

辽东栎对大气 CO₂ 倍增的响应

林舜华 项 斌 高雷明 黄银晓

(中国科学院植物研究所,北京 100093)

摘 要 本文研究了 CO₂ 加浓对暖温带落叶阔叶混交林典型自然群落建群种辽东栎的影响,结果表明:在生理学方面,CO₂ 倍增下气孔阻抗略增大,为对照的 106%,蒸腾速率略下降,为对照的 92%,暗呼吸速率与对照很接近,但略微下降为对照的 98.9%。净光合速率、昼夜净光合量、水分利用效率都明显提高,分别为对照的 155%,172%和 179%。可以看出 CO₂ 倍增对辽东栎的生理过程有促进作用,属正效应。其中以生长旺季 6、7 月增长更为明显。在生长方面,CO₂ 倍增下生长各项指标增长也较明显,叶面积为对照的 107%,叶干重为对照的 140%,以植株高度增加最明显,为对照的 331%,清楚的看出辽东栎的生长与生理过程的变化趋势是一致的、均属正效应。也就是说在其他环境资源满足植物要求时,CO₂ 倍增对树木具有“施肥”作用,它可促进植物的生理过程和提高其生物生产力。

关键词 响应 CO₂ 倍增 辽东栎

THE RESPONSE OF *QUERCUS LIAOTUNGENSIS* TO DOUBLED CO₂ CONCENTRATION

Lin Shunhua, Xiang Bin, Gao Leiming and Huang Yinxiao

(Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093)

Abstract The article deals with the effect of CO₂ enrichment on the *Quercus liaotungensis*, a dominant of typical and natural deciduous broad-leaved mixed forests in the warm temperate China. The results show that the stomatal resistance, the transpiration rate, the dark respiration rate, the net photosynthesis rate, the diurnal net photosynthates and the water use efficiency of the plants grown under the CO₂-enriched environment were 106%, 92%, 98.9%, 155%, 172% and 179% of those grown under the CO₂-unenriched environment (CK), respectively. The response of the plants to the CO₂ enrichment were more obvious in the growing peak period (June, July), in terms of the last three characters mentioned above. The leaf area, the leaf dry weight and the plant height of the plants growing under the CO₂-enriched environment were 107%, 140% and 331% of those growing under CK, respectively. It is evident that the plants responded positively to the CO₂-enrichment in terms of most of the physiological and growth characters investigated, suggesting that, as long as other environment are proper for the plant, the doubled CO₂ concentration may fertilize the plant and increase their physiological process and bioproductivity.

Key words *Quercus liaotungensis*, Doubled CO₂ concentration, Physiological and growth response

现代工业、农业和能源利用过程都排放着大量的温室气体,森林的破坏也使大气中的 CO_2 大为增加,据统计目前大气中 CO_2 年增长率为0.4%,1990年为 $350 \times 10^3 \text{ nL/L}$,至2030年 CO_2 浓度将增加至 $560 \times 10^3 \text{ nL/L}$ (肖辉林,1994)。气候变暖导致全球许多生态环境的变化,对农林牧业会带来一些有利和不利的影响(宋文质,1996)。研究全球日益增加的 CO_2 浓度对植物(植被)的影响及植物对气候变化的响应是当代生态学研究的核心问题之一。

为了探明暖温带地区主要树种对气候变化的响应,我们选择了该地区落叶阔叶混交林典型自然群落代表辽东栎(*Quercus liaotungensis*)做为研究对象,而辽东栎又是中国特有的栎类树种,仅分布在我国黄河流域和东北各省(中国科学院植物研究所主编,1972),目前国内、外都没有这方面的研究,我们于1993年对该树种进行了初步的研究,1995年又进行了包括生长、生理学和生态生物学等全面的研究。国外学者(Gunderson, *et al.*, 1993~1995)对同一属的美国白栎(*Quercus alba*)实生苗在 CO_2 提高下的光合、呼吸水分利用效率等生理指标的变化进行了研究,发现光合速率及水分利用效率均明显提高,光合速率可增加12%~144%,而叶片的呼吸速率有下降的趋势,气孔导度受到限制等。并对另一树种美国鹅掌楸(*Liriodendron tulipifera*)实生苗的生理指标与冠层和叶龄的关系进行了对比研究,发现上部新叶的光合作用等生理指标的增长率比老叶更为显著(Gunderson, 1993)。Dahlman(1993)指出盐沼植物和某些树种在 CO_2 提高下生长迅速,比对照增加约100%~300%,并指出桉树属的橡胶树的水分利用效率增长与 CO_2 倍增是一致的。Norby Richard & O' Neill(1991)在研究 CO_2 增加与营养物质的相互作用时,提出 CO_2 提高将加速生长,促进叶面积生产和单位叶面积碳同化率。国内学者对 CO_2 升高导致的气候效应对一些农作物及植被的间接影响有过报道(高素华,1991;国家气候变化协调组第二工作组,1990),但关于 CO_2 倍增对树种的直接影响还未见报道。在前人研究的基础上我们深入地研究了自然林下和熏气室处理的辽东栎的生长和生理学各项指标的变化特点,以便从不同侧面来评价 CO_2 倍增对该树种的生理过程和生物生产力的影响,也有助于估测暖温带地区植物群落对 CO_2 提高的响应趋势。

1 试验条件与方法

分别设正常空气(350×10^{-6})和倍增 CO_2 (700×10^{-6})气体两个开顶式熏气室(Open-top chamber),熏气室为底部直径2m、高2m的圆筒形装置、顶部有直径约1m的圆洞供通气用,熏气室为铁框架制成,并罩上透光塑料薄膜。从5月至10月初植物生育期内用鼓风机通过地表均匀分布的通气管道、昼夜不停的吹进正常空气和倍增 CO_2 气体,气源稳定、使试验材料始终处于正常空气和倍增 CO_2 的环境中。供试植物辽东栎幼株系暖温带落叶阔叶混交林主要的建群种,采自北京门头沟东灵山自然生长的辽东栎林内,采用客土栽培在 $30\text{cm} \times 30\text{cm}$ 的专用花盆中并置于网式温室内,待生长正常后于第二年移入熏气室供试验用。试验从5月开始至9月结束,每月测定一次,每次都是昼夜24小时的连续测定,以探明一昼夜的光合及呼吸作用的实际变化状况。用美制Li-6000 Portable Photosynthesis System(光合作用测定系统)和Li-3000 Portable Area Meter(叶面积仪)等配套仪器、分别对两个熏气室各3株植物正常生长的连体叶子进行重复测定,以同步获得气孔阻抗、净光

合速率、蒸腾速率、胞间 CO₂ 浓度、叶温及气温、大气相对湿度、光合作用有效辐射、大气 CO₂ 浓度等一系列生态生理参数。并定期的测定叶面积、叶片干、鲜重、茎粗及植株高度的变化。在生育期内 5~9 月用自记温度和自记湿度计对两个熏气室内的大气温度和相对湿度的昼夜变化进行连续不停的观测记载,以分析熏气室内温、湿度的长期效应。

2 结果与讨论

2.1 熏气室内的环境条件

在生育期内 5~9 月(共 125 天)、两熏气室内的大气温度和相对湿度昼夜变化的特点列表如下:

由表 1 看出,两熏气室内大气温度以 CO₂ 倍增室略微高些,各月相差 0.5℃左右,生育期内平均值小于 0.5℃;而相对湿度也很靠近,各月相差在 0.4%~0.6%,生育期内平均值小于 0.6%。两熏气室的大气温度和相对湿度差别都很小,可认为在该熏气室所得的实验结果是由于 CO₂ 倍增所致。

表 1 两个开顶式熏气室内大气温度、相对湿度的昼夜变化(1995)

Table 1 The diurnal change of the atmospheric temperature and relative humidity in two open-top chamber(1995)

| 观测日期 Observe date | 大气温度 | | | 大气相对湿度 | | |
|--|----------------------------|-------|------------------|----------------------------------|-------|------------------|
| | Atmospheric temperature(℃) | | | Atmospheric relative humidity(%) | | |
| | C | D | 差值 Difference | C | D | 差值 Difference |
| 5 月 May | 19.74 | 19.60 | -0.14 | 75.31 | 75.77 | 0.46 |
| 6 月 June | 22.78 | 23.32 | 0.54 | 77.16 | 77.70 | 0.54 |
| 7 月 July | 24.87 | 25.36 | 0.49 | 82.88 | 83.50 | 0.62 |
| 8 月 August | 25.15 | 25.50 | 0.35 | 79.78 | 80.37 | 0.59 |
| 9 月 September | 23.36 | 23.87 | 0.51 | 78.90 | 79.38 | 0.48 |
| 生育期内平均值 Whole growth period(Average value) | 23.18 | 25.53 | 0.35 | 78.80 | 79.34 | 0.54 |

C:对照 Check D:CO₂倍增 Doubled CO₂ concentration(表 2、表 3 同此 Table 2 and table 3 are the same as table 1)

2.2 CO₂ 倍增对辽东栎生理过程的影响

CO₂ 倍增对辽东栎各生理指标都有明显的影响,其影响特点与大多数 C₃ 植物一样属正效应,详见表 2,表内各生理指标的变化特点为:

气孔阻抗:CO₂ 倍增下气孔阻抗有些变化,以增加趋势为明显,生育期内的平均值约增加 6%。

蒸腾速率:CO₂ 倍增下,各月的蒸腾速率大多呈略减少趋势,生育期内的平均值略减

8%，它与气孔阻抗的变化相适应，呈反比关系。

表 2 CO₂ 倍增对辽东栎 (*Quercus liaotungensis*) 各生理指标的影响 (1995, 日平均值)

Table 2 The effect of doubled CO₂ concentration on each physiological index of *Quercus liaotungensis* (1995, Day average value)

| 观测日期 | 气孔阻抗 | | 蒸腾速率 | | 净光合速率 | | 暗呼吸速率 | | 昼夜净光合速率 | | 水分利用效率 | |
|---|-------------------------|---|--|---|--|--|----------------------|----------|---------|---------|--------|-------|
| | Observe date | Stomatal resistance | Transpiration rate | Net-photosynthesis rate | Dark respiration rate | Diurnal net-photosynthesis rate | Water use efficiency | | | | | |
| | (s · cm ⁻¹) | (mgH ₂ O · m ⁻² · s ⁻¹) | (mgCO ₂ · m ⁻² · s ⁻¹) | (-mgCO ₂ · m ⁻² · s ⁻¹) | (mgCO ₂ · m ⁻² · s ⁻¹) | (mgCO ₂ /gH ₂ O) | | | | | | |
| | C | D | C | D | C | D | C | D | C | D | C | D |
| 5. 29May | 6. 20 | 5. 04 | 61. 66 | 73. 37 | 0. 1191 | 0. 1629 | -0. 0288 | -0. 0361 | 0. 0903 | 0. 1268 | 1. 900 | 2. 20 |
| 6. 24June | 2. 53 | 2. 68 | 95. 07 | 86. 69 | 0. 1155 | 0. 1704 | -0. 0276 | -0. 0265 | 0. 0879 | 0. 1431 | 1. 104 | 1. 89 |
| 7. 26July | 2. 41 | 2. 34 | 70. 03 | 64. 45 | 0. 0946 | 0. 2342 | -0. 0232 | -0. 0209 | 0. 0714 | 0. 2133 | 1. 322 | 3. 73 |
| 8. 28August | 4. 04 | 6. 03 | 54. 95 | 33. 58 | 0. 1420 | 0. 1636 | -0. 0263 | -0. 0212 | 0. 1157 | 0. 1424 | 2. 870 | 5. 05 |
| 生育期内平均值 Whole growth period (Average value) | 3. 79 | 4. 02 | 70. 34 | 64. 52 | 0. 1178 | 0. 1828 | -0. 0256 | -0. 0262 | 0. 0913 | 0. 1566 | 1. 800 | 3. 22 |
| CO ₂ 倍增/对照 (%) | 100 | 106 | 100 | 92 | 100 | 155 | 100 | 98. 9 | 100 | 172 | 100 | 179 |
| D/C (%) | | | | | | | | | | | | |

净光合速率:CO₂ 倍增下,各月的净光合速率都是提高的,分别为对照的 115%~248%,以生长旺季 6、7 月增加最为明显,生育期内的平均值也明显提高,约增加 55%。

水分利用效率:CO₂ 倍增下,各月的水分利用效率都明显提高,可为对照的 116%~282%,以 7 月份增加最为明显,6、8 月份增加也较多,生育期内的平均值增加明显,约增加 79%。

暗呼吸速率:对照和 CO₂ 倍增两个处理的暗呼吸速率各月都比较接近,但 CO₂ 倍增下略微减少,生育期内平均值也略微减少,约减少 1%~2%。

昼夜净光合速率,指白天的净光合速率减去暗呼吸速率之值,也即暗呼吸消耗外的光合积累。在 CO₂ 倍增下各月都是明显提高的,生育期内平均值也显著提高,约增加 72%。

上述的生理影响与 1993 年的初测结果基本一致,但经 1995 年深入研究后对其生理反应过程更加明确,即在 CO₂ 倍增下辽东栎生育期内的各个阶段都具有下列特点:光合作用增加,气孔阻抗略微增大(蒸腾耗水略减),两者的联合作用导致了水分利用效率的提高,属有利影响,这与 Dahlman(1993)和 Gunderson(1993)对乔木树种的研究结果是一致的。

2.3 CO₂ 倍增对辽东栎生长各指标的影响

辽东栎生长各指标如单叶面积、单位叶面积干、鲜重和植株高度都有明显提高,其中以植株高度增长最为明显、叶片干重增加也较显著,详见表 3。表中生长各指标增长的情况与光合速率等生理指标提高的情况是相吻合的。因为光合作用的提高可为植株健壮生长提供重要的物质基础,据曹守仁的有关报道,茎伸长与光合作用的上升是一致的(曹守仁,1988),这进一步增强了我们研究结果的可信度。

表 3 CO₂ 倍增对辽东栎生长量各指标的影响(1995)

Table 3 The effect doubled CO₂ concentration on each growth index of *Quercus liaotungensis*(1995-05-08~1995-09-13)

| 生长量指标 Growth index | 处理浓度 Treated concentration | 试验前 Before experiment (1995-05-08) | 试验结束 End experiment (1995-09-13) | 试验期内(5.8~9.13) In experiment period 净生长速度 Net-growth rate(%) | |
|--|----------------------------------|--|--|---|-----|
| 单叶面积 | C | 17.31 | 20.72 | 3.41 | 100 |
| Leaf area(cm ²) | D | 24.95 | 28.60 | 3.65 | 107 |
| 单位叶面积干重 | C | 33.63 | 50.08 | 16.45 | 100 |
| Dry weight of leaf(g · m ⁻²) | D | 33.63 | 56.59 | 22.96 | 140 |
| 植株高度 | C | 68.40 | 77.30 | 8.90 | 100 |
| Height of plant(cm) | D | 66.30 | 95.80 | 29.50 | 331 |

2.4 CO₂ 倍增和自然林下辽东栎生理特点的比较

采取与上述同样的测定方法,研究了与模拟实验幼株同一起来源的自然林下辽东栎的生理反应过程,试图与模拟实验辽东栎作一比较。下面列举两年来的研究结果:1993年自然林下辽东栎生长旺季(8、9月平均值,下同)光合速率为 $0.1618\text{mgCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,而同年的模拟实验对照辽东栎为 $0.1342\text{mgCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$;CO₂ 倍增为 $0.2170\text{mgCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。1995年模拟实验对照为 $0.1183\text{mgCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$;CO₂ 倍增为 $0.1989\text{mgCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。上述实验结果可以看出:1) 两年的 CO₂ 倍增条件下辽东栎在生长旺季的光合速率都比自然林下大,而两年的对照都略小于自然林下,其变化幅度也大致相同,2) 辽东栎的光合速率各年有变化,但其变化幅度比较平稳。基于以上特点,我们以两年自然林下和模拟实验的辽东栎的生理指标作图进行比较(见图 1)。由图可以看出 CO₂ 倍增下的辽东栎其净光合速率和昼夜净光合速率比自然林下树种高,可分别高出 23%和 45%;而暗呼吸速率却比自然林下树种低,可低 42%。图中还可看出:自然林下辽东栎的净光合速率和昼夜净光合速率要比对照树种高,而暗呼吸速率也比对照树种高。3 种处理的辽东栎的白天和昼夜净光合速率的排列顺序为 CO₂ 倍增处理 > 自然林下 > 对照处理;暗呼吸速率是:CO₂ 倍增处理 < 对照处理 < 自然林下树种。

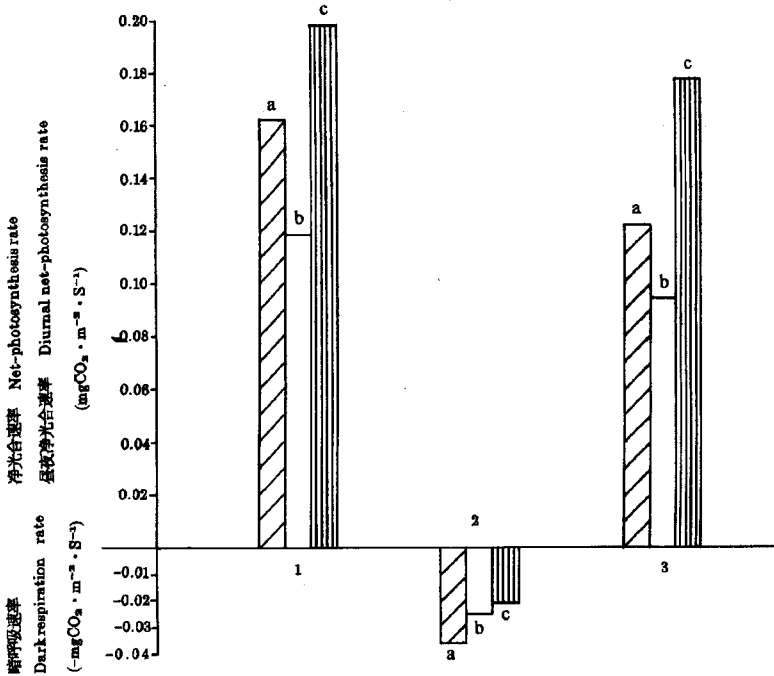


图1 CO₂ 倍增和自然林下辽东栎生理特点比较(1993,1995)

Fig. 1 The comparison of physiological characteristics of *Quercus liaotungensis* in doubled CO₂ concentration and naturally forest(1993,1995)

1. 净光合速率 Net-photosynthesis rate 2. 暗呼吸速率 Dark respiration rate 3. 昼夜净光合速率 Diurnal net-photosynthesis rate

a. 自然林下辽东栎 *Quercus liaotungensis* in naturally forest b. 对照辽东栎 *Quercus liaotungensis* in check c. CO₂ 倍增辽东栎 *Quercus liaotungensis* in doubled CO₂ concentration

3 小结

1) 两年的试验结果得出:在其他环境资源满足植物要求时,CO₂ 倍增对树木具有“施肥”作用,它可促进树木的新陈代谢,加速生长,从而提高其生物生产力,辽东栎就是一个典型的例子。

2) 两年的结果表明:暖温带落叶阔叶混交林主要建群种辽东栎的生长和生理学各项指标对 CO₂ 倍增的反应与大多数 C₃ 植物(包括 1993 年已测的丁香、臭椿等树种)一样,属正效应。这个结果对于该地区的其他树种也有参考价值。

3) 与自然林下辽东栎比较,CO₂ 倍增下的辽东栎的白天和昼夜净光合速率都显著的提高,而暗呼吸速率明显的降低,进一步的证实了 CO₂ 倍增对树木的有利影响。

参 考 文 献

- 中国科学院植物研究所主编,1972:中国高等植物图鉴(第一册),科学出版社,北京,461。
肖辉林,1994:森林衰退与全球气候变化,生态学报,14(4)430~431。

- 宋文质、王少彬、苏维瀚等,1996:我国农田土壤的主要温室气体 CO₂、CH₄ 和 NO₂ 等排放研究,环境科学,17(1)86~88。
- 国家气候变化协调组第二工作组,1990:人类活动引起的气候变化对中国环境影响的评价,中国环境科学,10(6)422~423。
- 高素华、潘亚茹,1991:温室效应对气候和农业的影响,环境科学,12(2)75~76。
- 曹守仁,1988:室内空气污染与测定方法,中国环境科学出版社,北京,3~6。
- Dahlman. Roger C,1993:CO₂ and Plant:revisited vegetation,104/105:339~348.
- Gunderson. C. A,Norby. R. J,& Wullschleger. S. D,1993:Foliar gas exchange responses of two deciduous hardwoods during 3 year of growth in elevated CO₂:no loss of photosynthetic enhancement,*Plant,Cell and Environment* 16,789~807.
- Norby. R. J,& O'Neill. E. G,1991:Leaf area compensation and nutrient interactions in CO₂-enriched seedling of Yellow-Poplar (*Liriodendron tulipifera* L.),*New Phytol*,117,515~516.