

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第14期 Vol.33 No.14 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 14 期 2013 年 7 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

石鸡属鸟类研究现状..... 宋 森,刘迺发 (4215)

个体与基础生态

不同降水及氮添加对浙江古田山 4 种树木幼苗光合生理生态特征与生物量的影响.....
..... 闫 慧,吴 茜,丁 佳,等 (4226)

低温胁迫时间对 4 种幼苗生理生化及光合特性的影响..... 邵怡若,许建新,薛 立,等 (4237)

不同施氮处理玉米根茬在土壤中矿化分解特性..... 蔡 苗,董燕婕,李佰军,等 (4248)

不同生育期花生渗透调节物质含量和抗氧化酶活性对土壤水分的响应.....
..... 张智猛,宋文武,丁 红,等 (4257)

天山中部天山云杉林土壤种子库年际变化..... 李华东,潘存德,王 兵,等 (4266)

不同作物两苗同穴互作育苗的生理生态效应..... 李伶俐,郭红霞,黄耿华,等 (4278)

镁、锰、活性炭和石灰及其交互作用对小麦镉吸收的影响..... 周相玉,冯文强,秦鱼生,等 (4289)

CO₂ 浓度升高对毛竹器官矿质离子吸收、运输和分配的影响 庄明浩,陈双林,李迎春,等 (4297)

pH 值和 Fe、Cd 处理对水稻根际及根表 Fe、Cd 吸附行为的影响 刘丹青,陈 雪,杨亚洲,等 (4306)

弱光胁迫对不同耐荫型玉米果穗发育及内源激素含量的影响..... 周卫霞,李潮海,刘天学,等 (4315)

玉米花生间作对玉米光合特性及产量形成的影响..... 焦念元,宁堂原,杨萌珂,等 (4324)

不同林龄胡杨克隆繁殖根系分布特征及其构型..... 黄晶晶,井家林,曹德昌,等 (4331)

植被年际变化对蒸散发影响的模拟研究..... 陈 浩,曾晓东 (4343)

蝇蛹金小蜂的交配行为及雄蜂交配次数对雌蜂繁殖的影响..... 孙 芳,陈中正,段毕升,等 (4354)

西藏飞蝗虫粪粗提物的成分分析及其活性测定..... 王海建,李彝利,李 庆,等 (4361)

不同水稻品种对稻纵卷叶螟生长发育、存活、生殖及飞行能力的影响..... 李 霞,徐秀秀,韩兰芝,等 (4370)

种群、群落和生态系统

基于 *mtCOII* 基因对山东省越冬代亚洲玉米螟不同种群的遗传结构分析
..... 李丽莉,于 毅,国 栋,等 (4377)

太湖湿地昆虫群落结构及多样性..... 韩争伟,马 玲,曹传旺,等 (4387)

西江下游浮游植物群落周年变化模式..... 王 超,赖子尼,李新辉,等 (4398)

环境和扩散对草地群落构建的影响..... 王 丹,王孝安,郭 华,等 (4409)

黄土高原不同侵蚀类型区生物结皮中蓝藻的多样性..... 杨丽娜,赵允格,明 姣,等 (4416)

景观、区域和全球生态

基于景观安全格局的建设用地管制分区..... 王思易,欧名豪 (4425)

黑河中游湿地景观破碎化过程及其驱动力分析..... 赵锐锋,姜朋辉,赵海莉,等 (4436)

2000—2010 年青海湖流域草地退化状况时空分析 骆成凤,许长军,游浩妍,等 (4450)

基于“源”“汇”景观指数的定西关川河流域土壤水蚀研究 李海防,卫 伟,陈 瑾,等 (4460)

农业景观格局与麦蚜密度对其初寄生蜂与重寄生蜂种群及寄生率的影响 ... 关晓庆,刘军和,赵紫华 (4468)

CO₂ 浓度和降水协同作用对短花针茅生长的影响..... 石耀辉,周广胜,蒋延玲,等 (4478)

资源与产业生态

城市土地利用的生态服务功效评价方法——以常州市为例..... 阳文锐,李 锋,王如松,等 (4486)

城市居民食物磷素消费变化及其环境负荷——以厦门市为例..... 王慧娜,赵小锋,唐立娜,等 (4495)

研究简报

间套作种植提升农田生态系统服务功能..... 苏本营,陈圣宾,李永庚,等 (4505)

矿区生态产业评价指标体系 王广成,王欢欢,谭玲玲 (4515)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 308 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-07



封面图说: 古田山常绿阔叶林景观——亚热带常绿阔叶林是我国独特的植被类型,生物多样性仅次于热带雨林。古田山地处中亚热带东部,浙、赣、皖三省交界处,由于其特殊复杂的地理环境位置,分布着典型的中亚热带常绿阔叶林,是生物繁衍栖息的理想场所,生物多样性十分突出。中国科学院在这里建立了古田山森林生物多样性与气候变化研究站,主要定位于研究和探索中国亚热带森林植物群落物种共存机制,阐释生物多样性对森林生态系统功能的影响,以及监测气候变化对于亚热带森林及其碳库和碳通量的影响。

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/stxb201204250591

周卫霞,李潮海,刘天学,王秀萍,闫志广. 弱光胁迫对不同耐荫型玉米果穗发育及内源激素含量的影响. 生态学报, 2013, 33(14): 4315-4323.

Zhou W X, Li C H, Liu T X, Wang X P, Yan Z G. Effects of low-light stress on maize ear development and endogenous hormones content of two maize hybrids (*Zea mays* L.) with different shade-tolerance. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(14): 4315-4323.

弱光胁迫对不同耐荫型玉米果穗发育及 内源激素含量的影响

周卫霞, 李潮海*, 刘天学, 王秀萍, 闫志广

(河南农业大学农学院 / 农业部玉米区域技术创新中心, 郑州 450002)

摘要: 2010—2011 年以耐荫性较弱的玉米杂交种豫玉 22 和耐荫性较强的玉米杂交种郑单 958 为材料, 在抽雄前 3 d 开始进行弱光胁迫处理, 吐丝后 10 d 恢复自然光照, 研究弱光胁迫及光恢复对不同耐荫型玉米果穗生长发育及其内源激素含量的影响。结果表明: 弱光胁迫下, 玉米果穗生长发育明显减缓, 穗长、穗粗和果穗干物质积累显著减小, 秃尖度变大; 穗行数、穗粒数和籽粒库容显著降低; 吐丝期果穗顶部小穗子房发育停滞, 已有败育迹象的籽粒在恢复自然光照后无明显改善; 豫玉 22 果穗和籽粒性状在处理间的差异程度均大于郑单 958。弱光胁迫下, 两玉米杂交种果穗的 ABA 和 ZR 含量均升高, 而 GA 含量和 GA/ABA 比值均降低; IAA 含量和 IAA/ABA 比值在郑单 958 果穗中表现为升高, 而豫玉 22 则表现为下降。

关键词: 弱光胁迫; 玉米; 耐荫型; 果穗发育; ABA; IAA; GA; ZR

Effects of low-light stress on maize ear development and endogenous hormones content of two maize hybrids (*Zea mays* L.) with different shade-tolerance

ZHOU Weixia, LI Chaohai*, LIU Tianxue, WANG Xiuping, YAN Zhiguang

Agronomy College, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China

Abstract: Light is one of the most important environmental factor influencing the growth and development of maize (*Zea mays* L.). Sufficient light during the growing period is the basis of high yield formation of maize. However, there are always prolonged rainy days during maize growing season in the Huang-huai-hai region, which are detrimental for maize yield formation. And prolonged rainy days at flowering stage bring more severe damage to maize production. Low-light environment leads to a decrease in photosynthetic rate, a reduction and redistribution of biomass, an extension of anthesis to silking interval, and a significant reduction of ear kernel number and grain yield. And there are significant differences in maize genotypes responses to low light stress. Previous studies have elucidated the effects of endogenous hormones on the apical kernels abortion and under low-light stress. However, whether the endogenous hormones have influence on the whole ear development process is unknown. A split plot experiment was conducted under field conditions during 2010 and 2011, to study the effects of shading and light recovery on the growth and development of maize ear and endogenous hormones of two maize hybrids. The main plots are light treatment (natural light and 50% shading) and sub-plots are cultivars (low light sensitive hybrid YY22 and low light tolerance hybrid ZD958). In the low light treatment, maize plants were shaded with 50% transmittance shading nets from 3 days before tasselling to 10 days after silking. The results showed that the growth and development of maize ear was delayed, ear length, ear diameter, ear dry weight, ear row number, kernel number and kernel sink capacity were significantly decreased while barren tip increased under low light conditions with low

基金项目: 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201006041)

收稿日期: 2012-04-25; 修订日期: 2012-10-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lichaochai2005@163.com

light sensitive maize hybrids changed more. Spikelet ovary in ear apical showed signs of abortion at silking stage. The abortion progress of the kernel could not be disrupted by the recovery of natural light. ABA and ZR content of both maize hybrids ears increased under low-light stress while GA content and GA/ABA ratio of both maize hybrids decreased. IAA content and IAA/ABA ratio of ZD958 was increased while YY22 decreased. The recovery of natural light in a short time had little effect on the established hormone synthetic mechanisms.

Key Words: low-light stress; maize; shade-tolerance style; ear development; ABA; IAA; GA; ZR

玉米是典型的 C_4 喜光作物,具有较高的光饱和点和较低的光补偿点,整个生育期都需要充足的光照。黄淮海地区是我国夏玉米的主产区,八月中下旬常遭遇连阴天的天气,而此时正是玉米抽雄吐丝和籽粒建成的关键时期,光照不足常引起籽粒建成的改变和产量的降低。作为玉米收获的主要器官,果穗中的同化物向籽粒中的分配随外界因素而变化^[1-2],穗长、穗粗、穗行数、行粒数和籽粒库容的变化直接关系到产量的高低,各因子之间相互协调才能获得高产^[3-4]。研究表明,弱光下玉米生长发育延缓,叶面积指数降低^[5-6],植物叶绿体基粒数、基粒厚度和片层数增加且片层之间出现松散现象^[7],光合酶活性和光合速率下降^[6, 8-9];穗发育受阻、穗长和穗粗下降、雌雄间隔期延长^[10-11],授粉成功率和穗粒数降低、败育籽粒数增加,进而造成籽粒减产^[12-16]。本文在前人研究的基础上,进一步探讨了不同耐荫型玉米杂交种果穗发育及其内源激素变化对弱光胁迫的响应差异,以期对玉米耐荫性机理研究积累理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验处理与设计

试验于2010-2011年在郑州河南农业大学科教园区网室内进行。2010年于6月3日播种,9月10日收获,2011年于6月7日播种,9月13日收获。试验采用盆栽,塑料盆高30cm,内径38cm。土壤经风干后过1cm×1cm方孔土筛,每盆装土15kg。供试土壤为潮土,基础养分状况为有机质8240 mg/kg,水解氮63.5 mg/kg,速效磷21.5 mg/kg,速效钾133.3 mg/kg。每盆施复合肥(N 25%, P_2O_5 18%, K_2O 12%) 12 g作基肥,大喇叭口期追施5 g尿素。播种前浇透水并保证生育期内的水分供应,病虫草害等管理同一般大田。

试验采用2因素裂区设计,主区因素为光照,设置自然光照(L)和人工遮光(S)2个处理,副区因素为品种,分别采用经本实验室研究筛选出来的耐荫性相差较大的不耐荫型玉米杂交种豫玉22(YY22)和耐荫型玉米杂交种郑单958(ZD958)。在遮荫棚和网室东西两侧使用透光率为50%的黑色遮阳网进行弱光胁迫处理(遮荫棚弧顶钢架结构,高5m,东西方向设置,保证冠层通风条件良好及便于田间观察取样)。遮光后棚内小气候变化见表1,表中数据采用光合测定系统LI-6400(LI-COR,美国)于每日11:00测定,连续测定14 d。于抽雄前3 d进行弱光胁迫处理,吐丝后10 d恢复自然光照。每处理种植40盆,按品种适宜密度摆放(豫玉22为40500株/hm²,郑单958的为67800株/hm²),重复3次。

表1 试验遮荫棚内小气候变化

Table 1 Effect of shading on the microclimate

处理 Treatment	光照强度/ $(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$ Light intensity	气温/ $^{\circ}\text{C}$ Air temperature	相对湿度/% Relative humidity	CO_2 浓度/ (mol/mol) CO_2 concentration
自然光 Nature light	1138.73±21.45 a	35.77±0.38 a	71.52±0.37 a	354.8±2.74 a
遮光处理 Shade	592.54±18.33 b	32.60±0.92 b	74.98±0.54 a	344.6±3.52 a

同一列中不同的小写字母表示5%水平下差异的显著性

1.2 测定项目及方法

在弱光处理前对生长一致的玉米植株进行挂牌标记,于处理前即抽雄前3 d(DBT3)、吐丝期(S)、吐丝后10 d(DAS10)、吐丝后20 d(DAS20)取样,田间每处理取样3—5株进行取样测定下列指标。

1.2.1 穗长和穗粗

去掉苞叶和花丝,用常规法测定果穗长度和直径。

1.2.2 果穗干重

去掉穗柄、苞叶和花丝,将果穗于 120℃ 杀青后 80℃ 烘干至恒重。

1.2.3 秃尖度

常规法测定秃尖长度,秃尖度(%) = 秃尖长/穗长×100。

1.2.4 行粒数和穗行数

在吐丝后 20 d 调查果穗上正常生长的行粒数和穗行数。

1.2.5 籽粒库容

在籽粒体积最大的时期即乳熟期(吐丝后 23 d)取果穗,将籽粒完整取下,充分混匀后随机取 200 粒以排水法测定籽粒体积,由穗粒数计算果穗籽粒库容。

1.2.6 果穗内源激素含量

去除顶部和基部 10 周玉米籽粒及其穗轴,取剩余部分的中部籽粒及其穗轴。3 次重复。用间接酶联免疫法测定 ABA、IAA、ZR 和 GA 含量,试剂盒由中国农业大学生物实验室提供。

1.3 数据分析

两年试验结果趋势一致,取 2011 年数据进行分析。用 SPSS17.0 软件进行数据统计性分析,用 Sigma10.0 软件制图,数据用平均值±标准偏差表示。

2 结果与分析

2.1 弱光胁迫对不同耐荫型玉米果穗生长发育的影响

2.1.1 弱光胁迫对不同耐荫型玉米果穗形态的影响

在弱光胁迫下,吐丝期豫玉 22 和郑单 958 的果穗均缩短变细(图 1),穗长和穗粗(图 2)较对照分别减少了 14.37% 和 11.90%、1.04% 和 3.39%,差异达到显著水平;果穗籽粒体积较小,顶部籽粒呈现光泽消失、停止发育的迹象;果穗干重略有下降(图 2)。吐丝后 10 d,豫玉 22 和郑单 958 穗长和穗粗较对照分别减少了



图 1 弱光胁迫对不同耐荫型玉米果穗发育的影响

Fig. 1 Effects of low-light stress on the development of two hybrids with different shade-tolerance

1:吐丝期; 2:吐丝后 10d; 3:吐丝后 20d; A:豫玉 22 自然光照; B:豫玉 22 遮荫处理; C:郑单 958 自然光照; D:郑单 958 遮荫处理

44.88%和15.00%、18.01%和8.66%;豫玉22果穗干重约是其对照的1/4,郑单958的是对照的88.77%;豫玉22果穗秃尖明显,部分行籽粒几近全部败育,而郑单958仅顶部1-6周籽粒出现败育现象,其余部位籽粒发育进程明显低于对照,以中上部表现最为明显,两个玉米品种的秃尖度分别为其对照的6.8倍和3.1倍(图2)。恢复自然光照后10 d,豫玉22和郑单958穗长和穗粗较对照分别减少了30.00%和18.40%、19.04%和13.27%;豫玉22和郑单958的秃尖度分别为28.17%和15.12%,是其对照的7.1倍和5.4倍。可见,弱光胁迫明显延缓玉米果穗生长发育,造成果穗缩短变细,穗粒数减少,秃尖严重,且对不耐荫型玉米杂交种豫玉22的影响程度明显大于耐荫型玉米郑单958。

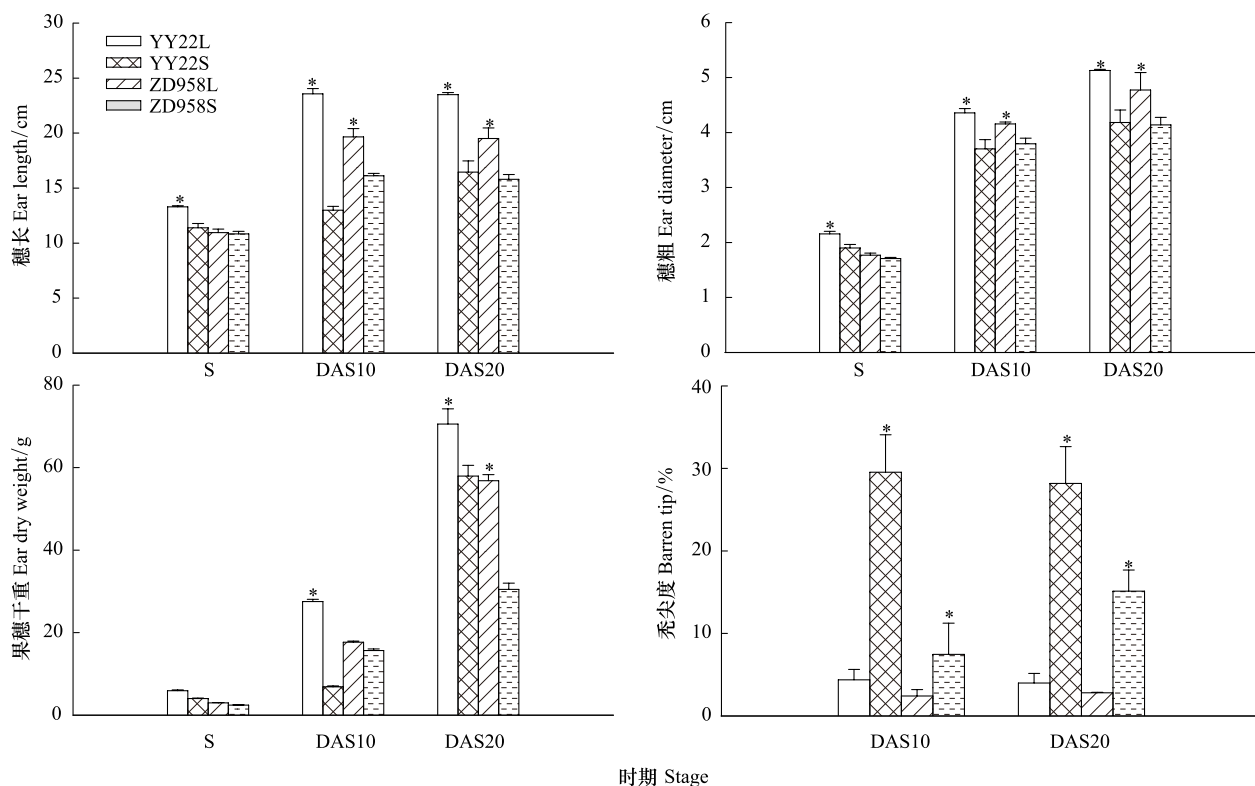


图2 弱光胁迫对不同耐荫型玉米果穗性状的影响

Fig. 2 Effects of low-light stress on the ear character of two hybrids with different shade-tolerance

* * $P = 0.05$ 水平上差异显著; YY22: 豫玉22; ZD958: 郑单958; L: 自然光照; S: 遮荫处理

2.1.2 弱光胁迫对不同耐荫型玉米籽粒性状的影响

由图3可以看出,在弱光下,两个玉米品种的穗行数、穗粒数和籽粒库容均显著减少。与对照相比较,豫玉22和郑单958的穗行数分别减少了1.8行和1.4行,穗粒数分别减少了59.51%和28.62%,籽粒库容分别减少了49.41%和24.67%。可见,弱光胁迫严重影响玉米穗粒数和籽粒库容,不耐荫玉米在弱光下的穗粒数和籽粒库容降低的幅度大于耐荫型玉米。

2.2 弱光胁迫对不同耐荫型玉米果穗激素含量的影响

2.2.1 弱光胁迫对不同耐荫型玉米果穗 ABA、IAA、GA 和 ZR 含量的影响

由图4可见,弱光胁迫下,两个玉米品种果穗中的 ABA 和 ZR 含量均升高,GA 含量均降低;而果穗中的 IAA 含量,豫玉22表现为降低,郑单958表现为升高。

豫玉22果穗中的 ABA 含量在吐丝期达到最大值后持续下降,而郑单958则呈现升高-降低-升高的趋势。在吐丝期、吐丝后10 d和吐丝后20 d,豫玉22果穗中的 ABA 含量分别比对照增加了13.84%、30.00%和14.00%,而郑单958处理间差异均不足6.00%;果穗中的 ZR 含量,豫玉22分别比对照增加了14.88%、18.22%和29.69%,郑单958分别增加了6.25%、38.90%和20.66%;果穗中的 GA 含量,豫玉22分别比对照

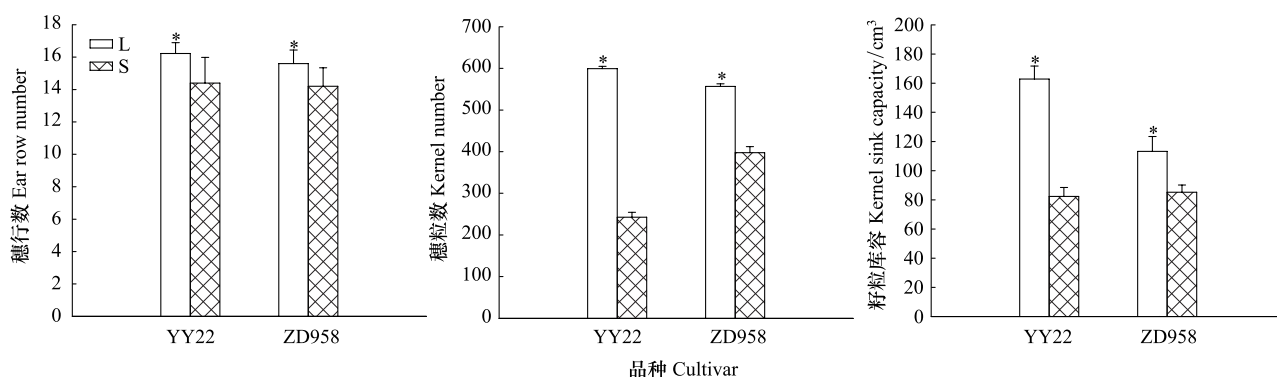


图3 弱光胁迫对不同耐荫型玉米籽粒性状的影响

Fig. 3 Effects of low-light stress on kernel characters of two hybrids with different shade-tolerance

降低了18%、18.44%和10.41%,郑单958分别比对照降低了18%、10.32%和7.73%。在吐丝期,豫玉22和郑单958果穗中的IAA含量比对照分别增加了3.48%和3.00%;吐丝后10 d和20 d,郑单958比对照增加了11.95%和10.14%,而豫玉22则降低0.03%和6.91%。

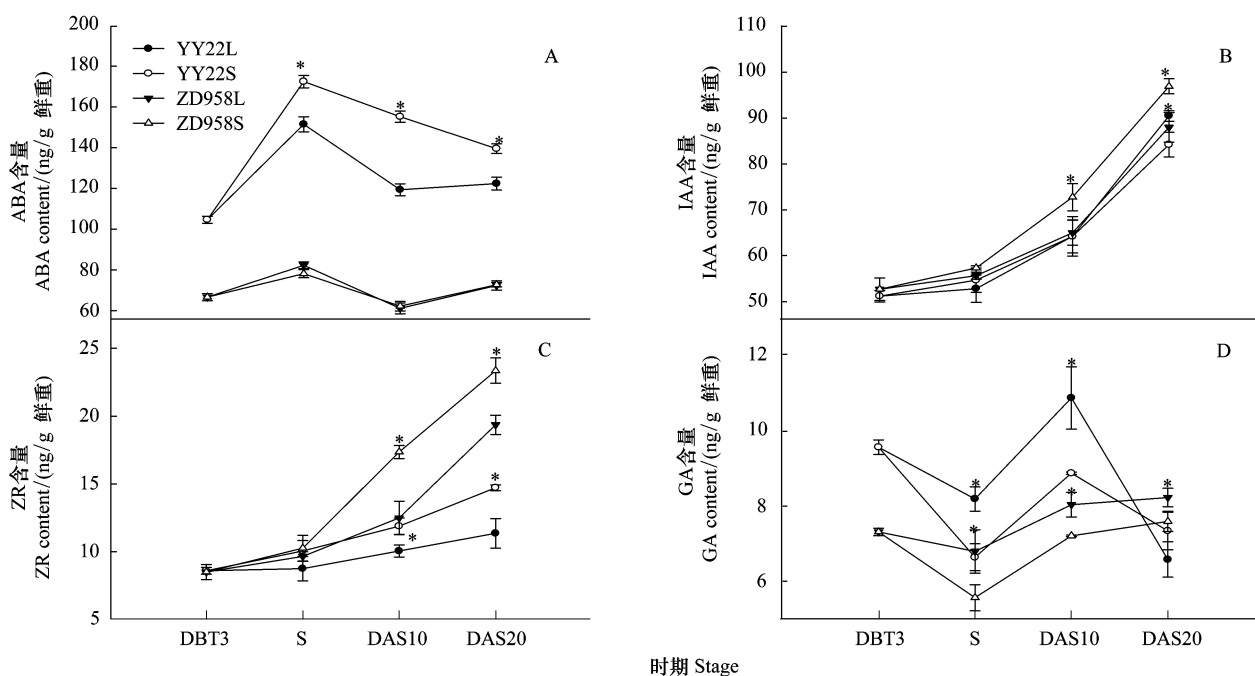


图4 弱光胁迫对不同耐荫型玉米果穗 ABA、ZR、IAA 和 GA 含量的影响

Fig. 4 Effects of low-light stress on the ear hormones content of two hybrids with different shade-tolerance

2.2.2 弱光胁迫对不同耐荫型玉米果穗 IAA/ABA、ZR/ABA 和 GA/ABA 的影响

由图5可知,郑单958果穗中的 IAA/ABA、ZR/ABA 和 GA/ABA 均高于豫玉22。在吐丝期,吐丝后10 d和20 d,果穗中的 IAA/ABA 比值,豫玉22分别比对照降低了9.01%、22.98%和18.49%,而郑单958分别比对照增加了7.64%、10.11%和9.54%;果穗中的 GA/ABA 比值,豫玉22分别比对照降低了43.47%和72.47%和6.07%,郑单958分别比对照降低15.87%、8.02%和9.00%;在吐丝期和吐丝后20 d,果穗中的 ZR/ABA 比值均有不同程度的增加,而在吐丝后10 d,豫玉22果穗中的 ZR/ABA 比值低于对照,郑单958则高于对照。

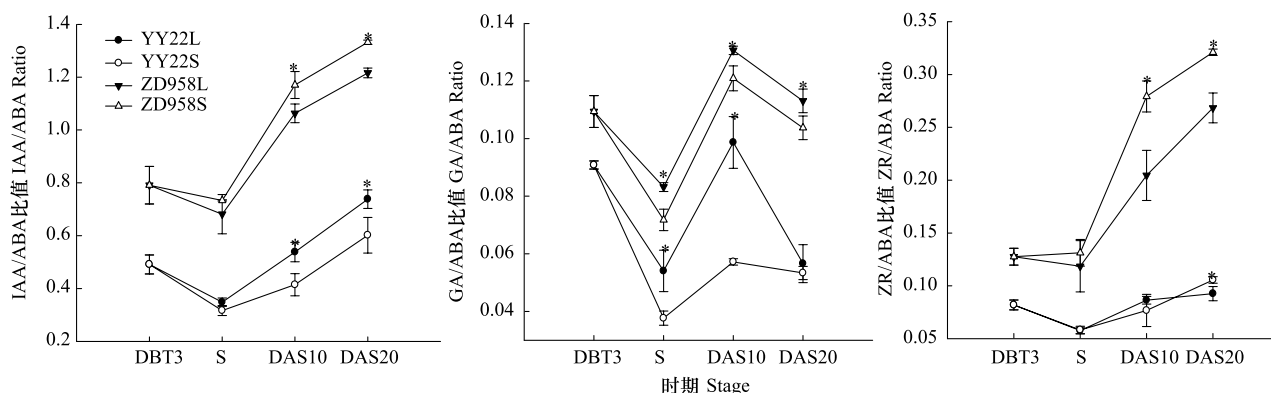


图5 弱光胁迫对不同耐荫型玉米果穗 GA/ABA、ZR/ABA 和 IAA/ZR 的影响

Fig.5 Effects of low-light stress on the endogenous hormones balance of two hybrids with different shade-tolerance

2 结论与讨论

2.1 弱光胁迫延缓玉米果穗生长发育

研究结合黄淮海玉米生产,在常年易发生阴雨寡照的时期内进行弱光胁迫处理,动态观察果穗的形态和生长发育进程。研究发现,弱光胁迫条件下,玉米的穗长、穗粗、穗行数、穗粒数下降,这与前人研究结果一致^[5, 9, 17-19];本研究还观测到籽粒库容的显著降低,且不耐荫型玉米豫玉 22 先于耐荫型玉米郑单 958 出现穗长、穗粗和穗干重处理间的显著差异。玉米单株产量降低的首要原因是籽粒败育引起的穗粒数减少^[20],研究发现,不同耐荫型玉米在吐丝期即出现果穗变小的现象,顶部最为明显且部分籽粒表现出停止发育的迹象;随生育期的延长,秃尖长明显增加,秃尖度变大,恢复自然光照后 10d,豫玉 22 秃尖长度几乎不变而郑单 958 有所增加但仍明显小于豫玉 22,表明弱光胁迫下不耐荫型玉米顶部籽粒的败育早于耐荫型玉米,弱光导致的果穗顶部籽粒的败育进程不会被自然光照的恢复终止,这可能是由于弱光下光合作用降低导致营养物质供应不足^[21-22]、营养物质的运输通道产生了不可逆的损伤^[1, 23]或其他信号因子引起了光形态建成的改变。

2.2 不同耐荫型玉米果穗 ABA 和 IAA 含量对弱光胁迫的响应差异较大

前人关于玉米内源激素对弱光胁迫响应的研究多集中于籽粒激素含量的变化。Setter 等^[16, 24-25]的研究发现,弱光胁迫下,玉米果穗败育籽粒中 ABA 和 IAA 含量增加,ZR 变化不稳定,且认为这些均与籽粒败育无关而推测乙烯含量的变化导致了籽粒的败育和穗粒数的减少。但张凤路等^[26-27]认为,乙烯只是引起败育的一个重要因素而不能直接导致玉米籽粒的败育。本研究对果穗的研究发现,弱光胁迫会导致果穗 ABA 和 ZR 含量的增加和 GA 含量的降低,耐荫型玉米果穗 IAA 含量上升而不耐荫型的下降,不耐荫玉米豫玉 22 果穗 ABA 含量的增加幅度和 GA 的降低幅度均大于耐荫型玉米郑单 958,结果提示果穗 ZR 和 GA 含量的变化可能是不同耐荫型玉米响应弱光胁迫的共有方式。弱光胁迫下,不同耐荫型玉米果穗 IAA 含量相差较大的原因可能是不耐荫玉米果穗 ABA 含量的大幅升高使 IAA 在运输方向不改变的前提下,抑制了 IAA 的同化速率和运输强度^[28],也可能是因为弱光胁迫下光合速率降低造成蔗糖和果糖等比例的变化^[11],从而影响 IAA 含量^[29-30]。激素平衡的变化会影响植物正常的生长发育^[31],IAA/ABA、GA/ABA 和 CTK/ABA 比值的降低会引起生长发育的停滞^[32]。研究发现,不同耐荫型玉米 IAA、GA 和 ZR 含量与 ABA 比值的变化与 3 种激素本身的变化趋势相似。

2.3 弱光胁迫对果穗发育的延缓作用与内源激素含量密切相关

弱光胁迫下,不耐荫型玉米的穗长、穗粗、穗干重、穗粒数和籽粒库容等的减少幅度均大于耐荫型的。穗粒数和籽粒库容减少的原因可能是,ABA 含量的增加抑制了胚乳细胞分裂,使库容减小^[33],不利于同化物的吸收和籽粒成熟^[34]。虽然 ABA 并未直接导致籽粒的败育,但可能通过与其它因子之间的作用导致了籽粒的败育和库容的降低^[35-36]。前人研究表明,一定量的 IAA 积累才能启动并维持籽粒的灌浆^[34],并通过 mRNA

翻译水平的调节影响籽粒生长发育^[37], IAA 含量的降低易导致营养物质供应的不足而导致籽粒败育^[38]。弱光胁迫下, 耐荫型玉米果穗中的 ABA 含量几乎不变, IAA 含量升高, 这可能是其耐荫性较高的原因之一。ZR 是天然细胞分裂素中活性最强的一种, 可促进细胞分裂^[39]。本研究发现, 弱光胁迫下不同耐荫型玉米果穗中 ZR 的含量均升高, 这有利于果穗的生长发育和籽粒库容的增加, 也可能是不同耐荫型玉米共有的补偿机制。GA 有助于组织体积的增加^[40-41]且可加强 IAA 对养分的动员效应。本试验结果表明, 弱光胁迫下不同耐荫型玉米果穗中 GA 含量均降低, 这不利于果穗和籽粒干物质的积累。提示 GA 含量的降低可能是引起籽粒败育、穗粒数和籽粒库容减少的原因。

总之, 弱光胁迫下, 玉米果穗生长发育的延缓和籽粒数目和库容等的减少与各种激素及激素平衡之间存在复杂的联系, 有待深入研究。

References:

- [1] Jia S F, Li C F, Dong S T, Zhang J W. Effects of shading at different stages after anthesis on maize grain weight and quality at cytology level. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(5): 911-921.
- [2] Guo A H, Liu G S, Ren S X, An S Q, Yang Y Y. The response of yield formation and abscisic acid content in root, stem, and leaf of maize to soil drying. *Acta Agronomica Sinica*, 2004, 30(9): 888-893.
- [3] Liu F, Shi H C, Yu X J. Correlation and path analysis of main ear characters and grain yield of maize. *Journal of Maize Sciences*, 2005, 13(3): 17-20.
- [4] Lu W P, Chen G P, Guo J L, Wang Z X, Rao C F. Study on the source and sink in relation to grain yield under different ecological areas in maize (*Zea mays* L.). *Acta Agronomica Sinica*, 1997, 23(6): 727-733.
- [5] Zhang J W, Dong S T, Wang K J, Hu C H, Liu P. Effects of shading on the growth, development and grain yield of summer maize. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(4): 657-662.
- [6] Zhang J W, Dong S T, Wang K J, Hu C H, Liu P. Effects of nitrogen application regimes on yield, quality, and nitrogen use efficiency of super japonica hybrid rice. *Acta Agronomica Sinica*, 2007, 33(2): 216-222.
- [7] Du C F, Li C H, Liu T X, Zhao Y L. Response of anatomical structure and photosynthetic characteristics to low light stress in leaves of different maize genotypes. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(21): 6633-6640.
- [8] Brangeon J, Nguyen-Quoc B, Lecharny A. Ultrastructural detection of sucrose synthase distribution in developing maize leaves. *Protoplasma*, 1996, 192(3/4): 150-158.
- [9] Zhao J R, Chen G P. Effects of shading treatment at different stages of plant development on grain production of corn (*Zea mays* L.) and observations of tip kernal abortion. *Scientia Agricultura Sinica*, 1990, 23(4): 28-34.
- [10] Liu T X, Wang X P, Fu J, Li C H. Response of Xundan maize hybrids to low-light stress. *Journal of Maize Sciences*, 2011, 19(1): 74-77.
- [11] 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.
- [12] Jin Z Q, Ge D K, Zheng X L, Chen H. Assessing the potential impacts of global climate change on maize production in China. *Acta Agronomica Sinica*, 1996, 22(5): 513-524.
- [13] Zheng H J, Dong S T. Relationships between ecological factors and maize yield. *Journal of Shandong Agricultural University: Natural Science*, 2000, 31(3): 315-319.
- [14] Zheng H G, Dong S T, Wang K J, Guo Y Q, Hu C H, Zhang J W. Effects of ecological factors on maize (*Zea mays* L.) yield of different varieties and corresponding regulative measure. *Acta Agronomica Sinica*, 2001, 27(6): 862-868.
- [15] Cai K Z, Luo S M. Effect of shading on growth, development and yield formation of rice. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(2): 193-196.
- [16] Setter T L, Flannigan B A, Melkonian J. Loss of kernel set due to water deficit and shade in maize. *Crop Science*, 2001, 41(5): 1530-1540.
- [17] Ueda S, Kubota F. Environmental factors and productivity in silage corn (*Zea mays* L.). II. Effects of shading treatments on the production of corn hybrids. *Journal of Japanese Society of Grassland Science*, 1981, 27(2): 174-181.
- [18] Wang X P, Liu T X, Li C H, Li D P. Effects of shading on agronomic traits and ear development of maize cultivars (*Zea mays* L.) with different plant types. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2010, 22(1): 5-7.
- [19] Hashemi-Dezfouli A, Herbert S J. Intensifying plant density response of corn with artificial shade. *Agronomy Journal*, 1992, 84(4): 547-551.
- [20] Zhao J R, Guo J L, Guo Q, Wei D M, Xiao B X, Lu B S. Correlation analysis in kernel number and its components for different maize varieties

- and genes. Beijing Agricultural Sciences, 1997, 15(6): 1-2.
- [21] Hao Z Y, Tan S Y, Lin L, Hong D K, Bai C Y. Study on various light intensity and its quality affecting the fertility of maize staminate flower. Chinese Agricultural Science Bulletin, 1998, 14(4): 6-8.
- [22] Singh S. Physiological response of different crop species to low light stress. Indian Journal of Plant Physiology, 1994, 37(3): 147-151.
- [23] He Q P, Dong S T, Gao R Q. Relationship between development of spike vascular bundle and sink capacity of ear and kernel in maize (*Zea mays* L.). Acta Agronomica Sinica, 2005, 31(8): 995-1000.
- [24] Tang Q L, Rong T Z. The relationship between endogenous hormone and barren ear tip of maize. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2007, 21(4): 366-368, 400-400.
- [25] Reed A J, Singletary G W. Roles of carbohydrate supply and phytohormones in maize kernel abortion. Plant Physiology, 1989, 91(3): 986-992.
- [26] Zhang F L, Zhao M, Wang Z M, Wang S A, Zhao J R, Guo J L. Maize kernel development and their releasing of ethylene. Journal of China Agricultural University, 1997, 2(3): 85-89.
- [27] Cheng C Y, Lur H S. Ethylene may be involved in abortion of the maize caryopsis. Physiologia Plantarum, 1996, 98(2): 245-252.
- [28] Naqvi S M, Engvild K C. Action of abscisic acid on auxin transport and its relation to phototropism. Physiologia Plantarum, 1974, 30(4): 283-287.
- [29] Leclerc S, Schmelz E A, Chourey P S. Sugar levels regulate tryptophan-dependent auxin biosynthesis in developing maize kernels. Plant Physiology, 2010, 153(1): 306-318.
- [30] Xia S F, Yu X J, Zhang Z Q. Inhibition of export of photosynthetes and accumulation of starch and sucrose in leaves. Acta Phytophysiological Sinica, 1981, 7(2): 135-142.
- [31] Guan T X, Dang Z H, Zhang J P, Wang L M. Studies on the changes of phytohormones during bud development stage in thermo-sensitivity genic male-sterile flax. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2007, 29(3): 248-252.
- [32] Ye Y C, Zhu J Y, Wang Z H, Ye Y X, Zhao X D, Zhou B Y, Ji Z L. Primary studies on the formation of stunted fruit in 'Yueyin Wuheli' Litchi. Acta Horticulturae Sinica, 2005, 32(3): 489-492.
- [33] Jones H, Leigh R A, Tomos A D, Jones R G W. The effect of abscisic acid on cell turgor pressures, solute content and growth of wheat roots. Planta, 1987, 170(2): 257-262.
- [34] Jin D M, Wang W J, Lan S Y, Xu Z X, Yang S H. Dynamic status of endogenous IAA, ABA and GA levels in superior and inferior spikelets of heavy panicle hybrid rice during grain filling. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology, 2002, 28(3): 215-220.
- [35] Beaudoin N, Serizet C, Gosti F, Giraudat J. Interactions between abscisic acid and ethylene signaling cascades. The Plant Cell Online, 2000, 12(7): 1103-1116.
- [36] Ghassemian M, Nambara E, Cuter S, Kawaide H, Kamiya Y, McCourt P. Regulation of abscisic acid signaling by the ethylene response pathway in Arabidopsis. The Plant Cell Online, 2000, 12(7): 1117-1126.
- [37] Jarvis B C, Shannon P R M, Yasmin S. Influence IBA and cordyepin on rooting and RNA synthesis in stem cutting of Phaseolus aureus Roxb. Plant and Cell Physiology, 1983, 24: 139-142.
- [38] Qi Y F, Liu M J. Change of endogenous hormone in cultivars of Chinese jujube with different type of embryo abortion. Acta Horticulturae Sinica, 2004, 34(6): 800-802.
- [39] Burton H R, Childs G H Jr, Andersen R A, Fleming P D. Changes in chemical composition of burley tobacco during senescence and curing. 3. Tobaccospecific. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1989, 37(2): 426-430.
- [40] Chen D H, Cheng G M, Zhou G S, Yang C Q, Wu Y K. Relationship between content of endogenous hormones GA3, ZR and weight enhancement of all bolls in entire plant of high yielding cotton. Journal of Yangzhou University: Agricultural and Life Sciences Edition, 2002, 23(1): 68-71.
- [41] He Q P, Dong S T, Gao R Q. Comparison of ear vascular bundles in different maize cultivars. Acta Agronomica Sinica, 2007, 33(7): 1187-1196.

参考文献:

- [1] 贾士芳, 李从锋, 董树亭, 张吉旺. 花后不同时期遮光对玉米粒重及品质影响的细胞学研究. 中国农业科学, 2010, 43(5): 911-921.
- [2] 郭安红, 刘庚山, 任三学, 安顺清, 阳园燕. 玉米根、茎、叶中脱落酸含量和产量形成对土壤干旱的响应. 作物学报, 2004, 30(9): 888-893.
- [3] 刘帆, 石海春, 余学杰. 玉米果穗主要性状与产量间的相关与通径分析. 玉米科学, 2005, 13(3): 17-20.
- [4] 陆卫平, 陈国平, 郭景伦, 王忠孝, 饶春富. 不同生态条件下玉米产量源库关系的研究. 作物学报, 1997, 23(6): 727-733.
- [5] 张吉旺, 董树亭, 王空军, 胡昌浩, 刘鹏. 遮荫对夏玉米产量及生长发育的影响. 应用生态学报, 2006, 17(4): 657-662.
- [6] 张吉旺, 董树亭, 王空军, 胡昌浩, 刘鹏. 大田遮荫对夏玉米光合特性的影响. 作物学报, 2007, 33(2): 216-222.

- [7] 杜成凤, 李潮海, 刘天学, 赵亚丽. 遮荫对两个基因型玉米叶片解剖结构及光合特性的影响. 生态学报, 2011, 31(21): 6633-6640.
- [9] 赵久然, 陈国平. 不同时期遮光对玉米籽粒生产能力的影响及籽粒败育过程的观察. 中国农业科学, 1990, 23(4): 28-34.
- [10] 刘天学, 王秀萍, 付景, 李潮海. 浚单系列玉米品种对弱光胁迫的响应. 玉米科学, 2011, 19(1): 74-77.
- [11] 李潮海, 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.
- [12] 金之庆, 葛道阔, 郑喜莲, 陈华. 评价全球气候变化对我国玉米生产的可能影响. 作物学报, 1996, 22(5): 513-524.
- [13] 郑洪建, 董树亭. 生态因素与玉米产量关系的研究. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2000, 31(3): 315-319.
- [14] 郑洪建, 董树亭, 王空军, 郭玉秋, 胡昌浩, 张吉旺. 生态因素对玉米品种产量影响及调控的研究. 作物学报, 2001, 27(6): 862-868.
- [15] 蔡昆争, 骆世明. 不同生育期遮光对水稻生长发育和产量形成的影响. 应用生态学报, 1999, 10(2): 193-196.
- [18] 王秀萍, 刘天学, 李潮海, 李大鹏. 遮光对不同株型玉米品种农艺性状和果穗发育的影响. 江西农业学报, 2010, 22(1): 5-7.
- [20] 赵久然, 郭景伦, 郭强, 尉德明, 肖必祥, 卢柏山. 玉米不同品种基因型穗粒数及其构成因素相关分析的研究. 北京农业科学, 1997, 15(6): 2-3.
- [21] 赫忠友, 谭树义, 林力, 洪德开, 白翠云. 不同光照强度和光质对玉米雄花育性的影响. 中国农学通报, 1998, 14(4): 6-8.
- [23] 何启平, 董树亭, 高荣岐. 玉米果穗维管束系统的发育及其与穗粒库容的关系. 作物学报, 2005, 31(8): 995-1000.
- [24] 唐祈林, 荣廷昭. 玉米秃尖与内源激素的关系. 核农学报, 2007, 21(4): 366-368, 400-400.
- [26] 张凤路, 赵明, 王志敏, 王树安, 赵久然, 郭景伦. 玉米籽粒发育与乙烯的释放. 中国农业大学学报, 1997, 2(3): 85-89.
- [30] 夏叔芳, 于新建, 张振清. 叶片光合产物输出的抑制与淀粉和蔗糖的积累. 植物生理学报, 1981, 7(2): 135-142.
- [38] 祁业凤, 刘孟军. 两个胚败育率不同的枣品种果实生育期内源激素的变化. 园艺学报, 2004, 34(6): 800-802.
- [41] 何启平, 董树亭, 高荣岐. 不同类型玉米品种果穗维管束的比较研究. 作物学报, 2007, 33(7): 1187-1196.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 14 Jul. ,2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

A review of the researches on *Alectoris* partridge SONG Sen, LIU Naifa (4215)

Autecology & Fundamentals

Effects of precipitation and nitrogen addition on photosynthetically eco-physiological characteristics and biomass of four tree seedlings in Gutian Mountain, Zhejiang Province, China YAN Hui, WU Qian, DING Jia, et al (4226)

Effects of low temperature stress on physiological-biochemical indexes and photosynthetic characteristics of seedlings of four plant species SHAO Yiruo, XU Jianxin, XUE Li, et al (4237)

Decomposition characteristics of maize roots derived from different nitrogen fertilization fields under laboratory soil incubation conditions CAI Miao, DONG Yanjie, LI Baijun, et al (4248)

The responses of leaf osmoregulation substance and protective enzyme activity of different peanut cultivars to non-sufficient irrigation ZHANG Zhimeng, SONG Wenwu, DING Hong, et al (4257)

Interannual variation of soil seed bank in *Picea schrenkiana* forest in the central part of the Tianshan Mountains LI Huadong, PAN Cunde, WANG Bing, et al (4266)

Physiological & ecological effects of companion-planted grow seedlings of two crops in the same hole LI Lingli, GUO Hongxia, HUANG Genghua, et al (4278)

Effects of magnesium, manganese, activated carbon and lime and their interactions on cadmium uptake by wheat ZHOU Xiangyu, FENG Wenqiang, QIN Yusheng, et al (4289)

Effects of increased concentrations of gas CO₂ on mineral ion uptake, transportation and distribution in *Phyllostachys edulis* ZHUANG Minghao, CHEN Shuanglin, LI Yingchun, et al (4297)

Effects of pH, Fe and Cd concentrations on the Fe and Cd adsorption in the rhizosphere and on the root surfaces of rice LIU Danqing, CHEN Xue, YANG Yazhou, et al (4306)

Effects of low-light stress on maize ear development and endogenous hormones content of two maize hybrids (*Zea mays* L.) with different shade-tolerance ZHOU Weixia, LI Chaohai, LIU Tianxue, et al (4315)

Effects of maize || peanut intercropping on photosynthetic characters and yield forming of intercropped maize JIAO Nianyuan, NING Tangyuan, YANG Mengke, et al (4324)

Cloning root system distribution and architecture of different forest age *Populus euphratica* in Ejina Oasis HUANG Jingjing, JING Jialin, CAO Dechang, et al (4331)

Impact of vegetation interannual variability on evapotranspiration CHEN Hao, ZENG Xiaodong (4343)

Mating behavior of *Pachycrepoides vindemmiae* and the effects of male mating times on the production of females SUN Fang, CHEN Zhongzheng, DUAN Bisheng, et al (4354)

Component analysis and bioactivity determination of fecal extract of *Locusta migratoria tibetensis* (Chen) WANG Haijian, LI Yili, LI Qing, et al (4361)

Effects of different rice varieties on larval development, survival, adult reproduction, and flight capacity of *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) LI Xia, XU Xiuxiu, HAN Lanzhi, et al (4370)

Population, Community and Ecosystem

Genetic structure of the overwintering Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Guenée) collections in Shandong of China based on *mtCOII* gene sequences LI Lili, YU Yi, GUO Dong, TAO Yunli, et al (4377)

The structure and diversity of insect community in Taihu Wetland HAN Zhengwei, MA Ling, CAO Chuanwang, et al (4387)

Annual variation pattern of phytoplankton community at the downstream of Xijiang River WANG Chao, LAI Zini, LI Xinhui, et al (4398)

Effect of species dispersal and environmental factors on species assemblages in grassland communities WANG Dan, WANG Xiao'an, GUO Hua, et al (4409)

- Cyanobacteria diversity in biological soil crusts from different erosion regions on the Loess Plateau: a preliminary result YANG Lina, ZHAO Yunge, MING Jiao, et al (4416)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- Zoning for regulating of construction land based on landscape security pattern WANG Siyi, OU Minghao (4425)
- Fragmentation process of wetlands landscape in the middle reaches of the Heihe River and its driving forces analysis ZHAO Ruifeng, JIANG Penghui, ZHAO Haili, et al (4436)
- Analysis on grassland degradation in Qinghai Lake Basin during 2000—2010 LUO Chengfeng, XU Changjun, YOU Haoyan, et al (4450)
- Research on soil erosion based on Location-weighted landscape index (LWLI) in Guanchuanhe River basin, Dingxi, Gansu Province LI Haifang, WEI Wei, CHEN Jin, et al (4460)
- Effects of host density on parasitoids and hyper-parasitoids of cereal aphids in different agricultural landscapes GUAN Xiaoqing, LIU Junhe, ZHAO Zihua (4468)
- Effects of interactive CO₂ concentration and precipitation on growth characteristics of *Stipa breviflora* SHI Yaohui, ZHOU Guangsheng, JIANG Yanling, et al (4478)
- Resource and Industrial Ecology**
- Eco-service efficiency assessment method of urban land use: a case study of Changzhou City, China YANG Wenrui, LI Feng, WANG Rusong, et al (4486)
- Changes in phosphorus consumption and its environmental loads from food by residents in Xiamen City WANG Huina, ZHAO Xiaofeng, TANG Lina, et al (4495)
- Research Notes**
- Intercropping enhances the farmland ecosystem services SU Benying, CHEN Shengbin, LI Yonggeng, et al (4505)
- Assessment indicator system of eco-industry in mining area WANG Guangcheng, WANG Huanhuan, TAN Lingling (4515)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,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,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

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

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

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

本期责任副主编 骆世明

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 14 期 (2013 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 14 (July, 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