最低温每升高 1℃,水稻将减产 13.7%[11];采用不同的模型预测日平均温度升高 1℃,水稻将分别减产 7.2%和 6.7%[12]。最近又有模型分析指出,温度升高使我国大部分作物呈增产趋势[13]。可见,模型预测分析存在较大的不确定性[14],而且预测结果与实际生产中作物单产持续增加的趋势不一致。为了降低模型预测的不确定性,真实反映气候变暖对作物系统的实际影响,国际上田间增温试验研究正日益受到重视[15]。

近几年来,关于作物系统对气候变暖的实际响应研究方面,在方法上已经从生长箱、开顶箱向田间开放式增温(FATI: Free Air Temperature Increased)的方向发展[16-17]。国际上在田间开放式增温试验方面已经进行了大量研究[15,18-20],在旱地生态系统方面积累了丰富的经验。我国除了在北方温带草原系统上建立的草地系统 FATI 试验外[21],农田尤其是稻田系统的 FATI 试验还未见报道。江淮稻区是我国水稻主产区之一,作者于 2007—2008 年在江苏南京设计了我国首个稻田开放式增温系统,对中稻全生育期进行全天、白天和夜间增温试验,拟为全面开展水稻生产应对气候变暖的试验研究提供方法参考,为未来水稻安全种植提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验概况

将设计好的增温系统,架设在草坪草地上,对该系统的有效增温范围和增温效果进行实际监测,根据监测结果进行系统完善。同时,在稻田进行实际增温试验,监测昼夜不同增温对水稻冠层温度的影响,以及对水稻生长发育和产量的增温效应。

试验于 2006 年 12 月份将初步设计好的增温系统安装在南京农业大学校园观赏草坪内,对系统进行完善并监测该系统的有效增温范围和增温效果。2007 年 6—10 月份和 2008 年 6—10 月份在江苏省农业科学院(32°02′N,118°52′E,海拔 11 m)试验站,利用该系统进行稻田昼夜增温试验。该区域属江淮单季稻作区,为北亚热带季风气候。年平均日照时数超过 1900 h,无霜期为 237 d,年降水量 1000—1100 mm。2000—2008 年该地年平均气温为 16.7℃,较上世纪 80 年代和 90 年代分别提高了 1.5℃和 0.7℃。供试小区为棕壤土,土壤全氮、全磷、全钾含量平均分别为 2.52、0.60 g/kg 和 14.00 g/kg,土壤有机质平均为 8.24 g/kg。

1.2　试验处理

试验设全天增温(AW: All-day warming)、白天增温(DW: Day warming)、夜间增温(NW: Night warming)和常规对照(CK: Control)4 个处理,全天增温是指水稻从移栽到成熟全生育期内昼夜不间断增温,白天增温是每日 7:00—19:00 进行增温,夜间增温是每日 19:00—翌日 7:00 进行增温,常规对照则是安装与增温处理相同的装置,但不供电。小区随机区组设计,重复 3 次,小区面积为 20 m^2。

1.3　试验材料

供试水稻品种 2007 年为武运粳 7 号,2008 年为南粳 44,均属早熟晚粳品种,前茬均为小麦。两年水稻分别均于 6 月 16 日双本移栽,株行距均为 16.7cm×20.0 cm。在移栽整田前施 1245.00 kg/hm^2 复合肥(含总养分 45%,N:P_2O_5:K_2O =1:1:1)作为基肥,在分蘖期和抽穗期分别施尿素(养分含量 46%)折合成纯氮 93.75 kg/hm^2。田间日常管理与当地高产栽培技术规程相同。

1.4　增温系统设计

该系统由 4 部分组成(图 1),分别为远红外加热部分、动力部分、控制部分和温度监测部分。远红外加热部分,由额定功率为 1500 W 的远红外加热黑体管(长 1.8 m,直径 1.8 cm)、铁制支架和白色不锈钢反射罩(长 2 m,宽 0.2 m)3 部分组成。远红外加热黑体管悬挂于距地面 1.5 m 处,铁制支架的下面由 3 根 30 cm 长的铁管,其中一端的 10 cm 弯曲并焊接在一起,形成一个三角形。在三角形的中心再焊接一根 2 m 长的铁管,将整个支架固定于土壤中。动力部分为 380 V 的交流电,由专业电工设计线路并架设。控制部分由微电脑时控开关准时、自动控制,根据需要分为:全天、白天(7:00—19:00)和夜间(19:00—翌日 7:00)供电。温度监测部分(型号:ZDR-41,购于杭州泽大仪器有限公司)由 4 个温度传感器(测量精度为±0.1℃)组成,每个传感器的线长 6 m,实时自动记录水稻冠层的温度数据。为了降低试验区之间热量传递与扩散的影响,每个试验区之间的距离至少有 5 m。该增温系统每套的设施成本大约 3500 元,整个增温系统运行一季及维护约需 9 万元左右。

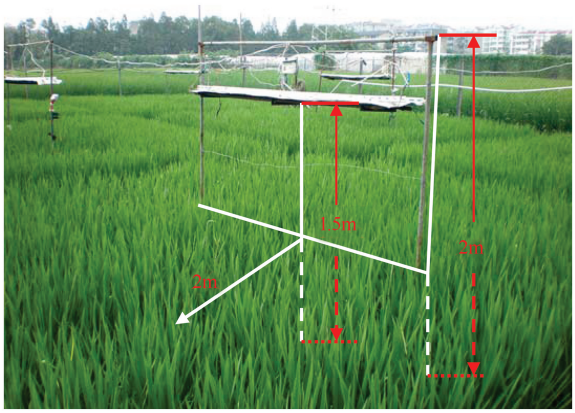

图 1　稻田开放式增温(FATI)系统结构

Fig. 1　Facility structure of Free Air Temperature Increased (FATI) in rice field

1.5　数据采集与样品分析

温度数据均由温度记录仪自动记录,每间隔 20 min 自动记录 1 次,每 30 d 采集 1 次数据。同时,观测水稻的生育进程,在水稻成熟后,进行小区测产。

所有数据用 Excel 2003 进行整理,并用 SPSS 11.5 进行统计分析和方差检验。

2 结果与分析

2.1 开放系统的有效增温范围及增温效果

图 2 为 2006 年 12 月份在南京农业大学校园观赏草坪内利用红外热成像仪(ThermaCAMTM p25, FLIR SYSTEMS,Switzerland)分别在白天和夜间拍摄的地表增温热成像图。在白天和夜间(图 2),该系统均可以显著地增加加热小区的地表温度,且均能达到 2 m×2 m 均匀有效的增温范围。在这一范围内,与对应对照(点 sp7—9)的温度相比,白天点 sp1—3 和点 sp4—6 的温度增幅平均分别为 1.0℃和 1.0℃;夜间点 sp1—3 和点 sp4—6 的温度增幅平均分别为 1.4℃和 1.3℃。同时,表 1 数据显示,距地面 45 cm、70 cm、0 cm 和 100 cm 的增温幅度依次递增,且不同高度对应的夜间增温幅度均大于白天。由此可见,该系统有明显的增温效果。在有效增温面积内,根据目前水稻种植的密度推算,可种植 120 穴水稻,可以满足田间地上部分的相关观察和监测,以及土壤、水体和植株样品的采集。

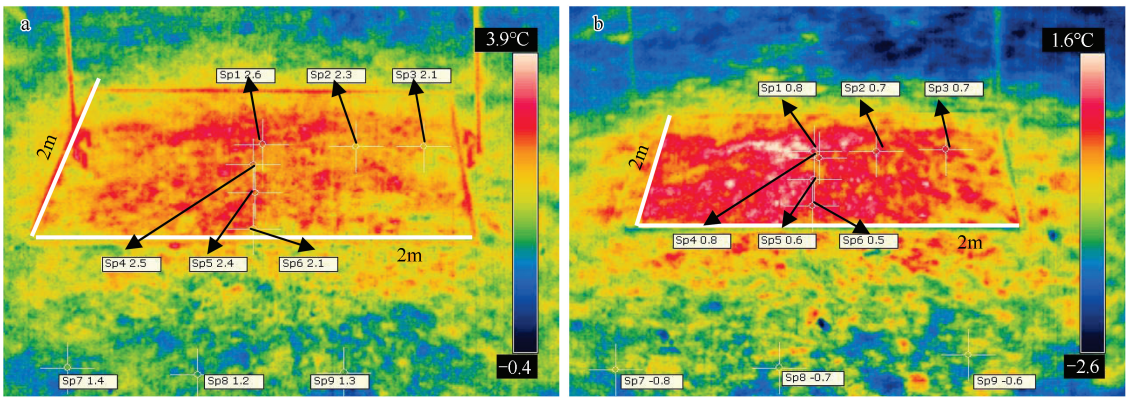

图 2 开放式增温系统在(a)白天和(b)夜间的地面热成像图

Fig. 2 Thermal images of field warming at (a) daytime and (b) nighttime with Free Air Temperature Increased facility

表 1 开放式昼夜增温系统在草地空间上的增温效果

Table 1 Spatial warming effects of turf grass land for different diurnal warming regimes with Free Air Temperature Increased facility

处理 Treatment	距地面的垂直高度 The vertical height from the ground			
	0 cm	45 cm	70 cm	100 cm
全天增温 All-day Warming/℃	1.2	0.7	1.1	2.2
白天增温 Day Warming/℃	1.0	0.5	0.9	1.8
夜间增温 Night Warming/℃	1.4	0.8	1.2	2.6

表中某一温度数据为对应增温时段(白天,07:00—19:00,夜间,19:00—翌日 07:00,和全天,07:00—翌日 07:00)与常温对照温度均值的差值

2.2 不同增温情景下水稻冠层温度的变化特征及其增幅

图 3 呈现了该增温系统下,水稻分蘖期(冠层探头位置距地表 45 cm)、孕穗期(冠层探头位置距地表 65 cm)和灌浆期(冠层探头位置距地表 85 cm)代表性日期田间冠层温度的日变化以及全生育期冠层日平均温度的变化动态。该图显示,昼夜不同增温情景下冠层温度升高幅度差异明显,但在不同增温情景下水稻关键生育期的冠层温度日变化与常规对照区温度的日变化基本一致,说明该增温系统不会改变田间温度的日变化特征(图 3)。全天、白天和夜间 3 种增温情景的温度增幅次序为:全天增温>夜间增温>白天增温。在水稻的整个生育期,与常规对照相比,全天、白天和夜间增温使冠层日平均温度分别提高 2.0℃、0.6℃和 0.9℃,且增温区冠层温度日变化趋势也与对照区的基本一致(图 3)。

由表 2 可知,在水稻生长的整个生育期内,3 种增温情景对水稻冠层的增温效果明显。与常规对照相比,全天增温下冠层的日平均温度、白天平均温度、夜间平均温度、日最高温度和日最低温度的温度增幅均最大,

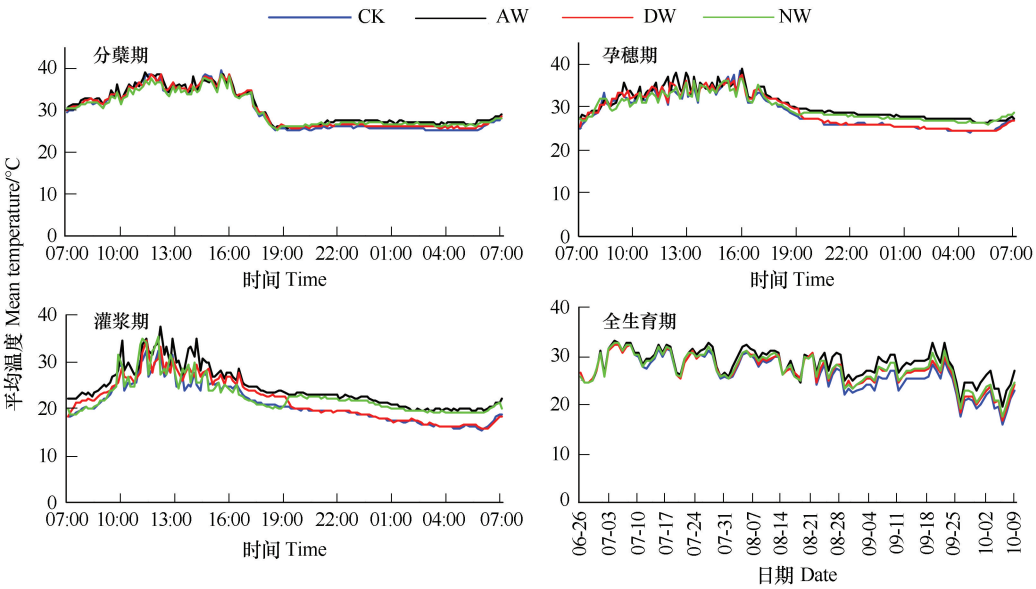

图 3　3 种增温情景下水稻冠层主要生育期温度的日变化及全生育期日平均温度的变化趋势

Fig. 3　Trends of diurnal temperature variation in the main growth stages and diurnal mean temperature during the whole growing duration of rice canopy under FATI facility with three warming scenarios

CK:常规对照;AW:全天增温;DW:白天增温;NW:夜间增温

但日较差变化最小。3 种增温方式不仅形成了差异显著的日平均温度、白天平均温度和夜间平均温度,而且还形成了显著的日较差差异,能较好地模拟未来气候变暖的基本趋势。

表 2　昼夜不同增温情景下水稻冠层全生育期温度的平均增幅

Table 2　Average increments of rice canopy temperatures during whole growing duration under three warming scenarios

处理 Treatment	AW	DW	NW
全日平均温度 Diurnal average temperature/℃	2.0	0.6	0.9
昼间平均温度 Average temperature at daytime/℃	1.7	1.1	0.1
夜间平均温度 Average temperature at nighttime/℃	2.3	0.2	1.8
日最高温度 Average maximum temperature/℃	2.1	0.8	0.5
日最低温度 Average minimum temperature/℃	2.1	0.2	1.4
日较差 Average diurnal temperature range/℃	0.1	0.6	-0.9

表中全日平均温度、日最高温度、日最低温度和日较差数据均为各增温处理(07:00—次日 07:00)温度与对应常规对照温度均值的差值,昼间平均温度和夜间平均温度数据分别为各增温处理(07:00—19:00)和(19:00—次日 07:00)温度与对应常规对照温度均值的差值

2.3　不同增温情景下水稻的生育进程及地上生物量

表 3 数据显示,不同增温情景对水稻生育进程、株高以及成熟期地上生物量的影响存在差异。通过对 2007 年和 2008 年两年的数据分析发现,全天、白天和夜间增温分别使水稻从移栽到始穗的日期平均缩短了 3.5、2 d 和 2.5 d,但对始穗至成熟期仅缩短了 0.5、0.5 d 和 0 d,全生育期缩短了 4、2.5 d 和 2.5 d。说明增温后对水稻始穗期的影响较大,而对始穗至成熟期影响较小。同时,2007 年全天和夜间增温分别使水稻株高降低 2.6% 和 4.1%,而白天增加 0.1%;2008 年全天、白天和夜间增温分别使水稻株高增加 2.0%、0.8% 和 3.4%。与常规对照相比,两年的差异均不显著(P>0.05)。增温趋向于降低水稻的地上生物量,2007 年全天、白天和夜间增温分别使水稻地上生物量降低 7.5%、14.0% 和 3.1%,2008 年全天和夜间增温分别使水稻地上部生物量降低 7.9% 和 2.4%,而白天增加 0.9%。与常规对照相比,两年的差异均不显著(P>0.05)。

表 3 昼夜不同增温对水稻生育进程及地上生物量的影响

Table 3 Effects of three warming scenarios on rice growth stage and aboveground biomass under FATI facility

年份 Year	品种 Variety	处理 Treatment	移栽日期 Date of transplanting /(Month/Day)	日期(移栽后天数) Date(Days after transplanting)		株高 Plant height/cm	地上生物量 Aboveground biomass /(t/hm^2)
				始穗 Heading	成熟 Harvesting		
2007	武运粳 7 号	CK	06-16	08-29(73)	10/21(127)	120.50±1.32a	23.90±2.60a
		AW		08-25(69)	10-18(124)	117.33±5.05a	22.11±0.90a
		DW		08-27(71)	10-19(125)	120.67±2.91a	20.55±0.13a
		NW		08-26(70)	10-19(125)	115.50±1.15a	23.16±2.64a
2008	南粳 44	CK	06-16	08-30(74)	10/14(120)	81.38±0.47a	18.29±0.14a
		AW		08-27(71)	10-09(115)	83.07±1.95a	16.85±0.28a
		DW		08-28(72)	10-11(117)	82.07±0.21a	18.46±0.83a
		NW		08-28(72)	10-11(117)	84.24±1.04a	17.86±0.50a

同列数据中不同小写字母表示 5% 的显著差异

2.4 不同增温情景下水稻产量及其构成

由表 4 可以看出,2007 年白天和夜间增温分别使水稻产量下降 7.5% 和 5.4%,而全天增温下水稻增产 0.6%;2008 年白天和夜间增温分别使水稻产量下降 10.3% 和 3.6%,而全天增温下水稻增产 0.7%。与常规对照相比,两年的产量差异均未达到显著水平(P>0.05)。从产量构成来看,增温下有效穗数和结实率呈现递增趋势,每穗粒数和千粒重呈现下降趋势。两年的增温效果基本一致,但与常规对照相比,差异均不显著(P>0.05)。

表 4 昼夜不同增温对水稻产量及其构成的影响

Table 4 Effects of three warming scenarios on rice grain yield and its components under FATI facility

年份 Year	品种 Variety	处理 Treatment	有效穗数 Effective panicles /(10^4 plants/hm^2)	每穗粒数 Grains per spike	结实率 Seed setting rate /%	千粒重 1000 grain weight /g	实际产量 Actual yield /(kg/hm^2)
2007	武运粳 7 号	CK	225.0±15.00a	160.9±6.80a	86.3±1.13a	27.7±0.35a	6887.0±133.68a
		AW	235.0±5.00a	151.9±2.74a	85.6±5.65a	26.6±0.77a	6928.4±185.21a
		DW	238.0±2.00a	153.8±9.36a	88.8±0.99a	27.6±0.22a	6370.7±234.68a
		NW	235.0±5.00a	152.7±9.09a	87.2±2.99a	27.3±0.42a	6515.0±135.85a
2008	南粳 44	CK	220.0±5.30a	147.3±1.50a	79.6±0.27a	27.2±0.39a	6906.5±167.66a
		AW	225.0±9.00a	144.6±2.38a	83.9±1.60a	27.0±0.04a	6957.0±559.69a
		DW	232.0±4.00a	143.0±13.86a	80.8±0.89a	27.2±0.19a	6194.4±339.46a
		NW	225.0±15.00a	144.8±3.44a	81.6±1.92a	27.2±0.34a	6658.0±111.58a

同列数据中不同小写字母表示 5% 的显著差异

3 讨论

3.1 FATI 系统的增温效果

由于增温系统的设计和试验所处生态系统的差异,不同的开放式增温系统存在不同的增温效果。Nijs 等[15]对多年生黑麦草的增温研究表明,有效增温面积为 0.2 m^2,Bridgham 等[22]和 Noormets 等[23]在沼泽生态系统上发现,有效增温面积为 2.1 m^2。在草地系统的增温试验发现,能达到 3.1 m^2[24]。本研究设计的 FATI 系统,在全天、白天和夜间 3 种不同增温情景下,可以形成 4 m^2 均匀稳定的增温面积,与 Wan 等[19]在北美高草草原的研究结果一致。根据目前水稻的种植密度,4 m^2 的有效增温范围可以种植 120 穴水稻,可以满足植株、土壤和水体样品的采集和相关监测需要,表明该系统基本能满足田间增温试验的原位监测要求。同时,当风速>4 m/s 时会影响系统的增温效果[25]。

不同开放式增温试验的增温幅度也有所不同。Harte 等[18]监测发现,增温后未改变高山草甸的冠层温度。Wan 等[19]在北美草原生态系统中报道的 1.1℃增温。本试验设计的系统使水稻全生育期冠层温度提高

0.6—2.0℃,增温效果显著,且幅度在我国未来几十年内的增温预测范围内。同时,监测发现昼夜不同增温情景下水稻分蘖期、孕穗期和灌浆期田间冠层温度的日变化与常规对照区基本一致,但 3 个生育时期田间冠层的增温幅度有所不同,分蘖期、孕穗期和灌浆期平均分别增加 0.3—1.0℃、0.3—1.6℃和 0.8—3.3℃。另外,本试验设计的增温系统虽然能显著提高水稻冠层的温度,但由于田面灌水的比热大而对水温或地表温度的增加影响不大,同时,该系统增温的方式为远红外辐射,为非破坏性增温[21],虽然改变农田小环境的光谱特征,但几乎不影响植株进行光合。这些数据表明该系统不仅可以获得较适宜的增温效果,而且不会改变田间温度的日变化规律。

3.2　昼夜不同增温对水稻生育进程和产量的影响

正常情况下,增温将促进作物生长发育,使生育期缩短[26]。有模型研究表明,气候变暖 2℃,水稻生育期将缩短 14—15 d[27]。另有模型预测,到 2100 年我国南方早稻生育期将平均缩短 4.9 d,晚稻生育期将平均缩短 4.4 d[28]。葛道阔等[29]的模型分析也认为,华中和华南稻区的单季稻或双季稻,生育期天数均因增温幅度加大而逐渐减短。但这些模型分析均未比较昼夜不同增温情景下,水稻生育期的变化趋势。而且,模型预测也没有具体明确影响的生育时期,而不同生育时期对水稻产量贡献差异显著。本研究发现,昼夜不同增温处理使水稻冠层气温升高 1℃左右,显著影响了水稻的生育期。2007 年全天、白天和夜间增温处理分别使水稻从移栽到始穗期缩短 4 d、2 d 和 3 d,2008 年缩短了 3 d、2 d 和 2 d,但对始穗至成熟的天数影响不明显。在气候变暖的实际情景中,温度升高是非线性的且昼夜差异显著。因此,对水稻生育期进行模型预测分析时,要注意昼夜增温的差异,预测结果需要田间试验的验证。

同时,两年田间增温试验结果发现,昼夜不同增温对水稻株高、地上生物量积累、产量及其构成的影响不同,且两年的试验结果基本相似。总体而言,在增温 1℃左右的情况下,白天和夜间增温呈现减产趋势,两年平均分别减产 8.9%和 4.5%,而全天增温增产 0.7%。但与常规对照相比,产量差异均未达到显著水平。张宇等[30]利用 ORYZAI 水稻模型与大气环流模式相嵌套分析显示,气候变暖使我国早稻、中稻和晚稻产量分别下降 3.7%、10.5%和 10.4%;也有模型预测到 2100 年我国南方早稻平均减产 3.6%,晚稻平均减产 2.8%[28];气候变暖下长江中下游平原水稻产量呈减产趋势[31]。较小幅度的夜间增温对水稻影响的生理机制,以及夜间增温与白天增温对水稻影响的差异还不是很清楚[10]。Mohammed 等[32-33]研究表明夜间增温对水稻叶片的光合速率没有影响,但显著降低叶片的含氮量、花粉萌发、结实率和膜的热稳定性,提高呼吸速率,而导致产量下降。魏金连等[34]研究发现增温提前了水稻始穗期,缩短功能叶叶绿素缓降期,加速叶片衰老。虽然本试验的两年研究结果与模型预测的减产趋势基本一致,但减产幅度存在显著的昼夜差异,这是模型预测分析中未能体现的。这进一步表明,模型预测分析不仅要考虑地区的环境背景温度差异,更要重视昼夜不同增温对作物产量形成的实际差异,以降低预测的不确定性。

此外,从本试验的研究结果还可以看出,水稻产量对昼夜不同增温的响应存在差异,未来气候变暖将增加该地区的热量,提高有效积温,延长适宜水稻生长的时间,同时加快水稻生长发育,这有利于双季稻种植的推广。本研究结果显示,增温导致减产的关键因子是穗粒数的下降,这可能与水稻穗分化和开花受精时的高温相关。白天增温与夜间增温提高了这两个时期的冠层温度,可能加重了高温热害。江淮是我国的中稻主产区,高温导致的花而不实现象比较普遍。而且,增温后将使开花期提前,从而遭遇高温的可能性提高。因此,在未来气候变暖及极端性天气增加的趋势下,江淮中稻的安全种植显得非常重要。从现在的试验结果和以前的研究结论来看,不同水稻品种的耐热能力差异显著[35-36],同时,诸如施肥和田间灌水措施等对调节水稻冠层温度也有明显作用[37-38]。所以,选育耐高温水稻新品种和完善水稻栽培技术,是江淮地区农田生态系统应对未来气候变化的重要措施。总之,本试验设计的增温系统和对单季稻的研究结果对开展气候变暖下水稻的响应与适应的研究和未来江淮地区的水稻生产具有重要的参考价值。

4　结论

综上所述,该开放式增温系统在稻田中能形成 4 m^2 的有效增温面积,达到 1℃左右的增温幅度。该系统

增温后的田间温度日变化趋势与常规对照区的基本一致,全生育期内日平均温度的变化动态与常规对照区也基本一致。此外,增温后对水稻的生育进程和产量也产生了一定的影响,昼夜不同增温导致的水稻生育期和产量变化差异显著。因此,本研究设计的开放式增温系统基本能满足稻田系统对气候变暖响应与适应的试验研究要求。同时,本研究发现昼夜不同增温对水稻生长发育和产量的影响差异显著,且实际增温的生育期缩短天数和产量下降幅度与模型预测分析的结果也存在明显差异,说明相关模型分析需要在田间增温试验中验证。由于该系统是开放的,在稻田中运行,一定要由专业的技术人员负责日常管理和维护。鉴于该系统的增温范围有限,为了获得足够的监测和取样面积,可以考虑适当增加试验重复。另外,为了避免人为干扰,应该尽量减少不必要的田间操作。由于风速对增温效果存在一定影响,在常年风速较大的区域,该系统的试验效果可能受到一定影响。

References:

[1] Zhang Q, Deng Z Y, Zhao Y D, Qiao J. The impacts of global climatic change on the agriculture in northeast China. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(3): 1210-1218.

[2] IPCC. Climate Change 2007: Synthesis Report. Summary for Policymakers. [2010-1-29]. http://www.ipcc.ch.

[3] Qin D H. Climate change and drought. Science & Technology Review, 2009, 27(11): 1-1.

[4] Harvey L DD. Warm days, hot nights. Nature, 1995, 377: 15-16.

[5] Easterling D R, Horton B, Jones P D, Peterson T C, Karl T R, Parker D E, Salinger M J, Razuvayev V, Plummer N, Jamason P, Folland C K. Maximum and minimum temperature trends for globe. Science, 1997, 277: 364-367.

[6] Ju H, Xiong W, Xu Y L, Lin E D. Impacts of climate change on wheat yield in China. Acta Agronomica Sinica, 2005, 31(10): 1340-1343.

[7] Lobell D B, Asner G P. Climate and management contributions to recent trends in US agricultural yields. Science, 2003, 299(5609): 1032.

[8] Dai YY, Ding Y F, Liu Z H, Wang Q S, Li G H, Wang S H. Effects of elevated night temperature by far-infrared radiation at grain filling on grain quality of rice. Chinese Journal of Rice Science, 2009, 23(4): 414-420.

[9] Tan G X, Shibasaki R. Global estimation of crop productivity and the impacts of global warming by GIS and EPIC integration. Ecological Modelling, 2003, 168(3): 357-370.

[10] Peng S P, Huang J L, Sheehy J E, Laza R C, Visperas R M, Zhong X H, Centeno G S, Khush G S, Cassman K G. Rice yields decline with higher night temperature fromglobal warming. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2004, 101(27): 9971-9975.

[11] Sheehy J E, Mitchell P L, Ferrer A B. Decline in rice grain yields with temperature: Models and correlations can give different estimates. Field Crops Research, 2006, 98(2/3): 151-156.

[12] Krishnan P, Swain D K, Bhaskar B C, Nayak S K, Dash R N. Impact of elevated CO_2 and temperature on rice yield and methods of adaptation as evaluated by crop simulation studies. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2007, 122(2): 233-242.

[13] Lobell D B, Burke M B, Tebaldi C, Mastrandrea M D, Falcon W P, Naylor R L. Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. Science, 2008, 319(5863): 607-610.

[14] Lobell D B. Changes in diurnal temperature range and national cereal yields. Agricultural and Forest Meteorology, 2007, 145: 229-238.

[15] Nijs I, Kockelbergh F, Teughels H, Blum H, Hendrey G, Impens I. Free Air Temperature Increase(FATI): a new tool to study global warming effects on plants in the field. Plant Cell and Environment, 1996, 19(4): 495-502.

[16] Laura L, Josep P, Claus B, Emmett B, Estiarte M, Tietema A. Effects of an experimental increase of temperature and drought on the photosynthetic performance of two ericaceous shrub species along a north-south European gradient. Ecosystems, 2004, 7(6): 613-624.

[17] Klein J, Harte J, Zhao X Q. Dynamic and complex microclimate responses to warming and grazing manipulations. Global Change Biology, 2005, 11(9): 1440-1451.

[18] Harte J, Torn M S, Chang F R, Feifarek B, Kinzig A P, Shaw R, Shen K. Global warming and soil microclimate: results froma meadow-warming experiment. Ecological Applications, 1995, 5: 132-150.

[19] Wan S, Luo Y, Wallace L L. Changes in microclimate induced by experimental warming and clipping in tallgrass prairie. Global Change Biology, 2002, 8(8): 754-768.

[20] Turnbull M H, Murthy R, Griffin K L. The relation impacts of daytime and night-time warming on photosynthetic capacity in *Populus deltoides*. Plant and Cell Environment, 2002, 25(12): 1729-1737.

[21] Niu S L, Han X G, Ma K P, Wan S Q. Field facilities in global warming and terrestrial ecosystem research. Journal of Plant Ecology, 2007, 31(2): 262-271.

[22] Bridgham S D, Pastor J, Updegraff K, Malterer T J, Johnson K, Harth C, Chen J. Ecosystemcontrol over temperatures and energy flux in northern peatlands. Ecological Applications, 1999, 9(4): 1345-1358.

[23] Noormets A, Chen J, Bridgham S D, Weltzin J F, Pastor J, Dewey B, Lemoine J. The effects of infrared loading and water table on soil energy

fluxes in northern peatlands. Ecosystems, 2004, 7(5): 573-582.

[24] Shaw M R, Zavaleta E S, Chiariello N R, Cleland E E, Mooney H A, Field C B. Grassland responses to global environment changes suppressed by elevated CO_2. Science, 2002, 298(5600): 1987-1990.

[25] Kimball B A. Theory and performance of an infrared heater for ecosystem warming. Global Change Biology, 2005, 11: 2041-2056.

[26] Liu Y J, Lin E D. Effects of climate change on agriculture in different regions of China. Advances in Climate Change Research, 2007, 3(4): 229-233.

[27] Ning J H, Shen S H. Effects of climate change on agriculture in China. Modern Agricultural Sciences and Technology, 2009, (12): 251-255.

[28] Zhang J P, Zhao Y X, Wang C Y, He Y. Effects of climate change on the growth and yields of double-harvest rice in the southern China. Advances in Climate Change Research, 2005, 1(4): 151-156.

[29] Ge D K, Jin Z Q, Shi C L, Gao L Z. Gradual effects of climate change on rice production and adaptation strategies in southern China. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2002, 18(1): 1-8.

[30] Zhang Y, Wang F T. A numerical simulation study on the impacts of climate warming on the rice production in China. Quarterly Journal of Applied Meteorology, 1995, 6(Supplement): 20-25.

[31] Shi C L, Jin Z Q, Ge D K, Su G L. Gradual effects of climate change on food production and adaptation strategies in the middle and lower valley of Yangtze River. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2001, 17(1): 1-6.

[32] Mohammed A R, Tarpley L. High nighttime temperatures affect rice productivity through altered pollen germination and spikelet fertility. Agricultural and Forest Meteorology, 2009, 149(6/7): 999-1008.

[33] Mohammed A R, Tarpley L. Impact of high nighttime temperature on respiration, membrane stability, antioxidant capacity, and yield of rice plants. Crop Science, 2009, 49: 313-322.

[34] Wei J L, Pan X H. Effects of night temperature increase on growth and yield of early season rice. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2008, 30(3): 427-432.

[35] Zheng J C, Zhang B, Chen L G, Du Q, Qin Y S, Song J, Zhang W J. Genotypic differences on effects of high air temperature in field on rice yield components and grain quality during heading stage. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2005, 21(4): 249-254.

[36] Zhang B, Rui W Y, Zheng J C, Zhou B, Yang F, Zhang W J. Responses of pollen activity and seed setting of rice to high temperature of heading period. Acta Agronomica Sinica, 2007, 33(7): 1177-1181.

[37] Zhang B, Zheng J C, Huang S, Tian Y L, Peng L, Bian X M, Zhang W J. Temperature differences of air-rice plant under different irrigated water depths at spiking stage. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(1): 87-92.

[38] Zhang B, Zheng J C, Yang F, Tian Y L, Peng L, Li M A, Bian X M, Zhang W J. Effects of fertilization level on panicle temperature at heading stage of rice. Chinese Journal of Rice Science, 2007, 21(2): 191-196.

参考文献:

[1] 张强, 邓振镛, 赵映东, 乔娟. 全球气候变化对我国西北地区农业的影响. 生态学报, 2008, 28(3): 1210-1218.

[3] 秦大河. 气候变化与干旱. 科技导报, 2009, 27(11): 1.

[6] 居辉, 熊伟, 许吟隆, 林而达. 气候变化对我国小麦产量的影响. 作物学报, 2005, 31(10): 1340-1343.

[8] 戴云云, 丁艳锋, 刘正辉, 王强盛, 李刚华, 王绍华. 花后水稻穗部夜间远红外增温处理对稻米品质的影响. 中国水稻科学, 2009, 23(4): 414-420.

[21] 牛书丽, 韩兴国, 马克平, 万师强. 全球变暖与陆地生态系统研究中的野外增温装置. 植物生态学报, 2007, 31(2): 262-271.

[26] 刘颖杰, 林而达. 气候变暖对中国不同地区农业的影响. 气候变化研究进展, 2007, 3(4): 229-233.

[27] 宁金花, 申双和. 气候变化对中国农业的影响. 现代农业科技, 2009, (12): 251-255.

[28] 张建平, 赵艳霞, 王春已, 何勇. 气候变化对我国南方双季稻发育和产量的影响. 气候变化研究进展, 2005, 1(4): 151-156.

[29] 葛道阔, 金之庆, 石春林, 高亮之. 气候变化对中国南方水稻生产的阶段性影响及适应性对策. 江苏农业学报, 2002, 18(1): 1-8.

[30] 张宇, 王馥棠. 气候变暖对我国水稻生产可能影响的数值模拟试验研究. 应用气象学报, 1995, 6(增刊): 20-25.

[31] 石春林, 金之庆, 葛道阔, 苏高利. 气候变化对长江中下游平原粮食生产的阶段性影响和适应性对策. 江苏农业学报, 2001, 17(1): 1-6.

[34] 魏金连, 潘晓华. 夜间温度升高对早稻生长发育及产量的影响. 江西农业大学学报, 2008, 30(3): 427-432.

[35] 郑建初, 张彬, 陈留根, 杜群, 秦永生, 宋健, 张卫建. 抽穗期高温对水稻产量构成要素和稻米品质的影响及其基因型差异. 江苏农业学报, 2005, 21(4): 249-254.

[36] 张彬, 芮雯奕, 郑建初, 周博, 杨飞, 张卫建. 水稻开花期花粉活力和结实率对高温的响应特征. 作物学报, 2007, 33(7): 1177-1181.

[37] 张彬, 郑建初, 黄山, 田云录, 彭兰, 卞新民, 张卫建. 抽穗期不同灌水深度下水稻群体与大气的温度差异. 应用生态学报, 2008, 19(1): 87-92.

[38] 张彬, 郑建初, 杨飞, 田云录, 彭兰, 李明安, 卞新民, 张卫建. 施肥水平对抽穗期水稻穗部温度的影响及其原因分析. 中国水稻科学, 2007, 21(2): 191-196.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 8 April, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

The relationship between *Populus euphratica*'s radial increment and groundwater level at the lower reach of Tarim River ····· AN Hongyan, XU Hailiang, YE Mao, et al (2053)
Influence of elevation factor on soil profile texture configuration: a case study of the alluvial plain of Fengqiu County ····· TAN Manzhi, MI Shuxiao, LI Kaili, et al (2060)
Effects of ozone on AsA-GSH cycle in soybean leaves ····· WANG Junli, WANG Yan, ZHAO Tianhong, et al (2068)
The effects of physical and chemical factors on the growth and lipid production of *Chlorella* ····· ZHANG Guiyan, WEN Xiaobin, LIANG Fang, et al (2076)
Response of net productivity of masson pine plantation to climate change in North Subtropical Region ····· CHENG Ruimei, FENG Xiaohui, XIAO Wenfa, et al (2086)
Soil respiration of *Zoysia matrella* turfgrass in subtropics ····· LI Xibo, YANG Yusheng, ZENG Hongda, et al (2096)
Effect of UV-B radiation on the leaf litter decomposition and nutrient release of *Pinus massoniana* ····· SONG Xinzhang, ZHANG Huiling, JIANG Hong, et al (2106)
Physiological ecological effect of endophyte infection on *Achnatherum sibiricum* under drought stress ····· HAN Rong, LI Xia, REN Anzhi, et al (2115)
Zinc Tolerance and Accumulation Characteristics of *Armillara mellea* ····· ZHU Lin, CHENG Xianhao, LI Weihuan, et al (2124)
Expansion strategies of *Caragana stenophylla* in the arid desert region ····· ZHANG Jianhua, MA Chengcang, LIU Zhihong, et al (2132)
Effects of mixed plant residues from the Loess Plateau on microbial biomass carbon and nitrogen in soil ····· WANG Chunyang, ZHOU Jianbin, XIA Zhimin, et al (2139)
Survival strategy of *Stipa krylovii* and *Agropyron cristatum* in typical steppe of Inner Mongolia ····· SUN Jian, LIU Miao, LI Shenggong, et al (2148)
Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in *Salix psammophila* root-zone soil in Inner Mongolia desert ····· HE Xueli, YANG Jing, ZHAO Lili (2159)
An experimental study on the the effects of different diurnal warming regimes on single cropping rice with Free Air Temperature Increased (FATI) facility ····· DONG Wenjun, DENG Aixing, ZHANG Bin, et al (2169)
Endophytic bacterial diversity in *Achnatherum inebrians* by culture-independent approach ····· ZHANG Xuebing, SHI Yingwu, ZENG Jun, et al (2178)
Hierarchical Partial Least Squares (Hi_PLS) model analysis of the driving factors of Henan's Ecological Footprint (EF) and its development strategy ····· JIA Junsong (2188)
Evaluation on spatial distribution of soil salinity and soil organic matter by indicator Kriging in Yucheng City ····· YANG Qiyong, YANG Jinsong, YU Shipeng (2196)
The toxicity of lupeol of *Inula britanica* on *Tetranychus cinnabarinus* and its effects on mite enzyme activity ····· DUAN Dandan, WANG Younian, CHENG Jun, et al (2203)
Abundance and biodiversity of ammonia-oxidizing archaea and bacteria in littoral wetland of Baiyangdian Lake, North China ····· YE Lei, ZHU Guibing, WANG Yu, et al (2209)
Changes of leaf water potential and water absorption potential capacities of six kinds of seedlings in Karst mount area under different drought stress intensities: Taking six forestation seedlings in karst Mountainous region for example ····· WANG Ding, YAO Jian, YANG Xue, et al (2216)
Comparison of structure and species diversity of *Eucalyptus* community ····· LIU Ping, QIN Jing, LIU Jianchang, et al (2227)
Ecosystem services valuation of the Haihe River basin wetlands ····· JIANG Bo, OUYANG Zhiyun, MIAO Hong, et al (2236)
Effects of *Phragmites australis* on methane emission from a brackish estuarine wetland ····· MA Anna, LU Jianjian (2245)
Genetic differentiation and the characteristics of uptake and accumulation of lead among *Camellia sinensis* populations under different background lead concentrations of soils in Yunnan, China ····· LIU Shengchuan, DUAN Changqun, LI Zhenhua, et al (2253)
Comparison of zooplankton lists between *Coilia mystus* food contents and collections from the Yangtze River Estuary & Hangzhou Bay ····· LIU Shouhai, XU Zhaoli (2263)
Reconstruction and analysis of July-September precipitation in Mt. Dagangshan, China ····· QIAO Lei, WANG Bing, GUO Hao, et al (2272)
Analysis on economic and ecological benefits of no-tillage management of *Carya cathayensis* ····· WANG Zhengjia, HUANG Xingzhao, TANG Xiaohua, et al (2281)
GIS-based analysis of the accessibility of urban forests in the central city of Guangzhou, China ····· ZHU Yaojun, WANG Cheng, JIA Baoquan, et al (2290)

Review and Monograph

Impact factors and uncertainties of the temperature sensitivity of soil respiration ····· YANG Qingpeng, XU Ming, LIU Hongsheng, et al (2301)
The advance of allometric studies on plant metabolic rates and biomass ····· CHENG Dongliang, ZHONG Quanlin, LIN Maozi, et al (2312)
Practice and the research progress on eco-compensation for cultivated land ····· MA Aihui, CAI Yinying, ZHANG Anlu (2321)

Discussion

Soil water holding capacities and infiltration characteristics of three vegetation restoration models in dry-hot valley of Yuanmou ····· LIU Jie, LI Xianwei, JI Zhonghua, et al (2331)

Scientific Note

Effects of secondary, micro- and beneficial elements on rice growth and cadmium uptake ····· HU Kun, YU Hua, FENG Wenqiang, et al (2341)

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

生　态　学　报
（SHENGTAI　XUEBAO）
（半月刊　1981 年 3 月创刊）
第 31 卷　第 8 期　（2011 年 4 月）

ACTA ECOLOGICA SINICA
（Semimonthly，Started in 1981）
Vol. 31　No. 8　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
主　　编　冯宗炜
主　　管　中国科学技术协会
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
出　　版　科学出版社
地址：北京东黄城根北街 16 号
邮政编码：100717
印　　刷　北京北林印刷厂
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
订　　购　全国各地邮局
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
广告经营许可证　京海工商广字第 8013 号

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
Editor-in-chief FENG Zong-Wei
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences，CAS
Add：18，Shuangqing Street，Haidian，Beijing 100085，China
Published by Science Press
Add：16 Donghuangchenggen North Street，Beijing　100717，China
Printed by Beijing Bei Lin Printing House，Beijing 100083，China
Distributed by Science Press
Add：16 Donghuangchenggen North Street，Beijing 100717，China
Tel：（010）64034563
E-mail：journal@ cspg. net
Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading Corporation
Add：P. O. Box 399 Beijing 100044，China

ISSN 1000-0933

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