

二氧化碳倍增对草被冠层的光合与蒸散的影响

D. Nie 等

(美国乔治亚大学农学系)

1 引言

地球大气中 CO_2 含量在迅速上升 (Mitchell, 1989), 它对多种农林作物的影响已作了很好的研究, 而对北美大陆中部温带草原区的植物研究较少, 这个地区包括了美国从墨西哥到加拿大 790—1580km 左右宽的一个干燥气候带, 西以落基山脉为界, 东端在北美大陆中部, 疏林和草原交织, 边界参差不齐 (Gleason 和 Cronquist, 1964), 由于草原提供了畜牧业天然草场, 故有重要的农业意义。

在自然光照条件下作物和沼泽草被当增加 CO_2 浓度时的光合速率已有研究 (Acock 等, 1985; Baker 等, 1990; Ziska 等, 1990; Isdo 等, 1990) 而关于草原 (或草地) 上的资料却甚少, Newton (1991) 曾指出此问题。Patterson 和 Flint (1990) 及 Newton (1991) 提供了在增加 CO_2 浓度下非作物植被的数据, 除了 Kirkham 等 (1990; 1991) 监测过 big bluestem 的叶子光合速率外, 还没有别人报道自然条件下增加 CO_2 浓度时的草原植被光合速率。

因此本课题之目的是研究提高 CO_2 浓度 (2 倍于周围大气环境) 对草地植物冠层光合速率的影响。由于本地干旱是常见灾害, 我们除了观测植物光合速率外还观测蒸散率, 是在充分供水 (达田间持水量) 和干燥 (不添加水分) 两个条件下分别研究, 同时观测在不同 CO_2 和水处理下封闭室中的气象条件 (气温、净辐射、大气中 CO_2 浓度)。

2 材料和方法

实验点在堪萨斯州的曼哈顿 ($39^{\circ}12'N$, $96^{\circ}35'W$), 实验地坡度 2%, 坡向朝东, 土壤为淤积粘土。主要植被为暖季生长的草被, 光合类型为 C_4 型, 分别为 big bluestem (*Andropogon gerardii* Vitman), little bluestem (*Andropogon Scoparius* Michx) 和印第安草 (*Sorghastrum nutans* (L) Nash)。经调查, 这三种草占总草量的 70% (Gale 等, 1990; Nie 等, 1991), Big bluestem 是主要品种。生长季节盛行风为南风。

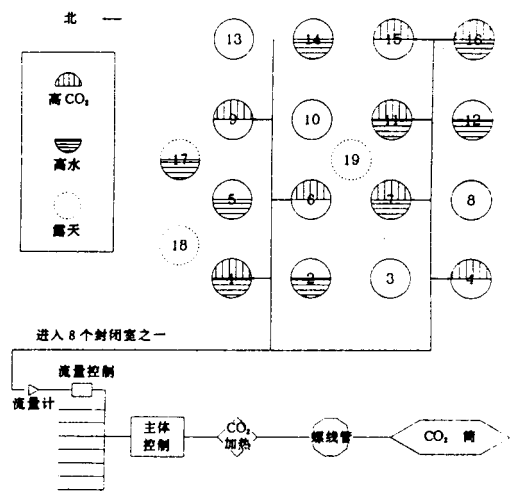


图 1 实验中封闭室的编号与露天地块和各种处理

本课题是一项 2 年期的研究, 实验在第二年 (1990) 进行, 实验点上设 16 个封闭室 (室直径 1.5m, 高 1.8m), 南北向排成四排, 一排 4 个封闭室, 对四种处理四个重复安排

随机组合排列实验。由于测点有 2% 的东西向坡度,故南北向的每一排做为一个小区(见图 1),自西至东,1 区(1—4 号封闭室)、2 区(5—8 号封闭室)、3 区(9—12 号封闭室)、4 区(13—16 号封闭室)。对每个小区的处理是随机规定的,处理项目为 2×2 因子:两个 CO_2 浓度(高水平,即 2 倍于周围环境大气中 CO_2 浓度;低水平,即等于周围环境大气中 CO_2 浓度)和两个水分处理(高水即达田间持水量;低水即不添加水分),另外有不加封闭处理的露天对照地块,水分处理为保持高水。从 1990 年 4 月 6 日(对应的年日是 96)起向封闭室内输入 CO_2 。

封闭室的建立、 CO_2 供应、仪器、数据采集、取样程序、标定气体、气流速率等由 Nie 等(1991)给出。每个室内用铜-康铜热电偶测温仪在离地面 100cm 处测气温。为测净辐射用 5 个净辐射仪(Q5 型辐射平衡系统,华盛顿州,西雅图产品),在第 1 区每个封闭室放一个,露天高水处理点安置一个。用两个红外气体分析仪(型号 MK3 NO. 225,英国产)来测定叶冠光合速率,一个工作在绝对测量方式,测 CO_2 绝对浓度,用以测定进入每个封闭室的 CO_2 浓度,另一个工作在差分方式,用以测定流入与流出每个封闭室的空气中的 CO_2 浓度差。用两个镜面致冷式露点仪(Dew-10 型)测露点,一个测输入气体,一个测输出气体。

冠层 CO_2 交换率(R_{CCER})采用下式计算:

$$R_{\text{CCER}} = [\Delta\text{CO}_2 \cdot F \cdot C] / A$$

其中 ΔCO_2 为两个气体分析仪测得的输入输出气体 CO_2 浓度差($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$), F 是流量计测得的通过封闭室的流量($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), A 是封闭室的地面面积(1.826m^2), C 是一换算系数约为 0.44,随温度而变化, R_{CCER} 单位为 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

冠层蒸散(E_{CET})用下式计算:

$$E_{\text{CET}} = [(q_{\text{in}} - q_{\text{out}}) \cdot F] / A$$

其中 q_{in} 、 q_{out} 分别为输入输出气体水汽密度 gm^{-3} ,它用所测气温和露点采用下式计算:

$$q = (217 \cdot e) / (273 + T)$$

其中 e 为 $T^\circ\text{C}$ 温度下的水汽压(hPa)或露点温度下的饱和水汽压,用 Murray(1967)给出方程计算 e (Rosenberg 等,1983 一文中的方程 5.17)。本文只给出晴天的观测结果,其它结果由 Nie 等(1991)给出,本文将对之加以综述。

3 结果和讨论

冠层 CO_2 交换率 R_{CCER} 或冠层光合速率就是单位土地面积在单位时间内冠层消耗的 CO_2 量,必须指出这里的 R_{CCER} 既包括了植物光合吸收 CO_2 引起的 CO_2 通量,也包括了土壤的 CO_2 通量。我们实验中土壤 CO_2 通量很重要(Norman 等,1991),我们不能精确测定封闭室内土壤 CO_2 通量,然而由于测点面积小(所有封闭室在 $20\text{m} \times 20\text{m}$ 范围内),且比较均一,每个处理又有四个重复,我们可以假定各个处理中平均土壤呼吸是大致相同的。我们确已发现湿度影响土壤呼吸 CO_2 ,所以这种假设可能不成立,但这里的 R_{CCER} 似可以作为对比各处理间冠层光合速率的一个合理的指示量。

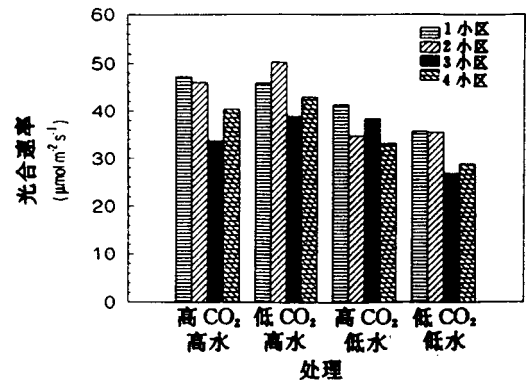


图 2 1990 年生长季 49 个晴天平均不同处理的草地植物冠层光合速率(1990)

每个封闭室白天(06:00—20:00)冠层光合速率以直方图形式给出(见图 2)。高水条件下在两倍 CO_2 浓度下生长的植物的平均季光合速率与在环境大气 CO_2 浓度下生

长的植物大致相同(分别为 41.8 和 44.5 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$),这与 Kirkham 等(1991)草原上以 big bluestem 为主要植被叶片光合结果相似,生长量是光合作用的间接量度,当 C_4 植物处在 CO_2 浓度提高状况时它可能增加、减少或保持不变。Patterson 和 Flint(1990)指出 11 种 C_4 草本植物 CO_2 浓度提高加倍后生长量的增加是环境 CO_2 不加倍时的 0.56—1.61 倍,他们没有给出高草(tallgrass)草原上主要草类的数据,我们测得的冠层光合速率与 Kirkham 等(1991)big bluestem 单叶片光合速率是相似的,因此资料指出无论冠层或单片叶子的测量结果都可作为表示光合速率的特征。

在低水处理下, CO_2 浓度加倍比保持大气 CO_2 水平,植物光合速率有所提高,生长季平均值分别为 36.9 和 31.7 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$,这表明在干燥条件下 CO_2 浓度加倍将提高草原植被光合速率。其它研究已表明高 CO_2 浓度可抵消由于干旱导致的生长量减少(Chaudhuri 等,1990)。

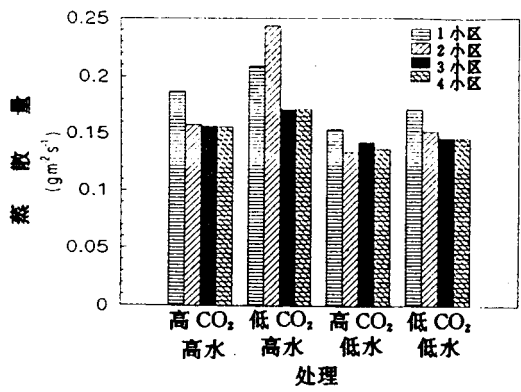


图 3 1990 年生长季 49 个晴天平均不同处理冠层蒸散量

白天(06:00—20:00)冠层蒸散(E_{CET})直方图示于图 3,表示了整个封闭室内水分的散失,包括土壤蒸发和植物蒸腾。假定相同的水分处理时土壤蒸发相同,高水、低 CO_2 水平的封闭室的 E_{CET} 最高,而低水、高 CO_2 的封闭室 E_{CET} 值最低。 CO_2 倍增和大气 CO_2

浓度,高水处理时,生长季平均蒸散分别为 0.164 $\text{gm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 和 0.200 $\text{gm}^{-2}\text{s}^{-1}$;而低水处理时分别为 0.142 $\text{gm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 和 0.514 $\text{gm}^{-2}\text{s}^{-1}$,因此对应于高、低水处理, CO_2 倍增后蒸散减少 18% 和 8%。由于在相同水处理下高 CO_2 封闭室比正常 CO_2 封闭室有一个较低的蒸发,故 CO_2 施肥减少了水分损失。Kirkham 等(1991)也指出。虽然 C_4 植物光合速率不受大气中 CO_2 浓度影响,但其叶片蒸腾却由于 CO_2 浓度提高使气孔关闭而减少了,这个结果表明大气中 CO_2 浓度的增加必将导致草原水分散失减少。一般来说,不同处理点夜晚气温相近。差异不超过 0.5 $^{\circ}\text{C}$,封闭室中白天(06:00—20:00)气温与封闭室外的差见表 1 所示(译略)。露天对照点生长季平均气温为 29.8 $^{\circ}\text{C}$,总比封闭室内气温低。高水条件下 CO_2 倍增与 CO_2 不变时生长季平均气温分别为 31.7 $^{\circ}\text{C}$ 和 31.2 $^{\circ}\text{C}$;低水条件下分别为 32.5 $^{\circ}\text{C}$ 和 32.0 $^{\circ}\text{C}$ 。因此对于两种土壤水处理, CO_2 浓度加倍的封闭室平均要暖 0.5 $^{\circ}\text{C}$ 。封闭地块平均高于室外气温,但不超过 2.7 $^{\circ}\text{C}$ 。Drake 等(1989)回顾了文献中所报道的开顶室室内的温度增加,他指出升温约 2 $^{\circ}\text{C}$,与我们的数据相近。如果比较各个封闭室地块的气温,低水高 CO_2 室的气温常常为最高,而高水低 CO_2 室的气温最低。

上述安置净辐射仪的五个地块给出的夜间净辐射值都相近,而白天的净辐射露天比封闭室都要高(表 2 译略)。生长季初期四个封闭室地块的净辐射相近,随着时间的推移各地块之间出现差异,可能是由于较高的草遮蔽了辐射仪。露天季平均净辐射为 356 Wm^{-2} ;高水条件下 CO_2 浓度加倍时和 CO_2 不变平均净辐射分别为 292 和 282 Wm^{-2} ;低水条件下则分别为 307 Wm^{-2} 和 303 Wm^{-2} 。

CO_2 加倍处理目标浓度为 720 cm^3m^{-3} (也即 720 cm^3 的 CO_2/m^3)。高 CO_2 封闭室的 CO_2 浓度平均值为 710.8 cm^3m^{-3} (1 号封闭室,高水)到 720.1 cm^3m^{-3} (11 号封闭室,高

水);低 CO₂(周围值)时各室之间差异较小,从 350.8cm³m⁻³(14 号封闭室,高水)到 356.0cm³m⁻³(2 号封闭室,高水)。平均值的标准差各室之间相近,最小值为 2.43cm³m⁻³(9 号封闭室,高 CO₂、低水)最大值为 2.81cm³m⁻³(2 号封闭室)。表 3 表示四种处理的 CO₂ 浓度值日变化(表 3 译略),其数据为 49

个晴天的各正点平均值,CO₂ 浓度在 05:00 最高,15:00 最低,两者相差 50cm³m⁻³。

陈景玲译自 *Agricultural and Forest Meteorology*, 61
(1992)205—217

王谦 曹村校