

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第2期 Vol.33 No.2 **2013**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 2 期

2013 年 1 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 岩溶山区水分时空异质性及植物适应机理研究进展..... 陈洪松, 聂云鹏, 王克林 (317)
- 红树林植被对大型底栖动物群落的影响 陈光程, 余 丹, 叶 勇, 等 (327)
- 淡水湖泊生态系统中砷的赋存与转化行为研究进展..... 张 楠, 韦朝阳, 杨林生 (337)
- 纳米二次离子质谱技术(NanoSIMS)在微生物生态学研究中的应用 胡行伟, 张丽梅, 贺纪正 (348)
- 城市系统碳循环: 特征、机理与理论框架 赵荣钦, 黄贤金 (358)
- 城市温室气体排放清单编制研究进展..... 李 晴, 唐立娜, 石龙宇 (367)

个体与基础生态

- 科尔沁沙地家榆林的种子散布及幼苗更新..... 杨允菲, 白云鹏, 李建东 (374)
- 环境因子对木棉种子萌发的影响 郑艳玲, 马焕成, Scheller Robert, 等 (382)
- 五花米草与短叶荳蔻落物分解过程中碳氮磷化学计量学特征 欧阳林梅, 王 纯, 王维奇, 等 (389)
- 性别、季节和体型大小对吐鲁番沙虎巢域的影响 李文蓉, 宋玉成, 时 磊 (395)
- 遮蔽行为对海刺猬摄食、生长和性腺性状的影响..... 罗世滨, 常亚青, 赵 冲, 等 (402)
- 水稻和玉米苗上饲养的稻纵卷叶螟对温度的反应 廖怀建, 黄建荣, 方源松, 等 (409)

种群、群落和生态系统

- 亚热带不同林分土壤表层有机碳组成及其稳定性 商素云, 姜培坤, 宋照亮, 等 (416)
- 禁牧条件下不同类型草地群落结构特征 张鹏莉 陈 俊 崔树娟, 等 (425)
- 高寒退化草地狼毒与赖草种群空间格局及竞争关系 任 珩, 赵成章 (435)
- 小兴安岭 4 种典型阔叶红松林土壤有机碳分解特性 宋 媛, 赵溪竹, 毛子军, 等 (443)
- 新疆富蕴地震断裂带植被恢复对土壤古菌群落的影响 林 青, 曾 军, 张 涛, 等 (454)
- 长期施肥对紫色土农田土壤动物群落的影响 朱新玉, 董志新, 况福虹, 等 (464)
- 潮虫消耗木本植物凋落物的可选择性试验 刘 燕, 廖允成 (475)
- 象山港网箱养殖对近海沉积物细菌群落的影响 裘琼芬, 张德民, 叶仙森, 等 (483)
- 2005 年夏季东太平洋中国多金属结核区小型底栖生物研究 王小谷, 周亚东, 张东声, 等 (492)
- 川西亚高山典型森林生态系统截留水文效应 孙向阳, 王根绪, 吴 勇, 等 (501)

景观、区域和全球生态

- 中国水稻生产对历史气候变化的敏感性和脆弱性 熊 伟, 杨 婕, 吴文斌, 等 (509)
- 1961—2005 年东北地区气温和降水变化趋势 贺 伟, 布仁仓, 熊在平, 等 (519)
- 地表太阳辐射减弱和臭氧浓度增加对冬小麦生长和产量的影响 郑有飞, 胡会芳, 吴荣军, 等 (532)

资源与产业生态

- 基于环境卫星数据的黄河湿地植被生物量反演研究 高明亮, 赵文吉, 官兆宁, 等 (542)
- 黄土高原南麓县域耕地土壤速效养分时空变异 陈 涛, 常庆瑞, 刘 京, 等 (554)

不同水稻栽培模式下小麦秸秆腐解特征及对土壤生物学特性和养分状况的影响..... 武 际,郭熙盛,鲁剑巍,等 (565)

施氮时期对高产夏玉米光合特性的影响 吕 鹏,张吉旺,刘 伟,等 (576)

城乡与社会生态

城市景观组分影响水质退化的阈值研究 刘珍环,李正国,杨 鹏,等 (586)

长株潭地区生态可持续性 戴亚南,贺新光 (595)

外源 NO 对镉胁迫下水稻幼苗抗氧化系统和微量元素积累的影响 朱涵毅,陈益军,劳佳丽,等 (603)

达里诺尔湖沉积物中无机碳的形态组成 孙园园,何 江,吕昌伟,等 (610)

绿洲土 Cd、Pb、Zn、Ni 复合污染下重金属的形态特征和生物有效性 武文飞,南忠仁,王胜利,等 (619)

柠檬酸和 EDTA 对铜污染土壤环境中吊兰生长的影响 汪楠楠,胡 珊,吴 丹,等 (631)

研究简报

海州湾生态系统服务价值评估 张秀英,钟太洋,黄贤金,等 (640)

内蒙古羊草群落、功能群、物种变化及其与气候的关系 谭丽萍,周广胜 (650)

氮磷供给比例对长白落叶松苗木磷素吸收和利用效率的影响 魏红旭,徐程扬,马履一,等 (659)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 352 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 38 * 2013-01



封面图说: 科尔沁沙地榆树——榆树疏林草原属温带典型草原地带,适应半干旱半湿润气候的隐域性沙地顶级植物群落,具有极强的适应性、稳定性,生物产量较高。在我国仅见于科尔沁沙地和浑善达克沙地。是防风固沙、保护沙区生态环境和周边土地资源的一种重要的植物群落类型,是耐旱沙生植物的重要物种基因库和荒漠野生动物的重要避难所和栖息地。这些年来,由于人类毁林开荒、过度放牧、甚至片面地建立人工林群落等的干扰,不同程度地破坏了榆树疏林的生态环境,影响了其特有的生态作用。

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

DOI: 10.5846/stxb201111151731

郑有飞, 胡会芳, 吴荣军, 徐卫民, 李建, 孙健, 石茗化, 古康乐, 王云龙. 地表太阳辐射减弱和臭氧浓度增加对冬小麦生长和产量的影响. 生态学报, 2013, 33(2): 0532-0541.

Zheng Y F, Hu H F, Wu R J, Xu W M, Li J, Sun J, Shi M H, Gu K L, Wang Y L. Combined effects of elevated O_3 and reduced solar irradiance on growth and yield of field-grown winter wheat. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(2): 0532-0541.

地表太阳辐射减弱和臭氧浓度增加 对冬小麦生长和产量的影响

郑有飞^{1,2,3,*}, 胡会芳², 吴荣军², 徐卫民³, 李 建³, 孙 健²,
石茗化³, 古康乐³, 王云龙²

(1. 江苏省大气环境监测与污染控制高新技术研究重点实验室, 南京 210044;

2. 南京信息工程大学环境科学与工程学院, 南京 210044; 3. 南京信息工程大学大气物理学院, 南京 210044)

摘要: 为研究辐射减弱和 O_3 胁迫对作物的影响, 利用改进的开顶式气室 (OTC) 和遮荫网, 开展了辐射减弱和 O_3 胁迫的大田试验研究。实验设置 4 种处理: CK 为野外大田组, T_1 为 40% 遮荫, T_2 为 100 nL/ LO_3 , T_3 为遮荫 40% 和 100 nL/ LO_3 的复合组。结果表明: T_1 和 T_3 组冬小麦的生育期延长且推迟, T_3 组株高无明显变化; T_2 组株高降低, 生育期缩短; 单株干物质重均降低, T_3 降幅最大; 各组灌浆速率均降低, T_3 组降幅最大; T_1 和 T_3 产量、千粒重、穗数、穗粒数和穗重显著降低, T_2 组穗数无明显改变。由此可见, 复合对小麦生长的影响较接近 40% 遮荫; 粒重降低主要是因为灌浆速率的降低, 灌浆时间的影响较小; 产量的降低主要是千粒重、穗数、穗重的降低, 降幅最大, 但小于两因子单独累加。

关键词: 遮荫; O_3 ; 冬小麦; 生长; 产量

Combined effects of elevated O_3 and reduced solar irradiance on growth and yield of field-grown winter wheat

ZHENG Youfei^{1,2,3,*}, HU Huifang², WU Rongjun², XU Weimin³, LI Jian³, SUN Jian², SHI Minghua³, GU Kangle³, WANG Yunlong²

1 Jiangsu Key Laboratory of Atmospheric Environment Monitoring and Pollution Control, Nan Jing 210044, China

2 Environmental Science and Engineering College, Nanjing University of Information Science & Technology, Nan Jing 210044, China

3 Atmospheric Physics and Environment College, Nanjing University of Information Science & Technology, Nan Jing 210044, China

Abstract: As a consequence of increases in aerosols, air pollutants and population density, dimming or shading have become major challenges to crop production in China. And during the last several decades, significant increase in the concentrations of tropospheric ozone (O_3) have been reported. The increased tropospheric O_3 concentrations and induced solar irradiance may concomitantly occur and lead to reductions in yield of crops and economic plants. Especially, there are a great variety large-scale industries in the Yangtze River delta where is the major producing area of winter wheat. Which will enlarge the high-potential risks on growth and yield of winter wheat for their heavy air pollution.

Although the influences of each individual stress on plant performance have been widely studied, much less is known about the interactions of O_3 stress and solar irradiance on the winter wheat. In order to analysis this focus question in the varied growth stages of crop including jointing stage, booting stage, blooming stage, grain filling stage and mature stage, a

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41075114); 江苏省高校自然科学研究重大项目 (09KJA170004); 南京信息工程大学科研基金项目 (90215)

收稿日期: 2011-11-15; **修订日期:** 2012-06-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhengyf@nuist.edu.cn

experiment based on open top chambers (OTC) was conducted from November 18 of 2010 to June 5 of 2011 in Nanjing University of information Science & Technology ($32^{\circ}14' N$, $118^{\circ}42' E$), located at North suburb of Nanjing, Jiang Su Province. And the YangMai13 as a tested variety was a pillar in our study.

Winter wheat are exposed to unfiltered air (CK), shaded 40% of nature solar irradiance (T_1), enhanced increased O_3 concentration ($100 nL/L O_3$, T_2) and combined treatment ($100 nL/LO_3$ +shading 40%, T_3). The results are showed as follows: the treatments of T_1 , T_2 and T_3 all cause the changes of growth period and the plant premature aging. The grain filling stage and the growth period are all shortened in T_2 treatment; T_1 and T_3 treatments, however, prolong the growth stage of winter wheat. In addition, a significant reduction of dry matter production under T_1 , T_2 and T_3 treatments compared to CK ($P<0.05$) with declined 23.37% ($P<0.05$), 35.61% ($P<0.05$) and 55.29% ($P<0.05$), respectively. Besides, compared with CK, the grain weight, 1000-grain weight and ear weight of each treatment are all reduced ($P<0.05$) under the treatments. And it clearly shows that ear number of T_1 and T_3 are both declined ($P<0.05$). We can preliminary conclude that compared with shading and O_3 alone, the combination between shading 40% and O_3 concentration enhanced can enlarge the negative effects on wheat growth and yield. Moreover, the effects of growth and growth period of under the combination are closer to 40% solar irradiance treatment. And the major reason for declined grain weight under the combination is decrease of grain filling rate instead of decreases of grain filling duration. It also obviously demonstrated that the number of spikelet, the grain weight per spike and the 1000-grain weight of the composite treatments decreased significantly ($P<0.05$) 35.15%, 39.32% and 34.38%, separately. As a result, the grain yield decreased by 64.65% compared with the control, but the value is less than two factors accumulate alone.

Key Words: shading; ozone; winter wheat; growth; yield

近年来到达地表的太阳辐射明显减少^[1],长江中下游地区每 10a 减幅超过 6%,且在近 20 多年有增加趋势,辐射减弱已经给作物生产带来挑战^[2]。当光照强度下降超过自然光的 20% 时,稻谷的生物量和产量会出现不同程度的减小,降至自然光的 60% 时,植株几乎停止生长^[3]。自 20 世纪 40 年代以来,一些学者用人工遮光的方法进行了大量的研究。结果表明,灌浆期遮光使小麦光合能力下降,同化物供应减少,灌浆速率下降,最终粒重降低,产量下降^[4]。

自 20 世纪 60 年代以来,近地层 O_3 浓度正以每年以 0.3%—2.0% 速率增长,预计到 2100 年全球对流层 O_3 平均浓度将达到 80 nL/L^[5]。长江三角洲是地面 O_3 污染严重的地区,对流层 O_3 浓度增加最为显著并且由于长距离的输送, O_3 浓度的最大值分布在农村和农业种植区^[6]。研究表明, O_3 浓度升高将对植物形态、生物量和产量、光合作用、呼吸作用、活性氧伤害和抗氧化能力等生理机制产生重要影响^[7]。

目前关于 O_3 和酸雨、 CO_2 、水分胁迫、重金属、UV-B 等开展了大量的复合试验,但是 O_3 和辐射减弱复合对作物的影响国内却鲜有报道,也多是从光合速率、干物质转移等角度分析产量损失,因此本文利用改进的开顶式气室 (OTC) 和遮荫网模拟辐射减弱和 O_3 浓度增加的状况,从生长、源库协调性、籽粒灌浆过程、产量构成这几个方面综合分析产量损失的原因,讨论二者复合情况下冬小麦的适应状况,为准确评价 O_3 浓度增加和地表太阳辐射减弱对粮食生产的影响提供有价值的参考。

1 材料与方法

1.1 实验设计

1.1.1 实验点的自然状况

实验于 2010 年 11 月 18 日至 2012 年 6 月 5 日在南京信息工程大学农业气象试验站 ($32^{\circ}14' N$, $118^{\circ}42' E$) 进行。该站海拔 22 m, 年均降水量 1106.5 mm, 年均气温 15.3 $^{\circ}C$, 土壤类型为黄棕壤, 土质细腻均匀, 肥力中等偏上, pH 值为 7.37, 有机质含量为 10.35 g/kg, 全氮含量为 0.55 g/kg, 全磷含量为 0.47 g/kg, 全钾含量为 0.21 g/kg。

1.1.2 供试作物

供试作物品种为扬麦 13 号(*Triticum aestivum* L. YangMai13),为当地主栽品种,于 2010 年 11 月 18 日播种,2011 年 6 月 5 日收获,行距 25 cm。

1.1.3 实验设计

试验设置了 4 个处理组:(1)野外大田组(CK);(2)遮光 40% 组(T_1);(3) O_3 100 nL/L(T_2);(4) O_3 100 nL/L 与遮光 40% 组(T_3)。从 2011 年 3 月 24 日拔节初期开始遮荫和 O_3 通气处理,至成熟期结束,日熏蒸时间为 8:00 到 16:00,熏气 8 h,阴雨天不通气。

试验所用的遮荫棚采用镀锌钢管(南京桥旺管业有限公司生产),其内径为 40 mm,厚 2 mm,长 6 m。镀锌钢管深埋地下 1 m,地上部分 3 m,搭建成 3 m×3 m×3 m 的立方体。遮荫棚搭建完成后,采用一定透光度的黑色遮荫网固定于竹杠上安置在钢管的上方、东西和南方向加盖遮荫网,朝北方向不加盖遮荫网以保持棚内部通风。整个遮荫棚四个衔接处用可以调节松紧的扣件加以固定。荫棚搭架在 OTC 气室外,与 OTC 气室顶部、左右各保持 50 cm 间距。试验区的东、西、南、北四个方向分别留出 2 m 的保护行,防止相互干扰,整个试验期间分别对到达各理组作物冠层的总辐射(TBQ-2 型总辐射表,上海杰韦弗仪器公司生产)进行连续观测。

本试验采用开顶式气室(OTC),气室体积为 5.3 m³,实验区面积为 3 m²,采用聚乙烯塑料膜作室壁材料,由圆形不锈钢框架构成,高 1.9 m,上部为高 0.25 m 的正八棱台面,底部为内径为 2 m 的圆底。采用 WJ-H-Y5 型高频 O_3 发生器(购于南京万杰臭氧机电设备厂),气源由臭氧发生器内置的制氧机生成。臭氧发生器生成的臭氧借助轴流式风机(沈阳沈力牌 sf2-2 型)经过硅胶管和布气盘进入开顶式气室内。OTC 气室曝气系统用与垂直主供气管相接的 8 根水平布气管,每根管下侧面平均分布气孔,气孔与水平面呈 45° 夹角,布气装置的高度可以根据冬小麦的高度调整,这样可以更真实模拟气流的情况,使曝气更均匀。采用新西兰 AeroQual 公司的 S200 型 O_3 检测仪对气室内 O_3 浓度进行监测,每两天对室内的 O_3 浓度检测一次,以防出现异常问题。

1.2 测定方法

1.2.1 株高测定

返青期每组选取 5 株生长状况相同的小麦植株,定株观测,每周测定 1 次,用卷尺测定叶片最长处距离地面高度(花后穗高度超过叶子时测量至穗顶),记为株高。

1.2.2 生物量测定

每生育期每处理选取 5 株,将植株按叶片、叶鞘、茎、穗和根进行分类,分别做标记并称取鲜重,然后置入恒温干燥箱内 105 ℃ 杀青 1 h,然后 80 ℃ 烘至 24 h 至恒重,最后分别测定干重。

1.2.3 叶面积测定

用尺子量取叶片的长和宽,长宽乘积计算的面积再乘以矫正系数为叶面积, $L_A = \text{长} \times \text{宽} \times 0.83$ 。

1.2.4 灌浆速率的测定

每个处理组选择花期,长相、长势、穗子大小基本相同的植株,至开花后 5 d 开始取样,以后每 5 d 取样 1 次,一次选取 15 穗带回实验室,分成 3 组,取每穗中部第 5 花位始的籽粒 10 粒,共 50 粒为 1 组,称其鲜重。然后立即置于烘箱 105 ℃ 下杀青 1 h,之后降至 80 ℃ 烘干 24 h 至恒重,称其干重,换算成千粒重。

1.3 公式介绍

粒数/叶面积 = 单株粒数/单株最大叶面积

粒重/叶面积 = 单株粒重/单株最大叶面积

各时期对籽粒贡献率 = 各时期籽粒增长量(千粒)/最终千粒重

每穗粒数 = 样本穗粒数之和/样本穗数

结实率 = 结实粒数/穗粒数 × 100%

理论产量 = 穗粒数 × 千粒重 × 1 m² 有效穗数/1000

收获指数(HI)=实际产量/生物量

相对生长速率(RGR)计算公式为:

$$RGR = (\ln H_2 - \ln H_1) / (T_2 - T_1)$$

式中, T_1 、 T_2 为相邻两次的取样时间, H_2 、 H_1 为 T_2 、 T_1 时所取样品的株高。

用 Logistic 方程 $y = k / (1 + a \cdot e^{-bt})$ 对籽粒干重进行拟合, 以开花后天数(t)为自变量, 千粒重(y)为因变量, 其中 k 为最大千粒重, t 为开花天数, a 、 b 为待定系数。对 Logistic 方程求一阶导数, 得灌浆速率方程:

$$V(t) = dy/dt = kabe^{-bt} / (a + a \cdot e^{-bt})$$

由 Logistic 方程和灌浆速率方程推导出一些次级灌浆参数, $V_{\max}$ 为最大灌浆速率, $T_{\max}$ 为灌浆速率达到最大时的时间, V 为整个灌浆过程的平均灌浆速率, t 为整个灌浆过程持续天数, V_1 、 V_2 、 V_3 分别表示灌浆渐增期、快增期、缓增期的灌浆速率, t_1 、 t_2 、 t_3 分别表示灌浆渐增期、快增期、缓增期的持续天数。

1.4 数据处理

用 One-way ANOVA 检验处理组之间差异的显著性, $P < 0.05$ 表示差异显著, $P > 0.05$ 表示差异不显著。

2 结果与分析

2.1 冬小麦生长

2.1.1 生育期

冬小麦生育期的观测详见表 1。可以看出, 遮荫和臭氧熏蒸处理初期, 各处理组生育期一致, 均在 3 月 24 日拔节。处理一段时间以后各处理组对生育期的影响开始表现出来。表现为 T_1 和 T_3 组使冬小麦生育期推后, 并且孕穗抽穗、扬花、灌浆时间延长, 灌浆时间的延长有利于小麦产量的提高; T_2 组使小麦的灌浆期缩短, 成熟期提前, 生育期相应缩短。

表 1 不同处理冬小麦的生育期

Table 1 Effects of O_3 and reduced solar irradiance on growth period of winter wheat

处理 Treatment	孕穗期 Booting stage	抽穗期 Heading stage	扬花期 Flowering stage	灌浆期 Filling stage	成熟期 Maturity
CK	3 月 24 日	4 月 10 日	4 月 13 日	4 月 22 日	4 月 26 日
T_1	3 月 24 日	4 月 12 日	4 月 16 日	4 月 26 日	4 月 28 日
T_2	3 月 24 日	4 月 10 日	4 月 13 日	4 月 20 日	4 月 25 日
T_3	3 月 24 日	4 月 12 日	4 月 16 日	4 月 26 日	4 月 28 日

2.1.2 相对生长速率

由表 2 可以看出, T_1 组和 T_3 组可以提高冬小麦的相对生长速率, T_2 组相对生长速率降低。至成熟期时 T_1 组相对生长速率提高了 17.85% ($P < 0.05$), T_2 组下降了 12.77% ($P < 0.05$); T_3 组可能是由于臭氧对相对生长速率的降低在一定程度上中和了遮荫对生长速率提高的正效应, 最终导致相对生长速率差异不显著。

表 2 臭氧和遮荫对冬小麦相对生长速率的影响

Table 2 Effects of O_3 stress and reduced solar irradiance on relative growth rate of winter wheat

处理 Treatment	拔节—孕穗 Jointing-Booting	孕穗—扬花 Booting-Flowering	扬花—灌浆 Flowering-Filling	灌浆—成熟 Filling-Maturity	拔节—成熟 Jointing-Maturity
CK	0.0281±0.0033a	0.0216±0.0011ac	0.0294±0.0035a	0.0006±0.0001ab	0.015±0.0006a
T_1	0.0463±0.0024b	0.0192±0.0024ab	0.0237±0.0055ab	0.0005±0.0004a	0.0171±0.0005b
T_2	0.0249±0.0081a	0.0232±0.0011c	0.0170±0.0038b	0.0003±0.0001a	0.0127±0.0017c
T_3	0.0321±0.0025a	0.0262±0.0013d	0.0174±0.0031b	0.0013±0.0006b	0.0154±0.0003ab

表中 CK 为对照组; T_1 为 40% 遮荫; T_2 为 O_3 浓度 100 nL/L; T_3 为 T_1 和 T_2 的复合处理; 同行不同字母表示在 5% 水平上差异显著

2.1.3 株高

由图 1 可以看出, T_1 组对冬小麦的株高生长有明显的促进作用, T_2 组则有抑制作用, T_3 组促进冬小麦的增长但不显著, 株高整体表现为 $T_1>T_3>CK>T_2$ 。 T_1 组孕穗期开始对冬小麦株高的影响显著 ($P<0.05$), T_2 组灌浆-成熟期差异达到显著性水平 ($P<0.05$), T_3 组差异不显著 (扬花期除外, $P<0.05$)。

2.1.4 单株干物重

由图 2 可以看出, 小麦干物质量基本上呈单峰变化趋势, 各组变化一致, 在整个生育期表现为 $CK>T_1>T_2>T_3$ 。拔节期冬小麦的干物质未明显降低; 随着处理时间的增加, 孕穗期开始 T_1 、 T_2 和 T_3 组的干物质量显著下降 ($P<0.05$); 至成熟期时 T_1 、 T_2 和 T_3 组干物重下降了 23.37% ($P<0.05$)、35.61% ($P<0.05$) 和 55.29% ($P<0.05$)。成熟期各处理组干物质均出现一定程度的下降, 由于生育后期干物质的生产不足以维持小麦株的基本生长, 需要消耗之前累积的干物质。

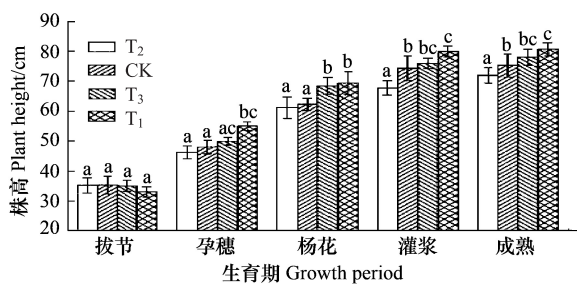


图 1 臭氧和遮荫对冬小麦株高的影响

Fig. 1 Effects of O_3 stress and reduced solar irradiance on height of winter wheat

图中误差线为 $SD(n=3,4)$, 同生育期的不同处理用 LSD 法进行差异显著性检验, 其上方字母不同表示差异显著 ($P<0.05$); CK, T_1 , T_2 , T_3 为处理

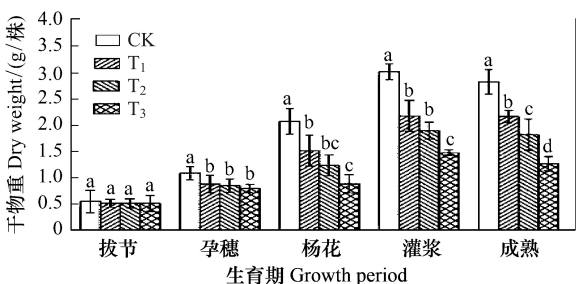


图 2 臭氧和遮荫对冬小麦干物质重的影响

Fig. 2 Effects of O_3 stress and reduced solar irradiance on dry weight of winter wheat

2.2 冬小麦产量

2.2.1 粒/叶面积

小麦光合产物的累积、转运和产量的形成是一个复杂的生理过程, 是源库相互作用的结果, 粒数/叶面积、粒重/叶面积是衡量库源关系协调的综合指标, 粒数/叶面积反映开花前干物质积累状况及光合环境的优劣, 而粒重/叶面积反映开花后库对源的调运能力^[8]。表 3 给出了各处理组的粒/叶面积值。与 CK 相比, T_1 和 T_3 组粒数/叶面积显著降低 ($P<0.05$); T_1 、 T_2 和 T_3 组粒重/叶面积均显著下降 ($P<0.05$)。可以看出 T_1 和 T_3 组显著降低了小麦的粒/叶面积, 说明遮荫及复合影响了花前干物质累积及库对源的协调能力, 干物质累积的减少以及源库协调失衡, 而 O_3 处理对粒数/叶面积影响不大, 但降低了粒重/叶面积, 源库协调能力差最终的产量减少。

表 3 臭氧和辐射减弱对冬小麦粒/叶面积比的影响

Table 3 Effects of O_3 stress and reduced solar irradiance on grain/leaf area ratio of winter wheat

项目 Treatment	处理组 Treatment			
	CK	T_1	T_2	T_3
粒数/叶面积 Grain number/leaf area	0.415±0.030a	0.282±0.009b	0.405±0.032a	0.249±0.034b
粒重/叶面积/mg Grain weight/leaf area	15.07±1.11a	9.69±0.32b	11.90±0.93c	5.95±0.80d

2.2.2 冬小麦籽粒增长

由表 4 灌浆参数的可以看出, 各灌浆参数均有差异。最大千粒重表现为 $CK>T_1>T_2>T_3$, T_1 、 T_2 和 T_3 组最

大千粒重比 CK 减少了 4.80%、8.35% 和 35.00%; 平均灌浆速率(V)和最大灌浆速率($V_{\max}$)表现为 $CK > T_2 > T_1 > T_3$; T_1 、 T_2 和 T_3 组平均灌浆速率减少了 11.35%、7.80%、39.72%, 最大灌浆速率减少 13.90%、13.00%、32.74%。

总体上可以看出,快增期历时最长,灌浆速率也最大,从对籽粒的贡献来看也最大,达到 60.72%—63.38%,远大于渐增期和缓增期。可见快增期是小麦籽粒干物质累积的关键时期,该时期干物质的累积量上升最快,最终产量形成的高低也取决于该时期的籽粒干物质的累积量。

表 4 O_3 和辐射减弱对小麦灌浆参数的影响

Table 4 Effects of O_3 and reduced solar irradiance on grain filling parameters of winter wheat

处理 Treatment	k/g	$T_{\max}$ /d	$V_{\max}$ /(g/d)	灌浆时间/d Filling time				灌浆速率/(g/d) Filling rate				各时期对籽粒 贡献率/% Contribution rate of each period		
				t	t_1	t_2	t_3	V	V_1	V_2	V_3	P_1	P_2	P_3
CK	42.88	15.62	2.23	31	9.28	12.66	9.05	1.27	0.98	1.96	0.63	22.94	62.68	14.38
T_1	40.82	14.98	1.92	33	7.98	14.01	11.01	1.17	1.08	1.68	0.59	22.29	60.90	16.81
T_2	39.30	17.14	1.94	30	10.45	13.37	6.18	1.17	0.79	1.70	0.65	23.20	63.38	11.19
T_3	27.87	13.92	1.50	33	7.79	12.25	12.95	0.80	0.76	1.31	0.35	22.22	60.72	17.06

2.2.3 冬小麦产量及产量构成

由表 5 可以看出, T_1 和 T_3 组的千粒重、穗数、穗粒数和穗重指标均显著降低($P < 0.05$); T_2 组千粒重、穗粒数和穗重显著性降低($P < 0.05$),有效穗数未明显降低($P > 0.05$); T_3 组各指标降幅均最大,千粒重、穗数、穗粒数和穗重分别降低了 34.38% ($P < 0.05$)、35.15% ($P < 0.05$)、39.32% ($P < 0.05$)、67.97% ($P < 0.05$)。可以看出,遮荫及复合组产量的降低是千粒重和穗重共同减少的结果, O_3 主要是千粒重的减少;遮荫降低同时还降低了收获指数,而 O_3 和复合处理收获指数虽提高但产量仍然呈降低的趋势。

表 5 臭氧和遮荫对冬小麦产量及产量构成的影响

Table 5 Effects of O_3 stress and reduced solar irradiance on yield and yield components of winter wheat

处理组 Treat ment	千粒重 1000 grains weight	有效穗数 Effective spike	每穗粒数 Number of spike	穗重 Weight of spike /(g/穗)	结实率/% Setting rate	实际产量 Actual yield /(g/m ²)	收获指数 Harvest index
CK	36.33±0.75a	441±2.12a	32.50±2.38a	1.53±0.07a	81.98±0.03a	520.76±10.79a	0.48±0.01a
T_1	34.39±0.67b	288±9.54b	26.81±0.89b	0.85±0.11b	72.74±0.02b	193.96±3.80b	0.42±0.02b
T_2	29.35±0.20c	434±4.93a	30.99±2.42a	0.93±0.05b	77.40±0.02ab	394.77±2.70c	0.54±0.03c
T_3	23.84±0.59d	286±3.78bc	19.72±2.65c	0.49±0.01c	63.39±0.05c	184.09±4.52d	0.60±0.03d

3 讨论

3.1 太阳辐射减弱和 O_3 复合对冬小麦生长的影响

通过对 O_3 熏气和太阳辐射减弱复合处理对小麦的生长的研究发现,冬小麦株高没有明显的变化,可能是因为 O_3 对冬小麦生长的抑制作用在一定程度上抵消了遮荫的促进效应。遮荫对作物的营养生长有很大的促进作用,表现为生长加快,枝大叶茂,茎秆变粗^[9]。李朝海^[10]研究也表明遮荫会推迟玉米的生育进程,延缓植株衰老,并且对玉米生长有促进作用使株高增加;李初英等^[11]对大豆的研究发现遮光强度及遮光持续时间对大豆株高、子叶节高度、茎粗和主茎节数影响显著。遮光 50% 持续到鼓粒期以后,植株形态由直立变成蔓生型。太阳辐射减弱条件下小麦株高升高,可能是因为遮荫改善了植物生长的微环境,环境的温度、湿度和 CO_2 浓度的提高可能导致生长速率的加快,还可能与降低光强对植物的直接光伤害有关^[9]。而 O_3 胁迫则会使冬小麦生育期缩短,衰老加剧对最终的小麦产量形成有不利的影晌^[12];李彩虹^[13]、姚芳芳^[14]基于 OTC 气室的

研究也表明 O_3 熏气抑制主茎的伸长速率,降低株高,并且熏气时间越长,影响越明显。

3.2 太阳辐射减弱和 O_3 复合对冬小麦干物质累积的影响

张元燕^[15]研究表明遮荫下由于缺少光照导致光合能力下降,生物量的累积受到影响,小麦植株地上部分和地下部分干物质量均下降,并且随着遮荫强度的增加,地上部分的降幅大于地下部分,导致根冠比增加。郑有飞^[16]研究表明臭氧胁迫导致大豆干物重下降,并且臭氧浓度越高,下降幅度越大。 O_3 胁迫和太阳辐射减弱复合处理下,小麦的干物重下降了 55.29%,远大于单独的 O_3 的 35.61% 和遮荫 40% 处理的 23.37%,但小于单因子直接累加,可以看出复合处理的影响不是两个因子的简单累加,而是一个复杂的过程;干物质累积降低可能是因为一方面遮荫产生的光合抑制导致干物质的生产和积累速度减慢^[17],降低小麦的旗叶、其它叶、茎、鞘和穗的干物重,限制了同化物的供给^[18],使最终的积累量减少。此外,臭氧也对叶片造成可见伤害,使植株叶绿素含量减少,衰老加速,从而使作物固定的碳减少,降低作物的生物量和产量^[19];减少小麦光合作用有效面积的同时,还缩短了光合作用有效时间,从而影响了光合产物的积累^[20]。 O_3 可能对韧皮部组织有直接的作用,导致同化物向外运输的能力降低,弱光照可能影响碳水化合物的运出以及弱光下没有强光和失水的胁迫,不会有渗透调节使大分子化合物降解所致^[9],这也会在一定程度上影响干物质累积。

3.3 太阳辐射减弱和 O_3 复合对冬小麦籽粒增长过程的影响

小麦光合产物的积累、转运和产量的形成是一个复杂的生理过程,是源库相互作用的结果,籽粒是开花后碳氮同化最具活力的库^[21],源是指作物生产和提供光合产物的器官,充足的源是高产品种必备的条件之一。粒数/叶面积的提高有利于源、库的协调发展,利于粒重/叶面积的提高^[8]。雷亚柯^[22]研究发现小麦籽粒产量主要来自顶三叶光合产物的积累,对籽粒库容量的贡献大小为旗叶>倒二叶>倒三叶。

旗叶光合速率受光照强度的显著影响,弱光下小麦旗叶气孔形态发生变化,影响了植株蒸腾速率和气孔导度,光合产物合成受抑制,从而导致小麦灌浆速率显著下降^[23]。关于粒重与灌浆速率和灌浆时间的关系说法不一,刘艳阳^[24]研究认为,小麦粒重的高低与籽粒灌浆速率大小及灌浆持续期长短有关。闫素辉等^[25]研究表明弱光处理后粒重的降低主要是平均灌浆速率显著降低所致,而灌浆持续期长短对其影响较小。李世清^[26]研究发现当小麦灌浆期间有 3—4 d 连阴雨天,旬均日照时数为常年的 60% 时,花后灌浆速率会比常年低 35%,本文用 Logistic 方程来模拟籽粒的增长过程,发现辐射减弱和复合组粒重下降的主要原因可能是灌浆速率的降低; O_3 处理下灌浆时间减少仅 1 d,灌浆速率则下降了 7.80%,快增期和缓增期的天数较长,而快增期是籽粒干物质累积的关键时期,最终的粒重仍然是降低的,初步判断 O_3 熏气下粒重降低的主要原因是灌浆速率的降低而不是灌浆时间的减少,冯素伟^[27]等对不同小麦品种籽粒灌浆特征的研究也发现,粒重主要是由快增期持续时间和灌浆速度决定的,与整个灌浆持续期关系不明显。

3.4 太阳辐射减弱和 O_3 复合对冬小麦产量的影响

光照条件的改变明显改变作物的生长,不仅影响光合产物的累积及在植物体内的重新分配,还影响冬小麦的籽粒灌浆过程,并最终影响产量。对遮荫下大豆的研究发现,遮荫 25% 使大豆的单株产量降幅 34.4%—49.7%^[28],遮荫 55% 分别使“协优 9308”和“秀水 110”两品种水稻千粒重下降了 28.64% 和 49.71%^[29]。对棉花的研究发现光照时间不足,光照强度不够,会影响棉桃的正常生长发育,严重时造成蕾铃脱落增多,僵烂铃增加^[30]。大量研究表明, O_3 熏蒸会降低作物的产量,白月明等^[31]用 OTC 研究表明,50、100、200 nL/L O_3 处理分别比对照减产 15%、6%、31%;郭建平等^[32]用 OTC 研究表明, O_3 浓度达 50、100、200 nL/L 时,水稻千粒重分别比对照下降 4%、1%、25%,空秕壳率(完全未灌浆和灌浆不足 1/3 的秕粒的总和)分别比对照增加 7%、33% 和 172%。复合组产量及各指标的降幅均最大,但小于两因子的简单累积,可见两因子之间相互作用共同影响最终的产量。复合组产量的下降可能是因为,遮光强度及遮光持续时间影响穗数、株粒数、株粒重影响^[11]。此外,高浓度的 O_3 虽有利于有效穗数的形成^[32]。但 Feng^[33]等人利用开顶式装置研究发现大气臭氧浓度升高明显增加了小麦瘪粒的数量。冯兆忠^[34]研究发现叶片光合速率的显著降低直接影响了碳水化合物的固定及其向籽粒中的转运。叶片里的光合产物不能及时输出,抑制了叶片中新的光合产物的合成,进而

导致产量下降^[35]。金冬艳^[36]研究发现 O₃ 影响开花期,使大豆开花数量减少,并影响花粉受精过程,使结荚数减少,籽粒数量少,导致产量下降。O₃ 对生殖过程也有直接影响,包括花粉的萌发、花粉管的伸长、受精、花的脱落、胚珠和种子发育等过程^[37]。

4 结论

- (1)复合时遮荫 40% 对冬小麦株高和生育期的影响较 O₃ 大,较接近遮荫 40% 的处理。
- (2)复合时籽粒重下降的主要原因是平均灌浆速率的降低,灌浆时间的影响较小。
- (3)复合时产量的降低主要是千粒重、穗数、穗重的降低;降幅最大,但小于两因子单独累加。

References:

- [1] Stanhill G, Cohen S. Global dimming: a review of the evidence for a widespread and significant reduction in global radiation with discussion of its probable causes and possible agricultural consequences. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2001, 107(4): 255-278.
- [2] Shi X H, Xu X D, Xie L A. The feature of climate change of warm aerosols significantly affected zone in eastern China. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2008, 38(4): 519-528.
- [3] Liu B, Han Y, Xie W X, Li J G, Liu J, Gao Q. Influence of low light on rice yield, physiology and grain quality in grain filling stage. *Chinese rice*, 2008, (5): 36-40.
- [4] Li Y G, Yu Z W, Liang X F, Zhao J H, Qu X B. Response of wheat yields and quality to low light intensity at different grain filling stages. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(5): 807-813.
- [5] Fiscus E L, Booker F L, Burdley K O. Crop responses to ozone: Uptake, modes of action, carbon assimilation and partitioning. *Plant, Cell and Environment*, 2005, 28(8): 997-1011.
- [6] Wang X K, William M, Feng Z W, Zhu Y G. Ground-level ozone in China: distribution and effects on crop yields. *Environmental Pollution*, 2007, 147(2): 394-400.
- [7] Zhao T H, Shi Y, Huang G H. Effect of doubled CO₂ and O₃ concentration and their interactions on ultra structure of soybean chloroplast. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(12): 2229-2232.
- [8] Ling Q H. Crop population quality. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2000: 146-178.
- [9] Liu X Z, Kang S Z, Zhou J F. Development of research on the effects of shading on crop growth. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2001, 19(4): 65-73.
- [10] Li C H, Luan L M, Yin F, Wang Q, Zhao Y L. Effects of light stress at different stages on the growth and yield of different maize genotypes (*Zea mays* L.). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(4): 824-830.
- [11] Li C Y, Sun Z D, Chen H Z, Yang S Z. Study of the influence of shading stress to the development stages and the form characters of Soybean. *Chinese Agriculture Science Bulletin*, 2006, 22(9): 170-173.
- [12] Liu H J, Zheng Y F, Wu R J, Zhao Z, Hu C D, Shi C H. Impacts of increasing surface ozone on growth and yield of winter wheat in Nanjing Area. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2009, 30(2): 195-200.
- [13] Li C H, Li Y, Wu Yun T N, Wu G L, Jiang G M. Effects of high concentration ozone on soybean growth and grain yield. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(9): 2347-2352.
- [14] Yao F F, Wang X K, Chen Z, Feng Z Z, Zheng Q W, Duan X N, Ouyang Z Y, Feng Z W. Response of photosynthesis, growth and yield of field-grown winter wheat to ozone exposure. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(1): 212-219.
- [15] Zhang Y Y, Ji Y H, Jia H, Wang A X, Zhang M, Fang Y M. Effect of shading on biomass allocation and chlorophyll content in leaf of *Triticum aestivum* at different developmental stages. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2009, 18(4): 39-45.
- [16] Zheng Y F, Liu R N, Wu R J, Hu C D, Zhao Z, Wang L X. Impacts of surface ozone exposure on dry matter production and distribution of soybean. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2011, 32(1): 73-80.
- [17] Zhu P, Yang S M, Ma J, Li S X, Chen Y. Effect of shading on the photosynthetic characteristics and yield at later growth stage of hybrid rice combination. *Acta Agronomica Sinica*, 2008, 34(11): 2003-2009.
- [18] Guo C H, Gao Z Q, Miao G Y. Effect of shading at post flowering on photosynthetic characteristics of flag leaf and response of grain yield and quality to shading in wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 2010, 36(4): 673-679.
- [19] Ariyaphanphitak W, Chidthaisong A, Sarobol E, Bashkin V N, Towprayoon S. Effects of elevated ozone concentrations on Thai jasmine rice cultivars (*Oryza sativa* L.). *Water, Air, and Soil Pollution*, 2005, 167(1/4): 179-200.
- [20] Zheng Q W, Wang X K, Feng Z Z, Song W Z, Feng Z W, Ouyang Z Y. Effects of elevated ozone on biomass and yield of rice planted in open-top

- chamber with revolving ozone distribution. *Chinese Journal of Environmental Science*, 2007, 28(1): 170-175.
- [21] Ma D Y, Guo T C, Song X, Cha F N, Yue Y J, Wang H C. Effect of Source-sink Manipulation on Grain filling and photosynthesis of wheat. *Journal of Triticeae Crops*, 2006, 26(4): 74-78.
- [22] Lei Y K, Wang H, Song M L, Wei Y L. Relationship on Source and Sink in Different Varieties of winter Wheat and Its Improvement. *Journal of Triticeae Crops*, 2007, 27(3): 493-496.
- [23] Yao Y C, Wang S H, Kong Y. Characteristics of photosynthesis mechanism in different peach species under low light intensity. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(4): 855-863.
- [24] Liu Y Y, Jiang D. Effects of sowing dates on grain filling characteristics of wheat 9356. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*. 2009, 37(31): 15639-15640.
- [25] Yan S H, Li W Y, Yang A Z, Wang Z L. Effects of weak light at grain filling stage on photosynthetic characteristics and grain filling of winter wheat. *Journal of Triticeae Crops*, 2011, 31(1): 77-81.
- [26] Li S Q, Shao M A, Li Z Y, Wu W M, Zhang X C. Review of characteristics of wheat grain fill and factors to influence it. *Acta Botanica Boreo-Occident Sinica*, 2003, 23(11): 2031-2039.
- [27] Feng S W, Hu T Z, Li G, Dong N, Li X H, Ru Z G, Cheng Z H. Analysis on grain filling characteristics of different wheat varieties. *Journal of Triticeae Crops*, 2009, 29(4): 643-646.
- [28] Liu B, Wang C, Jin J, Liu J D, Zhang Q Y, Liu X B, Herbert S J. Effect of light enrichment and shading during reproductive stage on dry matter distribution, yield and quality of soybean. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2009, 27(2): 103-107.
- [29] Fu G F, Li H, T X L, Zhang X F, Wang D Y. Effects of shading at grain-filling stage on the growth and Q enzyme activity of rice grain. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(3): 438-444.
- [30] Zhang G Y, Yan Y, Zhang L H, Wang J. Study on relationship between cotton boll development and meteorological factors in boll period. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2010, 22(7): 146-148.
- [31] Bai Y M, Guo J P, Wang C Y, Wen M. The reaction and sensitivity experiment of O₃ on rice and winter wheat. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2002, 10(1): 13-16.
- [32] Guo J P, Wang C Y, Wen M, Bai Y M, Huo Z G. The experimental study on the impact of atmospheric O₃ variation on rice. *Acta Agronomica Sinica*, 2001, 27(6): 822-826.
- [33] Feng Z Z, Yao F F, Chen Z, Wang X K, Zheng Q W, Feng Z W. Response of gas exchange and yield components of field-grown *Triticum aestivum* L. to elevated ozone in China. *Photosynthetica*, 2007, 45(3): 441-446.
- [34] Feng Z Z, Xiao lin H Y, Wang X K, Feng Z W. Yield formation of wheat to elevated ozone concentration response integration analysis. *Chinese Science Bulletin*, 2008, 53(24): 3080-3085.
- [35] Meyer U, Köllner B, Willenbrink J, Krause G H M. Effects of different ozone exposure regimes on photosynthesis, assimilates and thousand grain weight in spring wheat. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2000, 78(1): 49-55.
- [36] Jin D Y, Zhao T H, Fu Yu, Sun J W, Huang S. Effects of elevated ozone concentration on soybean photosynthesis and yield. *Soybean Science*, 2009, 28(4): 632-635.
- [37] Black V J, Black C R, Roberts J A, Stewart C A. Impact of ozone on the reproductive development of plants. *New Phytologist*, 2000, 147(3): 421-447.

参考文献:

- [3] 刘博, 韩勇, 解文孝, 李建国, 刘军, 高岐. 灌浆结实期弱光对水稻产量、生理及品质的影响. *中国稻米*, 2008, (5): 36-40.
- [4] 李永庚, 于振文, 梁晓芳, 赵俊晔, 邱希宾. 小麦产量和品质对灌浆期不同阶段低光照强度的响应. *植物生态学报*, 2005, 29(5): 807-813.
- [8] 凌启鸿. 作物群体质量. 上海: 上海科学技术出版社, 2000: 146-178.
- [9] 刘贤赵, 康绍忠, 周吉福. 遮阴对作物生长影响的研究进展. *干旱地区农业研究*, 2001, 19(4): 65-73.
- [10] 李朝海, 栾丽敏, 尹飞, 王群, 赵亚丽. 弱光胁迫对不同基因型玉米生长发育和产量的影响. *生态学报*, 2005, 25(4): 824-830.
- [11] 李初英, 孙祖东, 陈怀珠, 杨守臻. 不同遮光胁迫对大豆生长发育进程及形态形状的影响. *中国农学通报*, 2006, 22(9): 170-173.
- [12] 刘宏举, 郑有飞, 吴荣军, 赵泽, 胡程达, 石春红. 地表臭氧浓度增加对南京地区冬小麦生长和产量的影响. *中国农业气象*, 2009, 30(2): 195-200.
- [13] 李彩虹, 李勇, 乌云塔娜, 吴光磊, 蒋高明. 高浓度臭氧对大豆生长发育及产量的影响. *应用生态报*, 2010, 21(9): 2347-2352.
- [14] 姚芳芳, 王效科, 陈展, 冯兆忠, 郑启伟, 段晓男, 欧阳志云, 冯宗炜. 农田冬小麦生长和产量对臭氧动态暴露的响应. *植物生态学报*, 2008, 32(1): 212-219.

- [15] 张元燕, 季永华, 贾恒, 王爱霞, 张敏, 方炎明. 遮光处理对不同生育期小麦生物量分配和叶片叶绿素含量影响. 植物资源与环境学报, 2009, 18(4): 39-45.
- [16] 郑有飞, 刘瑞娜, 吴荣军, 胡程达, 赵泽, 王连喜. 地表臭氧胁迫对大豆干物质生产和分配的影响. 中国农业气象, 2011, 32(1): 73-80.
- [17] 朱萍, 杨世民, 马均, 李树杏, 陈宇. 遮光对杂交水稻组合生育后期光和特性和产量的影响. 作物学报, 2008, 34(11): 2003-2009.
- [18] 郭翠花, 高志强, 苗果园. 花后遮阴对小麦旗叶光合特性及籽粒产量和品质的影响. 作物学报, 2010, 36(4): 673-679.
- [20] 郑启伟, 王效科, 冯兆忠, 宋文质, 冯宗炜, 欧阳志云. 用旋转布气法开顶式气室研究 O_3 对水稻生物量和产量的影响. 环境科学, 2007, 28(1): 170-175.
- [21] 马冬云, 郭天财, 宋晓, 查菲娜, 岳艳军, 王化岑. 源库调节对小麦籽粒灌浆及光合特性的影响. 麦类作物学报, 2006, 26(4): 74-78.
- [22] 雷亚柯, 王辉, 宋美丽, 魏艳丽. 不同穗型冬小麦源库关系及源库性状改良. 麦类作物学报, 2007, 27(3): 493-496.
- [24] 刘艳阳, 蒋达. 播种小麦 9356 籽粒灌浆特性的影响. 安徽农业科学, 2009, 37(31): 12639-15640.
- [25] 闫素辉, 李文阳, 杨安中, 王振林. 弱光对小麦花后旗叶光合及籽粒灌浆的影响. 麦类作物学报, 2011, 31(1): 77-81.
- [26] 李世清, 邵明安, 李紫燕, 伍维模, 张兴昌. 小麦籽粒灌浆特征及影响因素的研究进展. 西北植物学报, 2003, 23(11): 2031-2039.
- [27] 冯素伟, 胡铁柱, 李淦, 董娜, 李笑慧, 茹振钢, 程自华. 不同小麦品种籽粒灌浆特性分析. 麦类作物学报, 2009, 29(4): 643-646.
- [28] 刘兵, 王程, 金剑, 刘居东, 张秋英, 刘晓冰, Herbert S J. 生殖生长期光富集和遮阴对大豆干物质分配及产量品质的影响. 干旱地区农业研究, 2009, 27(2): 103-107.
- [29] 符冠富, 李华, 陶龙兴, 章秀福, 王丹英. 灌浆期遮光对水稻籽粒生长和 Q 酶活性的影响. 生态学杂志, 2009, 28(3): 438-444.
- [30] 张贵永, 闫跃, 张利华, 王静. 棉铃发育与气象因子关系的研究. 江西农业学报, 2010, 22(7): 146-148.
- [32] 郭建平, 王春乙, 温民, 白月明, 霍治国. 大气中 O_3 浓度变化对水稻影响的试验研究. 作物学报, 2001, 27(6): 822-826.
- [34] 冯兆忠, 小林和彦, 王效科, 冯宗炜. 小麦产量形成对大气臭氧浓度升高响应的整合分析. 科学通报, 2008, 53(24): 3080-3085.
- [36] 金冬艳, 赵天虹, 付宇, 孙加伟, 黄爽. O_3 浓度升高对大豆光合作用及产量的影响. 大豆科学, 2009, 28(4): 632-635.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33 ,No.2 January ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Spatio-temporal heterogeneity of water and plant adaptation mechanisms in karst regions; a review CHEN Hongsong, NIE Yunpeng, WANG Kelin (317)
- Impacts of mangrove vegetation on macro-benthic faunal communities CHEN Guangcheng, YU Dan, YE Yong, et al (327)
- Advance in research on the occurrence and transformation of arsenic in the freshwater lake ecosystem ZHANG Nan, WEI Chaoyang, YANG Linsheng (337)
- Application of nano-scale secondary ion mass spectrometry to microbial ecology study HU Hangwei, ZHANG Limei, HE Jizheng (348)
- Carbon cycle of urban system; characteristics, mechanism and theoretical framework ZHAO Rongqin, HUANG Xianjin (358)
- Research and compilation of urban greenhouse gas emission inventory LI Qing, TANG Lina, SHI Longyu (367)

Autecology & Fundamentals

- Seed dispersal and seedling recruitment of *Ulmus pumila* woodland in the Keerqin Sandy Land, China YANG Yunfei, BAI Yunpeng, LI Jiandong (374)
- Influence of environmental factors on seed germination of *Bombax malabaricum* DC. ZHENG Yanling, MA Huancheng, Scheller Robert, et al (382)
- Carbon, nitrogen and phosphorus stoichiometric characteristics during the decomposition of *Spartina alterniflora* and *Cyperus malaccensis* var. *brevifolius* litters OUYANG Linmei, WANG Chun, WANG Weiqi, et al (389)
- Home range of *Teratoscincus roborowskii* (Gekkonidae): influence of sex, season, and body size LI Wenrong, SONG Yucheng, SHI Lei (395)
- Effects of the covering behavior on food consumption, growth and gonad traits of the sea urchin *Glyptocidaris crenularis* LUO Shibin, CHANG Yaqing, ZHAO Chong, et al (402)
- Biological response of the rice leaffolder *Cnaphalocrocis medinalis* (Güenée) reared on rice and maize seedling to temperature LIAO Huaijian, HUANG Jianrong, FANG Yuansong, et al (409)

Population, Community and Ecosystem

- Composition and stability of organic carbon in the top soil under different forest types in subtropical China SHANG Suyun, JIANG Peikun, SONG Zhaoliang, et al (416)
- The community characteristics of different types of grassland under grazing prohibition condition ZHANG Pengli, CHEN Jun, CUI Shujuan, et al (425)
- Spatial pattern and competition relationship of *Stellera chamaejasme* and *Aneurolepidium dasystachys* population in degraded alpine grassland REN Heng, ZHAO Chengzhang (435)
- SOC decomposition of four typical broad-leaved Korean pine communities in Xiaoxing' an Mountain SONG Yuan, ZHAO Xizhu, MAO Zijun, et al (443)
- The influence of vegetation restoration on soil archaeal communities in Fuyun earthquake fault zone of Xinjiang LIN Qing, ZENG Jun, ZHANG Tao, et al (454)
- Effects of fertilization regimes on soil faunal communities in cropland of purple soil, China ZHU Xinyu, DONG Zhixin, KUANG Fuhong, et al (464)
- Woody plant leaf litter consumption by the woodlouse *Porcellio scaber* with a choice test LIU Yan, LIAO Yuncheng (475)
- The bacterial community of coastal sediments influenced by cage culture in Xiangshan Bay, Zhejiang, China QIU Qiongfeng, ZHANG Demin, YE Xiansen, et al (483)
- A study of meiofauna in the COMRA's contracted area during the summer of 2005 WANG Xiaogu, ZHOU Yadong, ZHANG Dongsheng, et al (492)
- Hydrologic regime of interception for typical forest ecosystem at subalpine of Western Sichuan, China SUN Xiangyang, WANG Genxu, WU Yong, et al (501)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Sensitivity and vulnerability of China's rice production to observed climate change XIONG Wei, YANG Jie, WU Wenbin, et al (509)

- Characteristics of temperature and precipitation in Northeastern China from 1961 to 2005 HE Wei, BU Rencang, XIONG Zaiping, et al (519)
- Combined effects of elevated O₃ and reduced solar irradiance on growth and yield of field-grown winter wheat ZHENG Youfei, HU Huifang, WU Rongjun, et al (532)
- Resource and Industrial Ecology**
- The study of vegetation biomass inversion based on the HJ satellite data in Yellow River wetland GAO Mingliang, ZHAO Wenji, GONG Zhaoning, et al (542)
- Temporal and spatial variability of soil available nutrients in arable Lands of Heyang County in South Loess Plateau CHEN Tao, CHANG Qingrui, LIU Jing, et al (554)
- Decomposition characteristics of wheat straw and effects on soil biological properties and nutrient status under different rice cultivation WU Ji, GUO Xisheng, LU Jianwei, et al (565)
- Effects of nitrogen application stages on photosynthetic characteristics of summer maize in high yield conditions LÜ Peng, ZHANG Jiwang, LIU Wei, et al (576)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- The degradation threshold of water quality associated with urban landscape component LIU Zhenhuan, LI Zhengguo, YANG Peng, et al (586)
- Ecological sustainability in Chang-Zhu-Tan region; a prediction study DAI Yanan, HE Xinguang (595)
- The effect of exogenous nitric oxide on activities of antioxidant enzymes and microelements accumulation of two rice genotypes seedlings under cadmium stress ZHU Hanyi, CHEN Yijun, LAO Jiali, et al (603)
- Forms composition of inorganic carbon in sediments from Dali Lake SUN Yuanyuan, HE Jiang, LÜ Changwei, et al (610)
- Fractionation character and bioavailability of Cd, Pb, Zn and Ni combined pollution in oasis soil WU Wenfei, NAN Zhongren, WANG Shengli, et al (619)
- Effects of CA and EDTA on growth of *Chlorophytum comosum* in copper-contaminated soil WANG Nannan, HU Shan, WU Dan, et al (631)
- Research Notes**
- Values of marine ecosystem services in Haizhou Bay ZHANG Xiuying, ZHONG Taiyang, HUANG Xianjin, et al (640)
- Variations of *Leymus chinensis* community, functional groups, plant species and their relationships with climate factors TAN Liping, ZHOU Guangsheng (650)
- The effect of N:P supply ratio on P uptake and utilization efficiencies in *Larix olgensis* Henry. seedlings WEI Hongxu, XU Chengyang, MA Lüyi, et al (659)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

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

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

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

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

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

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 2 期 (2013 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 2 (January, 2013)

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



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元