

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

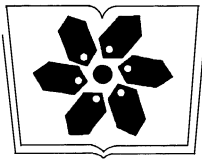
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第13期 Vol.32 No.13 **2012**

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



生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

中国科学院科学出版基金资助出版

第 32 卷 第 13 期

2012 年 7 月 (半月刊)

目 次

砂质潮间带自由生活海洋线虫对缺氧的响应——微型受控生态系研究.....	华 尔, 李 佳, 董 洁, 等 (3975)
植物种群自疏过程中构件生物量与密度的关系	黎 磊, 周道玮, 盛连喜 (3987)
基于景观感知敏感度的生态旅游地观光线路自动选址.....	李继峰, 李仁杰 (3998)
基于能值的沼气农业生态系统可持续发展水平综合评价——以恭城县为例.....	杨 谨, 陈 彬, 刘耕源 (4007)
内蒙古荒漠草原植被盖度的空间异质性动态分析.....	颜 亮, 周广胜, 张 峰, 等 (4017)
典型草地的土壤保持价值流量过程比较.....	裴 厦, 谢高地, 李士美, 等 (4025)
长沙市区马尾松人工林生态系统碳储量及其空间分布.....	巫 涛, 彭重华, 田大伦, 等 (4034)
厦门市七种药用植物根围 AM 真菌的侵染率和多样性	姜 攀, 王明元 (4043)
Cd、低 Pb/Cd 下冬小麦幼苗根系分泌物酚酸、糖类及与根际土壤微生物活性的关系	贾 夏, 董岁明, 周春娟 (4052)
凉水保护区土壤产类漆酶-多铜氧化酶细菌群落结构	赵 丹, 谷惠琦, 崔岱宗, 等 (4062)
盐渍化土壤根际微生物群落及土壤因子对 AM 真菌的影响.....	卢鑫萍, 杜 茜, 闫永利, 等 (4071)
菌丝室接种解磷细菌 <i>Bacillus megaterium</i> C4 对土壤有机磷矿化和植物吸收的影响.....	张 林, 丁效东, 王 菲, 等 (4079)
闽江河口不同河段芦苇湿地土壤碳氮磷生态化学计量学特征.....	王维奇, 王 纯, 曾从盛, 等 (4087)
高山森林三种细根分解初期微生物生物量动态.....	武志超, 吴福忠, 杨万勤, 等 (4094)
模拟降水对古尔班通古特沙漠生物结皮表观土壤碳通量的影响	吴 林, 苏延桂, 张元明 (4103)
铁皮石斛组培苗移栽驯化过程中叶片光合特性、超微结构及根系活力的变化	濮晓珍, 尹春英, 周晓波, 等 (4114)
不同产量水平旱地冬小麦品种干物质累积和转移的差异分析.....	周 玲, 王朝辉, 李富翠, 等 (4123)
基于作物模型的低温冷害对我国东北三省玉米产量影响评估.....	张建平, 王春乙, 赵艳霞, 等 (4132)
黄土高原 1961—2009 年参考作物蒸散量的时空变异.....	李 志 (4139)
莫莫格湿地芦苇对水盐变化的生理生态响应.....	邓春暖, 章光新, 李红艳, 等 (4146)
不同蚯蚓采样方法对比研究.....	范如芹, 张晓平, 梁爱珍, 等 (4154)
亚洲玉米螟成虫寿命与繁殖力的地理差异.....	涂小云, 陈元生, 夏勤雯, 等 (4160)
黑河上游天然草地蝗虫空间异质性与分布格局.....	赵成章, 李丽丽, 王大为, 等 (4166)
苦瓜叶乙酸乙酯提取物对斜纹夜蛾实验种群的抑制作用.....	骆 颖, 凌 冰, 谢杰峰, 等 (4173)
长江口中国花鲈食性分析.....	洪巧巧, 庄 平, 杨 刚, 等 (4181)
基于线粒体控制区序列的黄河上游厚唇裸重唇鱼种群遗传结构.....	苏军虎, 张艳萍, 娄忠玉, 等 (4191)
镉暴露对黑斑蛙精巢 ROS 的诱导及其蛋白质氧化损伤作用机理	曹 慧, 施蔡雷, 贾秀英 (4199)
北方草地牛粪中金龟子的多样性.....	樊三龙, 方 红, 高传部, 等 (4207)
合肥秋冬季茶园天敌对假眼小绿叶蝉和茶蚜的空间跟随关系.....	杨 林, 郭 骅, 毕守东, 等 (4215)
植被、海拔、人为干扰对大中型野生动物分布的影响——以九寨沟自然保护区为例.....	张 跃, 雷开明, 张语克, 等 (4228)
基于社会网络分析法的生态工业园典型案例研究.....	杨丽花, 佟连军 (4236)
基于生命周期的户用沼气系统可用能核算——以广西恭城瑶族自治县为例.....	齐 静, 陈 彬, 戴 婧, 等 (4246)
专论与综述	
水文情势与盐分变化对湿地植被的影响研究综述	章光新 (4254)
松嫩碱化草甸土壤种子库格局、动态研究进展	马红媛, 梁正伟, 吕丙盛, 等 (4261)
一种新的景观扩张指数的定义与实现	武鹏飞, 周德民, 官辉力 (4270)
研究简报	
华山新麦草光合特性对干旱胁迫的响应.....	李 倩, 王 明, 王雯雯, 等 (4278)
美丽海绵提取物防污损作用.....	曹文浩, 严 涛, 刘永宏, 等 (4285)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 306 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2012-07



封面图说: 涵养水源——在长白山南坡的峭壁上, 生长在坡面上的森林所涵养的水源还在汨汨地往下流个不停, 深红色的落叶掉在了苔藓上, 这里已经是长白山的深秋了。虽然雨季已经过去了很久, 但是林下厚厚的枯枝落叶层、腐殖质层、苔藓草本层所涵养的水分还在不间断地流淌, 细细的水线在壁下汇成了溪、汇成了河。涵养水源是森林的主要生态功能之一。

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

DOI: 10.5846/stxb201105260699

李倩, 王明, 王雯雯, 张瑞昌, 岳明. 华山新麦草光合特性对干旱胁迫的响应. 生态学报, 2012, 32(13): 4278-4284.

Li Q, Wang M, Wang W W, Zhang R C, Yue M. Response of photosynthetic characteristics of *Psathyrostachys huashanica* Keng to drought stress. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(13): 4278-4284.

华山新麦草光合特性对干旱胁迫的响应

李 倩, 王 明, 王雯雯, 张瑞昌, 岳 明*

(西部资源生物与现代生物技术省部共建教育部重点实验室, 西北大学, 西安 710069)

摘要:以濒危植物华山新麦草为材料进行盆栽试验, 设置 3 个水分梯度, 研究生长指标、气体交换、叶绿素荧光参数、光合色素含量、光响应特征及丙二醛(MDA)含量。结果表明:随干旱胁迫的加剧, 株高、叶宽和光合色素含量降低, 根长和丙二醛(MDA)含量增加;水分胁迫导致净光合速率(P_N)、气孔导度(g_s)、蒸腾速率(E)、最大荧光(F_m)、光合电子传递速率(ETR)和光化学淬灭系数(q_p)降低, 胞间 CO_2 浓度(C_i)、瞬时水分利用效率(WUE)、初始荧光(F_o)和非光化学淬灭系数(NPQ)升高;光系统 II 最大光化学效率(F_v/F_m)不变;干旱胁迫下光响应曲线拟合结果显示, 干旱胁迫造成最大光合速率和光能利用效率下降。综上所述, 干旱对光系统 II 的伤害是制约华山新麦草光合作用的主要原因。

关键词:华山新麦草;水分胁迫;光合作用;光合特性

Response of photosynthetic characteristics of *Psathyrostachys huashanica* Keng to drought stress

LI Qian, WANG Ming, WANG Wenwen, ZHANG Ruichang, YUE Ming*

Key Laboratory of Resource Biology and Biotechnology in Western China, Ministry of Education, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069, China

Abstract: *Psathyrostachys huashanica* Keng is a perennial herb belongs to Gramineae and only distributes in Huashan area of Qinling Mountain, Shaanxi Province, China. At present, the amount of the population is much less than the past and suffers the risk of extinction. Owing to distributing limitation and importance as breeding material for germplasm storage, it has been listed into the first class of rare and endangered species of the nation and imperatively protected wild species in relation to crops. Drought is the major environmental stress limiting growth and yield of plants worldwide. Mean global temperature and evaporation rate are expected to rise over the next few decades and as a consequence the crop demand for water will increase. It is well known that inhibition of photosynthesis is one of the primary physiological consequences of drought stress. For this reason, the study of photosynthetic characteristics with related to drought stress is worthwhile in exploration of the acclimation and conservation of this endangered species. In the present paper, the response of photosynthetic characteristics to drought stress in *P. huashanica* Keng was studied by measuring growth parameters, gas-exchange, photosynthetic pigment contents, modulated chlorophyll fluorescence and malonaldehyde (MDA) contents under 3 different drought stresses in a pot experiment. The result exhibited that, when increasing drought stress, plant height, the width of leaf and photosynthetic pigment contents decreased and root length and MDA contents enhanced. Drought stress induced the decrease of net photosynthesis (P_N), stomatal conductance (g_s), ratio of transpiration (E), the maximum fluorescence (F_m), the electron transport rate (ETR) and photochemical quenching (q_p) and an increase of ratio of intercellular CO_2 , intrinsic water use efficiency (WUE), the minimal fluorescence (F_o) and non-photochemical quenching

基金项目:国家自然科学基金(31070362)

收稿日期:2011-05-26; 修订日期:2011-08-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yueming@nwu.edu.cn

(NPQ). Meanwhile, the maximum quantum yield of photo-system II (PSII) (F_v/F_m) kept invariable under drought stress. Besides, the fitted indexes from photo-response curves of P_N showed that photosynthesis and photosynthetic capacity were progressively reduced under drought conditions. As a consequence, lower light intensity is required to saturate photosynthesis. Under these conditions, plants cannot use all the excess of light energy for photosynthesis, increasing the susceptibility of plants to photoinhibition. In this experiment, photosystem II was injured by severe drought, the quantum yield of photosystem II are significantly reduced by nonphysiologically low relative water contents when photoinhibition occurs, which may be the main cause restraining factors of photosynthesis. Electron transport is very resistant to drought and can remain unchanged during mild drought while it decreased when suffering severe drought stress. Summing up and obtains a conclusion, Gas-exchange data showed that the closure of stomata during drought stress, stomatal closure is one of the first responses to soil drying in *Psathyrostachys huashanica* Keng, and when drought stress increased, the photosynthetic apparatus was destroyed irreversible (Chlorophyll fluorescence parametres exhibited the functioning of the photosynthetic apparatus), and non-stomatal limitations may be the main inhibition of photosynthesis. Since *Psathyrostachys huashanica* Keng was distributed narrowly and disconnectedly and it's habitat is often on roadside or cliff or rock hollow (water deficit), namely quite rigorous, drought stress may be one of the main cause of the species endangered.

Key Words: *Psathyrostachys huashanica* Keng; drought stress; photosynthesis; photosynthetic characteristics

干旱是全球范围内限制农业生产的主要环境因素之一^[1],随着全球气候与环境的变化,加之降水季节和地域分布极不均匀,水资源短缺日趋明显,土壤有效含水量逐年减少,必将影响植物个体的生长、发育和繁殖^[2]。光合作用是植物最基本的生命活动,是植物合成有机质和获取能量的根本来源,且光合作用是干旱影响作物生长和代谢的第一环节^[3]。卜令铎等发现光合速率随干旱胁迫加强而不断下降是玉米受旱害减产的主要原因^[4],韩刚和赵忠发现在同等光合有效辐射下^[5],受到干旱胁迫时,4种沙生灌木净光合速降低。近年来,利用体内叶绿素作为天然探针,快速、灵敏且无损伤地测定植物活有机体内光合结构的功能,探测植物光合生理状况,并进而研究外界因子对植物光合作用的影响已成为保护生物学研究中的主要手段之一。在测定叶片光合作用的过程中,光系统对光能的吸收、传递、耗散和分配等“表观性”的气体交换指标有独特的作用,而叶绿素荧光参数更能反映其“内在性”^[6]。丙二醛(MDA)是膜脂过氧化作用的主要产物之一,具有很强的细胞毒性,对细胞膜和细胞中的许多分子如蛋白质、核酸和酶等有破坏作用,MDA的积累可能会影响植物的光合特性^[7]。

华山新麦草(*Psathyrostachys huashanica* Keng)属禾本科禾亚科大麦族新麦草属多年生草本植物,是小麦属的野生近缘种,具有抗病、抗旱、早熟等特点,这对探索小麦属植物的起源、进化、遗传育种等方面具有重要价值。该种仅分布于陕西华山的华山峪、黄浦峪和仙峪,目前已被列为国家Ⅰ级重点保护野生植物和急需保护的农作物野生亲缘种^[8]。华山新麦草多生长于岩石凹陷或空隙处的残积土上,生长环境的主要特点是:光照强,昼夜温差大,土壤贫瘠,含水量低^[9]。近年来对华山新麦草的研究主要集中在系统进化、杂交育种和生殖生物学等方面^[10-13],而关于华山新麦草叶片光合特性对干旱胁迫响应方面的研究尚未见报道,有必要从该方面对华山新麦草濒危原因进行研究。

本文选取华山新麦草进行盆栽梯度干旱胁迫试验,设置2个干旱胁迫梯度处理1个月,通过气体交换和叶绿素荧光参数的变化,试图了解华山新麦草叶片光合作用的光化学过程和非光化学过程中光能的吸收、传递和利用,以及光能利用率在叶绿素水平上的差异,同时考虑丙二醛积累对光合特性的影响,探讨华山新麦草叶片光合特性对水分胁迫的响应,为进一步保护华山新麦草这一野生种质资源,探讨其致濒原因提供参考理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试的华山新麦草于2009年6月通过种子萌发培育而成(华山新麦草种子由2009年6月华山峪、黄浦

峪野外采集),此后一直在温室中相同环境和相同栽培管理条件下生长,每盆 15 株均匀分布。

1.2 试验设计

选取长势良好且生长一致的华山新麦草 9 盆(上述通过种子萌发培育而成,所取华山新麦草处于生长期)于 2010 年 10—11 月在西北大学生物园温室中进行试验。试验分 3 组:正常供水对照组 CK(土壤含水量 30%),轻度干旱 L(土壤含水量 17%)和重度干旱 S(土壤含水量 4%),3 个处理梯度,各 3 次重复(土壤含水量梯度设置是根据先前的试验测定)。每盆(直径 28 cm,深 40 cm)的土壤重量(10 kg)和基质(沙:有机质:泥炭=1:1:2)一致,供试土壤理化性质为:田间持水量 20%,pH 值 7.3,有机质含量 2%,全氮 0.1%。每天 18:00 采用称重法补水控水并记录,处理期间除土壤水分有显著性差异外其它管理一致,处理一个月后进行试验测定。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 生长指标测定

生长指标测定项目包括株高、叶宽(叶的最宽与最窄处的平均)和根长(将花盆倒扣,去处土壤后将根洗净量取根长)。在 2010 年 11 月,干旱胁迫处理结束后使用游标卡尺进行测定,重复测定 5 次。

1.3.2 气体交换测量

气体交换参数采用 LI-6400 便携式光合测定仪(LI-COR, USA)测定,干旱胁迫结束后,11 月 7 日 9:00—11:30,取生长期第 3 片完全展开叶片,应用 LI-6400-02B 红蓝光源提供不同的光合有效辐射强度(PAR $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$),分别在 PAR 为 1000、800、600、400、300、200、100、50、20、0 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 的 10 个光强点下活体测定华山新麦草叶片净光合速率(P_N)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、气孔导度(g_s)和蒸腾速率(E),以 P_N/E 计算瞬时水分利用效率(WUE)。开放式气路,设定温度为 25℃, CO_2 浓度为 400 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,空气流速为 400 $\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$,每组处理随机选取 5 个叶片测定。

1.3.3 荧光参数测量

2010 年 11 月 8 日,叶绿素荧光参数采用 LI-6400(LI-COR, USA)便携式光合仪叶绿素荧光测定系统测定。选取生长期第 3 片完全展开且受光方向一致的叶片(叶片同光合),叶片暗适应 20 min 后,测定初始荧光(F_0)、最大荧光(F_m)和光系统 II 最大光化学效率(F_v/F_m),测定光适应下光合 R 电子传递速率(ETR),光化学猝灭系数(q_p),非光化学猝灭参数(NPQ)。以上各项参数的数据测定均进行 5 次重复(每组处理中随机选取 5 个叶片)。

1.3.4 叶绿素和类胡萝卜素含量的测定

2010 年 11 月 9 日,选取生长期第 3 片完全展开叶片,称取 0.1 g 叶片,剪成数段放入 50 mL 提取液(1:1 的无水乙醇和丙酮)中,在 25℃ 黑暗条件下提取 24 h,测定提取液在 663、645 和 470 nm 处的吸光值,叶绿素和类胡萝卜素含量按照李合生的公式计算^[14]。

1.3.5 丙二醛含量的测定

MDA 含量的测定参照 Heath 和 Packer^[15] 硫代巴比妥酸法。

1.4 数据分析

利用 STATISTICA 6.0 软件对数据进行单因素方差(ANOVA)处理和最小显著差异(Duncan's)检验。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对华山新麦草生长的影响

水分是影响植物生长发育的重要环境因子,表 1 显示了干旱对华山新麦草生长的影响。随着土壤水分下降,株高、叶宽显著降低,而根长显著增加。

2.2 干旱胁迫对光合特性参数的影响

2.2.1 气体交换参数

光合作用是干旱影响植物的首要环节,干旱对华山新麦草气体交换参数的影响如表 2 所示。随着土壤水

分胁迫的加强, P_N , g_s 和 E 显著降低, 而 C_i 和 WUE 则呈升高趋势。

表 1 干旱胁迫对华山新麦草生长指标的影响

Table 1 Effect of drought stress on growth parameters in <i>Psathyrostachys huashanica</i> Keng			
处理 Treatment	株高 Shoot height/cm	叶宽 leaf blade width/cm	根长 Root length/cm/
CK	33.47±0.97 a	0.56±0.04 a	14.70±3.04 c
L	27.17±0.78 b	0.45±0.02 b	17.30±3.50 b
S	24.13±0.65 c	0.38±0.04 c	19.53±3.11 a

不同的字母 a, b, c 表示 0.05 显著水平, $P<0.05$; CK: 对照; L: 轻度干旱 Light dry; S 重度干旱

表 2 干旱胁迫对气体交换参数的影响

Table 2 Effect of drought stress on gas-exchange parameters in <i>Psathyrostachys huashanica</i>					
处理 Treatment	净光合速率 $P_N(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	气孔导度 $g_s(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	胞间 CO_2 浓度 $C_i(\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1})$	蒸腾速率 $E(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	水分利用效率 WUE($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)
CK	11.21±0.02 a	0.10±0.00 a	683.15±49.15 b	3.33±0.46 a	1.97±0.11 b
L	7.08±0.46 b	0.07±0.00 b	837.63±66.61 b	2.96±0.16 a	3.66±0.02 a
S	1.80±0.45 c	0.02±0.01 c	1437.01±42.88 a	0.54±0.16 b	4.44±0.17 a

不同的字母 a, b, c 表示 0.05 显著水平, $P<0.05$

2.2.2 叶绿素、类胡萝卜素含量和叶绿素荧光参数

叶绿素和类胡萝卜素是植物光合作用必需的光合色素。图 1 表明, 随着干旱胁迫的加剧, 叶绿素 a, 叶绿素 b, 总叶绿素和类胡萝卜素含量均显著降低。

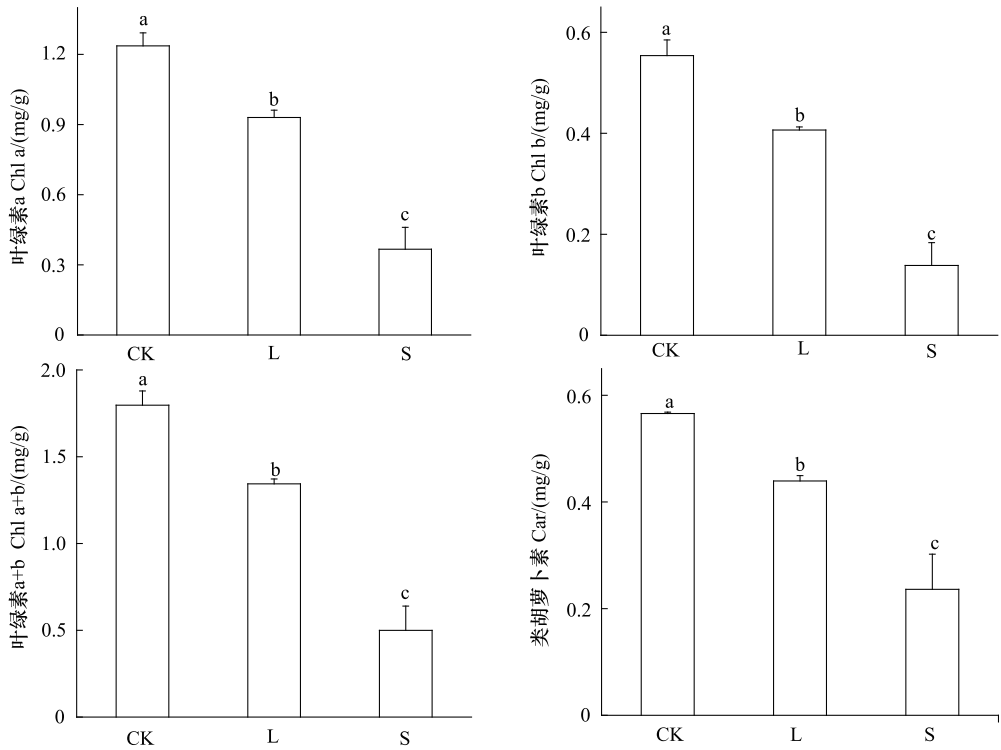


图 1 干旱胁迫对华山新麦草叶绿素含量的影响

Fig. 1 Effect of drought stress on chlorophyll contents in *Psathyrostachys huashanica* Keng

图中不同的字母 a, b, c 表示 0.05 显著水平; CK: 对照; L: 轻度干旱 Light dry; S 重度干旱

叶绿素荧光是植物光化学反应的指示物, 利用体内叶绿素作为天然探针可以快速、灵敏无损伤且不受气孔限制的探测光合系统的原初信息。水分胁迫下华山新麦草叶绿素荧光参数的变化如表 3 所示。 F_m ,

F_v/F_m , q_p 和 ETR 随土壤水分胁迫的升高而降低,而 F_o 和 NPQ 则升高。 F_v/F_m 3 种处理下无显著性差异,且都在正常范围内(0.75—0.85)。

表 3 干旱胁迫对华山新麦草叶绿素荧光参数的影响

Table 3 Effect of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters in <i>Psathyrostachys huashanica</i> Keng						
处理 Treatment	初始荧光 F_o	最大荧光 F_m	最大光化学效率 F_v/F_m	电子传递速率 ETR	光化学淬灭系数 q_p	非光化学淬灭系数 NPQ
CK	108.62±1.59 b	841.94±19.99 a	0.79±0.00 a	48.22±3.29 a	0.46±0.01 a	0.56±0.01 b
L	174.03±3.38 a	821.05±3.02 b	0.79±0.00 a	11.62±0.49 b	0.28±0.01 b	1.38±0.06 a
S	178.89±3.38 a	525.42±3.23 c	0.78±0.00 a	7.17±0.49 b	0.19±0.00 c	1.68±0.04 a

不同的字母 a,b,c 表示 0.05 显著水平, ($P<0.05$)

2.3 水分胁迫对叶片气体交换光响应特征的影响

利用净光合速率对光合有效辐射的光响应曲线可进一步对水分胁迫下的光合作用状态进行分析。水分胁迫下华山新麦草的光响应曲线如图 2 所示,随干旱胁迫的加强,华山新麦草净光合速率光响应峰值梯度递减,光饱和点减小,光抑制现象愈发严重。

利用非直角双曲线模型对华山新麦草的光合曲线进行拟合,得到相应的最大光合速率(P_{max})和表观量子效率(AQY),结果见表 4。随水分胁迫的下降, P_{max} 逐渐降低而 AQY 则呈现升高趋势。

表 4 华山新麦草净光合速率光响应的拟合参数

Table 4 Fitted parameters of photo-response curve of P_N in <i>Psathyrostachys huashanica</i> Keng		
处理 Treatment	最大净光合速率 $P_{max}/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	表观量子效率 $AQY/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$
CK	11.20	0.05
L	7.30	0.06
S	0.32	0.58

2.4 水分胁迫对丙二醛含量的影响

图 3 显示了水分胁迫下华山新麦草丙二醛含量的变化趋势。随土壤水分的降低丙二醛含量升高。

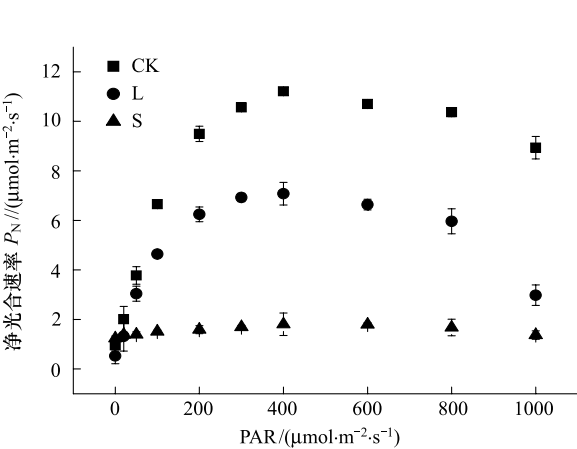


图 2 干旱胁迫下华山新麦草净光合速率的光响应曲线
Fig. 2 The photo-response curve of P_N in *Psathyrostachys huashanica* Keng

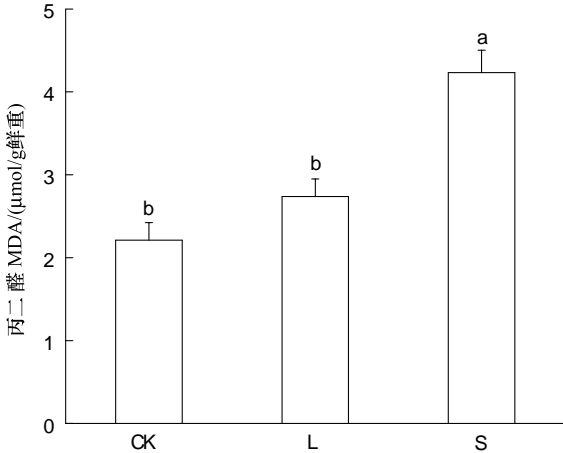


图 3 干旱胁迫对华山新麦草 MDA 含量的影响
Fig. 3 Effect of drought stress on MDA contents in *Psathyrostachys huashanica* Keng
a,b,c 表示 0.05 显著水平, ($P<0.05$)

3 讨论

干旱胁迫引起植物水分亏缺,延缓、停止或破坏植物的正常生长^[16],加快组织、器官和个体的衰老、脱落

或死亡,并通过抑制叶片伸展、影响或降低叶绿体光化学及生物化学活性等途径,使光合作用受到抑制^[17],进一步影响植物的生长发育。本研究中,轻度和重度干旱胁迫下,华山新麦草通过降低株高和叶面积的方式来降低蒸腾量、增加根长来吸收更多的水分以保证水资源的有效利用(表1)。MDA 是活性氧自由基对细胞膜脂质过氧化伤害的最终产物之一^[18],水分胁迫下,随着土壤含水量降低,MDA 含量升高(图3),MDA 是植物膜脂过氧化的产物,干旱胁迫下,植物细胞内活性氧自由基代谢失衡引起自由基的积累和膜脂质过氧化,使膜系统的结构和功能受到损伤,造成细胞伤害,进而影响叶片的光合作用,不利于植物生长发育^[19]。

近年来,大量研究表明水分胁迫通过气孔和非气孔因素影响植物的光合作用。Flexas 等认为水分胁迫下气孔关闭是光合作用强度降低的首要原因^[20],Dias 等研究表明 *Flaveria* 中 1.5-二磷酸核酮糖活性和再生能力的降低可能是光合作用的限制因素^[21]。本研究结合气体交换和叶绿素荧光参数的研究表明,华山新麦草叶片光合强度随干旱胁迫的加强而下降,轻度干旱胁迫下由气孔因素决定,且叶片水分利用效率随土壤水分下降而升高可能是华山新麦草在一定程度上抗旱的原因之一;而重度干旱胁迫下,叶片光合器官受到不可逆伤害,光合细胞活性降低,气孔在水分利用效率中的调节作用减弱,净光合速率和蒸腾速率均下降到很低水平,导致水分利用效率大幅降低,这和前人的研究结果是一致的^[4-5]。净光合速率反映了植物叶片的光合作用能力^[22],故非气孔限制成为降低光合作用能力的主导因素。

有研究表明,干旱胁迫可直接引发光合结构的异常,同时也影响与暗反应有关酶的活性及光合电子传递^[23]。本研究中随水分胁迫的加剧,华山新麦草叶片叶绿素和类胡萝卜素含量逐渐降低,光系统电子传递受阻,最大光合速率降低,说明干旱胁迫下,光系统受到破坏,光合电子传递被限制,光合色素吸收并用于光合作用的比例逐渐降低,导致热耗散的比例升高,这实质上是植物自身的保护策略之一。最大净光合速率反映了植物叶片的最大光合作用能力,同时光化学效率和量子利用效率降低(由表观量子效率降低决定,AQY 是反映植物在弱光下吸收、转化和利用光能能力的指标^[14],是光合作用中光能转化效率的指标之一),而非光化学淬灭明显升高显著降低了光能利用效率。同时由于蒸腾速率的降低(表2,表3),多余的光能无法用于光合电子传递及热耗散,造成光能在光系统内部的积累,引起光系统结构的破坏和光反应中心活性的降低,进一步影响植物的光合作用。而且光合色素含量减少,使叶肉细胞光合活性和叶片吸光强度降低也会影响叶片的光合。

4 结论

本研究表明,华山新麦草在水分胁迫下通过气孔限制降低净光合速率的下降,是其耐旱性的策略之一,但是随着水分胁迫程度的加剧,光合器官受到了不可逆的伤害,非气孔限制成为制约光合速率的主导因素,决定了光合作用的实际状态和潜力。由于华山新麦草多分布于陡峭的石壁或石壁空隙处的残积土上,其生境土壤贫瘠,含水量低,光照强且昼夜温差大,因此,推测经常性的干旱胁迫可能是华山新麦草濒危的原因之一。

References:

- [1] Cattivelli L, Rizza F, Badeck F W, Mazzucotelli E, Mastrangelo E A, Francia E, Marè C, Tondelli A, Stanca A M. Drought tolerance improvement in crop plants: an integrated view from breeding to genomics. *Field Crops Research*, 2008, 105(1/2): 1-14.
- [2] Ji L Z, Xiao D M, Wang M. Effects of simulated water stress on photosynthesis rate and WUE of *Fraxinus mandshurica*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(3): 408-412.
- [3] Ephrath J E. The effects of drought stress on leaf elongation, photosynthetic and transpiration rates in maize (*Zea mays* L.) leaves. *Photosynthetica*, 1991, 25(4): 607-619.
- [4] Bo L D, Zhang R H, Chang Y, Xue J Q, Han M M. Response of photosynthetic characteristics to water stress of maize leaf in seedling. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(5): 1184-1191.
- [5] Han G, Zhao Z. Light response characteristics of photosynthesis of four xerophilous shrubs under different soil moistures. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(15): 4019-4026.
- [6] Zhao L Y, Deng X P, Shan L. Effects of osmotic stress on chlorophyll fluorescence parameters of wheat seedling. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(7): 1261-1264.

- [7] He L L, Zu Y Q, Li Y, Wu Y S. Intraspecific differences in physiological responses of different wheat cultivars to enhanced UV-B radiation. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(1): 163-165.
- [8] Lu B R. Diversity and conservation of the triticeae genetic resources. *Chinese Biodiversity*, 1995, 3(2): 63-68.
- [9] Zhao L F, Li S, Pan Y, Yan G Q, Zhao G F. Population differentiation of *Psathyrostachys huashanica* along an altitudinal gradient detected by random amplified polymorphic DNA. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2001, 21(3): 391-400.
- [10] Sun G L, Yan J, Yang J L. Production and cytogenetic study of intergeneric hybrid between *Triticum aestivum* and *Psathyrostachys* species. *Acta Genetica Sinica*, 1992, 19(4): 322-326.
- [11] Liu Z L, Song Y, Li S, Zhao G F. Pollination phenology and an indirect estimate of gene flow in natural populations of *Psathyrostachys huashanica*. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, 25(4): 426-430.
- [12] Yue M, Zhang L J, Ma K, Zhao G F. Endangering reason and reproductive strategy of *Psathyrostachys huashanica* population. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(8): 1314-1320.
- [13] Baden C, Linde-Laursen I, Dewey D R. A new Chinese species of *Psathyrostachys* (Poaceae) with notes on its karyotype. *Nordic Journal of Botany*, 1990, 9(5): 449-460.
- [14] Li H S. The Theory and Technology of Plant Physiology and Biochemistry. Beijing: Higher Education Press, 2000: 130-132.
- [15] Heath R L, Packer L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 1968, 125(1): 189-198.
- [16] Rodiyati A, Arisoelaningsih E, Isagi Y, Nakagoshi N. Responses of *Cyperus brevifolius* (Rottb.) Hassk. and *Cyperus kyllingia* Endl. to varying soil water availability. *Environmental and Experimental Botany*, 2005, 53(3): 259-269.
- [17] Yin L, Hu T X, Liu Y A, Yao S F, Ma J, Liu W T, He C. Effect of drought stress on photosynthetic characteristics and growth of *Jatropha curcas* seedlings under different nitrogen levels. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(3): 569-576.
- [18] Qian Y Q, Sun Z Y, Han L, Ju G S, Liu J X, Cao L. Response of reactive oxygen and its scavenging system in leaves of *Buchloe dactyloides* (Nutt.) engelm to water stress. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(7): 1920-1926.
- [19] Flexas J, Bota J, Galmés J, Medrano H, Ribas-Carbó M. Keeping a positive carbon balance under adverse conditions: responses of photosynthesis and respiration to water stress. *Physiologia Plant*, 2006, 127(3): 343-352.
- [20] Li L, Staden J, Jäger A K. Effects of plant growth regulators on the antioxidant system in seedlings of two maize cultivars subjected to water stress. *Plant Growth Regulation*, 1998, 25(2): 81-87.
- [21] Dias M C, Brüggemann W. Differential inhibition of photosynthesis under drought stress in *Flaveria* species with different degrees of development of the C₄ syndrome. *Photosynthetica*, 2007, 45(1): 75-84.
- [22] Tartachnyk I I, Blanke M M. Effect of delayed fruit harvest on photosynthesis, transpiration and nutrient remobilization of apple leaves. *New Phytologist*, 2004, 164(3): 441-450.
- [23] Watling J R, Press M C, Quick W P. Elevated CO₂ induces biochemical and ultrastructural changes in leaves of the C₄ cereal sorghum. *Plant Physiology*, 2000, 123(3): 1143-1152.

参考文献:

- [2] 姬兰柱, 肖冬梅, 王森. 模拟水分胁迫对水曲柳光合速率及水分利用效率的影响. *应用生态学报*, 2005, 16(3): 408-412.
- [4] 卜令铎, 张仁和, 常宇, 薛吉全, 韩苗苗. 苗期玉米叶片光合特性对水分胁迫的响应. *生态学报*, 2010, 30(5): 1184-1191.
- [5] 韩刚, 赵忠. 不同土壤水分下 4 种沙生灌木的光合光响应特性. *生态学报*, 2010, 30(15): 4019-4026.
- [6] 赵丽英, 邓西平, 山仑. 渗透胁迫对小麦幼苗叶绿素荧光参数的影响. *应用生态学报*, 2005, 16(7): 1261-1264.
- [7] 何丽莲, 祖艳群, 李元, 吴淦生. 不同小麦品种对 UV-B 辐射增强响应的生理特性差异. *应用生态学报*, 2006, 17(1): 163-165.
- [8] 卢宝荣. 小麦族遗传资源的多样性及其保护. *生物多样性*, 1995, 3(2): 63-68.
- [9] 赵利锋, 李珊, 潘莹, 阎桂琴, 赵桂仿. 华山新麦草自然居群沿海拔梯度的遗传分化. *西北植物学报*, 2001, 21(3): 391-400.
- [10] 孙根楼, 颜济, 杨俊良. 普通小麦和新麦草属间杂种的产生及细胞遗传学研究. *遗传学报*, 1992, 19(4): 322-326.
- [11] 刘占林, 宋颐, 李珊, 赵桂仿. 华山新麦草开花物候期观测和自然种群基因流的间接估测. *植物生态学报*, 2001, 25(4): 426-430.
- [12] 岳明, 张林静, 马凯, 赵桂仿. 华山新麦草濒危原因及种群繁殖对策. *生态学报*, 2001, 21(8): 1314-1320.
- [14] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社, 2000: 130-132.
- [17] 尹丽, 胡庭兴, 刘永安, 姚史飞, 马娟, 刘文婷, 何操. 干旱胁迫对不同施氮水平麻疯树幼苗光合特性及生长的影响. *应用生态学报*, 2010, 21(3): 569-576.
- [18] 钱永强, 孙振元, 韩蕾, 巨关升, 刘俊祥, 曹丽. 野牛草叶片活性氧及其清除系统对水分胁迫的响应. *生态学报*, 2010, 30(7): 1920-1926.

CONTENTS

Responses of sandy beach nematodes to oxygen deficiency: microcosm experiments	HUA Er, LI Jia, DONG Jie, et al (3975)
Allometric relationship between mean component biomass and density during the course of self-thinning for <i>Fagopyrum esculentum</i> populations	LI Lei, ZHOU Daowei, SHENG Lianxi (3987)
Automatic site selection of sight-seeing route in ecotourism destinations based on landscape perception sensitivity	LI Jifeng, LI Renjie (3998)
Emergy evaluation for sustainability of Biogas-linked agriculture ecosystem: a case study of Gongcheng county	YANG Jin, CHEN Bin, LIU Gengyuan (4007)
Spatial heterogeneity of vegetation coverage and its temporal dynamics in desert steppe, Inner Mongolia	YAN Liang, ZHOU Guangsheng, ZHANG Feng, et al (4017)
Soil conservation value flow processes of two typical grasslands	PEI Sha, XIE Gadi, LI Shimei, et al (4025)
Spatial distribution of carbon storage in a 13-year-old <i>Pinus massoniana</i> forest ecosystem in Changsha City, China	WU Tao, PENG Chonghua, TIAN Dalun, et al (4034)
Colonization rate and diversity of AM fungi in the rhizosphere of seven medicinal plants in Xiamen	JIANG Pan, WANG Mingyuan (4043)
Effects of Cd, Low Concentration Pb/Cd on the contents of phenolic acid and simple glucides exuding from winter wheat seedlings root and the relationship between them and rhizosphere soil microbial activity	JIA Xia, DONG Suiming, ZHOU Chunjuan (4052)
The community structure of laccase-like multicopper oxidase-producing bacteria in soil of Liangshui Nature Reserve	ZHAO Dan, GU Huiqi, CUI Daizong, et al (4062)
Effects of soil rhizosphere microbial community and soil factors on arbuscular mycorrhizal fungi in different salinized soils	LU Xinping, DU Qian, YAN Yongli, et al (4071)
The effects of inoculation with phosphate solubilizing bacteria <i>Bacillus megaterium</i> C4 in the AM fungal hyphosphere on soil organic phosphorus mineralization and plant uptake	ZHANG Lin, DING Xiaodong, WANG Fei, et al (4079)
Soil carbon, nitrogen and phosphorus ecological stoichiometry of <i>Phragmites australis</i> wetlands in different reaches in Minjiang River estuary	WANG Weiqi, WANG Chun, ZENG Congsheng, et al (4087)
Dynamics of soil microbial biomass during early fine roots decomposition of three species in alpine region	WU Zhichao, WU Fuzhong, YANG Wanqin, et al (4094)
Effects of simulated precipitation on apparent carbon flux of biologically crusted soils in the Gurbantunggut Desert in Xinjiang, Northwestern China	WU Lin, SU Yangui, ZHANG Yuanming (4103)
Changes in photosynthetic properties, ultrastructure and root vigor of <i>Dendrobium candidum</i> tissue culture seedlings during transplantation	PU Xiaozhen, YIN Chunying, ZHOU Xiaobo, et al (4114)
Analysis of dry matter accumulation and translocation for winter wheat cultivars with different yields on dryland	ZHOU Ling, WANG Zhaohui, LI Fucui, et al (4123)
Impact evaluation of low temperature to yields of maize in Northeast China based on crop growth model	ZHANG Jianping, WANG Chunyi, ZHAO Yanxia, et al (4132)
Spatiotemporal variations in the reference crop evapotranspiration on the Loess Plateau during 1961—2009	LI Zhi (4139)
Eco-physiological responses of <i>Phragmites australis</i> to different water-salt conditions in Momoge Wetland	DENG Chunnuan, ZHANG Guangxin, LI Hongyan, et al (4146)
Comparative study of different earthworm sampling methods	FAN Ruqin, ZHANG Xiaoping, LIANG Aizhen, et al (4154)
Geographic variation in longevity and fecundity of the Asian corn borer, <i>Ostrinia furnacalis</i> Guenée (Lepidoptera: Crambidae)	TU Xiaoyun, CHEN Yuansheng, XIA Qinwen, et al (4160)
Analysis on grasshopper spatial heterogeneity and pattern of natural grass in upper reaches of Heihe	ZHAO Chengzhang, LI Lili, WANG Dawei, et al (4166)
Inhibition effects of ethyl acetate extracts of <i>Momordica charantia</i> leaves on the experimental population of <i>Spodoptera litura</i>	LOU Ying, LING Bing, XIE Jiefeng, et al (4173)
Feeding habits of <i>Lateolabrax maculatus</i> in Yangtze River estuary	HONG Qiaoqiao, ZHUANG Ping, YANG Gang, et al (4181)
Genetic structure of <i>Gymnodontichus pachycheilus</i> from the upper reaches of the Yellow River as inferred from mtDNA control region	SU Junhu, ZHANG Yanping, LOU Zhongyu, et al (4191)
Toxicity mechanism of Cadmium-induced reactive oxygen species and protein oxidation in testes of the frog <i>Rana nigromaculata</i>	CAO Hui, SHI Cailei, JIA Xiuying (4199)
The diversity of scarab beetles in grassland cattle dung from North China	FAN Sanlong, FANG Hong, GAO Chuanbu, et al (4207)
Spatial relationships among <i>Empoasca vitis</i> (Gothé) and <i>Toxoptera aurantii</i> (Boyer) and natural enemies in tea gardens of autumn-winter season in Hefei suburban	YANG Lin, GUO Hua, BI Shoudong, et al (4215)
Effects of vegetation, elevation and human disturbance on the distribution of large- and medium-sized wildlife: a case study in Jiuzhaigou Nature Reserve	ZHANG Yue, LEI Kaiming, ZHANG Yuke, et al (4228)
Research of typical EIPs based on the social network analysis	YANG Lihua, TONG Lianjun (4236)
Exergy-based life cycle accounting of household biogas system: a case study of Gongcheng, Guangxi	QI Jing, CHEN Bin, DAI Jing, et al (4246)
Review and Monograph	
The effects of changes in hydrological regimes and salinity on wetland vegetation: a review	ZHANG Guangxin (4254)
Advances in research on the seed bank of a saline-alkali meadow in the Songnen Plain	MA Hongyuan, LIANG Zhengwei, LÜ Bingsheng, et al (4261)
A new landscape expansion index: definition and quantification	WU Pengfei, ZHOU Demin, GONG Huili (4270)
Scientific Note	
Response of photosynthetic characteristics of <i>Psathyrostachys huashanica</i> Keng to drought stress	LI Qian, WANG Ming, WANG Wenwen, et al (4278)
The antifouling activities of <i>Callyspongia</i> sponge extracts	CAO Wenhao, YAN Tao, LIU Yonghong, et al (4285)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,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,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 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 32 卷 第 13 期 (2012 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 13 (July, 2012)

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:100071	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 70.00 元