

·实验简报·

CO₂ 浓度升高对两种沈阳城市森林树种光合特性的影响

王美玉¹, 赵天宏^{1*}, 张巍巍¹, 郭丹¹, 何兴元², 付士磊²

¹ 沈阳农业大学农学院, 沈阳 110161; ² 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016

摘要 利用开顶式气室, 研究了CO₂浓度升高条件下城市森林主要树种油松(*Pinus tabulaeformis*)和银杏(*Ginkgo biloba*)主要光合特性的变化。结果表明, 整个生长季, CO₂浓度升高(700 μmol·mol⁻¹)条件下2树种叶片的净光合速率、可溶性糖、淀粉和可溶性蛋白含量均接近或高于相应对照(自然CO₂浓度)值, 但不同树种增加的幅度不同; 而2树种的叶绿素含量和Chl a/Chl b值对CO₂浓度升高反应不一, 表现为CO₂浓度升高条件下油松的叶绿素含量较对照值高, Chl a/Chl b值降低, 银杏的叶绿素含量为前期升高, 后期降低, Chl a/Chl b值变化与之正好相反, 说明城市森林组成树种对CO₂浓度升高的响应具有复杂性。CO₂浓度升高条件下, 两树种均未发生光合适应现象。

关键词 CO₂浓度升高, 银杏, 光合特性, 油松, 城市森林

王美玉, 赵天宏, 张巍巍, 郭丹, 何兴元, 付士磊 (2007). CO₂ 浓度升高对两种沈阳城市森林树种光合特性的影响. 植物学通报 24, 470–476.

近年来, 人类活动加剧导致的全球气候变化已成为各国学者研究的热点问题之一。尤其是大气中 CO₂、CH₄等温室气体的日益增加以及UV-B辐射的增强已对植物的生理生化活动产生了一定影响(孙谷畴等, 2000; 周广胜等, 2004)。

全球气候变暖主要是由于温室气体的增加, 尤其是CO₂浓度的升高。工业革命以来, 大气中CO₂浓度上升近38%, 现在已达到约370 μmol·mol⁻¹, 预计本世纪中叶将达到550 μmol·mol⁻¹, 本世纪末将超过700 μmol·mol⁻¹ (Prentice et al., 2001)。CO₂ 作为绿色植物光合作用的反应底物, 其浓度变化直接影响植物光合生理生化过程(Kimball et al., 2002)。为此, 国内外生理生态学家开展了许多这方面的研究(Sawada et al., 2001; Pataki et al., 2003)。研究表明, 植物对大气 CO₂ 浓度升高的反应存在着长期效应、短期效应、光合上调和光合下调。在高浓度CO₂条件下, 净光合速率并不总是上升, 有时可能表现为不变甚至是下降(Chen et al., 2005; 张彤等, 2006)。CO₂ 浓度升高对植物光合色素含量的影响也不尽一致(王精明等, 2005; 蒋跃林等,

2006)。关于 CO₂ 浓度升高对植物光合作用的影响机理, 还有待进一步研究。

目前有关全球气候变化特别是CO₂浓度升高对植物生理生态影响的研究, 主要偏重于农作物等一年生草本植物, 对木本植物的研究相对较少, 且主要针对天然林树种, 对城市森林树种的生理生态变化特性了解不多。城市森林作为城市生态系统中具有自净功能的重要组成部分, 在保护人类健康、调节生态平衡、改善环境质量和美化城市等方面具有其它城市基础设施不可替代的作用。森林与气候之间存在着密切的关系, 因此气候的变化将不可避免对森林产生一定的影响。而城市森林作为全球绿色植被的一部分, 也可从多方面影响全球气候变化, 如削减多种大气化学物质(如CO₂)、直接或间接地释放各种大气化学物质、改善城市小气候(如降温)和改变建筑物的能量使用状况等(Nowak, 2000)。城市森林与全球气候变化之间的相互作用关系尚需进一步探讨。油松(*Pinus tabulaeformis*)和银杏(*Ginkgo biloba*)是沈阳市城市森林的主要组成树种和常用绿化树种, 其变化必然对这一地区城市森林群落产生重要影响。因

收稿日期: 2006-08-21; 接受日期: 2007-01-11

基金项目: 国家自然科学基金(No. 90411019)和辽宁省教育厅高校科研项目(No. 05L408)

* 通讯作者。E-mail: zth1999@163.com

此,通过研究CO₂浓度升高对油松和银杏主要光合特性的影响,为未来全球气候变化条件下沈阳市城市森林树种的选育提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

实验区位于中国科学院沈阳树木园(41°46'N, 123°26'E),是沈阳市人口密集,商业文化中心地带。

实验主要设备为6个开顶箱(直径4 m,高3 m)及与其配套的通气控制设备,主要包括CO₂红外传感器(森尔,瑞典)实时监控开顶箱内CO₂浓度,温湿度传感器实时采集开顶箱内温湿度数据,以及数据分析与自动控制充气系统。CO₂来源为钢瓶装纯CO₂。

实验设2个处理:CO₂浓度升高(700 ± 20 μmol·mol⁻¹)和对照(自然CO₂浓度),每个处理设3次重复。选取10年生油松和6年生银杏为实验对象,于2005年4月初将其移栽在开顶箱内,常规管理。6月10日开始每天24小时不间断通气,9月30日停止供气,每间隔20天取样1次。每次取样在上午9:00左右,选取银杏和油松上部全展叶片,保温箱冰浴保存。当天同步测定了各处理油松和银杏光合作用的相关生理指标。

1.2 测定方法

1.2.1 净光合速率

于上午9:00-11:00利用LI-6400系列便携式光合作用测定仪测定。

1.2.2 叶绿素含量

取0.05 g叶片,剪碎后浸泡在10 mL 80%丙酮溶液中24小时,浸泡液为待测液。之后于646 nm和663 nm处测定待测液的光密度,根据Lichtenthaler和Wellburn(1983)的修正公式计算叶绿素a(Chl a)、叶绿素b(Chl b)和叶绿素总量(Chl (a+b))。

1.2.3 可溶性糖和淀粉含量

参照邹琦(2000)的实验方法,取0.5 g叶片,剪碎,沸水

浴中浸提30分钟后过滤定容,即为可溶性糖提取液。向提取可溶性糖后的残渣中依次加入热蒸馏水和9.2 mol·L⁻¹高氯酸,分别提取15分钟,然后过滤定容即为淀粉提取液。吸取一定量的提取液,加入蒽酮试剂,沸水浴中加热10分钟,冷却后于630 nm波长处测定吸光度。

1.2.4 可溶性蛋白含量

参照邹琦(2000)的实验方法,取0.5 g叶片,加入蒸馏水研磨成匀浆,3 000×g离心10分钟,上清液即为可溶性蛋白提取液。在一定量的提取液中加入考马斯亮蓝G-250试剂于595 nm处测光密度值。

2 结果分析

2.1 对净光合速率的影响

CO₂浓度升高后,银杏和油松叶片的净光合速率均有不同程度的提高。如图1所示,对照条件下,银杏的净光合速率平均值为7.291 μmol·m⁻²·s⁻¹,油松的净光合速率平均值则略低于银杏,为6.438 μmol·m⁻²·s⁻¹。高CO₂浓度处理后,银杏和油松的净光合速率均有一定提高,其提高的幅度分别为19.82%-91.24%和23.67%-133.18%。与对照相比,银杏在通气60天时达到差异极显著水平($P<0.01$),而油松则在通气20天时即达到差异极显著水平($P<0.01$),且整个处理期间均表现为差异显著($P<0.05$),由此可以看出高浓度CO₂对油松的促进作用大于银杏。

2.2 对叶绿素含量的影响

实验结果显示(表1,2),整个生长季高浓度CO₂处理下油松的Chl a、Chl b及Chl (a+b)平均含量均比相应对照值高,分别比对照增加5.85%-30.71%、2.12%-51.45%和4.62%-36.73%。与对照相比,Chl a和Chl (a+b)含量的提高在通气80天和100天时达到差异显著水平($P<0.05$),而Chl b含量则在通气60天至100天时均达到差异显著水平($P<0.05$)。与油松叶绿素含量变化略有不同,在通气80天内,高浓度CO₂处理下银杏的

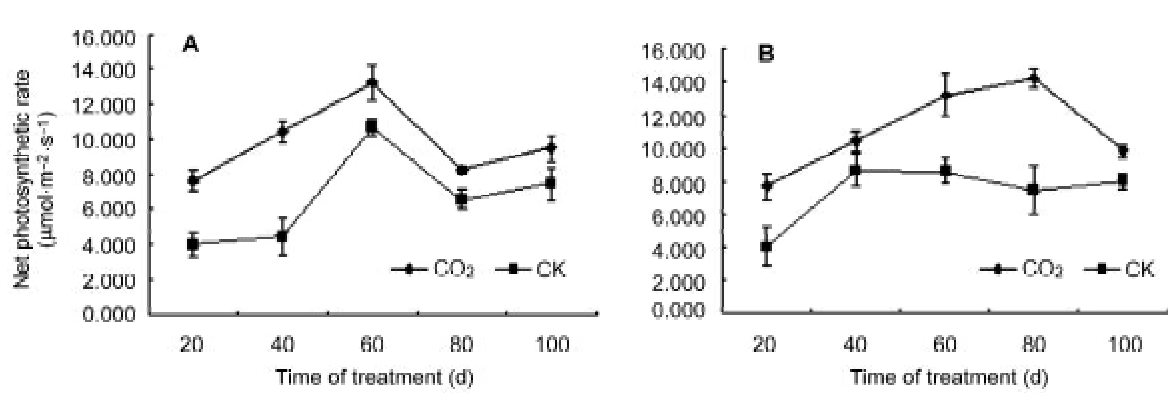


图1 高浓度CO₂处理下油松(A)和银杏(B)叶片净光合速率的变化

Figure 1 Variations of net photosynthetic rates in *Pinus tabulaeformis* (A) and *Ginkgo biloba* (B) leaves under elevated CO₂ concentration

表1 高浓度CO₂对银杏叶片叶绿素含量的影响(平均值±标准误)

Table 1 Effects of CO₂ enrichment on chlorophyll content of *Ginkgo biloba* leaves (Means±SE)

Treatment time (d)	Treatment	Chl a (mg·g ⁻¹ FW)	Chl b (mg·g ⁻¹ FW)	Chl (a+b) (mg·g ⁻¹ FW)	Chl a/Chl b
20	CK	1.200±0.031	0.597±0.042	1.797±0.073	2.015
	CO ₂	1.245±0.109	0.609±0.080	1.854±0.088	2.055
40	CK	1.298±0.106	0.668±0.058	1.966±0.162	1.945
	CO ₂	1.299±0.077	0.682±0.043	1.981±0.118	1.904
60	CK	1.110±0.010	0.495±0.007	1.605±0.016	2.244
	CO ₂	1.344±0.133*	0.648±0.060*	1.992±0.186*	2.076**
80	CK	1.114±0.164	0.590±0.061	1.704±0.124	1.884
	CO ₂	1.204±0.047	0.620±0.056	1.823±0.103	1.942
100	CK	1.142±0.077	0.486±0.049	1.628±0.026	2.350
	CO ₂	1.149±0.101	0.474±0.060	1.624±0.110	2.423

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$

Chl a、Chl b 及 Chl (a+b)均高于对照, 其增加幅度分别为 0.05% - 24.48%、2.01% - 30.91% 和 0.78% - 24.06%, 且三者均在通气 60 天时达到差异显著水平 ($P < 0.05$)。而在通气 80 - 100 天时, 银杏的 Chl b 和 Chl (a+b) 则呈下降趋势, 但与对照相比, 差异不显著 ($P > 0.05$)。

从整体趋势来看, 在通气 80 天内, 油松和银杏的 Chl a、Chl b 及 Chl (a+b) 三者的变化趋势基本一致, 而在通气 80 - 100 天时, 三者则呈现出不同的变化趋

势。比较发现, Chl (a+b) 的增减是由 Chl a 和 Chl b 二者共同变化引起的。

从 Chl a/Chl b 值来看, 在通气 60 天时, 银杏的 Chl a/Chl b 值表现为高浓度 CO₂ 处理值低于对照值, 且差异极显著 ($P < 0.01$), 此后直至通气 100 天时则表现为高于对照值。与此不同, 油松在整个处理期间均表现为高浓度 CO₂ 处理下的 Chl a/Chl b 值低于相应对照值, 在通气 100 天时达到差异显著水平 ($P < 0.05$)。从总的趋势来看, 在整个处理期间, 二者的 Chl a/Chl b 值均呈升高

表 2 高浓度 CO₂ 对油松叶片叶绿素含量的影响(平均值±标准误)

Table 2 Effects of CO ₂ enrichment on chlorophyll content of <i>Pinus tabulaeformis</i> leaves (Means±SE)					
Treatment time (d)	Treatment	Chl a (mg·g ⁻¹ FW)	Chl b (mg·g ⁻¹ FW)	Chl (a+b) (mg·g ⁻¹ FW)	Chl a/Chl b
20	CK	0.612±0.021	0.293±0.001	0.905±0.021	2.088
	CO ₂	0.662±0.045	0.323±0.030	0.984±0.069	2.057
40	CK	0.965±0.035	0.471±0.042	1.436±0.075	2.056
	CO ₂	1.021±0.112	0.481±0.063	1.502±0.175	2.128
60	CK	0.873±0.049	0.407±0.054	1.280±0.051	2.148
	CO ₂	0.978±0.063	0.460±0.021*	1.438±0.084	2.125
80	CK	0.900±0.127	0.457±0.077	1.357±0.197	1.980
	CO ₂	1.172±0.071*	0.600±0.030*	1.772±0.091*	1.955
100	CK	0.867±0.141	0.355±0.078	1.222±0.218	2.462
	CO ₂	1.133±0.078*	0.538±0.009*	1.671±0.085*	2.107*

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$

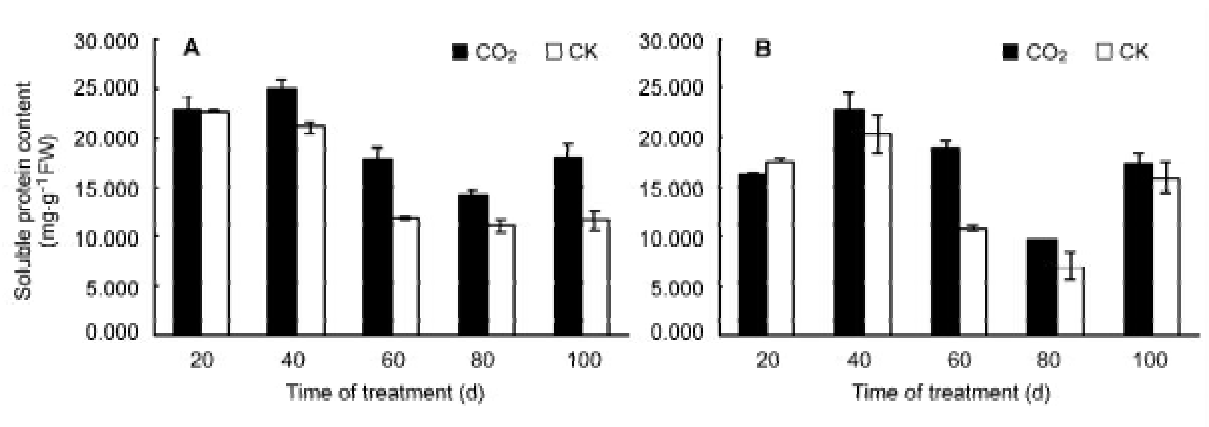


图 2 高浓度 CO₂ 对油松(A)和银杏(B)叶片可溶性蛋白含量的影响

Figure 2 Effects of elevated CO₂ concentration on the contents of soluble protein in *Pinus tabulaeformis* (A) and *Ginkgo biloba* (B) leaves

趋势, 这与对照相一致。

极显著($P<0.01$)水平。

2.3 对可溶性蛋白含量的影响

如图2所示, CO₂浓度升高促进了油松和银杏叶片可溶性蛋白含量的增加。整个生长季内, 油松叶片单位鲜重的可溶性蛋白含量增幅为0.62% - 55.14%, 与对照相比, 在通气 40 - 100 天期间均表现为差异极显著($P<0.01$)。而银杏叶片单位鲜重的可溶性蛋白含量几乎均高于对照, 其增加幅度为12.20% - 74.36%, 通气60天时达到差异

2.4 对可溶性糖和淀粉含量的影响

由表3可知, 高浓度CO₂处理促进了油松叶片中可溶性糖和淀粉的积累。淀粉含量增加幅度较大, 最大增幅达 84.24%, 可溶性糖含量增加幅度较小, 增幅在1.24% - 20.24% 之间, 二者分别在通气 60 天和 40 天时达到差异显著($P<0.05$)和极显著($P<0.01$)水平, 说明CO₂浓度升高促进了油松光合产物的积累。与油松变化相似, 银

表3 高浓度CO₂对油松叶片可溶性糖和淀粉含量的影响(平均值±标准误)

Table 3 Effects of elevated CO₂ on the contents of soluble sugar and starch in *Pinus tabulaeformis* leaves (Means±SE)

Treatment time (d)	Treatment	Soluble sugar (%)	Starch (%)
20	CK	2.607 ± 0.258	1.051 ± 0.146
	CO ₂	2.639 ± 0.329	2.904 ± 0.680
40	CK	2.794 ± 0.393	1.483 ± 0.204
	CO ₂	3.026 ± 0.520	2.194 ± 0.170**
60	CK	3.156 ± 0.046	4.584 ± 0.390
	CO ₂	3.528 ± 0.380*	5.065 ± 0.096
80	CK	3.834 ± 0.020	5.461 ± 0.785
	CO ₂	3.946 ± 0.227	6.072 ± 0.614
100	CK	3.633 ± 0.054	3.837 ± 0.411
	CO ₂	3.823 ± 0.241	4.265 ± 0.572

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$

表4 高浓度CO₂对银杏叶片可溶性糖和淀粉含量的影响(平均值±标准误)

Table 4 Effects of elevated CO₂ on the contents of soluble sugar and starch in *Ginkgo biloba* leaves (Means±SE)

Treatment time (d)	Treatment	Soluble sugar (%)	Starch (%)
20	CK	2.195 ± 0.298	1.289 ± 0.016
	CO ₂	2.920 ± 0.177	3.125 ± 0.347*
40	CK	2.968 ± 0.131	2.139 ± 0.573
	CO ₂	3.212 ± 0.158	5.268 ± 0.342**
60	CK	3.340 ± 0.222	3.782 ± 0.424
	CO ₂	3.547 ± 0.254	6.664 ± 0.130**
80	CK	3.838 ± 0.374	4.881 ± 0.424
	CO ₂	3.562 ± 0.128	7.488 ± 0.457
100	CK	2.207 ± 0.106	3.096 ± 0.262
	CO ₂	2.921 ± 0.123**	5.674 ± 0.379**

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$

杏也表现为高浓度CO₂处理下生长的树木叶片可溶性糖和淀粉含量均接近或高于相应对照值(表4), 二者最大增幅分别为36.35%和146.27%, 前者在通气100天时达到差异极显著($P < 0.01$)水平, 而后者几乎在整个处理期间均达到了差异显著($P < 0.05$)或极显著($P < 0.01$)水平。通过比较发现, 高浓度CO₂处理下生长的银杏叶片, 其可溶性糖和淀粉含量的平均增幅高于油松相应值。这些结果表明, 高浓度CO₂处理下银杏和油松光合作用增强, 从而使叶片中非结构性碳水化合物如淀粉

和多糖等含量升高。

3 讨论

对沈阳市城市森林主要组成树种油松和银杏的研究表明, CO₂浓度升高明显提高了2树种的净光合速率, 这与林舜华等(1997)对辽东栎(*Quercus liaotungensis*)的研究结果一致。但2树种净光合速率提高的幅度有所不同, 表现为油松的提高幅度大于银杏。这反映出针叶和阔叶树种对高浓度CO₂响应不同。许多研究表明, CO₂浓度升高对植物光合作用具有促进作用(谢会成和姜志林, 2002; 李永华等, 2005)。但也有研究表明, 长期高浓度CO₂处理下生长的植物会发生光合适应现象(许大全, 1994; Chen et al., 2005)。目前关于光合适应的原因可能主要表现在以下几个方面: 碳水化合物过量积累, 光合电子传递链中质体醌与过氧化氢(H₂O₂)的氧化还原信号对光合作用发生反馈抑制; 核酮糖 1,5-二磷酸羧化/加氧酶(Rubisco)的含量及其活性下降; 气孔状态发生变化等(范桂枝和蔡庆生, 2005)。本实验中, 高浓度CO₂处理下各个测定时期油松和银杏的净光合速率始终高于对照, 并未观察到一些实验中所出现的光合下调现象(Chen et al., 2005)。这可能是由于我们的实验处理时间较短, 尽管高浓度CO₂处理下油松和银杏的可溶性糖和淀粉等光合产物的含量明显增加, 但在夜间已被迅速利用和转移, 还没有积累到对光合作用进行反馈抑制的程度。

有关研究表明, CO₂浓度升高对植物叶片的叶绿素含量和Chl a/Chl b值均有影响, 但结果却因植物种类不同而有差异。本实验结果表明, 在整个生长季里, 高浓度CO₂处理下, 油松的叶绿素含量较对照值高, Chl a/Chl b值较对照值低, 这与蒋跃林等(2005)对茶树的研究结果一致。与此不同, 银杏的叶绿素含量和Chl a/Chl b值变化比较复杂, 表现为叶绿素含量前期升高, 后期降低, 而Chl a/Chl b值则正好相反。这可能是导致银杏净光合速率平均提高幅度低于油松的原因之一。但也有研究表明, 树木叶片的叶绿素含量不是叶片净光合速率的限定因子(Garbutt et al., 1990), 这也反映出沈阳

市城市森林组成树种对高浓度 CO₂ 响应的复杂性。

可溶性糖和淀粉是植物光合作用的产物,其含量的提高意味着植物光合磷酸化的增强。Rubisco是植物体内含量最丰富的酶,约占叶片可溶性蛋白质总量的50%以上,因此可溶性蛋白含量的升高将直接导致植物对CO₂羧化能力的增强。本实验结果显示,高浓度CO₂处理下油松和银杏的可溶性糖、淀粉和可溶性蛋白含量明显提高,这与该条件下油松和银杏净光合速率的提高保持一致。这些实验结果与 Handa 等(2005)对 2 种针叶树种的研究结果一致,但与韩文军等(2003)对闽楠的研究结果相反,这可能是由于树种差异、生长环境以及试验手段的不同所致。

综上所述,CO₂浓度升高促进了沈阳市城市森林树种油松和银杏的光合作用,但二者的响应程度存在差异,表现为油松光合作用的增强幅度大于银杏,这与以往报道中针叶树种从不断上升的大气CO₂浓度中获得的利益可能会比阔叶树种要少(赵平等, 2001)不同,反映了城市森林树种对全球气候变化响应的特殊性。由此可以得出,在未来全球气候变化条件下,选育油松和银杏特别是油松作为沈阳市城市森林的主要树种是可行的。

参考文献

- 范桂枝, 蔡庆生 (2005). 植物对大气 CO₂ 浓度升高的光合适应机理. 植物学通报 22, 486-493.
- 韩文军, 廖飞勇, 何平 (2003). 大气二氧化碳浓度倍增对闽楠光合性状的影响. 中南林业学院学报 23(2), 62-65.
- 蒋跃林, 张仕定, 张庆国 (2005). 大气 CO₂ 浓度升高对茶树光合生理特性的影响. 茶叶科学 25, 43-48.
- 蒋跃林, 姚玉刚, 张庆国, 岳伟, 陈庭甫, 樊丽莉 (2006). 大气二氧化碳浓度升高条件下大豆光合色素含量的变化. 作物研究 2, 144-146.
- 李永华, 刘丽娜, 叶庆生 (2005). 高 CO₂ 浓度对红掌的生长和光合作用的影响. 热带亚热带植物学报 13, 343-346.
- 林舜华, 项斌, 高雷明, 黄银晓 (1997). 辽东栎对大气 CO₂ 倍增的响应. 植物生态学报 21, 297-303.
- 孙谷畴, 赵平, 曾小平, 彭少麟 (2000). 补增 UV-B 辐射对香蕉叶片光合作用和叶氮在光合碳循环组分中分配的影响. 植物学通报 17, 450-456.
- 王精明, 李永华, 黄胜琴, 刘丽娜, 叶庆生 (2005). CO₂ 浓度升高对红掌光合速率与生长发育的影响. 园艺学报 32, 335-338.
- 谢会成, 姜志林 (2002). 栓皮栎对 CO₂ 增长的生理生态响应. 西南林业学院学报 22, 1-4.
- 许大全 (1994). 光合作用及有关过程对长期高 CO₂ 浓度的响应. 植物生理学通讯 30 (2), 81-87.
- 张彤, 胡楠, 王磊 (2006). CO₂ 浓度增高对大豆光合生理的影响. 河南大学学报(自然科学版) 36(2), 68-70.
- 赵平, 彭少麟, 曾小平 (2001). 全球变化背景下大气 CO₂ 浓度升高与森林群落结构和功能的变化. 广西植物 21, 287-294.
- 周广胜, 王玉辉, 白莉萍, 许振柱, 石瑞香, 周莉, 袁文平 (2004). 陆地生态系统与全球变化相互作用的研究进展. 气象学报 62, 692-707.
- 邹琦 (2000). 植物生理学实验指导. 北京:中国农业出版社. pp.110-114, 127-130.
- Kimball BA, 朱建国, 程磊, Kobayashi K, Bindi M (2002). 开放系统中农作物对空气 CO₂ 浓度增加的响应. 应用生态学报 13, 1323-1338.
- Chen GY, Yong ZH, Liao Y, Zhang DY, Chen Y, Zhang HB, Chen J, Zhu JG, Xu DQ (2005). Photosynthetic acclimation in rice leaves to free-air CO₂ enrichment related to both ribulose-1,5-bisphosphate carboxylation limitation and ribulose-1,5-bisphosphate regeneration limitation. *Plant Cell Physiol* 46, 1036-1045.
- Garbutt K, Williams WE, Bazzaz FA (1990). Analysis of annuals to elevated CO₂ during growth. *Ecology* 71, 1185-1194.
- Handa IT, Körner C, Hättenschwiler S (2005). A test of the treeline carbon limitation hypothesis by in situ CO₂ enrichment and defoliation. *Ecology* 86, 1288-1300.
- Lichtenthaler HK, Wellburn AR (1983). Determination of total carotenoids and chlorophyll a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochem Soc Trans* 11, 591-592.
- Nowak DJ (2000). The interactions between urban forests and global climate change, In: Abdollahi K, Ning ZH, Appeaning VA, eds. Global Climate Change and the Urban Forest. Baton Rouge, LA: GCRCC and Franklin Press. pp. 31-44.
- Pataki DE, Ellsworth DS, Evans DR, Gonzalez-Meler M, KING J, Leavitt SW, Lin GH, Matamala R, Pendall ES, Siegwolf RL, Kessel van CR, Ehleringer JR (2003). Tracing changes in ecosystem function under elevated carbon dioxide conditions. *Bioscience* 53, 805-818.
- Prentice IC, Farquhar GD, Fasham MJR, Goulden ML, Heimann M, Jaramillo VJ, Khashgi HS, Le Quéré C, Scholes RJ, Wallace DWR (2001). The carbon cycle and atmospheric carbon dioxide, In: Contributions of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel

on Climate Change, eds. Climate Change: The Scientific Basis.
Cambridge, UK: Cambridge University Press. pp.183-238.

Sawada S, Kuninaka M, Watanabe K (2001). The mechanism

to suppress photosynthesis through end-product inhibition in
single-rooted soybean leaves during acclimation to CO₂
enrichment. *Plant Cell Physiol* **42**, 1093-1102.

Effects of Elevated CO₂ Concentration on Photosynthetic Characteristics of Two Urban Forest Species in Shenyang City

Meiyu Wang¹, Tianhong Zhao^{1*}, Weiwei Zhang¹, Dan Guo¹, Xingyuan He², Shilei Fu²

¹College of Agronomy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China

²Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China

Abstract The main photosynthetic characteristics of the main urban forest species *Pinus tabulaeformis* and *Ginkgo biloba* in Shenyang City were analyzed in open-top chambers under elevated CO₂ concentration. Net photosynthetic rates and soluble sugar, starch and soluble protein content of the leaves of the two species under elevated CO₂ concentration (700 μmol·mol⁻¹) were close to or higher than that of respective controls (natural CO₂ concentration), whose contents were increased differently between species. The responses of chlorophyll content and ratio of Chl a/Chl b under elevated CO₂ concentration were not identical for the two species. As well, chlorophyll content increased and ratio of Chl a/Chl b decreased in *P. tabulaeformis* leaves under elevated CO₂ concentration, whereas chlorophyll content of *G. biloba* leaves increased during the earlier growing season, decreased in the later growing season, and the ratio of Chl a/Chl b responded contrarily, which indicated complexity in the response to elevated CO₂ concentration of tree species in an urban forest. Both tree species showed no photosynthetic acclimation to elevated CO₂ concentration.

Key words elevated CO₂ concentration, *Ginkgo biloba*, photosynthetic characteristics, *Pinus tabulaeformis*, urban forest

Wang MY, Zhao TH, Zhang WW, Guo D, He XY, Fu SL (2007). Effects of elevated CO₂ concentration on photosynthetic characteristics of two urban forest species in Shenyang city. *Chin Bull Bot* **24**, 470-476.

* Author for correspondence. E-mail: zth1999@163.com