

文章编号:1000-5471(2012)02-0097-05

# 黄连木抗二氧化硫能力研究<sup>①</sup>

任广炼, 石佳, 郑文娟, 李政, 李凌

西南大学 园艺园林学院, 重庆 400716

**摘要:** 采用 4 年生的黄连木实生苗, 使用不同浓度的  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ 、 $\text{NaHSO}_3$  混合液对叶片喷施处理的方法模拟  $\text{SO}_2$  污染, 对黄连木部分生理指标和叶片含硫量等的变化及黄连木抗  $\text{SO}_2$  的机理进行研究. 结果表明: 低浓度混合液处理后叶片形态特征及各项生理指标变化较小, 比较稳定, 可以耐受的处理浓度为 200 mmol/L 以下, 黄连木对二氧化硫具有较强的抗性. 各处理均总体上导致保护膜 SOD、POD 活性、细胞膜透性增加; 叶绿素含量、净光合速率和气孔导度降低, 叶片含硫量与处理浓度成正相关关系. 以日本珊瑚树、蚊母为对照进行浸泡试验, 黄连木吸硫能力介于两者之间, 具有较强的富集能力.

**关键词:** 黄连木;  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  和  $\text{NaHSO}_3$  混合液; 生理指标; 吸硫能力

**中图分类号:** Q949.754.4

**文献标志码:** A

$\text{SO}_2$  是大气中的主要污染物, 在重庆地区,  $\text{SO}_2$  的年排放量达到 19.43 万 t, 超过了环境容量<sup>[1]</sup>. 植物可吸收空气中的  $\text{SO}_2$ , 不同植物的吸收能力存在大小差异. 已有研究表明: 植物与大气接触的主要部位是叶, 所以叶最易受到大气污染物的伤害. 气体进入植物的主要途径是气孔<sup>[2]</sup>,  $\text{SO}_2$  通过植物气孔进入植物叶片中, 对植物造成伤害, 引起植物某些生理指标和叶形态特征的变化, 当  $\text{SO}_2$  达到一定浓度时, 会对植物的脯氨酸含量、细胞膜透性、抗氧化酶活性、叶绿素含量、净光合速率等生理指标以及叶片含硫量造成影响<sup>[3-4]</sup>.

黄连木(*P. chinensis* Bunge)作为一种能源植物, 同时可作为绿化树种, 有很强的抗硫能力<sup>[5]</sup>, 但对其抗硫机制和吸硫能力的研究, 目前还没有报道.  $\text{SO}_2$  溶于水后是以亚硫酸根和亚硫酸氢根离子的动态平衡存在的<sup>[6]</sup>, 摩尔浓度为 3:1, 故本试验采用亚硫酸根离子和亚硫酸氢根离子混合液喷施处理模拟  $\text{SO}_2$  污染, 研究其对黄连木生理指标的影响及黄连木对硫的吸收能力, 以期对黄连木的抗  $\text{SO}_2$  的机制和对硫的吸收能力做出初步的揭示.

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料和方法

试验材料黄连木为 4 年生实生苗, 种源为河南. 挑选大小长势一致的黄连木树苗, 用重庆紫色土和蛭石混合后盆栽, 放置于温室中, 每 4 d 浇水一次, 每次浇水 400 mL. 用亚硫酸钠和亚硫酸氢钠按摩尔浓度 3:1 的配比配制浓度为 50, 100, 200, 500 mmol/L 的混合液, 使用上述 4 种不同浓度混合液分别对黄连木进行喷施处理, 每个处理 5 盆, 共两个重复, 以每片叶均匀布满液滴为准, 每隔 1 d 处理 1 次, 共处理 3 次, 以喷施去离子水为对照. 第 8, 16, 24, 32 d 后进行生理指标的测定, 第 32 d 进行叶片硫含量的测定.

1 d 静态试验: 使用吸硫能力极强的日本珊瑚树和吸硫能力较弱的蚊母<sup>[7]</sup>作为对照植物, 将 3 种植物叶片于早晨 8 点使用 100 mmol/L 的  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  和  $\text{NaHSO}_3$  混合液浸泡 1 d, 放置于透光处, 第二天早上 8

① 收稿日期: 2011-11-01

作者简介: 任广炼(1987-), 男, 贵州六盘水人, 硕士研究生, 主要从事园林植物生物技术及遗传育种研究.

通信作者: 李凌, 教授, 硕士生导师.

点测 3 种植物叶的含硫量. 日本珊瑚树和蚊母均采于西南大学校园内.

## 1.2 测定方法

叶绿素含量、脯氨酸含量的测定采用高俊凤的方法<sup>[8]</sup>, SOD、POD 活性的测定采用孙群等的方法<sup>[9]</sup>, 细胞质膜透性采用相对电导率法<sup>[10]</sup>, 净光合速率及其相关参数采用 LX-6400 便携式光合测定仪测定, 叶硫含量采用硫酸钡比浊法<sup>[11]</sup>. 采用 Excel 和 SPSS 分析软件处理数据.

## 2 结果与分析

### 2.1 Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> 和 NaHSO<sub>3</sub> 混合液对黄连木叶片形态的影响

浓度 200, 500 mmol/L 处理后 3 d 有明显的急性伤害症状. 与对照相比, 200 mmol/L 处理后幼叶上有明显的褐色大斑点出现, 未展开的幼叶则直接枯萎. 500 mmol/L 处理后幼叶出现的急性伤害症状与 200 mmol/L 相同, 成熟叶则明显有卷曲皱缩现象出现.

在处理 50 d 后, 除浓度 50 mmol/L 混合液处理后无明显变化之外, 其他处理的成熟叶均有黑褐色斑点出现, 部分成熟叶已死亡脱落.

由此可以看出, 黄连木可以耐受低浓度的 Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> 和 NaHSO<sub>3</sub> 混合液处理, 但当使用 200, 500 mmol/L 浓度混合液处理后, 黄连木叶片则有明显的变化, 造成了急性伤害.

### 2.2 Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> 和 NaHSO<sub>3</sub> 混合液对黄连木光合特性的影响

#### 2.2.1 Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> 和 NaHSO<sub>3</sub> 混合液对黄连木叶绿素含量的影响

光合作用中, 叶绿素是截获光能的主要色素, 其含量对光合作用有直接影响, 叶绿素含量可受多种逆境的胁迫而下降<sup>[12]</sup>. 从图 1 可以看出, 混合液浓度 50, 100, 200 mmol/L 处理后叶绿素含量增加, 3 个处理变化趋势相似. 24 d 时均达到峰值, 50 mmol/L 比对照增加了 39.74%, 差异显著 ( $p < 0.05$ ). 100, 200 mmol/L 处理分别比对照增加了 22.65%, 17.9%, 差异不显著 ( $p > 0.05$ ).

以上说明较低浓度的 Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> 和 NaHSO<sub>3</sub> 混合液可促进叶绿素的合成, 可能在一定程度一定时间段内促进光合作用.

500 mmol/L 处理后的变化趋势相似, 呈现先升高后降低的趋势, 32 d 时大幅度降低, 比对照降低了 33.9%, 差异显著 ( $p < 0.05$ ). 这可能是黄连木叶绿体受毒害前的一种自我保护机制, 当毒害加剧时会有所下降, 这与丛者福的研究结论相似<sup>[13]</sup>.

#### 2.2.2 Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> 和 NaHSO<sub>3</sub> 混合液对黄连木净光合速率及气孔导度的影响

光合速率的变化可以诊断植物是否受到逆境胁迫, 一般认为, 植物的抗逆性越强, 则其光合速率所受的抑制就越小, 气孔导度反映了气孔的开张程度, 而气孔的开张程度直接影响到植物对大气中 CO<sub>2</sub> 的利用, 气孔导度降低同样反映了植物的抗性<sup>[12]</sup>.

从表 1 可以看出, 随着处理浓度的增加, 净光合速率和气孔导度均呈现下降的趋势, 说明光合作用均受到了抑制. 但低浓度混合液处理对黄连木气孔导度的影响不明显, 高浓度处理则反之, 由此可以推断, Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> 和 NaHSO<sub>3</sub> 混合液处理后, 通过其他因子影响光合速率、气孔导度不是主要因素.

表 1 Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> 和 NaHSO<sub>3</sub> 混合液对黄连木净光合速率及气孔导度的影响

处理	净光合速率	气孔导度
CK	1.16 Aa	0.023 7 Aa
50	0.51 ABb	0.023 2 Aa
100	0.38 ABb	0.021 9 Aa
200	0.35 ABb	0.021 3 ABb
500	0.25 Bb	0.018 4 BCc

注: A、B、C 等表示 ( $p < 0.01$ ) 极显著水平, a、b、c 等表示 ( $p < 0.05$ ) 表示显著水平, 下同.

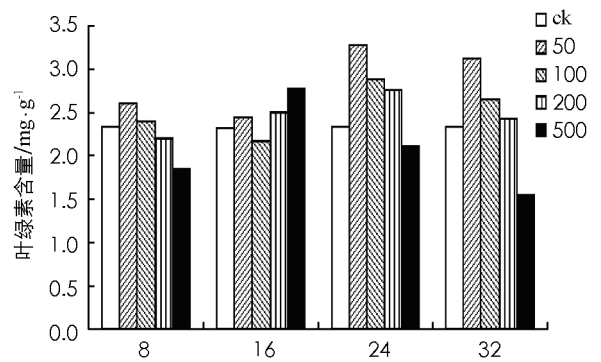


图 1 Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> 和 NaHSO<sub>3</sub> 混合液对黄连木叶绿素含量的影响

本试验需要遮雨, 故材料放置于温室中, 根据测定, 温室中的光照强度只有外面的 30% 左右, 导致黄连木的净光合速率较小。

### 2.3 $\text{Na}_2\text{SO}_3$ 和 $\text{NaHSO}_3$ 混合液对黄连木保护酶 POD、SOD 活性的影响

从图 2 可以看出, 各处理过氧化物酶 POD 活性变化趋势不同. 总体来说, 50, 100 mmol/L 处理后 POD 活性呈现逐渐升高再降低的趋势. 200, 500 mmol/L 处理初期 POD 大幅度下降, 24 d 时大幅度增加, 明显高于对照, 分别是对照的 2.3, 2.56, 3.33 倍。

从图 3 可以看出, 所有浓度处理后 SOD 活性都呈现先降低后逐步升高的趋势. 处理 16 d 后, 50 mmol/L 则一直维持一个极显著高于对照的水平基本不变. 浓度 100, 200, 500 mmol/L 处理 16 d 后, SOD 活性逐步升高, 到 32 d 时分别比对照增加了 1.46, 3.3, 2.04 倍。

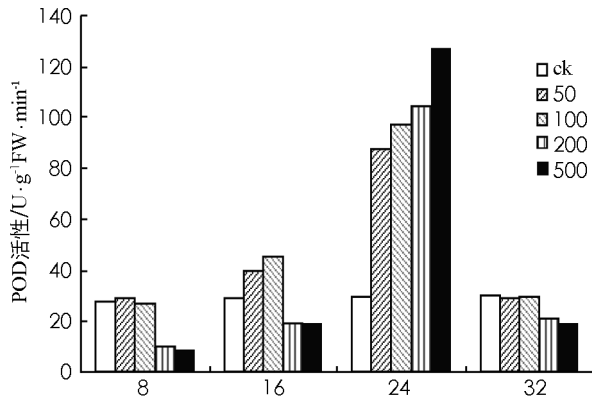


图 2  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  和  $\text{NaHSO}_3$  混合液对黄连木保护酶 POD 活性的影响

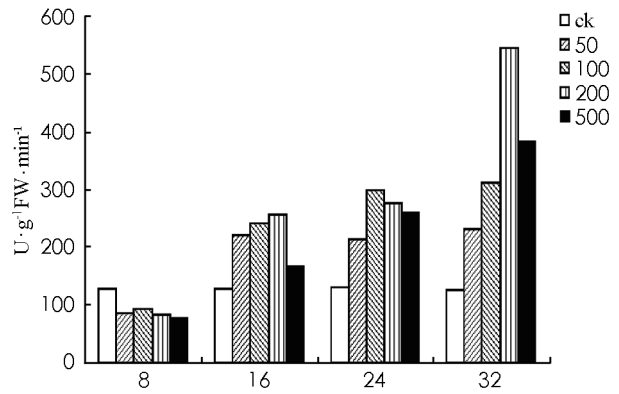


图 3  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  和  $\text{NaHSO}_3$  混合液对黄连木保护酶 SOD 活性的影响

200, 500 mmol/L 处理后浓度 POD 活性先降低再升高最后降低, 可能处理浓度过大, 产生了生理适应性的结果; 最后又降到了对照水平以下, 可能是随着胁迫时间的延长, 黄连木叶的膜系统和酶系统受到破坏的结果。

由上面的分析可以看出, 黄连木在受到胁迫时, 一定时间内其 POD、SOD 活性都成倍增加, 借以清除黄连木体内的活性氧和自由基, 以减轻伤害. 随着处理时间的延长, 部分膜系统和酶系统受到破坏, 保护酶活性开始下降。

### 2.4 $\text{Na}_2\text{SO}_3$ 和 $\text{NaHSO}_3$ 混合液对黄连木细胞膜透性的影响

有研究表明: 多种逆境都会使植物细胞的膜系统受损, 导致膜透性增大, 内容物外渗<sup>[14]</sup>. 因此生物膜结构和功能的稳定性与植物的抗逆性密切相关<sup>[15]</sup>.

从图 4 可以看出, 各浓度的混合液处理后, 植物细胞膜均受到不同程度的伤害, 细胞膜透性随处理浓度的加大而增大, 同时随胁迫时间的延长而增大, 但变化幅度不一。

在处理 32 d 时, 各处理细胞膜透性依次增加了 37.6%, 50.9%, 58.2%, 78.2%, 均达到极显著差异 ( $p < 0.01$ ).

50, 100 mmol/L 处理对黄连木细胞膜仍然造成了伤害, 但伤害不是特别明显. 浓度 200, 500 mmol/L 处理后前期黄连木细胞膜透性就已显著升高, 最后维持在一个较高的水平, 这与黄连木对  $\text{SO}_2$  的抗性有关. 以上说明当处理浓度到达 200 mmol/L 时, 植物膜系统已明显受到伤害, 且随着处理浓度的增加, 植物细胞膜受到的伤害越大。

### 2.5 $\text{Na}_2\text{SO}_3$ 和 $\text{NaHSO}_3$ 混合液对黄连木叶中硫含量的影响

硫酸根离子标准曲线线性公式为  $y = 0.0003x + 0.0111$ , 相关度  $R^2 = 0.9898$ .

从图 5 可以看出, 随着处理浓度的增加, 黄连木叶部硫含量是逐步升高的, 50 mmol/L 处理相对于对照增加了 44.6%, 差异不显著 ( $p > 0.05$ ). 100 mmol/L 处理比对照增加了 56.5%, 差异显著 ( $p < 0.05$ ). 200, 500 mmol/L 处理分别比对照增加了 70.4% 和 2.55 倍, 差异均达到了极显著 ( $p < 0.01$ ).

由此可以看出, 各处理黄连木叶中硫的含量与喷施浓度成正相关关系, 即随着处理浓度的加大, 叶中

硫含量逐步增加, 黄连木叶片对硫具有一定的富集能力.

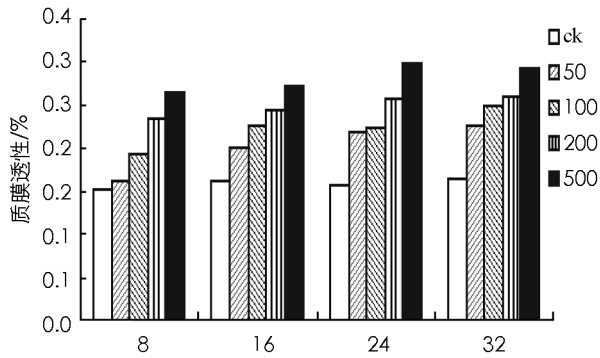


图 4  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  和  $\text{NaHSO}_3$  混合液对黄连木细胞膜透性的影响

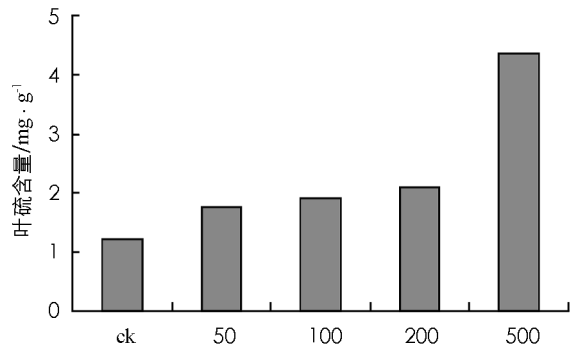


图 5  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  和  $\text{NaHSO}_3$  混合液对黄连木叶中硫含量的影响

## 2.6 $\text{Na}_2\text{SO}_3$ 和 $\text{NaHSO}_3$ 混合液一天浸泡对对照植物和黄连木叶片含硫量的影响

从表 2 可以看出, 黄连木使用去离子水浸泡 1 d 后含硫量与未作上述任何处理的叶片相比基本无差异. 与用去离子水浸泡相比, 使用  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  和  $\text{NaHSO}_3$  混合液浸泡后的黄连木、蚊母、日本珊瑚树的含硫量为 3.26, 2.25, 10.7, 吸硫量分别为 2.06, 1.31, 4.33. 黄连木较吸硫能力极强的日本珊瑚树弱, 明显强于吸硫能力弱的蚊母. 由此可以看出, 黄连木的吸硫能力也是较强的, 对硫具有一定的富集能力.

在 1 d 浸泡试验中, 黄连木吸硫量较吸硫能力较弱的蚊母显著增加, 虽然吸硫能力较日本珊瑚树小, 但由于遮雨需要, 黄连木放置于温室中光照不足, 生长情况较差, 因此黄连木可能也具有极强的吸硫能力或较强的富集作用, 需要做进一步的研究.

表 2  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  和  $\text{NaHSO}_3$  混合液一天浸泡对对照植物和黄连木叶片含硫量的影响 (mg/g)

植物名称	去离子水浸泡含硫量	混合液浸泡含硫量	叶片吸硫量
黄连木 <i>P. chinensis Bunge</i>	1.20	3.26	2.06
蚊母 <i>Distylium racemosum</i>	1.26	2.57	1.31
日本珊瑚树 <i>Viburnum awabuki</i>	6.33	10.7	4.33

## 3 结论与讨论

在处理后, 从黄连木叶的外部特征可以看出, 黄连木可以耐受最高达 100 mmol/L  $\text{NaHSO}_3$  和  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  混合液处理, 具有很强的抗性. 混合液浓度 50 mmol/L 处理后叶绿素含量增加, 以上说明较低浓度的  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  和  $\text{NaHSO}_3$  混合液可促进叶绿素的合成, 但所有处理黄连木的光合速率并没有上升, 且随着处理浓度的增加而下降, 这可能是  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  和  $\text{NaHSO}_3$  混合液破坏了叶肉组织和光合作用相关作用酶的活性, 从而影响了光合作用的正常进行<sup>[12]</sup>. 50, 100 mmol/L 处理对黄连木细胞膜仍然造成了伤害, 但伤害不是特别明显, 同样说明了在低浓度处理下黄连木对硫胁迫具有较强的抗性. SOD 和 POD 活性的升高能清除植物体内多余的活性氧和自由基, 一般情况下, 植物体内 SOD 和过氧化物酶 POD 与植物的抗污染能力成正相关关系<sup>[16]</sup>. 黄连木在受到胁迫时, 一定时间内其 POD、SOD 活性都成倍增加, 表现出很强的抗性. 对黄连木叶片硫含量的测定表明, 其富集能力低于对硫具有极强富集能力的日本珊瑚树, 但也远远高于对硫富集能力较弱的蚊母, 黄连木对硫具有较强的富集能力, 这是黄连木对硫具有较强抗性的机理之一.

### 参考文献:

- [1] 刘晓刚. 重庆市主城区二氧化硫地面浓度场分布特征及污染防治对策研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2007.
- [2] 王 忠. 植物生理学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 466—469.
- [3] 康敏明, 陈红跃. 几种鉴定植物抗大气污染能力指标的介绍 [J]. 植物生理学通讯, 2006, 42(2): 349—353.
- [4] 敖 红, 张 羽. 亚硫酸钠和亚硫酸氢钠混合液对 2 种云杉某些生理指标影响的比较 [J]. 植物生理学通讯, 2007, 43

(2): 259—263.

- [5] 陈有民. 园林树木学 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2007: 522—523.
- [6] 仪慧兰, 孟紫强, 杜建红, 等. 亚硫酸氢钠对大蒜有丝分裂周期的影响 [J]. 山西大学学报: 自然科学版, 2001, 24(3): 262—264.
- [7] 吴云霄. 重庆市主城区绿地系统生态效益研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2006.
- [8] 高俊凤. 植物生理学指导 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 74—77.
- [9] 孙 群, 胡锦涛. 植物生理学研究技术 [M]. 陕西: 西北农林科技大学出版社, 2006: 165—169.
- [10] 陈笑玲. 福州市 3 种主要园林树种抗重金属与酸雨胁迫能力研究 [D]. 福建: 福建农林大学, 2008.
- [11] 杨剑虹. 王成林, 代亨林, 等. 土壤农化分析与环境监测 [M]. 北京: 中国大地出版社, 2008: 307—308.
- [12] 梁淑英. 部分城市绿化树种的生理特性及其对大气污染的影响 [D]. 南京: 南京林业大学, 2008.
- [13] 丛者福. SO<sub>2</sub> 污染空气影响下树木叶片叶绿素含量的动态变化 [J]. 新疆农业大学学报, 1998, 21(4): 297—300.
- [14] 卞咏梅, 陈树元. 二氧化硫对植物细胞膜透性的影响 [J]. 植物生理学通讯, 1982, 18(1): 41—45.
- [15] 张继澍. 植物生理学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 443—444.
- [16] NALI C, PAOLETTI E, MARABOTTINI R, et al. Ecophysiological and Biochemical Strategies of Response to Ozone in Mediterranean Evergreen Broadleaf Species [J]. Atmos Environ, 2004(38): 2247—2257.

## On Resistance of *Pistacia chinensis* Bunge to Sulfur Dioxide

REN Guang-lian, SHI Jia,  
ZHENG Wen-juan, LI Zheng, LI Ling

School of Horticulture and Landscape Architecture, Southwest University, Chongqing 400716, China

**Abstract:** Four-year-old *Pistacia chinensis* Bunge seedlings were foliar sprayed with the mixed liquid of Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> and NaHSO<sub>3</sub> to simulate sulfur dioxide pollution, and some physiological indexes and the sulfur content in the leaves were determined after the treatment. The results showed that under low concentrations the mixed liquid treatments induced but small changes in the morphological and physiological indexes of the leaves. *P. chinensis* Bunge could tolerate sulfur dioxide with a concentration of  $\leq 200$  mmol/L, indicating that it had considerable resistance to sulfur dioxide pollution. In all simulated-SO<sub>2</sub> treatments, POD and SOD contents and membrane permeability increased, while chlorophyll content, Pn and Cond (stomatal conductance) decreased. Sulfur content of the leaves was in a positive correlation with Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> and NaHSO<sub>3</sub> concentration. In a marinating experiment with *Viburnum awabuki* and *Distylium racemosum* as the control, *P. chinensis* showed good S-enriching capacity, its S-absorbing capacity being between that of the two plants.

**Key words:** *Pistacia chinensis* Bunge; mixed liquid of Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> and NaHSO<sub>3</sub>; physiological index; the ability of absorbing sulfur

责任编辑 欧 宾