

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

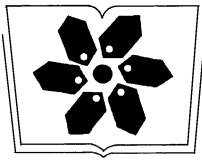
Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 11 期 Vol.31 No.11 **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 11 期 2011 年 6 月 (半月刊)

目 次

微生物介导的碳氮循环过程对全球气候变化的响应·····	沈菊培, 贺纪正 (2957)
巢湖蓝藻水华形成原因探索及“优势种光合假说”·····	贾晓会, 施定基, 史绵红, 等 (2968)
我国甜菜夜蛾间歇性暴发的非均衡性循环波动·····	文礼章, 张友军, 朱 亮, 等 (2978)
庞泉沟自然保护区华北落叶松林的自组织特征映射网络分类与排序·····	张钦弟, 张金屯, 苏日古嘎, 等 (2990)
上海大莲湖湖滨带湿地的生态修复·····	吴 迪, 岳 峰, 罗祖奎, 等 (2999)
芦芽山典型植被土壤有机碳剖面分布特征及碳储量·····	武小钢, 郭晋平, 杨秀云, 等 (3009)
土壤微生物群落结构对中亚热带三种典型阔叶树种凋落物分解过程的响应·····	张圣喜, 陈法霖, 郑 华 (3020)
中亚热带几种针、阔叶树种凋落物混合分解对土壤微生物群落碳代谢多样性的影响·····	陈法霖, 郑 华, 阳柏苏, 等 (3027)
桂西北喀斯特峰丛洼地表层土壤养分时空分异特征·····	刘淑娟, 张 伟, 王克林, 等 (3036)
重金属 Cd 胁迫对红树蚬的抗氧化酶、消化酶活性和 MDA 含量的影响·····	赖廷和, 何斌源, 范航清, 等 (3044)
海南霸王岭天然次生林边缘效应下木质藤本与树木的关系·····	乌玉娜, 陶建平, 奚为民, 等 (3054)
半干旱黄土丘陵区不同人工植被恢复土壤水分的相对亏缺·····	杨 磊, 卫 伟, 莫保儒, 等 (3060)
季节性干旱对中亚热带人工林显热和潜热通量日变化的影响·····	贺有为, 王秋兵, 温学发, 等 (3069)
新疆古尔班通古特沙漠南缘多枝桉柳光合作用及水分利用的生态适应性·····	王珊珊, 陈 曦, 王 权, 等 (3082)
利用数字图像估测棉花叶面积指数·····	王方永, 王克如, 李少昆, 等 (3090)
野生大豆和栽培大豆光合机构对 NaCl 胁迫的不同响应·····	薛忠财, 高辉远, 柳 洁 (3101)
水磷耦合对小麦次生根特殊根毛形态与结构的影响·····	张 均, 贺德先, 段增强 (3110)
应用物种指示值法解析昆崙山植物群落类型和植物多样性·····	孙志强, 张星耀, 朱彦鹏, 等 (3120)
基于 MSIASM 方法的中国省级行政区体外能代谢分析·····	刘 晔, 耿 涌, 赵恒心 (3133)
不同生态区烟草的叶面腺毛基因表达·····	崔 红, 冀 浩, 杨惠娟, 等 (3143)
B 型烟粉虱对 23 种寄主植物适应度的评估和聚类分析·····	安新城, 郭 强, 胡琼波 (3150)
杀虫剂啶虫脒和毒死蜱对捕食蜘蛛血细胞 DNA 的损伤作用·····	李 锐, 李生才, 刘 佳 (3156)
杀真菌剂咪鲜安对蓼花臂尾轮虫的影响·····	李大命, 陆正和, 封 琦, 等 (3163)
长、短期连续孤雌生殖对蓼花臂尾轮虫生活史和遗传特征的影响·····	葛雅丽, 席貽龙 (3170)
专论与综述	
区域景观格局与地表水环境质量关系研究进展·····	赵 军, 杨 凯, 邵 俊, 等 (3180)
露水对植物的作用效应研究进展·····	叶有华, 彭少麟 (3190)
葡萄座腔菌科研究进展——鉴定, 系统发育学和分子生态学·····	程燕林, 梁 军, 吕 全, 等 (3197)
人工林生产力年龄效应及衰退机理研究进展·····	毛培利, 曹帮华, 田文侠, 等 (3208)
树木年轮在干扰历史重建中的应用·····	封晓辉, 程瑞梅, 肖文发, 等 (3215)
植物中逆境反应相关的 WRKY 转录因子研究进展·····	李 冉, 娄永根 (3223)
研究简报	
三江源地区高寒草原土壤微生物活性和微生物量·····	任佐华, 张于光, 李迪强, 等 (3232)
3 种黑杨无性系水分利用效率差异性分析及相关 <i>ERECTA</i> 基因的克隆与表达·····	郭 鹏, 夏新莉, 尹伟伦 (3239)
猕猴桃园节肢动物群落重建及主要类群的生态位·····	杜 超, 赵惠燕, 高欢欢, 等 (3246)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 298 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-06



封面图说: 盘锦市盘山县水稻田——盘锦市位于辽宁省西南部, 自古就有“鱼米之乡”的美称。这里地处温带大陆半湿润季风气候, 有适宜的温度条件和较长的生长期以供水稻生长发育, 农业以种植水稻为主, 年出口大米达 1 亿多公斤, 是国家级水稻高产创建示范区和重要的水稻产区。

彩图提供: 沈菊培博士 中国科学院生态环境研究中心 E-mail: jpshe@reccs.ac.cn

野生大豆和栽培大豆光合机构对 NaCl 胁迫的不同响应

薛忠财, 高辉远*, 柳洁

(作物生物学国家重点实验室, 山东省作物生物学重点实验室, 山东农业大学, 泰安 271000)

摘要:以东营野生大豆(*Glycine soja* Sieb. et Zucc. ZYD 03262)和山东栽培大豆(*Glycine max* (L.) Merr. 山宁 11 号)为实验材料,通过研究 2 种大豆植株和离体叶片对不同浓度 NaCl(0, 100 和 200 mmol/L)处理的响应,探讨 2 种大豆光合机构对 NaCl 胁迫响应的差异和机理。结果表明:NaCl 处理完整植株后,2 种大豆植株叶片的光合速率(P_n)、PS II 最大光化学效率(F_v/F_m)、PS II 实际光化学效率(Φ_{PSII})和叶绿素含量都明显降低,而且生长也均受到抑制。但是,NaCl 胁迫对栽培大豆各方面的抑制均显著大于野生大豆;野生大豆叶片中的 Na^+ 含量、 Na^+/K^+ 值都显著低于栽培大豆,而野生大豆根中的 Na^+ 含量却明显高于栽培大豆。当用 100 和 200 mmol/L NaCl 处理 2 种大豆的离体叶片时,野生大豆的 F_v/F_m 、 Φ_{PSII} 、单位面积有活性反应中心的数目(RC/CS)和光化学性能指数(PI)的下降幅度却显著大于栽培大豆;叶片中的 Na^+ 含量也显著高于栽培大豆。这些结果表明,实验所用的野生大豆的光合机构并不抗盐。但是,在盐胁迫条件下,野生大豆植株却能够有效地避免过多 Na^+ 进入叶片光合组织,以维持光合机构较高的光合活性,这是野生大豆比栽培大豆更抗盐的原因之一。

关键词:盐胁迫; 野生大豆; 栽培大豆; 光合作用; 钠离子含量; 耐盐机制

Different response of photosynthetic apparatus between wild soybean (*Glycine soja*) and cultivated soybean (*Glycine max*) to NaCl stress

XUE Zhongcai, GAO Huiyuan*, LIU Jie

State Key Laboratory of Crop Biology, Shandong Key Laboratory of Crop Biology, Shandong Agricultural University, Tai'an 271000, Shandong, China

Abstract: Photosynthesis is the sole source of crop yield, so to understand salt resistance mechanism of photosynthetic apparatus is of paramount importance in improving salt resistance of crop. In this study, in order to explore the different salt resistance mechanisms of photosynthetic apparatus between a salt resistant wild soybean (*Glycine soja* Sieb. et Zucc. ZYD 03262) and a salt sensitive cultivated soybean (*Glycine max* (L.) Merr. Shanning 11), we investigated the responses of whole plants and detached leaves of the two soybean plants under treatments with different NaCl concentrations (0, 100, 200 mmol/L). The results shown that the photosynthesis (P_n), the maximum photochemical efficiency of PS II (F_v/F_m), the actual photochemical efficiency of PS II (Φ_{PSII}), the chlorophyll content as well as plant growth were all decreased in the two soybean plants by the treatments with different concentrations of NaCl. However, the inhibition of the NaCl on photosynthetic apparatus was more severe in the cultivated soybean than in the wild soybean. The Na^+ contents and the ratio of Na^+/K^+ in leaves of the wild soybean plants were significantly lower than those of the cultivated soybean, while the Na^+ contents in roots of the wild soybean were higher than those of the cultivated soybean, which indicates that the wild soybean can prevent more Na^+ from getting into photosynthetic mesophyll cells. This fact may partly account for the less inhibition of the photosynthetic apparatus in the wild soybean plant under NaCl stress. To elucidate whether the photosynthetic apparatus of the wild soybean is more tolerant to Na^+ in photosynthetic mesophyll cells, detached fully expanded leaves of the two soybean plants were directly subjected to NaCl solution to eliminate the difference in their selective effects of Na^+ in their

基金项目:国家重点基础研究发展计划资助项目(2009CB118505);国家自然科学基金资助项目(30671451, 30571125)

收稿日期:2010-12-14; **修订日期:**2011-03-31

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gaohy@sdaa.edu.cn

roots and stems. It is unexpectedly noticed that the Fv/Fm , the Φ_{PSII} , the active PS II reaction centers per excited cross section (RC/CS) and the photochemical performance index (PI) decreased more significantly in detached leaves of the wild soybean than those of the cultivated soybean. The ion analysis showed that the Na^+ contents in detached leaves of the wild soybean were higher than those of the cultivated soybean when the detached leaves were treated with 100 and 200 mmol/L NaCl. These results demonstrate that the photosynthetic apparatus in the wild soybean is not more salt tolerant than in the cultivated soybean. It is the lower Na^+ contents in photosynthetic mesophyll cells of the wild soybean plant under NaCl stress that ensure the photosynthetic apparatus in the wild soybean to retain higher photosynthetic performance under salt stress, which is one of the mechanisms to keep higher salt resistance in the wild soybean than in the cultivated soybean.

Key Words: salt stress; wild soybean; cultivated soybean; photosynthesis; Na^+ contents; salt resistance

土壤盐渍化是制约农业发展的主要因素之一,全世界大约 7% 的土地,20% 的栽培地和近 50% 的灌溉地受到盐胁迫的影响^[1-2],而且随着工业的发展和灌溉地面积的扩大,土壤盐渍化面积逐年增加。研究证明,土壤盐渍化通过渗透胁迫和离子胁迫^[3-4],导致植物光合能力的降低、作物产量的下降^[5]。

栽培大豆作为主要经济作物和油料作物,属于中度耐盐植物,在盐渍条件下,其产量明显降低^[6],所以进行栽培大豆的耐盐性研究以及抗盐品种的选育具有重要意义。1 年生野生大豆是栽培大豆的近缘野生种,二者杂交容易,后代可育^[7]。与栽培大豆相比,野生大豆遗传资源丰富,而且具有产量高、蛋白含量高、抗逆性强等优良性状^[8]。利用具有特殊优良性状和抗逆性的野生资源,可以解决栽培大豆遗传基础越来越窄,抗逆性越来越弱等问题,应用于大豆新品种的选育以提高大豆的产量和品质,是改良栽培大豆的重要途径^[8]。生长于山东东营盐碱地区的东营野生大豆(*Glycine soja* Sieb. et Zucc. ZYD 03262),具有较强的抗盐性,是改良和选育抗盐的栽培大豆品种的优良材料。在盐胁迫下,抗盐野生大豆的光能吸收和转换效率以及光合速率均显著高于栽培大豆^[9-10],然而野生大豆在盐胁迫下维持较高光化学效率和光合能力的机制尚不明确。

本实验选取东营野生大豆和山东栽培大豆(*Glycine max* (L.) Merr. 山宁 11 号)为实验材料,分别从整株和离体叶片两个水平探讨 2 种大豆光合机构对 NaCl 胁迫响应的差异和机理。通过分析光合机构的光能吸收、转换和光化学效率与叶片中 Na^+ 含量之间的关系,阐明野生大豆植株光合机构在 NaCl 胁迫下维持较高活性的机制,为进一步理解野生大豆的抗盐机理和利用野生大豆资源改良栽培大豆提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

本实验以起源于盐碱地的东营野生大豆和山东栽培大豆品种的植株为实验材料。材料种植于山东农业大学温室(自然光强为 $0-1200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 温度 $20-28^\circ\text{C}$),种子经过精选后进行消毒催芽,播种于 $25 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$ 的花盆中,使用基质为石英砂,加 Hoagland 营养液培养。待第一组三出复叶完全展开后进行实验处理。

1.2 实验处理

实验一 用营养液配置不同浓度的 NaCl 溶液,处理溶液中 NaCl 以每天增加 50 mmol/L 使培养液中的 NaCl 最终浓度分别为:0, 100, 200 mmol/L,对大豆植株进行胁迫处理,且处理期间每天用相当于盆中石英砂最大持水量 2 倍的含不同浓度 NaCl 的营养液冲洗盆中石英砂,让多余的溶液从渗水孔流出,避免盐离子的积累,处理 15d 后,对最新完全展开叶片进行各项指标的测定。

实验二 分别挑选九株长势一致的野生大豆和栽培大豆幼苗,选取各株的完全展开叶片,自基部剪下,分成 3 组,分别浸入 0, 100, 200 mmol/L NaCl 溶液中,以水为对照。利用风扇增加空气流动,加强蒸腾作用,将 NaCl 随蒸腾流引入,在弱光($20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)下处理 3h。然后将叶片在 $200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 光下处理 2h 后,测定叶片中的 Na^+ 含量以及叶绿素荧光参数。

1.3 实验方法

1.3.1 生长参数的测定

经过 15d 处理后,测定野生大豆和栽培大豆的株高;同时,利用叶面积仪(LI-3000A, LICOR, 美国)测定完

全展开叶的叶面积,每个处理重复 3 次。

1.3.2 叶片相对含水量的测定

选取完全展开叶,测定其鲜重(FW);在蒸馏水中浸泡 24h 后,测定饱和鲜重(TW);然后在 80℃ 下烘至恒重,称取叶片干物质重(DW)。根据公式计算叶片的相对含水量(RWC),每个处理重复 4 次。

$$RWC(\%) = (FW - DW) / (TW - DW) \times 100$$

1.3.3 叶绿素含量的测定

参考 Arnon^[11]的方法,称新鲜叶片 0.1 g,置于 20 mL 80% 的丙酮中暗处浸提 48h,其间振荡 2 次,待叶片完全发白,色素全部溶于丙酮溶液中。用 UV-1601(岛津,日本)分光光度计分别测定在 663、646、470 nm 处的 OD 值。为了排除叶片含水量对叶绿素含量的影响,根据叶片含水量将叶片鲜重换算成干重,计算单位干重叶片叶绿素含量。

1.3.4 气体交换参数的测定

使用 CIRAS-2 型便携式光合作用测定系统(PP-Systems,美国)测定大豆叶片的气体交换参数。在 360 $\mu\text{mol/mol}$ 的 CO_2 浓度和 1200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 的光强下,测定光合速率(P_n),蒸腾速率(E),气孔导度(G_s)和细胞间隙 CO_2 浓度(C_i),每个处理重复 4 次,测定时的光强、 CO_2 浓度均用 CIRAS-2 的控制系统进行自动控制。

1.3.5 叶绿素荧光参数的测定

利用 FMS-2 脉冲调制式荧光仪(Hansatech,英国)测定 F_o 、 F_m 、 F_m' 、 F_s 等荧光参数。将叶片暗适应 20 min 后,测定最小荧光 F_o ,最大荧光 F_m 及 PS II 最大光化学效率(F_v/F_m)。并在 1200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 光强下测定 F_m' 、 F_s 。按 $\Phi_{\text{PSII}} = (F_m' - F_s) / F_m'$ 计算光适应下 PS II 实际光化学效率(Φ_{PSII})^[12]。

1.3.6 快速叶绿素荧光诱导动力学曲线的测定

叶片先暗适应 20 min,然后利用 Handy PEA 连续激发式荧光仪(Hansatech,英国)测定叶片快速叶绿素荧光诱导动力学曲线(OJIP 曲线)。OJIP 曲线由 3000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 的脉冲光诱导,荧光信号记录是从 10 μs 开始,至 1s 结束,记录的初始速率为每秒 10^5 个数据。用 JIP-test 进行分析^[13-14] OJIP 荧光诱导曲线,并计算以下荧光参数:

单位面积有活性的 PS II 反应中心数目(RC/CS): $RC/CS = \varphi P_o \cdot (VJ/M_o) \cdot (ABS/CS)$

光化学性能指数(PI): $PI = (RC/ABS) \cdot [\varphi P_o / (1 - \varphi P_o)] \cdot [\Psi E_o / (1 - \Psi E_o)]$

1.3.7 Na^+ 和 K^+ 含量的测定

在试验结束后,每个处理选择 3 株植株,用蒸馏水冲洗 5—6 次,将根、茎、叶分开,在 105℃ 杀青 30 min 后,于 80℃ 下烘至恒重,称取各部分的干物质重。然后将烘干后的大豆根、茎,最新完全展开叶片以及实验二中的叶片,用 10 mL 浓硝酸和 3 mL 高氯酸在高温下进行消煮,用无离子水定容至 20 mL。用原子吸收分光光度计(AA6300,岛津,日本)测定 Na^+ 和 K^+ 含量^[15]。

1.4 数据处理

用 Microsoft Office Excel 2003 和 SPSS16.0 数据处理系统对数据进行统计分析,用 SigmaPlot 10.0 作图。

2 实验结果

2.1 NaCl 胁迫对野生大豆和栽培大豆植株生长的影响

经过不同浓度 NaCl 处理 15d 后,野生大豆和栽培大豆的株高和叶面积与对照相比,都受到显著的抑制,但是栽培大豆的下降程度比野生大豆的更为严重。栽培大豆的株高和叶面积分别下降了 24.00%、56.01% 和 45.63%、73.89%,而野生大豆则分别只下降了 13.24%、42.16% 和 19.59%、36.21%(表 1)。

2.2 NaCl 胁迫对野生大豆和栽培大豆植株叶片相对含水量的影响

200 mmol/L 的 NaCl 处理对野生大豆的叶片相对含水量没有显著影响,而栽培大豆叶片相对含水量则下降了 20.92%(图 1)。

表 1 不同浓度 NaCl 胁迫处理 15d 后,对野生大豆 (*G. soja*) 和栽培大豆 (*G. max*) 株高和叶面积的影响Table 1 Changes in plant heights and leaf areas of the wild (*G. soja*) and cultivated soybean (*G. max*) plants after treated with different concentrations of NaCl for 15 days

NaCl 处理 NaCl treatment/(mmol/L)	野生大豆 <i>G. soja</i>		栽培大豆 <i>G. max</i>	
	株高 Height/cm	叶面积 Leaf area/cm ²	株高 Height/cm	叶面积 Leaf area/cm ²
0	102.00±2.83 a (100.00)	10.62±1.35 a (100.00)	25.00±0.86 a (100.00)	22.87±4.76 a (100.00)
100	88.50±6.36 b (86.76)	8.54±1.74 b (80.41)	19.00±1.73 b (76.00)	12.44±1.58 b (54.37)
200	59.00±2.83 b (57.84)	6.78±1.56 b (63.79)	12.34±1.52 c (43.99)	5.98±1.74 c (26.11)

以对照植株的高度和叶面积为 100%, 处理的植株的高度和叶面积换算成对照的百分数; 同一列中, 不同的小写字母之间表示不同处理之间达显著性差异, $P < 0.05$

2.3 NaCl 胁迫对野生大豆和栽培大豆植株叶片气体交换参数的影响

经过 15d 的 NaCl 胁迫处理后, 野生大豆和栽培大豆的光合速率 (P_n), 蒸腾速率 (E), 气孔导度 (G_s) 都随着处理浓度的增加而下降, 但是经过 200mmol/L NaCl 处理的栽培大豆的完全丧失了光合能力, 而野生大豆仍然维持在对照的 36.2% (图 2)。同时, 栽培大豆的 G_s 和 E 都比野生大豆的下降严重。2 种大豆细胞间隙 CO_2 浓度 (C_i) 的变化规律不同, NaCl 胁迫处理对野生大豆的 C_i 没有影响, 但是栽培大豆光合作用大幅度下降, 而 C_i 却急剧升高, 说明严重 NaCl 胁迫对栽培大豆光合作用的抑制是通过抑制叶肉光合能力限制光合作用的 (图 2)。

2.4 NaCl 胁迫对野生大豆和栽培大豆植株叶片色素的影响

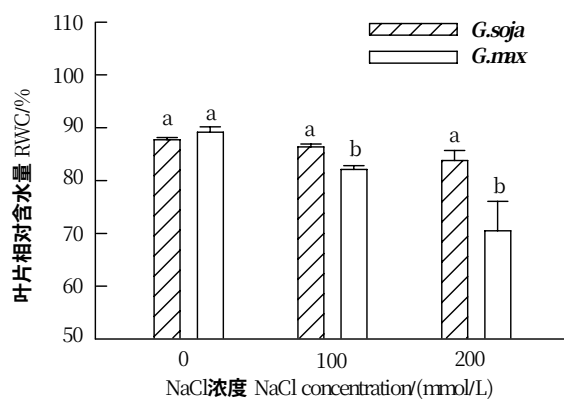
经过 15d 的 NaCl 胁迫处理后, 野生大豆和栽培大豆的叶绿素含量显著降低, 但是栽培大豆叶绿素含量下降更为显著。野生大豆的叶绿素 a 与 b 的比值没有明显变化, 而栽培大豆则随着 NaCl 浓度的增加而降低 (图 3)。

2.5 NaCl 胁迫对野生大豆和栽培大豆植株叶片光化学反应的影响

200 mmol/L NaCl 处理后, 栽培大豆的最大光化学效率 (F_v/F_m) 下降 19.2%, 而对野生大豆却没有影响; 2 种大豆的 PS II 实际光化学效率 (Φ_{PSII}) 虽然都随着处理浓度增加逐渐下降, 但是栽培大豆的下降程度更为严重 (图 4)。

2.6 NaCl 胁迫对野生大豆和栽培大豆植株不同部位 Na^+ 和 K^+ 含量的影响

经过不同浓度 NaCl 胁迫后, 栽培大豆和野生大豆植株中 Na^+ 含量在各个器官中都随着处理浓度的增加不断升高, 而 K^+ 含量在栽培大豆中随着 NaCl 浓度增加不断下降, 在野生大豆中则逐渐增加, 同时, 各器官中的 Na^+/K^+ 也随着 NaCl 浓度的增加而增加, 但是栽培大豆增加的更为明显。在 200 mmol/L NaCl 胁迫后野生大豆和栽培大豆的根中 Na^+ 分别为 23.21 和 18.89 mg/g, 茎中 Na^+ 分别为 10.22 和 30.03 mg/g, 而叶中 Na^+ 分别为 2.17 和 14.65 mg/g。而 200 mmol/L NaCl 胁迫后野生大豆根, 茎, 叶中 K^+ 含量分别比对照上升了 38.1%, 64.9% 和 249.8%; 而栽培大豆各部分中 K^+ 含量都有显著下降 (图 5)。

图 1 不同浓度 NaCl 胁迫处理 15d 后, 野生大豆 (*G. soja*) 和栽培大豆 (*G. max*) 植株叶片相对含水量 (RWC) 的变化Fig. 1 Changes in relative water contents (RWC) in leaves of the wild (*G. soja*) and cultivated soybean (*G. max*) plants after treated with different concentrations of NaCl for 15 days

不同的小写字母之间表示野生大豆和栽培大豆在相同处理之间达显著性差异, $P < 0.05$, 以下各图相同

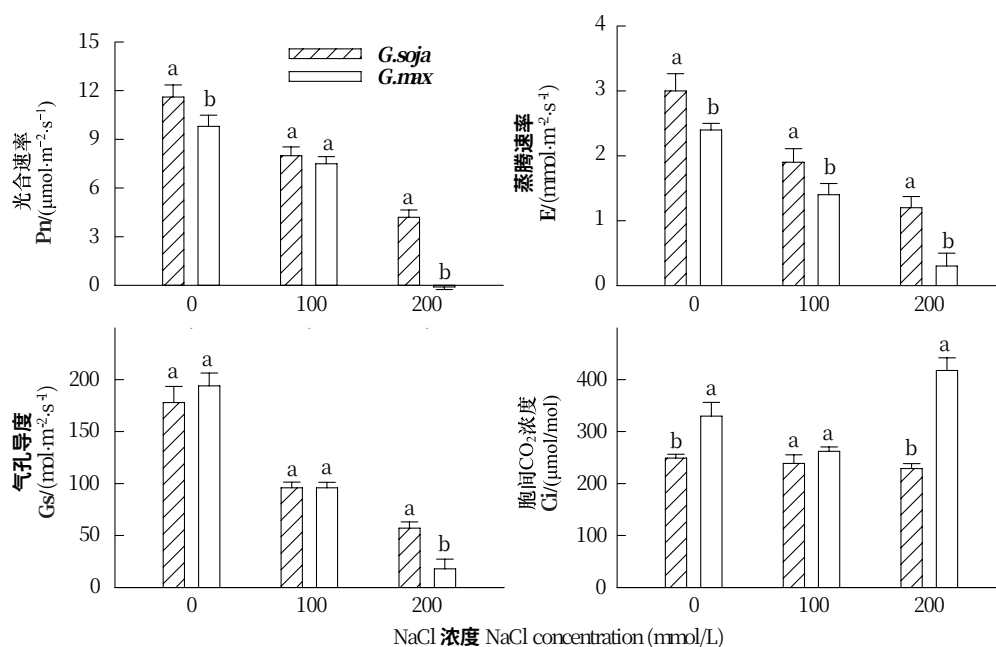


图2 不同浓度 NaCl 胁迫处理 15d 后,野生大豆 (*G. soja*) 和栽培大豆 (*G. max*) 植株光合速率 (P_n),蒸腾速率 (E),气孔导度 (G_s) 和细胞间隙 CO_2 浓度 (C_i) 的变化

Fig. 2 Changes in net photosynthetic rate (P_n), transpiration (E), stomatal conductance (G_s), and intercellular CO_2 concentration (C_i) in leaves of the wild (*G. soja*) and cultivated soybean (*G. max*) plants after treated with different concentrations of NaCl for 15 days

所有测定在 $1200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 饱和光强、 $360 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ CO_2 下进行

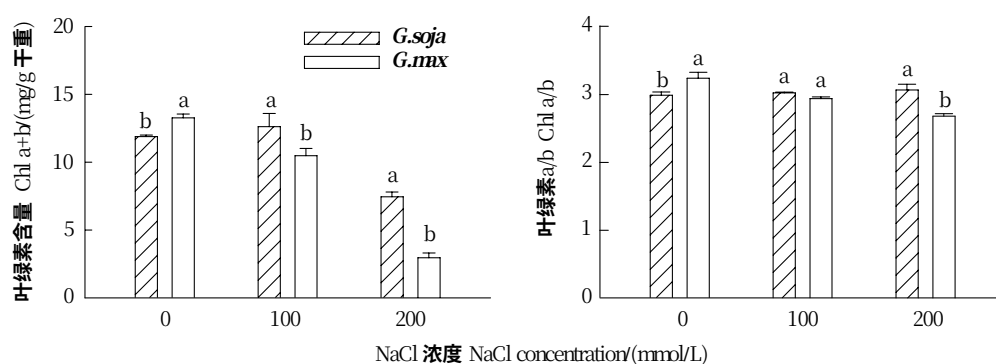


图3 不同浓度 NaCl 胁迫处理 15d 后,野生大豆 (*G. soja*) 和栽培大豆 (*G. max*) 植株叶片叶绿素含量的变化

Fig. 3 Changes in chlorophyll content in leaves of the wild (*G. soja*) and cultivated soybean (*G. max*) plants after treated with different concentrations of NaCl for 15 days

2.7 NaCl 胁迫对野生大豆和栽培大豆离体叶片的影响

通过离体叶片的实验可以看出,随着 NaCl 浓度的增加,野生大豆叶片中 Na^+ 含量要显著高于栽培大豆叶片中的 Na^+ 含量(图 6)。随着 NaCl 处理浓度的增加,野生大豆叶片 F_v/F_m 、 Φ_{PSII} 、单位面积有活性的反应中心数目 (RC/CS) 和光化学性能指数 (PI) 的下降幅度要显著大于栽培大豆叶片(图 7,图 8)。这说明 NaCl 处理对野生大豆离体叶片光合机构的伤害程度要显著大于对栽培大豆离体叶片光合机构的伤害程度。

3 讨论

光合作用是植物生长的能量和物质来源。在经过不同浓度的 NaCl 处理 15d 后,栽培大豆和野生大豆功能叶的光合速率和叶绿素含量都随着处理浓度的增加而下降,但是栽培大豆的下降程度更为显著,说明 NaCl

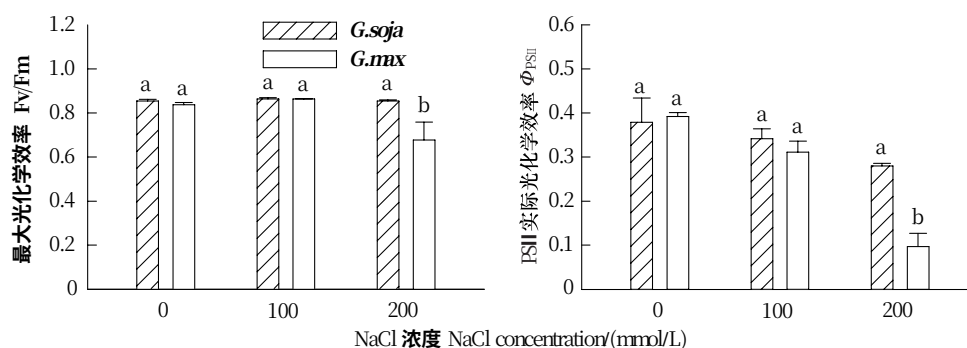


图4 不同浓度的NaCl胁迫处理15d后,野生大豆(*G. soja*)和栽培大豆(*G. max*)植株叶片最大光化学效率(F_v/F_m)和PS II实际光化学效率(Φ_{PSII})的变化

Fig. 4 Changes in maximal photochemical efficiency of PS II (F_v/F_m) and actual photochemical efficiency of PS II (Φ_{PSII}) in leaves of the wild (*G. soja*) and cultivated soybean (*G. max*) plants after treated with different concentrations of NaCl for 15 days

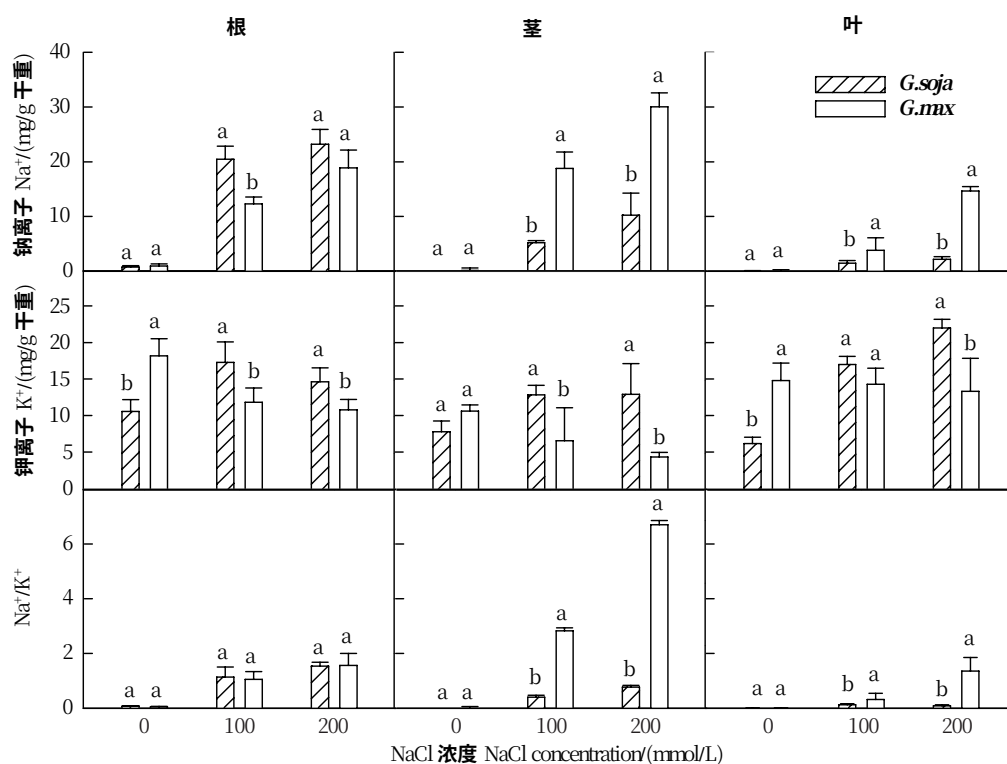


图5 不同浓度NaCl胁迫大豆植株15d后,野生大豆(*G. soja*)和栽培大豆(*G. max*)植株根、茎、叶中Na⁺,K⁺含量以及Na⁺/K⁺的变化

Fig. 5 Changes in Na⁺, K⁺ contents and Na⁺/K⁺ ratio in roots, shoots and leaves of the wild (*G. soja*) and cultivated soybean (*G. max*) plants after treated with different concentrations of NaCl for 15 days

对栽培大豆生长的抑制更为严重。研究表明,NaCl胁迫通过渗透胁迫和离子胁迫在植物细胞水平和整株水平上影响植物的生理活动^[3-4]。然而两种浓度的NaCl处理对于野生大豆的叶片相对含水量都没有显著影响,却显著降低了栽培大豆的叶片相对含水量,这说明野生大豆具有较强的抗渗透胁迫的能力,能够在高浓度的盐溶液中维持正常的水分含量以维持正常的生理代谢,使其能够在NaCl胁迫下维持较高的光合作用,保证正常生长。东营野生大豆的这些特点与它长期生长在盐生环境中已经对渗透胁迫产生了一定的适应性有关。

显然,野生大豆具有较强的抗盐性。但是这种抗盐能力是由于叶片光合机构本身具有较强的抗盐性,还是由于植株的根、茎部具有较强的离子选择性以防止过多的Na⁺进入叶片?为了说明这个问题,用不同浓度

的 NaCl 溶液直接处理 2 种大豆离体叶片^[16],排除根中和茎中相关机制的影响。结果表明,随着 NaCl 处理浓度的增加,野生大豆离体叶片的 F_v/F_m 、 Φ_{PSII} 、 RC/CS 和 PI 下降程度要显著大于栽培大豆,也就是说 NaCl 处理对于野生大豆离体叶片光合机构的伤害比对栽培大豆的伤害更严重。

现已知,NaCl 胁迫会造成植物体内 Na^+ 、 Cl^- 过量和 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mn^{2+} 不足,对植物造成离子胁迫和营养亏缺,同时高浓度 NaCl 会引起渗透胁迫,导致许多代谢失常^[17-19]。野生大豆植株虽然能够抵抗由于 NaCl 处理引起的渗透胁迫,维持正常的叶片水分含量,但是其光合能力和光化学效率也随着处理浓度的增加而不同程度的下降,因此,在 NaCl 胁迫下, Na^+ 不可避免地进入到野生大豆叶片的光合机构,导致光能吸收、转换和光化学效率下降,这表明,在本实验的条件下,NaCl 对野生大豆光合机构的伤害主要是一种离子毒害而不是渗透胁迫造成的。

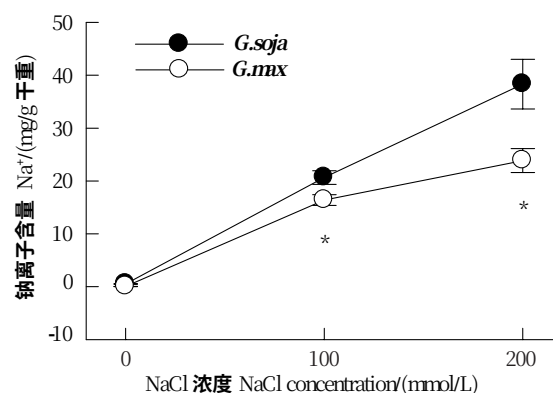


图 6 不同浓度 NaCl 溶液处理离体野生大豆 (*G. soja*) 和栽培大豆 (*G. max*) 叶片 2h 后,叶片中 Na^+ 含量的变化

Fig. 6 Changes in Na^+ contents in detached leaves of the wild (*G. soja*) and cultivated soybean (*G. max*) after treated with different concentrations of NaCl for 2 hours

* 表示野生大豆和栽培大豆在相同处理之间达显著性差异, $P < 0.05$

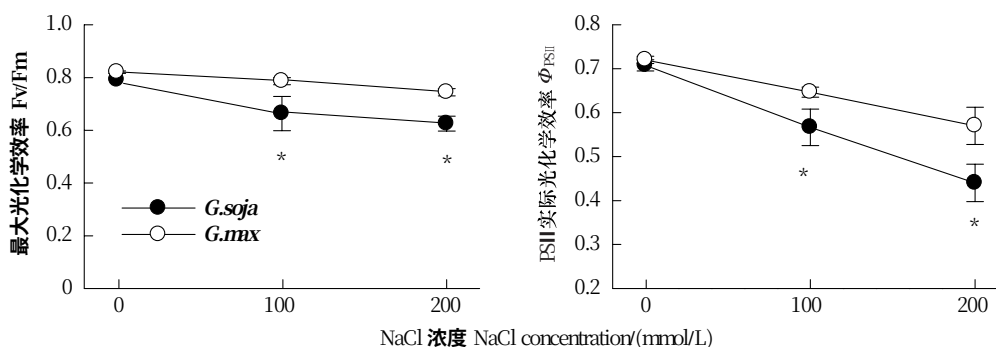


图 7 不同浓度 NaCl 溶液处理离体野生大豆 (*G. soja*) 和栽培大豆 (*G. max*) 叶片 2h 后,叶片 F_v/F_m 和 Φ_{PSII} 的变化

Fig. 7 Changes in F_v/F_m and Φ_{PSII} in detached leaves of the wild (*G. soja*) and cultivated soybean (*G. max*) after treated with different concentrations of NaCl for 2 hours

与整株植株对 NaCl 处理的响应截然相反,离体叶片在经过 100 mmol/L 和 200 mmol/L NaCl 溶液处理后,野生大豆叶片中 Na^+ 含量反而比栽培大豆叶片中的含量高。过量的 Na^+ 进入叶片后,不可避免加重 Na^+ 对光合机构的胁迫,所以当较多 Na^+ 进入野生大豆叶片后,野生大豆光合能力的下降程度比栽培大豆还要严重;当野生大豆和栽培大豆整体植株经过 100 和 200 mmol/L NaCl 处理 15d 后,野生大豆植株叶片中的 Na^+ 含量却显著低于栽培大豆植株叶片中的 Na^+ 含量, Na^+ 主要在根中积累,但是栽培大豆的根、茎、叶各部位 Na^+ 都随着处理浓度增加明显增加,特别是叶中 Na^+ 显著高于野生大豆。因此栽培大豆植株在经过 NaCl 处理后,光合能力下降的幅度显著大于野生大豆。这说明野生大豆植株能够通过某种机制维持叶片中较低的 Na^+ 含量来避免或减轻 Na^+ 对光合机构的伤害,维持较强的光合能力,保证其正常生长。野生大豆离体叶片丧失了根和茎中对 Na^+ 选择吸收和转运的机制,所以当用 NaCl 溶液处理离体叶片后,会有更多的 Na^+ 进入到叶肉细胞内。本研究的结果表明,无论是野生大豆还是栽培大豆,只要有更多的 Na^+ 进入到大豆叶片,都会导致光合机构的光能吸收、转换效率下降。由于野生大豆的根和茎中存在某种特殊的离子选择机制,降低了叶片中的 Na^+ 含量,这是野生大豆植株比栽培大豆具有较强抗盐能力的一个关键机制。野生大豆 Na^+ 在根部的积累,减少了

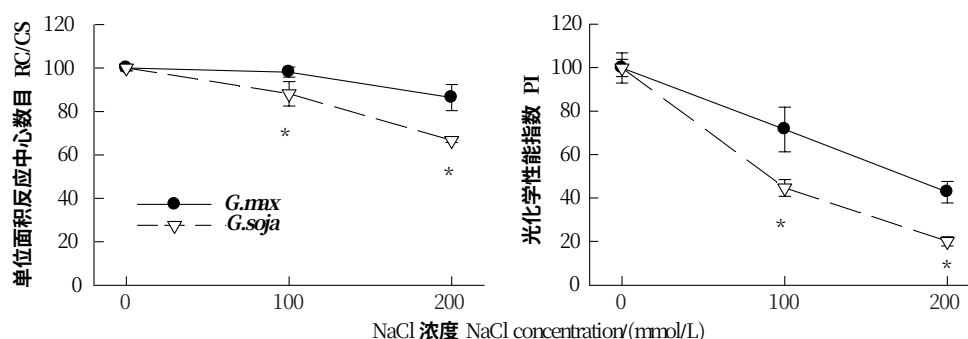


图 8 不同浓度 NaCl 溶液处理离体野生大豆 (*G. soja*) 和栽培大豆 (*G. max*) 叶片 2h 后, 单位面积有活性的 PS II 反应中心数目 (RC/CS) 和光化学性能指数 (PI) 的变化

Fig. 8 Changes in active PS II reaction center per excited cross section (RC/CS) and photochemical performance index (PI) in detached leaves of the wild (*G. soja*) and cultivated soybean (*G. max*) after treated with different concentrations of NaCl for 2 hours

以对照叶片的数值为 100%, 不同 NaCl 处理的数值换算成对照的百分数

从根部向地上部的转运。於丙军等^[20]的研究指出耐盐性强的野生大豆根系吸收的 Na^+ 主要积累在根茎中, 向叶片运输的较少, 耐盐野生大豆的拒 Na^+ 部位主要是根茎部, 这与本研究的结果一致。另外, 有研究表明^[21] 进入大豆木质部液流中的 Na^+ 在向叶片运输的过程中, 可以被木质部的薄壁细胞重新吸收或截留, 跨膜横向运输至韧皮部, 再运送至根部, 阻止 Na^+ 向叶片中的运输。本研究所使用野生大豆中是否也存在这种机制, 有待进一步研究。

研究表明, K^+ 在植物体中具有重要生理作用^[22], 而 Na^+/K^+ 也作为衡量植物抗盐能力的一个重要指标^[23]。栽培大豆在经过 15d 的 NaCl 处理后, Na^+ 含量的增加干扰了栽培大豆对于 K^+ 的吸收, 使其含量降低, 严重干扰了正常的离子代谢; 而野生大豆中的 K^+ 含量却随着处理浓度的增加而增加, 这表明野生大豆对 K^+ 有较强的选择吸收性和有效的转运机制^[24]。同时 K^+ 含量的增加可以维持 Na^+/K^+ 的平衡, 限制对 Na^+ 的吸收和转运, 有效提高其抗盐能力^[23-25]。

总之, 野生大豆叶片的光合机构并不比栽培大豆更抗盐, 但是由于野生大豆能通过根部对 Na^+ 的积累和其他相关的选择和转运机制有效地降低叶片中 Na^+ 含量, 维持较高 K^+ 含量, 保护叶片的光合机构免受 Na^+ 的伤害, 维持较高的光合性能, 保证其在盐渍条件下的正常生长, 这是野生大豆抗盐的一种主要机制。

References:

- [1] Mudgal V, Madaan N, Mudgal A. Biochemical mechanisms of salt tolerance in plants: a review. *International Journal of Botany*, 2010, 6(2): 136-143.
- [2] Flowers T J. Improving crop salt tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 2004, 55(396): 307-319.
- [3] Munns R, Tester M. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 2008, 59: 651-681.
- [4] Liao Y, Peng Y G, Chen G Z. Research advances in plant salt-tolerance mechanism. *Acta Ecologica Sinica*. 2007, 27(5): 2077-2089.
- [5] Gama P B S, Tanaka K, Eneji A E, Eltayeb A E, El-Siddig K. Salt-induced stress effects on biomass, photosynthetic rate, and reactive oxygen species-scavenging enzyme accumulation in common bean. *Journal of Plant Nutrition*, 2009, 32(5): 837-854.
- [6] Phang T H, Shao G, Lam H M. Salt tolerance in soybean. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2008, 50(10): 1196-1212.
- [7] Hyten D L, Song Q, Zhu Y, Choi I Y, Nelson R L, Costa J M, Specht J E, Shoemaker R C, Cregan P B. Impacts of genetic bottlenecks on soybean genome diversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2006, 103(45): 16666-16671.
- [8] Zhuang B C. Study on Biological Characteristics of China Wild Soybean. Beijing: Science Press, 1999: 1-10.
- [9] Ren L L, Ren C M, Zhang W W, Ma B, Gao H Y. Effects of short-term NaCl stress on photosynthesis in leaves of *Glycine soja* and *Glycine max*. *Soybean Science*, 2009, 28(2): 239-242.
- [10] Ren L L, Li H L, Zhao Z G. Effects of NaCl stress on physiological and biochemical characters of *Glycine soja* and *Glycine max*. *Hunan Agricultural Sciences*. 2010, (7): 59-61, 66-66.

- [11] Arnon D I. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology, 1949, 24(1): 1-15.
- [12] Genty B, Briantais J M, Baker N R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. Biochimica et Biophysica Acta, 1989, 990(1): 87-92.
- [13] Strasser R J, Tsimill-Michael M, Srivastava A. Analysis of the chlorophyll a fluorescence transient//Papageorgiou G C, Govindjee eds. Chlorophyll A Fluorescence: A Signature of Photosynthesis. Netherlands: Springer Press, 2004: 321-362.
- [14] Li P M, Gao H Y, Strasser R J. Application of the fast chlorophyll fluorescence induction dynamics analysis in photosynthesis study. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology, 2005, 31(6): 559-566.
- [15] Mobin M, Khan N A. Photosynthetic activity, pigment composition and antioxidative response of two mustard (*Brassica juncea*) cultivars differing in photosynthetic capacity subjected to cadmium stress. Journal of Plant Physiology, 2007, 164(5): 601-610.
- [16] Smethurst C F, Gill W M, Shabala S. Using excised leaves to screen lucerne for salt tolerance: physiological and cytological evidence. Plant Signaling & Behavior, 2009, 4(1), 39-41.
- [17] Kronzucker H J, Szczerba M W, Schulze L M, Britto D T. Non-reciprocal interactions between K^+ and Na^+ ions in barley (*Hordeum vulgare* L.). Journal of Experimental Botany, 2008, 59(10): 2793-2801.
- [18] Tester M, Davenport R. Na^+ tolerance and Na^+ transport in higher plants. Annals of Botany, 2003, 91(5): 503-527.
- [19] Orsini F, D'Urzo M P, Inan G, Serra S, Oh D H, Mickelbart M V, Consiglio F, Li X, Jeong J C, Yun D J, Bohnert H J, Bressan R A, Maggio A. A comparative study of salt tolerance parameters in 11 wild relatives of *Arabidopsis thaliana*. Journal of Experimental Botany, 2010, 61(13): 3787-3798.
- [20] Yu B J, Luo Q Y, Liu Y L. Effects of salt stress on growth and ionic distribution of salt-born *Glycine soja*. Acta Agronomica Sinica, 2001, 27(6): 776-780.
- [21] Durand M, Lacan D. Sodium partitioning within the shoot of soybean. Physiologia Plantarum, 1994, 91(1): 65-71.
- [22] Peng Y H, Zhu Y F, Mao Y Q, Wang S M, Su W A, Tang Z C. Alkali grass resists salt stress through high $[K^+]$ and an endodermis barrier to Na^+ . Journal of Experimental Botany, 2004, 55(398): 939-949.
- [23] Mäser P, Gierth M, Schroeder J I. Molecular mechanisms of potassium and sodium uptake in plants. Plant and Soil, 2002, 247(1): 43-54.
- [24] Zhu J K. Regulation of ion homeostasis under salt stress. Current Opinion in Plant Biology, 2003, 6(5): 441-445.
- [25] Takahashi R, Nishio T, Ichizen N, Takano T. Salt-tolerant reed plants contain lower Na^+ and higher K^+ than salt-sensitive reed plants. Acta Physiologica Plantarum, 2007, 29(5): 431-438.

参考文献:

- [4] 廖岩, 彭友贵, 陈桂珠. 植物耐盐性机理研究进展. 生态学报, 2007, 27(5): 2077-2089.
- [8] 庄炳昌. 中国野生大豆生物学研究. 北京: 科学出版社, 1999: 1-10.
- [9] 任丽丽, 任春明, 张伟伟, 马波, 高辉远. 短期 NaCl 胁迫对野生大豆和栽培大豆叶片光合作用的影响. 大豆科学, 2009, 28(2): 239-242.
- [10] 任丽丽, 李海雷, 赵自国. NaCl 胁迫对野生大豆和栽培大豆生理生化的影响研究. 湖南农业科学, 2010, (7): 59-61, 66-66
- [14] 李鹏民, 高辉远, Strasser R J. 快速叶绿素荧光诱导动力学分析在光合作用研究中的应用. 植物生理与分子生物学学报, 2005, 31(6): 559-566.
- [20] 於丙军, 罗庆云, 刘友良. 盐胁迫对盐生野大豆生长和离子分别的影响. 作物学报, 2001, 27(6): 776-780.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 11 June, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Responses of microbes-mediated carbon and nitrogen cycles to global climate change	SHEN Jupei, HE Jizheng (2957)
Formation of cyanobacterial blooms in Lake Chaohu and the photosynthesis of dominant species hypothesis	JIA Xiaohui, SHI Dingji, SHI Mianhong, et al (2968)
Unbalanced cyclical fluctuation pattern of intermittent outbreaks of beet armyworm <i>Spodoptera exigua</i> (Hübner) in China	WEN Lizhang, ZHANG Youjun, ZHU Liang, et al (2978)
Self-organizing feature map classification and ordination of <i>Larix principis-rupprechtii</i> forest in Pangquangou Nature Reserve	ZHANG Qindi, ZHANG Jintun, Suriguga, et al (2990)
Ecological effects of lakeside wetlands restoration in Dalian Lake, Shanghai	WU Di, YUE Feng, LUO Zukui, et al (2999)
Soil organic carbon storage and profile inventory in the different vegetation types of Luya Mountain	WU Xiaogang, GUO Jinping, YANG Xiuyun, et al (3009)
Response of soil microbial community structure to the leaf litter decomposition of three typical broadleaf species in mid-subtropical area, southern China	ZHANG Shengxi, CHEN Falin, ZHENG Hua (3020)
The decomposition of coniferous and broadleaf mixed litters significantly changes the carbon metabolism diversity of soil microbial communities in subtropical area, southern China	CHEN Falin, ZHENG Hua, YANG Bosu, et al (3027)
Spatiotemporal heterogeneity of topsoil nutrients in Karst Peak-Cluster depression area of Northwest Guangxi, China	LIU Shujuan, ZHANG Wei, WANG Kelin, et al (3036)
Effects of cadmium stress on the activities of antioxidant enzymes, digestive enzymes and the membrane lipid peroxidation of the mangrove mud clam <i>Geloina coaxans</i> (Gmelin)	LAI Tinghe, HE Binyuan, FAN Hangqing, et al (3044)
The edge effects on tree-liana relationship in a secondary natural forest in Bawangling Nature Reserve, Hainan Island, China	WU Yuna, TAO Jianping, XI Weimin, et al (3054)
Soilwater deficit under different artificial vegetation restoration in the semi-arid hilly region of the Loess Plateau	YANG Lei, WEI Wei, MO Baoru, et al (3060)
The diurnal trends of sensible and latent heat fluxes of a subtropical evergreen coniferous plantation subjected to seasonal drought	HE Youwei, WANG Qiubing, WEN Xuefa, et al (3069)
Ecological adaptability of photosynthesis and water use for <i>Tamarix ramosissima</i> in the southern periphery of Gurbantungut Desert, Xinjiang	WANG Shanshan, CHEN Xi, WANG Quan, et al (3082)
Estimation of leaf area index of cotton using digital Imaging	WANG Fangyong, WANG Keru, LI Shaokun, et al (3090)
Different response of photosynthetic apparatus between wild soybean (<i>Glycine soja</i>) and cultivated soybean (<i>Glycine max</i>) to NaCl stress	XUE Zhongcai, GAO Huiyuan, LIU Jie (3101)
Effects of water and phosphorus supply on morphology and structure of special root hairs on nodal roots of wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.)	ZHANG Jun, HE Dexian, DUAN Zengqiang (3110)
Applications of species indicator for analyzing plant community types and their biodiversity at Kunyushan National Forest Reserve	SUN Zhiqiang, ZHANG Xingyao, ZHU Yanpeng, et al (3120)
Societal metabolism for chinese provinces based on multi-scale integrated analysis of societal metabolism (MSIASM)	LIU Ye, GENG Yong, ZHAO Hengxin (3133)
Comparative gene expression analysis for leaf trichomes of tobacco grown in two different regions in China	CUI Hong, JI Hao, YANG Huijuan, et al (3143)
Performance evaluation of B biotype whitefly, <i>Bemisia tabaci</i> on 23 host plants	AN Xincheng, GUO Qiang, HU Qiongbo (3150)
Studies of hemocytes DNA damage by two pesticides acetamiprid and chlorpyrifos in predaceous spiders of <i>Pardosa astrigera</i> Koch	LI Rui, LI Shengcai, LIU Jia, (3156)
Effects of the fungicide prochloraz on the rotifer <i>Brachionus calyciflorus</i>	LI Daming, LU Zhenghe, FENG Qi, et al (3163)
Effects of long- and short-term successive parthenogenesis on life history and genetics characteristics of <i>Brachionus calyciflorus</i>	GE Yali, XI Yilong (3170)
Review and Monograph	
Review of the relationship between regional landscape pattern and surface water quality	ZHAO Jun, YANG Kai, TAI Jun, et al (3180)
Review of dew action effect on plants	YE Youhua, PENG Shaolin (3190)
Advances in Botryosphaeriaceae: identification, phylogeny and molecular ecology	CHENG Yanlin, LIANG Jun, LÜ Quan, et al (3197)
Advances in research on the mechanisms of age-related productivity decline of planted forests	MAO Peili, CAO Banghua, TIAN Wenxia, et al (3208)
The application of tree-ring on forest disturbance history reconstruction	FENG Xiaohui, CHENG Ruimei, XIAO Wenfa, et al (3215)
Research advances on stress responsive WRKY transcription factors in plants	LI Ran, LOU Yonggen (3223)
Scientific Note	
The soil microbial activities and microbial biomass in Sanjiangyuan Alpine grassland	REN Zuohua, ZHANG Yuguang, LI Diqiang, et al (3232)
The differences of water use efficiency (WUE) among three <i>Populus deltoids</i> clones, and the cloning and characterization of related gene, <i>PdERECTA</i>	GUO Peng, XIA Xinli, YIN Weilun (3239)
Arthropod community reestablishment and niche of the main groups in kiwifruit orchards	DU Chao, ZHAO Huiyan, GAO Huanhuan, et al (3246)

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 11 期 (2011 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 11 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		



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