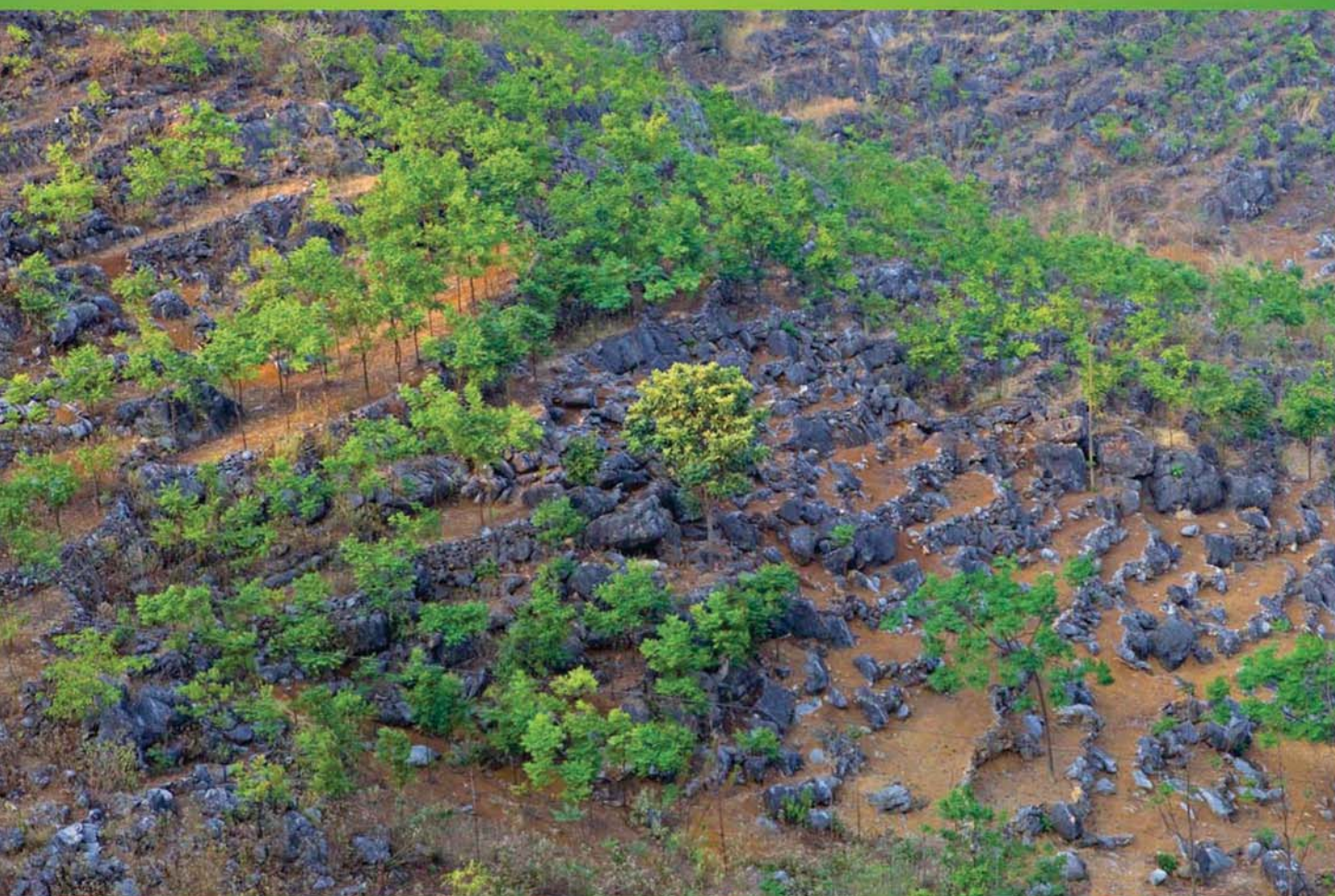


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

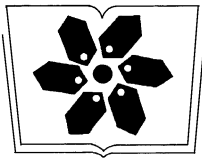
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第15期 Vol.33 No.15 **2013**

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 33 卷 第 15 期 2013 年 8 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 红树林生态系统遥感监测研究进展..... 孙永光,赵冬至,郭文永,等 (4523)
- 基于能值分析方法的城市代谢过程研究——理论与方法 刘耕源,杨志峰,陈 彬 (4539)
- 关于生态文明建设与评价的理论思考 赵景柱 (4552)

个体与基础生态

- 长江口及邻近海域秋冬季小型底栖动物类群组成与分布..... 于婷婷,徐奎栋 (4556)
- 灌河口邻近海域春季浮游植物的生态分布及其营养盐限制..... 方 涛,贺心然,冯志华,等 (4567)
- 春季海南岛近岸海域尿素与浮游生物的脲酶活性..... 黄凯旋,张云,欧林坚,等 (4575)
- 模拟酸雨对蒙古栎幼苗生长和根系伤流量的影响..... 梁晓琴,刘 建,丁文娟,等 (4583)
- 有机酸类化感物质对甜瓜的化感效应..... 张志忠,孙志浩,陈文辉,等 (4591)
- 稻田土壤氧化态有机碳组分变化及其与甲烷排放的关联性..... 吴家梅,纪雄辉,霍莲杰,等 (4599)
- 双氰胺单次配施和连续配施的土壤氮素形态和蔬菜硝酸盐累积变化..... 王煌平,张 青,翁伯琦,等 (4608)
- 不同类型土壤中分枝杆菌噬菌体分离率的比较..... 徐凤宇,苏胜兵,马红霞,等 (4616)
- 模拟酸雨对小麦产量及籽粒蛋白质和淀粉含量及组分的影响 卞雅姣,黄 洁,孙其松,等 (4623)
- 麻花秦艽种子休眠机理及其破除方法 李兵兵,魏小红,徐 严 (4631)
- 4 种金色叶树木对 SO_2 胁迫的生理响应 种培芳,苏世平 (4639)
- 硫丹及其主要代谢产物对紫色土中酶活性的影响..... 熊佰炼,张进忠,代 娟,等 (4649)

种群、群落和生态系统

- 群落水平食物网能流季节演替特征..... 徐 军,周 琼,温周瑞,等 (4658)
- 千岛湖岛屿社鼠的种群数量动态特征..... 张 旭,鲍毅新,刘 军,等 (4665)
- 黄土丘陵沟壑区不同植被区土壤生态化学计量特征..... 朱秋莲,邢肖毅,张 宏,等 (4674)
- 青藏高原高寒草甸退化与人工恢复过程中植物群落的繁殖适应对策..... 李媛媛,董世魁,朱 磊,等 (4683)
- 杉木人工林土壤质量演变过程中土壤微生物群落结构变化..... 刘 丽,徐明恺,汪思龙,等 (4692)
- 不同玉米品种(系)对玉米蚜生长发育和种群增长的影响 赵 曼,郭线茹,李为争,等 (4707)
- 伏牛山自然保护区森林冠层结构对林下植被特征的影响..... 卢训令,丁圣彦,游 莉,等 (4715)
- 内蒙古武川县农田退耕还草对粪金龟子群落的影响 刘 伟,门丽娜,刘新民 (4724)
- 铜和营养缺失对海州香薷两个种群生长、耐性及矿质营养吸收的差异影响 柯文山,陈世俭,熊治廷,等 (4737)
- 新疆喀纳斯国家自然保护区植被叶面积指数观测与遥感估算..... 咎 梅,李登秋,居为民,等 (4744)

景观、区域和全球生态

基于 LUCC 的生态系统服务空间化研究——以张掖市甘州区为例 梁友嘉,徐中民,钟方雷,等 (4758)

人工管理和自然驱动下盐城海滨湿地互花米草沼泽演变及空间差异 张华兵,刘红玉,侯明行 (4767)

基于 PCA 的滇西北高原纳帕海湿地退化过程分析及其评价 尚 文,杨永兴,韩大勇 (4776)

基于遥感和地理信息系统的图们江地区生态安全评价..... 南 颖,吉 喆,冯恒栋,等 (4790)

呼中林区森林景观的历史变域模拟及评价..... 吴志丰,李月辉,布仁仓,等 (4799)

降水时间对内蒙古温带草原地上净初级生产力的影响..... 郭 群,胡中民,李轩然,等 (4808)

研究简报

我国中东部不同气候带成熟林凋落物生产和分解及其与环境因子的关系.....

..... 王健健,王永吉,来利明,等 (4818)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-08



封面图说: 石质山区的退耕还林——桂西北地区是我国喀斯特集中分布的地区之一,这里的石漠化不仅造成土地退化、土壤资源逐步消失、干旱缺水和土地生产力下降,而且还导致生态系统退化和植被消亡。桂西北严重的地质生态环境问题,威胁着当地居民的基本生存,严重制约了当地社会经济的发展。增加植被覆盖是防治石漠化的重要举措。随着国家退耕还林、生态移民等治理措施的实施,区域植被碳密度显著增加,生态环境有所好转。图为喀斯特地区农民见缝插针用来耕种的鸡窝地(指小、碎、分散的土地),已经退耕还林了。

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

DOI: 10.5846/stxb201205080669

种培芳, 苏世平. 4 种金色叶树木对 SO₂ 胁迫的生理响应. 生态学报, 2013, 33(15): 4639-4648.

Chong P F, Su S P. Physiological responses of four golden-leaf trees to SO₂ stress. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(15): 4639-4648.

4 种金色叶树木对 SO₂ 胁迫的生理响应

种培芳*, 苏世平

(甘肃农业大学林学院, 兰州 730070)

摘要: 近年来 SO₂ 污染比较严重, 它对植物有着多方面的影响。因此, 越来越多的学者开始关注这方面的问题。彩叶植物在丰富园林景观及降低环境污染方面占用重要的地位, 它们也被认为是净化城市空气最有效的途径之一。旨在阐明 4 种彩叶树种耐 SO₂ 污染机制, 对丰富植物耐 SO₂ 研究的理论、科学评价植物抗 SO₂ 污染能力以及指导园林绿化科学选择树种等具有重要理论和现实意义。研究采用人工模拟熏气的方法对金叶女贞、金叶莢、金叶风箱果和金叶红瑞木 4 种金色叶树种的 2 年生苗木进行不同浓度的 SO₂ 胁迫, 研究了参试树种的外观受害症状及膜脂过氧化、渗透调节物质、保护酶活性等生理指标对 SO₂ 的反应, 并采用模糊数学隶属函数法和灰色关联度法对其抗 SO₂ 能力进行了综合评价。结果表明: 4 种金色叶植物对 SO₂ 均具有一定的净化能力, 表现为随着 SO₂ 浓度的增加膜透性增大, 丙二醛、脯氨酸、可溶性糖和硫含量增加, 超氧化物歧化酶、过氧化物酶以及过氧化氢酶活性上升, 叶绿素含量先增后降, 叶液 pH 值下降。但 4 种金色叶树木对 SO₂ 的净化能力有差别, 其中金叶红瑞木的净化能力强最大, 金叶女贞和金叶风箱果的净化能力为中等, 而金叶莢的净化能力最差。这与其含硫量的顺序一致, 却与其对 SO₂ 的抗性大小即金叶女贞 > 金叶莢 > 金叶红瑞木 > 金叶风箱果完全不同, 说明这四种植物对 SO₂ 的吸收能力与其对该气体的抗性不完全一致。但这不能表明抗性差的树种在兰州地区不能应用, 因为, 兰州市空气中的 SO₂ 实际污染程度与研究所设置的最低浓度相比仍属安全浓度。在所选的 10 个指标中, 丙二醛含量、细胞膜透性、超氧化物歧化酶活性、过氧化氢酶活性、脯氨酸、过氧化物酶活性、叶绿素和可溶性糖等指标均可作为金色叶植物对 SO₂ 抗性的重要鉴定指标, 而 S 含量和叶液 pH 值在评价植物对 SO₂ 抗性能力时并不具有重要性。4 种植物的受害程度与其 SO₂ 抗性相反, 说明受害症状可以作为判断其对 SO₂ 抗性大小依据。

关键词: 金色叶树种; SO₂ 抗性; 生理指标; 综合评价

Physiological responses of four golden-leaf trees to SO₂ stress

CHONG Peifang*, SU Shipping

College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China

Abstract: Nowadays the pollution of SO₂ becomes more and more serious, it has a wide range of effects on plants, for example, it can affect the photosynthesis, physiological characters and tissue structure of many plants. Therefore, more and more researchers began to study these problem. Leaf-colored plants have the important place to enrich the landscape and reduce the pollution on environment, and they are considered one of the effective ways to purify the air of city. In order to provide scientific evaluation of SO₂ resistance and scientific references for selecting proper species as ornamental trees in landscape, the resistance of four golden-leaf tree species to sulfur dioxide its mechanism to adapt to sulfur dioxide stress were studied in this paper. An artificial simulation method was employed to treat two-year-old saplings of four golden-leaf tree species, i. g. *Ligustrum vicaryi*, *Caryopteris clandonensis*, *Physocarpus opulifolius* var. *luteus* and *Cornus alba* with different concentration, such as 5.71, 11.43, 17.14, 22.86 mg/m³ of sulfur dioxide. The acute injury symptoms were

基金项目: 甘肃农业大学科技创新基金项目 (GAU-CX1013); 国际科技合作与交流专项项目 (2012DFR30830)

收稿日期: 2012-05-08; **修订日期:** 2012-10-30

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhongpf@gsau.cn

observed, membrane lipid peroxidation, osmolyte molecules and protective enzyme activity were measured, and the methods of subordination function and grey correlation analysis were used to evaluate the resistance to sulfur comprehensively. The results showed that all four tree species had purification ability to SO_2 , the membrane permeability, contents of malondialdehyde (MAD), proline (Pro), soluble sugar (SS), sulfur content and the activities of superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD) and catalase (CAT) were increased, while the contents of chlorophyll (Chl a+b) and pH value were decreased with the increment of sulfur dioxide concentration. The purification ability to SO_2 of four tree species were different, i. e. : *C. alba* was maximum, *L. vicaryi* and *P. opulifolius* var. *lutein* were medium, and *C. clandonensis* was minimum, it was the same as the order of the sulfur contents of the four tree species. However, the resistance of the four tree species to sulfur dioxide ranked from *L. vicaryi* > *C. clandonensis* > *C. alba* > *P. opulifolius* var. *lutein*. These demonstrated that the purification ability to SO_2 was different with the resistance to sulfur of these plants. But these couldn't indicate that the four golden-leaf tree species, i. g. *L. vicaryi*, *C. clandonensis*, *P. opulifolius* var. *lutein* and *C. alba* couldn't be used in Lanzhou region. Because the minimum concentration of SO_2 (5.71 mg/m^3) that was set up in this experiment was higher than the practical maximum pollution concentration of SO_2 (0.277 mg/m^3) which once appeared in Lanzhou, this means that these plants can all be used in safety in Lanzhou region. From the ten criteria tested, eight (membrane permeability, MAD, SOD, CAT, Pro, POD, chl a+b and SS) can be considered as main criteria for evaluating the resistance of these four trees to SO_2 , but sulfur contents and pH value were not. Injury degree of the four tree species was adverse to the resistance to sulfur dioxide, it indicated that injury symptoms also can be regarded as the basis to judge the resistance to sulfur dioxide of the four tree species.

Key Words: golden-leaf trees; resistance to sulfur dioxide; physiological criteria; comprehensive evaluation

SO_2 是各种含硫石油和煤燃烧时的产物之一。随着经济和社会发展, SO_2 也成为我国最主要的大气污染物。在目前尚不能完全依赖污染源治理的情况下, 城市街道和园林绿化将是净化城市大气中硫化物污染的有效途径之一^[1]。目前, 许多学者已开展了大气 SO_2 污染物对园林植物影响的研究, 包括对植物伤害症状^[2]、对植物生理生化影响^[3]、组织结构^[4]、光合作用^[5]以及抗污树种的筛选^[2]。

我国地域辽阔, 各地区的气候条件差异很大, 树木对 SO_2 污染的抗性也不同, 比如紫花苜蓿在 SO_2 浓度达到 0.13 mg/m^3 时就会出现症状^[6], 但有些木本植物在很高的浓度 50 mg/m^3 下才会表现受害症状^[6]。因此, 许多林业、环保及园林工作者的通过广泛调查研究, 对各地区常见的园林、绿化造林树种的抗性进行了分级, 并确定了一批抗污染的绿化树种, 这些工作为园林绿化树种的选择和应用提供了主要的参考依据。兰州是甘肃省省会, 在园林绿化和美化方面对于彩叶尤其是金色叶树种的应用十分广泛, 但到目前为止对兰州市这个污染大市的抗污树种筛选的研究还很少, 尤其是对一些在园林美化方面起重要作用的金色叶树种的研究更是鲜有报道。基于此背景, 本研究以兰州市广泛应用的金叶女贞 (*Ligustrum vicaryi*)、正在推广的金叶莢 (*Caryopteris clandonensis*) 以及正在试种的金叶风箱果 (*Physocarpus opulifolius* var. *lutein*) 和金叶红瑞木 (*Cornus alba*) 这 4 种金色叶植物为研究对象, 采用人工熏气的方法, 借鉴前人^[7]在其它彩叶树种上 SO_2 设定浓度, 研究了不同 SO_2 浓度处理下 4 种树种的生理反应, 并通过综合分析评价了其对于 SO_2 的抗污能力, 从而为兰州地区金色叶树种的选择和应用提供科学的参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2010—2011 年在甘肃农业大学科研基地进行, 试材选用兰州红谷苗圃提供的生长状况相近的 2 年生盆栽苗金叶女贞、金叶莢、金叶红瑞木和金叶风箱果。盆栽苗木在露地进入旺盛生长期后, 放入熏气室中适应 1 周再用 SO_2 气体进行熏气处理。

1.2 SO₂对材料熏气处理

采用简易静态熏气系统进行熏气处理。熏气装置为密闭透明的塑料薄膜熏气室,体积为 7.3 m³。气体浓度设定在前期预备试验和参照别人^[7]的基础上分为 4 个熏气浓度梯度(5.71、11.43、17.14、22.86 mg/m³),每个熏气室为一个浓度处理,6 株为 1 小区,设 3 个小区,3 次重复,同时设置对照于相同条件下不熏气的气室中,处理时间为 15 d。闭气室继续熏气到设定要求。SO₂ 气体熏气结束后,观察记录各树种叶片的受害程度等反应,并取高度相近的新梢中部功能叶片进行各项指标测定。

1.3 生理指标及硫含量的测定

细胞膜透性采用的电导法^[8],丙二醛(malondialdehyde, MAD)含量采用硫代巴比妥酸法测定^[9],脯氨酸(proline, Pro)含量采用茚三酮比色法测定^[9],可溶性糖(soluble sugar, SS)含量采用蒽酮乙酸乙酯比色法测定^[9],超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性采用核黄素-NBT 法测定^[8],过氧化氢酶(catalase, CAT)活性采用紫外吸收法测定^[8],过氧化物酶(peroxide enzyme, POD)活性采用愈创木酚比色法^[8],叶绿素(chlorophyll, Chl (a+b))含量采用乙醇法^[8],叶片硫含量用 HNO₃-HClO₄ 消煮、BaSO₄ 比浊法测定^[10],叶液 pH 值的测定采用杨玉珍^[11]的方法。植物净化 SO₂ 能力的计算参照张德强等的方法^[12]将硫的净化率(SO₂ 处理下植物叶片硫含量比对照高出的百分率)在 40% 以上的划为净化能力强的种类,在 20%—40% 的为净化能力中等的种类,在 20% 以下的为净化能力差的种类。

1.4 抗 SO₂ 性综合评价方法

1.4.1 隶属函数值法

用模糊隶属函数法对四种金色叶树种的抗 SO₂ 能力进行综合评价。隶属函数法是根据模糊数学的原理,利用隶属函数进行综合评估。先求出各指标在各树种中的具体隶属函数值^[13],然后对各树种隶属函数值进行累加,求其平均值,得出综合评估的指标值。隶属函数值法的计算公式如下:

$$u(X_{ij}) = \frac{X_{ij} - X_{imin}}{X_{imax} - X_{imin}} \quad (1)$$

$$u(X_{ij}) = 1 - \frac{X_{ij} - X_{imin}}{X_{imax} - X_{imin}} \quad (2)$$

式中, $u(X_{ij})$ 为 i 树种 j 指标的隶属函数值, X_{ij} 为 i 树种 j 指标的测定值, X_{imax} 和 X_{imin} 分别为指标的最大值和最小值。与抗 SO₂ 能力成正相关用(1)式;与抗 SO₂ 能力成负相关用(2)式。将每个树种各指标的抗 SO₂ 能力隶属函数值累加起来,求其平均数,隶属函数均值越大,抗 SO₂ 能力就越强。

1.4.2 灰色关联度分析

灰色关联度分析方法,是灰色系统理论中的一种分析方法,此方法被广泛应用于农业和林业研究中。设参考数列为 X_0 ,比较数列为 $X_i(i=1, 2, \dots, n)$,则参考数列 $X_0 = \{X_0(1), X_0(2), \dots, X_0(n)\}$,比较数列 $X_i = \{X_i(1), X_i(2), \dots, X_i(n)\}$ 。利用下列公式对各指标进行处理:

用 $X'_i(k) = X_i(k) - X_i S_i$ 对原始数据进行无量纲化处理,其中 $X_i(k)$ 是原始数据, X_i 和 S_i 是同一指标的平均值和标准差。

$$\varepsilon_i(k) = \frac{\min \min \Delta i(k) + \rho \cdot \max \max \Delta i(k)}{\Delta i(k) + \rho \cdot \max \max \Delta i(k)} \quad (3)$$

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \varepsilon_i(k) \quad (i, k = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

式中, $\varepsilon_i(k)$ 为关联系数, r_i 为灰色关联度; $\Delta i(k) = |X_0(k) - X_i(k)|$,表示 X_0 数列与 X_i 数列在第 k 点的绝对值; $\min \min \Delta i(k)$ 为二级最小差, $\max \max \Delta i(k)$ 为二级最大差; ρ 为分辨系数,取值范围为 0 到 1,文中试验取值 0.5^[14]。

权重计算公式:

$$W(k) = \frac{R(k)}{\sum_{k=1}^n R(k)} \quad (5)$$

1.5 数据处理

采用 Excel 2003 和 SSPS13.0 进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 不同浓度 SO₂ 对参试树种的危害

从表 1 可以看出,4 种金色叶植物在受 SO₂ 危害症状上的存在差异,同时在显症浓度上表现出显著的差异。金叶风箱果和金叶红瑞木的受害起始 SO₂ 浓度为 11.43 mg/m³,此浓度下表现出新梢枯黄的受害症状,而在 SO₂ 浓度达 22.86 mg/m³ 时,金叶红瑞木的受害程度比金叶风箱果严重。相比而言,金叶女贞和金叶菰的受害起始浓度较高,在 SO₂ 浓度达 17.14 mg/m³ 时才表现出新梢枯黄的受害症状,而在 22.86 mg/m³ 的浓度下表现出顶芽变黑的相同症状。这表明金叶风箱果和金叶红瑞木对 SO₂ 的反应较金叶女贞和金叶菰敏感,而金叶女贞和金叶菰抗 SO₂ 的性能较金叶风箱果和金叶红瑞木强,金叶红瑞木又比金叶风箱果的抗性强。

表 1 4 个金色叶树种的苗木在不同浓度 SO₂ 气体处理下的受危害状况

Table 1 Damage status of seedlings of four golden-leaf trees species under the treatment of SO₂ of different concentrations

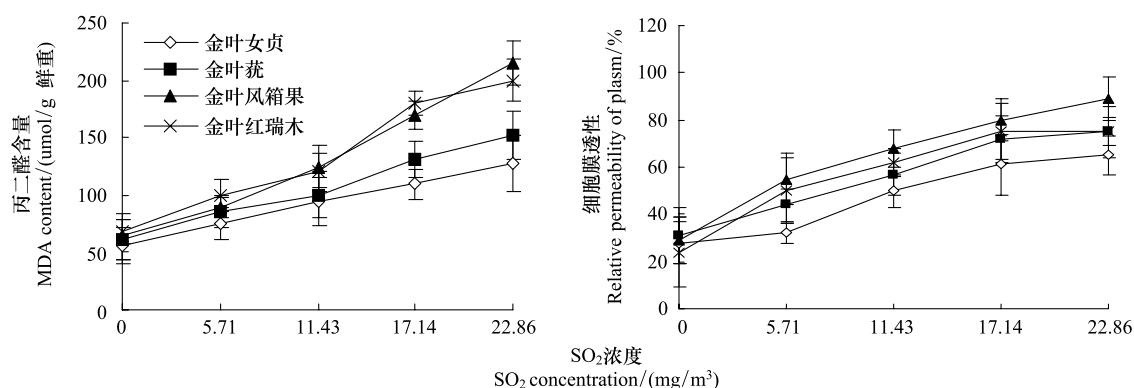
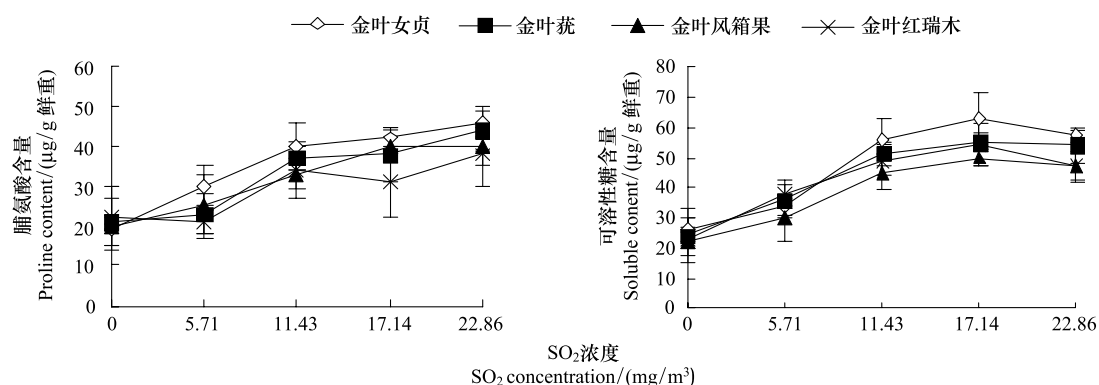
树种 Species	SO ₂ 浓度 SO ₂ concentrations / (mg/m ³)			
	5.71	11.43	17.14	22.86
金叶女贞 <i>L. vicaryi</i>	不明显	不明显	新梢枯黄	顶芽变黑
金叶菰 <i>C. clandonensis</i>	不明显	不明显	新梢枯黄	叶片变黑
金叶风箱果 <i>P. opulifolius</i> var. <i>lutein</i>	不明显	新梢枯黄	顶芽枯黄	叶尖变黑
金叶红瑞木 <i>C. alba</i>	不明显	新梢枯黄	顶芽枯黄	叶片枯萎

2.2 SO₂ 对叶片膜脂过氧化的影响

由图 1 可以看出:4 种金色叶树木叶片的 MDA 含量随 SO₂ 浓度的增加而迅速增加,叶片 MDA 含量与 SO₂ 浓度呈正相关关系,相关系数分别为 0.9719、0.9682、0.997 和 0.9857。在 SO₂ 处理浓度为 22.86 mg/m³ 下,金叶女贞、金叶菰、金叶风箱果和金叶红瑞木叶片 MDA 含量分别比对照增加了 128.57%、149.18%、235.93% 和 194.12%,方差结果表明,处理与对照差异均达极显著水平 ($P < 0.01$)。随 SO₂ 浓度增加(图 1),4 种金色叶树木叶片膜透性迅速上升,当 SO₂ 浓度高 5.71 mg/m³ 之后,金叶女贞和金叶风箱果叶片膜透性呈缓慢增加趋势,而金叶红瑞木和金叶菰叶片膜透性呈直线增加趋势。在 SO₂ 处理浓度为 22.86 mg/m³ 下,金叶女贞、金叶菰、金叶风箱果和金叶红瑞木各树种叶片膜透性分别比对照增加了 132.14%、141.93%、206.89% 和 212.50%,方差分析显示,各处理与对照均达极显著差异 ($P < 0.01$)。

2.3 SO₂ 对叶片渗透调节物质的影响

如图 2 所示,在 SO₂ 处理浓度为 11.43 mg/m³ 以前,4 种金色叶树种叶片脯氨酸含量随 SO₂ 浓度的增大而迅速增加,在此之后,金叶红瑞木表现出先下降后上升的趋势,而其它 3 种植物叶片的脯氨酸含量均呈缓慢增加趋势。在 22.86 mg/m³ SO₂ 处理后 4 种金色叶脯氨酸含量分别比对照增加了 157.14%、119.23%、100% 和 72.72%,处理与对照差异达显著水平 ($P < 0.05$)。4 个树种叶片可溶性糖的含量随 SO₂ 处理浓度的增大呈先上升后下降的趋势(图 2),在处理浓度为 17.14 mg/m³ 之前叶片可溶性糖含量与 SO₂ 浓度呈极显著正相关关系,相关系数为 0.937^{**}。之后随着 SO₂ 浓度的进一步增加,可溶性糖含量逐渐降低。在 22.86 mg/m³ SO₂ 处理下,金叶女贞、金叶菰、金叶风箱果和金叶红瑞木各树种叶片可溶性糖含量分别比对照增加了 119.23%、125%、113.63% 和 104.34%。

图1 SO₂对4种金色叶树木叶片MDA含量和细胞膜透性的影响Fig. 1 Effect of SO₂ on MDA contents and membrane lipid peroxidation in four golden-leaf trees species图2 SO₂对4种金色叶树木叶片脯氨酸和可溶性糖含量的影响Fig. 2 Effect of SO₂ on proline and soluble sugar contents in four golden-leaf trees species

2.4 SO₂对叶片抗氧化酶活性的影响

如图3所示,随SO₂浓度增加,4个树种SOD、CAT和POD活性总体呈上升趋势。当SO₂浓度达到11.43 mg/m³时,除金叶风箱果外,其它3树种叶片的SOD、CAT和POD活性增加开始变缓。在22.86 mg/m³处理下,金叶女贞、金叶菰、金叶风箱果和金叶红瑞木的SOD酶活性分别比对照增加了121.76%、115.90%、88.25%和92.88%,CAT酶活性分别比对照增加了233.75%、228.51%、138.66%和128.57%,POD酶活性分别比对照增加了100.00%、69.09%、40.00%和65.21%。金叶女贞和金叶菰叶片抗氧化酶活性高于金叶风箱果和金叶红瑞木,说明金叶女贞和金叶菰对SO₂的抗性能力强于金叶风箱果和金叶红瑞木(图3)。

2.5 SO₂对叶片叶绿素含量和叶液pH值的影响

由图4可知,随着SO₂浓度的升高,4种金色叶植物的叶绿素含量变化均呈先升后降的趋势,但每个树种叶绿素下降对SO₂的反应浓度不同,金叶女贞在SO₂为17.14 mg/m³时,叶绿素才开始下降,而金叶菰和金叶红瑞木在SO₂为11.43 mg/m³是开始下降,金叶风箱果则在SO₂为5.71 mg/m³时就开始下降。说明各树种叶绿素对SO₂的反应不同。随SO₂处理浓度的增加,4个树种叶片的pH值均呈下降趋势,尤其是在达到处理浓度11.4 mg/m³时pH值急速下降,各处理pH值与SO₂浓度呈极显著负相关关系(相关系数0.946以上, $P < 0.01$)。在22.86 mg/m³处理下,金叶女贞、金叶菰、金叶风箱果和金叶红瑞木的叶液pH值分别比对照下降了15.00%、16.96%、17.67和18.18%,方差分析结果显示,差异达显著水平($P < 0.05$)(图4)。

2.6 4种金色叶树种对SO₂净化能力的比较

如图5所示,4种金色叶树种叶片S含量均表现出增—降—增—降的变化趋势,表明这些树种可以通过

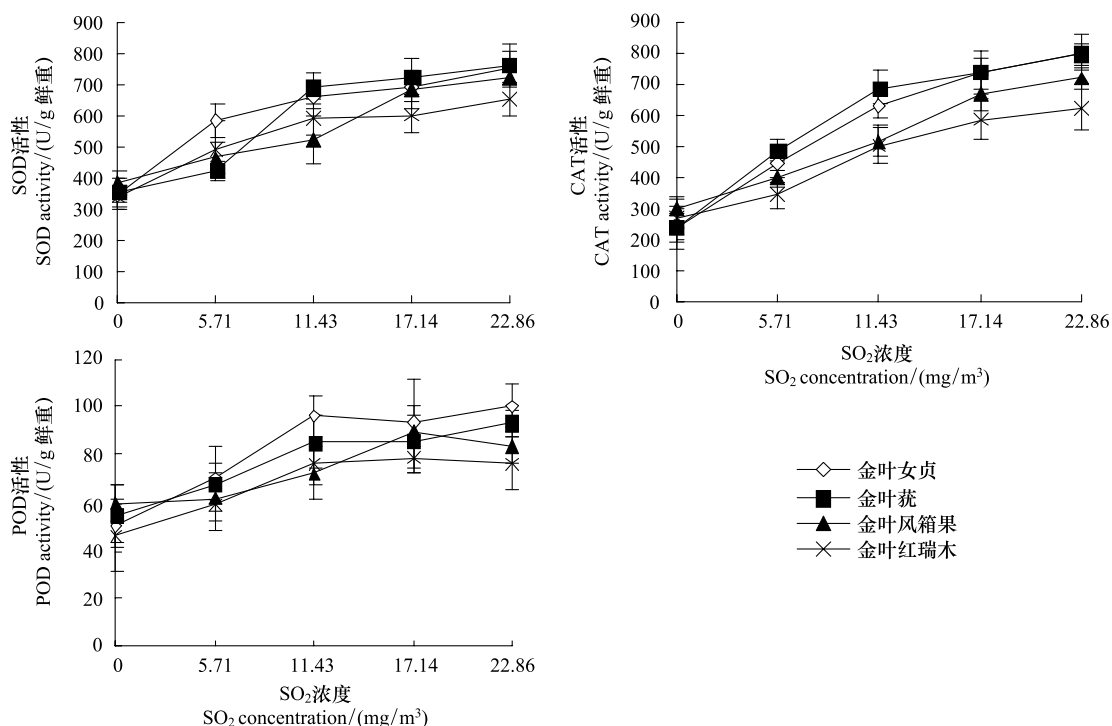


图3 SO_2 对4种金色叶树木叶片 SOD、POD 和 CAT 酶活性的影响

Fig. 3 Effect of SO_2 on the activities of SOD, POD and CAT in four golden-leaf trees species

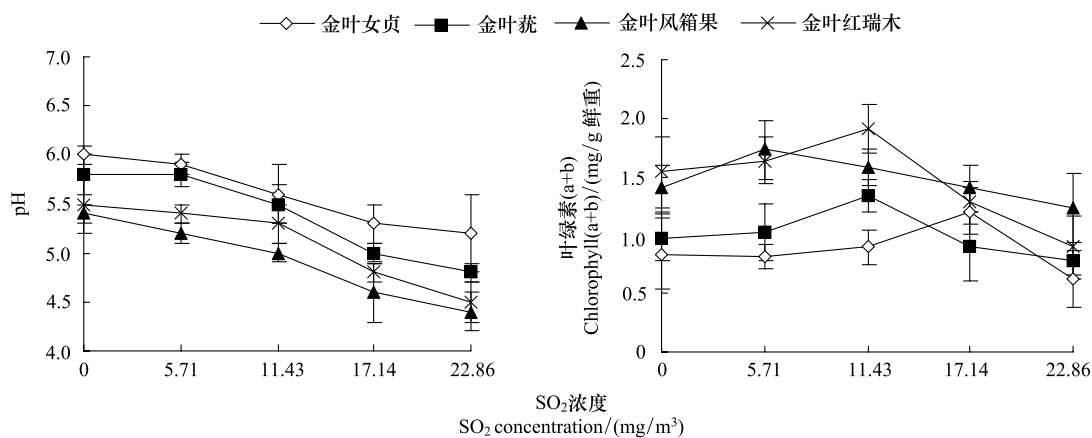


图4 SO_2 对4种金色叶树木叶片叶绿素含量和叶液 pH 值的影响

Fig. 4 Effect of SO_2 on the content of chlorophyll (a+b) and the pH value of leaf extract fluid in four golden-leaf trees specie

不间断地感应环境以调节其叶片的气孔至适当的开度,来适应胁迫生境。但随着 SO_2 气体浓度增加,4种树种的生理代谢功能受阻,故叶片中的 S 含量反显递减。表明植物叶片中 S 含量的变化与 SO_2 在叶内的转化、吸收能力有关。金叶女贞、金叶菰、金叶风箱果和金叶红瑞木4种树木均在 17.14 mg/m^3 处理时出现硫含量最大值,各树种的吸硫量顺序为:金叶红瑞木 > 金叶风箱果 > 金叶女贞 > 金叶菰。

由表2可知,金叶红瑞木的平均净化能力强。其中在 $17.14 \text{ mg/m}^3 \text{SO}_2$ 处理浓度下净化率高达 154.19%,金叶女贞和金叶风箱果的平均净化率超过 20%,净化能力为中等;而金叶菰的平均净化率抵御 20%,净化能力为差。

表 2 不同浓度 SO₂处理下 4 种金色叶植物的净化能力

树种 Species	净化率 purification rate/%					净化能力 Purification ability
	5. 71 mg/m ³	11. 43 mg/m ³	17. 14 mg/m ³	22. 86 mg/m ³	平均 Mean	
金叶女贞 <i>L. vicaryi</i>	40. 86	-2. 93	68. 32	13. 85	23. 10	中等
金叶莢 <i>C. clandonensis</i>	36. 68	-17. 18	69. 37	32. 07	14. 21	差
金叶风箱果 <i>P. opulifolius</i> var. <i>lutein</i>	32. 87	14. 88	85. 26	3. 72	34. 19	中等
金叶红瑞木 <i>C. alba</i>	20. 99	0. 36	154. 19	35. 89	52. 86	强

2.7 4 种金色叶树木抗 SO₂能力的综合评定

为了综合评价各种树木的抗污染能力的大小,对膜透性、MDA 含量、脯氨酸、可溶性糖、SOD、POD、CAT、pH 值、硫含量和叶绿素采用隶属函数计算。用每个树种各项指标隶属值的平均值作为树种抗性能力综合鉴定标准进行比较。表 3 结果显示,各树种抗污染能力为:金叶女贞>金叶莢>金叶红瑞木>金叶风箱果。将各项指标与平均隶属值的关联系数、关联度与权重进行计算,结果表明,MDA 和膜透性的关联度都在 0. 7 以上,与 4 种金色叶树种的抗 SO₂ 能力关联性最强;SOD、CAT、Pro、POD、Chl(a+b) 和 SS 的关联度在 0. 6—0. 7 之间,与 4 种金色叶树种的抗 SO₂ 能力关联性次之;而 pH 值和 S 含量的关联度在 0. 60 以下,说明它们与 4 种金色叶树种的抗 SO₂ 能力关系不紧密(表 4)。

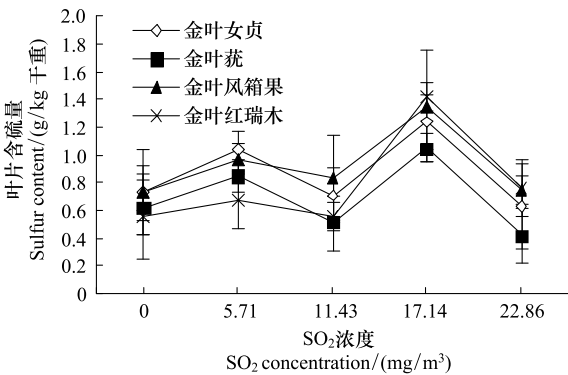


图 5 SO₂对 4 种金色叶树木叶片硫含量的变化的影响

Fig. 5 Effect of SO₂ on the changes of sulfur content in the leaves of four golden-leaf tree specie

表 3 4 种金色叶树木对 SO₂抗性的综合评定

指标 Indexes	树种 Species			
	金叶女贞 <i>L. vicaryi</i>	金叶莢 <i>C. clandonensis</i>	金叶风箱果 <i>P. opulifolius</i> var. <i>Lutein</i>	金叶红瑞木 <i>C. alba</i>
膜透性 membrane permeability	0. 6509	0. 5500	0. 6136	0. 4809
丙二醛 MDA	0. 7450	0. 4714	0. 4848	0. 4954
脯氨酸 Pro	0. 6583	0. 5889	0. 5304	0. 5200
可溶性糖含量 SS	0. 6788	0. 6839	0. 4371	0. 6720
超氧化物歧化酶 SOD	0. 6102	0. 5784	0. 5041	0. 6408
过氧化氢酶 CAT	0. 6855	0. 5890	0. 5802	0. 4824
过氧化物酶 POD	0. 7565	0. 5714	0. 3337	0. 2266
pH 值	0. 8469	0. 5486	0. 5111	0. 4000
S 含量 sulfur contents	0. 4472	0. 1645	0. 4728	0. 3751
叶绿素(a+b) chl(a+b)	0. 8364	0. 8800	0. 1333	0. 6000
平均隶属函数值 Mean subordinate function values	0. 6916	0. 5626	0. 4601	0. 4893
抗 SO ₂ 排序 SO ₂ resistance order	1	2	4	3

3 讨论

植物是城市生态系统的重要组成部分,具有净化空气,改善城市环境等多种功能。在植物净化 SO₂ 方面已有研究认为不同绿化树种对 SO₂ 的净化能力存在差异^[15]。同时,植物对 SO₂ 的净化能力与环境中的 SO₂ 浓度有关^[16]。本试验的研究结果与此一致,经 SO₂ 处理后植株叶片硫含量都高于对照,说明 4 种植物可以吸收

SO₂ 气体,从而起到净化环境的作用。但植物对污染物的吸收和净化作用是有限度的,存在一阈值。不同种植物对同类型污染物的净化能力各异。研究结果显示,4 树种对 SO₂ 的净化能力和硫含量大小顺序均为金叶红瑞木>金叶风箱果>金叶女贞>金叶菰,金叶红瑞木对 SO₂ 的净化能力较其他树种强,吸硫量也较大,但其抗 SO₂ 危害的能力上不如其他树种,在低 SO₂ 浓度(11.43 mg/m³)时即表现出明显的受害症状。这与其对 SO₂ 的抗性排列顺序金叶女贞>金叶>菰金叶风箱果>金叶红瑞木不一致。说明植物对 SO₂ 的吸收能力与其对该气体的抗性不完全一致,这是因为,尽管植物对大气 SO₂ 具有一定的吸收净化能力,但 SO₂ 同时也会影响到植物的其他生理生化等一系列过程^[17-18]。有研究表明,在 SO₂ 胁迫下,植物体膜脂过氧化、保护酶活性和代谢物质等方面会受到其影响^[3,7],本试验以下结果也证明了这一结论。

表 4 4 种金色叶树种各项抗 SO₂ 指标的关联度及权重

Table 4 The Grey correlative degree and weight of eighteen drought resistance indexes of four golden-leaf tree specie

指标 Indexes	膜透性 Membrane permeability	丙二醛 MDA	脯氨酸 Pro	可溶性糖 含量 SS	超氧化物 歧化酶 SOD	过氧化 氢酶 CAT	过氧化物 酶 POD	pH 值 PH value	含 S 量 Sulfur contents	叶绿 素(a+b) chl(a+b)
关联度 Correlation degrees	0.7000	0.7034	0.6674	0.6520	0.6891	0.6851	0.6612	0.5235	0.5013	0.6538
权重 Weight	0.0642	0.0657	0.0616	0.0601	0.0636	0.0631	0.0610	0.0519	0.0500	0.0604
排序 Order	2	1	5	8	3	4	6	9	10	7

本研究发现,随 SO₂ 处理浓度的增加,4 种金色叶树种叶片细胞膜透性和膜脂过氧化产物 MDA 含量都逐渐增加,这一结果与前人研究结论一致。4 种树种相比较而言,抗性强的金叶女贞在 SO₂ 胁迫下,细胞膜透性变化相对较小,MDA 含量保持稳定;而抗性弱的金叶风箱果则细胞膜透性变化较大,MDA 含量增加多。这 2 项指标的权重值在所有指标中排列较前,说明 MDA 含量和细胞膜透性是测定这 4 种金色叶树种以及其他树种^[7]对 SO₂ 抗性的重要鉴定指标。

SOD、POD、CAT 是细胞抵御活性氧伤害的主要保护酶类,在清除氧自由基、过氧化物以及阻止或减少自由基形成方面起重要作用。在 SO₂ 胁迫条件下,不同植物保护酶的活性变化情况不同^[3,8]。本试验结果表明,在 SO₂ 胁迫下,各金色叶树木抗氧化酶活性发生了明显的变化,随 SO₂ 浓度增加,POD、CAT 和 SOD 活性均呈上升趋势。这 3 项指标的权重值在 10 指标中位于第 3、4 和第 6,说明这 3 个指标也是测定这 4 种金色叶树木对 SO₂ 抗性的重要鉴定指标。

逆境胁迫下植物体内的渗透调节物质(如可溶性糖和及脯氨酸等)会增加^[19],以避免或减少不利因素对植物的伤害。本试验中 4 种金色叶树木的脯氨酸含量与可溶性糖含量在 SO₂ 胁迫后均高于对照,说明脯氨酸和可溶性糖是 4 种金色叶的渗透调节物质。从树种差异上来看,脯氨酸和可溶性糖积累能力均为金叶女贞>金叶菰>金叶红瑞木>金叶风箱果。这 2 项指标的权重值在 10 项指标中位于第 5 和第 8,说明同样是渗透调节其物质,但脯氨酸在 4 种金色叶树木抗 SO₂ 指标中所起的作用大于可溶性糖这项指标。

树木叶片受 SO₂ 气体毒害后,有一个叶绿素含量的追高过程,当危害超过一定限度时,叶绿素瓦解,含量显著降低^[20]。本研究结果表明,4 种植物的叶绿素含量都呈现先升后降的趋势,随 SO₂ 浓度的加大叶绿素总含量下降,这是由于 S 元素的生理作用所致,叶片吸收了 S 元素,可同化为含硫氨基酸,这些氨基酸有利于色素蛋白的合成;但植物对 S 的需要量和耐性是有一定限度的,随着熏气浓度的增加,吸收、积累的 SO₂ 超过金色叶树木叶片的需要量和清除机制时,就会造成代谢混乱和对叶绿素产生漂白作用。

SO₂ 通过气孔进入叶片细胞后快速溶于细胞液中,形成亚硫酸盐和二硫化物,致使叶液 pH 值降低,也就是说叶片吸硫量越多,叶片叶液 pH 值降低愈大。本试验结果表明:随着 SO₂ 浓度的增加,4 种金色叶树木叶液 pH 值均减小,但金叶女贞叶液 pH 值降幅最小,说明其本身的自动调节能力较强,所以受害较轻,表现出较强的抗性。

综上所述,可以看出许多生理生化指标均与植物的抗 SO₂ 能力有关,因此,在评价植物抗 SO₂ 能力时必须将这些生理指标综合联系在一起才能做出正确的评价。此外,从本研究结果来看,4 个树种在抗 SO₂ 能力上存在差异,但是否说明抗性差的树种在兰州地区就不能应用呢?有资料显示,兰州市空气中的 SO₂ 实际污染程度曾经达到过 0.277 mg/m³,这个浓度超过国家空气质量三级标准^[21],但与本研究所设置的最低浓度相比仍属安全浓度。所以,尽管 4 个树种在 SO₂ 抗性上存在差异,但其在兰州地区均可安全应用。

References:

- [1] Zhang D Q, Chu G W, Yu F Q, Liu S Z, Lu Y D, Hu X C, Xue K N, Kong G H. Decontamination ability of garden plants to absorb sulfur dioxide and fluoride. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2003, 11(4): 336-340.
- [2] Xu Y M, Wang J M, Gao J M, Cui K Y. Studies on sensitivity and symptom types of 42 species garden trees fumigated with sulfurdioxide. *Journal of Shanxi Agricultural University: Natural Science Edition*, 2006, 26(1): 32-35.
- [3] Hu D M, Sun M G, Wang T M, Li X F, Li C. Effect of sulfur dioxide stress on membrane lipid peroxidation and protective enzymes of three ornamental tree seedlings. *Journal of Shandong Agricultural University: Natural Science Edition*, 2005, 36(2): 175-180.
- [4] Yi H L, Meng Z Q. Cytogenetic damage of *A. sativum* root cells induced by sulfur dioxide. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(5): 709-714.
- [5] Li C, Hu D M. Responses of ten landscaping tree species to sulfur dioxide. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2006, 26(2): 407-411.
- [6] Zheng S Y. The evolution of the effects of SO₂ pollution on vegetation. *Ecologic Science*, 2002, 19(1): 59-64.
- [7] Li Y H, Li X Y, Bai R Q, Wang W F, Han Y Q, Yang J M. Resistance to sulfur Dioxide of Four colored-leaf species in *Prunus*. *Scientia Silvae Sinicae*, 2008, 4(2): 28-33.
- [8] Chen J X, Wang X F. *Plant Physiology Experimental Direction*. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2006.
- [9] Li H S. *Plants Physiology and Biochemistry Experimental Theory and Technology*. Beijing: Higher Education Press, 2006.
- [10] Wu M J, Sun X J, L Q F, Li H, Leng H L. Determination of sulfur in tobacco with barium sulphate turbidimetry. *Tobacco Science and Technology*, 2005, (1): 24-26.
- [11] Yang Y Z. Changes of plants' sugar metabolism and pH value of leaf extract fluid after fluoride pollution. *Acta Agriculturae Universitatis Henanensis*, 1995, 29(1): 95-97.
- [12] Zhang D Q, Kong G H, Wen D Z, Yu M D, Zhang R F, Li X. Analysis of the resistance on air pollution and purification on sulfur dioxide (SO₂) and Lead (Pb) of gardens plants. *Guangzhou Environmental Sciences*, 2003, 18(1) 22-25.
- [13] Xue H Q, Sun L Z, Gan X M. Study on comprehensive assessment and mechanism of drought resistance in peanut cultivars. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 1999, (1): 83-87.
- [14] Peng X M, Wang H R, Dong Y Y, Zhang K G. Evaluation model of water resources value under the condition of water shortage and its application. *Journal of Natural Resources*, 2006, 21(4): 670-675.
- [15] Lu M, Li Y J. Research on absorption and purgation ability to atmospheric pollutants of some garden plants. *Journal of Shandong Institute of Architecture and Engineering*, 2002, 17(2): 45-49.
- [16] Zhang D Q, Chu Q W, Yu Q F, Liu S Z, Lu Y D, Hu X C, Xue K N, Kong G H. Decontamination ability of garden plants to absorb sulfur dioxide and fluoride. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2003, 11(4): 336-340.
- [17] Zhang X X, He R, Shi Y, Shao J P, Zhou Z. Study on the reaction of 13 indigenous tree species for greening in Yunnan to SO₂ and NO₂. *Journal of West China Forestry Science*, 2005, 34(4): 41-46.
- [18] Liu H T, Zhang W P, Shen Y W, Du X M, Xing G H, Liu J A. A study on elimination capacity of plants to sulphur dioxide from atmosphere. *Research of Environmental Sciences*, 1988, 1(1): 45-51.
- [19] Zhang Y X, Du X Y, Zhang Y Q, Fan A Y. Effect of PEG stress on charateristics of osmoregulation of *carexiuriuscula*. *Journal of Inner Mongolia University for Nationalities: Natural Sciences*, 2008, 23(3): 289-292.
- [20] Su D M, Liao F Y. The Effect of low concentration of SO₂ on the content of chlorophyll and carotenoid and chlorophyll fluorescence in *chrysanthemum* sp. leaves. *Journal of Central South Forestry University*, 2005, 25(6): 70-73.
- [21] Huang Y J, Zhang C J, Yin S P, Guo F Q. Effects of atmospheric SO₂ on carbon isotope composition of plants in Lanzhou city. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2008, 36(34): 15170-15171.

参考文献:

- [1] 张德强, 褚国伟, 余清发, 刘世忠, 陆耀东, 胡美聪, 薛克娜, 孔国辉. 园林绿化植物对大气二氧化硫和氟化物污染的净化能力及修复

- 功能. 热带亚热带植物学报, 2003, 11(4): 336-340.
- [2] 徐玉梅, 王建明, 高俊明, 崔克勇. 42 种园林植物对 SO_2 伤害的敏感性研究. 山西农业大学学报: 自然科学版, 2006, 26(1): 32-35.
- [3] 胡丁猛, 孙明高, 王太明, 李秀芬, 李成. SO_2 对三种园林绿化苗木叶片膜脂过氧化和保护酶的影响. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2005, 36(2): 175-180.
- [4] 仪慧兰, 孟紫强. SO_2 对大蒜根尖细胞遗传损伤作用的研究. 生态学报, 2002, 22(5): 70-714.
- [5] 李成, 胡丁猛. 10 个园林绿化树苗对 SO_2 的反应特性. 西北植物学报, 2006, 26(2): 407-411.
- [6] 郑淑颖. 二氧化硫污染对植物影响的研究进展. 生态科学, 2002, 19(1): 59-64.
- [7] 李彦慧, 李向应, 白瑞琴, 王文凤, 韩亚琦, 杨建民. 4 种李属彩叶树木对 SO_2 的抗性. 林业科学, 2008, 44(2): 28-33.
- [8] 陈建勋, 王晓峰. 植物生理学实验指导. 广州: 华南理工大学出版社, 2006.
- [9] 李合生. 植物生理生化实验原理与技术. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [10] 吴名剑, 孙贤军, 雷启福, 李辉, 冷海兰. 硫酸钡溶胶比浊法测定烟草中的硫. 烟草科技, 2005, (1): 24-26.
- [11] 杨玉珍. 植物受氟化物污染后糖代谢及叶汁 PH 值的变化研究. 河南农业大学学报, 1995, 29(1): 95-97.
- [12] 张德强, 孔国辉, 温达志, 周国逸, 张瑞凤, 黎旭. 园林绿化植物的抗性及其对 SO_2 和 Pb 净化能力分析. 广州环境科学, 2003, 18(1) 22-25.
- [13] 薛慧勤, 孙兰珍, 甘信民. 花生品种抗旱性综合评价及其抗旱机理的数量分析. 干旱地区农业研究, 1999, (1): 83-87.
- [14] 彭晓明, 王红瑞, 董艳艳, 张可刚. 水资源稀缺条件下的水资源价值评价模型及其应用. 自然资源学报, 2006, 21(4): 670-675.
- [15] 鲁敏, 李英杰. 部分园林植物对大气污染物吸收净化能力的研究. 山东建筑工程学院学报, 2002, 17(2): 45-49.
- [16] 张德强, 褚国伟, 余清发, 刘世忠, 陆耀东, 胡美聪, 薛克娜, 孔国辉. 园林绿化植物对大气二氧化硫和氟化物污染的净化能力及修复功能. 热带亚热带植物学报, 2003, 11(4): 336-340.
- [17] 张学星, 何蓉, 施莹, 邵金平, 周筑. 云南 13 种乡土绿化树种对 SO_2 、 NO_2 气体反应的研究. 西部林业科学, 2005, 34(4): 41-46.
- [18] 刘厚田, 张维平, 沈英娃, 杜晓明, 邢冠华, 柳君安. 植物对二氧化硫的净化能力的研究. 中国环境科学, 1988, 1(1): 45-51.
- [19] 张玉霞, 杜晓艳, 张玉芹, 范爱英. PEG 胁迫对苔草渗透调节特性的影响. 内蒙古农业大学学报: 自然科学版, 2008, 23(3): 289-292.
- [20] 苏冬梅, 廖飞勇. SO_2 对菊花光合色素含量和叶绿素荧光特性的影响. 中南林学院学报, 2005, 25(6): 70-73.
- [21] 黄雅娟, 张成君, 殷树鹏, 郭方琴. 兰州市大气中 SO_2 对植物碳同位素组成的影响. 安徽农业科学, 2008, 36(34): 15170-15171.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 15 Aug. ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- A review on the application of remote sensing in mangrove ecosystem monitoring SUN Yongguang, ZHAO Dongzhi, GUO Wenyong, et al (4523)
- Urban metabolism process based on emergy synthesis: Theory and method LIU Gengyuan, YANG Zhifeng, CHEN Bin (4539)
- Theoretical considerations on ecological civilization development and assessment ZHAO Jingzhu (4552)

Autecology & Fundamentals

- Assemblage composition and distribution of meiobenthos in the Yangtze Estuary and its adjacent waters in autumn-winter season Yu Tingting, XU Kuidong (4556)
- Ecological distribution and nutrient limitation of phytoplankton in adjacent sea of Guanhe Estuary in spring FANG Tao, HE Xinran, FENG Zhihua, et al (4567)
- The distribution of urea concentrations and urease activities in the coastal waters of Hainan Island during the spring HUANG Kaixuan, ZHANG Yun, OU Linjian, et al (4575)
- Effects of simulated acid rain on growth and bleeding sap amount of root in *Quercus mongolica* LIANG Xiaoqin, LIU Jian, DING Wenjuan, et al (4583)
- Allelopathic effects of organic acid allelochemicals on melon ZHANG Zhizhong, SUN Zhihao, CHEN Wenhui, et al (4591)
- Fraction changes of oxidation organic carbon in paddy soil and its correlation with CH₄ emission fluxes WU Jiamei, JI Xionghui, HUO Lianjie, et al (4599)
- Changes of soil nitrogen types and nitrate accumulation in vegetables with single or multiple application of dicyandiamide WANG Huangping, ZHANG Qing, WENG Boqi, et al (4608)
- Comparison of isolation rate of mycobacteriophage in the different type soils XU Fengyu, SU Shengbing, MA Hongxia, et al (4616)
- Effects of different acidity acid rain on yield, protein and starch content and components in two wheat cultivars BIAN Yajiao, HUANG Jie, SUN Qisong, et al (4623)
- The causes of *Gentiana straminea* Maxim. seeds dormancy and the methods for its breaking LI Bingbing, WEI Xiaohong, XU Yan (4631)
- Physiological responses of four golden-leaf trees to SO₂ stress CHONG Peifang, SU Shiping (4639)
- Influence of endosulfan and its metabolites on enzyme activities in purple soil XIONG Bailian, ZHANG Jinzhong, DAI Juan, et al (4649)

Population, Community and Ecosystem

- Seasonal dynamics of food web energy pathways at the community-level XU Jun, ZHOU Qiong, WEN Zhourui, et al (4658)
- Population dynamics of *Niviventer confucianus* in Thousand Island Lake ZHANG Xu, BAO Yixin, LIU Jun, et al (4665)
- Soil ecological stoichiometry under different vegetation area on loess hilly-gully region ZHU Qiulian, XING Xiaoyi, ZHANG Hong, et al (4674)
- Adaptation strategies of reproduction of plant community in response to grassland degradation and artificial restoration LI Yuanyuan, DONG Shikui, ZHU Lei, et al (4683)
- Effect of different *Cunninghamia lanceolata* plantation soil qualities on soil microbial community structure LIU Li, XU Mingkai, WANG Silong, et al (4692)
- Effects of different maize hybrids (inbreds) on the growth, development and population dynamics of *Rhopalosiphum maidis* Fitch ZHAO Man, GUO Xianru, LI Weizheng, et al (4707)
- Effects of forest canopy structure on understory vegetation characteristics of Funiu Mountain Nature Reserve LU Xunling, DING Shengyan, YOU Li, et al (4715)

- Influence of restoring cropland to grassland on dung beetle assemblages in Wuchuan County, Inner Mongolia, China LIU Wei, MEN Lina, LIU Xinmin (4724)
- Cu and nutrient deficiency on different effects of growth, tolerance and mineral elements accumulation between two *Elsholtzia haichouensis* populations KE Wenshan, CHEN Shijian, XIONG Zhiting, et al (4737)
- Measurement and retrieval of leaf area index using remote sensing data in Kanas National Nature Reserve, Xinjiang ZAN Mei, LI Dengqiu, JU Weimin, et al (4744)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- An spatial ecosystem services approach based on LUCC: a case study of Ganzhou district of Zhangye City LIANG Youjia, XU Zhongmin, ZHONG Fanglei, et al (4758)
- Spatiotemporal characteristics of *Spartina alterniflora* marsh change in the coastal wetlands of Yancheng caused by natural processes and human activities ZHANG Huabing, LIU Hongyu, Hou Minghang (4767)
- Process analysis and evaluation of wetlands degradation based on PCA in the lakeside of Napahai, Northwest Yunnan Plateau SHANG Wen, YANG Yongxing, HAN Dayong (4776)
- On eco-security evaluation in the Tumen River region based on RS&GIS NAN Ying, JI Zhe, FENG Hengdong, et al (4790)
- Evaluation and simulation of historical range of variability of forest landscape pattern in Huzhong area WU Zhifeng, LI Yuehui, BU Rencang, et al (4799)
- Effects of precipitation timing on aboveground net primary productivity in inner mongolia temperate steppe GUO Qun, HU Zhongmin, LI Xuanran, et al (4808)
- Research Notes**
- Litter production and decomposition of different forest ecosystems and their relations to environmental factors in different climatic zones of mid and eastern China WANG Jianjian, WANG Yongji, LAI Liming, et al (4818)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 赵景柱

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 33 卷 第 15 期 (2013 年 8 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 15 (August, 2013)

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



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元