

铅污染对茶条槭和五角槭光合作用和 叶绿素荧光特性的影响

李亚藏¹, 梁彦兰¹, 王庆成²

(1. 安阳工学院 土木与建筑工程学院, 河南 安阳 455000; 2. 东北林业大学 林学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘 要: 以北方阔叶树种茶条槭(*Acer ginnala*)和五角槭(*Acer mono*) 1 年生苗木为材料, 采用土壤和风化砂混合物作为盆栽基质, 设置 0(CK)、100、500、1 000、2 000 mg/kg 5 种土壤 Pb²⁺ 质量浓度, 研究土壤铅污染对苗木叶片光合作用和叶绿素荧光特性的影响。结果表明: 总体趋势上, 随着土壤 Pb²⁺ 质量浓度的增加, 茶条槭的光合速率(P_n)逐渐下降, 蒸腾速率(Tr)、气孔导度(G_s)和胞间 CO₂ 浓度(C_i)先升后降; 五角槭的光合速率先升后降, 蒸腾速率和气孔导度逐渐下降, 胞间 CO₂ 浓度逐渐升高; 随着土壤 Pb²⁺ 质量浓度的增加, 两树种的原初光能转换效率(F_v/F_m)和 PS II 的潜在活性(F_v/F_o)先升后降, 光化学猝灭系数(qP)和光化学量子效率(Φ_{PSII})逐渐下降, 非光化学猝灭系数(qN)茶条槭表现为先升后降; 在土壤 Pb²⁺ 质量浓度大于 500 mg/kg 时, 茶条槭光合速率的下降是气孔限制和非气孔限制二者共同作用的结果, 五角槭光合速率的下降主要由非气孔限制因素所致; 两树种各叶绿素荧光参数与光合速率均无显著相关; 在土壤 Pb²⁺ 质量浓度低于 1 000 mg/kg 时, 铅污染对两树种生长的影响不显著, 两树种均可作为目前城市中铅污染区域的绿化树种。

关 键 词: 茶条槭; 五角槭; 铅污染; 光合作用; 叶绿素荧光特性

中图分类号: S792.35

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2012)02-0168-05

Influence of Pb pollution on photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics in *Acer ginnala* and *Acer mono*

LI Ya-cang¹, LIANG Yan-lan¹, WANG Qing-cheng²

(1. Civil and Building Engineering College, Anyang Institute of Technology, Anyang, Henan 455000, China; 2. Academy of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

Abstract: Using soil and weathered sand as matrix, two northern broadleaved annual seedlings *Acer ginnala* and *Acer mono* were potted to study the influence of soil Pb pollution on photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics in leaves of seedlings by designing 5 kinds of Pb²⁺ concentration (0, 100, 500, 1 000, 2 000 mg/kg). The result showed with increasing concentration of soil Pb²⁺, for *Acer ginnala*, P_n declined continuously and Tr , G_s and C_i first increased and then decreased and for *Acer mono*, P_n first increased and then decreased, Tr and G_s declined continuously and C_i increased continuously. With increasing Pb²⁺ concentrations in soil, F_v/F_m and F_v/F_o first increased and then decreased, qP and Φ_{PSII} declined continuously for two trees, qN first increased and then decreased for *Acer ginnala*. In Pb²⁺ concentrations greater than 500 mg/kg, stomatal and non-stomatal limitations together caused P_n declining for *Acer ginnala* and non-stomatal limitation caused P_n declining for *Acer mono*; the chlorophyll fluorescence parameters were not significantly related to photosynthetic rate for two trees and in Pb²⁺ concentrations less than 1 000 mg/kg, growth of two trees was not significantly effected. So the two trees could be applied to the present city with Pb pollution for green area construction.

Key words: *Acer ginnala*; *Acer mono*; Pb pollution; photosynthesis; chlorophyll fluorescence

收稿日期: 2012-01-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(30371149); 黑龙江省科技计划项目(GCO1KBKB213)

作者简介: 李亚藏(1977—), 女, 河北任丘人, 硕士, 讲师, 主要从事城市林业和植物抗性生理研究, liyacang@sohu.com

随着城市交通量的增加,铅污染已经成为当前城市主要的污染。铅通过采矿、冶炼、含铅汽油的燃烧等方式进入土壤,很难被移除,也不能被微生物降解。铅还会影响植物的生长发育。光合作用为植物的生长提供能量和物质基础。虽然已有关于铅对植物光合作用影响的报道^[1-3],但对铅抑制植物光合作用机制的报道较少。茶条槭(*Acer ginnala*)和五角槭(*Acer mono*)是广布于中国西北、东北和华北的山地树种,其树姿优美,叶形奇特,季相明显,具有较高的绿化潜力,但目前在城市绿化中的应用尚十分有限。笔者对在不同程度铅污染土壤种植的茶条槭和五角槭苗木的光合作用和叶绿素荧光参数进行研究,分析铅污染的内在机制,旨在为城市绿化树种的选择及科学应用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

以茶条槭和五角槭1年生实生苗为试材,其栽培基质为东北地区典型的暗棕壤腐殖层、淀积层土壤的混合物(pH 5.5,有机质含量为10%)和风化沙。

1.2 方法

采用纯度为99%的 $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 试剂(分析纯)配制成 Pb^{2+} 质量浓度分别为0、100、500、1 000、2 000 mg/kg的基质,对应设置1个对照,4个铅处理,分别记作CK、Pb100、Pb500、Pb1000、Pb2000。

土壤处理、苗木栽植见文献[4]。指标测定方法见文献[5]。苗木栽植后,桶下垫托盘,采用常规水分管理措施,每次浇水后将渗到托盘中的溶液倒回到桶中。

1.3 数据处理

采用Excel 2000和SPSS 13.0软件处理试验数据。

2 结果与分析

2.1 铅污染对茶条槭和五角槭叶片光合作用的影响

由图1可见,茶条槭叶片的净光合速率(P_n)随着土壤中 Pb^{2+} 质量浓度的增加而降低,Pb2000处理比对照显著降低45.2%($P < 0.05$);五角槭叶片的 P_n 在

Pb100处理出现峰值,显著高出对照120.7%,之后下降,Pb2000处理比对照低47.8%。

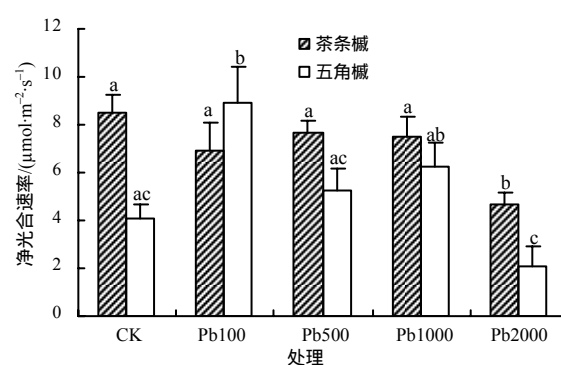


图1 各处理茶条槭和五角槭叶片的净光合速率

Fig.1 P_n of leaves in *Acer ginnala* and *Acer mono* under different treatments

由图2可见,茶条槭叶片的蒸腾速率(T_r)随着土壤中 Pb^{2+} 质量浓度的增加先降后升再下降,分别于Pb100和Pb1000处理出现谷值和峰值,Pb2000处理仍高出对照25.7%,各处理间差异显著($P < 0.05$);五角槭的 T_r 与土壤中 Pb^{2+} 的质量浓度呈显著负相关($r = -0.93$),随土壤中 Pb^{2+} 质量浓度的升高而下降,各铅处理均与对照差异显著($P < 0.05$),Pb2000处理比对照降低82.3%。

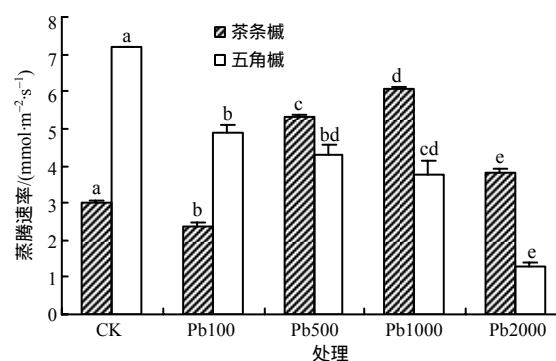


图2 各处理茶条槭和五角槭叶片的蒸腾速率

Fig.2 T_r of leaves in *Acer ginnala* and *Acer mono* under different treatments

由图3可见,铅污染下,茶条槭和五角槭叶片气孔导度(G_s)的变化趋势与蒸腾速率的变化趋势相似。茶条槭在Pb500处理出现峰值,随后下降,Pb2000处理比对照降低4.1%;五角槭的 G_s 除Pb100外的其余处理均显著低于对照,Pb2000处理比对照低80.6%。

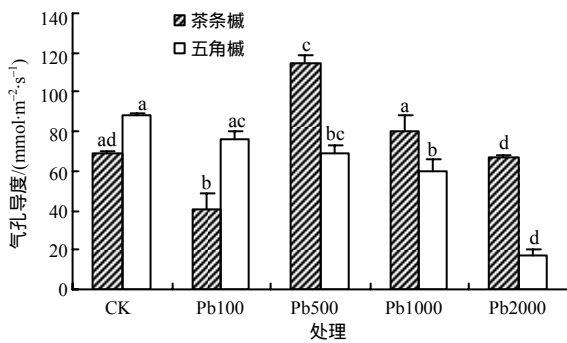
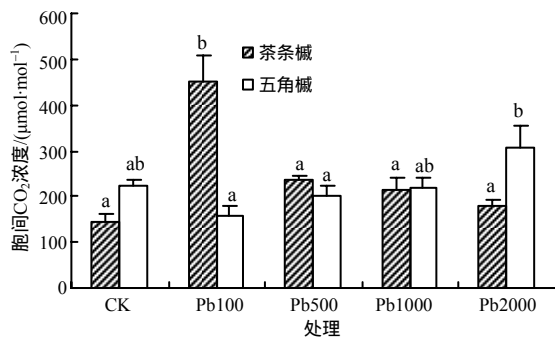


图3 各处理茶条槭和五角槭叶片的气孔导度

Fig.3 Gs of leaves in *Acer ginnala* and *Acer mono* under different treatments

由图4可知,铅污染下,茶条槭叶片的胞间CO₂浓度(Ci)在Pb100处理出现峰值,且显著高于对照(P<0.05),随后迅速下降,Pb2000处理仍高出对照23.8%;五角槭在Pb100处理出现谷值,随后逐渐升高,Pb2000处理高出对照35.8%。

图4 各处理茶条槭和五角槭叶片的胞间CO₂浓度Fig.4 Ci of leaves in *Acer ginnala* and *Acer mono* under different treatments

2.2 铅污染对茶条槭和五角槭叶片叶绿素荧光参数的影响

由图5可见,铅污染下,茶条槭和五角槭的原初光能转换效率(F_v/F_m)在低浓度处理(Pb100)下略有上升,随后下降,Pb2000处理分别比对照降低1.7%和0.4%,各处理与对照的差异均不显著(P<0.05)。

由图6可见,茶条槭的PS II 潜在活性(F_v/F_o)与 F_v/F_m 的变化趋势相似,Pb100处理下略有上升,随后大幅下降,Pb2000处理比对照降低5.3%;五角槭的 F_v/F_o 随着土壤中Pb²⁺质量浓度的增加先升高, Pb1000处理时出现峰值,随后下降,但Pb2000处理

仍高出对照4.4%。两树种各处理间的差异均不显著(P<0.05)。

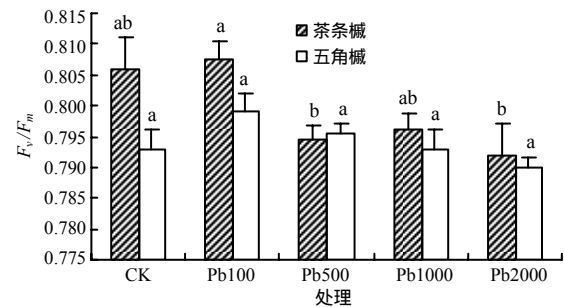


图5 各处理茶条槭和五角槭叶片的原初光能转换效率

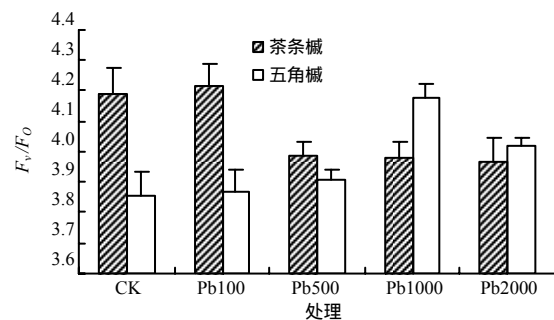
Fig.5 F_v/F_m of leaves in *Acer ginnala* and *Acer mono* under different treatments

图6 各处理茶条槭和五角槭叶片的PS II潜在活性

Fig.6 F_v/F_o of leaves in *Acer ginnala* and *Acer mono* under different treatments

由图7可见,茶条槭和五角槭的光化学量子效率(Φ_{PSII})随Pb²⁺质量浓度的增加而降低,Pb100处理和Pb500处理与对照差异显著(P<0.05);Pb2000处理茶条槭和五角槭的 Φ_{PSII} 分别比对照降低了13.0%和12.6%。

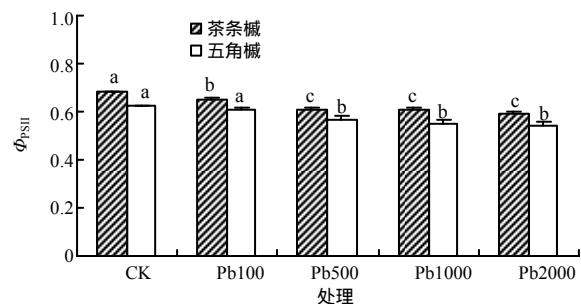


图7 各处理茶条槭和五角槭叶片的光化学量子效率

Fig.7 Φ_{PSII} of leaves in *Acer ginnala* and *Acer mono* under different treatments

由图8可见,茶条槭和五角槭的光化学猝灭系数(qP)与光化学量子效率(Φ_{PSII})的变化趋势相似,即 qP 随 Pb^{2+} 质量浓度的增加而降低, Pb100处理和Pb500处理与对照差异显著($P<0.05$); Pb2000处理茶条槭和五角槭的 qP 分别比对照降低了9.1%和12.2%。

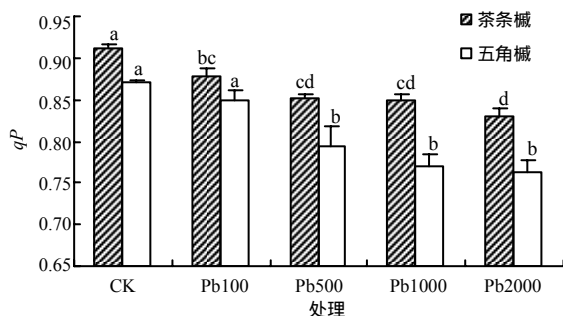


图 8 各处理茶条槭和五角槭叶片的光化学猝灭系数

Fig.8 qP of leaves in *Acer ginnala* and *Acer mono* under different treatments

由图9可见,茶条槭的非光化学猝灭系数(qN)随着 Pb^{2+} 质量浓度的增加而增加, Pb2000处理比对照高37.5%;五角槭的 qN 在Pb1000处理达到峰值, Pb2000处理比对照低8.2%。两树种各处理间的差异均不显著($P<0.05$)。

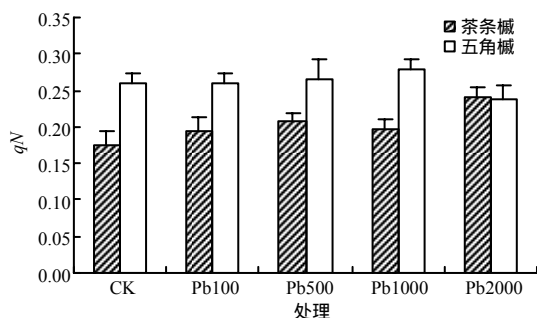


图 9 各处理茶条槭和五角槭叶片的非光化学猝灭系数

Fig.9 qN of leaves in *Acer ginnala* and *Acer mono* under different treatments

3 结论与讨论

光合参数对土壤铅污染的响应特征。本试验结果显示,茶条槭Pb100处理净光合速率稍低于对照,蒸腾速率和气孔导度出现谷值,且与对照差异显著($P<0.05$),胞间 CO_2 浓度显著高于对照($P<0.05$),表明Pb100处理下净光合速率的下降主要由非气孔因素所致,也可能是对铅最初胁迫的一种适应性调

整。在 Pb^{2+} 质量浓度大于500 mg/kg时,净光合速率、气孔导度和胞间 CO_2 浓度随 Pb^{2+} 质量浓度的增加而下降,表明此时叶片净光合速率下降是由叶肉细胞光合活性下降和气孔导度下降导致 CO_2 供应减少共同作用的结果。低 Pb^{2+} 质量浓度(100 mg/kg)使五角槭的净光合速率显著升高,此时, C_i 的下降可能是由于低浓度 Pb^{2+} 对 P_n 的刺激而消耗较多的胞间 CO_2 所致。随着 Pb^{2+} 质量浓度的增加,净光合速率又逐渐下降。在 Pb^{2+} 质量浓度大于500 mg/kg时,净光合速率和气孔导度降低的同时伴随着胞间 CO_2 浓度升高,表明此时叶片净光合速率的下降主要是由于叶肉细胞光合活性下降导致细胞间 CO_2 积累。

叶绿素荧光参数对土壤铅污染的响应特征。在高浓度铅胁迫(Pb^{2+} 质量浓度>500 mg/kg)下,两树种的 F_v/F_m 、 Φ_{PSII} 、 qP 及茶条槭的 F_v/F_o 均低于对照;五角槭各处理的 F_v/F_o 值均高于对照。 F_v/F_m 值和 F_v/F_o 值的降低,说明叶片PS II的原初光化学效率和从天线色素到PS II反应中心的传能效率均明显受到土壤铅污染的影响,出现了光抑制现象。茶条槭 F_v/F_o 的下降幅度大于 F_v/F_m ,说明土壤铅污染对茶条槭传能效率的抑制比对其光能转化效率的抑制更显著;对五角槭而言,土壤铅污染促进了传能效率,抑制了光能的转化。

两树种的 Φ_{PSII} 值随着土壤 Pb^{2+} 质量浓度的增加而下降,说明铅处理使两树种PS II反应中心部分失活或破坏,光化学反应的效率降低。

qP 和 qN 是反映叶片对激发能利用情况的指标^[6]。本试验结果表明,随着土壤 Pb^{2+} 质量浓度的增加,两树种的 qP 值下降,从而抑制PSII光合电子传递能力,降低电子传递速率。茶条槭的 qN 随土壤 Pb^{2+} 质量浓度的增加而升高;五角槭的 qN 在Pb1000处理达到峰值, Pb2000处理比对照降低8.2%,表明茶条槭通过非辐射能量(如热能)途径耗散过剩光能的能力较强,保护自身光合机构不受铅伤害的能力^[7]较五角槭稍强。

茶条槭和五角槭各项叶绿素荧光参数与光合速率的相关性均不显著,由此可见,铅污染对两树种光合作用的影响是多方面的。叶绿素的降解及叶绿素细胞始终遭到破坏也会导致 P_n 下降^[8]。

叶绿素荧光参数可作为衡量逆境条件下植物抗逆反应的指标之一^[9]。从各处理间的显著性看,除茶条槭和五角槭的 Φ_{PSII} 和 qP 分别在 Pb^{2+} 质量浓度大于100、500 mg/kg时与对照差异显著外,其他处理各指标与对照的差异均不显著($P<0.05$)。两树种的光合速率只有在 Pb 2000处理下显著低于对照($P<0.05$)。结合两树种在铅污染下的生长反应^[10]和表观症状,可以确定在土壤 Pb^{2+} 质量浓度低于1 000 mg/kg时对两树种生长的影响不显著。哈尔滨市土壤表层铅含量为3.91~181.66 mg/kg^[11],北京市3条典型公路出京方向右侧土壤的铅含量为39.87~164.67 mg/kg^[12],可见,城市中铅污染的程度远低于试验中所设 Pb^{2+} 质量浓度;所以,两树种均可作为铅污染城市的绿化树种。

参考文献:

- [1] 龚双姣, 马陶武, 姜业芳. 铅胁迫对3种藓类植物细胞伤害及光合色素含量的影响[J]. 西北植物学报, 2009, 29(8): 1630-1636.
- [2] Burzyski M, Klobus G. Changes of photosynthetic parameters in cucumber leaves under Cu, Cd, and Pb stress[J]. Photosynthetica, 2004, 42(4): 505-510.
- [3] Kosobrukhov A, Knyazeva I, Mudrik V. Plantago major plants responses to increase content of lead in soil: Growth and photosynthesis[J]. Plant Growth Regulation, 2004, 42: 145-151.
- [4] 李亚藏, 王庆成, 马树华. 四种北方阔叶树种苗木对土壤镉胁迫的生长反应与抗性比较[J]. 应用生态学报, 2005, 16(4): 655-659.
- [5] 马树华, 王庆成, 李亚藏. 汽车尾气对四种北方阔叶树叶叶绿素荧光特性的影响[J]. 生态学杂志, 2005, 24(1): 15-20.
- [6] 王建波, 孙国荣, 陈刚, 等. Na_2CO_3 胁迫下星星草幼苗叶片PS II光能利用和耗散与培养基质渗透势的关系[J]. 生态学报, 2006, 26(1): 115-121.
- [7] 许耀照, 曾秀存, 郁继华, 等. 水杨酸对高温胁迫下黄瓜幼苗叶绿素荧光参数的影响[J]. 西北植物学报, 2007, 27(2): 267-271.
- [8] Ohe M, Rapolu M, Mieda T, et al. Decline in leaf photooxidative-stress tolerance with age in tobacco[J]. Plant Science, 2005, 168: 1487-1493.
- [9] 陈建明, 俞晓平, 程家安. 叶绿素荧光动力学及其在植物抗逆生理研究中的应用[J]. 浙江农业学报, 2006, 18(1): 51-55.
- [10] 李亚藏, 王庆成. 土壤铅胁迫下4种北方阔叶树种苗木的生长反应及抗性比较[J]. 南京林业大学学报, 2011, 35(4): 143-146.
- [11] 陈立新, 赵淑苹, 段文标. 哈尔滨市不同绿地功能区土壤重金属污染及评价[J]. 林业科学, 2007, 43(1): 65-71.
- [12] 王崇臣, 李曙光, 黄忠臣. 公路两侧土壤中铅和镉污染以及存在形态分布的分析[J]. 环境污染与防治, 2009, 31(5): 80-82.

责任编辑: 王赛群