

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201507002

引文格式: 王满莲, 文香英, 韦霄, 等. 施氮对三个南方珍稀树种幼苗生长和生物量分配的影响 [J]. 广西植物, 2017, 37(1):127-133.
WANG ML, WEN XY, WEI X, et al. Effects of nitrogen addition on seedling growth and biomass allocation of three rare tree species in the south of China [J]. Guihaia, 2017, 37(1):127-133.

施氮对三个南方珍稀树种幼苗生长和生物量分配的影响

王满莲¹, 文香英^{2,3}, 韦霄¹, 蒋运生¹, 柴胜丰¹, 唐辉^{1*}

(1. 广西植物功能物质研究与利用重点实验室, 广西壮族自治区广西植物研究所, 广西桂林 541006; 中国科学院
中国科学院华南植物园, 广州 510650; 3. 国际植物保护联盟(BGCI), 广州 510650)

摘要: 为了探讨珍稀树种对短期氮素添加的响应, 该文研究了氮素添加(0、0.1、0.2、0.4和0.6g·kg⁻¹土)对观光木、棱角山矾和半枫荷幼苗生长和生物量分配的影响。结果表明: 3个树种幼苗对外源氮素添加的反应不同, 施氮显著促进观光木幼苗株高、基径、冠幅以及全株生物量和各部分生物量的增加, 中低氮促进半枫荷幼苗的生长, 但高氮抑制其生长; 少量施氮对棱角山矾幼苗的形态和生物量参数没有产生显著影响, 中量施氮抑制其生长。氮素营养的改变显著影响3种植物幼苗的生物量分配, 观光木幼苗的根生物量比和根冠比均随施氮量的增加而显著降低; 除高氮处理外, 半枫荷幼苗的根生物量比和根冠比均随供氮量的增加而显著升高; 棱角山矾的根生物量比和根冠比均随供氮量的增加而显著升高, 可能与施氮抑制其茎叶的生长有关。总的来看, 观光木幼苗更能耐受高氮条件, 半枫荷幼苗次之, 而棱角山矾幼苗不耐高氮; 但到当年生长季末, 各氮处理半枫荷幼苗的株高、基径和总相对生长速率均显著大于其它两种植物。

关键词: 半枫荷, 观光木, 棱角山矾, 生长特性, 生物量分配

中图分类号: Q945 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2017)01-0127-07

Effects of nitrogen addition on seedling growth and biomass allocation of three rare tree species in the south of China

WANG Man-Lian¹, WEN Xiang-Ying^{2,3}, WEI Xiao¹, JIANG Yun-Sheng¹,
CHAI Shen-Feng¹, TANG Hui^{1*}

(1. Guangxi Key Laboratory of Functional Phytochemicals Research and Utilization, Guangxi Zhuang Autonomous Region and Chinese Academy of Botany, Guilin 541006, Guangxi, China; 2. South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China; 3. Botanic Gardens Conservation International, BGCI, Guangzhou 510650, China)

Abstract: In order to investigate the short-term response of rare tree species to nitrogen addition, the seedling growth and biomass allocation of *Semiliquidambar cathayensi*, *Tsoongiodendron odorum*, *Symplocos tetagona* under five soil ni-

收稿日期: 2016-02-18 修回日期: 2016-05-26

基金项目: 广西科学研究与技术开发计划项目(桂科重 1355001-5-5); 广西科技成果转化项目(1346004-29); 广西科学研究与技术开发计划项目(桂科攻 1355007-3); 桂林市科技成果转化与应用项目(20140124-2); 广西植物研究所基本业务费项目(桂植业 13006); 广西植物功能物质研究与利用重点实验室主任基金项目(ZRJ2015-7); 国际植物园保护联盟项目(BGCI 30412) [Supported by Guangxi Technology R & D Program (1355001-5-5); Guangxi Transformation of S & T Achievements Program (1346004-29); Guangxi Technology R & D Program (1355007-3); Transformation and Application of S & T Achievements Program of Guilin (20140124-2); Science Research Foundation of Guangxi Institute of Botany (13006); Director Fund Program of Guangxi Key Laboratory of Functional Phytochemicals Research and Utilization(ZRJ2015-7); Botanic Gardens Conservation International Program (BGCI 30412)].

作者简介: 王满莲(1978-), 女, 湖南洞口人, 硕士, 副研究员, 主要从事植物生理生态研究工作, (E-mail) Wangml1978@163.com。

*通信作者: 唐辉, 研究员, 主要从事植物引种栽培研究, (E-mail) th@gxib.cn。

nitrogen levels(0, 0.1, 0.2, 0.4 and 0.6g · kg⁻¹ soil) were studied for more than four months. The results showed that the seedlings of the three tree species responded differently to the different nitrogen content levels. The plant height, basal diameter, crown width, total biomass and the biomass of each organs increased significantly in the seedlings of *Tsoongiodendron odorum*. Low and medium nitrogen promoted and high nitrogen inhibited the growth of *Semiliquidambar cathayensis* seedlings. The morphology and growth parameters of *Symplocos tetagona* seedlings were not significantly different among low nitrogen contents, but were inhibited under medium amount of nitrogen. The biomass allocation of three species seedlings varied significantly among different nitrogen treatments. With the increase of nitrogen levels, the root mass ratio and the ratio of root / shoot of *Tsoongiodendron odorum* seedlings decreased significantly, and those parameters of *Semiliquidambar cathayensis* seedlings increased significantly with the increase of nitrogen levels except for the highest nitrogen treatment. The root biomass ratio and the ratio of root / shoot of *Symplocos tetagona* seedlings increased significantly with the nitrogen content, which may relate to the growth of stem and leaf that were inhibited under medium and high nitrogen levels. Overall, *Tsoongiodendron odorum* seedlings were more resistant to high nitrogen loads, *Semiliquidambar cathayensis* seedlings came to the second, and *Symplocos tetagona* seedlings were not resistant to high nitrogen loads. At the end of the growing season, the height, basal diameter and total biomass relative growth rate of *Semiliquidambar cathayensis* seedlings were significantly higher than those of the other two plant species.

Key words: *Semiliquidambar cathayensis*, *Tsoongiodendron odorum*, *Symplocos tetagona*, growth properties, biomass allocation

珍稀乡土树种是森林种质资源的重要组成部分,是当地经自然选择而保留的优胜者,也是林木良种繁育的优质种源,是林业发展的基础性和战略性资源(王英姿等,2015)。但是,随着人类经济社会的发展,我国南方地区大量原始常绿阔叶林被杉树林、竹林以及农作物、果园所替代,森林涵养水源能力大大下降,水土流失等生态环境问题日益严重,许多珍稀乡土树种遭到大量砍伐或由于生存环境的破坏,面临濒危灭绝的风险。因此,珍稀乡土树种资源的研究开发和保护利用变得越来越迫切。

氮素是植物个体生长最常见的限制因子之一,氮限制植物生长更甚于其他营养元素(Vitousek & Howarth, 1991)。近年来人类活动造成的氮沉降增加已经成为全球性的生态环境问题(Adams et al, 2004),关于氮沉降对植物影响已有大量的研究,包括植物的生理生态响应、形态变化和生物量分配格局等诸多方面(李化山等,2013; Kerkhoff et al, 2006; 邓斌和曾德慧,2006; Berger et al, 2001, Zhou et al, 2014)。一般情况下,氮适量增加促进植物的生长(李德军等,2005),但是过量会产生负面作用,反而抑制植物的生长(Bauer et al, 2004)。然而,氮素对植物生长的影响因氮含量、植物种类和生长条件等诸多因素的差异而不同(吴茜等,2011)。了解植物对氮素的响应过程,尤其是重要经济、生态树种的响应过程,对更好地认识和发挥植物潜在的生态功能、指导林业养分管理和提高森林生产力等

具有重要的实践和理论意义。

我国南方地区热量充足、雨水充沛,孕育了众多优良的珍稀乡土树种资源(王仁卿等,2002)。其中,半枫荷(*Semiliquidambar cathayensis*)为金缕梅科常绿高大乔木,国家Ⅱ级保护植物,在园林绿化、学术研究和中医药应用等方面具极高价值(杨武亮等,1999);观光木(*Tsoongiodendron odorum*)为木兰科常绿珍稀濒危乔木树种(池毓章,2007),国家Ⅱ级保护植物,是建筑、家具等的优良珍贵用材,也是优良的绿化树种;棱角山矾(*Symplocos tetagona*)为山矾科山矾属常绿阔叶乔木,也是一种优良的用材和观赏树种(颜立红等,2012),虽不是濒危植物,但目前野生资源很少。我们调查研究发现,以上3种常绿珍稀乡土树种虽然野生资源稀少,但人工栽培条件下生长迅速,生态经济效益俱佳,是理想的植被恢复树种。因此,本研究选择半枫荷、观光木和棱角山矾3个珍稀乡土树种幼苗为试验材料,研究短期氮素添加对3个南方珍稀树种幼苗的生长、生物量积累和分配的影响,比较3个树种苗期对氮素的响应机制差异,以期为南方山区因地制宜选择乡土树种造林和林木养分管理提供一定的理论指导。

1 材料与方 法

试验在桂林植物园透光率为30%的温室大棚内进行,该地自然概况见韦霄等(1998)的描述。

2014年3月25日将干藏的半枫荷种子浸泡一个晚上后播种于13×15的营养袋,每袋一颗种子,15 d左右种子萌发,观光木与棱角山矾幼苗均为市场购买的2013年出土的营养袋装(13×15)幼苗,5月24日将3种植物幼苗转移至容积为10 L的花盆中,每盆一株,栽培基质由耕地25 cm以上表土混匀而成,每盆装土10 kg。基质施肥前养分含量为有机质、全氮、全磷、全钾各15.1、2.1、1.03和10.4 g·kg⁻¹,速效氮、磷和钾各78.6、60.5和85.5 mg·kg⁻¹,根据土壤养分分级指标(陆欣,2002),基质土壤氮含量较丰富,磷和钾含量中等。7月24日,每个物种选择大小一致的幼苗进行施氮处理,且各物种收获6株称取生物量,测量株高、基径和冠幅,作为初始生长与生物量数据(表1)。共设5个供氮水平,分别为0、0.1、0.2、0.4和0.6 g·kg⁻¹土,每组30盆。氮素处理方法是先定量称取尿素(有效氮46%),用水稀释后分3次施入,每次间隔为30 d。为排除其他营养元素的影响,各处理均施P₂O₅和K₂O各0.2 g·kg⁻¹土,微量元素B、Mn、Zn、Fe、Cu、Mo各0.005 g·kg⁻¹土,所选磷肥为一级钙镁磷肥(含P₂O₅12%),所选钾肥为K₂SO₄(含K₂O50%)。2014年11月24日(植株生长末期),各处理每个物种随机各抽取6株测量株高、基径和冠幅(取两个垂直方向的平均值)后收获,并在80℃下烘48 h,电子天平称量叶干重、支持结构干重和根干重。求出如下参数:叶生物量比(LMR,叶重/植株总重);支持结构生物量比(SBR,支持结构重/植株总重);根生物量比(RMR,根重/植株总重)和根冠比(R/C,根生物量/地上部分生物量)。

表1 3个珍稀树种幼苗的初始形态参数与初始生物量
Table 1 Initial morphological parameters and biomass of the seedlings of the three rare tree species

物种 Species	株高 Height (cm)	基径 Diameter (mm)	冠幅 Crown (cm)	生物量 Biomass (g)
观光木 <i>Tsoongiodendron odorum</i>	10	4.246	23.4	2.1156
棱角山矾 <i>Symplocos tetagona</i>	26.6	4.07	25.8	4.451
半枫荷 <i>Semiliquidambar cathayensis</i>	10.5	2.32	15.5	1.057

和基径的相对生长速率均按下式计算, $R = (\ln H_2 - \ln H_1) / \Delta t$,其中 H_1 和 H_2 分别表示初始和最终收获时的生物量、株高和基径, Δt 为两次取样的间隔时间(王晓荣等,2014)。用SPSS 19.0 (SPSS Inc., USA)的一元方差分析(One-Way ANOVA)分析3种植物幼苗各参数在不同供氮水平下的差异和相同供氮水平下的种间差异。绘图用SigmaPlot 9.0 (SPSS Inc., USA)。

2 结果与分析

2.1 施氮对3个珍稀树种幼苗形态特征的影响

如图1所示,施氮量显著影响3种植物幼苗的株高、基径和冠幅。其中,观光木幼苗的株高、基径和冠幅均随施氮量的增加而显著增大;供氮量0~0.4 g·kg⁻¹之间,半枫荷幼苗的株高、基径和冠幅均随施氮量的增加而显著增大,之后随供氮量增加,株高和基径显著降低,冠幅无显著变化;供氮量0~0.2 g·kg⁻¹之间,棱角山矾幼苗的株高、基径和冠幅均无显著差异,之后供氮量增加株高、基径和冠幅均显著降低。施氮促进观光木幼苗株高、基径和冠幅的增长;中低氮促进半枫荷幼苗形态参数的增长,但高氮抑制其增长;少量施氮对棱角山矾幼苗的形态参数没有产生显著影响,但中量施氮即开始抑制其生长。3种南方珍稀树种中,观光木幼苗耐氮能力最强,半枫荷幼苗次之,棱角山矾幼苗不耐氮。

2.2 施氮对3个珍稀树种幼苗生物量的影响

如图2所示,施氮量显著影响3种植物幼苗的各部分生物量。其中,观光木幼苗的根生物量、支持结构生物量、叶生物量和总生物量均随供氮量的增高而显著增大;棱角山矾幼苗的根生物量在各氮处理间无显著差异,供氮量0~0.2 g·kg⁻¹之间,棱角山矾幼苗的支持结构生物量、叶生物量和总生物量均无显著差异,之后随供氮量增加其支持结构生物量、叶生物量和总生物量均显著降低;供氮量0~0.4 g·kg⁻¹之间,半枫荷幼苗的根生物量、支持结构生物量、叶生物量和总生物量均随供氮量的增高而显著增大,之后供氮量增加其各部分生物量均显著降低。施氮显著促进观光木幼苗整株生物量和各部分生物量的增加,中低氮促进半枫荷幼苗生物量参数的增加,但高氮抑制其增加;少量施氮对棱角山矾幼苗的生物量参数没有产生显著影响,中量施氮即抑制其增长。

不同处理植株的生物量相对生长速率以及株高

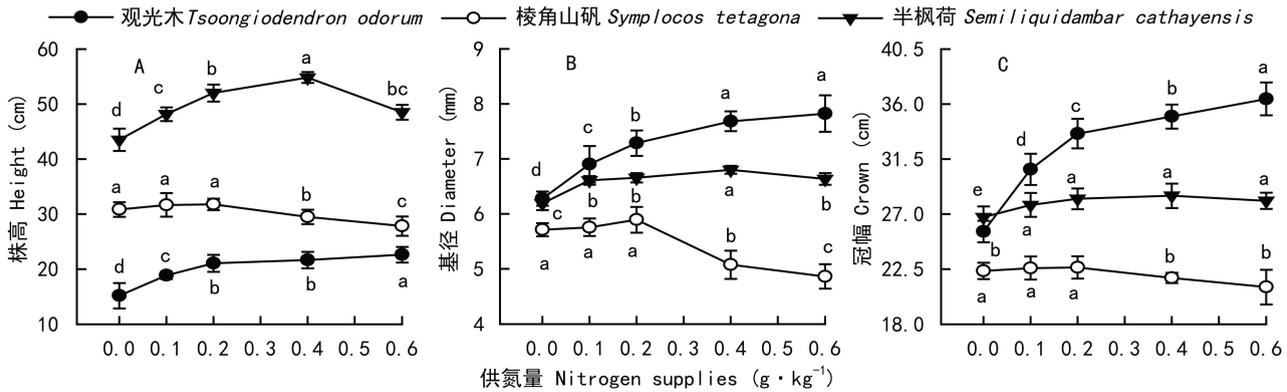


图 1 不同氮水平下 3 个珍稀树种幼苗的形态特征 不同小写字母表示不同氮间有显著差异 ($P < 0.05$)。

Fig. 1 Morphological features of the three rare tree species seedlings grown under different nitrogen levels

Different small letters indicate significantly differences under different nitrogen levels ($P < 0.05$).

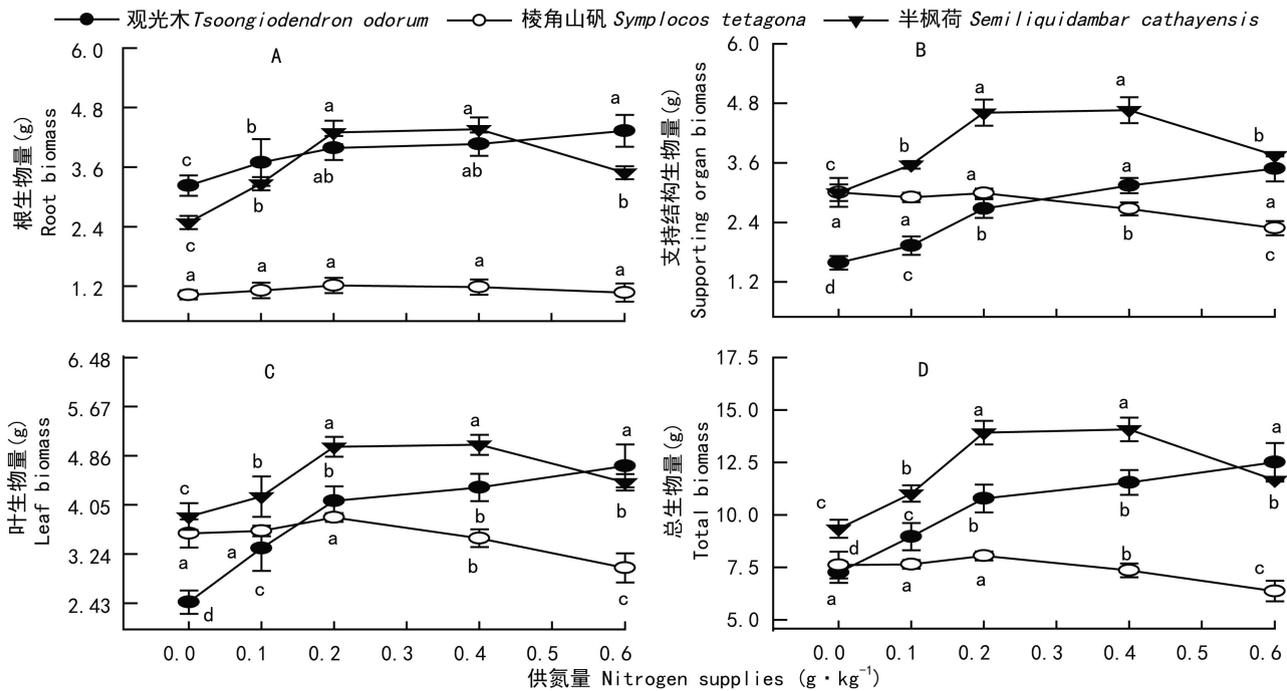


图 2 不同氮水平下 3 个珍稀树种幼苗的生物量

Fig. 2 Biomass of the seedlings of the three rare tree species grown under different nitrogen levels

2.3 施氮对 3 个珍稀树种幼苗生物量分配的影响

如图 3 所示,施氮量显著影响 3 种植物幼苗的各部分生物量分配。其中,观光木幼苗的根生物量比和根冠比随施氮量的增加呈显著降低的趋势,而半枫荷和棱角山矾幼苗的根生物量比和根冠比随施氮量的增加呈显著增大的趋势;观光木幼苗的支持结构生物量比和叶生物量比均随施氮量的增加呈显著增大的趋势;棱角山矾幼苗的支持结构生物量比

随施氮量的增加而显著降低,而叶生物量比随施氮量的增加无显著变化;半枫荷的叶生物量比随施氮量的增加呈先降后升的趋势,支持结构生物量比随施氮量的增加无显著变化。

2.4 施氮对 3 个珍稀树种幼苗相对生长速率的影响

如图 4 所示,施氮量显著影响 3 种植物幼苗的株高、基径和生物量的相对生长速率。其中,观光木的株高、基径和生物量相对生长速率均随施氮量的

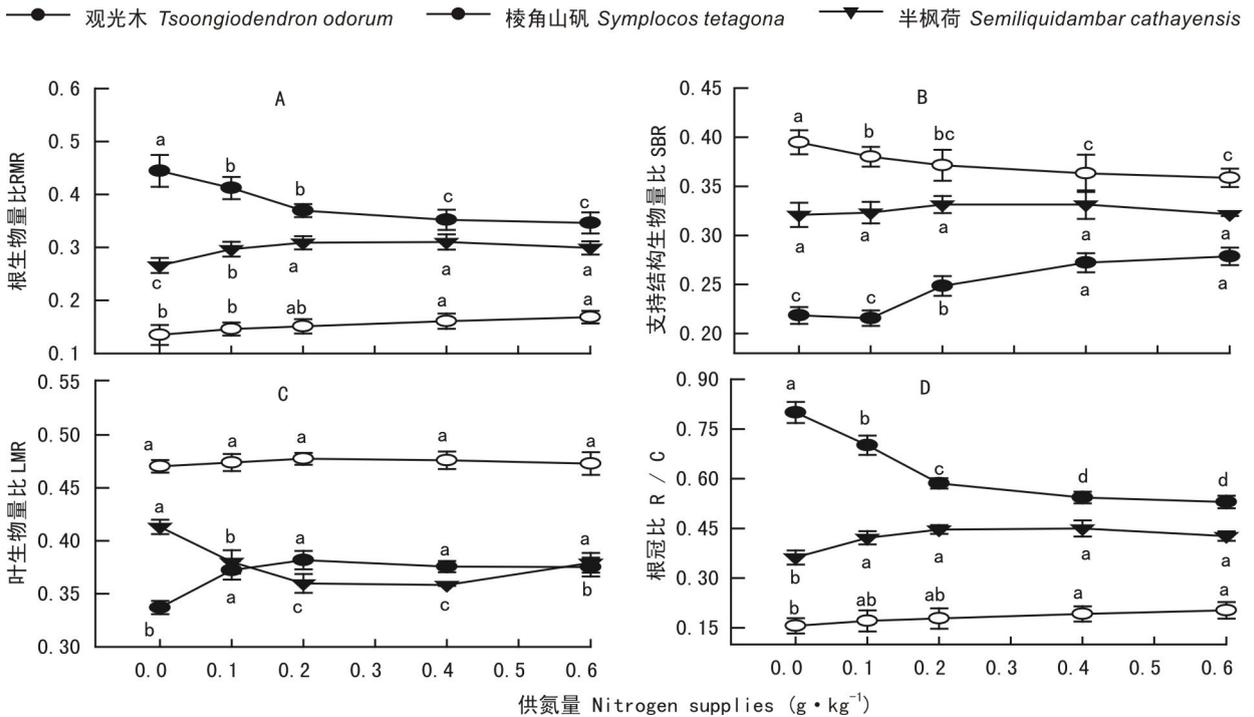


图3 不同氮水平下3个珍稀树种幼苗的生物量分配

Fig. 3 Biomass allocation of the seedlings of the three rare tree species grown under different nitrogen levels

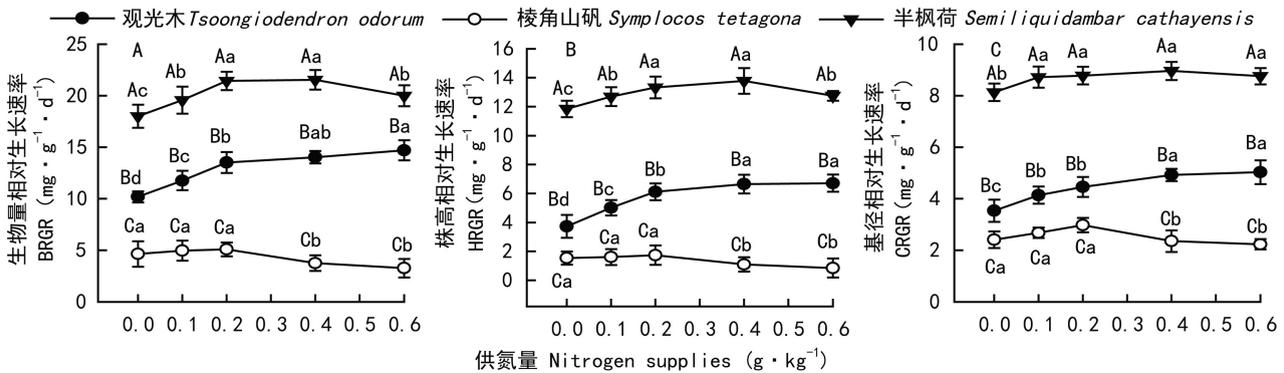


图4 不同氮水平下3个珍稀树种幼苗的相对生长速率 不同大写字母表示同一氮水平下不同种之间差异显著,不同小写字母表示同种不同氮水平下差异显著。

Fig. 4 Relative growth rate of the seedlings of the three rare tree species grown under different nitrogen levels

Different capital letters indicate significantly inter-specific differences under the same nitrogen level, and different small letters indicate significantly intra-specific differences under different nitrogen levels.

增加而显著增大;半枫荷的株高和生物量相对生长速率均随施氮量的增加呈先升后降的趋势,其各施氮处理间的基径相对生长速率无显著差异,但均显著高于对照;供氮量0~0.2 $g \cdot kg^{-1}$ 之间,棱角山矾幼苗的株高、基径和生物量相对生长速率均无显著差异,之后随供氮量增加而显著降低。相同氮水平下,3种植物相比较,半枫荷幼苗各氮处理的株

高、基径和生物量相对生长速率均显著大于观光木,而观光木又显著大于棱角山矾。

3 讨论

土壤氮素是限制植物生长的主要环境因子之一,直接影响植物的生长发育和生物量积累。生物

量、基径和株高是植物响应环境因子最直观指标,可以反映植物对环境资源响应的可塑性,对了解植物适应环境因子的机制具有重要意义 (Iam et al, 2003)。本研究的3个南方珍稀树种幼苗对外源氮素添加的反应不同,施氮促进了观光木幼苗的株高、基径、冠幅以及整株生物量和各部分生物量的增加,这与邓斌和曾德慧(2006)对樟子松幼苗生物量,吴茜等(2011)对秃瓣杜英、枫香和木荷幼苗的研究结果一致;中低氮($0 \sim 0.4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)促进半枫荷幼苗的生长,但更高的氮则抑制其生长;少量施氮对棱角山矾幼苗的形态和生物量没有产生显著影响,中量施氮就开始抑制其生长,可能是棱角山矾幼苗对氮素的需求不高,且本研究中土壤本身氮含量较高,已经能够满足其对氮素的需求,外源添加氮素反而抑制其生长。

氮资源的改变影响植物体内的碳分配格局,不同氮水平下,植物的叶、支持结构和根生物量分配比例不同 (Poorter & Nagel, 2000; Wright et al, 2011)。一般认为“在一定范围内,植物的根生物量比和根冠比通常随供氮水平的增加而降低”(Flückiger & Braun, 1998)。与大多数植物一样,本试验中观光木幼苗的根冠比和根生物量比也随施氮的增大而显著降低,这是由于在土壤有效氮不足时,扩大养分吸收器官根系的生长有利于吸收更多的氮素;而当土壤有效氮比较充足时,光合产物向地上部分分配的比例增加,有利于增大叶面积,促进光合产物的积累。半枫荷和棱角山矾幼苗的根生物量比和根冠比随供氮量的变化趋势与观光木不同。在供氮量 $0 \sim 0.4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,半枫荷幼苗的根、支持结构和叶生物量均随供氮量的增高而显著增大,而根生物量比和根冠比随施氮量增加而显著增大,供氮量增加同时增大了半枫荷地上和地下部分的生物量,但是地上生物量增大的量小于地下部分。棱角山矾幼苗对氮素的需求较低,中量施氮开始时其支持结构和叶生物量均随施氮量的增加而显著降低,而处理间根生物量无显著差异,施氮抑制其茎叶的生长,但对根生物量无显著影响,故其根生物量比和根冠比均随供氮量的增加而显著升高。

施氮量的不同显著影响3个南方乡土树种幼苗的生长和生物量分配,同时,它们的株高、基径和生物量的相对生长速率也相应发生显著变化。氮处理前棱角山矾幼苗的初始株高和生物量最大,观光木次之,半枫荷最小,到年生长期末。半枫荷幼苗各氮

处理的株高、基径和总相对生长速率均显著高于其他两种植物,尤其在中等施氮水平生长最快。由此可见,半枫荷虽为濒危植物,但其苗木生长速率较高,在人工管理下不失为一种优良的生态恢复树种。本研究的3个珍稀树种幼苗对氮的响应不同,观光木幼苗更能耐受高氮条件,半枫荷幼苗次之,棱角山矾幼苗对氮的需求较低,中量氮即抑制其生长。生产中我们应根究其对氮素的需求特点进行相应的施肥管理,以及根据生境养分特点选择不同的树种。

参考文献:

- ADAMS MA, INESON P, BINKLEY D, 2004. Soil functional responses to excess N inputs at global scales [J]. *Ambiol*, 33: 530-536.
- BERGER TW, GLATZEL G, 2001. Response of *Quercus petraea* seedlings to nitrogen fertilization [J]. *For Ecol Manag*, 149: 1-14.
- Chi YZ, 2007. The study on growth regularity and the technology of grow seedlings of *Tsoongiodendron odorum* Chun [J]. *J Fujian For Sci Technol*, 34(1): 122-125. [池毓章, 2007. 观光木播种苗生长规律及育苗技术研究 [J]. *福建林业科技*, 34(1): 122-125.]
- DENG B, ZENG DH, 2006. Effects of nitrogen fertilization on biomass partitioning and leaf physiological characteristics of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* seedlings on sandy soil [J]. *Chin J Ecol*, 25: 1312-1317. [邓斌, 曾德慧, 2006. 添加氮肥对沙地樟子松幼苗生物量分配与叶片生理特性的影响 [J]. *生态学杂志*, 25: 1312-1317.]
- IAM E, JMM VD, PH VT, 2003. Plasticity of growth characteristics in wild barley (*Hordeum spontaneum*) in response to nutrient limitation [J]. *J Ecol*, 91: 371-382.
- FLÜCKIGER W, BRAUN S, 1998. Nitrogen deposition in Swiss forests and its possible relevance for leaf nutrient status, parasite attacks and soil acidification [J]. *Environ Poll*, 102: 69-76.
- KERKHOFF A J, FAGAN W F, ELSER JJ, et al, 2006. Phylogenetic and growth form variation in the scaling of nitrogen and phosphorus in the seed plants [J]. *Am Nat*, 168(4): 103-122.
- LI HS, WANG JS, FA L, et al, 2013. Effects of simulated nitrogen deposition on seedling growth of *Pinus tabulaeformis* [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 19(5): 774-780. [李化山, 汪金松, 法蕾, 等, 2013. 模拟氮沉降对油松幼苗生长的影响 [J]. *应用与环境生物学报*, 19(5): 774-780.]
- LU X, 2002. Soil-fertilizer science [M]. Beijing: China Agricultural University Press: 482. [陆欣, 2002. 土壤肥科学 [M]. 北京: 中国农业大学出版社: 482.]
- POORTER H, NAGEL O, 2000. The role of biomass allocation in the growth response of plants to different levels of light, CO₂, nutrients and water: a quantitative review [J]. *Austr J Plant Physiol*, 27: 595-607.
- VITOUSEK PM, HOWARTH RW. 1991. Nitrogen limitation on land and in the sea: How can it occur? [J] *Biogeochemistry*, 13: 87-115.
- WANG RQ, KAUFZ F, YOU HM, 2002. Theory and practices for forest vegetation restoration: native forest with native trees intro-

- duction of the Miyawaki's method for reconstruction of environmental protection forest (ecological method to reforestation) [J]. *J Plant Ecol*, 26(Suppl.):133-139. [王仁卿, 藤原一绘, 尤海梅, 2002. 森林植被恢复的理论和实践:用乡土树种重建当地森林—宫胁森林重建法介绍 [J]. *植物生态学报*, 26(增刊):133-139.]
- WANG XR, PAN L, TANG WP, et al, 2014. Short-term effects of nitrogen addition on seedling growth and biomass allocation with different tree species of *Quercus* in the mid-subtropics of China [J]. *J NE For Univ*, 42(6):24-28. [王晓荣, 潘磊, 唐万鹏, 等, 2014. 氮素添加对中亚热带栎属不同树种幼苗生长及生物量分配的短期影响 [J]. *东北林业大学学报*, 42(6):24-28.]
- WANG YZ, ZHANG SH, LI BF, et al, 2015. Study on the introduction adaptability experiment for three rare tree species [J]. *Mod Agric Sci Technol*, 10: 157-158, 175. [王英姿, 张顺恒, 李宝福, 等, 2015. 3 种珍稀树种引种适应性研究 [J]. *现代农业科技*, 10: 157-158, 175.]
- WEI X, LI F, FU XH, et al, 1998. The differences of output and Qinghaosu content among different types of *Artemisia annua* L. [J]. *J Guangxi Acad Sci*, 14(1):28-31. [韦霄, 李锋, 傅秀红, 等, 1998. 黄花蒿类型引种试验 [J]. *广西科学院学报*, 14(1):28-31.]
- WRIGHT SJ, JOSEPH BY, NINA W, et al, 2011. Potassium, phosphorus, or nitrogen limit root allocation, tree growth, or litter production in a lowland tropical forest [J]. *Ecology*, 92(8):1616-1625.
- WU Q, DING J, YAN H, et al, 2011. Effects of simulated precipitation and nitrogen addition on seedling growth and biomass in five tree species in Gutian Mountain, Zhejiang Province, China [J]. *J Plant Ecol*, 35(3):256-267. [吴茜, 丁佳, 闫慧, 等, 2011. 模拟降水变化和土壤施氮对浙江古田山 5 个树种幼苗生长和生物量的影响 [J]. *植物生态学报*, 35(3):256-267.]
- YAN LH, JIANG LY, LIU XX, et al, 2012. The application of *Symplacos tetragona* in stony desertification control [J]. *Hunan For Sci Technol*, 39(5):60-62. [颜立红, 蒋利媛, 刘小雄, 等, 2012. 棱角山矾在石漠化治理中的应用 [J]. *湖南林业科技*, 39(5):60-62.]
- YANG WL, YAO ZS, LUO XQ, et al, 1999. Analgesic and anti-inflammatory effects of the ethanol extracts of Jinlu Ban Fenghe (*Semiliquidambar cathayensis*) root [J]. *Jiangxi Sci*, 17(3):176-179. [杨武亮, 姚振生, 罗小泉, 等, 1999. 金缕半枫荷的镇痛和抗炎作用 [J]. *江西科学*, 17(3):176-179.]
- ZHOU XB, ZHANG YM, KARL JN. 2014. Sensitivity of growth and biomass allocation patterns to increasing nitrogen: a comparison between ephemerals and annuals in the Gurbantunggut Desert, north-western China [J]. *Ann Bot*, 113: 501-511.

(上接第 126 页 Continue from page 126)

- sity of natural *Litsea cubeba* population's leaf and fruit traits [J]. *Sin J Acta Ecol*, 31(7):1665-1672. [田胜平, 汪阳东, 陈益存, 等, 2012. 山苍子天然种群叶片和种实性状的表型多样性 [J]. *生态学杂志*, 31(7):1665-1672.]
- WANG CY, MA SB, LÜ J, et al, 2012. Ecological and geographical distribution of *Keteleeria* and its systematic evolution in China [J]. *Guihaia*, 32(5):612-616. [王崇云, 马绍宾, 吕军, 等, 2012. 中国油杉属植物的生态地理分布与系统演化 [J]. *广西植物*, 32(5):612-616.]
- WANG DS, 2003. Study on the structure characteristics of *Keteleeria cyclolepis* communities [J]. *J Fujian For Sci Technol*, 30(3):37-46. [王德水, 2003. 江南油杉群落结构特征研究 [J]. *福建林业科技*, 30(3):37-46.]
- WANG XA, WANG ZG, XIAO YP, et al, 2005. Ecological plasticity of *Larix chinensis* population cones and seeds in Qinglin Mountain [J]. *Chin J Appl Ecol*, 16(1):29-32. [王孝安, 王志高, 肖娅萍, 等, 2005. 秦岭山地太白红杉种群种实性状的生态可塑性研究 [J]. *应用生态学报*, 16(1):29-32.]
- WANG Y, JIANG Y, HUANG RL, et al, 2014. Study on relationship between diameter at breast height and crown width of *Keteleeria cyclolepis* forest from Guangxi [J]. *Guangdong Agri Sci*, 6: 62-65. [王勇, 蒋焱, 黄荣林, 等, 2014. 广西江南油杉人工林冠幅与胸径相关性研究及应用 [J]. *广东农业科学*, 6: 62-65.]
- WANG YL, LI Y, 2008. Study on phenotypic diversity of cone and seed in natural populations of *Picea crassifolia* in Qilian Mountain, China [J]. *Acta Phytoecol Sin*, 32(2):355-362. [王娅丽, 李毅, 2008. 祁连山青海云杉天然群体的种实性状表型多样性 [J]. *植物生态学报*, 32(2):355-362.]
- WIDMER A, LEXER C, COZZOLINO S, 2009. Evolution of reproductive isolation in plants [J]. *Heredity*, 102(1):31-38.
- WONG X, 2008. Studies on natural population distribution of *Keteleeria cyclolepis* in Fujian Province [J]. *J Fujian For Sci Technol*, 35(4):12-14. [翁闲, 2008. 福建江南油杉天然种群分布规律研究 [J]. *福建林业科技*, 35(4):12-14.]
- XU L, BAO WK, HE YH, 2004. Morphological characters and geographical variation of cones and seeds of four *Cupressus chengiana* S. Y. Hu populations [J]. *Chin J Appl & Environ Biol*, 10(6):707-711. [徐亮, 包维楷, 何永华, 2004. 4 个岷江柏种群的球果和种子形态特征及其地理空间差异 [J]. *应用与环境生物学报*, 10(6):707-711.]
- YANG GW, YANG GJ, PAN XJ, et al, 2014. Testing report on *Keteleeria Cyclolepis* Flous breeding [J]. *For Constr*, 5: 76-78. [杨广文, 杨广军, 潘新军, 等, 2014. 江南油杉育苗技术试验 [J]. *林业建设*, 5: 76-78.]
- ZHOU X, HE ZB, KANG HZ, et al, 2013. Variations of seed morphology related to climate for *Quercus variabilis* across temperate subtropical China [J]. *Acta Phytoecol Sin*, 37(6):481-491. [周旋, 何正飏, 康宏樟, 等, 2013. 温带-亚热带栓皮栎种子形态的变异及其与环境因子的关系 [J]. *植物生态学报*, 37(6):481-491.]