

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

敖红^{1,*}, 张羽²

东北林业大学¹生命科学学院,²林学院, 哈尔滨 150040

摘要: 八年生嫩江云杉和红皮云杉苗木, 经喷施 20、50、100 mmol·L⁻¹ Na₂SO₃ 和 NaHSO₃ (摩尔浓度为 3:1) 的混合液后第 3、11、20 天测定多个生理指标的结果显示, 喷后第 3 天, 2 种云杉的净光合速率(P_n), 光系统 II (PSII) 的最大光能转换效率(F_v/F_m), 光化学量子效率(Φ_{PSII}), 叶绿素 a (Chl a)、叶绿素 b (Chl b) 和类胡萝卜素含量均下降; 相对电导率上升; 苗木受到胁迫的程度随着 Na₂SO₃ 和 NaHSO₃ 混合液浓度的提高而增大。喷后第 8~20 天各种生理指标开始恢复。气孔导度(G_s) 和胞间 CO₂ 浓度(C_i) 变化不显著。红皮云杉对胁迫的敏感度高于嫩江云杉, 但其在重度胁迫后的修复能力强于嫩江云杉。

关键词: 红皮云杉; 嫩江云杉; Na₂SO₃ 和 NaHSO₃ 混合液; 生理指标

Comparison on Effects of Mixed Liquid of Na₂SO₃ and NaHSO₃ on Some Physiological Indexes of Two Spruces

AO Hong^{1,*}, ZHANG Yu²

¹College of Life Sciences, ²School of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

Abstract: The eight-year-old Korean spruce (*Picea koraiensis*) and Nenjiang spruce (*Picea koraiensis* var. *nenjiangensis*) seedlings were sprayed with 20, 50 and 100 mmol·L⁻¹ mixed liquid of Na₂SO₃ and NaHSO₃ (molar concentration is 3:1). Some physiological indexes were determined at 3, 11 and 20 d after treatment. The results showed that net photosynthetic rate (P_n), maximum efficiency of photosystem II (F_v/F_m), photochemical quantum efficiency (Φ_{PSII}), Chl a, Chl b and carotenoid contents decreased at the 3 d after treatment. Meanwhile, the electrical conductivity rised. The degree of injury increased with the stress increasing. The physiological indexes resumed at the 8-20 d after treatment. There were no significant changes of stomatal conductance and intercellular CO₂. The sensitivity to stress of Korean spruce was higher than that of Nenjiang spruce, and the self-recovering capability of Korean spruce was better than that of Nenjiang spruce under serious stress of mixed liquid of Na₂SO₃ and NaHSO₃.

Key words: Korean spruce (*Picea koraiensis*); Nenjiang spruce (*Picea koraiensis* var. *nenjiangensis*); mixed liquid of Na₂SO₃ and NaHSO₃; physiological indexes

SO₂ 是我国目前最主要的大气污染物。大气中的 SO₂ 通过气孔进入植物体内后, 使植物发生相应的生理生化变化, 同时表现出伤害症状。较高浓度的 SO₂ 会对植物的光合速率、呼吸作用、酶活性、气孔开度及 pH 等一些生理指标产生影响 (高吉喜 1997; Tanaka 和 Sugahara 1980; 郑淑颖 2000; 温达志 2004; 黄芳等 1999)。红皮云杉为东北地区主要的造林树种和园林绿化树种, 嫩江云杉是红皮云杉的变种 (聂绍荃和袁晓颖 2004), 其抗逆性比其原变种强。基于对 SO₂ 在中性水溶液中是以亚硫酸根和亚硫酸氢根离子的动态平衡 (摩尔浓度之比为 3:1) 状态存在的认识 (仪慧兰等 2001), 我们用亚硫酸钠和亚硫酸氢钠混合液模拟

SO₂ 污染状态, 研究其对 2 种云杉的某些生理效应, 并对两者抗 SO₂ 胁迫的能力加以比较。

材料与方法

八年生红皮云杉 (*Picea koraiensis* Nakai) 和嫩江云杉 (*Picea koraiensis* Nakai var. *nenjiangensis* S. Q. Nie et X. Y. Yuan) 用田园土盆栽, 13 个月后用于测定。Na₂SO₃ 和 NaHSO₃ 按摩尔浓度为 3:1 的比例配制混合液。浓度梯为 20、50、100 mmol·L⁻¹,

收稿 2006-12-12 修定 2007-02-26
 资助 黑龙江省科技攻关重点项目 (GB02103)。
 * E-mail: aohong2003@163.com; Tel: 0451-89192207

3种混合液的pH值分别是7.41、7.23和7.07。每个处理5盆。用喷雾器对嫩江云杉和红皮云杉进行喷施,隔天1次,共喷施4次,每次以针叶上布满细液滴为度;以喷水为对照。处理后第3、11、20测定各种指标。

光合参数的测定采用CIRAS-2型便携式光合仪(英国PP Systems公司),每处理测定4个植株,测定的叶片部位相同,光强设为 $1000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,取测定结果的平均值。叶绿素、类胡萝卜素、相对电导率的测定采用李合生(2000)书中的方法。每个处理4个植株,样品混合后测定,重复3次。叶绿素荧光参数光系统II(PSII)的最大光能转换效率(F_v/F_m)、光化学量子效率(Φ_{PSII})用调制式荧光仪FMS-2(英国Hansatech公司)测定,测定前叶片暗适应30 min,饱和脉冲光为 $6000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,作用光为 $600 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

实验结果

1 Na_2SO_3 和 NaHSO_3 混合液对2种云杉 P_n 、 F_v/F_m 和 Φ_{PSII} 的影响

从图1和图2可以看出:(1)未作处理的2种云杉的 P_n 变化不大,而经 Na_2SO_3 和 NaHSO_3 混合

液处理后第3天,3种不同浓度溶液处理的 P_n 都出现不同程度的下降,并且随着溶液浓度的增加, P_n 下降的幅度增加。嫩江云杉 P_n 下降程度小于红皮云杉。处理后第11天,嫩江云杉 P_n 依然呈下降趋势,而红皮云杉 P_n 则开始上升。处理后第20天,嫩江云杉仅以 $20 \text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理的有些恢复,其余变化不明显,而红皮云杉的 P_n 都已上升。(2) F_v/F_m 变化幅度较小,以 $100 \text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ Na_2SO_3 和 NaHSO_3 混合液处理3d的嫩江云杉最低。而 Φ_{PSII} 除了以 $20 \text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 溶液处理的嫩江云杉外,其余浓度的变化较大。处理后第11天时,以 $50 \text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ Na_2SO_3 和 NaHSO_3 混合液处理的嫩江云杉还在下降,而红皮云杉已开始上升。以 $100 \text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ Na_2SO_3 和 NaHSO_3 混合液处理的2种云杉的 Φ_{PSII} 都继续下降。第20天时,嫩江云杉变化不明显,红皮云杉都在恢复。

2 Na_2SO_3 和 NaHSO_3 混合液对2种云杉气孔导度(G_s)和胞间 CO_2 浓度(C_i)的影响

从表1可以看出,除了以 $100 \text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 溶液处理的嫩江云杉和红皮云杉的 G_s 减小并达到显著差异外,其他浓度的变化不大,均在一定的数值内波动。 C_i 存在类似状况,只有以 $100 \text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 溶

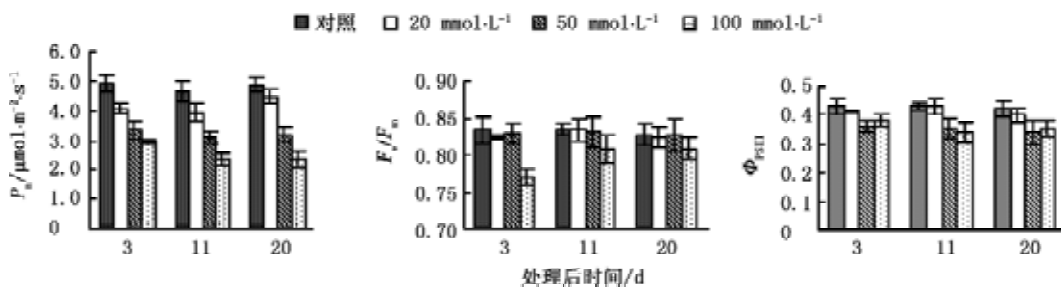


图1 Na_2SO_3 和 NaHSO_3 混合液对嫩江云杉 P_n 、 F_v/F_m 和 Φ_{PSII} 的影响

Fig.1 Effects of mixed liquid of Na_2SO_3 and NaHSO_3 on P_n , F_v/F_m and Φ_{PSII} of Nenjiang spruce

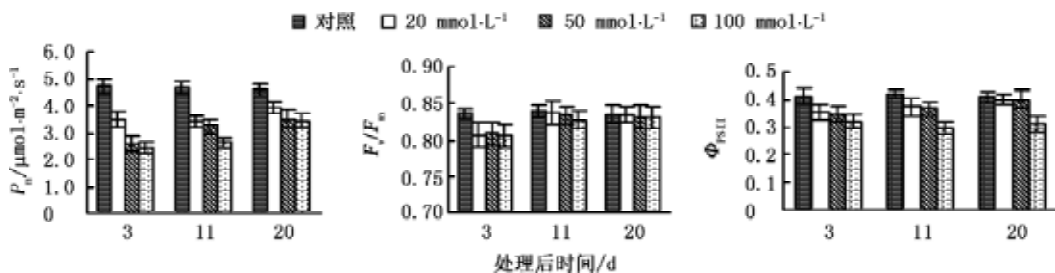


图2 Na_2SO_3 和 NaHSO_3 混合液对红皮云杉 P_n 、 F_v/F_m 和 Φ_{PSII} 的影响

Fig.2 Effects of mixed liquid of Na_2SO_3 and NaHSO_3 on P_n , F_v/F_m and Φ_{PSII} of Korean spruce

表1 Na₂SO₃和NaHSO₃混合液对2种云杉G_s和C_i的影响Table 1 Effects of mixed liquid of Na₂SO₃ and NaHSO₃ on G_s and C_i of two spruces

Na ₂ SO ₃ 和NaHSO ₃ 混合液浓度 /mmol·L ⁻¹	处理后时间/d	G _s /mmol (H ₂ O)·m ⁻² ·s ⁻¹		C _i /μmol (CO ₂)·mol ⁻¹	
		嫩江云杉	红皮云杉	嫩江云杉	红皮云杉
0 (对照)	0	184±13 ^a	179±9 ^{ab}	301±18 ^a	299±16 ^a
	3	180±9 ^a	182±12 ^a	298±10 ^a	302±10 ^a
	11	176±11 ^{ab}	176±10 ^{ab}	289±14 ^{ab}	301±22 ^a
	20	179±14 ^{ab}	178±11 ^{ab}	301±13 ^a	298±17 ^a
20	0	180±8 ^a	177±12 ^{ab}	301±15 ^a	289±14 ^{ab}
	3	176±13 ^a	181±15 ^a	291±18 ^a	296±21 ^a
	11	181±14 ^a	179±13 ^a	296±12 ^a	301±9 ^a
	20	178±10 ^{ab}	180±10 ^a	302±21 ^a	301±15 ^a
50	0	179±11 ^{ab}	181±13 ^a	300±9 ^a	297±20 ^a
	3	181±9 ^a	176±9 ^{ab}	298±15 ^a	302±19 ^a
	11	184±15 ^a	182±11 ^a	294±13 ^a	303±14 ^a
	20	178±12 ^{ab}	179±8 ^{ab}	299±17 ^a	298±17 ^a
100	0	181±14 ^a	179±13 ^{ab}	301±16 ^a	298±9 ^a
	3	160±9 ^c	165±8 ^{bc}	273±11 ^b	287±13 ^{ab}
	11	174±10 ^{bc}	181±12 ^a	302±21 ^a	301±22 ^a
	20	182±8 ^a	178±11 ^{ab}	298±13 ^a	302±15 ^a

同列数据上标无相同字母表示差异显著($P<0.05$)。

液处理的嫩江云杉的C_i降低,并达到显著差异。总的来看,Na₂SO₃和NaHSO₃混合液对这2种指标影响不大。

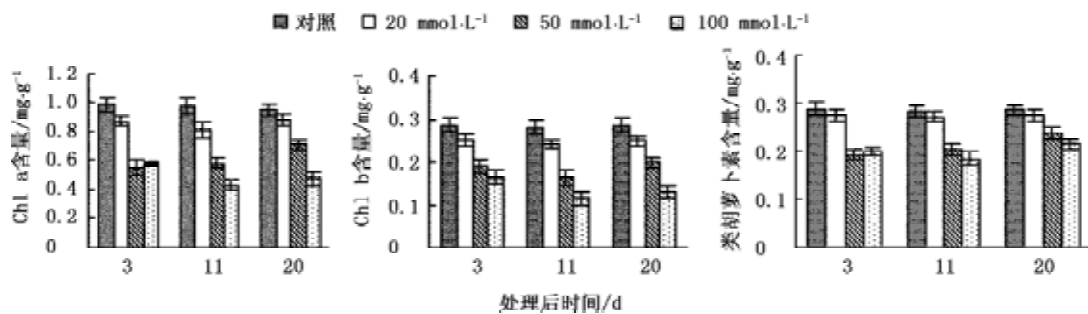
3 Na₂SO₃和NaHSO₃混合液对2种云杉光合色素含量的影响

从图3和图4可见,叶绿素a(Chl a)和叶绿素b(Chl b)的变化规律和幅度都较为相似。第3天时,以20 mmol·L⁻¹溶液处理的嫩江云杉叶绿素被破坏的程度明显低于红皮云杉。第11天时,嫩江云杉的色素含量依然下降,而红皮云杉的色素含量已开始上升。第20天时,以100 mmol·L⁻¹溶

液处理的红皮云杉的恢复程度明显高于嫩江云杉。胡萝卜素的变化幅度相对来说要小些,特别是嫩江云杉,以20 mmol·L⁻¹溶液处理后3次测定,色素相对值均在97%以上,说明其受到胁迫的影响较小。

4 Na₂SO₃和NaHSO₃混合液对2种云杉细胞质膜透性的影响

图5显示,不同浓度的Na₂SO₃和NaHSO₃混合液会造成膜的伤害,并表现出相对电导率随着溶液浓度增加而增加的趋势。第3天时,相对电导率最高。第20天时,各组数据与对照相比,

图3 Na₂SO₃和NaHSO₃混合液对嫩江云杉Chl a、Chl b和类胡萝卜素含量的影响Fig.3 Effects of mixed liquid of Na₂SO₃ and NaHSO₃ on Chl a, Chl b and carotenoid contents of Nenjiang spruce

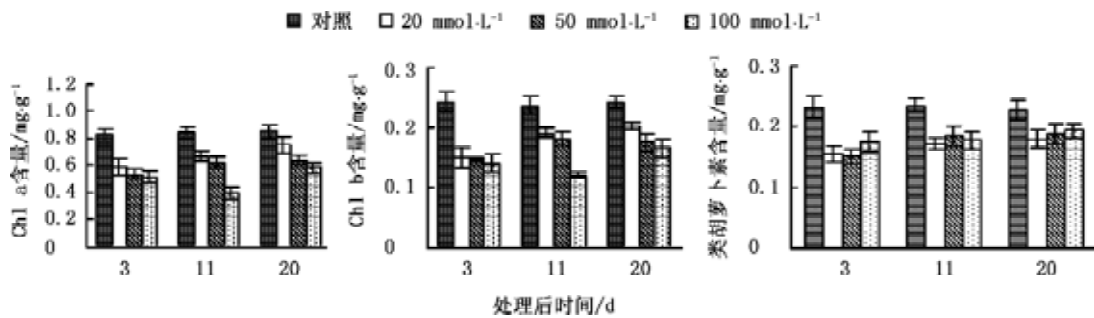


图4 Na_2SO_3 和 NaHSO_3 混合液对红皮云杉 Chl a、Chl b 和类胡萝卜素含量的影响

Fig.4 Effects of mixed liquid of Na_2SO_3 and NaHSO_3 on Chl a, Chl b and carotenoid contents of Korean spruce

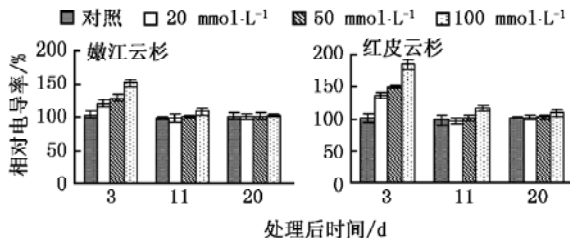


图5 Na_2SO_3 和 NaHSO_3 混合液对2种云杉相对电导率的影响

Fig.5 Effects of mixed liquid of Na_2SO_3 and NaHSO_3 on relative electrical conductivities of two spruces

基本上已没有差异。

讨 论

有资料表明, 喷施一定浓度的 NaHSO_3 可促进植物的光合作用(王宏伟等 2000; Wang 和 Shen 2002; 陈屏昭等 2004; 胡哲森等 2001)。本文的重点在于探讨2种云杉在抗 SO_2 胁迫的能力上是否存在差异, 因此采用了较高浓度的 NaHSO_3 与 Na_2SO_3 混合液来模拟 SO_2 对植物的伤害。不同浓度的 NaHSO_3 与 Na_2SO_3 混合液的 pH 值之间有一定的差异, 但不明显, 而且都接近中性, 因此认为混合液在对2种云杉产生生理效应时, 浓度效应更为主要。

以 NaHSO_3 和 Na_2SO_3 混合液处理的2种云杉的光合速率在短期内都呈下降的趋势。造成光合下降的因素可以有多种, 光合色素含量高低对植物的光合作用会产生影响。从化合物的性质上来看, SO_2 是一种漂白剂(北京师范大学和华中师范大学 1981), HSO_3^- 和 SO_3^{2-} 可使品红、孔雀绿等一些有机色素漂白退色(陈寿椿 1982)。本文结果

表明, 用较高浓度 Na_2SO_3 和 NaHSO_3 混合液处理的2种云杉的光合色素含量均下降。Chl a 和 Chl b 的变化规律基本上一致, 类胡萝卜素受到的影响较小。20 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的溶液处理的嫩江云杉, 其类胡萝卜素含量下降不到 10%。有资料表明, 类胡萝卜素作为光合色素一方面可以吸收光能, 另一方面也可起到保护光合机构免受过剩光强造成的损害(王娟和李德全 2002)。由此看来, 维持较高含量的类胡萝卜素含量对于保持一定的光合速率是非常有利的。同时, 这也说明 Na_2SO_3 和 NaHSO_3 混合液引起的光合的下降与光合色素含量下降可能有一定的关系。

F_v/F_m 是反映光化学反应状况的参数。本文中2种云杉的 F_v/F_m 经 NaHSO_3 和 Na_2SO_3 混合液处理 3 d 后下降, 且下降幅度随着溶液浓度的增加而增加, 这显示 Na_2SO_3 和 NaHSO_3 混合液对2种云杉潜在的光能转化效率有一定的伤害。随后, 又逐渐恢复。此外, 代表 PSII 中电子传递量子效率, 与碳同化、光呼吸和对 O_2 依赖的电子传递有关的 Φ_{PSII} 变化幅度比 F_v/F_m 大, 说明 Na_2SO_3 和 NaHSO_3 混合液对电子传递效率带来的影响相对大一些, 其恢复时间也较长, 这暗示伤害程度可能更深一些。

SO_2 或 NaHSO_3 可造成气孔关闭(彭子模 2000)。但本文结果表明, 除了以 100 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 混合液处理的之外, G_s 和 C_i 的变化并不大, 各处理之间的差异不显著。因此认为气孔限制可能不是 Na_2SO_3 和 NaHSO_3 混合液导致2种云杉光合作用下降的主要因素。

SO_2 对植物的影响是多方面的, 它进入到植物体后, 细胞膜透性、pH 值、自由基的产生、

酶活性都受影响(Ranieri 等 1999; 廖飞勇和何平 2004; 康敏明和陈红跃 2006)。本文结果表明, 模拟SO₂污染的Na₂SO₃和NaHSO₃混合液喷施云杉后, 其光合色素减少, 电子传递量子效率下降, 膜透性增加, 进而造成了光合速率下降, 但气孔受到的影响并不明显。2种云杉对胁迫的反应不一, 红皮云杉对胁迫的敏感程度和受到较为严重的伤害后的自我修复能力都比嫩江云杉强一些。两者受伤害的机制是否有异, 尚待进一步研究。

参考文献

- 北京师范大学, 华中师范学院(1981). 无机化学. 北京: 高等教育出版社, 539
- 陈屏昭, 罗家刚, 王磊, 陈顺方, 桑正林, 周云(2004). 亚硫酸氢钠影响脐橙叶片光合作用的原因. 西北农业学报, 13 (1): 69~75
- 陈寿椿(1982). 重要无机化学反应. 上海: 上海科学技术出版社, 918
- 高吉喜(1997). 二氧化硫对植物新陈代谢的影响(1). 环境科学研究, 10 (2): 36~39
- 胡哲森, 时忠杰, 许长钦(2001). 亚硫酸氢钠对油茶光合机构的生理效应研究. 林业科学, 37 (1): 68~71
- 黄芳, 王建民, 徐玉梅(1999). SO₂对不同抗性植物几种酶活性的影响. 中国环境科学, 19 (2): 161~164
- 康敏明, 陈红跃(2006). 几种鉴定植物抗大气污染能力指标的介绍. 植物生理学通讯, 42 (2): 349~353
- 李合生主编(2000). 植物生理生化实验原理与技术. 北京: 高等教育出版社, 134~138, 261~262
- 廖飞勇, 何平(2004). 熏气对油桐叶片细胞膜脂组成和叶绿体超微结构的影响. 植物生理学通讯, 40 (1): 42~44
- 聂绍荃, 袁晓颖(2004). 东北云杉属一新变种. 植物研究, 24 (2): 129
- 彭子模(2000). 亚硫酸氢钠对植物叶片气孔开度的调节作用. 新疆师范大学学报(自然科学版), 19 (2): 38~41
- 王宏伟, 魏家绵, 沈允钢(2000). 喷洒低浓度亚硫酸氢钠可促进小麦叶片光合磷酸化和光合作用. 科学通报, 45 (4): 394~397
- 王娟, 李德全(2002). 水分胁迫下植物体内的抗氧化剂及其作用. 生物学通报, 37 (10): 22~23
- 温达志(2003). 30种园林植物对短期大气污染的生理生态反应. 植物生态学报, 27 (3): 311~317
- 仪慧兰, 孟紫强, 杜建红(2001). 亚硫酸氢钠对大蒜有丝分裂周期的影响. 山西大学学报(自然科学版), 24 (3): 262~264
- 郑淑颖(2000). 二氧化硫污染对植物影响的研究进展. 生态科学, 19 (1): 59~64
- Ranieri A, Pieruccetti F, Panicucci A, Castagna A, Lorenzini G, Soldatini GF (1999). SO₂-induced decrease in photosynthetic activity in two barley cultivars. Evidence against specific damage at the protein-pigment complex level. *Plant Physiol Biochem*, 37 (12): 919~929
- Tanaka K, Sugahara K (1980). Role of superoxide dismutase in the defense against SO₂ toxicity and an increase in superoxide dismutase activity with SO₂ fumigation. *Plant Cell Physiol*, 21 (4): 601~611
- Wang HW, ShenYG (2002). How bisulfite enhances photosynthesis. *植物生理与分子生物学学报*, 28 (4): 247~252