

## 闽楠幼苗对大量元素缺乏的响应

王樱琳, 韦小丽\*, 段如雁, 简才源, 张 怡

(贵州大学 林学院, 贵州 贵阳 550025)

**摘 要:**探讨营养元素对闽楠幼苗生长和生理的影响,以闽楠当年生幼苗为材料,进行大量元素的缺乏培养试验。试验采用砂培法,设置了全素、缺 N、缺 P、缺 K、缺 Ca、缺 Mg 和缺 S 7 种处理。对不同缺乏处理的幼苗症状进行观察,测定其生长和光合荧光参数。结果表明:闽楠幼苗的缺 N、缺 K 和缺 Mg 幼苗的叶片症状最为明显,表现出叶片黄化、褐斑、脉间失绿、有大小不一的褐色坏死斑点等,而缺 Ca 与缺 S 幼苗则无明显叶片症状。在缺 N、缺 K 和缺 Mg 处理下,闽楠幼苗的苗高、地径、叶面积、生物量均显著下降,缺 Mg 对叶面积影响最大,缺 K 对地径和生物量影响最大。缺乏处理的闽楠幼苗光合电子传递速率( $ETR$ )均呈线性增加,缺 K 处理的  $ETR$  较其他处理较大,缺 Ca 处理下的闽楠幼苗的  $ETR$  随光合有效辐射( $PAR$ )的增长上升最快,但是缺 Ca 处理下的闽楠幼苗的  $Y(II)$  值最小。缺乏对闽楠幼苗叶绿素荧光参数都有一定的影响,缺 Ca 处理下闽楠幼苗的最大荧光产量值( $F_m$ )达到最大,全素处理下的闽楠幼苗的实际光化学量子产量( $Y(II)$ )高于其他缺乏处理,缺 Ca 处理下的闽楠幼苗的  $Y(II)$  值最小,全素处理下的非光化学淬灭值( $NPQ$ )均明显低于其他各处理,缺 N 处理下的闽楠幼苗的最大光化学量子产量值( $F_v/F_m$ )最小。

**关键词:** 闽楠; 缺乏症状; 生长; 叶绿素荧光参数

**中图分类号:** S723.7

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-7461(2014)-02-0061-05

Effect of Nutritional Deficiency on the Growth of *Phoebe bournei* Seedling

WANG Ying-lin, WEI Xiao-li\*, DUAN Ru-yan, JIAN Cai-yuan, ZHANG Yi

(College of Forestry, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China)

**Abstract:** In order to investigate the effects of nutritional elements on *Phoebe bournei* seedling growth and its physiology, one-year-old seedlings of *P. bournei* were cultured in sand with 7 treatments: complete nutrient application (control) and deficiencies of nitrogen ( $-N$ ), phosphorus ( $-P$ ), potassium ( $-K$ ), calcium ( $-Ca$ ), magnesium ( $-Mg$ ), and sulfur ( $-S$ ). Symptoms of the seedlings under different deficiency treatments were observed and their growth and photosynthetic fluorescence parameters were measured. Significant differences in leaf symptoms of  $-N$ ,  $-N$  and  $-Mg$  seedlings were observed, such as yellow leaves, brown spots, chlorosis between the veins, different sizes of brown necrotic spots and so on. On the contrary, leaves of  $-Ca$  and  $-S$  seedlings showed no obvious symptoms. Seedling height, diameter, leaf area and biomass in  $-N$ ,  $-K$  and  $-Mg$  treatments decreased significantly. Magnesium deficiency mostly affected the leaf area, and  $-K$  treatment had the greatest impact on leaf diameter and biomass. Photosynthetic electron transport rate ( $ETR$ ) of elements showed a linear increase in deficiency-treated seedlings. Seedlings with  $-K$  treatment demonstrated the largest  $ETR$ . There existed the strongest positive correlation between  $ETR$  and  $PAR$  in  $-Ca$  treatment seedlings. Element deficiency had a certain influence on the

收稿日期: 2013-08-23 修回日期: 2013-11-08

基金项目: 贵州省优秀青年科技人才基金 [黔科人合字(2011)15 号]; 贵州省林业厅重大攻关(黔林科合[2010]重大 02 号)。

作者简介: 王樱琳, 女, 硕士研究生, 研究方向: 森林生态学。E-mail: yinglin0211@126.com

\* 通信作者: 韦小丽, 女, 博士生导师, 教授, 研究方向: 林木种苗繁育与栽培。E-mail: gdwxl-69@126.com

seedlings. Maximum fluorescence yield value ( $F_m$ ) in  $-Ca$  treatment seedlings was the largest but  $Y(II)$  value was the least; The value of non-photochemical quenching ( $NPQ$ ) in entire elements treatment seedlings were significantly lower than the others. Nitrogen deficiency treated seedlings had the least maximum photochemical quantum yield value ( $F_v/F_m$ ).

**Key words:** *phoebe bournei*; nutrient deficiency; growth; chlorophyll fluorescence parameter

闽楠(*Phoebe bournei*)为樟科(Lauraceae)楠属(*Phoebe*)高大常绿乔木,是我国特有的珍贵用材树种与优良观赏树种。主要分布于浙江、福建、江西、广东、贵州等地区海拔 200~1 000 m 的常绿阔叶林中<sup>[1-2]</sup>。前人对闽楠的研究多集中在群落生态、繁育和造林等方面<sup>[3]</sup>,而对于闽楠的苗期科学管理的理论与技术则研究较少,尤其是在营养管理方面,尚无关于闽楠营养诊断与施肥方面的研究。本研究旨在通过大量元素(N、P、K、Ca、Mg 和 S)缺素试验,分析不同缺素对闽楠幼苗症状、生长发育、叶绿素荧光参数的影响,以期为闽楠的苗期营养管理提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验在贵州大学实验苗圃温室内进行,供试材料为闽楠当年生幼苗。先将直径 1~2 mm 纯净石英砂经过 3%稀盐酸浸泡 1 周,自来水反复洗去杂质、残留营养元素后晒干,然后装盆。盆的规格为 58 cm×19 cm×22 cm,每盆装砂 20 kg,移苗前用 1/2 浓度的缺素营养液培养 1 周让其达到饱和,最后选取生长良好均匀一致的闽楠实生幼苗(高 4±0.5 cm,地径 0.9±0.2 mm),用去离子水冲洗干净,然后定植盆中,每盆定植幼苗 30 株。

### 1.2 试验设计

试验于 2012 年 7—11 月进行,试验设 7 个处理:1)全素(Control);2)缺氮( $-N$ );3)缺磷( $-P$ );4)缺钾( $-K$ );5)缺钙( $-Ca$ );6)缺镁( $-Mg$ );7)缺硫( $-S$ )。每个处理 3 次重复,每个重复种植闽楠幼苗 30 株。营养液配置采用 Hoagland 不完全营养液配方<sup>[4]</sup>。

移苗 1~2 周为缓苗期,幼苗移栽成活后开始进行缺素处理,每周浇灌营养液 1 次,每次每盆浇 500 mL,共浇灌 12 次,其中前 6 次营养液浓度减半。为了减小边际效应,每隔 2 周移动 1 次培养盆。

### 1.3 症状观察及生长生理指标测定

试验期间随时观察幼苗出现的各种症状,及时记录并用数码相机拍照。

1.3.1 苗高、地径测定 游标卡尺测量地径,精度 0.01 mm,钢卷尺测量苗高,精确到 0.1 cm,由于缺素

处理的闽楠幼苗生长较缓慢,选择每 20 d 测定 1 次。

1.3.2 生物量测定 每种缺素处理随机选取 3 株,将幼苗用自来水洗净,而后分别将叶片、茎干、主根称其鲜重后用信封装好置于烘箱中 105℃杀青 20 min,然后 75℃下烘干至恒重,称其干重,精度 0.001 g。

1.3.3 叶面积测定 每个处理随机选取 3 株幼苗,采用手持式激光叶面积仪 CI-203 进行扫描测定。

1.3.4 叶片荧光参数测定 用 Junior-PAM-基础型调制荧光仪测定闽楠幼苗叶片叶绿素荧光。每个处理随机选取 3 株幼苗测定,每株从第 2 轮叶片开始测定 1 片健康的幼苗叶片,设置的光照强度梯度为 0、125、190、285、420、625、820、1 150、1 500  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  9 个梯度。荧光仪测定各叶绿素荧光参数,测量时间为 21:00,测量之前将待测幼苗置于暗适应 30 min,打开饱和脉冲,测定最大荧光产量( $F_m$ ),最大光化学量子产量( $F_v/F_m$ ),每隔 20 s 打开 1 个饱和脉冲,持续时间为 0.8 s,进行淬灭分析,完成各荧光参数的测定,取荧光值达到稳定后的数值进行分析。

### 1.4 数据处理与分析

试验数据采用 Excel 2003 对数据进行整理统计,用 SPSS17.0 进行方差分析和 Duncan 多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 闽楠幼苗缺素症状分析

对缺素处理进行症状观察(表 1)表明,6 种缺素处理,缺 N 处理的症状表现最为明显,其次是缺 Mg 处理,叶片都较早出现了不同程度的症状,缺 P 处理的症状出现较为缓慢,缺 K 与缺 S 处理的症状表现相对不明显,症状多表现在新叶上。

### 2.2 缺素对闽楠幼苗生长的影响

2.2.1 缺素对苗高、地径的影响 研究表明,缺素处理对闽楠幼苗的高生长都有一定的影响(图 1)。苗高净生长量最大值是全素处理,达到 1.65 cm,缺 N、P、K、Ca、Mg、S 的植株高生长均显著低于 CK,分别是 CK 的 34.55%、50.91%、78.79%、81.82%、27.27%、55.76%,缺 Mg 的植株受到的影响最大,其次是缺 N 处理,而缺 Ca 的植株受到的影响最小。经方差分析,缺素培养后,各处理之间株高相对生长量均存在显著差异( $p<0.05$ )。

表 1  缺素处理下闽楠幼苗表现症状

Table 1  Symtoms of *P. bournei* seedlings under nutrient deficiency treatments

| 处理  | 缺素症状   |
|-----|--|
| —N  | 症状最为明显,基部老叶在处理 21 d 开始从叶尖开始发黄,而后由叶尖向叶柄逐渐扩散至整个叶片,逐步向顶部嫩叶扩展,缺素处理结束时,新老叶脉间严重失绿,呈淡黄色且出现褐色坏死斑点        |
| —P  | 症状出现缓慢,缺 P 培养 1 个月后,基部老叶由叶尖开始变为淡黄或暗绿色,试验结束时,新老叶片脉间失绿变白,且新叶呈淡黄色,叶片较薄                              |
| —K  | 症状出现相对不明显,缺 K 处理 30 d,老叶脉间逐渐失绿,叶片开始变色,老叶叶尖有坏死且微向下弯曲,处理 42 d 后无新叶产生,顶芽逐渐枯死                        |
| —Ca | 症状反应不明显,试验处理结束后,除新叶出现淡黄色外其他未出现明显症状   |
| —Mg | 幼苗对于缺 Mg 反应极为敏感,处理 21 d 后基部老叶叶尖坏死,叶片失绿,叶脉间出现暗绿色并扩散至整个植株页面,试验处理 35 d 后,整个植株叶尖坏死,并逐渐扩散至整个叶片,最后植株死亡 |
| —S  | 缺 S 处理 35 d 后,植株嫩叶略微发黄,试验结束后叶片坏死、顶芽坏死  |

N、P、K、Ca、Mg、S 对地径的影响与苗高相似,均显著低于对照(图 2),缺 K 植株生长最差,地径只有 CK 的 36.76%,其次是缺 N 处理,缺 P 和缺 S 幼苗地径均为 CK 的 77.94%,缺 Mg 的植株受到的影响最小,是 CK 的 80.88%,缺 K 处理的地径增长量最小,表明 K 离子是限制闽楠地径生长的主要影响因子。

各处理间总生物量存在显著差异( $p<0.05$ ),全素处理的总生物量最大,为 0.60 g/株,是缺 K 处理的 2.65 倍,因为 N、P 是构成植物细胞最重要的元素;K 是非植物结构组分元素,但是多种酶的活化剂,直接影响着植物体内的呼吸和代谢作用,所以 3 种元素中任何一种缺乏,均会影响植物的生理活动,从而导致干物质降低,植物正常生长发育受阻。

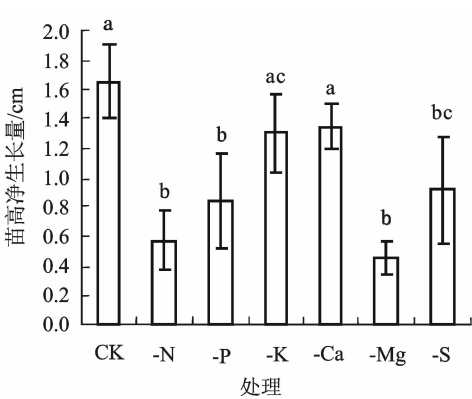


图 1  缺素对闽楠幼苗株高净生长量的影响  
Fig. 1  Effects of different nutrient deficiencies on height growth

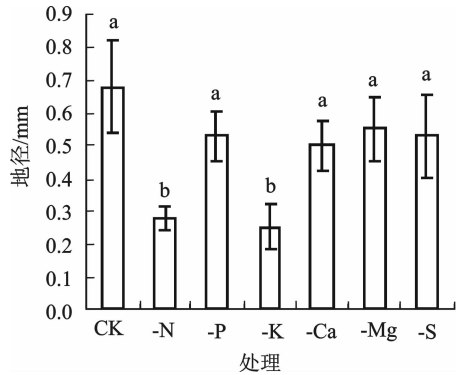


图 2  缺素对闽楠幼苗地径净生长量的影响  
Fig. 2  Effects of different nutrient deficiency on diameter

2.2.2 缺素对闽楠幼苗生物量及叶面积的影响  
生物量是植物生长发育产生物质的总量,是反映苗木生产力水平的重要指标。试验结果表明:缺 Mg 处理的干和叶生物量最少,缺 K 处理的根系生物量最少,分别为 0.03 g/株、0.07 g/株和 0.08 g/株,是全素(对照)的 34.07%、28.38%和 29.43%(图 3)。

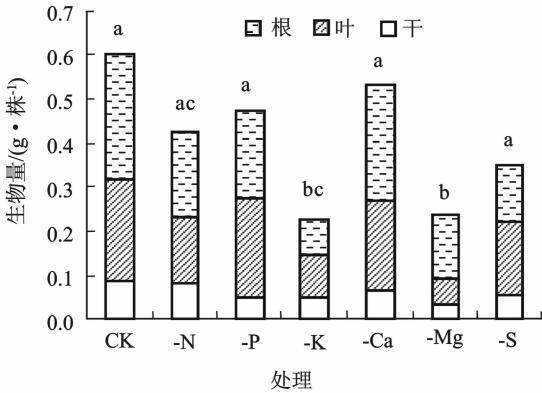


图 3  缺素对闽楠幼苗生物量的影响  
Fig. 3  Effects of different nutrient deficiency on biomass

叶面积直接关系到植物的同化能力。由图 4 可知,与对照相比,缺素严重影响了闽楠幼苗叶的发育,其叶面积均显著小于对照( $p<0.05$ )。全素处理叶面积为 28.53 cm<sup>2</sup>,分别是缺 N、缺 P、缺 K、缺 Ca、缺 Mg、缺 S 各处理的 1.82、1.14、1.84、1.02、2.34、1.38 倍,缺镁处理的叶面积受到的影响最大。

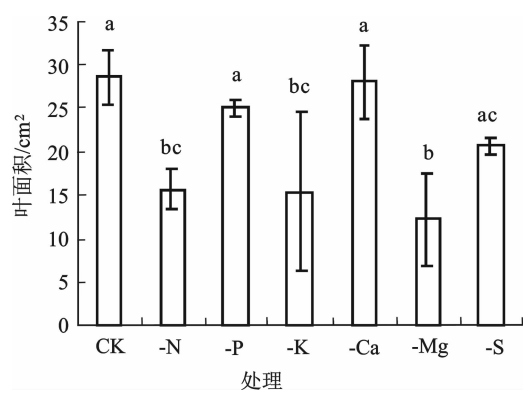


图 4  缺素对闽楠幼苗叶面积的影响  
Fig. 4  Effects of different nutrient deficiency on leaf area

2.3 缺素对闽楠幼苗叶绿素荧光参数比较

2.3.1 缺素对闽楠幼苗 ETR 的影响 ETR 指表观光合电子传递速率,是光合机构吸收光能发生电荷分离产生电子,并沿电子传递向下传递的速率。其高低一定程度上反应了 PS<sub>II</sub> 型反应中心的电子捕获效率的高低<sup>[5]</sup>。由图 5 可知,随着 PAR 的增大,即光照强度在光补偿点向上增加时,缺素处理的闽楠幼苗 ETR 均呈线性增加,当 PAR 达到一定强度时,ETR 达到最大值,即光饱和点。缺 K 处理的 ETR 较其他处理较大,表明缺 K 处理下的闽楠幼苗有较强的光呼吸能力,光能利用率较高,热耗散较小,能保证吸收的光能最大程度地进入电子传递系统。缺 Ca 处理下的闽楠幼苗的 ETR 随 PAR 的增长上升最快,显示植物的光合能力较强。

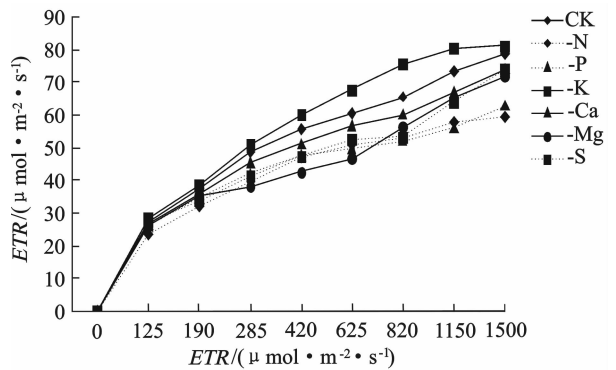


图 5 缺素对闽楠表观光合电子传递速率(ETR)的影响  
Fig. 5 Effects of different nutrient deficiencies on chlorophyll II fluorescence ETR

2.3.2 缺素对闽楠幼苗叶绿素荧光参数影响  $F_m$  是黑暗中最大荧光值,已经暗适应的光合机构全部 PS<sub>II</sub> 中心都关闭时的荧光强度,可反映 PS<sub>II</sub> 的电子传递情况。从表 2 可以看出,缺素处理闽楠幼苗的  $F_m$  值均高于全素处理,经方差分析,除缺 S 外其他各处理下的闽楠幼苗都与对照差异显著 ( $p < 0.05$ ),其中缺 Ca 处理下闽楠幼苗的  $F_m$  值达到最大,为 867 mV。缺 Ca 处理下的闽楠幼苗的光饱和点相对较高,光补偿点相对较低,对光环境的适应性较强,其暗呼吸速率低,最大荧光值高。缺 S 处理下闽楠幼苗的  $F_m$  值最接近全素处理,表明缺 S 处理并未影响幼苗在黑暗中的最大荧光值。

实际光化学量子产量(Yield,即  $Y(II)$ )是指植物光合作用下 PS<sub>II</sub> 总的光化学量子产量,它反映 PS<sub>II</sub> 反应中心在部分关闭情况下的实际原初光能捕获效率<sup>[6]</sup>。较高的  $Y(II)$  值有利于提高光能转化效率,为暗反应的光合碳同化积累更多的能量,以促进碳同化的高效运转和有机物的积累。表 2 可以看出,全素处理下的闽楠幼苗的  $Y(II)$  值高于缺素处

理,缺 Ca 处理下的闽楠幼苗的  $Y(II)$  值最小,说明该处理下幼苗光合碳同化过程中积累的能量较少,有机物积累较少。除缺 P、缺 K 处理外,缺 Ca 处理与其他处理光化学量子产量差异显著 ( $p < 0.05$ )。

正常情况下,叶绿素吸收的光能主要通过光合电子传递、叶绿素荧光和热耗散 3 种途径消耗,这 3 种途径间存在着此消彼长的关系。非光化学淬灭(NPQ)反应的是 PS<sub>II</sub> 吸收的光能中不能用于光合电子传递而以热的形式耗散掉的光能部分,是表示热耗散多少的指标<sup>[6-7]</sup>。表 2 显示,全素处理下的闽楠幼苗的 NPQ 值最小,植物体在正常状态下可以通过防御光抑制带来的破坏,是植物保护 PS<sub>II</sub> 免受伤害的重要机制,其他处理下的闽楠幼苗的 NPQ 值均在不同程度高于对照,表明其他各缺素处理的光能利用效率较小,热耗散较大,不能保证吸收的光能最大程度地进入电子传递系统而进行碳固定,这可能与其 PS<sub>II</sub> 天然色素吸收光能差异有关,或用于光化学淬灭的分配不同,各处理与对照比较,差异均不显著 ( $p > 0.05$ )。

表 2 不同处理下闽楠幼苗叶绿素荧光指标(平均值±标准差)  
Table 2 Photosynthetic indices of *P. bournei* under different treatments (Mean±SE)

| 处理  | $F_m$     | $Y$           | NPQ          | $F_v/F_m$    |
|-----|-----------|---------------|--------------|--------------|
| 全素  | 509±6b    | 0.399±0.021a  | 0.999±0.117a | 0.748±0.034a |
| -N  | 614±291ab | 0.336±0.062a  | 1.039±0.520a | 0.672±0.048a |
| -P  | 732±112ab | 0.303±0.043ab | 1.598±0.304a | 0.747±0.023a |
| -K  | 663±199ab | 0.310±0.089ab | 1.469±0.528a | 0.712±0.036a |
| -Ca | 867±50a   | 0.215±0.038b  | 1.680±0.600a | 0.720±0.084a |
| -Mg | 753±51ab  | 0.350±0.054a  | 1.546±0.342a | 0.740±0.023a |
| -S  | 570±121b  | 0.367±0.059a  | 1.201±0.024a | 0.737±0.023a |

注:不同字母表示差异具有显著性意义 ( $p < 0.05$ )。

PS<sub>II</sub> 最大光化学量子产量( $F_v/F_m$ )是最常使用的参数,它反映了 PS<sub>II</sub> 原初光能转化效率,在缺素处理下,植株的  $F_v/F_m$  值均表现不同程度下降(表 2),表明在缺素处理下,闽楠幼苗 PS<sub>II</sub> 潜在活性中心受损,光合作用原初反应过程受到抑制,PS<sub>II</sub> 潜在光合作用活力受到抑制,因此,它也是植物生长环境良好与否的一个重要参数<sup>[8]</sup>,并可在植物受到胁迫指示出不同处理对光合作用的伤害,缺 N 处理下的闽楠幼苗的  $F_v/F_m$  值最小,表明缺 N 对植物的光合作用伤害最大,经方差分析,各处理与对照相比较,差异均不显著 ( $p > 0.05$ )。

3 结论与讨论

研究结果表明,6 种营养元素对闽楠幼苗的生长都起着重要的作用,缺少任何一种元素,闽楠幼苗都会遭到不同程度的伤害,生长受到抑制。幼苗缺素症状表现最为明显的是缺 N、缺 Mg 和缺 S 处理,

与全素对照相比, 3 种元素处理幼苗症状主要为植株矮小、叶片变黄、长势较弱, 部分出现褐斑及坏死现象。缺 P、缺 K、缺 Ca 处理症状表现不太明显, 但与全素相比, 各指标生长量都受到一定的抑制, 培养后期叶片均表现出不同程度的黄化和脱落现象, 顶芽提前长出, 生长接近停滞。

缺素对闽楠幼苗的苗高、地径、叶面积以及生物量的影响不同, 对幼苗高净生长影响较大的是缺 N、缺 P 和缺 Mg, 对地径、叶面积以及生物量影响较大的则为缺 N、缺 K 和缺 Mg 处理。缺 N 严重影响了幼苗的生长, 氮素是叶绿素合成的重要组成部分, 因此, 缺 N 处理叶片表现出明显黄化症状, 这与王桂凤<sup>[9]</sup>和杨曾奖<sup>[10]</sup>等的研究结论一致。P 在核酸、核苷酸和磷脂等化合物合成过程中起重要作用。K 是植株重要生命中酶的活化剂, 对韧皮部传导, 渗透调节具有重要作用<sup>[11]</sup>, 缺 K 能明显抑制幼苗的生长, 叶片出现褐色斑点, 然后开始上卷是由于叶片中部较周围生长快。硫和钙在植物体内是较难移动的元素, 因此缺 S 和缺 Ca 的症状都是最先发生在嫩芽和新叶上。

关于植物缺素症状的研究, 不同植物对缺素胁迫的反应既有相似之处, 也有不同之处。大部分植物都显示出对 N、P、K 胁迫最为敏感<sup>[12-14]</sup>, 其次对 Fe、Ca、Mg 胁迫表现出不同的敏感性, 如湿地松、加刺比松对缺 Fe 较为敏感<sup>[15]</sup>, 刺梨对缺 Ca 和缺 Fe 较为敏感<sup>[16]</sup>, 桉树对缺 Mg 较为敏感<sup>[17]</sup>。闽楠幼苗出对缺 N、P、K 比较敏感外, 对 Mg 元素的缺乏也较为敏感。闽楠幼苗缺 N、K、Mg 营养元素时表现出的生长严重受抑制现象及典型的缺素症状, 与多数报道类似。

综合比较不同缺素处理的闽楠幼苗叶绿素荧光参数可知, 不同缺素处理显著影响幼苗的叶绿素荧光值, 表明闽楠幼苗的光合碳同化的能量(ATP)和还原力(NADPH)受到影响, 导致光合能力减弱, 形成的光合产物减少, 进而影响幼苗生长及生物量积累, 其中缺氮的影响最严重; 缺素处理的  $F_v/F_m$  值均小于全素处理, 表明不同缺素处理的闽楠幼苗叶片都受到一定程度的胁迫, 且缺氮处理最为严重。

植物生命活动中需要必需营养元素均有其特有的生理功能, 任何一种元素缺乏都会对植物的生理活动造成影响, 进而影响到植物的生长。本研究仅设置了 6 种大量元素对闽楠幼苗生长及叶绿素荧光的影响, 微量元素缺乏条件下闽楠幼苗的缺素症状以及微量元素对之生长及生理的影响, 闽楠幼苗各生长发育期对各种元素的需求及临界阈值等有待于

进一步深入研究。

## 参考文献:

- [1] 中国科学院植物研究所. 中国珍稀濒危植物[M]. 上海: 上海教育出版社, 1989.
- [2] 国家林业局, 农业部. 国家重点保护野生植物名录: 第一批[J]. 植物杂志, 1999(5): 4-11.
- [3] 刘宝, 陈存及, 陈世品, 等. 闽楠群落优势种群结构与空间分布格局[J]. 福建林学院学报, 2006, 26(3): 210-213.
- [4] PLATT T, GALLEGOS C L, HARRISON W G. Photo inhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton [J]. J. Mar. Res., 1980, 38: 687-701.
- [5] 孙景宽, 张文辉, 陆兆华, 等. 干旱胁迫下沙枣和孩儿拳头叶绿素荧光特性研究[J]. 植物研究, 2009, 259(2): 216-223.
- [6] 周朝彬, 宋于洋, 王炳举, 等. 干旱胁迫对胡杨光合和叶绿素荧光参数的影响[J]. 西北林学院学报, 2009, 24(4): 5-9. ZHOU C B, SONG Y Y, WANG B J. *et al.* Effects of drought stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence parameters of *populus euphratica* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2009, 24(4): 5-9. (in Chinese)
- [7] 徐燕, 张远彬, 乔匀周, 等. 光照强度对川西亚高山红桦幼苗光合及叶绿素荧光特性的影响[J]. 西北林学院学报, 2007, 22(4): 1-4. XU Y, ZHANG Y B, QIAO Y Z. *et al.* Effects of light intensity on the traits of photosynthesis and chlorophyll fluorescence of red birch seedlings in subalpine area, western China [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2007, 22(4): 1-4. (in Chinese)
- [8] 刘志梅, 蒋文伟, 杨广远, 等. 干旱胁迫对 3 种金银花叶绿素荧光参数的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2012, 29(4): 533-539.
- [9] 王桂凤. 缺素对榆树苗期生长的影响[J]. 河南林业科技, 1992, (2): 30-31.
- [10] 杨曾奖, 周文龙. 桉树苗期缺素症状的研究[J]. 林业科学研究, 1992, 5(6): 646-651.
- [11] 隆学武, 杨希, 黄勇, 等. 金山葵缺素症研究[J]. 福建林业科技, 2002, 29(2): 54-56.
- [12] 王缉健, 何荣煊, 罗林, 等. 速生桉缺素症的初步研究[J]. 广西农学报, 2007, 22(3): 25-27.
- [13] 张英, 王会利, 李娜. 桉树常见生理缺素病症的初步分析[J]. 广西林业科学, 2009, 38(2): 38-39.
- [14] 陈琳. 西南桦苗期营养诊断与氮素施肥[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2010: 45-46.
- [15] 唐菁, 杨承栋, 康红梅. 植物营养诊断方法研究进展[J]. 世界林业研究, 2005, 18(6): 45-48.
- [16] 王华, 贾桂霞, 丁琼, 等. 矿质营养与沙冬青幼苗生长和根系结瘤关系的研究[J]. 北京林业大学学报, 2006, 28(4): 129-134. WANG H, JIA G X, DING Q, *et al.* Relationship between mineral nutrition and seedling growth as well as nodulation of *Ammopiptanthus mongolicus* [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2006, 28(4): 129-134. (in Chinese)
- [17] 王书林, 李应军. 药用植物川麦冬营养缺素的初步研究[J]. 中药研究与信息, 2004, 6(1): 15-17.