

研究报告

CO₂倍增对几种植物的生态生理影响*

林舜华 项 斌 高雷明

(中国科学院植物研究所, 北京 100044)

摘要 本研究结果表明:木本植物辽东栎、臭椿、丁香叶片气孔对 CO₂倍增反应不敏感,表现出气孔阻抗不增大,蒸腾速率无明显变化,光合速率比对照增加 10%—20%或无增加,水分利用效率可提高 10%—100%不等,叶面积略有增加或接近对照。可以认为 CO₂倍增对上述植物有不同程度的促进作用。草本植物水稻、大豆、谷子、稗草叶片气孔对 CO₂倍增反应敏感,尤其是 C₃植物的水稻、大豆,表现为气孔阻抗增大,蒸腾速率减少,光合速率在生长旺季增大,其余生长阶段下降,如以生长季总计可下降 15%左右,水分利用效率变化不大。C₄植物谷子、稗草对 CO₂倍增反应不及水稻、大豆明显,其气孔阻抗变化不大,光合速率在生长旺季增加,后略为下降,以生长季总计约下降 10%,水分利用效率也有降低。

关键词 CO₂倍增处理,净光合速率,气孔阻抗,蒸腾速率,水分利用效率。

由于燃烧化石和砍伐森林的结果,作为温室气体之一的 CO₂含量逐年增加,导致地表平均温度的升高从而改变气候条件,影响了农业、林业以及水资源等。气候变化对农林业的影响分正负效应两方面,据报道 CO₂倍增对农业生产的影响^[1],一是 CO₂的直接效应,即大气中 CO₂浓度提高 30%,C₃植物的光合作用约可提高 10%;另一是 CO₂增加使有效积温增加,生长期延长等间接影响,如增温 2—3℃生长期可延长一个月,农业增产 2%。然而 CO₂增加气候变暖也带来一些负效应^[2],如加剧地表蒸发、降水变化、干旱、病虫害等,据统计气候变化的综合效应将使我国农业生产下降至少 5%。

国外学者在 CO₂倍增对树木、草本及农作物和 C₃、C₄类型植物影响方面分别做了许多工作。美国 C. A. Gunderson 等(1993)研究得出随着 CO₂浓度的递增,白栎和美国鹅掌楸实生苗的光合速率和水分利用效率提高,气孔导度下降的结论。J. A. Bunce(1992)提出欧洲白栎和另一种栎树及苹果属树种在提高 CO₂条件下,光合速率提高,蒸腾速率略微降低。B. G. Drake 等(1991)发现在高 CO₂条件下,盐生草甸群落的奥尔尼蕪草(C₃)光合速率提高,而伸展网茅(C₄)没有提高。

R. C. Dahlman(1993)指出 CO₂提高下农作物和树木的水分利用效率特点等。R. J. Norby 等(1991)提出在提高 CO₂浓度和施肥条件下木本植物实生苗光合速率及水分利用效率发生变化等。在前人研究的基础上笔者于 1992—1993 年开展了 CO₂倍增对植物的直接效应,其特点是生长季内昼夜不停地向供试植物吹进 CO₂倍增气体和干净空气;对各类植物都作了一些探索,力图比原来的研究工作更深入一步。

1 研究条件与方法

分别设 CO₂倍增气体和干净空气 2 个试验棚,试验棚为铁框架,外围上透光塑料薄膜,顶部有若干小孔。从 6 月至 10 月用鼓风机通过地表均匀分布的通风管道,昼夜 24h 连续不断地吹进 CO₂倍增气体(用 GXH - 305CO₂分析仪测定 CO₂浓度(776±16)×10⁻⁶)及干净空气((325±6)×10⁻⁶,下称对照)。气源变动不大,通常 2 棚温度相差约 1℃,相对湿度相差 3%—4%。

测定植物:木本植物有华北落叶阔叶林的建群种辽东栎(*Quercus liaotungensis*),幼树,北京主要

* 国家自然科学基金重大科研项目

收稿日期:1994-05-03

绿化植物臭椿 (*Ailanthus altissima*)、幼树、丁香 (*Syringa oblata*)、成株; 草本植物有农作物水稻 (*Oryza sativa*)、大豆 (*Glycine max*)、谷子 (*Setaria italica*) 和杂草类稗草 (*Echinochloa* sp.)、苋菜 (*Amaranthus* sp.) 等。谷子、稗草、苋菜为 C_4 植物, 其余都为 C_3 植物。从植物生长季 7 月初—10 月初, 每月测定 1 次共 4 次, 每次测定选择在每天光合作用最强的时间上午 9—12 时、下午 2—5 时, 测定植株部位大致相同的 6—8 片叶子, 并重复测定。用美制 LI-6000 Portable Photosynthesis System 光合作用分析系统和 LI-3000 Portable Area meter 叶面积仪、英制 Automatic porometer MK₃ 气孔计等对生长的叶子进行测定, 并同步获得气孔阻抗、净光合速率、蒸腾速率、胞间 CO_2 浓度、叶温及气温、大气相对湿度、光合有效辐射、大气 CO_2 浓度等一系列生态生理参数, 和定期测定植株叶面积增长情况。

2 结果与讨论

2.1 不同类型植物对 CO_2 倍增的生态生理反应

2.1.1 气孔阻抗

有资料报道 CO_2 浓度增加将使植物的气孔缩小, 气孔的输送减弱, 降低了对 CO_2 和水分的传导率, 从而提高了植物对水分的利用效率。本研究如辽东栎和丁香叶片气孔对 CO_2 倍增反应不敏感, 表现出气孔阻抗不增大 (图 1)。草本植物水稻、大豆 (C_3) 和稗草对 CO_2 倍增反应敏感, 其气孔阻抗明显增大, 它们各自分别为对照的 2.1 倍、1.3 倍和 1.6 倍。而谷子、苋菜的气孔则不受影响, 虽然它们和稗草同属 C_4 植物, 但其反应却不完全相同 (详见图 1)。

2.1.2 蒸腾速率

CO_2 倍增使植物的气孔相对缩小, 而蒸腾速率相应的下降。如水稻和稗草由于气孔阻抗增大, 蒸腾速率明显下降, 其值仅为对照的 0.63 倍和 0.59 倍, 谷子和大豆无变化 (图 1)。辽东栎和丁香与上述不同, 它们在 CO_2 倍增下气孔阻抗未增大, 而蒸腾速率也无明显变化 (图 1), 由于蒸腾速率是计算植物水分利用效率的重要因子, 因此一般都认为蒸腾所消耗的水分减少是植物水

分利用效率提高的一种表现。

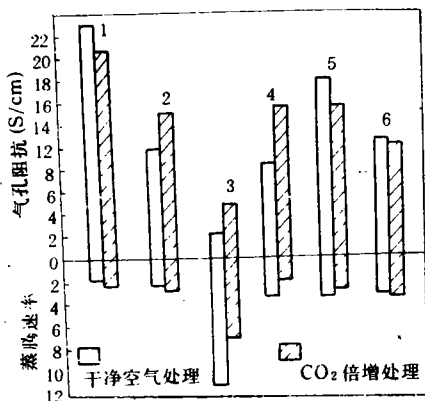


图 1 木本和草本植物叶片气孔对 CO_2 倍增的反应

1. 丁香 (*Syringa oblata*) 2. 大豆 (*Glycine max*)

3. 水稻 (*Oryza sativa*) 4. 稗草 (*Echinochloa* sp.)

5. 辽东栎 (*Quercus liaotungensis*) 6. 谷子 (*Setaria italica*)

蒸腾速率单位为 $\mu g H_2O \cdot cm^{-2} \cdot s^{-1}$

2.1.3 光合速率

净光合的测定从 7 月至 10 月份, 每月测定 1 次。下面用三维立体图来表示 CO_2 倍增和对照 2 种处理下光合速率与气温及相对湿度的相关性, 发现在相近的温、湿度 (气温相差小于 $1^\circ C$, 相对湿度小于 4%) 条件下, 以生长季总计辽东栎的光合速率 CO_2 倍增处理比对照高出 7%, 如以各月计则高出 10%—20% 不等 (见图 2)。

从三维立体图还能看出: ① CO_2 倍增试验棚温度及相对湿度的略微增加或下降是 CO_2 提高所引起的温室效应, 故 CO_2 升高是主导因子。② 光合速率的提高可认为是多因子的复合影响, 由辽东栎绘制的三维立体图反映了这一情况。丁香的光合速率无明显变化接近对照 (图 3)。臭椿的光合速率略低于对照, 但它在倍增处理下的叶面积却增长 20% 左右, 可认为臭椿的总光合率还是增加的。总的看来, CO_2 倍增对上述木本植物的光合产物有促进作用。其原因可从图 1 得到部分解释, 因为上述植物在 CO_2 提高情况下具有较低的气孔阻抗, 有利于 CO_2 进入叶子供光合作用所需。

在 CO_2 倍增下几种草本植物的光合速率以生长季总计都略低于对照, 如水稻约降低 15%,

但在生长旺季(8—9月)是提高的,这种现象在水稻、谷子和苋菜都存在,是否可解释为 CO₂ 倍增的短期效应对这些植物有促进作用,尚需进一步探索。C₄植物具有较高的光合速率,又有较好

的气孔蒸腾控制,但在长期的 CO₂ 倍增下,光合速率仍略有降低,可能是长期效应带来的影响,也有待进一步探索。

2.1.4 水分利用效率

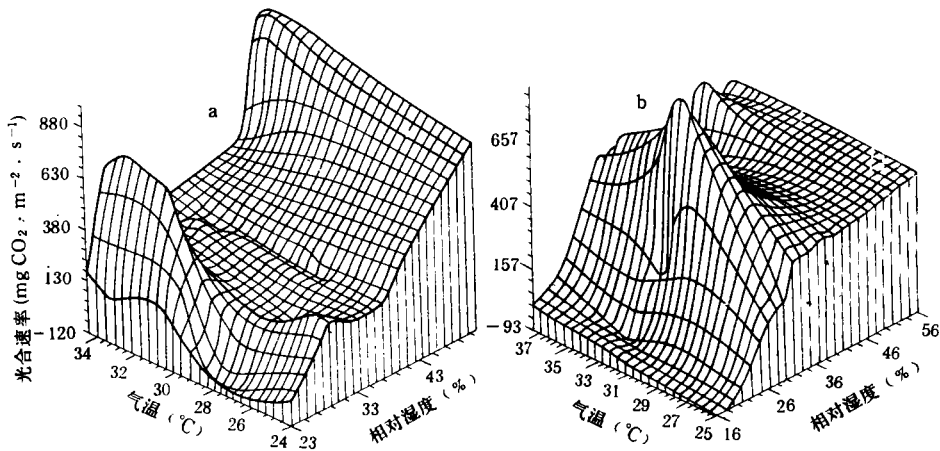


图 2 辽东栎的光合速率与气温、相对湿度的相关性
a. CO₂倍增条件下 b. 对照条件下

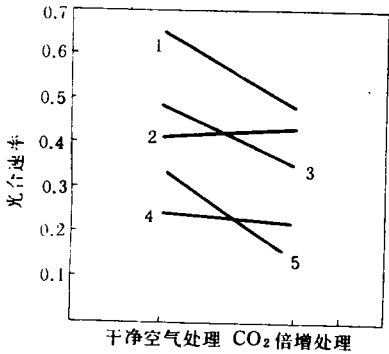


图 3 几种植物在 2 种处理下的光合速率(生长季内平均值)比较
1. 水稻 2. 辽东栎 3. 大豆 4. 丁香 5. 谷子
光合速率单位(CO₂)为 gm/(m² · s)

水分利用效率是指植物消耗每单位水重所固定的 CO₂ 的数量,它因物种、环境条件和管理措施的差异而有显著变化。在本研究 2 种处理下各种植物的水分利用效率各月情况不同,现以 9 月份为例进行比较。测定时棚内的气温为 26—28℃、相对湿度为 29%—31%,盆栽植物其水分状况适宜,其测定结果以图 4 表示。

从图 4 可以看出同一植物在 CO₂ 倍增和对照处理下水分利用效率有明显差异。以 9 月份的结果看,3 种木本植物在 CO₂ 倍增下能改善植物

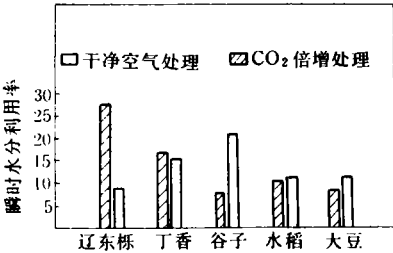


图 4 各植物在 2 种处理下的水分利用效率(1993-09)
瞬时水分利用率单位(CO₂/H₂O)为 mg/g

的水分利用效率。谷子明显下降,而水稻及大豆差异不明显。但如以生长季总计则与各月计有些不同,如辽东栎以生长季总计水分利用效率 CO₂ 倍增为对照的 4.9 倍,丁香 1.1 倍;水稻为 1.2 倍、大豆 2 倍、谷子低于对照。看出辽东栎和谷子在 2 种处理下差别较悬殊,这与 2 种植物上述各项生理指标的不同变化是相联系的。水稻和大豆不同生长期在 CO₂ 倍增和对照 2 种处理下水分利用效率有增有减,其差异不明显。总之,在 CO₂ 倍增处理下还是略有增加的,即水分利用效率有所改善。有资料报道^[3,4],植物光合作用增加,若气孔阻抗也略微增大,2 者的联合作用必然导致水分利用效率的提高,辽东栎及丁香大致属此情

况。水稻和大豆的光合速率在生长季内先增加后下降,气孔阻抗一直保持较大,水分利用效率虽各月有波动,但总趋势是增大的。谷子由于光合速率下降,气孔阻抗未增大,故水分利用效率有些减少。

3 小结

CO₂倍增对气孔的影响因植物而异。因气孔变化引起的其他生理变化如光合速率、蒸腾速率及水分利用效率的增减,可用来评价 CO₂提高后对植物产生的是正效应还是负效应,为全球变化的预测提供依据。辽东栎、丁香等木本植物出现光合速率增加、水分利用效率提高;臭椿叶面积增长等,是属正效应。国外学者在木本植物方面的研究^[4-6]有过很多报道,与本研究基本是一致的。草本植物水稻、大豆、谷子和苋菜的反应比较,差异较大,水稻、大豆在 CO₂倍增下光合速率

出现先增加后下降、总趋势略为降低的现象,加上气孔反应敏感而影响植物蒸腾,水分利用效应在 2 种处理下差异不很大、但略有改善;而 C₄植物谷子和苋菜与 C₃植物的反应有些不同,谷子和苋菜气孔对 CO₂倍增反应不明显,光合速率不增加或略有减少,其水分利用效率未得到改善。本研究几种草本植物的反应与国外学者 B. G. Drake 的报道^[7]也很类似。

参考文献

- 1 高素华等. 温室效应对气候和农业的影响. 环境科学. 1991, 12(2):75
- 2 国家气候变化协调组第二工作组. 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. 1990, 10(6):422
- 3 Dahlman R C. Vegetatio. 1993, 104/105:339
- 4 Dunderson C A et al. . plant, Cell and Environment. 1993, 16: 799
- 5 Bunce L A. Plant, Cell and Environment. 1992, 15:543
- 6 Norby R J et al. . New Phytology. 1991, 117:522
- 7 Drake B G. Plant, Cell and Environment. 1991, 14:853

1992—1993 年中国自然科学核心期刊

国际核心期刊研究会中国自然科学核心期刊研究课题组不久前公布了最新的“1992—1993 年中国自然科学核心期刊”300 种。这是根据国家标准“GB/T13745—92”规定的学科分类标准,优选 300 种中国出版的各学科代表性期刊,对它们在 1992、1993 年所发表的论文,使用

“引文法”进行客观统计后得到结果。与环境科学学科专业相关的核心期刊名单,按被引用频次从高到低的顺序列于下表。该表中空缺名次为其他学科核心期刊,被引用频次相同者名次相同。《环境科学》名列核心期刊第 22 名。

- | | | |
|-------------|---------------|--------------|
| 1 中国科学 | 50 中国环境科学 | 68 海洋科学集刊 |
| 2 科学通报 | 53 沉积学报 | 69 地震工程与工程振动 |
| 8 海洋学报 | 53 地震地质 | 69 石油与天然气地质 |
| 9 大气科学 | 54 地球物理学报 | 70 气象科学 |
| 13 海洋与湖沼 | 54 气象 | 70 地球科学 |
| 20 气象学报 | 55 地质论评 | 71 天文学进展 |
| 21 天文学报 | 55 高原气象 | 71 中国区域地质 |
| 22 环境科学 | 55 海洋地质与第四纪地质 | 72 地震学报 |
| 23 地质科学 | 57 海洋通报 | 72 黄渤海海洋 |
| 25 地理学报 | 58 长春地质学院学报 | 72 矿物学报 |
| 27 生态学报 | 58 热带气象 | 72 紫金山天文台台刊 |
| 44 环境科学学报 | 59 地球化学 | 73 地层学杂志 |
| 44 天体物理学报 | 61 地理科学 | 73 环境科学丛刊 |
| 46 青岛海洋大学学报 | 61 海洋湖沼通报 | 73 环境污染与防治 |
| 47 海洋科学 | 61 自然资源 | 73 空间科学学报 |
| 47 岩石学报 | 62 热带海洋 | 73 南极研究 |
| 48 土壤学报 | 63 冰川冻土 | 73 上海天文台年刊 |
| 49 地质学报 | 64 第四纪研究 | 73 云南天文台年刊 |
| 49 台湾海峡 | 66 生态学杂志 | 中国地震 |
| 50 地理研究 | 67 东海海洋 | 73 中国沙漠 |

Abstracts

Chinese Journal of Environmental Science

Ecophysiological Effect of a Doubly Increased CO₂ Concentration on Some Species of Plant. Lin Shunhua et al. (Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100044); *Chin. J. Environ. Sci.*, **16**(1), 1995, pp. 1—4

The research results show that responses of the leaf stoma of *Quercus liaotungensis*, *Ailanthus altissima*, and *Syringa oblata* (woody plant) to a doubly increased CO₂ were not very sensitive; the stomatal resistance did not enlarge; there was no obvious change in transpiration rate, the photosynthesis rate increased by 10%—20% as compared with control or did not increase; the water use efficiency increased from 10% to 100%; and the leaf area increased by a little or was near to the control. It can be considered that a doubly increased CO₂ has a promotion function to different degrees. However, the responses of the leaf stoma of *Oryza sativa*, *Glycine max*, *Setaria italica*, *Echinochloa* sp. (herbaceous plant), especially *Oryza sativa* and *Glycine max* (C₃ plants), to a doubly increased CO₂ were sensitive; the stomatal resistance enlarged; the transpiration rate decreased, and the photosynthesis rate increased in the peak growing period, but decreased in other growing periods. If calculated with the total growing period, it would decrease by about 15%, with a little change in water use efficiency. *Setaria italica* and *Echinochloa* sp. (C₄ plants) had less obvious response to a doubly increased CO₂ as C₃ plants; its stomatal resistance was not much changed, the photosynthesis rate increased in the peak growing period and then had a little decrease, it decreased by 10% in the total growing period and its water use efficiency decreased to some degree.

Key words: doubly increased CO₂ treatment, net photosynthesis rate, stomatal resistance, transpiration rate, water use efficiency.

Residue and Persistence of Pesticide N'-(2, 4-Dimethylphenyl)-N-Methylformamidine Hydrochloride in Cotton Field. Mo Hanhong, An Fengchun et al. (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085); *Chin. J. Environ. Sci.*, **16**(1), 1995, pp. 5—7

The Residue and persistence of pesticide N'-(2, 4-Dimethylphenyl)-N-methylformamidine Hydrochloride (DMAH) in cotton field were studied in North China during 1992 and 1993. The results showed that the DMAH was a low residual and non-persistent pesticide. The half-life values of DMAH was 4.4—8.1 days in cotton lives and 11.4—12.3 days in soil, respectively. It was found that the residual level of the pesticide was less than $0.17 \times$

10^{-6} in the cotton seeds at an application rate of 10, or 50, 100, 800, 1000 and 1500 fold diluted 25% DMAH solution and in an application frequency of 7 or 8 times with an interval of 15 days between every two applications.

Key words: pesticide, N'-(2, 4-dimethylphenyl)-N-methylformamidine hydrochloride, residue, persistence, cotton field.

Study on the Bioaccumulation of Chlorobenzenes in Fish and Their Release Behaviour. Yu Hongxia et al. (Dept. of Environ. Sci. and Eng., Nanjing Univ., Nanjing 210093); *Chin. J. Environ. Sci.*, **16**(1), 1995, pp. 8—11

A fast method was used to determine the bioconcentration factors (BCFs) of seven chlorobenzenes in fish and their release behaviors. The BCF values for the same compounds in various sizes of fish were measured under the same conditions in the laboratory study. The results show that there was a better fitting linear relationship between the logarithmic lipid standardized BCF ($\lg BCF_L$) and the logarithmic octanol/water partition coefficient ($\lg K_{ow}$), expressed by the equation: $\lg BCF_L = 1.918 + 0.044 \lg K_{ow}$, and a better correlation between each of both the logarithmic uptake rate constant ($\lg K_{12}$) and the logarithmic release rate constant ($\lg K_{21}$) and $\lg K_{ow}$, expressed by the equations: $\lg K_{12} = 0.551 + 0.369 \lg K_{ow} - 1.491 \lg SA$ and $\lg K_{21} = -0.529 - 0.148 \lg K_{ow}$. For those chlorobenzenes which are highly soluble in lipid, they may have a huge structure affecting the process of concentration and thus their fitted linear equations were corrected by their molecular surface areas to improve the linear relationship between $\lg K_{12}$ and $\lg K_{ow}$.

Key words: chlorobenzene, bioconcentration, fish, bioaccumulation, release behaviors.

Biosorption of Heavy Metals by *Rhizopus Nigricans*. Tu Juan et al. (Institute of Molecular Biology, Nankai Univ., Tianjin 300071); *Chin. J. Environ. Sci.*, **16**(1), 1995, pp. 12—15

Adsorption properties of the nonliving *Rhizopus nigricans* for metal ions were studied. The effects of pH, concentration and co-ions on the adsorption efficiency were examined. From the isotherms, the adsorption equilibrium constant (b) and the maximum adsorption capacity (q_{∞}) in the Langmuir equation and the experimental constant (K) and ($1/n$) in Freundlich equation were determined. Adsorption properties of treated and untreated *R. nigricans* were compared. The results show that the optimum pH value was between 3 and 6.5, the