

doi:10.11707/j.1001-7488.20160703

2 种农药胁迫对油桐幼苗叶绿素荧光特性及生长的影响^{*}

万 盼 熊兴政 黄小辉 邬静淳 欧 阳 邓雪梅 刘 芸

(西南大学资源环境学院林学系 重庆 400716)

摘 要: 【目的】探讨农药胁迫对油桐幼苗叶绿素荧光特性及生长的影响,为科学指导三峡库区油桐种植、减少库区面源污染提供理论参考。【方法】以盆栽油桐幼苗为材料,在其土壤中喷施不同浓度百草枯(原药/水 = 1/50, 1/100, 1/200, 1/400 和 1/800)和氰戊·乐果(原药/水 = 1/125, 1/250, 1/500, 1/1 000 和 1/2 000),以喷施清水(放置 6 h 的自来水)为对照,并分别在处理后第 30 天测定幼苗叶绿素含量和荧光特性,第 60 天测定其生长指标。【结果】百草枯和氰戊·乐果处理均可降低油桐幼苗叶绿素含量,其浓度越高叶绿素含量越低,且高浓度(百草枯 $\geq 1/200$, 氰戊·乐果 $\geq 1/500$)处理下差异均达到显著水平($P < 0.05$)。高浓度百草枯($\geq 1/200$)和氰戊·乐果($\geq 1/500$)处理下,油桐幼苗的 PS II 最大光化学效率(F_v/F_m)、光化学猝灭系数(q_p)和电子传递速率(ETR)均显著低于对照($P < 0.05$),而非光化学淬灭系数(NPQ)则显著高于对照($P < 0.05$);商品规定施用浓度(百草枯 = 1/400, 氰戊·乐果 = 1/1 000)处理下,油桐幼苗的 F_v/F_m , q_p , ETR 和 NPQ 均低于对照(CK),但差异未达显著水平($P > 0.05$) (氰戊·乐果处理下油桐幼苗的 ETR 显著低于对照除外)。高浓度百草枯($\geq 1/200$)和氰戊·乐果($\geq 1/500$)处理对油桐幼苗株高、地径和单株生物量的生长均有显著抑制作用($P < 0.05$),且浓度越高抑制作用越强;商品规定施用浓度处理下,百草枯(1/400)可促进油桐幼苗株高、地径和单株生物量的生长,氰戊·乐果(1/1 000)则抑制油桐幼苗株高和单株生物量的生长,却可促进幼苗地径的生长,但这些差异均未达显著水平($P > 0.05$)。高浓度百草枯($\geq 1/200$)和氰戊·乐果($\geq 1/500$)处理均显著抑制油桐幼苗的根冠比生长($P < 0.05$);商品规定施用浓度百草枯(1/400)和氰戊·乐果(1/1 000)分别促进和抑制油桐幼苗根冠比的生长,但差异均未达到显著水平($P > 0.05$)。【结论】高浓度百草枯和氰戊·乐果能够显著降低油桐幼苗叶绿素含量和光合速率,从而抑制油桐幼苗株高、地径和单株生物量的生长,降低油桐幼苗根冠比,进而导致根系吸收面积减少,影响幼苗后期的生长。在商品规定施用浓度下,百草枯和氰戊·乐果的施用对油桐幼苗光合速率和生长影响均较小。

关键词: 油桐; 农药胁迫; 叶绿素荧光特性; 生长量

中图分类号: Q948.1; S714.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-7488(2016)07-0022-08

Effects of Pesticides Stress on the Chlorophyll Fluorescence Characteristics and Growth of *Vernicia fordii* Seedlings

Wan Pan Xiong Xingzheng Huang Xiaohui Wu Jingchun Ou Yang Deng Xuemei Liu Yun

(Department of Forestry, College of Resources and Environment, Southwest University Chongqing 400716)

Abstract: 【Objective】In this study, the chlorophyll fluorescence characteristics and growth of *Vernicia fordii* (tung-oil) seedlings under pesticides stress were analyzed in order to guide tung oil cultivation and provide theoretical references for reducing non-point source pollution in the Three Gorges Reservoir Area. 【Method】A pot experiment was conducted to study and compare the chlorophyll contents, chlorophyll fluorescence and growth of tung-oil seedlings under different concentrations of paraquat and fenvalerate-dimerthoate. Levels of paraquat and fenvalerate-dimerthoate were technical/water = 1/50, 1/100, 1/200, 1/400 and 1/800 and technical/water = 1/125, 1/250, 1/500, 1/1 000 and 1/2 000, respectively. Water treatment served as control. 【Results】Results showed that the chlorophyll content differed under different concentrations of paraquat and fenvalerate-dimerthoate and the chlorophyll content decreased with increasing concentration. These differences were significant in the high concentrations treatment (paraquat $\geq 1/200$ and fenvalerate-dimerthoate $\geq 1/500$). The (F_v/F_m) of PS II, q_p and ETR of tung-oil seedlings under high concentrations of paraquat ($\geq 1/200$) and fenvalerate-dimerthoate ($\geq 1/500$) were significantly lower than the CK ($P < 0.05$), but the NPQ was

收稿日期: 2015-06-17; 修回日期: 2015-10-11。

基金项目: 国家自然科学基金项目“木本植物对三峡库区消落带异质生境的响应及其适应性”(31370602)。

* 刘芸为通讯作者。

obviously higher than the CK ($P < 0.05$). The (F_v/F_m), (q_p), (ETR) and (NPQ) of tung-oil seedlings under the commodity provision concentration of paraquat (1/400) and fenvalerate-dimethoate (1/1 000) were lower than CK with an exception of ETR under the treatment of fenvalerate-dimethoate, but the differences were not statistically significant. High concentration of paraquat ($\geq 1/200$) and fenvalerate-dimethoate ($\geq 1/500$) inhibited the growth of plant height, diameter and biomass per plant of tung-oil seedlings ($P < 0.05$), and the higher the concentration was used the stronger inhibition effect can be detected. Paraquat in the commodity provision concentration (1/400) promoted the growth of plant height, diameter and biomass per plant of tung-oil, while fenvalerate-dimethoate in the commodity provision concentration (1/1 000) inhibited the growth of plant height and biomass per plant of tung-oil, but promoted the growth of diameter. But all the differences in growth were not significant ($P > 0.05$). The root/shoot ratio was inhibited by the high concentrations of paraquat ($\geq 1/200$) and fenvalerate-dimethoate ($\geq 1/500$) treatment ($P < 0.05$). Paraquat in the commodity provision concentration (1/400) promoted the root/shoot ratio and fenvalerate-dimethoate in the commodity provision concentration (1/400) inhibited the root/shoot ratio, but again the differences were not significant ($P > 0.05$).

【Conclusion】 Our results indicated that high concentrations of paraquat and fenvalerate-dimethoate obviously decreased the chlorophyll content and photosynthesis of tung-oil seedlings and inhibited the growth of plant height, diameter and biomass per plant, and reduced the root/shoot ratio, which in turn resulted in reduction in root absorption area, and impact on the later growth of tung-oil seedlings. However, paraquat and fenvalerate-dimethoate with the commodity provision concentrations did not have an obvious effect on photosynthesis and growth of tung-oil seedlings. Therefore, it was safe for spraying pesticide under the commodity provision concentration, which could achieve the good effect of weeding or insecticide and would not harm plants. The results provided guidance for protecting ecological environment and scientific agricultural production in the Three Gorges Reservoir region.

Key words: *Vernicia fordii*; pesticide stress; chlorophyll fluorescence characteristics; growth

百草枯和氰戊·乐果均为触杀性、快速灭生性农药,施用效果好、见效快,是常用的除草剂和杀虫剂,被广泛用于农业保高产和稳产。然而,百草枯和氰戊·乐果的施用,除了杀灭有害生物外,大部分则残留在土壤中(吴春华等, 2004),对植物生长生理及土壤环境产生影响(何伟等, 2012; 周定建, 2010; 苏少泉等, 2008)。已有研究表明,草甘膦与百草枯混剂(4:1,有效成分质量比)对三叶草(*Trifolium repens*)的根系活力、叶片电导率、氧自由基产生速率、茎叶莽草酸含量的影响表现出明显的拮抗作用(王学贵等, 2010)。张波等(2010)认为,高浓度的氧乐果(5.0和10.0 g·L)处理显著降低了小麦(*Triticum aestivum*)幼苗的叶绿素和类胡萝卜素含量,且随处理时间延长差异显著;小麦叶片中可溶性糖含量随着氧乐果浓度和处理天数的增加显著增加。宋志慧等(2014)研究表明,随氧乐果浓度的增加,小球藻(*Chlorella vulgaris*)叶绿素含量呈现明显降低趋势。

油桐(*Vernicia fordii*)是我国四大木本油料植物之一,其种子产出的桐油为干性油,经济价值极高,是研制清洁环保生物质能源最好的原料,市场需求量逐年增加。三峡库区曾是我国油桐主产地,自然气候、土质条件等非常适宜油桐生长(唐治诚等,

1995),近年来油桐在三峡库区发展迅速(万盼等, 2015)。在栽培初期,为了保障油桐幼苗存活和生长,常对幼苗施用大量百草枯和氰戊·乐果来除草、杀虫,导致大量农药残留在土壤中,不仅加剧了三峡库区面源污染,而且也可能对油桐幼苗生长产生一定的不良影响。为研究农药施用对植物的影响机制,本文以油桐幼苗为试验材料,初步探讨农药胁迫对油桐苗生长及光合特性的影响,以期科学指导三峡库区油桐种植、减少库区面源污染提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验设计

油桐幼苗: 2014年4月10日在西南大学温室播种育苗,将种子均匀种在高35 cm、口径30 cm的带土钵里,每盆装7 kg土壤(试验土壤均采集重庆市北碚区当地紫色土),共220盆。土壤肥力中等,待油桐萌芽长至5 cm左右进行间苗,每盆保留1株生长良好的幼苗,以供试验。供试油桐幼苗品种为大米桐(*V. fordii* cv. Damitong)。

供试农药: 不同浓度百草枯的配备,即百草枯按[原药/水 = 1/50, 1/100, 1/200, 1/400(商品规定施用浓度), 1/800]比例进行了稀释,备试验使用

(百草枯有效成分含量 20%，剂型：水剂，普朗克生化工业有限公司生产的鹰人牌)。不同浓度氰戊·乐果的配备，即氰戊·乐果按 [原药/水 = 1/125, 1/250, 1/500, 1/1 000 (商品规定施用浓度), 1/2 000] 比例进行了稀释，备试验使用 (氰戊·乐果：乐果含量 22%，氰戊菊酯含量 3%，重庆井口农药有限公司生产的烈克牌)。

2014 年 7 月 9 日，将 220 盆幼苗随机均分为 11 组，然后对 11 组幼苗进行不同处理：5 个不同浓度梯度的百草枯和氰戊·乐果处理、清水处理 (CK) (每盆喷施 50 mL 农药或清水，且与土壤充分混合；清水为放置 6 h 的自来水)。

1.2 试验方法

1.2.1 叶绿素含量测定 采用混合液 (丙酮：乙醇：水 = 4:5:1) 浸提法测定叶绿素含量 (萧浪涛等, 2005)。在农药处理后第 30 天，每组随机选取 8 盆进行取样测定 (下同)，每株油桐从上至下采第 4 片叶，每个样称取 0.1 g，加入 25 mL 混合液浸提 10~12 h，得到的浸提液用 Spectrumlab22 可见分光光度计在波长 652 nm 下比色，计算出叶绿素含量。

1.2.2 叶绿素荧光参数测定 在农药处理后第 30 天，每组随机选取 8 盆油桐幼苗，用 JUNIOR-PAM 便携式脉冲调制荧光仪 (德国, WALZ) 测定其叶片的荧光特性。测定前先将叶片暗适应 30 min，照射检测光后测得初始荧光 (F_0)；然后用强饱和和脉冲光 ($10\ 000\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 激发，使原初电子受体 Q_A 全

部处于还原状态，测定最大荧光 (F_m)；可变荧光 $F_v = F_m - F_0$ (李亮等, 2013)。最大光化学效率 (F_v/F_m)、光化学猝灭系数 (q_p)、非光化学猝灭系数 (NPQ) 和电子传递速率 (ETR) 均由仪器自动给出。

1.2.3 油桐幼苗生长指标测定 分别在农药处理前和处理后第 60 天，用钢卷尺和游标卡尺测量每株油桐幼苗的株高和地径。

1.2.4 油桐幼苗单株生物量及根冠比测定 在农药处理后第 60 天，每组随机选取 10 盆油桐，取出整株幼苗，采用烘干法，经 105 °C 杀青 30 min、75 °C 烘干至恒质量后称其地下部分 (根) 和地上部分生物量 (陈益泰等, 2012)。根冠比 = 根生物量/地上生物量。

1.3 数据分析

利用 SPSS13.0 统计分析软件进行数据分析。采用单因素 (One-way ANOVA) 和多因素方差分析 (UNIANOVA)。所有图表采用 Microsoft Office Excel 2007 绘制。

2 结果与分析

2.1 油桐幼苗叶绿素含量变化

从图 1 可以看出，与对照 (CK) 相比，不同浓度百草枯 (除浓度 1/100 与 1/200 之间外) 和氰戊·乐果 (除浓度 1/2 000 外) 均显著降低了油桐幼苗叶绿素含量 ($P < 0.05$)，且高浓度处理之间差异达显著水平 ($P < 0.05$)。

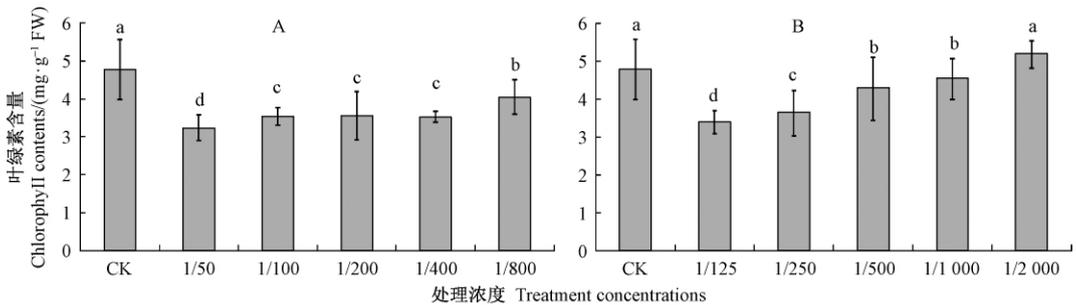


图 1 百草枯和氰戊·乐果分别对油桐叶绿素含量的影响

Fig. 1 Effects of chlorophyll contents of *V. fordii* seedlings under paraquat and fenvalerate-dimethoate treatments

A. 百草枯处理 Paraquat; B. 氰戊·乐果处理 Fenvalerate-dimethoate.

不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下同。The different small letters show significant difference at 0.05 level. The same below.

2.2 油桐幼苗荧光参数变化

F_v/F_m 是反映 PS II 光化学效率的指标。高浓度百草枯和氰戊·乐果处理下，(除百草枯浓度 1/200 外) 油桐幼苗叶片 F_v/F_m 均显著低于对照 ($P < 0.05$)，且处理浓度越高其值越低，各浓度处理之间差异也达到显著水平 ($P < 0.05$)；商品规定施用浓度百草枯 (1/400) 和氰戊·乐果 (1/1 000) 处理

下，油桐叶片 F_v/F_m 也均低于对照，但无显著差异 ($P > 0.05$) (图 2A 和图 2B)。同样，百草枯和氰戊·乐果处理下，油桐幼苗叶片相对电子传递速率 (ETR) 也低于对照，在高浓度处理下差异达显著水平 ($P < 0.05$)，(氰戊·乐果处理下油桐的 ETR 显著低于对照除外) 而在商品规定施用浓度处理下无显著差异 ($P > 0.05$) (图 2C 和图 2D)。

叶绿素荧光猝灭系数包括光化学猝灭系数(q_p)和非光化学猝灭系数(NPQ)。高浓度百草枯和氰戊·乐果处理下,(除百草枯浓度1/200外)油桐幼苗叶片的 q_p 均显著低于对照(CK)($P < 0.05$),各浓度处理之间差异达到显著水平($P < 0.05$);商品规定施用浓度百草枯(1/400)和氰戊·乐果(1/1 000)处理下,油桐幼苗叶片 q_p 也均低于对照,但无显著差异($P >$

0.05)(图2E和图2F)。百草枯和氰戊·乐果处理的油桐幼苗叶片的NPQ则表现出相反的变化规律,即高浓度处理下油桐幼苗叶片的NPQ均显著高于对照(CK)($P < 0.05$),浓度越高差异越明显;而在商品施用浓度(百草枯=1/400;氰戊·乐果=1/1 000)处理下,其NPQ均低于对照(CK),但差异不显著($P > 0.05$)(图2G和图2H)。

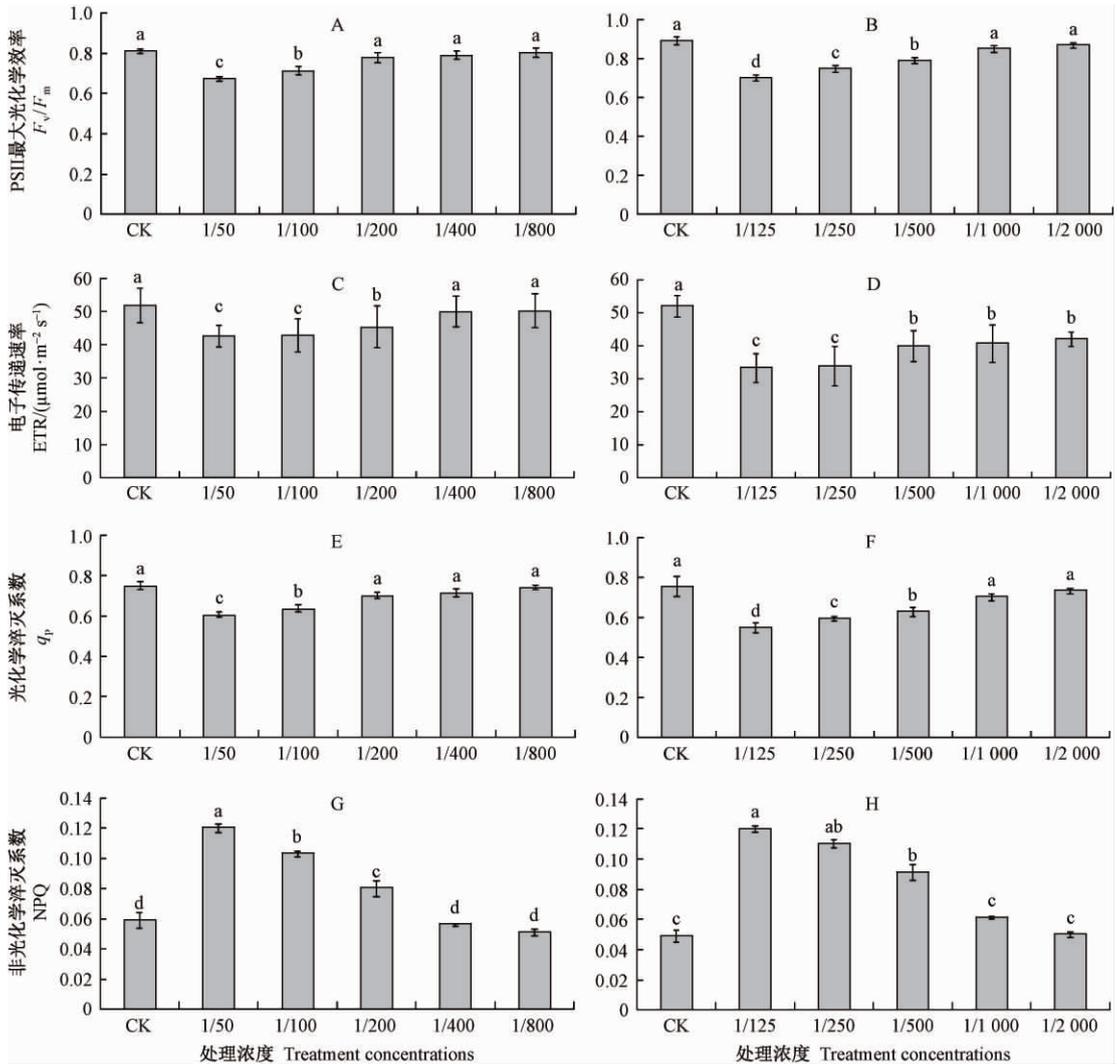


图2 百草枯和氰戊·乐果分别处理后对油桐幼苗荧光参数(F_v/F_m , q_p , ETR和NPQ)的影响

Fig. 2 Effects of fluorescence parameters (F_v/F_m , q_p , ETR and NPQ) of *V. fordii* seedlings under paraquat and fenvalerate-dimethoate

A, C, E, G: 百草枯处理 Paraquat; B, D, F, H: 氰戊·乐果处理 Fenvalerate-dimethoate.

2.3 油桐幼苗生长变化

2.3.1 株高和地径变化 与对照(CK)相比,商品规定施用浓度百草枯(1/400)促进了油桐幼苗株高和地径的生长,但差异均未达到显著水平($P > 0.05$);而高浓度百草枯处理对其株高和地径生长均有显著的抑制作用,且浓度越高抑制作用越强,(除1/100和1/200外)各处理浓度之间差异也达到显著水平($P < 0.05$)(图3A和图3B)。

氰戊·乐果在商品规定施用浓度(1/1 000)处理下对油桐株高生长产生了抑制作用,却促进了油桐幼苗地径的生长,但均未达到显著水平($P > 0.05$);而高浓度氰戊·乐果处理对其株高和地径生长均有显著抑制作用,浓度越高抑制作用越强,且处理浓度1/500分别与1/125,1/250之间的株高差异达显著水平($P < 0.05$),1/500与1/125处理之间的地径差异也达到显著水平($P < 0.05$)(图3C和图3D)。

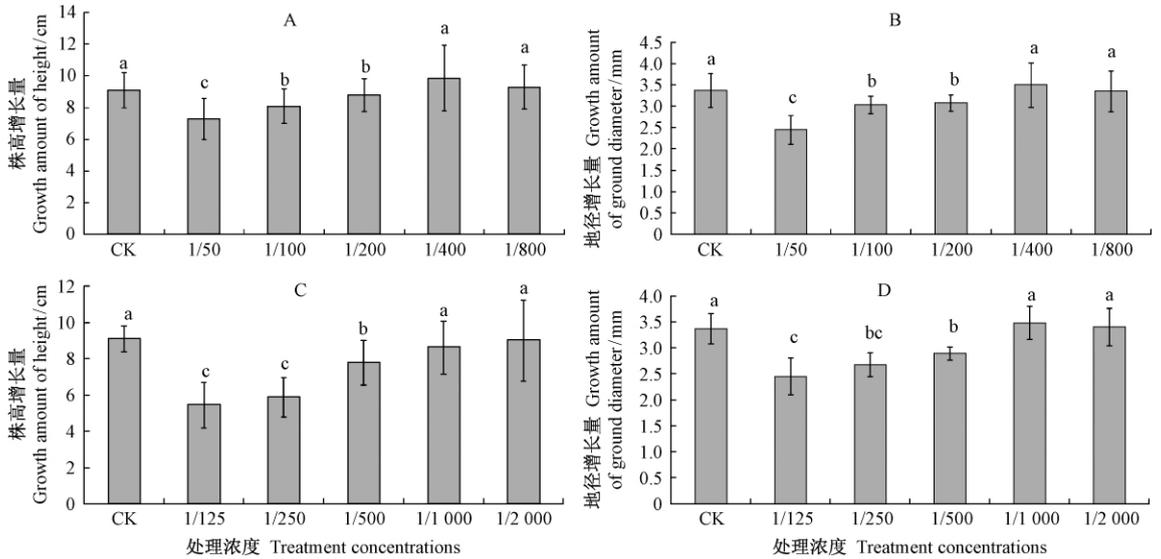


图3 百草枯和氟戊·乐果处理后对油桐幼苗株高和地径增长量的影响

Fig. 3 Effects of the growth amount of height and ground diameter of *V. fordii* seedlings under paraquat and fenvalerate-dimethoate treatments

A, B: 百草枯处理 Paraquat treatment; C, D: 氟戊·乐果处理 Fenvalerate-dimethoate treatment.

2.3.2 单株生物量和根冠比变化 与对照(CK)相比,商品规定施用浓度百草枯(1/400)促进了油桐幼苗单株生物量和根冠比的生长,但差异均未达到显著水平($P > 0.05$);而高浓度百草枯处理对其单株生物量和根冠比均有抑制作用,且浓度越高抑制作用越强,(除处理浓度1/100与1/50,1/200之间在单株生物量差异未达显著水平外)处理浓度之间

也均达到显著水平($P < 0.05$) (图4A和图4B)。

商品规定施用浓度氟戊·乐果(1/400)处理下,油桐幼苗单株生物量和根冠比均低于对照,但无显著差异($P > 0.05$);而高浓度氟戊·乐果处理下,油桐幼苗单株生物量和根冠比显著低于对照($P < 0.05$),且处理浓度1/125分别与1/250,1/500之间差异达显著水平($P < 0.05$) (图4C和4D)。

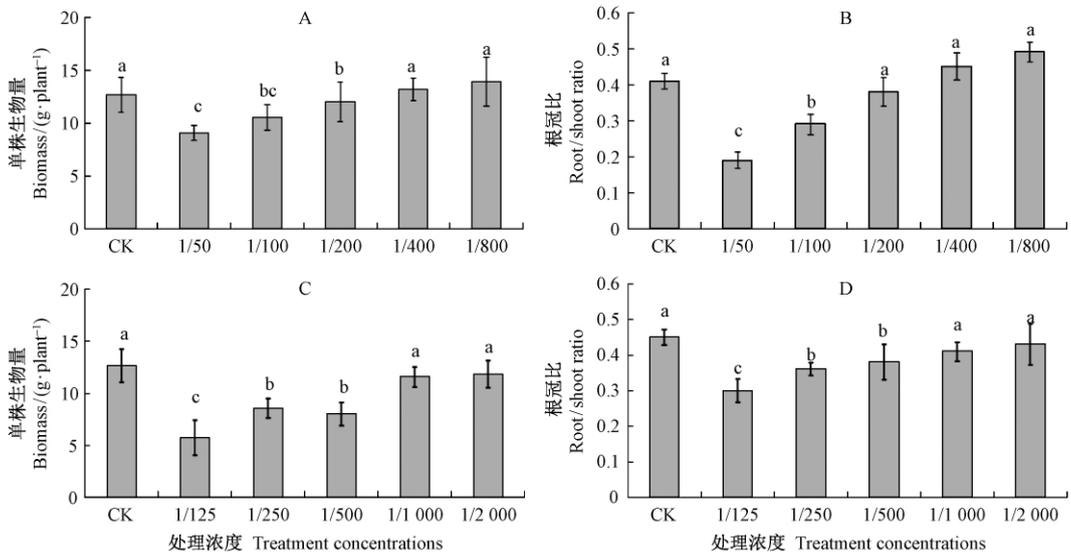


图4 百草枯和氟戊·乐果处理后对油桐幼苗单株生物量和根冠比的影响

Fig. 4 Effects of biomass and R/S ratio of *V. fordii* seedlings tree under paraquat and fenvalerate-dimethoate treatments

A, B: 百草枯处理 Paraquat; C, D: 氟戊·乐果处理 Fenvalerate-dimethoate.

3 讨论

农药进入土壤后,一部分会被植物吸收,影响植

物的生长发育。因此,农药的施用对于作物来说也是一种胁迫,而这种胁迫会导致作物体内生理生化发生变化(郑世英,2002)。叶绿素是叶片中吸收和

传递光能的主要色素,其含量会影响植物的光合效能,也是反映植物营养状况和生长发育进程的重要指标(Huang *et al.*, 2013)。叶绿素含量的变化不仅能反映植物在逆境胁迫下同化物质的能力,而且还可以指示出植物对胁迫的敏感性(王萌萌等, 2010; 田知海等, 2010)。有研究表明,盐胁迫下使黄瓜(*Cucumis sativus*)的叶绿体大部分与细胞壁脱离,导致光合机构破坏,叶片光合色素含量下降(童辉等, 2012)。本研究结果表明,不同浓度百草枯和氰戊·乐果处理均降低了油桐幼苗叶绿素含量,且在高浓度处理下差异达到显著水平,这可能是由于农药胁迫造成了油桐幼苗叶绿体光合机构的破坏,从而抑制叶绿素的合成、加速其分解,最终导致叶绿素含量降低,这与其他研究结果相似(张波等, 2010; 宋志慧等, 2014)。

叶绿素荧光特性可以直接反映植物光合机制和生理状况,是研究植物光合生理与逆境胁迫最好的无损检测技术(吴甘霖等, 2010)。 F_v/F_m 表示PSII的最大量子产量,其值大小可以反映植物光系统II反应中心的光能转换效率(褚延广等, 2010); 荧光参数 q_p 代表了PSII反应中心捕获光能用于光化学电子传递的份额,反映了PSII反应中心的开放程度和电子传递活性的大小(刘建锋等, 2011; 刘泽彬等, 2015); ETR表示电子传递速率,而非光化学猝灭系数NPQ表示植物将光能转化为热能的那部分能量(贺立红等, 2006)。植物进行光合作用受到伤害的最初部位是与PSII紧密联系的,因此若植物叶绿体光合机构受到破坏,PSII原初光能转换效率、电子传递速率、PSII活性等均会受到显著影响,进而影响光合作用(Lu *et al.*, 1999)。吴寿国等(2014)研究表明,高盐胁迫(1.6%)抑制了绿竹(*Bambusa oldhamii*)叶片光合色素的合成,进而降低其对光能的吸收,从而引起了叶片发生光抑制,使得PSII域的受体侧受到伤害,PSII域反应中心降解或失活,最终导致绿竹光合能力下降。本研究结果表明,高浓度百草枯和氰戊·乐果处理下油桐幼苗叶片的 F_v/F_m 、 q_p 和ETR均显著低于对照,而NPQ均显著高于对照,这说明叶片PSII天线色素吸收的光能用于光化学电子传递的份额在减少,而不能用于电子传递、以热耗散掉的光能份额明显增加,即光能利用率明显下降。这可能是由于高浓度农药胁迫下油桐幼苗叶绿体光合机构受到破坏、叶绿素含量降低,进而影响其光合作用。另外,油桐幼苗的NPQ较高也说明了农药胁迫下的油桐幼苗改变了PSII的激发能分配方式,降低光能的吸收,并通过提高热耗散来

消耗过多激发能,以保护叶片光合机构,防止光合速率过度下降(Lu, 2001; Ruban *et al.*, 1995)。若长期遭受高浓度的农药胁迫,将会导致油桐幼苗光合色素含量大量减少、光合代谢快速下降,最终导致生长缓慢,甚至有可能导致幼苗死亡。然而,在商品规定施用浓度(百草枯 = 1/400, 氰戊·乐果 = 1/1 000)处理下,虽然油桐幼苗叶片的 F_v/F_m 、 q_p 和ETR均低于对照,但无显著差异(氰戊·乐果处理下油桐的ETR显著低于对照除外),且其NPQ也均低于对照,说明该浓度的百草枯和氰戊·乐果的施用对油桐幼苗光合速率影响较小。

植物通过光合作用产生碳水化合物,并通过其体内物质运输而转移到根、茎、叶等部位,以供自身的生长发育(李永华等, 2007)。2种农药高浓度胁迫影响了油桐幼苗的光合速率,进而会影响到其生长状况。本研究结果表明,百草枯和氰戊·乐果在高浓度下对油桐幼苗株高、地径和单株生物量的生长均有显著抑制作用,且浓度越高抑制作用越强。这进一步说明,高浓度的农药胁迫导致油桐幼苗光合作用减弱,即光能转化为化学能的能力减弱,碳同化积累的能量减少,进而影响其生长。此外,氰戊·乐果杀虫剂中的氰戊菊酯对细胞中的DNA有毒害作用,可以阻止细胞内微管蛋白的聚合和解聚,破坏纺锤体和细胞板的形成(卜宁等, 2008),即氰戊菊酯也可抑制植物的生长发育。本研究也表明,商品规定施用浓度氰戊·乐果(1/1 000)处理虽然也抑制了油桐幼苗抑制株高和单株生物量生长,但未达到显著水平,即效果不明显,而商品规定施用浓度的百草枯(1/400)处理促进油桐幼苗株高、地径和单株生物量的生长,这与张子学等(2013)的研究相符,即百草枯中低浓度(1~5 mL·L⁻¹)对植株生长具有一定的促进作用,原因可能是百草枯可以通过杀灭植物周边的杂草而间接促进了植株生长(Wagner *et al.*, 2010)。根冠比是衡量苗期根系发育好坏的重要指标,根冠比较大的幼苗表现出较强的吸收水分和矿物质的能力,并有较强的根系活力和抵抗不良环境的能力(张永清等, 2006)。本研究发现,高浓度百草枯和氰戊·乐果处理显著抑制了油桐幼苗的根冠比生长(除百草枯1/200浓度处理下未达显著水平外),且浓度越高抑制作用越强;商品规定施用浓度百草枯(1/400)和氰戊·乐果(1/1 000)分别促进和抑制了油桐幼苗根冠比的生长,但二者均未达到显著水平。这说明,高浓度农药胁迫也改变了植株的生物量分配,进而减小了根系的吸收面积,最终影响油桐幼苗的生长发育。

4 结论

在本试验范围内,百草枯和氰戊·乐果在高浓度处理下对油桐幼苗生长生理活动有显著的影响,即显著降低了叶片叶绿素含量和光能利用率,从而抑制了油桐幼苗株高、地径和生物量的生长,同时也降低了油桐幼苗根冠比,导致根系吸收面积减少,而影响幼苗后期的生长;然而,在商品规定施用浓度下,百草枯和氰戊·乐果对油桐幼苗光合作用和生长影响较小。因此,农业生产上应该科学施用农药,必须遵循商品规定的施用浓度,这样既能达到除草和杀虫的效果,又不会对作物为危害,这对三峡库区实施生态环境保护和进行科学的农业生产具有一定的指导意义。

参 考 文 献

- 卜 宁, 马莲菊, 王升厚. 2008. 农药氰戊菊酯和三氟氯氰菊酯对蚕豆根尖细胞的遗传损伤. 生态毒理报, 3(1): 93-97.
- (Bu N, Ma L J, Wang S H. 2008. Genotoxicity of fenvalerate and cyhalothrin on root tip cells of *Vicia faba*. Asian Journal of Ecotoxicology, 3(1): 93-97. [in Chinese])
- 陈益泰, 施 翔, 王树凤, 等. 2012. 铅锌尾矿区 15 种植物的生长及对重金属的吸收积累. 林业科学, 48(12): 22-30.
- (Chen Y T, Shi X, Wang S F, et al. 2012. Growth and heavy metal uptake of 15 plant species growth in lead/zinc mine tailings. Scientia Silvae Sinicae, 48(12): 22-30. [in Chinese])
- 褚延广, 苏晓华, 黄秦军, 等. 2010. 欧洲黑杨基因资源光合生理特征与生长的关系. 林业科学, 46(7): 77-83.
- (Chu Y G, Su X H, Huang Q J, et al. 2010. Relationships between photosynthetic characteristics and growth traits in gene resources of *Populus nigra*. Scientia Silvae Sinicae, 46(7): 77-83. [in Chinese])
- 贺立红, 贺立静, 梁 红. 2006. 银杏不同品种叶绿素荧光参数的比较. 华南农业大学学报, 27(4): 43-46.
- (He L H, He L J, Liang H. 2006. Comparisons of the chlorophyll fluorescence parameters in different ginkgo biloba varieties. Journal of South China Agricultural University, 27(4): 43-46. [in Chinese])
- 何 伟, 吴福忠, 杨万勤, 等. 2012. 百草枯对巨桉人工林林土壤细菌多样性的影响. 环境科学学报, 32(11): 2857-2864.
- (He W, Wu F Z, Yang W Q, et al. 2012. Effect of paraquat on soil bacteria diversity in a young eucalypt plantation. Acta Scientiae Circumstantiae, 32(11): 2857-2864. [in Chinese])
- 李 亮, 董春娟, 尚庆茂. 2013. 内源水杨酸参与黄瓜叶片光合系统对低温胁迫的响应. 园艺学报, 40(3): 487-497.
- (Li L, Dong C J, Shang Q M. 2013. Role of endogenous salicylic acid in responding of cucumber leaf photosynthetic systems to low temperature stress. Acta Horticulturae Sinica, 40(3): 487-497. [in Chinese])
- 李永华, 王 献, 孔德政, 等. 2007. 长期 CO₂ 加富对苗期红掌

(*Anthurium andraeanum* L.) 植株生长和光合作用的影响. 生态学报, 27(5): 1852-1857.

- (Li Y H, Wang X, Kong D Z, et al. 2007. Effects of long-term CO₂ enrichment on photosynthesis and plant growth in *Anthurium andraeanum* L. seedlings. Acta Ecologica Sinica, 27(5): 1852-1857. [in Chinese])
- 刘泽彬, 程瑞梅, 肖文发, 等. 2015. 遮荫对中华蚊母树苗期生长及光合特性的影响. 林业科学, 51(2): 129-136.
- (Liu Z B, Cheng R M, Xiao W F, et al. 2015. Effects of shading on growth and photosynthetic characteristics of *Distylium chinense* seedlings. Scientia Silvae Sinicae, 51(2): 129-136. [in Chinese])
- 刘建锋, 杨文娟, 江泽平, 等. 2011. 遮荫对濒危植物崖柏光合作用和叶绿素荧光参数的影响. 生态学报, 31(20): 5999-6004.
- (Liu J F, Yang W J, Jiang Z P, et al. 2011. Effects of shading on photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters in leaves of the endangered plant *Thuja sutchuenensis*. Acta Ecologica Sinica, 31(20): 5999-6004. [in Chinese])
- 苏少泉, 耿贺利. 2008. 百草枯特性与使用. 农药, 47(4): 244-247.
- (Su S Q, Geng H L. 2008. The properties and application of paraquat. Agrochemicals, 47(4): 244-247. [in Chinese])
- 宋志慧, 刘 冰. 2014. 氧化乐果对小球藻的毒性研究. 生态毒理学报, 9(4): 483-489.
- (Song Z H, Liu B. 2014. Toxic effects of omethoate on *Chlorella vulgaris*. Asian Journal of Ecotoxicology, 9(4): 483-489. [in Chinese])
- 童 辉, 张振兴, 李 斌, 等. 2012. 等渗 Ca(NO₃)₂ 和 NaCl 胁迫对黄瓜叶片叶绿体超微结构及光合特性的影响. 中国蔬菜, (18): 160-165.
- (Tong H, Zhang Z X, Li B, et al. 2012. Effects of Iso-osmotic Ca(NO₃)₂ and NaCl stress on chloroplast ultra-structure and photosynthesis in cucumber leaves. China Vegetables, (18): 160-165. [in Chinese])
- 唐治诚, 刘伯云, 刘光明, 等. 1995. 四川省云阳县油桐资源的调查. 资源科学, 17(6): 32-36, 31.
- (Tang Z C, Liu B Y, Liu G M, et al. 1995. Investigation on the resources of alenrites fordll in Yunyang county of Sichuan Province. Resoures Science, 17(6): 32-36, 31. [in Chinese])
- 田知海, 陈励虹, 刘东玉. 2010. 干旱胁迫下莴苣菜光合性能及水分利用率研究. 衡水学院学报, 12(1): 85-88.
- (Tian Z H, Chen L H, Liu D Y. 2010. Study on photosynthetic properties and water utilization ratio of *Sonchus branchyotus* DC. in drought. Journal of Hengshui University, 12(1): 85-88. [in Chinese])
- 王萌萌, 陈忠林, 贾 楠, 等. 2010. 水分胁迫前的干旱锻炼对小麦光合生理特性的影响. 农业环境科学学报, 29(10): 1930-1935.
- (Wang M M, Chen Z L, Jia N, et al. 2010. Effects of pretreatment of water stress on photosynthetic characteristics of wheat under water stress. Journal of Agro-Environment Science, 29(10): 1930-1935. [in Chinese])
- 王学贵, 姚建明, 张 洋, 等. 2010. 草甘膦与百草枯及其混剂对三

- 叶草生理生化的影响. 西南农业学报, 23(2): 379-382.
- (Wang X G, Yao J M, Zhang Y, *et al.* 2010. Physiological and biochemistry effects of the glyphosate, paraquat and its mixture on *Trifolium repens*. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 23(2): 379-382. [in Chinese])
- 万盼, 刘芸, 黄小辉, 等. 2015. 农药和菌渣对三峡库区油桐生长及土壤化学性质的影响. 重庆师范大学: 自然科学版, 32(2): 44-49.
- (Wan P, Liu Y, Huang X H, *et al.* 2015. Effects of pesticides and mushroom residue on growth and soil physical-chemical properties in tung oil tree of the Three Gorges Reservoir Area. Journal of Chongqing Normal university: Natural Science, 32(2): 44-49. [in Chinese])
- 吴春华, 陈欣. 2004. 农药对农区生物多样性的影响. 应用生态学报, 15(2): 341-344.
- (Wu C H, Chen X. 2004. Impact of pesticides on biodiversity in agricultural areas. Chinese Journal of Applied Ecology, 15(2): 341-344. [in Chinese])
- 吴甘霖, 段仁燕, 王志高, 等. 2010. 干旱和复水对草莓叶片叶绿素荧光特性的影响. 生态学报, 30(14): 3941-3946.
- (Wu G L, Duan R Y, Wang Z G, *et al.* 2010. Effects of drought stress and rehydration on chlorophyll II fluorescence characteristics in *Fragaria × ananassa* Duch. Acta ecologica sinica, 30(14): 3941-3946. [in Chinese])
- 吴寿国, 余学军, 李凯, 等. 2014. 海盐对绿竹叶片反射光谱及叶绿素荧光参数的影响. 生态学报, 3(17): 4920-4930.
- (Wu S G, Yu X J, Li K, *et al.* 2012. Effects of sea salt stress on reflectance spectrum and chlorophyll fluorescence parameters in *Bambusa oldhamii* leaves. Acta Ecologica Sinica, 34(17): 4920-4930. [in Chinese])
- 萧浪涛, 王三根. 2005. 植物生理学实验技术. 北京: 中国农业出版社.
- (Xiao L T, Wang S G. 2005. The experimental technology of plant physiology. Beijing: China Agricultural Press. [in Chinese])
- 张波, 梁永超, 褚贵新, 等. 2010. 小麦幼苗对氧乐果胁迫的生理学响应. 植物营养与肥料学报, 16(6): 1387-1393.
- (Zhang B, Liang Y C, Chu G X, *et al.* 2010. Physiological responses of wheat seedlings to omethoate stress. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 16(6): 1387-1393. [in Chinese])
- 张永清, 苗果园. 2006. 水分胁迫条件下有机肥对小麦根苗生长的影响. 作物学报, 32(6): 811-816.
- (Zhang Y Q, Miao G Y. 2006. Effects of manure on root and shoot growth of winter wheat under water stress. Acta Agronomica Sinica, 32(6): 811-816. [in Chinese])
- 张子学, 殷萍萍, 刘正. 2013. 除草剂对玉米种子发芽及幼苗生长的影响. 安徽科技学院学报, 27(2): 10-13.
- (Zhang Z X, Yin P P, Liu Z. 2013. Influence of herbicides on seed germination and seedling growth of maize. Journal of Anhui Science and Technology University, 27(2): 10-13. [in Chinese])
- 郑世英. 2002. 农药对农田土壤生态及农产品质量的影响. 石河子大学学报: 自然科学版, 6(3): 255-258.
- (Zheng S Y. 2002. The effect of pesticide to farmland soil ecology and farm produce. Journal of Shihezi University: Natural Science, 6(3): 255-258. [in Chinese])
- 周定建. 2010. 百草枯和草甘膦对紫色土土壤微生物数量及酶活性的影响. 重庆: 西南大学硕士学位论文.
- (Zhou D J. 2010. Effect of paraquat and glyphosate on the amount of microorganisms and the activities of enzymes in purple soil. Chongqing: MS thesis of southwest university. [in Chinese])
- Huang X H, Liu Y, Li J, *et al.* 2013. The response of mulberry trees after seedling hardening to summer drought in the hydro-fluctuation belt of Three Gorges Reservoir Areas. Environmental Science and Pollution Research, 20(10): 7103-7111.
- Lu Q T, Li W H, Jiang G M, *et al.* 2001. Studies on the characteristics of chlorophyll fluorescence of winter wheat flag leaves at different developing stages. Acta Botanica Sinica, 43(8): 801-804.
- Lu C M, Zhang J H. 1999. Effects of water stress on photosystem II photochemistry and its thermostability in wheat plants. Journal of Experimental Botany, 50(336): 1199-1206.
- Ruban A V, Horton P. 1995. Regulation of non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence in plants. Functional Plant Biology, 22(2): 221-230.
- Wagner G, Nadasy E. 2010. Influence of nitrogen and herbicide treatments on the nitrogen uptake on pea and *Chenopodium album*. Acta Agronomica Hungarica, 58(2): 123-132.

(责任编辑 王艳娜)