

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第21期 Vol.31 No.21 **2011**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

中国科学院科学出版基金资助出版

第 31 卷 第 21 期 2011 年 11 月 (半月刊)

目 次

基于景观格局理论和理想风水模式的藏族乡土聚落景观空间解析——以甘肃省迭部县扎尕那村落为例·····	史利莎,严力蛟,黄璐,等 (6305)
武夷山风景名胜区景观生态安全度时空分异规律·····	游巍斌,何东进,巫丽芸,等 (6317)
旅游地道路生态持续性评价——以云南省玉龙县为例·····	蒋依依 (6328)
城市空间形态紧凑度模型构建方法研究·····	赵景柱,宋瑜,石龙宇,等 (6338)
丹顶鹤多尺度生境选择机制——以黄河三角洲自然保护区为例·····	曹铭昌,刘高焕,徐海根 (6344)
西南喀斯特区域水土流失敏感性评价及其空间分异特征·····	凡非得,王克林,熊鹰,等 (6353)
流域尺度海量生态环境数据建库关键技术——以塔里木河流域为例·····	高凡,闫正龙,黄强 (6363)
雌雄异株植物鼠李的生殖分配·····	王娟,张春雨,赵秀海,等 (6371)
长白山北坡不同年龄红松年表及其对气候的响应·····	王晓明,赵秀海,高露双,等 (6378)
不同高寒退化草地阿尔泰针茅种群的小尺度点格局·····	赵成章,任珩,盛亚萍,等 (6388)
残存银杏群落的结构及种群更新特征·····	杨永川,穆建平,TANG Cindy Q,等 (6396)
濒危植物安徽羽叶报春两种花型的繁育特性及其适应进化·····	邵剑文,张文娟,张小平 (6410)
神农架海拔梯度上 4 种典型森林的乔木叶片功能性状特征·····	罗璐,申国珍,谢宗强,等 (6420)
不同植被恢复模式下煤矸石山复垦土壤性质及煤矸石风化物的变化特征·····	王丽艳,韩有志,张成梁,等 (6429)
火烧对黔中喀斯特山地马尾松林分的影响·····	张喜,崔迎春,朱军,等 (6442)
内蒙古高原锦鸡儿属植物的形态和生理生态适应性·····	马成仓,高玉葆,李清芳,等 (6451)
古尔班通古特沙漠西部梭梭种群退化原因的对比分析·····	司朗明,刘彤,刘斌,等 (6460)
白石砬子国家级自然保护区天然林的自然稀疏·····	周永斌,殷有,殷鸣放,等 (6469)
黑龙江省东完达山地区东北虎猎物种群现状及动态趋势·····	张常智,张明海 (6481)
基于 GIS 的马铃薯甲虫扩散与河流关系研究——以新疆沙湾县为例·····	李超,张智,郭文超,等 (6488)
2010 年广西兴安地区稻纵卷叶螟发生动态及迁飞轨迹分析·····	蒋春先,齐会会,孙明阳,等 (6495)
B 型烟粉虱对寄主转换的适应性·····	周福才,李传明,顾爱祥,等 (6505)
利用 PCR-DGGE 方法分析不同鸡群的盲肠微生物菌群结构变化·····	李永洙,Yongquan Cui (6513)
鸡粪改良铜尾矿对 3 种豆科植物生长及基质微生物量和酶活性的影响·····	张宏,沈章军,阳贵德,等 (6522)
铜绿微囊藻对紫外辐射的生理代谢响应·····	汪燕,李珊珊,李建宏,等 (6532)
10 种常见甲藻细胞体积与细胞碳、氮含量的关系·····	王燕,李瑞香,董双林,等 (6540)
冬季太湖表层底泥产毒蓝藻群落结构和种群丰度·····	李大命,孔繁翔,于洋,等 (6551)
城市机动车道颗粒物扩散对绿化隔离带空间结构的响应·····	蔺银鼎,武小刚,郝兴宇,等 (6561)
新疆城镇化与土地资源产出效益的空间分异及其协调性·····	杨宇,刘毅,董雯,等 (6568)
山东潍坊地下水硝酸盐污染现状及 $\delta^{15}\text{N}$ 溯源·····	徐春英,李玉中,李巧珍,等 (6579)
增温对宁夏引黄灌区春小麦生产的影响·····	肖国举,张强,张峰举,等 (6588)
一种估测小麦冠层氮含量的新高光谱指数·····	梁亮,杨敏华,邓凯东,等 (6594)
黄河上游灌区稻田 N_2O 排放特征·····	张惠,杨正礼,罗良国,等 (6606)
专论与综述	
植物源挥发性有机物对氮沉降响应研究展望·····	黄娟,莫江明,孔国辉,等 (6616)
植物种群更新限制——从种子生产到幼树建成·····	李宁,白冰,鲁长虎 (6624)
研究简报	
遮荫对两个基因型玉米叶片解剖结构及光合特性的影响·····	杜成凤,李潮海,刘天学,等 (6633)
学术信息与动态	
科学、系统与可持续性——第六届工业生态学国际大会述评·····	石海佳,梁赛,王震,等 (6641)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 340 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 37 * 2011-11	



封面图说: 鹤立——丹顶鹤是世界 15 种鹤数量极小的一种,主要栖息在沼泽、浅滩、芦苇塘等湿地,以捕食小鱼虾、昆虫、蛙蚺、软体动物为主,也吃植物的根茎、种子、嫩芽。善于奔驰飞翔,喜欢结群生活。丹顶鹤属迁徙鸟类,主要在我国的黑龙江、吉林、俄罗斯西伯利亚东部、朝鲜北部以及日本等地繁殖。在长江下游一带越冬。在中国文化中有“仙鹤”之说。被列为中国国家一级重点保护野生动物名录,濒危野生动植物种国际贸易公约绝对保护的 CITES 附录一物种名录。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

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.

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.

遮荫对两个基因型玉米叶片解剖结构 及光合特性的影响

杜成凤, 李潮海*, 刘天学, 赵亚丽

(河南农业大学农学院, 郑州 450002)

摘要:以耐阴性不同的玉米品种郑单 958(ZD958, 耐阴性较强)和豫玉 22(YY22, 耐阴性较弱)为材料,研究了苗期 50%遮荫对玉米叶片形态结构和光合特性的影响。结果表明:形态结构上,苗期遮荫处理后,玉米叶片变薄,单位面积叶绿体数目减少,基粒数、基粒厚度和片层数增加,但是 YY22 的叶绿体大部分发育不良,肿胀呈球形,基粒片层和基质片层出现不同程度的松散;而 ZD958 大部分叶绿体结构良好,各部分发育基本正常。光合特性上,弱光胁迫使玉米叶片叶绿素含量升高,净光合速率(P_n)、PS II 最大光化学量子产量(F_v/F_m)和实际光化学效率($\Phi_{ps II}$)降低,胞间 CO_2 浓度(C_i)和非光化学猝灭(NPQ)增加,但是 YY22 的 P_n 、 F_v/F_m 和 $\Phi_{ps II}$ 显著下降, C_i 和 NPQ 显著升高;而 ZD958 的 F_v/F_m 和 $\Phi_{ps II}$ 下降幅度较小,且 NPQ 增加亦不显著。研究结果提示,弱光胁迫对玉米叶片形态结构和光合特性影响较大,且存在基因型差异,耐阴性较强的品种对弱光环境的适应性较强。

关键词: 弱光胁迫;玉米;显微结构;叶绿体超微结构;光合特性;叶绿素荧光

Response of anatomical structure and photosynthetic characteristics to low light stress in leaves of different maize genotypes

DU Chengfeng, LI Chaohai*, LIU Tianxue, ZHAO Yali

Agronomy College, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China

Abstract: Prolonged rainy weather during the maize growing season can lead to insufficient light, and thus dramatically lower yields. Maize, *Zea mays* L., is one of the most important food crops in China, and around the world, and a high and stable yield is necessary to guarantee food safety. Previous studies into the effects of low light stress on maize have predominantly focused on aboveground biomass, leaf area, chlorophyll content, net photosynthetic rate, root activity, soluble protein content, grain yield, nutrient levels, and the activity of some enzymes, including superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD), catalase (CAT), sucrose-phosphate synthase (SPS), sucrose synthase (SS), soluble starch synthase (SSS), granule-bound-starch synthase (GBSS), adenosine diphosphate glucose pyrophorylase (ADPGPPase), and uridine diphosphate glucose pyrophorylase (UDPGPPase). However, the potentially damaging effects of low light stress on the anatomical structure of maize photosynthetic systems have seldom been mentioned in the literature, and the relationships between anatomical structure and photosynthetic characteristics remain unclear. Our objective was to determine the effects of low light stress on the anatomical structure of maize photosynthetic systems, and the relationship between photosynthetic characteristics and anatomical structure, in different maize cultivars at the seedling stage.

We experimented on the seedling leaves of two maize cultivars: the shade-tolerant cultivar Zhengdan 958 (ZD958) and the shade-sensitive cultivar Yuyu 22 (YY22). These were grown in experimental pots in the field. 50% shade treatment

基金项目:河南省重大公益科研项目(091100910100);公益性行业(气象)科研专项(GYHY201006041)

收稿日期:2010-09-08; 修订日期:2011-06-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lichao2005@yahoo.com.cn

was used, with non-shaded seedlings as controls. Under low light stress, plant growth was inhibited; leaves became thinner, numbers of chloroplasts per unit of leaf area decreased, number of grana increased, grana thickness increased, and the thickness of the grana lamellae increased. In the shade-sensitive cultivar YY22, most of the chloroplasts became dysplastic, the stroma lamellae swelled and the grana lamellae became loose. In contrast, in the shade-tolerant cultivar ZD958 the chloroplasts were almost normal with some healthy parts. The net photosynthetic rate (P_n), photochemical efficiency (F_v/F_m), and actual photochemical efficiency (Φ_{PSII}) all decreased under shade. Chlorophyll content, intercellular CO_2 concentration (C_i) and non-photochemical quenching (NPQ) increased; however these were all reversible. The values of all variables investigated were significantly higher or lower in the shade-sensitive cultivar YY22 than in the corresponding control. Shading had no significant influence on the shade-tolerant cultivar ZD958 except for P_n and C_i . We speculate, therefore, that low light stress has different significant effects on the anatomy and photosynthesis of maize with different genotypes. The shade-tolerant cultivar ZD958 maintains more normal anatomical structure and higher photosynthetic function than the shade-sensitive YY22 under low light stress; these are the major anatomical and physiological traits necessary for shade tolerance.

Key Words: low light stress; maize; anatomical structure; ultrastructure of chloroplast; photosynthetic characteristics; fluorescence parameter of chlorophyll

光是作物生长的能量来源,在作物生育期内,满足适宜的光照强度和光照时间是获取高产稳产的重要条件。光照不足不仅影响作物的生长发育和形态建成,而且造成作物光合生产能力下降、籽粒产量减少。叶片作为植物进行光合作用的重要器官,能够通过其形态和内部结构的变化来适应生境中光照条件变化,这在黄瓜^[1-2]、生姜^[3]、棉花^[4]、绞股蓝^[5]和辣椒^[6]等作物上均有相关报道。玉米属于高光效作物,其正常单叶光饱和点约为 $1400\text{--}1800\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,光补偿点群体为 $300\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ^[7]。玉米生育期内的阴雨寡照天气常常造成光照不足,导致籽粒产量下降。国内外研究表明,玉米在遮荫条件下,节间变长,叶片变窄、变长,幼苗新叶出生速率显著下降,叶片变薄,比叶面积增加,但对叶片数目没有影响^[8-10]。苗期和穗期遮荫不仅使抽雄吐丝期推迟,造成花期不遇^[8,11],而且降低了叶面积指数(LAI)^[9,11-12]、叶绿素含量^[11]、净光合速率(P_n)^[9-10,12-13]、籽粒产量和品质^[12-15],但不同品种之间差异较大^[9,16]。尽管前人就弱光胁迫对玉米生长发育、产量及品质形成的影响进行了大量研究,但弱光胁迫条件下玉米叶片显微结构和叶绿体超微结构的变化则少有报道。本文采用人工遮荫处理,探讨了不同耐弱光基因型玉米叶片显微和亚显微结构及光合特性对弱光胁迫的响应,以期丰富玉米耐弱光逆境理论和耐弱光品种选育及推广应用积累理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验设计

试验于2008—2009年在河南农业大学科教园区进行。采用盆栽试验,塑料盆高20 cm,内径23 cm。取0—20 cm耕层土壤风干过筛后混匀装盆,每盆装风干土12.5 kg。所用土壤基础肥力为有机质含量为8.32 g/kg,碱解氮63.94 mg/kg,速效磷21.66 mg/kg,速效钾143.35 mg/kg,试验采用二因素裂区设计,主区为光照,设置自然光照和遮光2个水平,副区为品种,品种选用耐荫性较强的郑单958(ZD958)和耐荫性较弱的豫玉22(YY22)^[16]。遮荫从玉米两叶期(6月12日)开始,到拔节期(6月29日,第6片叶展开,其中第6片叶可见(露出叶心2—5 cm)至其完全展开,经历了2 d)结束,连续处理17 d。每处理种植30盆。6月3日播种,每盆施12 g复合肥(N 25%、 P_2O_5 18%、 K_2O 12%)做基肥。播前浇透水,出苗后保证水分供应并及时防治病虫害。

遮光处理在盖有黑色遮阴网的遮荫棚(透光率约为50%,弧顶钢架结构,钢架高3 m,面积约1000 m^2)中进行,遮荫棚四周通风状况良好,尽可能只改变光照强度这一单因素,其他环境条件仅是由于光强的改变而改变。遮荫对玉米群体小气候的影响见表1,表中数据采用LI-6400光合测定系统(LI-COR,美国)在每天11:00

测定,连续测定 6 d。

表 1 遮荫处理对小气候的影响

Table 1 Effects of shading treatments on microclimate in experimental field

处理 Treatment	CO ₂ 浓度/($\mu\text{mol}/\text{mol}$) CO ₂ concentration	光照强度/($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) Light intensity	相对湿度/% Relative humidity	气温/℃ Air temperature
遮荫 Shading	374.67 $\pm$ 2.40 a	771.67 $\pm$ 25.54 b	71.77 $\pm$ 0.28 a	34.7 $\pm$ 0.26 b
自然光 Control	364.33 $\pm$ 1.45 a	1336 $\pm$ 22.23 a	67.97 $\pm$ 0.27 a	36.6 $\pm$ 0.42 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 调查及测定项目

1.2.1 叶片显微结构观测

玉米拔节期,选取各处理中生长一致的植株 3 株,在第 6 片展开叶的中部避开主脉取样(5 mm $\times$ 5 mm 左右),用 FAA 固定液进行固定,酒精和二甲苯系列脱水,石蜡包埋,横切片厚度为 8 μm ,番红-固绿染色。在 OLMPUS 光学显微镜下,随机选取 15 个视野观察、拍照,并用测微尺测量叶片厚度、上表皮与下表皮厚度。

1.2.2 叶片超微结构观测

玉米拔节期,选取各处理中生长一致的植株第 6 片展开叶,在叶片中部主脉旁取材(2 mm $\times$ 1 mm 左右),用 2.5% 的戊二醛固定 24h,抽气直到切块下沉为止,用磷酸缓冲液(0.1 mol/L, pH 值 7.2)冲洗 3 次,每次 30 min,用 1% 锇酸 4 $^{\circ}\text{C}$ 下后固定 4 h,磷酸缓冲液再冲洗 3 次;常规梯度乙醇系列脱水,环氧丙烷置换, Epon812 树脂包埋,70 $^{\circ}\text{C}$ 下聚合 8 h, LKB-V 型切片机超薄切片,经醋酸双氧铀和柠檬酸铅双重染色后,日立-600 型透射电镜随机选取 15 个视野观察并拍照。

1.2.3 光合速率及相关参数测定

玉米拔节期,选取生长一致且受光方向相同的第 6 片展开叶,用 LI-6400 光合测定系统(LI-COR, 美国),于 10:00—14:00 测定植株第 6 片展开叶净光合速率(Net photosynthesis rate, P_n)、蒸腾速率(Transpiration rate, T_r)、气孔导度(Stomatal conductance, G_s)、胞间二氧化碳浓度(Internal CO₂ concentration, C_i)等参数,每个处理测定 6 株。使用随光合仪配置的适合自然光照射下测量用的标准叶室。

1.2.4 叶绿素荧光参数测定

玉米拔节期,选取生长一致且受光方向相同的第 6 片展开叶,参照徐凯等方法^[17],用便携式脉冲调制荧光仪 FMS2(Hansatech, 英国),于 10:00—14:00 进行叶绿素荧光参数测定,与光合作用测定同步进行。取叶片中部(避开主叶脉),在光下夹上叶夹、正对太阳光 10 min 后,测定叶片实际生长光强下的荧光值(稳态荧光, F_s);再给 1 个强饱和脉冲光(4000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)(荧光仪自带,持续 0.8 s),测定光下稳态最大荧光(F_m');关闭作用光暗适应 3s 后,打开远红外光,在远红外光脉冲时,荧光开始下降,测量光下最小荧光(F_o')。将叶片在暗适应夹中适应 30 min 后,用弱测量光(2 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)测定初始荧光(F_o),然后打 1 个强饱和脉冲光(4000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)(荧光仪自带,持续 0.8 s),测定最大荧光(F_m)。计算实际光化学效率($\Phi_{\text{PS II}}$)=($F_m'-F_s$)/ F_m' ,非光化学猝灭(NPQ)=(F_m-F_m')/ F_m' (其中 F_m-F_m' 代表非光化学猝灭的荧光)^[18]。每处理测 6 株,取其平均值。

1.3 数据处理

采用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS 18.0 进行数据处理和统计分析。经分析后,两年试验结果趋势一致,故选用其中一年的试验结果进行分析和讨论。

2 结果与分析

2.1 弱光胁迫对不同基因型玉米叶片显微结构的影响

由图 1 可以看出,自然光照下的玉米叶片叶肉细胞数量多且排列整齐(图 1A、B)。弱光胁迫下,玉米叶片的叶肉细胞数量减少,细胞间隙变大且排列疏松(图 1a、b)。从出苗至拔节期,弱光胁迫处理 17 d 后,玉米

上、下表皮和叶片厚度均变薄(表2),耐荫性较弱品种豫玉22的上、下表皮及叶片厚度分别下降了29.1%、23.2%和21.0%,与对照差异达显著水平,而耐荫性较强品种郑单958的上、下表皮厚度及叶片厚度下降不显著。

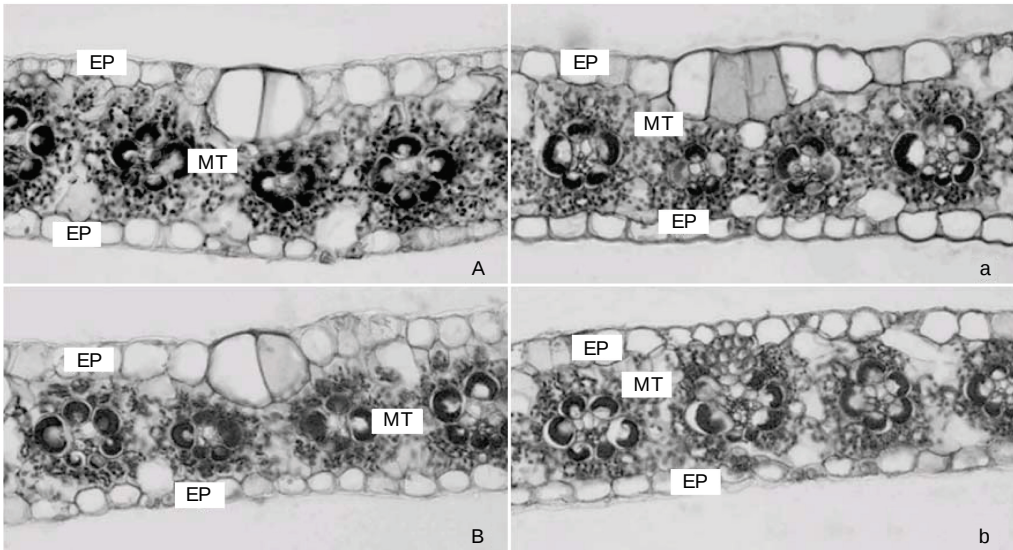


图1 弱光胁迫下不同基因型玉米叶片解剖结构的变化

Fig. 1 Changes of anatomical structure in leaves of different maize genotypes under low light stress

A和B分别为自然光照下郑单958和豫玉22叶片横切面(×200);a和b分别为弱光下郑单958和豫玉22叶片横切面(×200);EP:表皮细胞;MT:叶肉细胞

表2 弱光胁迫下不同基因型玉米叶片厚度的变化

Table 2 Changes of anatomical structure in leaves of different maize genotypes under low light stress

品种 Variety	处理 Treatment	上表皮厚度/ μm Upper epidermis thickness	下表皮厚度/ μm Under epidermis thickness	叶片厚度/ μm Leaf thickness
郑单958	自然光	17.75±2.02 a	13.55±0.50 a	104.65±1.64 a
	弱光	16.95±1.64 a	13.05±0.46 a	102.95±0.46 a
豫玉22	自然光	15.75±0.85 a	11.15±2.15 a	104.15±1.70 a
	弱光	11.15±0.98 b	8.55±0.43 b	82.35±0.47 b

表中数据为平均值±SE,同一材料列内不同小写字母表示差异达到显著水平($P=0.05$)

2.2 弱光胁迫对不同基因型玉米叶片叶绿体超微结构的影响

在自然光照下,两个玉米品种叶片叶绿体结构良好,近细胞壁分布,形状规则,叶绿体膜完整、界限清晰,且含少量淀粉粒(图2A、B);类囊体系统发育良好,基粒较多,基粒垛叠较厚,基质片层及基粒片层排列紧致、界限清晰,并且郑单958的基质片层及基粒片层的紧致度明显优于豫玉22(图2C、c、D、d)。经弱光处理后,两个品种叶绿体数减少,其形态结构发生变化,部分叶绿体发育不良,出现肿胀及被膜破损现象。郑单958叶绿体发育相对正常,被膜基本完整,只有极少数出现肿胀现象,叶绿体基粒数目有所增加(图2a),基质片层也有增厚的现象,但是基质片层的排列不整齐,有少许断裂出现,嗜饿颗粒数目稍有增多且个体略微增大,淀粉粒数目也稍有增多(图2c);豫玉22的叶绿体大多数发育不良,多肿胀呈球形,个别叶绿体被膜破损严重,趋于解体(图2b),多数基粒片层和基质片层出现局部扩张,从而造成基粒相对厚度增加,基粒片层出现断裂或解体,嗜饿颗粒增多增大,淀粉粒也较大(图2d)。

2.3 弱光胁迫对不同基因型玉米叶片光合特性的影响

从表3可以看出,弱光下玉米叶片的净光合速率(P_n)、蒸腾速率(Tr)和气孔导度(G_s)均下降。耐荫性较强品种郑单958的 P_n 、 Tr 和 G_s 分别比自然光照下降了26.8%、16.1%和58.8%,耐荫性较弱品种豫玉22

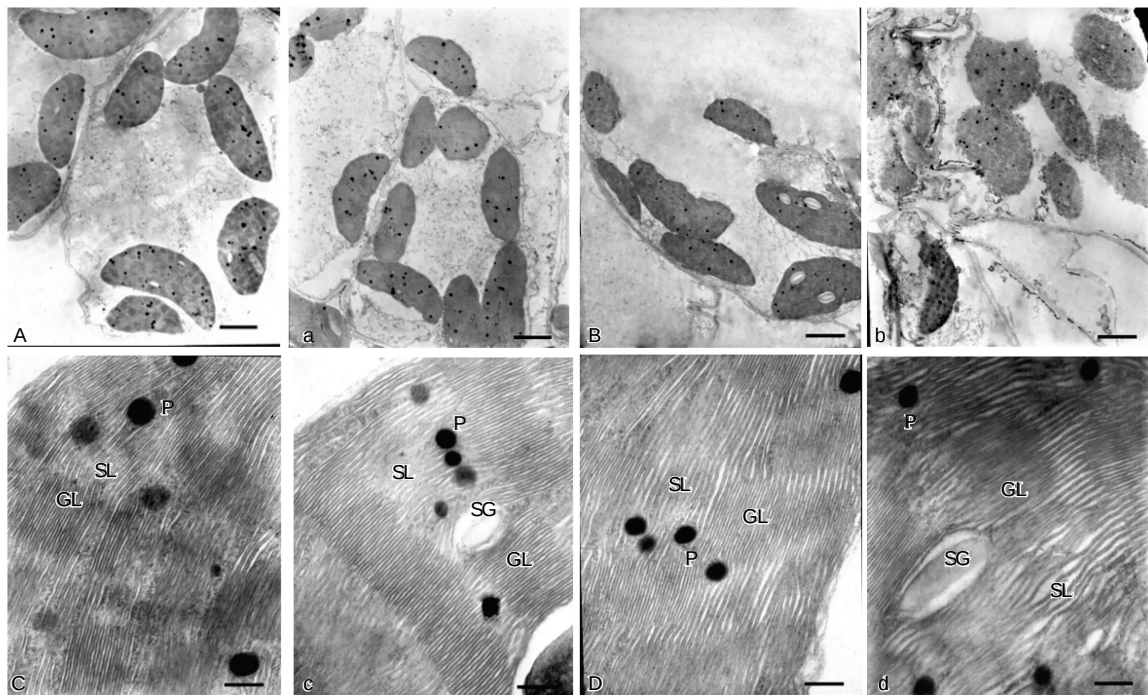


图2 弱光胁迫下不同基因型玉米叶片叶绿体超微结构变化

Fig.2 Changes of Ultrastructure of chloroplasts in leaves of different maize genotypes under low light stress

A、a、B、b 分别为郑单 958(对照)、郑单 958(遮荫)、豫玉 22(对照)、豫玉 22(遮荫)叶绿体超微结构(标尺=0.25 μ m);C、c、D、d 分别为郑单 958(对照)、郑单 958(遮荫)、豫玉 22(对照)、豫玉 22(遮荫)叶绿体超微结构(标尺=250nm)。GL: 基粒片层; SL: 基质片层; SG: 淀粉粒; P: 嗜饿颗粒

的 P_n 、 T_r 和 G_s 分别比自然光照下降低了 34.1%、13.5% 和 62.9%。此外,在自然光照条件下,郑单 958 的胞间 CO_2 浓度(C_i)比豫玉 22 低 40.8%;弱光胁迫后,两个玉米品种的 C_i 均大幅度增加,且豫玉 22 的 C_i 增加幅度比郑单 958 高 22.0%。从 C_i 值的变化情况看,耐荫性较弱品种豫玉 22 在弱光胁迫后叶片较高的 C_i 可能与其叶肉细胞同化 CO_2 的能力较低有关。

表3 弱光胁迫对不同基因型玉米叶片光合特性的影响

Table 3 Effects of photosynthetic characteristics in leaves of different maize genotypes under low light stress

品种 Variety	处理 Treatment	净光合速率 $P_n / (\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	蒸腾速率 $T_r / (\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	气孔导度 $G_s / (\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	胞间 CO_2 浓度 $C_i / (\mu\text{mol/mol})$
郑单 958	自然光	36.03 $\pm$ 0.77 a	5.03 $\pm$ 0.14 a	233.67 $\pm$ 8.69 a	36.00 $\pm$ 7.02 b
	弱光	26.37 $\pm$ 0.55 b	4.22 $\pm$ 0.24 b	96.33 $\pm$ 2.33 b	118.00 $\pm$ 3.61 a
豫玉 22	自然光	37.33 $\pm$ 0.75 a	4.90 $\pm$ 0.17 a	256.00 $\pm$ 21.73 a	50.67 $\pm$ 3.28 b
	弱光	24.60 $\pm$ 0.32 b	4.24 $\pm$ 0.36 b	95.00 $\pm$ 4.16 b	151.33 $\pm$ 5.17 a

2.4 弱光胁迫对不同基因型玉米叶片叶绿素荧光的影响

由表 4 可以看出,经弱光处理后,耐荫性较弱品种 YY22 的 F_v/F_m 显著下降,而耐荫性较强品种 ZD958 的 F_v/F_m 无显著变化,表明弱光处理后,YY22 的最大光化学效率受到了影响,而 ZD958 能保持在较稳定的状态。弱光处理后,ZD958 和 YY22 的 F_m 分别下降了 1.5% 和 4.4%, F_o 分别上升了 2.7% 和 30.1%,说明 F_o 的上升幅度成为影响 F_v 和 F_v/F_m 的关键,从而导致耐荫性较弱品种 YY22 的 F_v 和 F_v/F_m 显著降低。

弱光处理后,两品种的 $\Phi PS II$ 均降低,YY22 显著降低,降幅为 17.1%,ZD958 虽然也有所降低,但降幅仅为 9.5%。而两品种 NPQ 均表现出不同程度的增加,其中耐荫性较弱品种 YY22 显著增加,增幅为 48.5%,耐荫性较强品种 ZD958 增幅仅为 12.8%。

表 4 弱光胁迫对不同基因型玉米叶片叶绿素荧光的影响

Table 4 Effects of fluorescence parameter of chlorophyll in leaves of different maize genotypes under low light stress

品种 Variety	处理 Treatment	初始荧光 F_o	最大荧光 F_m	可变荧光 F_v	PS II 的最大 光化学效率 F_v/F_m	PS II 实际量 子效率 $\Phi_{PS II}$	非光化学猝灭 NPQ
郑单 958	自然光	104.50±1.65 a	610.33±42.68 a	505.83±42.26 a	0.83±0.01 a	0.67±0.02 a	0.40±0.12 a
	弱光	107.33±2.04 a	601.00±32.76 a	493.67±33.75 a	0.82±0.01 a	0.61±0.04 a	0.45±0.11 a
豫玉 22	自然光	116.67±2.23 b	671.67±15.22 a	555.00±16.07 a	0.83±0.01 a	0.72±0.02 a	0.39±0.03 b
	弱光	151.83±9.19 a	642.33±15.37 a	490.50±16.05 b	0.76±0.01 b	0.59±0.02 b	0.58±0.05 a

3 讨论与结论

弱光逆境下植物叶片变薄的原因可能是植株为保证正常的光合作用,将有限的同化产物用于维持叶面积的正常大小,以保证吸收足够的光能,而造成叶片厚度的减少^[19]。本研究结果显示,弱光胁迫使玉米叶片变薄的同时,单位叶面积的叶肉细胞叶绿体数目也减少。

本文对叶绿体超微结构研究发现,弱光胁迫导致叶绿体发育不良,部分出现肿胀呈球形和淀粉粒增大等现象,基质片层和基粒片层也出现了不同程度的损伤,这与夏淑芳、许大全和 Klemme 研究结果一致^[20-22],其原因可能与弱光下同化物输出速率较慢,导致淀粉粒增大到一定水平时,对类囊体造成挤压损伤和光合作用有关酶吸附作用使其活性降低,致使叶绿体光合活性下降,即植物在逆境下发生光合作用的“产物抑制”^[23]。两种不同基因型玉米对弱光逆境的反应表现出明显的差异,耐荫性较强品种郑单 958 的叶绿体基粒数和基质片层数与耐荫性较弱品种豫玉 22 差异显著,这与前人在黄瓜、姜等作物上的研究结果相似^[24-26]。类囊体片层堆叠程度与叶绿体捕光能力呈正相关,类囊体片层堆叠程度越高,其叶绿体捕光能力也就越强,这样就增加了光系统的光化学效率,是植物对弱光适应的结果^[27-28]。本研究结果显示,经弱光胁迫后,耐荫性较强品种郑单 958 叶绿体发育相对正常,其叶绿体基粒数目增加,基粒片层厚度变化不大,基质片层增厚。而豫玉 22 基粒相对厚度有所增加,并非是由于基粒片层的增加所引起基粒厚度增加,而是基粒片层出现局部扭曲扩张所造成的。同时基质片层也出现局部扭曲扩张现象,导致基质片层相对厚度增加。

弱光胁迫使两种基因型玉米的净光合速率(P_n)、PS II 最大光化学效率(F_v/F_m)和 PS II 实际光化学效率($\Phi_{PS II}$)均降低,表明最大光化学效率和实际光化学效率下降,PS II 受到损伤。但是一般认为弱光条件下基本不存在光能过剩的现象,因此笔者认为可能是由于植物在 50% 遮光条件下时间过长,体内碳素、氮素同化能力减弱,根系活力降低导致其吸收与合成能力减弱^[29],植物处于营养饥饿状态下,由于缺少碳素骨架和必需的蛋白质构架,其生长发育、物质代谢、物质运转、抗氧化酶及 Rubisco 酶活性等多方面受到不同程度的影响。综上因素导致植物光合机构受损,从而表现出净光合速率和相关叶绿素荧光参数异常,其机理有待进一步研究。 NPQ 是吸收能量的热耗散,弱光胁迫后两品种的 NPQ 均呈上升趋势,表明弱光下吸收的光能用于热耗散的能量比例上升,其原因可能是弱光胁迫后玉米的整体机能受到了影响。

综合超微结构方面的结果,在一定程度上可以看出:叶绿体基粒片层数与光合速率成正相关,基粒片层数愈多,相应的叶片光合速率愈高,这与周治国^[30]研究结果一致。弱光条件下,蒸腾速率和气孔导度降低,而叶肉胞间 CO_2 浓度与光合速率呈大致相反的变化趋势,表明光合作用暗反应对 CO_2 的利用率相对降低,光合速率的下降是非气孔因素造成的,很可能是光合作用关键酶 Rubisco 羧化活性下降和无机磷(Pi)限制等因素阻碍了叶肉细胞对 CO_2 的利用,导致胞间 CO_2 的积累,这与 Ryłski L 的结果相一致^[31]。总体来看,外界的低光照度使叶片能够截获的光能大幅度减少,致使内部光合机构遭到不同程度破坏,弱光下吸收的光能用于热耗散的能量比例升高,是 P_n 急剧下降的主要原因。

References:

- [1] Sheng W Y, Ma D H, Hou F, Lu S Z, Huo Z R. Effects of weak light treatment on the ultrastructure of chloroplasts of cucumber. Acta

- Horticulturae Sinica, 1995, 22(4): 397-398.
- [2] Ai X Z, Guo Y K, Ma X Z, Xing Y X. Photosynthetic characteristics and ultrastructure of chloroplast of cucumber under low light intensity in solargreenhouse. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(2): 268-273.
- [3] Zhang Z X, Guo Y K, Zou Q. Effects of shading on ultrastructure of chloroplast and microstructure of ginger leaves. Acta Horticulturae Sinica, 1999, 26(2): 96-100.
- [4] Yang X H, Chen C R, Shi P. Effects of shading on the anatomical structure of cotton leaf and stem. Journal of Shandong Agricultural University: Natural Science, 2000, 31(4): 373-377.
- [5] Liu S B, Hu Z H. Effects of shading treatment on the leaf morphology, structure and photosynthetic characteristics of gynstemma pentaphyllum. Journal of Wuhan Botanical Research, 2004, 22(4): 339-344.
- [6] Sui X L, Mao S L, Wang L H, Li W, Zhang B X, Zhang Z X. Response of anatomical structure and photosynthetic characteristics to low light in leaves of capsicum seedlings. Acta Horticulturae Sinica, 2009, 36(2): 195-208.
- [7] Bao Y X. Meteorology. Beijing: China Agricultural Press, 2007.
- [8] Struik P C. The effects of short and long shading, applied during different stages of growth, on the development, productivity and quality of forage maize (*Zea mays* L.). Netherlands Journal of Agricultural Science, 1983, 31(2): 101-124.
- [9] 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, 2005a, 25(4): 824-830.
- [10] Li C H, Luan L M, Wang Q, Li N, Zhao Y L. Effects of seeding shading and light intensity transfer on photosynthetic efficiency of different maize (*Zea mays* L.) hybrids. Acta Agronomica Sinica, 2005, 31(3): 381-385.
- [11] Hashemi-Dezfouli A, Herbert S J. Intensifying plant density response of corn with artificial shade. Agronomy Journal, 1992, 84(4): 547-551.
- [12] Zhang J W, Dong S T, Wang K J, Hu C H, Liu P. Effects of shading in field on key enzymes involved in starch synthesis of summer maize. Acta Agronomica Sinica, 2008, 34(8): 1470-1474.
- [13] Jia S F, Dong S T, Wang K J, Zhang J W, Li C F. Effect of shading on grain quality at different stages from flowering to maturity in maize. Acta Agronomica Sinica, 2007, 33(12): 1960-1967.
- [14] Fu J, Li C H, Zhao J R, Liu T X. Comparison of photosynthetic rate, grain yield and quality of different maize hybrids under low-light conditions. Journal of Henan Agricultural University, 2009, 43(2): 130-134.
- [15] Reed A J, Singletary G W, Schussler J R, Williamson D R, Christy A L. Shading effects on dry matter and nitrogen partitioning, kernel number, and yield of maize. Crop Science, 1988, 28(5): 819-825.
- [16] Fu J, Li C H, Zhao J R, Ma L, Liu T X. Shade-tolerance indices of maize: selection and evaluation. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(11): 2705-2709.
- [17] Xu K, Guo Y P, Zhang S L. Effect of light quality on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in strawberry leaves. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38(2): 369-375.
- [18] Xu D Q. The Efficiency of Photosynthesis Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 2002.
- [19] Wang X W, Wang Y J, Fu Q S, Zhao B, Guo Y D. Effects of low light stress on morphological trait, physiological characters and leaf ultrastructure of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) seedlings. Acta Agriculture Boreali-Sinica, 2009, 24(5): 144-149.
- [20] Xia S F, Zhang Z Q, Yu X J. Inhibition of export of photosynthetes and accumulation of starch and sucrose in leaves. Acta Photophysiological Sinica, 1981, 7(2): 135-142.
- [21] Xu D Q, Shen Y G. Exploring the relationship between the photosynthate level and the operation of photosynthetic apparatus. Acta Photophysiological Sinica, 1982, 8(2): 173-185.
- [22] Klemme B. The influence of starch on the activity of pyrophosphatase from isolated spinach chloroplasts. Planta, 1974, 120: 155-162.
- [23] Souza R P, Machado E C, Silva J A B, Lagóa A M M A, Silveira J A G. Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and some associated metabolic changes in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery. Environmental and Experimental Botany, 2004, 51(1): 45-56.
- [24] Ai X Z, Guo Y K, Ma X Z, Xing Y X. Photosynthetic characteristics and ultrastructure of chloroplast of cucumber under low light intensity in solargreenhouse. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(2): 268-273.
- [25] Zhang Z X, Guo Y K, Zou Q. Effects of shading on ultrastructure of chloroplast and microstructure of ginger leaves. Acta Horticulturae Sinica, 1999, 26(2): 96-100.
- [26] Zhen W, Zhang F M. The effects of low light intensity on photosynthetic characteristics and ultrastructure of cucumber functional leaves. Acta Horticulturae Sinica, 2000, 27(4): 290-292.
- [27] Hikosaka K. Effects of leaf age, nitrogen nutrition and photon flux density on the organization of the photosynthetic apparatus in leaves of a vine

- (*Iponioea tricolor* Cav.) grown horizontally to avoid mutual shading of leaves. *Planta*, 1996, 198: 144-150.
- [28] Lin M J, Hsu B D. Photosynthetic plasticity of *Phalaenopsis* in response to different light environments. *Journal of Plant Physiology*, 2004, 161 (11): 1259-1268.
- [29] Zhou Y H, Yu J Q, Qian Q Q, Huang L F. Effects of chilling and low light on cucumber seedling growth and their antioxidative enzyme activities. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(6): 921-924.
- [30] Zhou Z G, Meng Y L, Shi P. Effect of shading during seedling period on the structure of cotton stem and leaf and photosynthetic performance of functional leaf. *Scientia Agricultura Sinica*, 2001, 34(5): 519-525.
- [31] Ryłski L, Spigelman M. Effect of shading on plant development, yield fruit quality of sweet pepper grown under conditions of high temperature and radiation. *Scientia Horticulturae*, 1986, 29(1/2): 31-35.

参考文献:

- [1] 沈文云, 马德华, 侯峰, 吕淑珍, 霍振荣. 弱光处理对黄瓜叶绿体超微结构的影响. *园艺学报*, 1995, 22(4): 397-398.
- [2] 艾希珍, 郭延奎, 马兴庄, 邢禹贤. 弱光条件下日光温室黄瓜需光特性及叶绿体超微结构. *中国农业科学*, 2004, 37(2): 268-273.
- [3] 张振贤, 郭延奎, 邹琦. 遮荫对生姜叶片显微结构及叶绿体超微结构的影响. *园艺学报*, 1999, 26(2): 96-100.
- [4] 杨兴洪, 陈翠荣, 施培. 遮荫对棉花茎叶解剖结构的影响. *山东农业大学学报: 自然科学版*, 2000, 31(4): 373-377.
- [5] 刘世彪, 胡正海. 遮荫处理对绞股蓝叶形态结构及光合特性的影响. *武汉植物学研究*, 2004, 22(4): 339-344.
- [6] 睦晓蕾, 毛胜利, 王立浩, 李伟, 张宝玺, 张振贤. 辣椒幼苗叶片解剖特征及光合特性对弱光的响应. *园艺学报*, 2009, 36(2): 195-208.
- [7] 包云轩. *气象学*. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- [9] 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.
- [10] 李潮海, 栾丽敏, 王群, 李宁, 赵亚丽. 苗期遮光及光照转换对不同玉米杂交种光合效率的影响. *作物学报*, 2005, 31(3): 381-385.
- [12] 张吉旺, 董树亭, 王空军, 胡昌浩, 刘鹏. 大田遮阴对夏玉米淀粉合成关键酶活性的影响. *作物学报*, 2008, 34(8): 1470-1474.
- [13] 贾士芳, 董树亭, 王空军, 张吉旺, 李丛峰. 玉米花粒期不同阶段遮光对籽粒品质的影响. *作物学报*, 2007, 33(12): 1960-1967.
- [14] 付景, 李潮海, 赵久然, 刘天学. 弱光条件下不同玉米品种净光合速率及产量和品质的比较研究. *河南农业大学学报*, 2009, 43(2): 130-134.
- [16] 付景, 李潮海, 赵久然, 马丽, 刘天学. 玉米品种耐阴性指标的筛选与评价. *应用生态学报*, 2009, 20(11): 2705-2709.
- [17] 徐凯, 郭延平, 张上隆. 不同光质对草莓叶片光合作用和叶绿素荧光的影响. *中国农业科学*, 2005, 38(2): 369-375.
- [18] 许大全. *光合作用效率*. 上海: 上海科学技术出版社, 2002.
- [19] 王学文, 王玉钰, 付秋实, 赵冰, 郭仰东. 弱光逆境对番茄幼苗形态、生理特征及叶片超微结构的影响. *华北农学报*, 2009, 24(5): 44-49.
- [20] 夏淑芳, 张振清, 于新建. 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.
- [21] 许大全, 沈允钢. 光合产物水平与光合机构运转关系的探讨. *植物生理与学报*, 1982, 8(2): 173-185.
- [24] 艾希珍, 郭延奎, 马兴庄, 邢禹贤. 弱光条件下日光温室黄瓜需光特性及叶绿体超微结构. *中国农业科学*, 2004, 37(2): 268-273.
- [25] 张振贤, 郭延奎, 邹琦. 遮荫对生姜叶片显微结构及叶绿体超微结构的影响. *园艺学报*, 1999, 26(2): 96-100.
- [26] 甄伟, 张福墁. 弱光对黄瓜功能叶片光合特性及超微结构的影响. *园艺学报*, 2000, 27(4): 290-292.
- [29] 周艳虹, 喻景权, 钱琼秋, 黄黎锋. 低温弱光对黄瓜幼苗生长及抗氧化酶活性的影响. *应用生态学报*, 2003, 14(6): 921-924.
- [30] 周治国, 孟亚利, 施培. 苗期遮荫对棉苗茎叶结构及功能叶光合性能的影响. *中国农业科学*, 2001, 34(5): 519-525.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 21 November, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Landscape spatial analysis of a traditional tibetan settlement based on landscape pattern theory and feng-shui theory; the case of Zhagana, Diebu, Gansu Province	SHI Lisha, YAN Lijiao, HUANG Lu, et al (6305)
Temporal-spatial differentiation and its change in the landscape ecological security of Wuyishan Scenery District	YOU Weibin, HE Dongjin, WU Liyun, et al (6317)
Evaluation of eco-sustainability of roads in a tourism area; a case study within Yulong County	JIANG Yiyi (6328)
Study on the compactness assessment model of urban spatial form	ZHAO Jingzhu, SONG Yu, SHI Longyu, et al (6338)
A multi-scale analysis of red-crowned crane's habitat selection at the Yellow River Delta Nature Reserve, Shandong, China	CAO Mingchang, LIU Gaohuan, XU Haigen (6344)
Assessment and spatial distribution of water and soil loss in karst regions, southwest China	FAN Feide, WANG Kelin, XIONG Ying, et al (6353)
Construction of an eco-environmental database for watershed-scale data; an example from the Tarim River Basin	GAO Fan, YAN Zhenglong, HUANG Qiang (6363)
Reproductive allocation in dioecious shrub, <i>Rhamnus davurica</i>	WANG Juan, ZHANG Chunyu, ZHAO Xiuhai, et al (6371)
Age-dependent growth responses of <i>Pinus koraiensis</i> to climate in the north slope of Changbai Mountain, North-Eastern China	WANG Xiaoming, ZHAO Xiuhai, GAO Lushuang, et al (6378)
Fine-scale spatial point patterns of <i>Stipa krylovii</i> population in different alpine degraded grasslands	ZHAO Chengzhang, REN Heng, SHENG Yaping, et al (6388)
Community structure and population regeneration in remnant <i>Ginkgo biloba</i> stands	YANG Yongchuan, MU Jianping, TANG Cindy Q., et al (6396)
Reproductive characteristics and adaptive evolution of pin and thrum flowers in endangered species, <i>Primula merrilliana</i>	SHAO Jianwen, ZHANG Wenjuan, ZHANG Xiaoping (6410)
Leaf functional traits of four typical forests along the altitudinal gradients in Mt. Shennongjia	LUO Lu, SHEN Guozhen, XIE Zongqiang, et al (6420)
Reclaimed soil properties and weathered gangue change characteristics under various vegetation types on gangue pile	WANG Liyan, HAN Youzhi, ZHANG Chengliang, et al (6429)
Influence of fire on stands of <i>Pinus massoniana</i> in a karst mountain area of central Guizhou province	ZHANG Xi, CHUI Yingchun, ZHU Jun, et al (6442)
Morphological and physiological adaptation of <i>Caragana</i> species in the Inner Mongolia Plateau	MA Chengcang, GAO Yubao, LI Qingfang, et al (6451)
A comparative study on reasons of degenerated of <i>Haloxylon ammodendron</i> population in the western part of Gurbantunggut desert	SI Langming, LIU Tong, LIU Bin, et al (6460)
Self-thinning of natural broadleaved forests in Baishilazi Nature Reserve ...	ZHOU Yongbin, YIN You, YIN Mingfang, et al (6469)
Population status and dynamic trends of Amur tiger's prey in Eastern Wandashan Mountain, Heilongjiang Province	ZHANG Changzhi, ZHANG Minghai (6481)
The relationship between the occurrence of Colorado Potato Beetle, <i>Leptinotarsa decemlineata</i> , and rivers based on GIS: a case study of Shawan Country	LI Chao, ZHANG Zhi, GUO Wenchao, et al (6488)
Occurrence dynamics and trajectory analysis of <i>Cnaphalocrocis medinalis</i> Guenée in Xing'an Guangxi Municipality in 2010	JIANG Chunxian, QI Huihui, SUN Mingyang, et al (6495)
Adaptability of B-biotype <i>Bemisia tabaci</i> (Gennadius) to Host Shift	ZHOU Fucui, LI Chuanming, GU Aixiang, et al (6505)
Structural change analysis of cecal bacterial flora in different poultry breeds using PCR-DGGE ...	LI Yongzhu, Yongquan Cui (6513)
Effect of chicken manure-amended copper mine tailings on growth of three leguminous species, soil microbial biomass and enzyme activities	ZHANG Hong, SHEN Zhangjun, YANG Guide, et al (6522)
Physiological response of <i>Microcystis</i> to solar UV radiation	WANG Yan, LI Shanshan, LI Jianhong, et al (6532)
Relationship between cell volume and cell carbon and cell nitrogen for ten common dinoflagellates	WANG Yan, LI Ruixiang, DONG Shuanglin, et al (6540)
The community structure and abundance of microcystin-producing cyanobacteria in surface sediment of Lake Taihu in winter	LI Daming, KONG Fanxiang, YU Yang, et al (6551)
Influence of green belt structure on the dispersion of particle pollutants in street canyons	LIN Yinding, WU Xiaogang, HAO Xingyu, et al (6561)
Spatio-temporal variation analysis of urbanization and land use benefit of oasis urban areas in Xinjiang	YANG Yu, LIU Yi, DONG Wen, et al (6568)
Nitrate contamination and source tracing from NO_3^- - $\delta^{15}\text{N}$ in groundwater in Weifang, Shandong Province	XU Chunying, LI Yuzhong, LI Qiaozhen, et al (6579)
The impact of rising temperature on spring wheat production in the Yellow River irrigation region of Ningxia	XIAO Guoju, ZHANG Qiang, ZHANG Fengju, et al (6588)
A new hyperspectral index for the estimation of nitrogen contents of wheat canopy	LIANG Liang, YANG Minhua, DENG Kaidong, et al (6594)
The feature of N_2O emission from a paddy field in irrigation area of the Yellow River	ZHANG Hui, YANG Zhengli, LUO Liangguo, et al (6606)
Review and Monograph	
Research perspective for the effects of nitrogen deposition on biogenic volatile organic compounds	HUANG Juan, MO Jiangming, KONG Guohui, et al (6616)
Recruitment limitation of plant population: from seed production to sapling establishment	LI Ning, BAI Bing, LU Changhu (6624)
Scientific Note	
Response of anatomical structure and photosynthetic characteristics to low light stress in leaves of different maize genotypes	DU Chengfeng, LI Chaohai, LIU Tianxue, et al (6633)

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 21 期 (2011 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 21 2011

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



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元