

SO₂ 处理对油桐叶片光合能量传递效率的影响

廖飞勇¹, 何平^{2*}

(1. 中南林学院生命科学院, 湖南株洲 412006; 2. 中国国际工程咨询公司, 北京 100044)

摘要: 0.857 1 mg/m³ SO₂ 处理油桐后对其光合能量传递效率进行了测定。结果表明: 长期低浓度 SO₂ 熏气处理引起叶绿素含量和类胡萝卜素含量的下降, 类胡萝卜素与总叶绿素比值升高, 这导致了色素分子所吸收的总的光合能量的下降。引起光系统 II 和光系统 I 最大光能转换效率和潜在活性的下降, 导致了光系统所传递和转换的光合电子总量的下降。引起了光合速率下降和呼吸速率的升高, 并导致了单位面积叶片鲜重和干重的下降。我们得出结论: 长期低浓度 SO₂ 熏气处理以后油桐生长减缓是由于色素含量减少所导致的捕光能力下降, 光系统的光能转换效率和电子传递效率下降、光合电子流向发生变化、固定能量的减少和能量消耗的增加所导致的。

关键词: SO₂; 能量; 传递效率; 油桐

中图分类号: S794.3; S713 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2004)01-0086-05

The effect of SO₂ fumigation on photo energy transfer efficiency in leaves of oil tung tree (*Vernicia fordii*)

LIAO Fei-yong¹, HE Ping^{2*}

(1. *Life Science and Technology College, Central South Forestry University, Zhuzhou 412006, China;*

2. China International Engineer Consulting Corporation, Beijing 100044, China)

Abstract: The photo energy transfer efficiency in oil tung tree (*Vernicia fordii*) was tested after long and low concentration SO₂ fumigation (0.857 1 mg/m³). The results showed that the contents of chlorophyll and carotenoid decreased and the ratio of carotenoid/chlorophyll decreased after SO₂ fumigation, which resulted in the amount of photosynthetic energy absorbed by the pigment. The maximal photo energy conservation efficiencies and potential activities of photosystem II and photosystem I decreased after SO₂ fumigation, which resulted in the amount of photosynthetic electrons transferred and transformed by the photosystem. The photosynthesis rate decreased and the respiration increased by SO₂ fumigation, and the biomass of leaves decreased. We had the conclusion that the slowing of growth of oil tung tree was caused by the ability of capture photo of pigments, the photosynthetic energy conservation efficiencies and potential activities of photosystem, the flowing direction of photosynthetic electrons, the decreasing of fixed energy and increasing of consumption energy.

Key words: SO₂; energy; transfer efficiency; *Vernicia fordii*

SO₂ 是主要的大气污染因子之一, 人们对于 SO₂ 的污染给予了极大的关注, 也对其进行了许多

研究, 但是以往的研究主要集中在短时间、高浓度 SO₂ 处理上, 这种方法明显存在不足之处: (1) 不能

收稿日期: 2003-04-02 修订日期: 2003-06-26

基金项目: 德国科学联合会 ((DFG)446CHV113/26/1); 国家自然科学基金资助项目 (39670599)。

作者简介: 廖飞勇 (1973-), 男, 湖南安化人, 博士研究生, 主要从事生态学和植物生理生态学研究。* 为通讯联系人

准确反映自然条件下植物所受的影响;(2)高浓度 SO₂ 对叶绿体有极强的化学破坏作用,高浓度 SO₂ 处理,很难了解到 SO₂ 对光合机制的真实影响,看到的更多的是叶绿体结构破坏后的结果。而对于长期低浓度 SO₂ 对于植物的影响研究很少,对于树木的研究就更少。

以往的研究结果表明短时 SO₂ 熏气处理引起光系统结构遭受破坏(林世青等,1992)。He 等(1997)的测定结果表明,SO₂ 会使油桐水裂解中心(OEC)的量减少,但会使光系统 II (PSII)的捕光色素蛋白复合物(LCHII)的量增加。这些变化说明光系统 II 在结构上发生了改变,但是对长期低浓度 SO₂ 处理以后光系统功能如何变化未见报道。油桐(*Vernicia fordii*)是我国特有的用材和用油两用树种,分布十分广泛,具有很高的经济价值。但是,油桐对 SO₂ 非常敏感,在其主要生长区,因大气污染而使大面积的油桐受到不同程度的伤害,甚至死亡。在污染源附近生长的油桐,植株矮小,生长量下降。叶片变小、变薄,叶色不正常,严重的部分坏死。落叶、落果,结实量明显减少。因此,了解 SO₂ 熏气影响下油桐的光系统结构和功能的变化,对于了解 SO₂ 对植物影响机理、植物生理生态学理论和增加桐油的生产实践都有重要的意义。

1 材料与方 法

1.1 苗木及培养

将三年生油桐移种到高 45 cm,直径 35 cm 的装满腐殖土的大塑料桶中,1 个月后进行实验。对照和处理各重复 5 次。

1.2 熏气方法及浓度

熏气采用开顶式熏气,SO₂ 浓度为 0.857 1 mg/m³,进气量为 0.375 1m³/s。SO₂ 浓度用盐酸副玫瑰苯胺法(国家环境保护局,1990)进行测定。

1.3 测定方法

叶绿素浓度用 80%丙酮提取,用分光光度法进行测定(张志良,1993);用纸色谱分离各色素(张志良,1993);各色素的吸收光谱和荧光光谱分别用 754 紫外分光光度计和 960crt 荧光光度计进行测定。

(1)叶绿素荧光性状的测定:用德国 WALZ 公司生产的便携式叶绿素荧光仪 PAM-2000 测定,用 DA-2000 软件对数据进行处理。用 Sharkey(1988)

的方法进行分析。所有参数在叶片暗适应 30 min 以后测得。

(2)叶对 820 nm 吸收的测定:用 820 nm 吸收测定仪测定光系统 I(PSI)的活性。测定装置按 Harbinson(1987)的方法装配,用小型台式记录仪记录信号的变化。吸收示意图见文献(廖飞勇等,2002),其中 I_m 代表 820 nm 光照射时的最高吸收;I_v 代表照光后的吸收变化;I₀ 代表最后稳定吸收;I_m = I₀ + I_v;L₀ 代表达到 I_m 所需的时间;L_v 代表从 I_m 到 I₀ 所需的时间;L_m = L₀ + L_v。I_v/I₀、I_v/I_m 分别代表了 PSI 的潜在活性和最大光能转换效率。

(3)光合和呼吸作用的测定:用瓦氏呼吸仪测定(上海植物生理学会,1985)。

(4)叶片生物量的测定:用万分之一的分析天平称样品鲜重,计算其面积,然后在 80 °C 下烘至恒重,再称其干重。

2 实验结果

2.1 对光合色素的影响

SO₂ 熏气处理不同时间对三年生苗木叶片色素含量的影响分别如表 1。

从表 1 可以看到,经 SO₂ 熏气处理 9 d 后叶片的叶绿素 a、总叶绿素和类胡萝卜素含量下降,叶绿素 b 含量略有上升。随着熏气时间的延长,叶绿素 a、总叶绿素和类胡萝卜素含量下降程度变大;而叶绿素 b 在熏气时间达到 22 d 以后开始下降,熏气 110 d 时其下降的程度达到最大。Cha/Chb 和 Cha/TChl 总体上来说 是下降的,随着熏气时间的延长其下降的程度逐渐加大;对 Car/TChl 言,刚开始下降到 82%,然后开始回升,熏气 57 d 处理的值超过对照的,而且一直保持到实验结束,实验结束时处理的值分别是对照的 142%。

从 SO₂ 对三年生苗木色素影响的结果可以看到,SO₂ 熏气处理使得总的色素含量减少,同时也使得色素的荧光光谱发生变化(类胡萝卜素在 671.2 nm 处出现了较强的荧光峰,而在 731.5 nm 处的荧光峰几乎消失,数据另行发表),这样使色素对于光能总的捕获量下降,可被传递的电子总量减少,可用于碳固定的能量也减少。

2.2 对光系统 II 功能的影响

长期低浓度 SO₂ 熏气处理对三年生苗木 F₀、

F_v 、 F_m 的影响如表 2。

F_0 为固定荧光,为光化学反应中不参与 PSII 光化学反应的光能辐射部分(余叔文等,1998),PSII 反应中心的破坏或可逆失活引起 F_0 增加。表 2 表明, SO_2 熏气处理以后引起了 F_0 值增加。 F_0 的变

化表明 SO_2 熏气处理以后不参与 PSII 光化学反应的光能辐射增加,相应地可用于 PSII 光化学反应的能量的比例下降。这必将导致植物体内能量分配发生一系列变化。同时也说明 SO_2 熏气处理引起了 PSII 反应中心的破坏或可逆性失活。

表 1 长期低浓度 SO_2 对三年生苗木叶片色素含量的影响 (单位:mg/g 鲜重)

Table 1 The changes in chlorophyll and carotenoid in the leaves of three years old seedlings (Unit: mg/g)

处理时间(d) Treated time		叶绿素 a Cha	叶绿素 b Chb	总叶绿素 TChl Total Chlorophyll	类胡萝卜素 Car	Cha/Chb	Cha/TChl	Car/TChl
9	对照 Control	1.3575	0.6354	1.9924	0.5268	2.1360	0.679	0.2620
	处理 Treatment	1.2691	0.6578	1.9264	0.4652	1.9170	0.657	0.2490
22	对照 Control	1.4187	0.8059	2.2239	0.4494	1.7410	0.6346	0.2040
	处理 Treatment	1.1994	0.6399	1.8389	0.3449	1.8650	0.6508	0.1900
33	对照 Control	1.3185	0.6151	1.9331	0.3967	2.1410	0.6818	0.2060
	处理 Treatment	1.1344	0.6063	1.7402	0.3373	1.8660	0.6411	0.1960
57	对照 Control	1.6447	0.7019	2.3460	0.448	2.3460	0.7013	0.1920
	处理 Treatment	1.1122	0.5192	1.6310	0.3978	2.1470	0.6823	0.2480
80	对照 Control	1.5769	0.7739	2.3501	0.4676	2.0410	0.6703	0.1990
	处理 Treatment	1.0694	0.5981	1.6675	0.3793	1.7880	0.6413	0.2300
110	对照 Control	1.8938	0.9247	2.8178	0.4937	2.0440	0.6715	0.1750
	处理 Treatment	1.1274	0.6292	1.7561	0.3369	1.7910	0.6414	0.1920

表 2 长期低浓度 SO_2 对 F_0 、 F_v 和 F_m 的影响

Table 2 The effect of SO_2 fumigation on the F_0 , F_v and F_m

处理时间(d) Treated time		9	11	24	35	45	58	82	108
F_0	对照 Control	0.180	0.184	0.184	0.206	0.223	0.219	0.208	0.151
	处理 Treatment	0.193	0.200	0.194	0.184	0.181	0.344	0.239	0.201
F_v	对照 Control	0.641	0.710	0.711	0.724	0.737	0.955	1.022	0.683
	处理 Treatment	0.555	0.616	0.694	0.671	0.819	0.404	0.906	0.623
F_m	对照 Control	0.821	0.894	0.895	0.93	0.96	1.174	1.23	0.834
	处理 Treatment	0.748	0.816	0.888	0.855	1.00	0.748	1.145	0.824

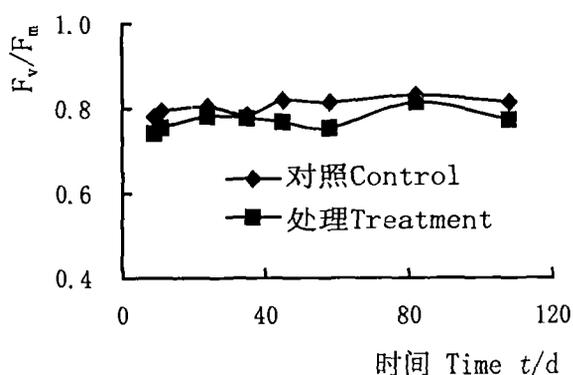


图 1 SO_2 熏气时间对 F_v/F_m 的影响

Fig. 1 The time course of SO_2 on F_v/F_m change

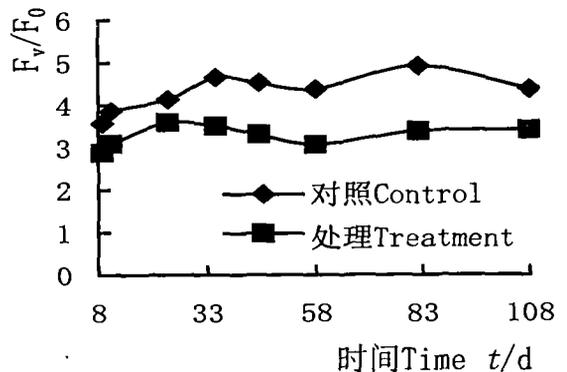


图 2 SO_2 熏气时间对三年生苗木 F_v/F_0 的影响

Fig. 2 The time course of SO_2 on F_v/F_0 change

长期低浓度 SO_2 熏气处理对三年生苗木 F_v 、 F_m 、 F_v/F_0 的影响如图 1、2。

F_v/F_m 、 F_v/F_0 分别代表 PS II 的最大光能转换

效率和潜在活性,在非逆条件下,多种植物的值非常稳定(林世青等,1992),但在逆境条件下他们明显下降。图 1、2 表明, SO_2 处理均引起 F_v/F_m 、 F_v/F_0 值

的下降,它们的变化说明 SO₂ 熏气处理引起 PSII 反应中心的最大光能转换效率和潜在活性的下降,同时说明植物受到 SO₂ 的胁迫,很可能是反应中心受到了破坏或者参与反应的酶的活性受到了影响。

2.3 对光系统 I 功能的影响

长期低浓度 SO₂ 熏气处理对三年生苗木的 I_v/I_0 的、 I_v/I_m 的影响如图 3、4。

I_v/I_m 、 I_v/I_0 分别代表 PSI 的最大光能转换效率和潜在活性。图 3、4 表明,三年生苗木 SO₂ 熏气处理以后 I_v/I_0 、 I_v/I_m 下降,且随着熏气时

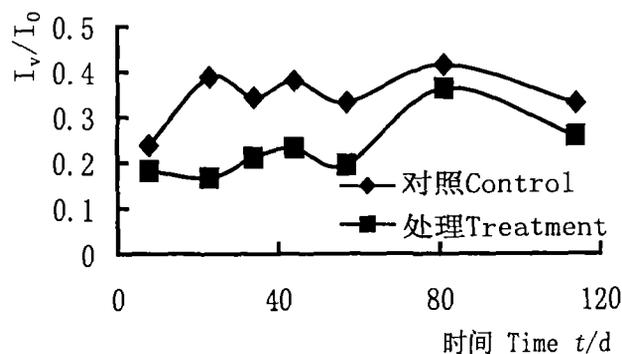


图 3 SO₂ 熏气时间对三年生苗木 PSI 的 I_v/I_0 的影响
Fig. 3 The time course of SO₂ on I_v/I_0 change of PSI

间的延长,处理的 I_v/I_0 值一直比对照的低,实验结束时,其下降程度略有回升。它们的变化说明长期低浓度 SO₂ 处理以后光系统 I 的潜在活性和最大光能转换效率的下降,也说明植物受到 SO₂ 的胁迫,这与 PSII 的反应一致。

2.4 对光合作用的影响

SO₂ 对三年生苗木光合作用的影响如图 5。

图 5 表明,经 SO₂ 处理以后引起油桐叶片光合速率的下降,且总体来说随着熏气时间的延长,其下降的程度也越大。

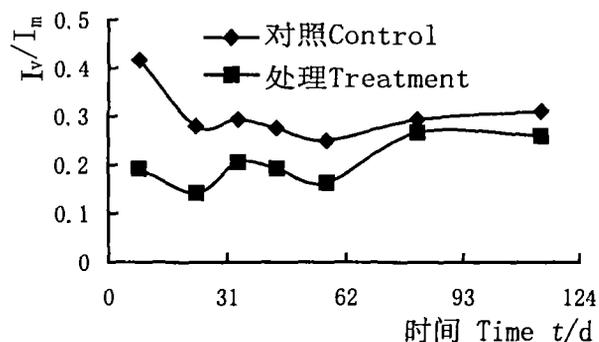


图 4 SO₂ 熏气时间对三年生苗木 PSI 的 I_v/I_m 的影响
Fig. 4 The time course of SO₂ on I_v/I_m change of PSI

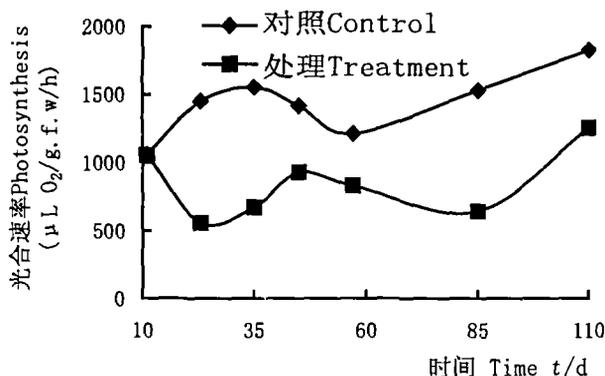


图 5 SO₂ 熏气时间对光合速率的影响
Fig. 5 The time course of SO₂ treatment on the photosynthesis rate

光合作用所固定的太阳能是植物合成碳水化物的来源,光合速率的下降必将导致植物合成物质的下降,引起植物生长减慢或生长不良。

2.5 对呼吸作用的影响

SO₂ 对三年生苗木光合作用的影响如图 6。

图 6 表明,经 SO₂ 处理以后呼吸均增强。刚开始呼吸作用所增加的程度不大,随着熏气时间的延长,呼吸作用所增加的程度也逐渐加大,熏气 110 d 时处理呼吸是对照 1.56 倍。

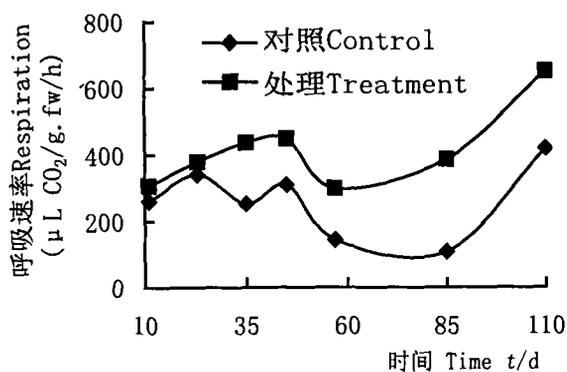


图 6 SO₂ 熏气时间对三年生苗木呼吸速率的影响
Fig. 6 The time course of SO₂ treatment on the respiration

呼吸作用是植物新陈代谢的基础,它的长期减弱必然会引起植物生长发育减缓甚至停止,最终导致植物生长不正常。

2.6 对叶片生物量的影响

SO₂ 对三年生苗木生物量的影响如图 7、图 8。

图 7、图 8 表明,经过 SO₂ 处理以后,开始刺激了油桐叶片生物量的增加,但是随着熏气时间的进一步延长这种刺激作用转变成抑制作用,单位面积的叶片生物量无论是鲜重还是干重都明显下降。这与前

面分析的许多现象相一致。熏气 110 d 时对照叶片单位面积的干重分别是处理的 1.25 倍和 1.34 倍。

3 分析与讨论

(1) 色素分子所捕获的光能是光合作用中能量的唯一来源,叶绿素和类胡萝卜素含量减少以后必将导致捕光能力的下降和捕获能量的减少。这将导致

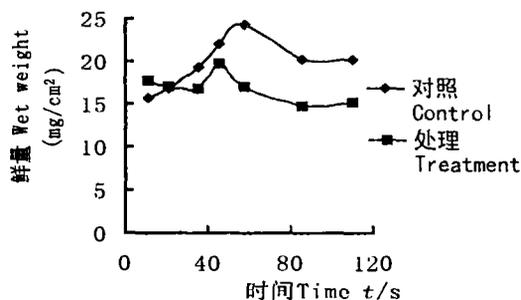


图 7 SO₂ 熏气时间对叶片鲜重的影响

Fig. 7 The time course of SO₂ treatment on the wet weight of the leaves

(3) 净光合速率反映了植物固定能量的多少。净光合速率的下降表明经过长期低浓度 SO₂ 熏气处理以后导致了油桐叶片中固定能量的下降。呼吸作用可反映植物消耗能量的情况,呼吸作用的增加必将导致体内能量消耗的增加。最终表现为单位面积叶片的生物量下降。

(4) 我们得出结论:长期低浓度 SO₂ 熏气处理以后油桐生长减缓是由于色素含量减少使捕光能力下降,光系统的光能转换效率和电子传递效率下降、光合电子流向发生变化、固定能量的减少和能量消耗的增加所导致的。

参考文献:

- 上海植物生理学会. 1985. 植物生理学实验手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 526-533.
- 余叔文, 汤章城. 1998. 植物生理与分子生物学[M]. 北京: 科学出版社, 271-272.
- 国家环境保护局. 1990. 空气和废气监测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 94-110.
- 张志良. 1993. 植物生理学实验指导. 北京: 高等教育出版社, 78-80.

以后可被转换和传递的光合电子的量减少。

(2) 光能被色素捕获以后经过电子传递链被传递,这其中必须经过光系统 II 和光系统 I。光系统 II 和光系统 I 潜在活性和最大光能转换效率的下降必将会导致光合电子在传递过程中损耗增大,可用于 NADPH 合成的光合电子的量减少和光合电子流向发生变化(数据另文发表)。这将导致流向碳固定的能量减少。

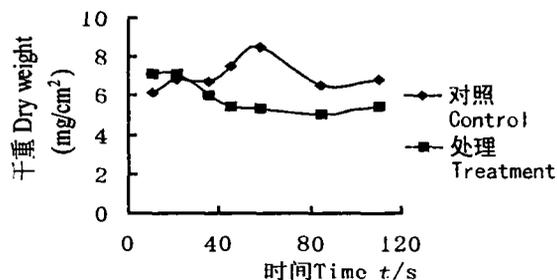


图 8 SO₂ 熏气时间对叶片干重的影响

Fig. 8 The time course of SO₂ treatment on the dry weight of the leaves

- Harbinson J, Woodward FI. 1987. The use of light-induced absorbance changes at 820nm to monitor the oxidation state of P 700 in leaves[J]. *Plant, Cell and Environment*, **10**: 131-140.
- He P, Radunz A, Bader KP, et al. 1997. A quantitative evaluation of the lipid composition of leaves of *Aleurites montana* as a consequence of growth under 0.3ppm SO₂ in the atmosphere[J]. *Z. Naturforsch*, **52C**: 472-476.
- Liao FY(廖飞勇), He P(何平). 2002. Laying light system character of *Vernicia fordii* (油桐光系统性状的测定的研究)[J]. *Economic Forest Researches (经济林研究)*, **20**(4): 19-22.
- Lin SQ(林世青), Xu CF(许春辉), Zhang QD(张其德), et al. 1992. Some application of chlorophyll fluorescence kinetics to plant stress physiology to ecology and agricultural modernization(叶素素荧光动力学在植物抗性生理学、生态学和农业现代化中的应用)[J]. *Chinese Bulletin of Botany(植物学通报)*, **9**(1): 1-16.
- Sharkey T, Berry J, Sage RF. 1988. Regulation of photosynthetic electron-transport in *Phaseolus vulgaris* L. as determined by room-temperature chlorophyll a fluorescence [J]. *Planta*, **176**: 415-424.