

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

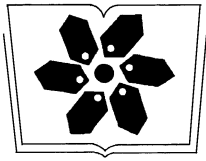
(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 1 期
Vol.31 No.1
2011



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 31 卷 第 1 期 2011 年 1 月 (半月刊)

目 次

青藏高原东缘林线杜鹃-岷江冷杉原始林的空间格局	缪 宁, 刘世荣, 史作民, 等 (1)
季风常绿阔叶林不同恢复阶段藤本植物的物种多样性比较	李帅锋, 苏建荣, 刘万德, 等 (10)
越冬和复苏时期太湖水体蓝藻群落结构的时空变化	顾婷婷, 孔繁翔, 谭 啸, 等 (21)
海南新村湾海草床主要鱼类及大型无脊椎动物的食源	樊敏玲, 黄小平, 张大文, 等 (31)
广西涠洲岛造礁珊瑚种群结构的空间分布	梁 文, 张春华, 叶祖超, 等 (39)
宽窄行栽植模式下三倍体毛白杨根系分布特征及其与根系吸水的关系	席本野, 王 烨, 贾黎明, 等 (47)
干旱河谷-山地森林交错带土壤水分与养分特征	刘 彬, 罗承德, 张 健, 等 (58)
信号分子水杨酸减缓干旱胁迫对紫御谷光合和膜脂过氧化的副效应	易小林, 杨丙贤, 宗学凤, 等 (67)
UV-B 辐射对南方红豆杉生活史型和紫杉烷类含量的影响	于景华, 李德文, 庞海河, 等 (75)
模拟氮沉降对石栎和苦槠幼苗土壤呼吸的影响	李 凯, 江 洪, 由美娜, 等 (82)
环渤海湾地区连作苹果园土壤中酚酸类物质变化	孙海兵, 毛志泉, 朱树华 (90)
不同施肥方法对马来沉香和土沉香苗期根系生长的影响	王 冉, 李吉跃, 张方秋, 等 (98)
秋华柳和枫杨幼苗对镉的积累和耐受性	贾中民, 魏 虹, 孙晓灿, 等 (107)
祁连山北坡退化林地植被群落的自然恢复过程及土壤特征变化	赵成章, 石福习, 董小刚, 等 (115)
中国北方农牧交错带 C3 草本植物 $\delta^{13}\text{C}$ 与温度的关系及其对水分利用效率的指示	刘贤赵, 王国安, 李嘉竹, 等 (123)
不同退耕模式细根(草根)分解过程中 C 动态及土壤活性有机碳的变化	荣 丽, 李守剑, 李贤伟, 等 (137)
黑龙江省完达山东部林区东北虎猎物生物量	周绍春, 张明海, 孙海义 (145)
生态保护项目对大熊猫栖息地的影响	张玉波, 王梦君, 李俊清 (154)
石灰和 EM 处理条件下土壤动物群落在落叶分解中的变化	高梅香, 张雪萍 (164)
基于 EPG 的麦长管蚜、麦二叉蚜和禾谷缢管蚜取食行为比较	苗 进, 武予清, 郁振兴, 等 (175)
对映-贝壳杉烷型二萜类化合物对土壤纤毛虫群落的毒性效应	宁应之, 杜海峰, 王红军 (183)
红脂大小蠹种群空间格局地统计学分析及抽样技术	潘 杰, 王 涛, 宗世祥, 等 (195)
山西不同生态型大豆种质资源蛋白亚基的变异	王燕平, 李贵全, 郭数进, 等 (203)
施肥和覆膜垄沟种植对旱地小麦产量及水氮利用的影响	李廷亮, 谢英荷, 任苗苗, 等 (212)
近 40a 甘肃省气候生产潜力时空变化特征	罗永忠, 成自勇, 郭小芹 (221)
基于 GIS 的农村住区生态重要性空间评价及其分区管制——以兴国县长冈乡为例	谢花林, 李秀彬 (230)
农户收入差异对生活用能及生态环境的影响——以江汉平原为例	杨 振 (239)
河北省耕地生态经济系统能值指标空间分布差异及其动因	王 千, 金晓斌, 周寅康, 等 (247)
土地利用对石漠化地区土壤团聚体有机碳分布及保护的影响	罗友进, 魏朝富, 李 渝, 等 (257)
专论与综述	
景观格局-土壤侵蚀研究中景观指数的意义解释及局限性	刘 宇, 吕一河, 傅伯杰 (267)
美国煤矿废弃地的生态修复	张成梁, B. Larry Li (276)
农田土壤食物网管理的原理与方法	陈云峰, 胡 诚, 李双来, 等 (286)
学术信息与动态	
旱地、荒漠和荒漠化: 探寻恢复之路 —— 第三届国际荒漠化会议述评	吕一河, 傅伯杰 (293)

信号分子水杨酸减缓干旱胁迫对紫御谷光合和膜脂过氧化的副效应

易小林¹, 杨丙贤², 宗学风², 李名扬^{1,*}

(1. 西南大学园艺园林学院, 重庆 400716;

2. 西南大学农学与生物科技学院/农业部生物技术与作物品质改良重点开放实验室, 重庆 400716)

摘要:为研究信号分子水杨酸(SA)对干旱胁迫下紫御谷光合和膜脂过氧化的影响,为SA应用于紫御谷抗旱育苗提供理论依据,测定分析了SA处理对干旱胁迫下紫御谷幼苗叶片光合和膜脂过氧化相关指标的变化。结果表明:(1)干旱胁迫破坏了紫御谷叶绿体的膜结构,使基粒数量明显减少,垛叠不明显,排列比较松散,而SA处理能在一定程度上保护叶绿体的膜结构。(2)干旱胁迫降低了紫御谷幼苗叶片的叶绿素b和总叶绿素含量,而SA处理能提高干旱胁迫下紫御谷幼苗叶片的叶绿素a、叶绿素b、总叶绿素和胡萝卜素含量。(3)干旱胁迫降低了叶片的净光合速率、气孔导度、蒸腾速率、光饱和点和暗呼吸速率,增加了叶片的光补偿点、CO₂饱和点、CO₂补偿点和光呼吸速率,而SA处理则增加了紫御谷幼苗叶片的净光合速率、气孔导度、光饱和点和暗呼吸速率,降低了紫御谷幼苗叶片的光补偿点、CO₂饱和点、CO₂补偿点和光呼吸速率。(4)干旱胁迫降低了紫御谷幼苗叶片的 F_v/F_m 和 Φ_{psII} ,显著增加了叶片的相对电导率和丙二醛含量,而SA处理则增加了幼苗叶片的 F_v/F_m 和 Φ_{psII} ,降低了叶片的相对电导率和丙二醛含量。表明:信号分子水杨酸能够有效减缓干旱胁迫对紫御谷光合和膜脂过氧化的影响。

关键词:紫御谷;干旱胁迫;水杨酸;光合特性;膜脂过氧化

Signal chemical salicylic acid mitigates the negative effects of drought on photosynthesis and membrane lipid peroxidation of purple majesty

YI Xiaolin¹, YANG Bingxian², ZONG Xuefeng², LI Mingyang^{1,*}

1 College of Horticulture and Landscape Architecture, Southwest University, Chongqing 400716, China

2 College of Agronomy and Biotechnology, Southwest University/The Key Laboratory of Biotechnology and Crop Quality Improvement of Agricultural Ministry of China, Chongqing 400716, China

Abstract: Purple majesty (*Pennisetum glaucum*) named as pearl millet belongs to *Poaceae*, *Pennisetum*. Purple majesty as an important cereal crops was once grown as livestock feed in the world, but now is widely been grown as ornamental plant. Up to day, most studies are concentrated in evaluating and screening cultivars, but the research related biological characteristics is less. In the present study, purple majesty was used to study the effect of signal chemical salicylic acid on photosynthetic characteristics, chlorophyll fluorescence parameters and membrane lipid peroxidation under drought stress. Purple majesty seedlings with four to five leaves were treated with signal chemical salicylic acid and drought stress. Photosynthetic and chlorophyll fluorescence parameters were determined by LI-6400, membrane lipid peroxidation parameters were determined by chemical method and chloroplast membrane structure were observed by electron microscope. The results showed that: (1) Drought stress could destroy the chloroplast membrane structure, decrease the number of chloroplast grana, obscure the grana stacking and loose the array of grana lamella, while salicylic acid could protect chloroplast membrane structure; (2) Drought stress reduced the contents of chlorophyll b and total chlorophyll while salicylic acid increased the contents of chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll and carotene under drought stress;

基金项目:重庆市建委“十一五”科技基金项目资助(城科学2007第53号)

收稿日期:2010-06-24; 修订日期:2010-11-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: limy@swu.edu.cn

(3) Drought stress reduced the net photosynthesis rate (P_n), transpiration rate (Tr) and stomatal conductance (G_s), the light saturation point (LSP) and dark respiration rate, and increased the light compensation point (LCP), the CO_2 saturation point (CSP), the CO_2 compensation point (CCP) and light respiration rate significantly, while salicylic acid increased the net photosynthesis rate (P_n), transpiration rate (Tr), the light saturation point (LSP) and dark respiration rate, and reduced the light compensation point (LCP), the CO_2 saturation point (CSP), the CO_2 compensation point (CCP) and light respiration rate significantly; (4) Drought stress reduced the photochemical efficiency of PS II (F_v/F_m) and actual photochemical efficiency of PS II (Φ_{PSII}), and increased the relative conductivity of leaves and the content of malondialdehyde (MDA), while salicylic acid increased the photochemical efficiency of PS II (F_v/F_m) and actual photochemical efficiency of PS II (Φ_{PSII}), and reduced the relative conductivity of leaves and the content of malondialdehyde (MDA). All the results showed that Signal chemical salicylic acid mitigates the negative effects of drought on photosynthesis and membrane lipid peroxidation of purple. The present study provides a reference for seedling preparation and field plantation of pearl millet under drought condition and for the screening of drought-tolerant and water-saving cultivars.

Key Words: Purple Majesty; drought stress; salicylic acid; photosynthetic; membrane lipid peroxidation

水分胁迫可导致植物体内水分代谢失调,植物体发生一系列形态及生理生化指标的变化,最显著特征之一是叶绿体膜结构的破坏,叶绿素含量降低^[1]。水杨酸(salicylic acid, SA)作为苯丙氨酸的代谢产物,是一种广泛存在于植物体内的信号分子。已经证明,水杨酸参与了调节植物抗病、抗盐、抗冷、抗旱以及抗热等多个抗逆生理过程^[2-5]。束良佐等的研究发现,水杨酸浸种可增强水分胁迫下玉米幼苗叶片的光合速率,减轻对其伤害^[6]。在葡萄幼苗中,水杨酸可通过提高葡萄叶片对膜脂过氧化的抗性来诱导其对干旱胁迫的抗性^[7]。

紫御谷(*Pennisetum glaucum* 'Purple Majesty'),又名“珍珠粟”,禾本科,狼尾草属植物。原用于畜牧饲料种植,是重要的热带食用禾谷类作物^[8-11],目前主要作为观赏草。紫御谷被引种到中国后,凭借其叶片呈紫色、花穗修长、富有野趣特征等优良观赏性状,正在各地城市园林绿化中迅速推广,逐渐成为国内城市绿化中的重要地被植物,但相关研究较少,现有的研究多集中在评价筛选和生物学特性方面^[12-14]。重庆属于园林草坪草生长的“过渡地带”,该地区具有“冬冷夏热”的特点。无论是暖季型草坪还是冷季型草坪,都面临着重庆夏季严重高温伏旱问题,大多数草坪草很难适应这种恶劣的夏季高温伏旱气候。另一方面,随着城市水资源的日益紧张,节水型园林也主张选用耐旱型草坪。本文以紫御谷为材料,研究了水杨酸对于干旱胁迫下紫御谷幼苗叶片光合和膜脂过氧化的影响,一方面,为紫御谷在重庆抗旱育苗种植提供参考,进一步丰富重庆园林的草坪草地被资源;另一方面,为抗旱节水型园林地被资源筛选提供科学参考和依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料及处理方法

幼苗培养 紫御谷种子购买自美国泛美种子公司。选取饱满均一的紫御谷种子,用德国维特介质进行穴盘育苗,选取出芽一致的幼苗连同育苗介质转移到盆钵里面,盆钵介质以波罗的海苔藓泥炭(*Sphagnum peat moss*)为主要原料。光照 12 h, 光照强度 3000 lx, 昼夜温度 30℃/22℃ 条件下培养至四叶一心,进行水杨酸处理和干旱胁迫处理。

水杨酸(SA)处理 SA 为分析纯,蒸馏水溶解后,pH 值用 1 mol/L NaOH 调至 6.8,配成 100 mmol/L 母液,使用前配成 0.5 mmol/L。在进行干旱胁迫处理前 24 h,用去离子水(H_2O)和 0.5 mmol/L 的 SA 分别喷施叶面。以未做任何处理的幼苗为对照(CK)。

干旱胁迫处理 采用 25% 的聚乙二醇(PEG 6000)浇灌幼苗,模拟干旱胁迫处理 7d 后取样,测定光合和膜脂过氧化的相关指标。

1.2 光合色素含量的测定

光合色素的含量采用萧浪涛等^[15]的方法,用 Wetstein 公式计算叶绿素和类胡萝卜素的含量。

1.3 光合特性的测定

每份材料随机选取生长相对一致的单株各 5 株,用美国 LI-6400 型光合作用测定仪进行测定。于 9:00 时开始测定,测定最上面一片全展叶,叶室面积为 6 cm²。使用红、蓝光源。

光合速率测定 在光强 500 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 下,测定净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间二氧化碳浓度(C_i)和蒸腾速率(Tr),每株重复测定 3 次,取其平均值。测量时温度为 30℃,CO₂浓度为 400 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 。

光合-光响应曲线测定 从 0—1000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 设置 9 个光照强度(0、25、50、100、200、400、600、800、1000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$),CO₂浓度恒定为 400 $\mu\text{mol}/\text{mol}$,用钢瓶控制。

光合-CO₂响应曲线测定 设置 8 个 CO₂浓度梯度(25、50、100、200、400、600、800、1000 $\mu\text{mol}/\text{mol}$),光强恒定为 500 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。用叶子飘等^[16-17]的方法模拟光响应曲线和 CO₂响应曲线计算出光补偿点、光饱和点和 CO₂补偿点、CO₂饱和点。

叶绿素荧光动力学参数测定 叶绿素荧光动力学参数测定参照冯大兰等^[18]的方法。用 LI-6400 光合作用测定仪和荧光叶室 6400-40(美国, Li-Cor 公司)测定健康剑叶,每份材料随机选取生长相对一致的单株各 5 株,测定的荧光参数包括初始荧光(F_0),PS II 的最大光能转化效率(F_v/F_m),光下实际光化学效率(Φ_{PSII})。用以下公式计算: $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$; $\Phi_{\text{PSII}} = (F_m' - F_s)/F_m'$ 。

1.4 膜脂过氧化指标测定

电解质渗漏率用 DDS-11A 型电导仪法测定;丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸法。

1.5 叶绿体电镜样品的制备与观察

将叶片切成 1 mm 宽的长条,2.5% 戊二醛预固定 4h。用 0.1 mol/LPBS 漂洗 2 次,每次 10 min,1% 锇酸后固定 2 h。再用 0.1 mol/LPBS 漂洗 3 次,每次 30 min。丙酮梯度脱水,环氧树脂 618 包埋,半薄切片定位,超薄切片机切片,切片进行铀染和铅染。用荷兰飞利浦 TECNAI10 电子显微镜观察叶绿体超微结构。

2 结果与分析

2.1 水杨酸对干旱胁迫下紫御谷叶片叶绿体超微结构的影响

叶绿体超微结构观察表明,对照的紫御谷叶片中,叶绿体呈长梭型,基粒丰富,基质浓厚,基粒片层垛叠较厚,且排列紧密(图 1a)。干旱胁迫处理后,叶绿体基粒数量明显减少,基粒的垛叠不明显,且基粒片层排列比较松散(图 1c),说明干旱胁迫使叶绿体的膜结构遭到破坏。而 0.5 mmol/L 的 SA 处理紫御谷幼苗叶片,在干旱胁迫条件下,叶绿体膜结构相对完整,基粒片层较紧密(图 1b),该结果表明 SA 能有效保护叶绿体的膜结构。

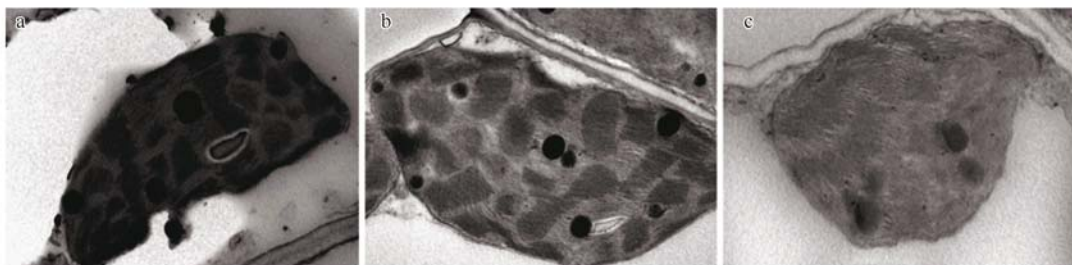


图 1 紫御谷叶片叶绿体超微结构($\times 17500$)

Fig. 1 Chloroplast ultra-structure of the Purple Majesty ($\times 17500$)

a: CK; b: SA 处理; c: 干旱胁迫处理

2.2 水杨酸对干旱胁迫下紫御谷叶片光合色素含量的影响

与对照比较,干旱胁迫下紫御谷叶片的叶绿素 b 和总叶绿素含量下降,二者之间的差异达到极显著水平,

而水杨酸处理能极显著提高干旱胁迫下紫御谷叶片的叶绿素 b、总叶绿素和胡萝卜素含量(表 1)。

表 1 紫御谷叶片光合色素含量

Table 1 The content of photosynthetic pigments in leaves of Purple Majesty

材料 Material	叶绿素 a Chl a /(mg/g 鲜重)	叶绿素 b Chl b /(mg/g 鲜重)	总叶绿素 Total Chl /(mg/g 鲜重)	胡萝卜素 Car /(mg/g 鲜重)
对照 CK	1.019 ± 0.002A	0.329 ± 0.04A	1.348 ± 0.08 B	0.190 ± 0.03B
干旱胁迫处理 Drought stress treatment	1.009 ± 0.031A	0.258 ± 0.02B	1.267 ± 0.08C	0.190 ± 0.02B
SA 处理 SA treatment	1.114 ± 0.091A	0.273 ± 0.00C	1.387 ± 0.17 A	0.227 ± 0.02A

不同大写字母表示差异在 $P=0.01$ 水平达到极显著

2.3 水杨酸对干旱胁迫下紫御谷叶片光合参数的影响

由表 2 可以看出,干旱胁迫下,紫御谷叶片的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率均低于对照,分别比对照低 29.8%,13.7% 和 11.5%,其中净光合速率、气孔导度差异极显著,而叶片胞间 CO_2 浓度则极显著高于对照。水杨酸处理能极显著增加紫御谷叶片的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率。

表 2 紫御谷幼苗叶片的光合参数

Table 2 Photosynthetic characters of Purple Majesty leaves

材料 Material	净光合速率 $P_n/(\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	气孔导度 $G_s/(\text{molH}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	蒸腾速率 $Tr/(\text{mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	胞间 CO_2 浓度 $C_i/(\mu\text{molCO}_2/\text{mol})$
对照 CK	12.1 ± 0.09A	0.0585 ± 0.002B	1.597 ± 0.043B	50.33 ± 1.12 C
干旱胁迫处理 Drought stress treatment	8.50 ± 0.54B	0.0505 ± 0.0001C	1.413 ± 0.037B	111.00 ± 1.24 B
SA 处理 SA treatment	11.7 ± 0.26A	0.0817 ± 0.0004A	2.157 ± 0.152A	131.02 ± 1.54 A

P_n : net photosynthesis rate; G_s : stomatal conductance; Tr : transpiration rate; C_i : CO_2 concentration of intercellular space; 不同大写字母表示差异在 $P=0.01$ 水平达到极显著

2.4 水杨酸对干旱胁迫下紫御谷叶片的光响应曲线及拟合参数的影响

干旱胁迫下,紫御谷幼苗叶片的光响应曲线及拟合参数见图 2 和表 3。由图 2 可知,当 CO_2 浓度恒定时,在一定范围内净光合速率(P_n)随着光强(PFD)的增加而快速提升,对照上升速度快于干旱胁迫和 SA 处理的。当光强达到 $400 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,所有材料的净光合速率提升速度明显放缓。

拟合参数(表 3)结果表明,干旱胁迫处理后紫御谷幼苗叶片的光补偿点是 $11.62 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,显著高于对照的 $11.02 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 SA 处理的 $9.23 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。而其光饱和点是 $735.75 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,显著低于对照的 $898.95 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 SA 处理后的 $822.02 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。同样地,干旱胁迫处理后紫御谷幼苗叶片的暗呼吸速率为 $1.045 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,显著低于对照的 $1.088 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 SA 处理后的 $1.314 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。表 3 的

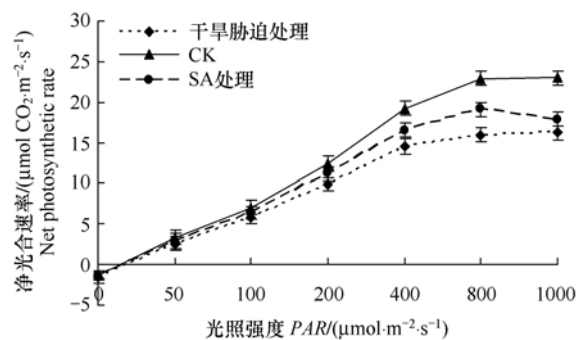


图 2 紫御谷幼苗叶片的光响应曲线

Fig. 2 Photosynthesis-light response curve of Purple Majesty leaves

表 3 紫御谷叶片光响应曲线拟合参数

Table 3 Fitted parameters to photosynthesis-light response curve of Purple Majesty leaves

材料 Material	光补偿点 $LSP/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	光饱和点 $LCP/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	暗呼吸速率 $R_d/(\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$
对照 CK	11.02 ± 0.31A	898.95 ± 3.17A	1.088 ± 0.0010 B
干旱胁迫处理 Drought stress treatment	11.62 ± 0.24B	735.75 ± 2.16B	1.045 ± 0.0012C
SA 处理 SA treatment	9.23 ± 0.19C	822.02 ± 2.51C	1.314 ± 0.0020 A

LSP: the light saturation point; LCP: the light compensation point; R_d : dark respiration rate; 不同大写字母表示差异在 $P=0.01$ 水平达到极显著

结果说明,干旱胁迫处理增加了紫御谷幼苗叶片的光补偿点,降低了光饱和点和暗呼吸速率。而用 SA 处理干旱胁迫下的紫御谷幼苗叶片,则可有效降低其光补偿点,增加光饱和点和暗呼吸速率。

2.5 水杨酸对干旱胁迫下紫御谷幼苗叶片 CO₂ 响应曲线及拟合参数的影响

干旱胁迫下,紫御谷幼苗叶片的 CO₂ 曲线及拟合参数见图 3 和表 4。在光强恒定情况下,CO₂ 浓度在 25—400 μmolCO₂/mol 之间时,对照、干旱胁迫处理后紫御谷幼苗叶片净光合速率快速上升,变化趋势基本一致。拟合参数结果表明,干旱胁迫处理后紫御谷幼苗叶片的 CO₂ 补偿点是 17.61 μmolCO₂/mol,显著高于对照的 14.62 μmolCO₂/mol 和 SA 处理的 15.14 μmolCO₂/mol。而其 CO₂ 饱和点是 889.13 μmolCO₂/mol,显著高于对照的 794.72 μmolCO₂/mol 和 SA 处理后的 639.46 μmolCO₂/mol。同样地,干旱胁迫处理后紫御谷幼苗叶片的光呼吸速率为 4.36 μmolCO₂·m⁻²·s⁻¹,显著高于对照的 2.99 μmolCO₂·m⁻²·s⁻¹ 和 SA 处理后的 3.32 μmolCO₂·m⁻²·s⁻¹。表 3 的结果说明,干旱胁迫处理增加了紫御谷幼苗叶片的 CO₂ 补偿点,CO₂ 饱和点和光呼吸速率。而用 SA 处理可有效降低干旱胁迫下的紫御谷幼苗叶片的 CO₂ 补偿点,CO₂ 饱和点和光呼吸速率。

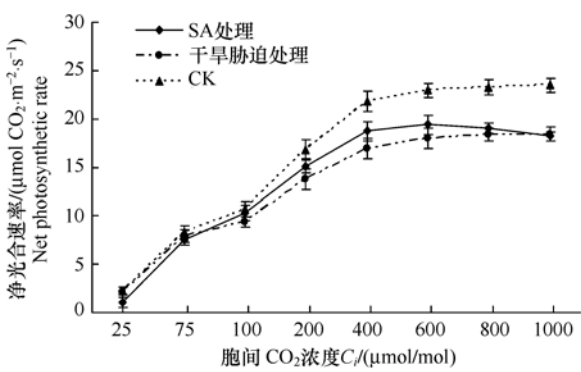


图3 紫御谷幼苗叶片的 CO₂ 响应曲线

Fig. 3 Photosynthesis-CO₂ response curve of Purple Majesty leaves

表 4 紫御谷幼苗叶片 CO₂ 响应曲线拟合参数

Table 4 Fitted parameters to CO₂-response curve of Purple Majesty leaves

材料 Material	CO ₂ 补偿点 CCP/(μmolCO ₂ /mol)	CO ₂ 饱和点 CSP/(μmolCO ₂ /mol)	光呼吸速率 R _p /(μmolCO ₂ ·m ⁻² ·s ⁻¹)
对照 CK	14.62 ± 0.57A	794.72 ± 4.12A	2.99 ± 0.010A
干旱胁迫处理 Drought stress treatment	17.61 ± 0.38B	889.13 ± 4.01C	4.36 ± 0.012B
SA 处理 SA treatment	15.14 ± 0.66C	639.46 ± 3.87B	3.32 ± 0.011B

CCP: the CO₂ compensation point; CSP: the CO₂ saturation point; R_p: light respiration rate

2.6 水杨酸对干旱胁迫下紫御谷叶片叶绿素荧光动力学参数的影响

叶绿素荧光效应能精确地探测到植物体内在各种信息,初始荧光(F₀)是光系统Ⅱ(PSⅡ)反应中心处于完全开放时的荧光产量,它与叶片叶绿素浓度有关^[19]。F_v/F_m是常用于度量植物 PSⅡ 活性的重要指标,表示 PSⅡ 最大光化学量子产量,反映 PSⅡ 反应中心光能转换效率^[20]。本研究中,干旱胁迫和 SA 处理下紫御谷幼苗叶片的 F₀ 分别为对照的 78.9% 和 82.4%,差异显著(表 5)。干旱胁迫处理的紫御谷幼苗叶片的 F_v/F_m 为 0.763,低于对照的 0.771 和 SA 处理的 0.796,但差异不显著。说明干旱胁迫对 PSⅡ 损伤不大。

Φ_{PSII}表示实际光化学量子产量,它反映 PSII反应中心在部分关闭情况下的实际原初光能捕获效率。从表 5 可以看出,干旱胁迫处理的紫御谷幼苗叶片的 Φ_{PSII} 为 0.701,显著低于对照的 0.728 和 SA 处理的 0.732。

表 5 紫御谷幼苗叶片的叶绿素荧光动力学参数

Table 5 Chlorophyll fluorescence kinetic parameters of Purple Majesty leaves

材料 Material	初始荧光 F ₀	光化学量子效率 F _v /F _m	光下 PSⅡ 实际光化学效率 Φ _{PSII}
对照 CK	68.93 ± 3.13a	0.771 ± 0.011A	0.728 ± 0.003a
干旱胁迫处理 Drought stress treatment	54.40 ± 4.57b	0.763 ± 0.023A	0.701 ± 0.011b
SA 处理 SA treatment	56.83 ± 1.24b	0.796 ± 0.002A	0.732 ± 0.007a

不同小写字母表示差异达到 5% 的显著水平; F₀: basic fluorescence; F_v/F_m: photochemical efficiency of PSⅡ; Φ_{PSII}: actual photochemical efficiency of PSⅡ

2.7 水杨酸对干旱胁迫下紫御谷叶片电导率和丙二醛含量的影响

表 6 的结果表明,干旱胁迫使紫御谷叶片的相对电导率和膜脂过氧化产物丙二醛含量均增加,且差异极显著,说明干旱胁迫破坏了紫御谷叶片的膜结构。而 SA 处理能够降低干旱胁迫下紫御谷叶片相对电导率和丙二醛含量的增加,表明外施 SA 对紫御谷叶片膜结构具有一定的保护作用。

表 6 紫御谷幼苗叶片的电导率和丙二醛含量

Table 6 The electrolytes leakage and MDA content of Purple Majesty leaves

材料 Material	相对电导率 Relative conductivity/%	丙二醛含量 Malondialdehyde/(mmol/mg 鲜重)
对照 CK	17.65 ± 0.404C	2.845 ± 0.021B
干旱胁迫处理 Drought stress treatment	33.33 ± 1.807A	2.905 ± 0.020A
SA 处理 SA treatment	25.52 ± 0.055B	2.878 ± 0.011AB

不同大写字母表示差异在 $P=0.01$ 水平达到极显著

3 讨论

3.1 信号分子水杨酸减缓干旱胁迫对紫御谷膜脂过氧化的副效应

在正常情况下,细胞内活性氧的产生和清除处于动态平衡状态,活性氧水平很低,不会伤害细胞。当植物处于逆境胁迫下,体内超氧自由基(O_2^-)、羟自由基($\cdot OH$)和过氧化氢(H_2O_2)等活性氧积累,这个动态平衡被打破。这些活性氧积累会引起生物大分子的破坏,启动膜脂过氧化作用,从而使植物体内积累膜脂过氧化产物—丙二醛(MDA)。随着膜伤害的发生,膜内的可溶性物质、电解质大量渗漏。因此,MDA 和电解质渗漏率即电导率是植物受伤害的两个重要的生理指标。MDA 含量越多,电导率越大,说明植物受伤害的程度越大。本实验研究发现,干旱胁迫极显著增加了叶片的相对电导率和膜脂过氧化产物丙二醛的含量。而 SA 处理能降低干旱胁迫下紫御谷叶片的相对电导率和膜脂过氧化产物丙二醛的含量,对叶片膜结构具有一定的保护作用。叶绿体超微结构观察也具有—致性,干旱胁迫处理后叶绿体的膜结构遭到破坏,叶绿体基粒数量明显减少,基粒的垛叠不明显,且基粒片层排列比较松散(图 1c),而 0.5 mmol/L 的 SA 处理紫御谷幼苗叶片能有效保护叶绿体的膜结构,使叶绿体膜结构相对完整,基粒片层较紧密(图 1b)。

3.2 信号分子水杨酸减缓干旱胁迫对紫御谷光合的副效应

干旱胁迫对植物的生长、光合作用、呼吸作用、营养代谢、激素调节和渗透势等产生不良影响^[21-23]。光合作用是植物体内极为重要的代谢过程,它的强弱对于植物生长、产量及其抗逆性都具有十分重要的影响,因而可用光合作用作为判断植物生长和抗逆性强弱的指标。干旱胁迫主要通过气孔和非气孔因素抑制植物的光合作用,前者使 C_i (胞间二氧化碳浓度)降低,后者使 C_i 升高^[24-25]。在本研究中,干旱胁迫 7d 条件下,紫御谷幼苗叶片叶绿体膜结构受到破坏,叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素含量,净光合速率、气孔导度同步下降,而胞间二氧化碳浓度却显著增加,这说明叶片光合速率下降不是由于气孔导度下降导致 CO_2 供应减少所致,而是可能是由于非气孔因素阻碍了 CO_2 的利用。通过扫描电镜观察叶绿体的超微结构,证实了上述推测,即干旱胁迫导致了光合器官受到一定程度的破坏。SA 处理使干旱胁迫下叶片的净光合速率、气孔导度和胞间二氧化碳都增加,说明此时叶片光合速率的上升主要是由于 SA 处理保护了叶绿体的膜结构,增加了叶片的气孔导度引起的。

叶绿素荧光动力学是指经过暗适应的绿色植物材料,当转到光下时其体内的叶绿素荧光强度会随时间有规律地变化。叶绿素荧光动力学技术在测定叶片光合作用过程中,表达光系统对光能的吸收、传递、耗散、分配等方面具有独特的作用。叶绿素荧光参数具有反映植物光合作用“内在性”的特点,因而在植物生态、作物抗性生理和育种栽培中得到广泛应用,显示出多方面的应用前景^[26]。初始荧光(F_0)是光系统 II (PS II) 反应中心处于完全开放时的荧光产量。干旱胁迫和 SA 处理的 F_0 分别为对照的 78.9% 和 82.4%,与对照差异显著。 F_v/F_m 是常用于度量植物 PS II 活性的重要指标,反映植物叶片 PS II 原初光能转换效率^[16-17]。干旱胁迫处理的 F_v/F_m 低于对照的和 SA 处理的,表明干旱胁迫能减弱 PS II 活性,降低原初光能转换效率,而 SA 处理

能增强 PS II 活性,提高原初光能转换效率。 $\Phi_{\text{PS II}}$ 表示实际光化学量子产量,它反映 PS II 反应中心在部分关闭情况下的实际原初光能捕获效率。干旱胁迫显著降低了叶片的 $\Phi_{\text{PS II}}$,而 SA 处理能增加干旱胁迫下叶片的 $\Phi_{\text{PS II}}$,这说明干旱胁迫下,SA 处理有利于提高材料的光能转换效率,为暗反应中的光合碳同化积累更多所需的能量,以促进碳同化的运转和有机物的积累。

4 结论

干旱胁迫破坏了叶绿体的膜结构,使紫御谷幼苗的光合能力下降,膜脂过氧化加剧,而 0.5 mmol/L 的 SA 处理能使紫御谷幼苗叶片的净光合速率上升,光合能力增加。其主要原因是 SA 处理保护了叶绿体的膜结构,使叶绿体膜结构保持相对完整,同时还增加了叶片的气孔导度,提高了叶片的光能转换效率,为暗反应中的光合碳同化积累更多所需的能量,促进碳同化的运转和有机物的积累。

致谢:感谢西南大学农学与生物科技学院张正圣教授对本文写作的帮助。

References:

- [1] Cao H, Han Z H, Xu X F. Membrane lipid peroxidation damage effects of chlorophyll degradation in malus seedlings under water stress. *Scientia Agricultural Sinica*, 2003, 36(10):1191-1195.
- [2] Wang X F, Zhang X Z. The study on physiological effects of wheat drought-resistance ability enhanced by asa. *Chinese Bulletin of Botany*, 1998, 15(3):48-50.
- [3] Janda T G, Szalai I T, Padi E. Hydroponic treatment with salicylic acid decrease the effects of chilling injury in maize (*Zea mays* L.) plants. *Planta*, 1999, 208:175-480.
- [4] Dat J F, Lopez-Delgado H, Foye C H. Parallel change in H_2O_2 and catalase during thermotolerance induced by salicylic acid or heat acclimation in mustard seedlings. *Plant Physiology*, 1998, 116:1351-1357.
- [5] Senaratna T, Touchell D, Bunn E. Acetyl salicylic acid (aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. *Plant Growth Regulation*, 2000, 30:157-161.
- [6] Shu Z, Li S. Effects of salicylic acid pretreatment on some physiological processes of maize seedlings under water stress. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2002, 25(3):9-11.
- [7] Wang L J, Huang W D, Li J Y. Effects of salicylic acid on the peroxidation of membrane-lipid of leaves in grape seedlings. *Scientia Agricultural Sinica*, 2003, 36(9):1076-1080.
- [8] Ding C L, Bai S J, Gu H R, Cheng Y H, Xin H X. Utilization of grain pearl millet in diets of livestock and poultry. *Journal of Animal Science and Veterinary Medicine*, 19(6):14-16.
- [9] Walter Z L, Morio L. Deep root water uptake ability and water use efficiency of Pearl millet in comparison to other millet species. *Plant Production Science*, 2005, 8(4):454-460.
- [10] Masayuki K M, Tatsuhito F. Contribution of inorganic components to osmotic adjustment and leaf folding for drought tolerance in pearl millet. *Physiologia Plantarum*, 2005, 125:474-489.
- [11] Agarwal P, Agarwal P, Jain P, Jha B, Reddy M, Sopory S. Constitutive overexpression of a stress-inducible small GTP-binding protein PgRab7 from pennisetum glaucum enhances abiotic stress tolerance in transgenic tobacco. *Plant Cell Reports*, 2008, 27:105-115.
- [12] Wu J Y, Teng W J, Wang Q H, Sun Z Y. Evaluation of growth and ornamental value for introduced perennial ornamental grass in Beijing. *Acta Horticulturae Sinica*, 2006, 33(5):1145-1148.
- [13] James T C, Janet C C. Ornamental grass growth response to three shade intensities. *Journal of Environmental Horticulture*, 2000, 18(1):18-22.
- [14] Wu J Y, Teng W J, Wang Q H. Basic Botonic Characters Adaptabilities and Applying in Landscape Architecture of pennisetum alopecuroides. *Chinese Landscape Architecture*, 2005, 12:57-59.
- [15] Xiao L T, Wang S G. *Plant Physiology Experiments Technology*. Beijing: China Agriculture Press, 2005: 111-112.
- [16] Ye Z P, Yu Q. Comparison of a new model of light response of photosynthesis with traditional models. *Journal Shenyang Agricultural University*, 2007, 38(6): 771-775.
- [17] Ye Z P. Application of light response model in estimating the photosynthesis of super hybrid rice combination — II. Youming 86. *Chinese Journal Ecology*, 2007, 26(8): 1323-1326.
- [18] Feng D L, Liu Y, Zhong Z C, Yang J, Xie J. Photosynthesis and chlorophyll II fluorescence parameters of the reed (*Phragmites communis*) grown in the hydro-fluctuation belt of Three Gorges Reservoir Area. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(5): 2013-2021.
- [19] Zhang S R. A discussion on chlorophyll fluorescence kinetics parameters and their significance. *Chinese Bulletin of Botany*, 1999, 16(4): 444-448.

- [20] Li Z B, Wei Y N, Zhang R H, Zhang X J. Primary studies on chlorophyll fluorescence characteristics of cotton leaves at different leaf position. *Cotton Sinica*, 2005, 17(3): 189-190.
- [21] Li Z J, Luo Q H, Wu W M, Han L. The effects of drought stress on photosynthetic and chlorophyll fluorescence characteristics of *Populus euphratica* and *P. pruinosa*. *Arid Zone Research*, 2009, 26(1): 45-52.
- [22] Wu W M, Li Z J, Luo Q H, Han L. Effects of soil water stress on light response curves of photosynthesis of *Populus euphratica* and *Populus pruinosa*. *Scientia Silvae Sinicae*, 2007, 43(5): 30-35.
- [23] Liu Y, Huang Q Q, Ma B Y, Xu L G. Changes of photosynthesis and physiological index in *vetiveria zizanioides* under heat and drought stress. *Forest Research*, 2006, 19(5): 638-642.
- [24] Zhou Q P, Cheng J M, Wan H E, Yu J. Study on the diurnal variations of photosynthetic characteristics and water use efficiency of *stipa bungeana* Trin. Under drought stress. *Acta Agrestia Sinica*, 2009, 17(4): 510-514.
- [25] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology*, 1982, 33: 317-345.
- [26] Tang Z Y, Wan G Q, Liu T, Wang Z Y. Chlorophyll fluorescence light kinetics parameters to main cotton varieties in north Xinjiang. *Cotton Sinica*, 2004, 16(3): 166-169.

参考文献:

- [1] 曹慧, 韩振海, 许雪峰. 水分胁迫下苹果属植物叶片叶绿素降解的膜脂过氧化损伤作用. *中国农业科学*, 2003, 36(10): 1191-1195.
- [2] 汪晓峰, 张宪政. ASA 提高小麦抗旱性生理效应的研究. *植物学通报*, 1998, 15(3): 48-50.
- [6] 束良佐, 李爽. 水杨酸浸种对水分胁迫下玉米幼苗某些生理过程的影响. *南京农业大学学报*, 2002, 25(3): 9-11.
- [7] 王利军, 黄卫东, 李家永. 水杨酸对葡萄幼苗叶片膜脂过氧化的影响. *中国农业科学*, 2003, 36(9): 1076-1080.
- [8] 丁成龙, 白淑娟, 顾洪如, 程云辉, 辛红霞. 珍珠粟在畜禽饲料中的应用研究进展. *畜牧兽医杂志*, 2000, 19(6): 14-16.
- [12] 武菊英, 滕文军, 王庆海, 孙振元. 多年生观赏草在北京地区的生长状况与观赏价值评价. *园艺学报*, 2006, 33(5): 1145-1148.
- [14] 武菊英, 滕文军, 王庆海. 狼尾草的生物学特性及在园林中的应用. *中国园林*, 2005, 12: 57-59.
- [15] 萧浪涛, 王三根. *植物生理学实验技术*. 北京: 中国农业出版社, 2005: 111-112.
- [16] 叶子飘, 于强. 一个光合作用光响应新模型与传统模型比较. *沈阳农业大学学报*, 2007, 38(6): 771-775.
- [17] 叶子飘. 光响应模型在超级杂交稻组合——II. 优明 86 中的应用. *生态学杂志*, 2007, 26(8): 1323-1326.
- [18] 冯大兰, 刘芸, 钟章成, 杨娟, 谢君. 三峡库区消落带芦苇 (*Phragmites communis* (Reed)) 的光合生理响应和叶绿素荧光特性. *生态学报*, 2008, 28(5): 2013-2021.
- [19] 张守仁. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论. *植物学通报*, 1999, 16(4): 444-448.
- [20] 李志博, 魏亦农, 张荣华, 张小均. 棉花不同叶位叶绿素荧光特性的初探. *棉花学报*, 2005, 17(3): 189-190.
- [21] 李志军, 罗青红, 伍维模, 韩路. 干旱胁迫对胡杨和灰叶胡杨光合作用及叶绿素荧光特性的影响. *干旱地区研究*, 2009, 26(1): 45-52.
- [22] 伍维模, 李志军, 罗青红. 土壤水分胁迫对胡杨和灰叶胡杨光合作用、光响应特性的影响. *林业科学*, 2007, 43(5): 30-35.
- [23] 刘艳, 黄乔乔, 马博英, 徐礼根. 高温干旱胁迫下香根草光合特性等生理指标的变化. *林业科学研究*, 2006, 19(5): 638-642.
- [24] 周秋平, 程积民, 万惠娥, 俞靓. 干旱胁迫下本氏针茅光合特性和水分利用效率日动态研究. *草地学报*, 2009, 17(4): 510-514.
- [26] 汤照云, 万国强, 刘彤, 王志勇. 北疆棉花不同品种叶绿素荧光特性的研究. *棉花学报*, 16(3): 166-169.

CONTENTS

Spatial pattern analysis of a <i>Rhododendron-Abies</i> virginal forest near timberline on the eastern edge of Qinghai-Tibetan Plateau, China	MIAO Ning, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (1)
Changes of liana species diversity in different restoration stages of monsoonal broad-leaved evergreen forest	LI Shuaifeng, SU Jianrong, LIU Wande, et al (10)
Investigation on spatio-temporal pattern of cyanobacterial community structure by T-RFLP during overwinter and recruitment period in Taihu Lake	GU Tingting, KONG Fanxiang, TAN Xiao, et al (21)
Food sources of fish and macro-invertebrates in a tropical seagrass bed at Xincun Bay, Southern China	FAN Minling, HUANG Xiaoping, ZHANG Dawen, et al (31)
Spatial pattern of Scleractinian coral Population Structure in Weizhou Island, Beihai, Guangxi	LIANG Wen, ZHANG Chunhua, YE Zuchao, et al (39)
Property of root distribution of triploid <i>Populus tomentosa</i> and its relation to root water uptake under the wide-and-narrow row spacing scheme	XI Benye, WANG Ye, JIA Liming, et al (47)
Soil nutritional properties and moisture gradient of the ecotone between dry valley and montane forest of the Minjiang River	LIU Bin, LUO Chengde, ZHANG Jian, et al (58)
Signal chemical salicylic acid mitigates the negative effects of drought on photosynthesis and membrane lipid peroxidation of purple majesty	YI Xiaolin, YANG Bingxian, ZONG Xuefeng, et al (67)
Effects of supplementary UV-B radiation on life cycle forms and the accumulation of taxanes of <i>Taxus chinensis</i> var. <i>mairei</i>	YU Jinghua, LI Dewen, PANG Haihe, et al (75)
Effect of simulated nitrogen deposition on the soil respiration of <i>Lithocarpus glabra</i> and <i>Castanopsis sclerophylla</i>	LI Kai, JIANG Hong, YOU Meina, et al (82)
Changes of phenolic acids in the soil of replanted apple orchards surrounding Bohai Gulf	SUN Haibing, MAO Zhiqian, ZHU Shuhua (90)
Growing dynamic root system of <i>Aquilaria malaccensis</i> and <i>Aquilaria sinensis</i> seedlings in response to different fertilizing methods	WANG Ran, LI Jiyue, ZHANG Fangqiu, et al (98)
Accumulation and tolerance of <i>Salix variegata</i> and <i>Pterocarya stenoptera</i> seedlings to cadmium	JIA Zhongmin, WEI Hong, SUN Xiaocan, et al (107)
Dynamics of vegetation structure and soil properties in the natural restoration process of degraded woodland on the northern slope of Qilian Mountains, northwestern China	ZHAO Chengzhang, SHI Fuxi, DONG Xiaogang, et al (115)
Relationship between temperature and $\delta^{13}\text{C}$ values of C3 herbaceous plants and its implications of WUE in farming-pastoral zone in North China	LIU Xianzhao, WANG Guoan, LI Jiazhu, et al (123)
Carbon dynamics of fine root (grass root) decomposition and active soil organic carbon in various models of land use conversion from agricultural lands into forest lands	RONG Li, LI Shoujian, LI Xianwei, et al (137)
Prey biomass of the Amur tiger (<i>Panthera tigris altaica</i>) in the eastern Wanda Mountains of Heilongjiang Province, China	ZHOU Shaochun, ZHANG Minghai, SUN Haiyi (145)
The impact of conservation projects on giant Panda Habitat	ZHANG Yubo, WANG Mengjun, LI Junqing (154)
Fluctuation of soil fauna community during defoliation decomposition under lime and EM treatment	GAO Meixiang, ZHANG Xueping (164)
Comparative of feeding behaviors of <i>Sitobion avenae</i> , <i>Sitobion graminum</i> and <i>Rhopalosiphum padi</i> (Homoptera: Aphididae) using electrical penetration graph (EPG)	MIAO Jin, WU Yuqing, YU Zhenxing, et al (175)
Toxic effects of <i>ent</i> -kaurane diterpenoids on soil ciliate communities	NING Yingzhi, DU Haifeng, WANG Hongjun (183)
Geostatistical analysis and sampling technique on spatial distribution pattern of <i>Dendroctonus valens</i> population	PAN Jie, WANG Tao, ZONG Shixiang, et al (195)
Variation analysis of protein subunits of soybean germplasms of different eco-types in Shanxi	WANG Yanping, LI Guiquan, GUO Shujin, et al (203)
Effects of fertilization and plastic film mulched ridge-furrow cultivation on yield and water and nitrogen utilization of winter wheat on dryland	LI Tingliang, XIE Yinghe, REN Miaomiao, et al (212)
The changing characteristics of potential climate productivity in Gansu Province during nearly 40 years	LUO Yongzhong, CHENG Ziyong, GUO Xiaoqin (221)
Spatial assessment and zoning regulations of ecological importance based on GIS for rural habitation in Changgang Town, Xinguo county	XIE Hualin, LI Xiubin (230)
Influences of rural households' income differences on living energy consumption and eco-environment: a case study of Jiangnan Plain, China	YANG Zhen (239)
Spatial differences and its driving factors of emergy indices on cultivated land eco-economic system in Hebei Province	WANG Qian, JIN Xiaobin, ZHOU Yinkang, et al (247)
Effects of land use on distribution and protection of organic carbon in soil aggregates in karst rocky desertification area	LUO Youjin, WEI Chaofu, LI Yu, et al (257)
Review and Monograph	
Implication and limitation of landscape metrics in delineating relationship between landscape pattern and soil erosion	LIU Yu, LÜ Yihe, FU Bojie (267)
Ecological reclamation and restoration of abandoned coal mine in the United States	ZHANG Chengliang, B. Larry Li (276)
Managing farmland soil food web: principles and methods	CHEN Yunfeng, HU Cheng, LI Shuanglai, et al (286)

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 1 期 (2011 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 1 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@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		

