

CO₂ 浓度与土壤水分胁迫对红松和云杉苗木影响的试验研究

郭建平 高素华

(中国气象科学研究院, 北京, 100081)

王连敏 王立志

(黑龙江省农业科学院, 哈尔滨, 150086)

摘 要

全球气候变化对植物影响研究的主要内容是由于大气中 CO₂ 浓度升高导致的气温升高和土壤干旱化对植物的影响。文中利用人工气候室试验研究了高 CO₂ 浓度和土壤水分胁迫对红松和云杉的影响, 结果表明: CO₂ 浓度升高使红松和云杉生长量的增长率提高, 土壤水分胁迫使树木生长量的增长率下降, 且 CO₂ 浓度升高的正效应要小于土壤水分胁迫的负效应。CO₂ 浓度升高使树木叶水势增大, 土壤水分胁迫使树木叶水势减小, 这从植物生理的角度说明了 CO₂ 浓度变化和土壤水分胁迫对树木的影响机理, 且在轻度干旱的情况下, 高 CO₂ 浓度使树木叶水势增大, 但随着土壤干旱程度的加重, 树木的叶水势逐渐减小。同时, 从实验结果还可以看出, 虽然大气中 CO₂ 浓度和土壤湿度变化对苗木的影响显著存在, 但与农作物和牧草等植物相比, 这种影响仍要小得多。

关键词: CO₂ 浓度倍增, 土壤干旱化, 红松, 云杉。

1 引 言

全球气候变化对植物影响研究的主要内容是由于大气 CO₂ 浓度升高所导致的气温升高和土壤干旱化对植物的影响。近年来, 在这一领域的研究工作较多, 但大都是研究单因子变化对植物的影响, 对于不同要素的复合影响的研究工作相对要少得多。CO₂ 浓度对植物的营养生长和生殖生长均有重要的影响。随着 CO₂ 浓度的增加, 显著提高了植物的生长速率, 比如促进植物株高增加^[1~5], 增加叶数、叶面积和叶片伸长速率^[6], 提高植物分蘖数^[5], 增加根系数和长度^[7], 王馥棠等^[8]利用模式计算了大气中 CO₂ 浓度倍增对中国种植制度的影响。但由于受试验条件和设备的影响, 在中国有些研究还是空白, 如大气中 CO₂ 浓度增加和土壤水分胁迫的复合影响试验。为了增强人们对全球变化以及全球气候变化对整个生态系统影响的认识, 本研究在人工气候室内开展了高 CO₂ 浓度和土壤干旱化对红松

(*Pinus Koraiensis* Sieb. Et. Zucc) 和云杉(*Picea asperata* Mast.) 复合影响的试验研究。

由于红松和云杉生长缓慢, 树木珍贵, 因此受到了广泛的重视。关于对红松和云杉的研究工作很多, 主要研究了树木病虫害与生长量及其防治^[9~12]、生物生产力的地理分布及其气候因子的影响^[13, 14]。阎季峰等^[15]研究了干旱胁迫对红松幼苗酶活性的影响, 而李晶等^[16]研究了低温胁迫下红松幼苗酶的变化, 邓慧平^[17]和陈雄文等^[18]分别利用林窗模型研究了气候变化对阔叶红松林的影响。此外, 郭明辉等^[19]通过统计分析研究了红松人工林木材解剖特征与气象条件的关系。韩士杰^[20]、王淼^[21]及陈拓等^[22]分别研究了大气中 CO₂ 浓度变化对树木的影响等。但所有这些研究都是对单因子的影响研究, 关于 CO₂ 浓度和气象因子的复合影响的研究还未见报道, 而气候变化往往又是多因子的复合影响的结果。因此, 研究 CO₂ 浓度升高和水分胁迫的复合影响可为研究全球变化对森林生态系统的

影响及对西部生态环境建设等提供科学依据。

2 材料和方法

2.1 试验物种及来源

试验树种分别为红松和云杉苗木。

红松是中国东北地区极为珍贵的优势树种, 主要分布于长白山、完达山和小兴安岭地区, 最北界限是小兴安岭北坡的孙吴县(约 49°20'N), 南达长白山西南麓宽甸县(约 40°45'N), 东起完达山的东北麓饶河县(约 135°E), 西迄辽宁本溪县(约 124°45'E)。

云杉对气候的要求并不严格, 多分布于年平均温度 6~9℃、年降水量 800~900 mm、相对湿度 70% 以上的高山峡谷北部。因此中国许多地区都有云杉分布, 主要分布于中国四川的岷江、大小金川和白龙江流域, 并延伸到青海东部, 甘肃南部和陕西西南部。垂直分布为海拔 1600~3800 m, 集中分布在 2300~3200 m。

试验用的红松(3年生苗木)和云杉(4年生苗木)均从黑龙江省帽儿山林场获取。

2.2 试验时间

试验用苗木于 2001 年 4 月下旬带土移栽到黑龙江省农业科学院人工气候室的塑料盆中, 盆的直径 33 cm, 高 26 cm。先在自然状态下缓苗生长, 于 6 月 9 日移入人工气候室进行土壤水分处理, 6 月 12 日开始进行不同 CO₂ 浓度处理, 9 月 12 日试验结束, 试验期间每天 24 h 连续通气。

2.3 试验环境

人工模拟试验在黑龙江农业科学院寒地生态实验室的人工气候室内进行。人工气候室系自然光玻璃室, 每间面积 18 m²、空气湿度、温度可自动调控, 并可以采用生理日光灯自动补光。本试验期间, 气温控制在 28~30℃, 空气湿度控制在 65%~85%, 辐射约为外界自然辐射的 60%。

2.4 试验设计

CO₂ 浓度为 650~700 mol/mol, 并以室外大气 CO₂ 浓度(约 350 mol/mol)为对照, 采用红外 CO₂ 分析仪监测 CO₂ 浓度, 钢瓶液态 CO₂ 为气源。

土壤湿度分别为占田间持水量 30%~45% (重旱) 和 45%~60% (轻旱), 并以 60%~80% (适宜) 为对照。每 2 d 对样本称重并计算土壤含水量, 并用灌溉的方式给土壤补充水分, 使土壤湿度保持在试验要求的范围内。

每个处理设置 3 次重复。

2.5 试验观测

在试验开始(6月9日)和试验结束(9月12日)时分别测量树木的高度、地径和总枝(主杆和分枝)长度等生长量指标值数据。8月30日测定不同处理的叶水势, 全天共测定 18 次重复。

3 结果分析

由于不同树木的初始大小存在着一定的差异, 因此, 在结果的分析中用绝对变化量不能反映环境因子的影响差异。所以, 在本研究中生长量取 3 次重复、叶水势取 18 次测定值的平均值的增长率来分析。

3.1 高 CO₂ 浓度对红松和云杉苗木生长量的影响

CO₂ 浓度升高对树木的生长发育是十分有利的, 其生长量的增长率均大于在低 CO₂ 浓度下的增长率(表 1)。当 CO₂ 浓度由 350 mol/mol 升高到 650~700 mol/mol 时, 在土壤水分适宜的情况下, 红松的株高、地径和总枝长的增长率分别提高了 1.07%、0.73% 和 0.67%, 云杉分别提高了 1.67%、1.95% 和 0.30%; 在土壤轻度干旱的情况下, 红松的株高、地径和总枝长的增长率分别提高了 0.50%、0.60% 和 0.45%, 云杉分别提高了 2.10%、2.35% 和 1.01%; 在土壤严重干旱的情况下, 红松的株高、地径和总枝长的增长率分别提高了 0.21%、0.29% 和 0.97%, 云杉分别提高了 0.96%、2.22% 和 2.49%。由此可见, 无论是在土壤水分适宜还是土壤干旱的情况下, 大气中 CO₂ 浓度升高对提高树木的增长量是有利的。

3.2 土壤干旱化对红松和云杉生长量的影响

干旱对树木的生长起到抑制作用, 使生长量的增长率减小, 并随干旱程度的加重, 增长率变小。由表 1 可见, 在高 CO₂ 浓度下, 轻度干旱使红松的株高、地径和总枝长的增长率分别下降了 1.86%、3.05% 和 4.20%, 云杉的增长率分别下降了 3.81%、1.99% 和 2.98%; 重度干旱使红松的株高、地径和总枝长的增长率分别下降了 3.88%、3.53% 和 5.64%, 云杉的增长率分别下降了 5.16%、2.94% 和 4.45%。在低 CO₂ 浓度下, 轻度干旱使红松的株高、地径和总枝长的增长率分别下降了 1.29%、2.92% 和 3.98%, 云杉的增长率分别下降了 4.24%、2.39% 和 4.71%; 重度干旱使红松的株高、地径和总枝长的增长率分别下降了 3.02%、3.09% 和 5.94%, 云杉的增长率分别下降了 4.45%、

表1 高 CO₂ 浓度和土壤干旱化对红松和云杉生长量的影响Table 1 Impacts of high CO₂ and soil drought on growth value of *Pinus Koraiensis* and *Picea Asperata*

树种	CO ₂ 浓度 (mol/mol)	土壤湿度	株高 (cm)			地径 (mm)			总枝长 (cm)		
			6月9日	9月12日	增长率 (%)	6月9日	9月12日	增长率 (%)	6月9日	9月12日	增长率 (%)
红松	700	适宜	18.73	20.24	8.06	7.67	8.10	5.61	19.73	21.63	9.63
		轻旱	17.73	18.83	6.20	6.63	6.80	2.56	43.13	45.47	5.43
		重旱	20.80	21.67	4.18	7.20	7.35	2.08	20.80	21.63	3.99
	350	适宜	29.20	31.24	6.99	7.37	7.73	4.88	22.43	24.44	8.96
		轻旱	23.70	25.05	5.70	7.13	7.27	1.96	22.30	23.41	4.98
		重旱	17.87	18.58	3.97	6.70	6.82	1.79	19.23	19.81	3.02
云杉	700	适宜	42.90	46.40	8.16	12.3	15.0	21.95	2137	2458	15.02
		轻旱	49.83	52.00	4.35	14.6	17.5	19.96	2783	3117	12.00
		重旱	44.93	46.28	3.00	14.2	16.9	19.01	2583	2856	10.57
	350	适宜	49.00	52.18	6.49	14.0	16.8	20.00	2541	2915	14.72
		轻旱	55.50	56.75	2.25	14.2	16.7	17.61	2985	3313	10.99
		重旱	43.67	44.56	2.04	13.1	15.3	16.79	3368	3640	8.08

3.21%和6.64%。由此可见,无论是在高 CO₂ 浓度还是低 CO₂ 浓度下,土壤干旱均使树木的生长量的增长率下降。因此,干旱对树木的生长是不利的。

3.3 高 CO₂ 浓度和土壤干旱化对红松和云杉生长量的复合影响

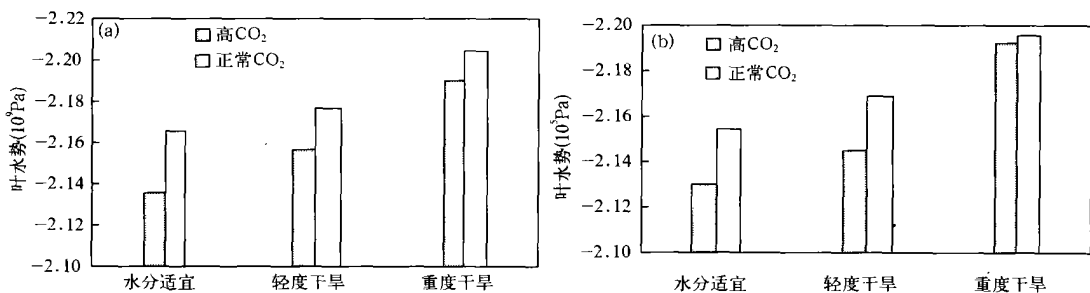
由上述结果分析可以清楚地看出,CO₂ 浓度升高对树木的生长是有利的,而土壤干旱对树木的生长是不利的。因此,这两者的复合影响结果对树木的生长和研究全球变化对森林生态系统的影响就显得十分重要。由表1可见,CO₂ 浓度升高并发生轻度干旱与低 CO₂ 浓度、土壤水分适宜的情况相比,红松的株高、地径和总枝长的增长率分别下降了0.79%,2.32%和3.53%,云杉分别下降了2.14%,0.04%和2.72%;CO₂ 浓度升高并发生重度干旱与低 CO₂ 浓度、土壤水分适宜的情况相比,红松的株高、地径和总枝长的增长率分别下降了2.81%,2.80%和4.97%,云杉分别下降了3.49%,0.99%和4.15%。由此可见,尽管 CO₂ 浓度升高,但土壤水

分胁迫仍使树木生长量的净增长率有所下降,这说明 CO₂ 浓度升高的正效应要小于土壤水分胁迫的负效应,即土壤干旱对树木的不利影响要大于 CO₂ 浓度升高的有利影响。

3.4 高 CO₂ 浓度和土壤干旱化对红松和云杉叶水势的影响

叶水势可表示叶肉细胞对水分吸附力的大小,叶水势越小,表明吸附力越强,水分应力越大,水分的活动能力越弱,反之,则水分的活动能力越强。CO₂ 浓度升高使树木叶水势增大,干旱使叶水势变小(图1)。

在高 CO₂ 浓度条件下,轻度干旱使红松和云杉的叶水势分别减小了0.99%和0.70%,重度干旱使红松和云杉的叶水势分别下降了2.55%和2.92%;在低 CO₂ 浓度条件下,轻度干旱使红松和云杉的叶水势分别减小了0.51%和0.67%,重度干旱使红松和云杉的叶水势分别下降了1.79%和1.91%。在土壤水分适宜的情况下,CO₂ 浓度升高分别使红松

图1 高 CO₂ 和土壤干旱化对红松和云杉叶水势的影响

(a. 红松, b. 云杉)

Fig. 1 Impacts of high CO₂ and soil drought stress on *Pinus Koraiensis* (a) and *Picea Asperata* (b)

和云杉的叶水势增加 1.39% 和 1.13%; 在土壤轻度干旱的情况下, CO₂ 浓度升高分别使红松和云杉的叶水势增加 0.92% 和 1.10%; 在土壤重度干旱的情况下, CO₂ 浓度升高分别使红松和云杉的叶水势增加 0.65% 和 0.15%。CO₂ 浓度升高并伴随土壤轻度干旱, 使红松和云杉叶水势分别增加了 0.41% 和 0.44%; CO₂ 浓度升高并伴随土壤重度干旱, 使红松和云杉叶水势分别减小了 1.13% 和 1.75%。

由此可见, 在相同的土壤湿度下, CO₂ 浓度升高使树木叶水势增大, 水分活动能力加强, 从而可提高树木的光合作用速率, 增加干物质的累积量, 从另一方面说明了 CO₂ 浓度升高对树木的生长有利; 而无论大气中 CO₂ 浓度如何, 土壤水分胁迫都使树木叶水势减小, 使叶肉细胞对水分的吸附力增大, 限制了叶内水分的运动, 从而使树木的光合作用速率减弱, 影响到树木的生长, 这就从植物生理的角度说明了土壤水分胁迫对树木的不利影响。而 CO₂ 浓度升高和土壤水分胁迫对树木的复合影响则要看土壤干旱的程度, 在轻度干旱的情况下, 高 CO₂ 浓度仍使树木叶水势增大, 但随着干旱程度的加重, 树木的叶水势逐渐减小。

4 结论和讨论

试验结果表明, CO₂ 浓度升高使红松和云杉生

长量的增长率提高; 而土壤水分胁迫使树木生长量的增长率下降。对树木的生长量而言, CO₂ 浓度升高的正效应要小于土壤水分胁迫的负效应, 即土壤水分胁迫对树木的不利影响要大于 CO₂ 浓度升高的有利影响。虽然苗木对 CO₂ 浓度和土壤水分等环境因子的响应要比成熟林敏感得多, 但从实验结果仍可以看出, 这种响应与农作物和牧草相比, 仍然要小得多^[23]。

CO₂ 浓度升高使树木叶水势增大, 从而可提高树木的光合作用速率, 增加干物质的累积量; 而土壤水分胁迫使树木叶水势减小, 从而使树木的光合作用速率减弱, 影响到树木的生长, 这就从植物生理的角度说明了 CO₂ 浓度变化和土壤水分胁迫对树木的影响。在轻度干旱的情况下, 高 CO₂ 浓度使树木叶水势增大, 但随着干旱程度的加重, 树木的叶水势逐渐减小。

本试验是在人工气候室内进行的盆栽试验。因此, 受环境条件的影响不可避免地存在, 特别是树木根系的生长和活动空间受到严重束缚, 这在一定程度上会增大水分胁迫的影响程度。此外, 树木的年生长量本身又比较小, 在观测时又难免存在一定的误差。所以, 试验结果的不确定性仍然存在。

参考文献

- 1 高素华, 王春乙. CO₂ 浓度升高对冬小麦、大豆籽粒成分的影响. 环境科学, 1994, 15: (5) 24~ 30
- 2 王春乙, 高素华, 郭建平. 模拟大气中 CO₂ 浓度对大豆影响的试验研究. 生态学报, 1995, 15: (2) 34~ 40
- 3 Wang C Y, Bai Y M, Wen M. A diagnostic experimental of the influence of CO₂ on winter wheat. Env Sci, 1995, 7(2): 167~ 175
- 4 Wang C Y, Bai Y M, Wen M. A diagnostic experimental of the influence of CO₂ enrichment on cotton growth development and yield. Acta Meteor Sin, 1995, 9(4): 501~ 508
- 5 高雷明, 黄银晓, 林瞬华. CO₂ 倍增对羊草物候和生长的影响. 环境科学, 1999, 20(5): 25~ 29
- 6 Leadly P W, Drake B G. Open-top chambers for exposing plant canopies to elevated CO₂ concentration and for measuring net gas exchange. Vegetatio, 1993, 104/105: 3~ 15
- 7 Mortensen L M. Review: CO₂ enrichment in greenhouse. Crop Response Sci, Hort. 1987, 1~ 25
- 8 Wang Futang. impact of climate change on cropping system and its implication for agriculture in China. Acta Meteorologica Sinica. 1997, 11(4): 407~ 415
- 9 裴雯, 尹承陇. 青海云杉种实害虫为害损失量调查. 东北林业大学学报, 2001, 29(2): 62~ 63
- 10 尹承陇, 王桑. 青海云杉种实害虫发生与环境条件关系的调查研究. 甘肃林业科技, 1999, 24(1): 31~ 34
- 11 董希文, 魏侠. 云杉小爪螨对云杉的危害及其防治方法. 防护林科技, 1999, (3): 53~ 54
- 12 贾云, 于景江. 人工红松林疱锈病的调查研究. 东北林业大学学报, 2000, 28(3): 43~ 47
- 13 王燕, 赵士洞. 天山云杉生物生产力的地理分布. 植物生态学报, 2000, 24(2): 186~ 190
- 14 刘京晓, 刘飞. 气候因子对红皮云杉生物生产力的影响. 林业科技, 1998, 23(2): 20~ 21, 24
- 15 阎季峰, 李晶. 水分胁迫对红松幼苗保护酶活性及脂质过氧化作用的影响. 生态学报, 1999, 19(6): 850~ 854
- 16 李晶, 祖元刚. 低温胁迫下红松幼苗活性氧的产生及保护酶的变化. 植物学报, 2000, 42(2): 148~ 152
- 17 邓慧平, 吴正方. 全球气候变化对小兴安岭阔叶红松林影响的动态模拟研究. 应用生态学报, 2000, 11(1): 675~ 679

- 18 陈雄文, 王凤友. 林窗模型 BKPF 模拟红松阔叶混交林群落对气候变化的潜在反应. 植物生态学报, 2000, 24(3): 327~ 331
- 19 郭明辉, 陈广胜. 红松人工林木材解剖特征与气象因子的关系. 东北林业大学学报, 2000, 24(3): 327~ 331
- 20 韩士杰, 周玉梅. 红松幼苗对 CO₂ 浓度升高的生理生态反应. 应用生态学报, 2001, 12(1): 27~ 30
- 21 王森, 代力民. 高 CO₂ 浓度对长白山阔叶红松林主要树种的影响. 应用生态学报, 2000, 28(4): 30~ 35
- 22 陈拓, 李江风. 从树轮纤维素(13C 序列)看树木生长对大气 CO₂ 浓度变化的响应. 冰川冻土, 2001, 23(1): 41~ 45
- 23 郭建平. 中国北方地区主要植物对高二氧化碳浓度和土壤干旱的响应. 北京: 气象出版社, 2003

EXPERIMENTAL STUDY ON THE IMPACTS OF CO₂ CONCENTRATION AND SOIL WATER STRESS ON NURSERY STOCKS OF *PINUS KORAIENSIS* SIEB. ET. ZUCC AND *PICEA ASPERATA* MAST

Guo Jianping Gao Suhua

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Wang Lianmin Wan Lizhi

(Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086)

Abstract

The purpose of the study is to investigate the impact of air temperature raising and soil drought tendency caused by atmospheric CO₂ concentration enrichment on plant species. The impacts of higher CO₂ concentration and soil water stress on *Pinus Koraiensis* Sieb. Et. Zucc and *Picea Asperata* Mast. were studied by using artificial climatic chambers. The results showed that CO₂ concentration enrichment increased the increasing rate of growth value of *Pinus Koraiensis* Sieb. Et. Zucc and *Picea Asperata* Mast., but the soil water stress decreased it. The positive effects of CO₂ concentration enrichment were smaller than that the negative effects of soil water stress. As compared with ambient CO₂ concentration and suitable soil water, the plant height, basal diameter and total branch length of *Pinus Koraiensis* Sieb. Et. Zucc in CO₂ enrichment and slight soil drought decreased by 0.79%, 2.32% and 3.53%, respectively, the *Picea Asperata* Mast decreased by 2.14%, 0.04% and 2.72%. The plant height, basal diameter and total branch length of *Pinus Koraiensis* Sieb. Et. Zucc in CO₂ enrichment and grave soil drought decreased by 2.81%, 2.80% and 4.97%, respectively, the *Picea Asperata* Mast. decreased by 3.49%, 0.99% and 4.15%. Therefore, atmospheric CO₂ enrichment is favor to nursery stock growth, but the net increment rate of nursery stock growth value in soil water stress is still decreasing. CO₂ concentration enrichment increased the leaf water potential, but the soil water stress decreased it. It is explained the impact mechanism of CO₂ concentration changing and soil water stress on tree species from plant physiology. Under slight soil drought case, CO₂ concentration enrichment increased the leaf water potential, but together with soil drought aggravated, leaf water potential of tree species decreased gradually. In the status of CO₂ enrichment and slight soil water stress, the leaf water potential of *Pinus Koraiensis* Sieb. Et. Zucc and *Picea Asperata* Mast. increased by 0.41% and 0.44%, respectively. In the status of CO₂ enrichment and grave soil water stress, the leaf water potential of *Pinus Koraiensis* Sieb. Et. Zucc and *Picea Asperata* Mast. increased by 1.13% and 1.75%, respectively. Simultaneously, it can be seen from the experimental results, the significant impacts of atmospheric CO₂ concentration and soil moisture change on nursery stocks do exist, but the impacts are much smaller compare to the crops and pastures.

Key words: Doubled CO₂ concentration, Soil drought, *Pinus Koraiensis* Sieb. Et. Zucc, *Picea Asperata* Mast.