

温度和湿度对杨树无性系光合机构 CO₂ 瞬间响应分析*

胡新生 王世绩

摘要 选择两个速生的(群众杨 44 和欧美杨 25/86)和两个慢生的(小叶杨和欧美杨 28/86)杨树无性系,在水培和生长箱控制条件下,测定不同温度和相对湿度对 CO₂ 短时间的响应。结果表明:温度和湿度会不同程度地影响杨树对 CO₂ 短时间响应;净光合速率和水分利用效率与细胞间隙 CO₂ 浓度之间呈显著的正相关;CO₂ 补偿点和羧化效率受温度、湿度影响明显;在大部分处理中气孔导度和蒸腾强度与细胞间隙 CO₂ 浓度之间相关不显著。由所得结果推知,温度和湿度对短时间 CO₂ 响应可能是通过 CO₂ 固定。

关键词 杨树无性系、CO₂、温度、湿度、光合作用

陆生绿色植物与大气 CO₂ 交换的主要窗口是气孔。CO₂ 通过扩散过程从大气进入细胞间隙,尔后再进入叶绿组织,参与生化反应而被同化固定^[1]。如果是一个非生命的物体,那么这种扩散过程就完全可以用纯物理的气体扩散理论加以逼近^[2],但是由于生命活动的参与,使得这种扩散得以控制,以维持其细胞内正常代谢。这种调节控制可以从两个过程上进行:一是调节气孔的开张度以调整 CO₂ 在细胞间隙的分压或浓度;二是调整 RUBP 羧化酶的活性或再生能力,以适应环境变化^[3],由于这两个控制过程是相互联系和影响的,使得气体交换过程变得十分复杂。

近年来人们热衷于植物对 CO₂ 适应性研究,为此进行了大量的不同时空程度上的人工模拟试验^[4,5],企图以此所得结果来预测未来全球气温变暖,大气 CO₂ 浓度升高时植物所承担的角色^[4,5]。但所得结果不尽相同。有的试验预测 CO₂ 浓度升高,植物固定 CO₂ 能力会增强^[6],而有的试验结果则相反,植物的固碳能力会下降^[7,8],这种对 CO₂ 适应的稳定性及适应的最终结果一直为悬而未决的问题,其涉及到的原因是多方面的,其中重要原因之一就是植物是如何去适应 CO₂ 浓度变化的生理生化及遗传机理尚不清楚。这样就很难从获得的现象结论中做出定论,在本研究中,由于条件限制,尚不可能对此做长期模拟研究,但感兴趣于温度、测定叶室的相对湿度对光合机构对 CO₂ 瞬时响应的影响。在不同的基因个体上是否表现一致?这种不一致性主要体现在气体扩散过程,还是 CO₂ 固定过程?因此本试验选择 4 个不同基因型杨树无性系,测定在不同温度适应下和不同叶室湿度下,4 个不同基因型无性系的光合机构对 CO₂ 瞬间响应。从气孔导度、蒸腾强度对 CO₂ 响应去分析温、湿度对 CO₂ 扩散过程影响,而从净光合速率、水分利用效率对 CO₂ 响应去分析对 CO₂ 固定过程影响,并对所得结论做此探讨。在以前的研究中^[2],从所得的试验结果看出,4 个杨树无性系对光量子密度改变所引起的净光合速率

1996—03—04 收稿。

胡新生助理研究员,王世绩(中国林业科学研究院林业研究所 北京 100091)。

* 本文是第一作者博士论文的部分内容。试验过程中得到了刘建伟博士的热情帮助,在此一并感谢。

改变, 在不同的温度和湿度下有着不同的表现。因此, 本研究中我们将证明这 4 个杨树无性系对 CO₂ 短时间响应在不同温度和湿度条件也有不同的表现。同时也间接证明温度和湿度对植物 CO₂ 的短时间响应具有影响。我们将从气孔导度、蒸腾强度对 CO₂ 的响应去分析 CO₂ 的扩散过程, 而从净光合速率、水分利用效率对 CO₂ 的响应去分析 CO₂ 的固定过程, 并对所得结果加以讨论。

1 试验材料与与方法

1.1 试验材料与水培方法

选用 4 个杨树无性系, 青杨派和黑杨派各 2 个。在青杨派中选取小叶杨(*Populus simonii* Carr.) (代号 A) 和群众杨 44(*P. × popularis*-44) (代号 C), 前者为中国原种, 具有耐旱、耐瘠薄的特性, 但生长缓慢, 后者为 50 年代培育的以小叶杨为母本的杂交种, 具有速生、耐旱、耐瘠薄的遗传特性。在黑杨派中选取了两个引自德国的欧美杨无性系 *P. × euramericana* cl. 28/86 (代号 B) 和 *P. × euramericana* cl. 25/86 (代号 D), 两个无性系都喜爱湿润和高温的气候条件, 前者生长速率缓慢, 后者速生。

水培时, 每个无性系取 1 年生枝条, 剪成 15 cm 长插穗, 共 30 个重复, 容积为 2.5 L 的白瓷缸在温室内进行水培, 采用 Haogland 营养液。生长前期每周更换营养液 1 次, 后期每周更换 2 次。每天早、午用鱼泵通气 2 次, 每次持续 5 min。50 d 后收获培养物, 调查生长量与田间生长表现作比较。

测定前, 将苗木转移到控温生长箱内进行适应培养, 以便清除对温度响应的滞后效应。在适应培养期间, 采用 3 个生长箱分别在 3 种不同温度下控制处理: 25 / 20、30 / 25 和 35 / 30 (白天/ 夜间)。白天温度控制时间 07:00~18:00, 光照控制时间为 08:00~17:00, 光照强度约为 500 μmol/(m²·s) (苗木上、中、下测定值的均值)。适应期间继续用 Haogland 营养液培养, 环境的相对湿度约 50%, 48 h 后开始进行 CO₂ 响应测定。

1.2 CO₂ 响应测定

使用美国制便携式光合作用测定仪(Li-6200 型) 测净光合速率, 用美国制露点发生仪(Li-610 型) 控制叶室内的相对湿度, 光照采用人工照明, 最大光量子密度可达 2 500 μmol/(m²·s)。测定时用一生长箱预先调到所需的温度, 稳定后, 将相应温度的欲测定的无性系苗木连同培养液迅速转移到该生长箱内, 测定部位为自上至下数第 6 功能叶, 用露点发生仪调整叶室内相对湿度(30%、50%、70% 3 个处理), 待叶室内相对湿度稳定后进行测定(为了消除湿度响应的滞后效应)。在每种温度(25、30 和 35) 条件下, 各进行 3 种相对湿度测定, 共 9 个处理。测定前, 首先使叶室(封闭系统) 内的 CO₂ 浓度达到所需的浓度, 然后待 CO₂ 浓度、相对湿度和温度稳定(对于 CO₂ 指其浓度衰减速率稳定) 后开始测定。测定时 CO₂ 浓度由高浓度到低浓度顺序进行, 8 个等级为 1 200、1 000、900、700、500、350、200、100 mg/kg。用碳酸钠迅速吸收封闭系统内 CO₂ 浓度。每个无性系测定 5 株, 同时采集光量子密度、大气和叶片温度、相对湿度、净光合速率、气孔导度、水分利用效率等指标, 光量子密度固定在 1 000~1 050 μmol/(m²·s) 水平, 测定时将苗木顶端叶片部分遮阴, 以免遭灯光灼伤。

1.3 数据统计

净光合速率(P_n) 与细胞间隙 CO₂ 浓度(C_i) 用 Taylor & Gunderson^[3] 一文中模型的修正形

式 $P_n = P_{\max} [1 - C_o(1 - \alpha/P_{\max})^{1 - C_i/T}]$, 式中 P_{\max} 为最大净光合速率, T 为 CO_2 补偿点 ($\mu\text{mol}/\text{mol}$), C_o 为回归分析时 Y 轴的截距, C_i 为细胞间隙 CO_2 浓度, α 为参数。羧化效率 CE 为 CO_2 补偿点时的净光合速率对细胞间隙 CO_2 浓度的斜率, 其估值为 $P_{\max} C_o / T (\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1} / (\mu\text{mol} \cdot \text{mol}))$ 。选择这一模型的理由是它能很好地拟合实测数据, 但对其包含的生理生化机制尚不清楚。应用回归方差分析检验模型适合度, 用简单相关分析判断气孔导度、蒸腾强度、水分利用效率与细胞间隙的 CO_2 浓度的相关关系。用于测定的两个杨树无性系各 1 株, 循环重复测定 2 次, 应用于分析的文件共 72 个, 每个文件共 31 个记录, 每个记录共 13 个数据, 本文共采用了 58 032 个数据进行分析。

2 结果分析

4 个无性系苗木水培生长状况与田间的生长表现一致^[2], 因此可以认为用这 4 个无性系的水培苗进行生理指标测定是适宜的, 以下仅对 CO_2 响应作分析。

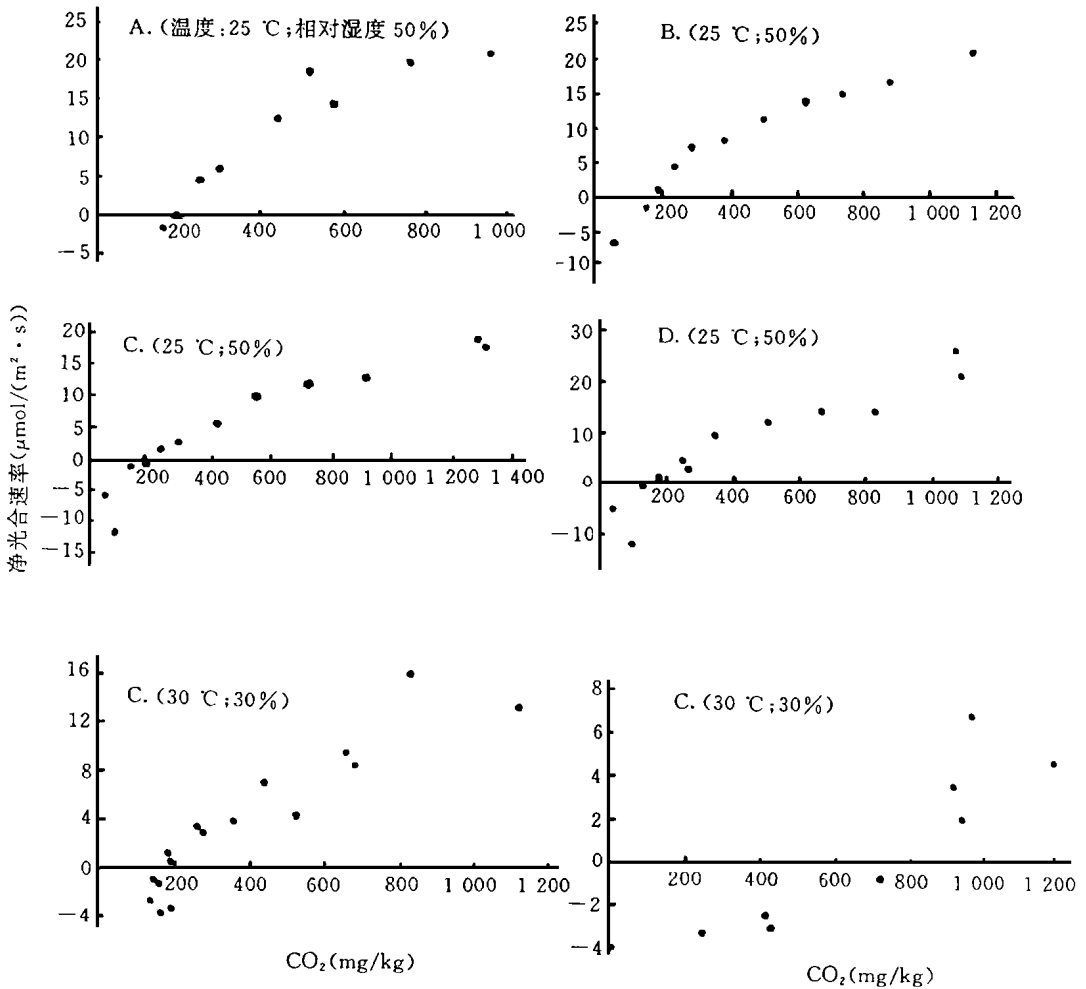
2.1 净光合速率对细胞间隙 CO_2 浓度的响应

表 1 不同温度和湿度条件下净光合速率与细胞间隙 CO_2 浓度关系拟合及检验

温度()	相对湿度(%)	无性系	净光合速率模型	r^2	CE
25	30	A	$P_{\bar{n}} = 17.0(1 - 0.987 \times 1.724^{(1 - C_i/300)})$	0.925**	0.056
		B	$P_{\bar{n}} = 17.0(1 - 0.984 \times 1.05^{(1 - C_i/200)})$	0.930***	0.083
		C	$P_{\bar{n}} = 18.0(1 - 0.925 \times 2.241^{(1 - C_i/160)})$	0.977****	0.104
		D	$P_{\bar{n}} = 24.0(1 - 1.208 \times 1.812^{(1 - C_i/160)})$	0.860**	0.181
	50	A	$P_{\bar{n}} = 21.0(1 - 1.406 \times 3.164^{(1 - C_i/180)})$	0.895**	0.164
		B	$P_{\bar{n}} = 21.0(1 - 1.124 \times 2.187^{(1 - C_i/190)})$	0.758****	0.124
		C	$P_{\bar{n}} = 19.0(1 - 1.209 \times 1.936^{(1 - C_i/190)})$	0.777**	0.121
		D	$P_{\bar{n}} = 26.0(1 - 1.128 \times 1.591^{(1 - C_i/170)})$	0.702**	0.172
	70	A	$P_{\bar{n}} = 24.0(1 - 0.869 \times 3.208^{(1 - C_i/320)})$	0.819**	0.065
		B	$P_{\bar{n}} = 21.0(1 - 0.963 \times 2.278^{(1 - C_i/300)})$	0.856**	0.067
		C	$P_{\bar{n}} = 24.0(1 - 1.041 \times 2.586^{(1 - C_i/300)})$	0.893**	0.083
		D	$P_{\bar{n}} = 21.0(1 - 0.916 \times 1.575^{(1 - C_i/180)})$	0.723**	0.106
30	30	A	$P_{\bar{n}} = 24.0(1 - 0.668 \times 1.139^{(1 - C_i/130)})$	0.082	0.123
		C	$P_{\bar{n}} = 13.0(1 - 0.954 \times 1.714^{(1 - C_i/345)})$	0.989****	0.036
		D	$P_{\bar{n}} = 10.5(1 - 1.097 \times 2.289^{(1 - C_i/250)})$	0.658**	0.046
	50	A	$P_{\bar{n}} = 18.0(1 - 1.168 \times 3.821^{(1 - C_i/430)})$	0.698**	0.048
		B	$P_{\bar{n}} = 13(1 - 0.987 \times 1.823^{(1 - C_i/650)})$	0.966**	0.019
		C	$P_{\bar{n}} = 6.5(1 - 1.047 \times 1.521^{(1 - C_i/300)})$	0.739**	0.023
		D	$P_{\bar{n}} = 20.5(1 - 1.003 \times 3.834^{(1 - C_i/430)})$	0.591**	0.047
	70	A	$P_{\bar{n}} = 21.0(1 - 1.046 \times 2.667^{(1 - C_i/390)})$	0.645**	0.056
		B	$P_{\bar{n}} = 10.5(1 - 0.552 \times 23.52^{(1 - C_i/800)})$	0.740*	0.007
		C	$P_{\bar{n}} = 20.0(1 - 1.006 \times 3.351^{(1 - C_i/370)})$	0.912**	0.054
		D	$P_{\bar{n}} = 14.0(1 - 0.899 \times 2.150^{(1 - C_i/470)})$	0.980*	0.026
35	30	A	$P_{\bar{n}} = 17.0(1 - 1.001 \times 1.734^{(1 - C_i/240)})$	0.752**	0.071
		C	$P_{\bar{n}} = 20.0(1 - 1.018 \times 2.235^{(1 - C_i/210)})$	0.907****	0.096
		D	$P_{\bar{n}} = 12.0(1 - 0.809 \times 7.744^{(1 - C_i/345)})$	0.950****	0.028
	50	A	$P_{\bar{n}} = 5.5(1 - 0.761 \times 5.133^{(1 - C_i/588)})$	0.763**	0.007
		C	$P_{\bar{n}} = 16.0(1 - 1.10 \times 2.464^{(1 - C_i/300)})$	0.773**	0.058
		D	$P_{\bar{n}} = 14.1(1 - 0.986 \times 3.21^{(1 - C_i/310)})$	0.702**	0.045
	70	A	$P_{\bar{n}} = 6.5(1 - 0.629 \times 6.264^{(1 - C_i/470)})$	0.923**	0.008
		C	$P_{\bar{n}} = 22.0(1 - 1.191 \times 1.586^{(1 - C_i/220)})$	0.710**	0.119
		D	$P_{\bar{n}} = 15.0(1 - 0.968 \times 2.204^{(1 - C_i/290)})$	0.787**	0.050

注: r^2 为决定系数; * 示 $P < 0.05$, ** 示 $P < 0.01$, *** 示 $P < 0.001$, **** 示 $P < 0.0001$ 。

分析结果列于表 1 和图 1, 总的看来净光合速率对细胞间隙 CO₂ 浓度呈显著和极显著的正相关, 需要指出的是无性系 B 因供试材料数量不够, 有些处理未做测定, 因而不做分析。



A: 小叶杨; B: 欧美杨 28/86; C: 群众杨; D: 欧美杨 25/86

图 1 4 个杨树无性系在不同温、湿条件下对 CO₂ 的响应

在 25 °C 时, 随着相对湿度的升高, 4 个无性系的 CO₂ 补偿点都表现出相似的变化形式, 两头高、中间低, 而羧化效率则近于相反, 在环境相对湿度 50% 时羧化效率最高(欧美杨 25/86 的羧化效率略低于相对湿度 30% 时除外)。因此, 从羧化能力和 CO₂ 补偿点来看, 无性系 D 表现较为特殊, 其羧化效率比其它 3 个无性系都高。

在 30 °C 时, 随着相对湿度的增加, 4 个无性系的 CO₂ 补偿点表现形式不一, 小叶杨(A)表现出中间高、两头低, 在环境的相对湿度 50% 时补偿点最高, 群众杨(C)的补偿点变化比较稳定, 欧美杨(D)的 CO₂ 补偿点则随相对湿度升高而升高, 但增加程度不一。羧化效率也表现出多样化的形式, 无性系 A 的羧化能力随环境的相对湿度升高而增强。在高湿和低湿(70% 和 30%) 下, 无性系 C 的羧化效率高, 而在相对湿度 50% 时反而表现出低的羧化能力, 无性系 D 则在低湿(30%) 和中湿度(50%) 下表现出较高的羧化能力。

在 35 ℃ 时, 3 个无性系的 CO₂ 补偿点随相对湿度的变化也表现出不同形式, 需要指出的是小叶杨(A)的 CO₂ 补偿点在相对湿度 50% 时特别高, 近达 590 mg/kg, 表现出强度的呼吸。在高温时, 各无性系的羧化效率也表现不同, 但都比较弱(除无性系 C 在 35 ℃、相对湿度 70% 处理外), 可见高温时的羧化能力下降。

由以上结果看出, 相对湿度、温度影响净光合速率对细胞间隙 CO₂ 浓度的短时间响应。

2.2 气孔导度对细胞间隙 CO₂ 浓度的响应

在温度 25 ℃、相对湿度 30% 时, 无性系 A、B 和 D 的气孔导度与细胞间隙 CO₂ 浓度表现出负的相关趋势, 但未达到显著水平, 而群众杨(C)比较特别, 随着细胞间隙 CO₂ 浓度的升高, 气孔阻力反而减小, 气孔导度与细胞间隙 CO₂ 浓度表现出显著的正相关($r=0.7605^*$)。在相对湿度 50% 和 30% 时, 各无性系的气孔导度对细胞间隙 CO₂ 浓度响应迟钝, 均未达到显著相关(表 2)。

表 2 气孔导度、蒸腾强度、水分利用效率与净光合速率的相关系数及显著性测验

温度(℃)	相对湿度(%)	无性系	气孔导度	蒸腾强度	水分利用效率
25	30	A	-0.603	-0.575	0.657 ^{**}
		B	-0.118	-0.187	0.955 ^{**}
		C	0.761 [*]	0.673 [*]	0.801 ^{**}
		D	-0.223	-0.304	0.943 ^{**}
	50	A	0.369	-0.015	0.937 ^{**}
		B	-0.211	-0.323	0.957 ^{**}
		C	-0.507	-0.273	0.943 ^{**}
		D	-0.285	-0.194	0.918 ^{**}
	70	A	0.163	-0.045	0.992 ^{**}
		B	0.309	0.170	0.948 ^{**}
		C	0.045	0.075	0.904 ^{**}
		D	0.614	0.469	0.832 ^{**}
30	30	A	-0.028	0.002	-0.376
		C	-0.076	0.161	0.821 ^{**}
		D	-0.116	-0.050	0.315
	50	A	-0.086	0.016	0.912 ^{**}
		B	0.604	0.682	0.949 ^{**}
		C	-0.062	0.347	0.873 ^{**}
		D	-0.143	-0.498	0.949 ^{**}
	70	A	-0.188	-0.170	0.969 ^{**}
		B	-0.257	-0.731	0.947 ^{**}
		C	-0.564	-0.223	0.975 ^{**}
		D	-0.852	-0.968 ^{**}	0.990 ^{**}
	35	30	A	-0.057	0.013
C			-0.073	0.160	0.939 ^{**}
D			-0.445	-0.565	0.936 ^{**}
50		A	-0.744 ^{**}	-0.699 [*]	0.978 ^{**}
		C	-0.601 [*]	-0.559	0.989 ^{**}
		D	-0.573 [*]	-0.506	0.948 ^{**}
70		A	-0.310	0.091	0.961 ^{**}
		C	-0.188	-0.135	0.909 ^{**}
		D	0.324	-0.015	0.951 ^{**}

注: * 示 $P < 0.05$; ** 示 $P < 0.01$ 。

在温度 30 ℃、相对湿度为 30% 和 50% 条件下, 各无性系的气孔导度与细胞间隙 CO₂ 浓度无明显的相关关系, 但在相对湿度 70% 时, 无性系 D 的气孔导度与细胞间隙 CO₂ 浓度呈显著相关, CO₂ 浓度升高引起气孔关闭(表 2)。

在温度 35 ℃、相对湿度 30% 和 70% 下, 各无性系气孔导度对细胞间隙 CO₂ 浓度反应迟钝, 相关性不显著, 但在相对湿度 50% 时, 情况完全不同, 各无性系的气孔对 CO₂ 浓度改变响应灵敏, 均呈显著相关关系(表 2)。

以上结果间接地证明温度、湿度会不同程度地影响气孔开关行为对 CO₂ 的响应。有趣的是群众杨(C)的气孔导度在温度 25 ℃、相对湿度 30% 和温度 35 ℃、相对湿度 50% 下, 表现出完全不同的响应。

2.3 蒸腾强度对细胞间隙 CO₂ 浓度的响应

除了个别情况, 各无性系蒸腾强度对细胞间隙 CO₂ 浓度的响应不敏感, 相关性表现不显著(表 2), 原因是由于气孔导度响应迟钝, 气孔阻力对蒸腾不造成限制。群众杨(C)在温度 30 ℃、相对湿度 30% 时蒸腾强度与细胞间隙 CO₂ 浓度呈显著正相关。欧美杨 25/86(D)在温度 30 ℃、相对湿度 70% 下与小叶杨(A)在温度 35 ℃、相对湿度 50% 下也有类似表现: 蒸腾强度与细胞间隙 CO₂ 浓度呈显著的负相关, 表明其气孔关闭, 以减少蒸腾(表 2)。由此也可以看出温度、湿度会影响蒸腾强度对细胞间隙 CO₂ 浓度的响应。

2.4 水分利用效率对细胞间隙 CO₂ 浓度的响应

试验结果(表 2)表明: 除个别处理外, 各无性系的水分利用效率与细胞间隙 CO₂ 浓度表现出显著和极显著的正相关。由此看出, 水分利用效率对细胞间隙 CO₂ 浓度的响应表现出相对的稳定性, 温度和湿度的影响不明显。

综合表 1 和表 2 的结果可以看出, 除个别处理外, 净光合速率和水分利用效率与细胞间隙 CO₂ 浓度呈显著或极显著正相关, 且较稳定; 温度和相对湿度对 CO₂ 补偿点、羧化效率、气孔导度及蒸腾强度均有不同程度的影响。

3 讨 论

在本试验测定过程中, 温度、湿度得到了很好的控制。整个试验过程环境条件均一, 各无性系的测定数据具有可比性, 因而所获得的结果有一定可靠性^[9]。试验结果表明 4 个杨树无性系短时间对 CO₂ 响应类型不是完全相同的。气孔导度和蒸腾强度在所测定的大部分处理中表现为细胞间隙 CO₂ 浓度响应的迟钝, 但仍存在着温度、湿度效应的影响。净光合速率、水分利用效率与细胞间隙 CO₂ 浓度呈显著或极显著的正相关(个别处理除外), 而且这种相关性受温度和湿度的影响小。CO₂ 补偿点、羧化效率在不同温度和湿度条件下变化较大。现根据试验中出现的一些现象, 做如下讨论。

3.1 净光合速率与细胞间隙 CO₂ 浓度的关系

细胞间隙 CO₂ 为光合作用的底物, 它与 RuBP 羧化酶结合进入卡尔文循环而被同化, 因此 CO₂ 浓度变化自然就影响生化反应的动力特性(V_{max} , K_m 常数)^[10]。由于温度变化而影响 RuBP 羧化酶蛋白的活性, 进而导致羧化效率的改变^[11]。湿度的改变可能会影响这种生化反应的环境状态变化, 因而间接地引起羧化效率变化^[12]。由此看来羧化效率反过来可推测 RuBP 羧化酶的量 and 活性变化。由表 1 看出, 最大净光合速率 P_{max} 在不同温度、湿度下表现不

完全相同,似乎可以推测出光合电子传递和光合磷酸化活性变化^[2]。

本试验结果还表明净光合速率与细胞间隙 CO₂ 浓度呈显著或极显著的正相关,并且这种相关性在一定的温度、湿度变化下反应迟钝。如果这 4 个无性系经受长期的 CO₂ 适应(acclimation)后,仍能保持这种特性,那么从生态学的角度来看将是十分有意义的。Gunderson 等人^[6]的试验表明 *Liriodendron tulipifera* 和 *Quercus alba* 两个种经过 3 a 时间对 CO₂ 适应后,净光合速率并不随 CO₂ 浓度下降,因此现在还至少不能否定这 4 个杨树无性系在经受长期 CO₂ 适应后保持稳定的可能性。

3.2 气孔导度、蒸腾强度和细胞间隙 CO₂ 浓度的关系

Eamus 等人^[4]在讨论未经 CO₂ 适应植物对 CO₂ 响应时,将气孔导度对大气 CO₂ 浓度响应类型划分为:稍增加(+),几乎不变(0),稍减少(-)和快速减少(- -)等 4 种类型^[4]。Mott^[13]的试验表明气孔对细胞间隙 CO₂ 浓度敏感,而对大气 CO₂ 浓度不敏感^[13]。本试验结果表明气孔导度对细胞间隙 CO₂ 浓度的响应类型是可变的,如群众杨 44 在温度 25℃、相对湿度 30% 时的相关系数为 0.760 5^{*},而在温度 35℃、相对湿度 50% 时为 -0.601^{*},可见环境的修饰会改变气孔对细胞间隙 CO₂ 浓度的响应行为。

蒸腾强度与气孔导度往往是相联系的。在一定的条件下,气孔导度增加,气孔阻力小,自然就会提高蒸腾强度,由表 2 的相关性统计结果也可看出这一点。试验中大部分处理的气孔导度、蒸腾强度与细胞间隙 CO₂ 浓度表现为不相关,说明在一定条件下短时间的 CO₂ 响应对气孔开关影响不大,即对气体的扩散过程影响不大,然而相应的羧化效率却表现不同,这就进一步肯定了温度对 CO₂ 固定过程的影响。

3.3 水分利用效率与细胞间隙 CO₂ 浓度的关系

试验结果表明水分利用效率与细胞间隙 CO₂ 浓度呈显著或极显著的正相关(个别处理除外)。根据气孔开关情况,这种相关关系可在两种情况下发生:一是细胞间隙 CO₂ 浓度不明显改变气孔开张度而引起的正相关;二是引起气孔关闭情况下的正相关。这两种类型具有完全不同的生态学意义。对于前者而言,在土壤水分供应充足条件下,无疑不会影响水分利用效率对细胞间隙 CO₂ 浓度的适应,对于后者而言,似乎更为重要,因为 CO₂ 浓度升高,能引起气孔关闭,但不致影响其水分利用效率,自然也就增强了植物的抗旱能力。Rogers 等人^[12]在 *Liquidambar styraciflua* 中发现了类似的现象,即水分利用效率随大气 CO₂ 浓度增高表现为正线性提高。

本试验初步揭示了在不同温度、湿度条件下,4 个杨树无性系对 CO₂ 短时间响应的一些现象,但温、湿度是如何影响植物对 CO₂ 响应的?以及植物采用了什么机制来适应 CO₂ 的变化?这些生理生化机理问题有待于积累更多的试验数据和理论分析,才有可能为人类适应未来的环境变化提供有效的途径。

参 考 文 献

- 1 王沙生,高荣孚,吴贵明.植物生理学(第 2 版).北京:中国林业出版社,1991.
- 2 沈允钢,许大全.光合机构对环境的响应与适应.见:余叔文主编.植物生理与分子生物学.北京:科学出版社,1992. 225~235.
- 3 Taylor G E Jr, Gunderson C A. Physiological site of ethylene effects in carbon dioxide assimilation in *Glycine max* L.

- Merr. Plant Physiology, 1988, 86: 85 ~ 92.
- 4 Eamus D, Jarvis P G. The direct effects of increase in the global atmospheric CO₂ concentration on natural and commercial temperate trees and forests. *Advances in Ecological Research*, 1989, 19: 1 ~ 55.
 - 5 Pollard D, Thompson S L. Use of a land-surface-transfer scheme (LSX) in a global climate model—the response to doubling stomatal resistance. *Global and planetary change*, 1995, 10(1 ~ 4): 129 ~ 161.
 - 6 Gunderson C A, Norby R J, Wullschlegel S D. Foliar gas exchange responses of two deciduous hardwoods during 3 years of growth in elevated CO₂, no loss of photosynthetic enhancement. *Plant Cell and Environment*, 1993, 16: 797 ~ 807.
 - 7 Hicklenton P R, Jolliffe P A. Alterations in the physiology of CO₂ exchange in tomato plants grown in CO₂-enriched atmospheres. *Canadian Journal of Botany*, 1980, 58: 2181 ~ 2189.
 - 8 Radin J W, Kimball B A, Hendrix D L, et al. Photosynthesis of cotton plants exposed to elevated levels of carbon dioxide in the field. *Photosynthesis Research*, 1987, 12: 191 ~ 203.
 - 9 胡新生, 刘建伟, 王世绩. 4 个杨树无性系在不同温度和相对湿度条件下净光合速率的比较研究. 见: 王世绩主编. 杨树研究进展. 北京: 中国林业出版社, 1995, 55 ~ 65.
 - 10 Edwards G, Walker D. C₃, C₄: mechanisms and cellular and environmental regulation of photosynthesis. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1983.
 - 11 Rose D A. Gas exchange in leaves. In *Mathematics and plant physiology* Ed. by Rose D A & D A Charles-Edwards. Academic Press, 1981.
 - 12 Rogers H H, Thomas J F, Bingham G E. Response of agronomic and forest species to elevated atmospheric carbon dioxide. *Science*, 1983, 220, 428 ~ 429.
 - 13 Mott K A. Do stomata respond to CO₂ concentrations other than intercellular? *Plant Physiology*, 1988, 86: 200 ~ 203.

Effect of Temperature and Relative Humidity on Instantaneous Response of Four Poplar Clones to CO₂

Hu Xinsheng Wang Shiji

Abstract Instantaneous responses of the rate of net photosynthesis (P_n), stomata conductance (CS), water use efficiency (WUE), CO₂ compensation point (Γ), carboxylation efficiency (CE), and transpiration (TR) to CO₂, were monitored at different temperature (25 °, 30 °, 35 °) and humidity (RH 30, 50, 70%) regimes, using leaves of water-cultivated plants of four selected poplar clones: *Populus simonii* (Clone A), *P. euramericana* 28/86 (Clone B), *P. popularis* 44 (Clone C), and *P. euromericana* 25/86 (Clone D). It was shown that temperature and relative humidity could affect the instantaneous response to CO₂ in P_n , Γ and WUE . There were significantly positive correlation between the P_n , or the WUE , and intercellular CO₂ (C_i). The CS and TR , however, were not significantly related to the C_i in most of treatments. It may be inferred that the influences of temperature and relative humidity on the responses were mediated by modifying the biochemical process underlying the photosynthesis.

Key words poplar clones, CO₂, temperature, humidity, photosynthesis