

增温对毛白杨幼苗叶绿素及叶绿素 荧光参数的影响

吕艳伟, 王光全, 孟庆杰, 张文会
(聊城大学 生命科学学院, 山东 聊城 252059)

摘要: 以毛白杨鲁毛 50 为研究材料, 采用人工气候室内模拟温度增加(+2℃和+4℃)的环境条件(对照为常温条件), 研究了温度升高对毛白杨幼苗叶绿素含量和叶绿素荧光参数的影响。结果表明: 同常温下生长的毛白杨相比, 增温 2℃和增温 4℃处理都显著降低了毛白杨幼苗的叶绿素 a (Chla) 和总叶绿素(Chla+b) 含量, 降幅分别为 12.97%和 13.66%, 11.91%和 12.61%。但 2 种增温处理对叶绿素 b (Chlb) 和 Chla/b 的影响不显著, 降幅分别为 6.84%和 7.53%, 6.96%和 6.60%。增温 2℃和增温 4℃处理对 PS II 最大光化学效率(Fv/Fm) 几乎没有影响, 但对电子传递效率(Yield) 和光化学淬灭系数(qP) 的影响效果不同: 增温 2℃几乎没有引起 Yield 值和 qP 值的变化, 但增温 4℃却显著降低了 Yield 值和 qP 值, 降幅分别为 7.11%和 12.74%。同时, 增温 2℃和增温 4℃都显著降低了毛白杨幼苗的非光化学淬灭系数(qN), 降幅分别为 6.47%和 7.09%。从 2 种增温处理对毛白杨幼苗叶绿素和叶绿素荧光参数的影响来看, 增温对毛白杨幼苗 Chla 及总叶绿素含量具有抑制效应, 同时对毛白杨幼苗光合电子传递过程及效率也具有一定的抑制效应。

关键词: 增温; 毛白杨; 叶绿素; 叶绿素荧光参数

中图分类号: S792.117 文献标识码: A 文章编号: 1004-3268(2011)10-0115-05

Effects of Enhanced Temperature on Chlorophyll Content and Chlorophyll Fluorescence Parameters in *Populus tomentosa* Carr.

LÜ Yan wei, WANG Guang quan, MENG Qing jie, ZHANG Wen hui
(School of Life Sciences, Liaocheng University, Liaocheng 252059, China)

Abstract: The effects of elevated temperature (+2℃ and +4℃) on chlorophyll content and chlorophyll fluorescence in *Populus tomentosa* Carr. were imitated in artificial climate room using the variety of *Populus tomentosa* Lumao50 as material. The results showed that, elevation of 2℃ and 4℃ significantly decreased chlorophyll a and chlorophyll a + b content, 12.97%, 13.66% and 11.91%, 12.61%, respectively. However, it gave little effect on chlorophyll b and chlorophyll a/b, 6.84%, 7.53% and 6.96%, 6.60%, respectively. On the other hand, elevation of 2℃ and 4℃ showed little influence on Fv/Fm. In relation to the effects on Yield and qP, elevated 2℃ and 4℃ caused different results. Elevation of 2℃ little changed Yield and qP, while elevation of 4℃ significantly reduced the Yield and qP values (7.11% and 12.74%). Meanwhile, elevation of 2℃ and 4℃ significantly decreased qN value in the observed seedlings (6.47% and 7.09%). In conclusion, the elevated temperature showed significant inhibition on the chlorophyll a and total chloro-

phyll content, and also inhibited the procedure and efficiency of photosynthetic electron transport.

Key words: Elevated temperature; *Populus tomentosa* Carr.; Chlorophyll content; Chlorophyll fluorescence

近年来,由大气中持续增加的温室气体导致的气候变暖已成为备受关注的全球问题之一。据研究,20 世纪地球表面平均温度提高了 $0.6^{\circ}\text{C}^{[1]}$,并且这种变暖趋势正在加强,预计到 2100 年全球平均气温将升高 $1.4\sim 5.8^{\circ}\text{C}^{[2]}$ 。温度升高将会对植物的生长和生理过程产生重大影响^[3-4]。

一般而言,适当增温能延长植物的生长季,提高光合效率,增加土壤养分的释放^[5],进而提高产量。在没有其他限制因子作用下,温度能够改变植物色素含量、光饱和点光合速率、表观量子产量或者 PS II 光化学效率及光抑制,从而影响植物光合作用^[6-7]。同时,一些研究结果发现,温度增加对植物的影响具有负效应。高素华等^[8]发现,温度增加 1°C ,使得永宁与固原的冬小麦的生长期分别缩短 8d 和 10d,并且使得这里的春小麦茎、叶生物量降低。温度的增加对大豆产量也存在消极影响,并且温度每升高 1°C ,产量降低 $17\%^{[9]}$ 。

尽管目前国内外有关温度升高对植物影响的研究取得了一定的进展,但研究对象主要集中在农作物或 1a 生草本植物上,对木本植物的研究相对较少。毛白杨(*Populus tomentosa* Carr.)作为我国特有的乡土树种,生长速度快,材质优良,适应性强,一直是黄河流域及华北平原地区用材林、农田林网和城乡绿化树种之一^[10]。因此,研究温度升高对毛白杨的影响具有重要的理论和现实意义。鉴于此,以毛白杨鲁毛 50 为研究材料,采用人工气候室内模拟温度增加(增温 2°C 和增温 4°C)的环境条件,研究了温度升高对毛白杨幼苗叶绿素含量和叶绿素荧光参数的影响。

1 材料和方法

1.1 材料

以毛白杨鲁毛 50 为试验材料,其扦插枝条由山东省冠县毛白杨林场提供。

1.2 材料培养

2010 年 3 月进行枝条扦插,待枝条长势稳定后,从中选择健康、无病虫害、高度基本一致的扦插苗移栽到装满匀质土壤的 10 L 塑料盆中。移栽前每盆施 12 g 缓效肥。试验在聊城大学生命科学学院人工气候室内进行。在枝条上的幼叶展开前开始增温处理,试验中每个扦插苗均保留 1 个芽。据测

定,温室内温度为 22°C 左右,相对湿度为 $50\%\sim 60\%$ 。

1.3 温度升高处理

试验设增温 2°C 和增温 4°C 2 种胁迫处理,并设定常温下生长的植株作对照组(CK)。增温通过人工气候室的 CO_2 气体 24 h 连续供给实现, CO_2 装置由 CO_2 传感器、控制模块、电磁阀、流量计、减压阀和 CO_2 钢瓶构成。非增温的气候室只通入等量的空气。以上处理各设 5 次重复,每重复取 4 株毛白杨幼苗。试验从 2010 年 5 月持续到 9 月底,待生长季结束,即 9 月底进行叶绿素含量及叶绿素荧光参数的测定。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 叶绿素含量的测定 测定方法为丙酮法。称取当年生完全展开的叶片 0.2 g,加 80%的丙酮和少量石英砂研磨至匀浆,参考 Wellburn^[11]的方法,测定 470、646、663 nm 下的吸光度,用吸光度值与叶片鲜质量比值来表示叶绿素含量。

1.4.2 叶绿素荧光指标的测定 增温胁迫期间,在各处理中随机选择 5 个植株的第 4 片完全伸展叶片用于测定叶绿素荧光。采用调谐式荧光仪(PAM 2100, Walz, Effeltrich, Germany)按 Brugnoli 等^[12]描述的方法测定同一叶片的叶绿素荧光参数。测定前叶片暗适应至少 30 min,参数的计算按 Rosenqvist 等^[13]的方法进行。测定指标包括 F_v/F_m (PS II 最大光化学量子产量)、Yield(电子传递效率)、 qP (光化学淬灭系数)和 qN (非光化学淬灭系数)。

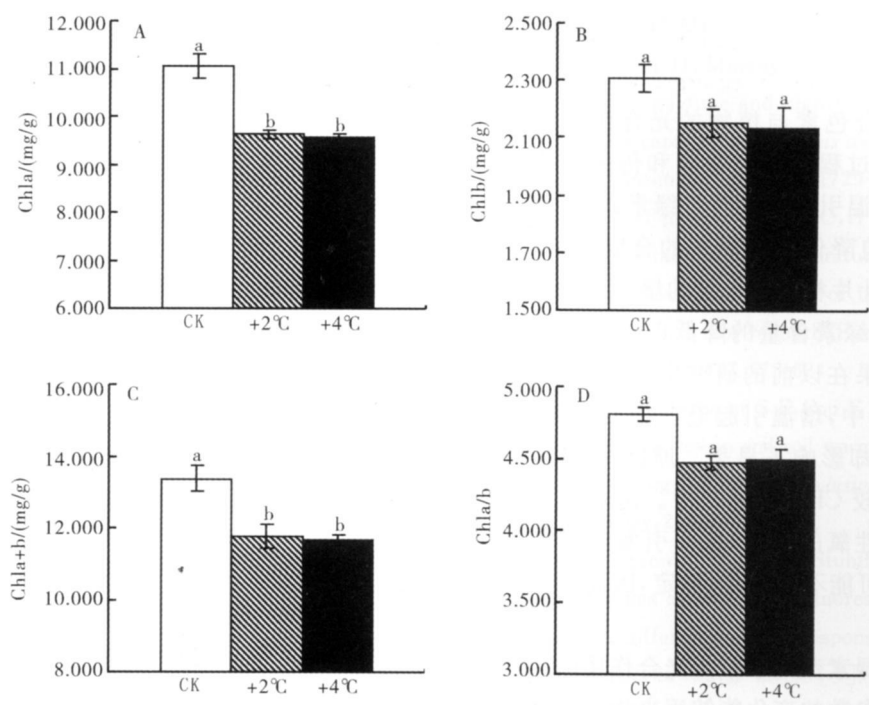
1.5 数据处理

试验数据采用 SPSS 11.5 进行单因素方差分析,若处理间差异显著,则利用 Turkey's 进行处理间的多重比较。

2 结果与分析

2.1 增温处理对毛白杨叶绿素含量的影响

同常温下生长的毛白杨相比,增温 2°C 和增温 4°C 处理都显著降低了 Chla(图 1A)和 Chla+b(图 1C)的含量,降幅分别为 12.97% 和 13.66% , 11.91% 和 12.61% 。对 Chlb(图 1B)和 Chla/b(图 1D)的影响较小,降幅分别为 6.84% 和 7.53% , 6.96% 和 6.60% 。尽管 Chlb、Chla/b 有所减小,但是差异没有达到显著水平。



不同字母表示在 0.05 水平差异显著。下同

图 1 增温对毛白杨幼苗叶绿素含量的影响

2.2 增温处理对毛白杨叶绿素荧光参数的影响

同常温下生长的毛白杨相比, 增温 2 °C 和增温 4 °C 处理对 F_v/F_m 几乎都没有影响 (图 2A)。但同常温相比, 增温 2 °C 和增温 4 °C 对 Yield 值的影响不同: 增温 2 °C 几乎没有引起 Yield 值的变化, 但增温 4 °C 却显著降低了 Yield 值, 降幅为 7.11% (图 2B)。2 种增温处理对光化学淬灭系数 q_P 的影响趋

势同对 Yield 值的影响: 增温 2 °C 几乎没有引起 q_P 值的变化, 但增温 4 °C 却显著降低了 q_P 值, 降幅为 12.74% (图 2C)。非光化学淬灭系数 q_N 反映的是 PS II 天线色素吸收的光能不能用于光合电子传递而以热的形式耗散掉的光能部分。同常温相比, 增温 2 °C 和增温 4 °C 都显著降低了试验苗的 q_N 值, 降幅分别为 6.47% 和 7.09% (图 2D)。

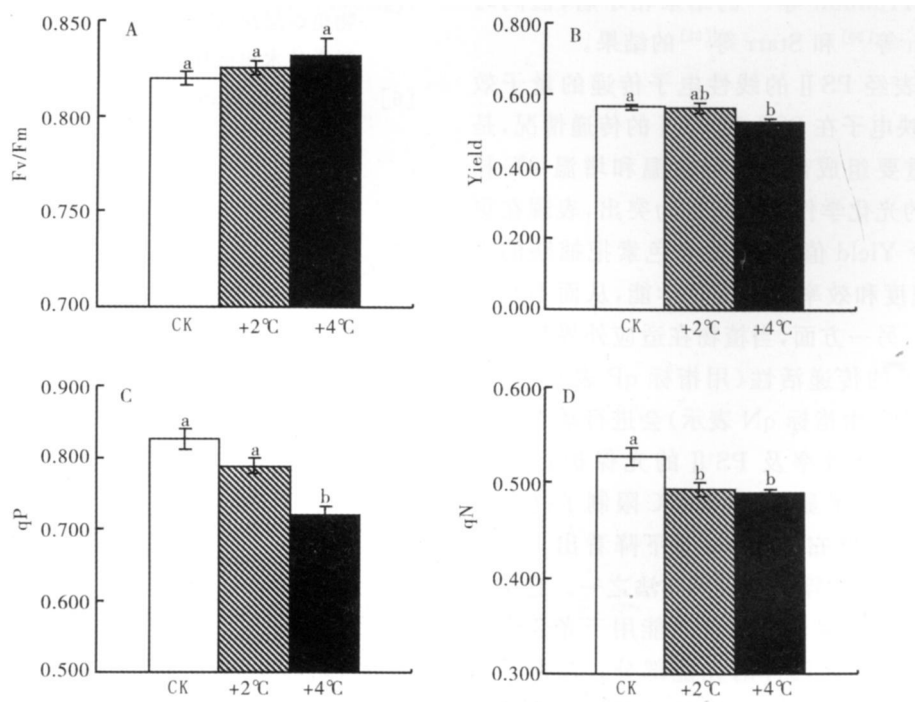


图 2 增温对毛白杨幼苗叶绿素荧光参数的影响

3 讨论

叶片中的光合色素与植物的光合作用休戚相关,其在光合作用过程中起到吸收和传递光能的作用。本研究中,增温引起了叶片叶绿素含量的降低,这可能与增温胁迫降低了叶绿素的合成有关,同时也与叶片变薄和叶片相对含水量的增加有关。在增温胁迫环境下,叶绿素含量的降低以及光合气体交换速率下调的结果在以前的研究中有报道^[14 15]。另一方面,本试验中,增温引起毛白杨 Chla 含量显著减少,对 Chlb 却影响不显著。原因可能是 Chla 对活性氧的反应较 Chlb 敏感^[16 17]。由于增温胁迫引起植物体内活性氧的积累,进而引发叶绿素的破坏,而此间 Chla 可能不及 Chlb 稳定,因而更易分解破坏。

植物体内叶绿素荧光参数为光合作用的内部探针。叶绿素荧光参数的变化能够用来指示植物体内光合产物的吸收、转化和生理条件的转变过程。因而,叶片荧光分析常被用来评估和研究植物对外界环境胁迫的反应。 F_v/F_m 可代表 PS II 的最大光化学效率,是反映 PS II 光化学效率的稳定指标,如果 F_v/F_m 比值降低则表明 PS II 潜在活性中心受损,抑制了光合作用的原初反应,光合电子传递过程受到影响。本研究中,PS II 光化学的最大效率 F_v/F_m 在 2 种增温处理中几乎没有改变,说明本试验中增温对试验材料的光合系统没有损害。这一结果同 Liao 等^[18] 和 Trunbull 等^[19] 的结果相矛盾,但同时支持了 Lloren 等^[20] 和 Starr 等^[21] 的结果。

Yield 代表经 PS II 的线性电子传递的量子效率,常用来反映电子在 PS I 和 PS II 的传递情况,是荧光参数的重要组成部分。同常温和增温 2℃ 相比,增温 4℃ 的光化学作用影响更为突出,表现在更大程度地减少 Yield 值,说明光合色素把捕获的光能以更低的速度和效率转化为化学能,从而不利于光合同化^[22]。另一方面,当植物在适应外界环境胁迫时,光合电子的传递活性(用指标 qP 表示)与非辐射光能热耗散(由指标 qN 表示)会进行动态交互作用,而使得光合效率及 PS II 的光保护更加优化^[23 24]。本试验结果显示,增温 4℃ 限制了光合电子传递活性,可以从它的 qP 显著下降看出。另一方面, qN 是非光化学猝灭的表示方法之一。它反映的是 PS II 天线色素吸收的光能不能用于光合电子传递而以热的形式耗散掉的光能部分。与常温相比,增温胁迫条件下降低的 qN 反映了其更低的热耗散能力,因而限制了光保护^[25]。

综上所述,同常温下生长的毛白杨相比,增温 2℃ 和增温 4℃ 处理都显著降低了幼苗的 Chla 和总叶绿素含量,对 Chlb 和 Chla/b 的影响不显著。增温 2℃ 和增温 4℃ 处理对 F_v/F_m 几乎没有影响,但对 Yield 和 qP 的影响效果不同:增温 2℃ 几乎没有引起 Yield 值和 qP 值的变化,但增温 4℃ 却显著降低了 Yield 值和 qP 值。同时,增温 2℃ 和增温 4℃ 都显著降低了试验毛白杨幼苗的 qN 值。

参考文献:

- [1] Houghton J T, Davidson E A, Woodwell G M. Missing sinks, feedbacks, and understanding the role of terrestrial ecosystems in the global carbon balance[J]. *Global Change Biogeochemical Cycles*, 1998, 12: 25-34.
- [2] Folland C K, Karl T R, Christy J R, *et al.* The scientific basis contribution of working group to third assessment report to the intergovernmental panel on climate change [M]. // Houghton J T, Ding Y, Griggs D J, *et al.* Climate change. Cambridge: Cambridge University Press, 2001: 4-13.
- [3] Amthor J S. Terrestrial higher plant response to increasing atmospheric CO₂ in relation to the global carbon cycle[J]. *Global Change Biol*, 1995, 1: 243-274.
- [4] Morison J I L, Lawlor D W. Interactions between increasing CO₂ concentration and temperature on plant growth[J]. *Plant Cell and Environment*, 1999, 12: 927-934.
- [5] 刘建国. 全球二氧化碳浓度升高和气候变暖对六个生物组织层次的影响 [M]. // 当代生态学博论. 北京: 中国科学技术出版社, 1992: 369-380.
- [6] Long S P, Hutcheon P R. Primary production in grasslands and coniferous forests with climate change: an overview [J]. *Ecology Application*, 1991, 1(2): 139-156.
- [7] Saxe H, Cannell M G R, Johnsen Ø ystein, *et al.* Tree and forest functioning in response to global warming [J]. *New Phytologist*, 2001, 149: 369-400.
- [8] 高素华, 郭建平, 王春乙. 气候变化对旱地作物生产的影响 [J]. *应用气象学*, 1995, 6(增刊): 16-22.
- [9] Lobell D, Asner G. Response to comment on climate and management contributions to recent trends in US agricultural yields [M]. *American Association for the Advancement of Science*, 2003: 1505.
- [10] 朱莉飞, 王华芳. 毛白杨研究现状 [J]. *黑龙江农业科学*, 2010(6): 155-157.
- [11] Wellburn A R. The spectra determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different res-

- olution[J]. Journal of Plant Physiology, 1994, 144: 307-313.
- [12] Brugnoli E, Björkman O. Chloroplast movements in leaves: influence on chlorophyll fluorescence and measurements of light induced absorbance changes related to ΔpH and zeaxanthin formation[J]. Photosynthesis Research, 1992, 32: 23-35.
- [13] Rosenqvist E, van Kooten O. Chlorophyll fluorescence: a general description and nomenclature[M]. // DeEll J R, Toivonen P M A. Practical applications of chlorophyll fluorescence in plant biology. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003: 31-78.
- [14] Roden J S, Ball M C. The effects of elevated CO_2 on growth and photosynthesis of two eucalyptus species to high temperature and water deficits[J]. Plant Physiology, 1996, 111: 909-916.
- [15] Callaway R M, Delucia E H, Thomas E M. Compensatory responses of CO_2 exchange and biomass allocation and their effects on the relative growth rate of ponderosa pine in different CO_2 and temperature regimes[J]. Oecologia, 1994, 98: 159-166.
- [16] 林植芳, 李双顺, 林桂珠, 等. 水稻叶片的衰老与超氧化物歧化酶活性及脂质过氧化作用的关系[J]. 植物学报, 1984, 26(6): 605-615.
- [17] 伍泽堂. 超氧自由基与叶片衰老时叶绿素破坏的关系[J]. 植物生理学通讯, 1991, 27(4): 277-279.
- [18] Liao J X, Wang G X. Effects of drought, CO_2 concentration and temperature increasing on photosynthesis rate, evapotranspiration, and water use efficiency of spring wheat[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13: 547-550.
- [19] Trunbull M H, Murthy R, Griffin K L. The relative impacts of daytime and nighttime warming on photosynthesis capacity in *Populus deltoids*[J]. Plant Cell and Environment, 2002, 25: 1729-1737.
- [20] Lloren L, Peñuelas J, Beier C, *et al.* Effects of an experimental increase of temperature and drought on the photosynthesis performance of two *Ericaceous* shrub species along a north-south European gradient[J]. Ecosystems, 2004, 7: 613-624.
- [21] Starr G R, Oberbauer S F, Pop E W. Effects of lengthened growing season and soil warming on the phenology and physiology of *Polygonum bistorta*[J]. Global Change and Biology, 2000, 6: 357-369.
- [22] Scheuermann R, Biehler K, Stuhlfauth T, *et al.* Simultaneous gas exchange and fluorescence measurements indicate differences in the response of sunflower, bean and maize to water stress[J]. Photosynthesis Research, 1991, 27: 189-197.
- [23] Ruban A V, Horton P. Regulation of non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence in plants[J]. Australian Journal of Plant Physiology, 1995, 22: 221-230.
- [24] Ort D. When there is too much light[J]. Plant Physiology, 2001, 125: 29-32.
- [25] Lu C, Zhang J. Photosynthetic CO_2 assimilation, chlorophyll fluorescence and photoinhibition as affected by nitrogen deficiency in maize plants[J]. Plant Science, 2000, 151: 135-143.