

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

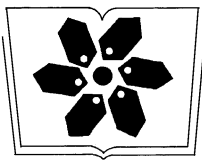
## Acta Ecologica Sinica



第31卷 第9期 Vol.31 No.9 **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



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 9 期

2011 年 5 月 (半月刊)

## 目 次

|                                                           |                                                     |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| EAM 会议专刊述评——气候变化下旱区农业生态系统的可持续性 .....                      | 李凤民, Kadambot H. M Siddique, Neil C Turner, 等 ( I ) |
| 第二届生态系统评估与管理(EAM)国际会议综述 .....                             | 李朴芳, 赵旭喆, 程正国, 等 (2349)                             |
| 应对全球气候变化的干旱农业生态系统研究——第二届 EAM 国际会议青年学者论坛综述 .....           | 赵旭喆, 李朴芳, Kadambot H. M Siddique, 等 (2356)          |
| 微集雨模式与降雨变律对燕麦大田水生态过程的影响 .....                             | 强生才, 张恒嘉, 莫非, 等 (2365)                              |
| 黑河中游春小麦需水量空间分布 .....                                      | 王 瑶, 赵传燕, 田风霞, 等 (2374)                             |
| 祁连山区青海云杉林蒸腾耗水估算 .....                                     | 田风霞, 赵传燕, 冯兆东 (2383)                                |
| 甘肃小陇山不同针叶林凋落物量、养分储量及持水特性 .....                            | 常雅军, 陈 琦, 曹 靖, 等 (2392)                             |
| 灌水频率对河西走廊绿洲菊芋生活史对策及产量形成的影响 .....                          | 张恒嘉, 黄高宝, 杨 斌 (2401)                                |
| 玛纳斯河流域水资源可持续利用评价方法 .....                                  | 杨 广, 何新林, 李俊峰, 等 (2407)                             |
| 西北旱寒区地理、地形因素与降雨量及平均温度的相关性——以甘肃省为例 .....                   | 杨 森, 孙国钧, 何文莹, 等 (2414)                             |
| 黑河河岸植被与环境因子间的相互作用 .....                                   | 许莎莎, 孙国钧, 刘慧明, 等 (2421)                             |
| 干旱胁迫对高山柳和沙棘幼苗光合生理特征的影响 .....                              | 蔡海霞, 吴福忠, 杨万勤 (2430)                                |
| 树锦鸡儿、柠条锦鸡儿、小叶锦鸡儿和鹰嘴豆干旱适应能力比较 .....                        | 方向文, 李凤民, 张海娜, 等 (2437)                             |
| 胡杨异形叶绿素荧光特性对高温的响应 .....                                   | 王海珍, 韩 路, 徐雅丽, 等 (2444)                             |
| 柠条平茬处理后不同组织游离氨基酸含量 .....                                  | 张海娜, 方向文, 蒋志荣, 等 (2454)                             |
| 玛河流域扇缘带盐穗木土壤速效养分的“肥岛”特征 .....                             | 涂锦娜, 熊友才, 张 霞, 等 (2461)                             |
| 摩西球囊霉对三叶鬼针草保护酶活性的影响 .....                                 | 宋会兴, 钟章成, 杨万勤, 等 (2471)                             |
| 燕麦属不同倍性种质资源抗旱性状评价及筛选 .....                                | 彭远英, 颜红海, 郭来春, 等 (2478)                             |
| 光周期对燕麦生育时期和穗分化的影响 .....                                   | 赵宝平, 张 娜, 任长忠, 等 (2492)                             |
| 水肥条件对新老两个春小麦品种竞争能力和产量关系的影响 .....                          | 杜京旗, 魏盼盼, 袁自强, 等 (2501)                             |
| 猪场沼液对蔬菜病原菌的抑制作用 .....                                     | 尚 斌, 陈永杏, 陶秀萍, 等 (2509)                             |
| 不同夏季填闲作物种植对设施菜地土壤无机氮残留和淋洗的影响 .....                        | 王芝义, 郭瑞英, 李凤民 (2516)                                |
| 不同群体结构夏玉米灌浆期光合特征和产量变化 .....                               | 卫 丽, 熊友才, Baoluo Ma, 等 (2524)                       |
| 脱硫废弃物对碱胁迫下油菜幼叶细胞钙分布及 $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性的影响 ..... | 毛桂莲, 许 兴, 郑国琦, 等 (2532)                             |
| 过去 30a 玛纳斯河流域生态安全格局与农业生产力演变 .....                         | 王月健, 徐海量, 王 成, 等 (2539)                             |
| 基于 RS 和转移矩阵的泾河流域生态承载力时空动态评价 .....                         | 岳东霞, 杜 军, 刘俊艳, 等 (2550)                             |
| 毛乌素沙地农牧生态系统能值分析与耦合关系 .....                                | 胡兵辉, 廖允成 (2559)                                     |
| 民勤绿洲农田生态系统服务价值变化及其影响因子的回归分析 .....                         | 岳东霞, 杜 军, 巩 杰, 等 (2567)                             |
| 青岛市城市绿地生态系统的环境净化服务价值 .....                                | 张绪良, 徐宗军, 张朝晖, 等 (2576)                             |
| 基于 3S 技术的祖厉河流域农村人均纯收入空间相关性分析 .....                        | 许宝泉, 施为群 (2585)                                     |
| <b>专论与综述</b>                                              |                                                     |
| 全球变化下植物物候研究的关键问题 .....                                    | 莫非, 赵 鸿, 王建永, 等 (2593)                              |
| 区域气候变化统计降尺度研究进展 .....                                     | 朱宏伟, 杨 森, 赵旭喆, 等 (2602)                             |
| 干旱胁迫下植物根源化学信号研究进展 .....                                   | 李冀南, 李朴芳, 孔海燕, 等 (2610)                             |
| 山黧豆毒素 ODAP 的生物合成及与抗逆性关系研究进展 .....                         | 张大伟, 邢更妹, 熊友才, 等 (2621)                             |
| 旱地小麦理想株型研究进展 .....                                        | 李朴芳, 程正国, 赵 鸿, 等 (2631)                             |
| 小麦干旱诱导蛋白及相关基因研究进展 .....                                   | 张小丰, 孔海燕, 李朴芳, 等 (2641)                             |

期刊基本参数: CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 306 \* zh \* P \* ¥ 70.00 \* 1510 \* 35 \* 2011-05



封面图说: 覆膜-垄作燕麦种植——反映了雨水高效利用和农田水生态过程的优化(详见强生才 P2365)。

彩图提供: 兰州大学干旱与草地生态教育部重点实验室莫非 E-mail: mofei371@163.com



## 脱硫废弃物对碱胁迫下油葵幼叶细胞钙分布 及 $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性的影响

毛桂莲<sup>1</sup>, 许 兴<sup>2,\*</sup>, 郑国琦<sup>1</sup>, 肖国举<sup>3</sup>, 岳自慧<sup>2</sup>, 杨 涓<sup>1</sup>

(1. 宁夏大学生命科学学院; 2. 宁夏大学农学院; 3. 宁夏大学新技术应用研究开发中心, 银川 750021)

**摘要:** 利用脱硫废弃物改良盐碱地对于确保国家粮食安全和生态安全, 发展循环经济具有重要意义。为了探索脱硫废弃物提高植物抗盐碱机理, 采用盆栽试验法, 研究了施入不同量脱硫废弃物和  $\text{CaSO}_4$  对碱胁迫下油葵叶片细胞钙分布、总钙含量以及质膜和液泡膜  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性的影响。结果表明: 在碱胁迫下 (CK),  $\text{Ca}^{2+}$  与焦锑酸钾结合成黑色颗粒成团零星分布于叶绿体和液泡中, 叶绿体超微结构受到不同程度的破坏。施入脱硫废弃物和  $\text{CaSO}_4$ , 叶绿体结构完整, 细胞间隙、细胞壁和液泡中的钙颗粒逐渐增多, 同时, 质膜和液泡膜  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性随脱硫废弃物和纯品硫酸钙施量的增加而增加, 其中液泡膜  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性无论是对照 (CK) 还是处理的活性均高于质膜  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性。叶片细胞内总钙含量也随脱硫废弃物和  $\text{CaSO}_4$  施用量的增加呈升高趋势。说明脱硫废弃物和  $\text{CaSO}_4$  通过增加  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性, 有利于钙通过质膜和液泡膜进入细胞内, 维持膜结构的稳定性, 缓解碱对油葵的胁迫。

**关键词:** 脱硫废弃物; 钙分布;  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性; 油葵

## Effects of desulfurization waste treatment on calcium distribution and calcium ATPase activity in oil-sunflower seedlings under alkaline stress

MAO Guilian<sup>1</sup>, XU Xing<sup>2,\*</sup>, ZHENG Guoqi<sup>1</sup>, XIAO Guojun<sup>3</sup>, YUE Zihui<sup>2</sup>, YANG Juan<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Life Science of School in Ningxia University, Yinchuan 750021, China

<sup>2</sup> Agriculture of School in Ningxia University

<sup>3</sup> New Technology Application Research and Development Center of Ningxia University

**Abstract:** Soil salinity is one of the major limiting factors in agricultural productivity. Desulfurization waste could be recycled to improve saline-alkaline soil, and this could provide stability in food production. In this study, desulfurization waste was applied to oil-sunflower seedlings to improve their resistance to saline-alkaline conditions. The distribution of calcium, total calcium content, and calcium ATPase ( $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase) activities in leaves cells were measured after exogenous treatment with desulfurization waste or calcium sulfate ( $\text{CaSO}_4$ ). In control experiments under alkaline stress, there were few calcium precipitates in the chloroplast and vacuole, and the chloroplast structure was deformed. Calcium precipitates increased in the cell wall, intercellular space and vacuole, and the chloroplast structure remained intact after applying desulfurization gypsum or  $\text{CaSO}_4$  to the sunflowers. The  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase activities in the plasma membrane and tonoplast increased with the desulfurization waste or  $\text{CaSO}_4$  dose, and activity was higher in the tonoplast than in the plasma membrane. The total calcium content also increased with the treatment dose. Both desulfurization waste and  $\text{CaSO}_4$  contributed to calcium influx into the cell through the plasma membrane and tonoplast, which maintained the stability and integrity of the membrane and cell wall structure and reduced injury to the sunflower under alkaline stress.

**Key Words:** desulfurization waste; calcium distribution; calcium ATPase activity; oil-sunflower

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目 (2007BAC08B01, 2011BAC07B03)

收稿日期: 2010-11-15; 修订日期: 2011-03-07

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xuxingscience@126.com

干旱区土壤盐渍化是困扰农业和林业生产的一大难题,也是减少农业和林业产量的主要非生物胁迫因素之一。随着人口的增加和耕地面积减少,我国粮食的有效供给和粮食安全性问题越来越引起人们的重视,土壤盐害是影响作物产量潜力发挥的主要限制因素之一。据统计<sup>[1-2]</sup>,我国盐渍土面积约  $3.46 \times 10^7 \text{ hm}^2$ ,黄河河套地区有灌溉农田 100 万  $\text{hm}^2$ ,但 1/3 以上存在不同程度的土壤盐渍化问题。土壤盐渍化已经严重影响和制约该地区的生态环境和农业可持续发展。因此科学改造和利用盐渍化土壤,直接关系到我国的农业发展、粮食安全和环境保护。

脱硫废弃物是燃煤电厂排出的固体废弃物,其主要成分是  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,其含量占 80% 左右。近几年来,我国在黄河河套地区的内蒙古土默川平原、宁夏银北平罗县西大滩等地开展了利用脱硫石膏改良盐碱地的田间试验研究,试验主要从土壤改良效果上进行了系统的研究,并取得了显著效果。研究结果显示:脱硫废弃物能中和土壤碱性,降低土壤 pH 值和土壤碱化度。降低土壤容重,改善土壤水分物理形状,增加土壤团粒结构<sup>[3-6]</sup>,但脱硫废弃物提高植物抗盐碱机理还不清楚。为此,本文以宁夏银北平罗西大滩的碱化土壤为主,从钙信使角度出发,研究外施脱硫废弃物和  $\text{CaSO}_4$  对碱胁迫下油葵钙分布、总钙含量及细胞膜  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性的影响,旨在揭示脱硫废弃物提高盐碱地油葵抗逆性机理,同时也为脱硫废弃物大面积改良盐碱地提供理论基础。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验区概况

宁夏银北平罗县西大滩位于宁夏贺兰山东麓洪积扇边缘,属于黄河中上游灌溉地区,地势平缓低洼,境内分布有典型代表性的碱化土壤(俗称白僵土)<sup>[7]</sup>。一般地下水埋深 1.5 m 左右,地下水主要含硫酸盐、氯化物,并且普遍含有苏打。土壤碱化度在 15%—60% 之间,总碱度在 0.20—0.65  $\text{cmol/kg}$  之间,pH 值在 8.0—10.4 之间,全盐在 2.5—6.5  $\text{g/kg}$  之间,土质黏重,透水性差。盐分类型主要有  $\text{NaCl}$ 、 $\text{Na}_2\text{SO}_4$  和  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 。

### 1.2 材料培养及处理

试验在宁夏大学温室进行,供试材料油葵。土样来自宁夏银北平罗县西大滩的碱化土壤(全盐为 0.28%,pH 9.8)。土样装入花盆,每盆 4kg,同时施入脱硫废弃物和纯品  $\text{CaSO}_4$ 。施入量分别为:对照(CK)不施脱硫废弃物; $T_1$ :施脱硫废弃物 0.8t/666.7  $\text{m}^2$ ;  $T_2$ :施脱硫废弃物 1.6t/666.7  $\text{m}^2$ ;  $T_3$ :脱硫废弃物 0.8t/666.7  $\text{m}^2$  折合纯品硫酸钙(按脱硫废弃物含 80% 硫酸钙折算);  $T_4$ :硫废弃物 1.6t/666.7  $\text{m}^2$  折合纯品硫酸钙。将种子撒播入盆中,不同处理各 10 盆。定期浇水,在油葵苗期取叶片以待测定。

### 1.3 测定项目

#### 1.3.1 $\text{Ca}^{2+}$ 的细胞化学定位

Ca 定位参照王风茹<sup>[8]</sup>的方法。

#### 1.3.2 质膜和液泡膜 $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性的测定

##### (1) 质膜和液泡膜微囊的制备

参考米海莉<sup>[9]</sup>和 Mandai<sup>[10]</sup>的方法并加以改进。取油葵叶 30g 左右,加入研磨液(内含 EDTA 5  $\text{mmol/L}$ , DTT 5  $\text{mmol/L}$ , Tris 80 $\text{mmol/L}$ , 5% 甘油, PMSF 1 $\text{mmol/L}$ , 10 $\text{mmol/L}$  蔗糖, pH 7.8), 研磨液成匀浆后, 研磨后匀浆液经 10000g 离心 15 min, 再经 100000g 离心过滤, 沉淀用少量悬浮液(内含 250  $\text{mmol/L}$  蔗糖, Tris-MES 5  $\text{mmol/L}$ , DTT 1  $\text{mmol/L}$ , PMSF 0.5  $\text{mmol/L}$ , pH 7.0) 悬浮, 用 22%、36%、45% 的蔗糖代替 6%—12% 的葡聚糖, 于 60000g 进行不连续密度梯度超速离心。2h 后取 22%—36% 和 36%—45% 界面区带, 分别作为液泡膜和质膜制剂。

##### (2) $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性的测定

采用 Rasi-Caldogrov 的方法<sup>[11]</sup>。

#### 1.3.3 总钙含量的测定

$\text{Ca}^{2+}$  含量用原子吸收分光光度计测定<sup>[12]</sup>。

## 1.4 统计分析

数据处理、作图及相关性分析采用 Excel 和 DPS 软件系统辅助完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施量脱硫废弃物和 $\text{CaSO}_4$ 对碱胁迫下油葵叶细胞钙分布的影响

经焦锑酸钾反应后,  $\text{Ca}^{2+}$  形成焦锑酸钙沉淀, 在透射电镜下呈电子不透明的黑色颗粒。图 1 为外施脱硫废弃物和  $\text{CaSO}_4$  对碱胁迫下油葵叶片钙分布的变化。图 1(A 和 B) 为未施脱硫废弃物即碱胁迫下, 叶绿体变形、膨胀、呈圆形, 叶绿体超微结构受到不同程度的破坏。  $\text{Ca}^{2+}$  与焦锑酸钾结合成黑色颗粒成团零星分布于叶绿体和细胞质中。施入脱硫废弃物, 叶绿体结构完整, 呈梭状。同时发现随着施量的增加, 0.8t/666.7m<sup>2</sup> 脱硫废弃物, 细胞壁沉积的黑色颗粒密度增加, 同时细胞间隙中钙颗粒也增多。液泡中也有钙的沉积(图 1C 和 D); 施入 1.6t/666.7m<sup>2</sup> 的脱硫废弃物, 细胞间隙、细胞壁和液泡中有大量分布(图 1E、F 和 G)。加入  $\text{CaSO}_4$  后, 对叶肉细胞中钙的分布与脱硫废弃物一致, 从图 1(H、I、J 和 K) 可以看出, 钙颗粒在叶绿体、细胞壁和细胞间隙有大量的分布。说明钙有利于稳定膜结构的功能, 同时钙离子的增加, 有利于保持叶绿体结构的完整性。

### 2.2 脱硫废弃物和 $\text{CaSO}_4$ 对碱胁迫油葵叶片质膜 $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性的影响

脱硫废弃物和  $\text{CaSO}_4$  对碱胁迫下油葵质膜  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性变化(图 2)。随着脱硫废弃物施量的增加, 质膜  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性呈升高趋势,  $T_1$  处理酶活性与 CK 相比升高了 77.9%;  $T_2$  处理(即 1.6t/666.7m<sup>2</sup> 的施量)酶活性与 CK 相比活性提高了 166.7%, 方差分析显示:  $T_1$  处理与 CK 达显著水平( $P < 0.05$ ); 在碱胁迫下加入  $\text{CaSO}_4$  后,  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性的变化趋势与加废弃物变化趋势一致, 也呈升高趋势,  $T_3$  和  $T_4$  与 CK 相比其活性分别升高了 104.2% 和 178.9%。加入纯品  $\text{CaSO}_4$  与废弃物相比其质膜  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性相对较高, 如  $T_4$  处理  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性与  $T_2$  的相比, 其活性升高了 4.5%。纯品  $\text{CaSO}_4$  各处理与 CK 差异不显著( $P < 0.05$ ),  $T_3$  处理与  $T_1$  处理差异显著, 说明脱硫废弃物中对碱胁迫起缓解作用的主要是硫酸钙。

### 2.3 脱硫废弃物和 $\text{CaSO}_4$ 对碱胁迫油葵叶片液泡膜 $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性的影响

图 3 为脱硫废弃物和  $\text{CaSO}_4$  对碱胁迫下油葵液泡膜  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性变化。从图可以看出, 无论是施入脱硫废弃物还是  $\text{CaSO}_4$  液泡膜  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性的变化与质膜的变化趋势基本一致, 也呈增加趋势。  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$  和  $T_4$  处理其液泡膜  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 与 CK 相比分别提高了 36.1%、59.6%、40.8% 和 62.4%,  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$  和  $T_4$  处理与 CK 相比差异达显著水平( $P < 0.05$ )。外施脱硫废弃物和  $\text{CaSO}_4$  对液泡膜酶活性提高的幅度低于质膜的, 但是液泡膜  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 的活性总体高于质膜的活性, 说明液泡膜  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性增加有促于调控细胞液泡和细胞质  $\text{Ca}^{2+}$  的变化。

### 2.4 脱硫废弃物和 $\text{CaSO}_4$ 对碱胁迫油葵叶片总钙含量的影响

图 4 显示总钙含量的变化。从图 4 可以看出外施脱硫废弃物后, 土壤钙离子浓度增加影响胞质内钙离子浓度的变化, 致使油葵叶片钙离子含量升高, 但升高的幅度不大, 其中  $T_1$  和  $T_2$  与对照 CK 相比含量升高了 5.16% 和 12.9%;  $T_1$  和  $T_2$  与对照 CK 之间差异显著,  $T_1$  与  $T_2$  差异不显著( $P < 0.05$ )。加入  $\text{CaSO}_4$  后, 叶片总钙含量有所增加,  $T_3$  和  $T_4$  与对照 CK 相比分别升高了 0.64% 和 24.5%,  $T_4$  与 CK 之间差异显著( $P < 0.05$ )。

## 3 讨论

$\text{Ca}^{2+}$  作为植物生长发育的第二信使已得到广泛的认可<sup>[13-14]</sup>。越来越多的研究表明<sup>[15-16]</sup>,  $\text{Ca}^{2+}$  参与了植物对逆境胁迫的应答反应, 盐胁迫、干旱、低温和热激以及氧化胁迫均可引起细胞质内的  $\text{Ca}^{2+}$  浓度升高, 即诱发植物产生钙信号, 诱导不同基因表达, 适应相应逆境。

利用脱硫废弃物改良碱化土壤的原理, 就是利用脱硫废弃物中含有的  $\text{Ca}^{2+}$  对土壤胶体吸附的  $\text{Na}^+$  进行置换, 并通过淋洗将其排出土体, 达到治碱改土的目的<sup>[17]</sup>。土壤中吸附的钙对植物来讲, 不仅是植物生长发育所需的一种大量元素, 对植物细胞的结构和生理功能具有重要作用。能维持细胞壁、细胞膜及膜结合蛋白的稳定性, 同时  $\text{Ca}^{2+}$  对保持生物膜选择性具有重要作用, 参与胞内稳态和生长发育的调节过程<sup>[14]</sup>。

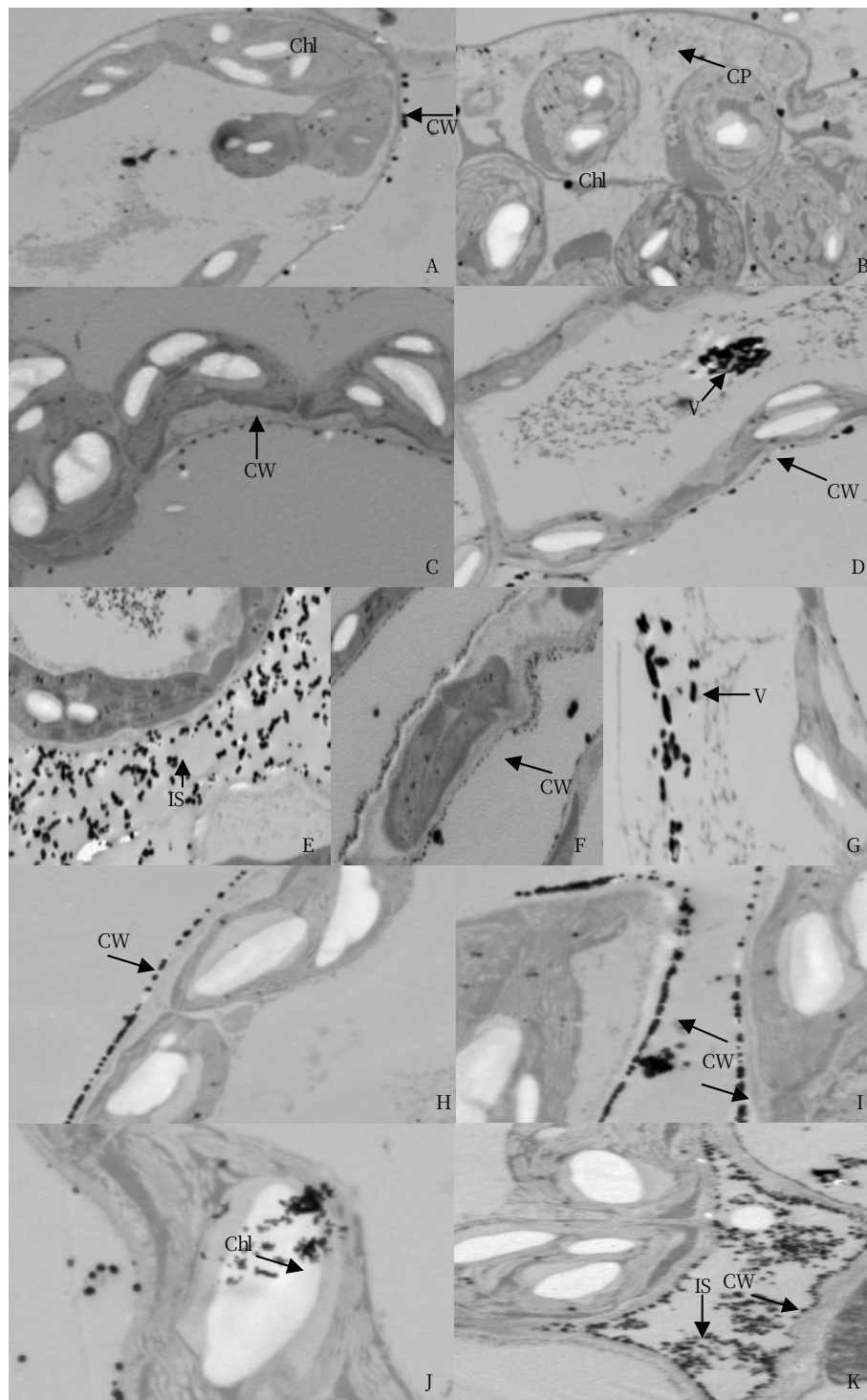


图1 脱硫废弃物和  $\text{CaSO}_4$  对碱胁迫油葵叶片钙离子分布的影响

Fig.1 Effects of desulfurization waste and  $\text{CaSO}_4$  on calcium distribution of leavers cells of oil-sunflower under alkali stress

V: 液泡; CW: 细胞壁; Chl: 叶绿体; IS: 细胞间隙; CP: 细胞质

(A) 未施脱硫废弃物, 碱胁迫对油葵叶片钙离子分布的影响,  $\times 3000$ ; (B) 未施脱硫废弃物, 碱胁迫对油葵叶片叶绿体结构和细胞质钙离子分布的影响,  $\times 3000$ ; (C), (D) 施  $0.8\text{t}/666.7\text{m}^2$  脱硫废弃物对碱胁迫油葵叶片细胞壁和液泡钙离子分布的影响,  $\times 2500$ ; (E), (F), (G) 施  $1.6\text{t}/666.7\text{m}^2$  的脱硫废弃物对碱胁迫油葵叶片细胞间隙、细胞壁和液泡钙离子分布的影响,  $\times 5000$ ; (H), (I)  $0.8\text{t}/666.7\text{m}^2$  脱硫废弃物中折算纯品  $\text{CaSO}_4$  对碱胁迫油葵叶片细胞壁和细胞间隙钙离子分布的影响,  $\times 5000$ ; (J), (K)  $1.6\text{t}/666.7\text{m}^2$  脱硫废弃物中折算纯品  $\text{CaSO}_4$  对碱胁迫油葵叶片叶绿体、细胞壁和细胞间隙钙离子分布的影响,  $\times 3000$



在植物细胞内,通常存在3种类型的 $\text{Ca}^{2+}$ 库:紧密结合型 $\text{Ca}^{2+}$ 库、松散结合型 $\text{Ca}^{2+}$ 库和细胞质自由态 $\text{Ca}^{2+}$ 库,3种 $\text{Ca}^{2+}$ 库间处于动态平衡状态,随着细胞生理生化状态及环境刺激的变化,可以相互转化。本试验研究了碱胁迫下油葵叶片总钙含量和细胞中松散结合型钙的分布。结果发现:总钙含量无论是施脱硫废弃物还是 $\text{CaSO}_4$ 都呈升高趋势(图4),植物体内增加的钙可能是自由态钙和松散结合型钙。自由态 $\text{Ca}^{2+}$ 的变化采用荧光显微镜(CCD)做了检测,电镜观察到松散结合型钙随着施脱硫废弃物和 $\text{CaSO}_4$ 施量的增加,在细胞壁和液泡大量沉积(图1)。由此推断油葵叶总钙含量的升高一部分可能与细胞壁的果胶酸盐结合形成了果胶钙,维持碱胁迫下细胞壁结构的稳定性和完整性<sup>[18]</sup>。

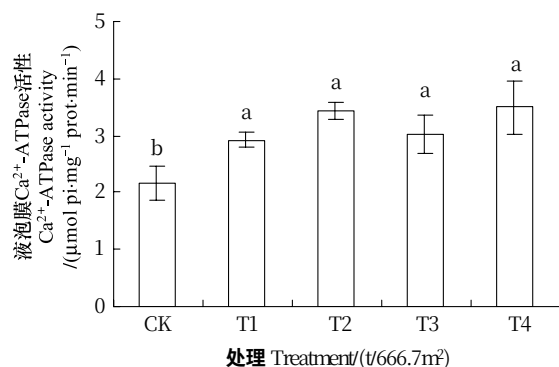


图3 脱硫废弃物和 $\text{CaSO}_4$ 对碱胁迫油葵液泡膜 $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase活性影响

Fig. 3 Effects of desulfurization waste and  $\text{CaSO}_4$  on tonoplast  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase activity of oil-sunflower under alkali stress

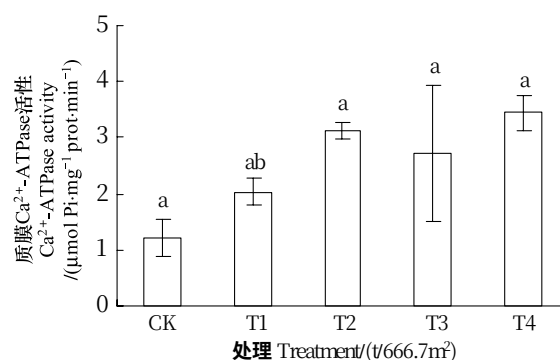


图2 脱硫废弃物和 $\text{CaSO}_4$ 对碱胁迫油葵质膜 $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase活性的影响

Fig. 2 Effects of desulfurization waste and  $\text{CaSO}_4$  on plasma membrane  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase activity of oil-sunflower under alkali stress

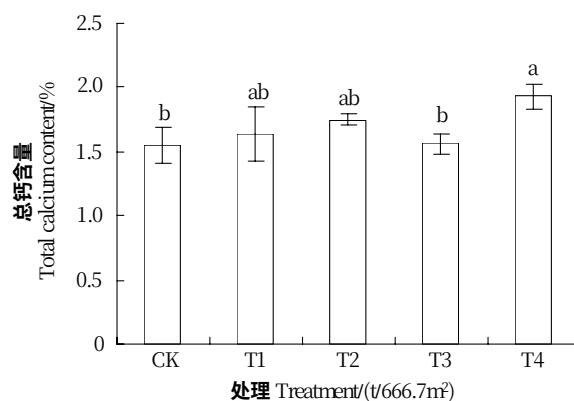


图4 脱硫废弃物和 $\text{CaSO}_4$ 对碱胁迫油葵总钙含量影响

Fig. 4 Effects of desulfurization waste and  $\text{CaSO}_4$  on total calcium content of oil-sunflower under alkali stress

$\text{Ca}^{2+}$ 信使系统在植物细胞中的重要作用已被确认<sup>[14,19]</sup>。细胞中的 $\text{Ca}^{2+}$ 平衡是由膜上的转运蛋白控制的, $\text{Ca}^{2+}$ 由钙库和细胞外进入胞质内是通过钙库膜和质膜上的 $\text{Ca}^{2+}$ 通道,由胞质进入钙库或转运到细胞外,则是通过膜上的 $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase以及 $\text{H}^+/\text{Ca}^{2+}$ 交换蛋白的主动运输。 $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase(又称 $\text{Ca}^{2+}$ 泵),主要位于质膜和液泡膜上,是将细胞质中的 $\text{Ca}^{2+}$ 主动运输到胞外或钙库中的转运蛋白,其活性直接影响到细胞中 $\text{Ca}^{2+}$ 的分布<sup>[20]</sup>。本试验研究结果表明,施入脱硫废弃物,细胞中钙在液泡和细胞间隙有大量的钙分布,同时在质膜和液泡膜上确实表现出很高的 $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase(图2—图3),并且液泡膜 $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase活性高于质膜活性,说明高的质膜和液泡膜 $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase,能将外界刺激引起的胞质高浓度 $\text{Ca}^{2+}$ 转运到液泡内,维持细胞质 $\text{Ca}^{2+}$ 浓度的稳态<sup>[21]</sup>。由于外界刺激引起细胞内这种 $\text{Ca}^{2+}$ 浓度的升高多是瞬间的,并且本实验只是浓度梯度试验,没有设时间的变化,所以无法观察到细胞质 $\text{Ca}^{2+}$ 浓度的升高,观察到的结果已经是细胞质钙离子回复到钙稳态的结果,大量的钙离子分布与液泡和细胞间隙和细胞壁中。为了验证脱硫废弃物提高植物抗逆性的物质是否是主要成分 $\text{CaSO}_4$ ,模拟脱硫废弃物占80% $\text{CaSO}_4$ 增设了纯品 $\text{CaSO}_4$ 对油葵的对比试验。试验结果显示:总钙含量、细胞中钙分布和质膜和液泡膜 $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase活性呈现的趋势与脱硫废弃物的趋势一致(图1H、I、J、K和图2—图4),且各项指标均高于脱硫废弃物的,充分说明脱硫废弃物中起缓解碱胁迫的主要物质是 $\text{CaSO}_4$ 。 $\text{Ca}^{2+}$

浓度的增加有利于维持膜结构和细胞壁结构的稳定性和完整性,从而缓解碱胁迫造成的伤害。

**致谢:**感谢中国农业大学陈其军老师和电子显微镜室的刘海虹老师和贾君镇老师在切片和电镜观察中提供的帮助。

#### References:

- [ 1 ] Liu Y C, He W S, He J Z, Shen Z R. Progress of improvement and utilization of saline-alkali land. *Journal of Agricultural Sciences*, 2007, 28 (2): 68-71.
- [ 2 ] Li B, Wang Z C, Sun Z G. Resources and sustainable resource exploitation of saline-alkali land in China. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2005, 23(2): 154-158.
- [ 3 ] Li Y J, Wu L G, Lu Y X, Chen C H, Xu X C, Wang S J. Amelioration of alkali-soil with the by-product of burn coal smoke desulphurization in the field. *Acta Agriculture Boreali-Sinica*, 2004, 19(51): 10-15.
- [ 4 ] Xiao G J, Luo C K, Zhang F J, Wang B, Zheng G Q, Yang J, Mao G L, Bai H B. Application amount of desulfurized gypsum from coal fired power plants on improving the quality of alkali soil. *Research of Environmental Science*, 2010, 23(6): 762-767.
- [ 5 ] Luo C K, Xiao G J, Zhang F J, Qin P. Optimal application rate of desulfurized gypsum in ameliorating soils moderate in sodic salinity. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2009, 25(3): 44-48.
- [ 6 ] Wang J M, Yang P L, Ren S M, Xiang G M. Variation of chemical indices of alkaline soil ameliorated with desulphurization byproducts. *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42 (1): 98-105.
- [ 7 ] Li Q, Sun Z J, Qin P. Summary of Ningxia saline status and improved measures. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2007, 35(33): 10808-10810.
- [ 8 ] Wang F R, Zhang X H. Cytochemistry of  $\text{Ca}^{2+}$  in the chloroplast the wheat seedling under water stress. *Journal of Chinese Electron Microscopy Society*, 2002, 21(2): 106-109.
- [ 9 ] Mi H L, Zheng G Q, Xu X, Zhang X Y, Li Y K, Cao Y L. Effects of NaCl stress on plasma membrane and tonoplast  $\text{H}^{+}$ -ATPase activities in seedling roots of *Lycium barbarum* L. in Ningxia hui autonomous region. *Acta Botanica. Boreali-occidentalia Sinica*, 2006, 26(4): 748-752.
- [ 10 ] Mandala S, Taiz L. Characterization of the subunit structure of the maize tonoplast ATPase. Immunological and inhibitor binding studies. *Journal of Biological Chemistry*, 1986, 261(27): 12850-12855.
- [ 11 ] Rasi-Caldogno F, Pugliarello M C, Olivari C, De Michelis M I. Controlled proteolysis mimics the effect of fusaric acid on the plasma membrane  $\text{H}^{+}$ -ATPase. *Plant Physiology*, 1993, 103(2): 391-398.
- [ 12 ] Tieman D M, Handa A K. Reduction in pectin methylesterase activity modifies tissue integrity and cation levels in ripening tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruits. *Plant Physiology*, 1994, 106(2): 429-436.
- [ 13 ] Sun D Y, Guo Y L, Ma L G. Cell signal transduction. Beijing: Science Press, 2001: 140-198.
- [ 14 ] Bush D S. Calcium regulation in plant cells and its role in signaling. *Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 1995, 46: 95-122.
- [ 15 ] Knight H, Trewavas A J, Knight M R. Cold calcium signaling in Arabidopsis involves two cellular pools and a change in calcium signature after acclimation. *Plant Cell*, 1996, 8(3): 489-503.
- [ 16 ] Price A H, Taylor A, Ripley S J, Griffiths A, Trewavas A J, Knight, M R. Oxidative signals in tobacco increase cytosolic calcium. *Plant Cell*, 1994, 6(9): 1301-1310.
- [ 17 ] Ghazl N, AL-Karakl M. Wheat response to phosphogypsum and mycorrhizal fungi in alkaline soil. *Journal of Plant Nutrition*, 2002, 25(4): 873-883.
- [ 18 ] Zhang Z S, Li R Q, Wang J B. Effects of  $\text{Ca}^{2+}$  pretreatment on plasmalemma permeability GSH and ASA contents and calcium distribution in pepper mesophyll cells under heat stress. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2001, 25(2): 230-234.
- [ 19 ] Webb A A R, Mcainsh M R, Taylor J E, Hetherington A M. Calcium ions as intracellular second messenger in higher plants. *Advance in Botanical Research*, 1996, 22(c): 45-96.
- [ 20 ] Perez-Prat E, Narasimhan M L, Binzel M L, Botella M A, Chen Z, Valpesta V, Brzssan R A, Hasegawa P M. Induction of a putative  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase mRNA in NaCl-adapted cells. *Plant Physiology*, 1992, 100(3): 1471-1478.
- [ 21 ] Wei H P, Wang J B, Li R Q, Wu G S. Ultrastructural localization of  $\text{Ca}^{2+}$  in primary root meristemic apical meristemic cells of the flooded maize. *Journal of Biology*, 2005, 22(4): 20-23.



## 参考文献:

- [ 1 ] 刘阳春, 何文寿, 何进智, 沈振荣. 盐碱地改良利用研究进展. 农业科学研究, 2007, 28 (2): 68-71.
- [ 2 ] 李彬, 王志春, 孙志高. 中国盐碱地资源与可持续利用研究. 干旱地区农业研究, 2005, 23(2): 154-158.
- [ 3 ] 李跃进, 乌力更, 芦永兴, 陈昌和, 徐旭常, 王淑娟. 燃煤烟气脱硫副产物改良碱化土壤田间试验研究. 华北农学报, 2004, 19(51): 10-15.
- [ 4 ] 肖国举, 罗成科, 张峰举, 王彬, 郑国琦, 杨娟, 毛桂莲, 白海波. 燃煤电厂脱硫废弃物改良碱化土壤施用量研究. 环境科学研究, 2010, 23(6): 762-767.
- [ 5 ] 罗成科, 肖国举, 张峰举, 秦萍. 脱硫废弃物改良中度苏打盐渍土施用量的研究. 生态与农村环境学报, 2009, 25(3): 44-48.
- [ 6 ] 王金满, 杨培岭, 任树梅, 项光明. 烟气脱硫副产物改良碱性土壤过程中化学指标变化规律的研究. 土壤学报, 2005, 42 (1): 98-105.
- [ 7 ] 李茜, 孙兆军, 秦萍. 宁夏盐碱地现状及改良措施综述. 安徽农业科学, 2007, 35(33): 10808-10810.
- [ 8 ] 王凤茹, 张晓红. 干旱逆境下的小麦幼苗细胞内钙离子浓度变化的电镜细胞化学定位. 电子显微学报, 2002, 21(2): 106-109.
- [ 9 ] 米海莉, 郑国琦, 许兴, 张曦燕, 李越鲤, 曹有龙. NaCl 胁迫对宁夏枸杞幼苗根系质膜和液泡膜  $H^+$ -ATPase 活性的影响. 西北植物学报, 2006, 26(4): 748-752.
- [ 13 ] 孙大业, 郭艳林, 马力耕. 细胞信号转导. 北京: 科学出版社, 2001:140-198.
- [ 18 ] 张宗申, 利容千, 王建波. 外源  $Ca^{2+}$  预处理对高温胁迫下辣椒叶片细胞膜透性和 GSH、ASA 含量及  $Ca^{2+}$  分布的影响. 植物生态学报, 2001, 25(2): 230-234.
- [ 21 ] 魏和平, 王建波, 利容千, 吴甘霖. 淹水玉米幼苗根尖分生细胞内  $Ca^{2+}$  超微细胞化学定位. 生物学杂志, 2005, 22(4): 20-23.

# ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 9 May, 2011 (Semimonthly)

## CONTENTS

|                                                                                                                                                              |                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Guest Editorial from EAM Workshop—Sustainability of agricultural ecosystems in arid regions in response to climate change .....                              |                                                             |
| ..... LI Fengmin, Kadambot H. M Siddique, Neil C Turner, et al ( I )                                                                                         |                                                             |
| Overview on the 2 <sup>nd</sup> international workshop on ecosystem assessment and management ( EAM) .....                                                   |                                                             |
| ..... LI Pufang, ZHAO Xuzhe, CHENG Zhengguo, et al (2349)                                                                                                    |                                                             |
| Arid agricultural ecology in response to global change: Overview on Young Scholar Forum of the 2 <sup>nd</sup> International Workshop on                     |                                                             |
| EAM .....                                                                                                                                                    | ZHAO Xuzhe, LI Pufang, Kadambot H. M Siddique, et al (2356) |
| The effects of micro-rainwater harvesting pattern and rainfall variability on water ecological stoichiometry in oat ( <i>Avena sativa</i> L.)                |                                                             |
| field .....                                                                                                                                                  | QIANG Shengcai, ZHANG Hengjia, MO Fei, et al (2365)         |
| Spatial variation of water requirement for spring wheat in the middle reaches of Heihe River basin .....                                                     |                                                             |
| ..... WANG Yao, ZHAO Chuanyan, TIAN Fengxia, et al (2374)                                                                                                    |                                                             |
| Model-based estimation of the canopy transpiration of Qinghai spruce ( <i>Picea crassifolia</i> ) forest in the Qilian Mountains .....                       |                                                             |
| ..... TIAN Fengxia, ZHAO Chuanyan, FENG Zhaodong (2383)                                                                                                      |                                                             |
| Litter amount and its nutrient storage and water holding characteristics under different coniferous forest types in Xiaolong Mountain,                       |                                                             |
| Gansu Province .....                                                                                                                                         | CHANG Yajun, CHEN Qi, CAO Jing, et al (2392)                |
| Effect of irrigation frequency on life history strategy and yield formation in Jerusalem artichoke ( <i>Helianthus tuberosus</i> L.) in oasis                |                                                             |
| of Hexi Corridor .....                                                                                                                                       | ZHANG Hengjia, HUANG Gaobao, YANG Bin (2401)                |
| The evaluation method of water resources sustainable utilization in Manas River Basin .....                                                                  |                                                             |
| ..... YANG Guang, HE Xinlin, LI Junfeng, et al (2407)                                                                                                        |                                                             |
| Correlation of topographic factors with precipitation and surface temperature in arid and cold region of Northwest China: a case                             |                                                             |
| study in Gansu Province .....                                                                                                                                | YANG Sen, SUN Guojun, HE Wenying, et al (2414)              |
| The relationship between riparian vegetation and environmental factors in Heihe River Basin .....                                                            |                                                             |
| ..... XU Shasha, SUN Guojun, LIU Huiming, et al (2421)                                                                                                       |                                                             |
| Effects of drought stress on the photosynthesis of <i>Salix paraqulesia</i> and <i>Hippophae rhamnoides</i> seedlings .....                                  |                                                             |
| ..... CAI Haixia, WU Fuzhong, YANG Wanqin (2430)                                                                                                             |                                                             |
| The comparison of drought resistance between <i>Caragana species</i> ( <i>Caragana arborescens</i> , <i>C. korshinskii</i> , <i>C. microphylla</i> ) and two |                                                             |
| chickpea ( <i>Cicer arietinum</i> L.) cultivars .....                                                                                                        | FANG Xiangwen, LI Fengmin, ZHANG Haina, et al (2437)        |
| Response of chlorophyll fluorescence characteristics of <i>Populus euphratica</i> heteromorphic Leaves to high temperature .....                             |                                                             |
| ..... WANG Haizhen, HAN Lu, XU Yali, et al (2444)                                                                                                            |                                                             |
| Free amino acid content in different tissues of <i>Caragana korshinskii</i> following all shoot removal .....                                                |                                                             |
| ..... ZHANG Haina, FANG Xiangwen, JIANG Zhirong, et al (2454)                                                                                                |                                                             |
| “Fertile Island” features of soil available nutrients around <i>Halostachys caspica</i> shrub in the alluvial fan area of Manas River watershed .....        |                                                             |
| ..... TU Jinna, XIONG Youcai, ZHANG Xia, et al (2461)                                                                                                        |                                                             |
| Analysis of the activities of protective enzymes in <i>Bidens pilosa</i> L. inoculated with <i>Glomus mosseae</i> under drought stress .....                 |                                                             |
| ..... SONG Huixing, ZHONG Zhangcheng, YANG Wanqin, et al (2471)                                                                                              |                                                             |
| Evaluation and selection on drought-resistance of germplasm resources of <i>Avena</i> species with different types of ploidy .....                           |                                                             |
| ..... PENG Yuanying, YAN Honghai, GUO Laichun, et al (2478)                                                                                                  |                                                             |
| Ecophysiological mechanism of photoperiod affecting phenological period and spike differentiation in oat ( <i>Avena nuda</i> L.) .....                       |                                                             |
| ..... ZHAO Baoping, ZHANG Na, REN Changzhong, et al (2492)                                                                                                   |                                                             |
| Effects of water and fertilization on relationship between competitive ability and seed yield of modern and old spring wheat varieties .....                 |                                                             |
| ..... DU Jingqi, WEI Panpan, YUAN Ziqiang, et al (2501)                                                                                                      |                                                             |

- Inhibitory effect of biogas slurry from swine farm on some vegetable pathogen ..... SHANG Bin, CHEN Yongxing, TAO Xiuping, et al (2509)
- Effects of different summer catch crops planting on soil inorganic N residue and leaching in greenhouse vegetable cropping system ..... WANG Zhiyi, GUO Ruiying, LI Fengmin (2516)
- Photosynthetic characterization and yield of summer corn (*Zea mays* L.) during grain filling stage under different planting pattern and population densities ..... WEI Li, XIONG Youcai, Baoluo Ma, et al (2524)
- Effects of desulfurization waste treatment on calcium distribution and calcium ATPase activity in oil-sunflower seedlings under alkaline stress ..... MAO Guilian, XU Xing, ZHENG Guoqi, et al (2532)
- The evolution between ecological security pattern and agricultural productive force in Manas River Basin for the past 30 years ..... WANG Yuejian, XU Hailiang, WANG Cheng, et al (2539)
- Spatio-temporal analysis of ecological carrying capacity in Jinghe Watershed based on Remote Sensing and Transfer Matrix ..... YUE Dongxia, DU Jun, LIU Junyan, et al (2550)
- The coupling relationship and emergy analysis of farming and grazing ecosystems in Mu Us sandland ..... HU Binghui, LIAO Yuncheng (2559)
- Dynamic analysis of farmland ecosystem service value and multiple regression analysis of the influence factors in Minqin Oasis ..... YUE Dongxia, DU Jun, GONG Jie, et al (2567)
- Environment purification service value of urban green space ecosystem in Qingdao City ..... ZHANG Xuliang, XU Zongjun, ZHANG Zhaohui, et al (2576)
- The spatial relationship analysis of rural per capital revenue based on GIS in Zulihe River basin, Gansu Province ..... XU Baoquan, SHI Weiqun (2585)
- Review and Monograph**
- The key issues on plant phenology under global change ..... MO Fei, ZHAO Hong, WANG Jianyong, et al (2593)
- Recent advances on regional climate change by statistical downscaling methods ..... ZHU Hongwei, YANG Sen, ZHAO Xuzhe, et al (2602)
- Current progress in eco-physiology of root-sourced chemical signal in plant under drought stress ..... LI Jinan, LI Pufang, KONG Haiyan, et al (2610)
- ODAP biosynthesis: recent developments and its response to plant stress in grass pea (*Lathyrus sativus* L.) ..... ZHANG Dawei, XING Gengmei, XIONG Youcai, et al (2621)
- Current progress in plant ideotype research of dryland wheat (*Triticum aestivum* L.) ..... LI Pufang, CHENG Zhengguo, ZHAO Hong, et al (2631)
- Recent advances in research on drought-induced proteins and the related genes in wheat (*Triticum aestivum* L.) ..... ZHANG Xiaofeng, KONG Haiyan, LI Pufang, et al (2641)



# 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<br>Order | 期刊<br>Journal                           | 总被引频次<br>Total citation | 排序<br>Order | 期刊<br>Journal | 影响因子<br>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<br>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

客座编辑 Guest Editors LI Fengmin XIONG Youcai Neil Turner Kadambot Siddique

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 31 卷 第 9 期 (2011 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 9 2011

|               |                                                                                                                    |                 |                                                                                                                                                                                 |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 编 辑           | 《生态学报》编辑部<br>地址:北京海淀区双清路 18 号<br>邮政编码:100085<br>电话:(010)62941099<br>www.ecologica.cn<br>shengtaixuebao@rcees.ac.cn | Edited by       | Editorial board of<br>ACTA ECOLOGICA SINICA<br>Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China<br>Tel:(010)62941099<br>www.ecologica.cn<br>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<br>中国科学院生态环境研究中心<br>地址:北京海淀区双清路 18 号<br>邮政编码:100085                                                         | Sponsored by    | Ecological Society of China<br>Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS<br>Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China                                 |
| 出 版           | 科 学 出 版 社<br>地址:北京东黄城根北街 16 号<br>邮政编码:100717                                                                       | Published by    | Science Press<br>Add:16 Donghuangchenggen North Street,<br>Beijing 100717, China                                                                                                |
| 印 刷           | 北京北林印刷厂                                                                                                            | Printed by      | Beijing Bei Lin Printing House,<br>Beijing 100083, China                                                                                                                        |
| 发 行           | 科 学 出 版 社<br>地址:东黄城根北街 16 号<br>邮政编码:100717<br>电话:(010)64034563<br>E-mail:journal@cspg.net                          | Distributed by  | Science Press<br>Add:16 Donghuangchenggen North<br>Street, Beijing 100717, China<br>Tel:(010)64034563<br>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<br>地址:北京 399 信箱<br>邮政编码:100044                                                                         | Foreign         | China International Book Trading<br>Corporation<br>Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China                                                                                      |
| 广告经营<br>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