

## 氮磷营养对旱冬瓜幼苗生长的影响

付玉斌<sup>1</sup>, 徐亮<sup>1</sup>, 白尚斌<sup>2</sup>, 孟广涛<sup>1</sup>, 祁荣频<sup>1</sup>

(1. 云南林业科学院, 云南 昆明 650204; 2. 浙江林学院 天目学院, 浙江 临安 311300)

**摘要:** 采用温室盆栽试验, 以 Hoagland 营养液为母液, 其中氮(全氮)和磷(全磷)质量浓度分别为 210 和 62 mg·L<sup>-1</sup>, 通过调节营养液中氮和磷的质量浓度, 设置了 9 种氮和磷配比营养液, 对旱冬瓜 *Alnus nepalensis* 幼苗进行砂培养试验, 从而探讨氮和磷营养对旱冬瓜幼苗的苗高、地径生长和生物量的变化及幼苗吸收氮和磷的影响。结果表明: 不同氮磷营养供应水平对旱冬瓜幼苗的生物量累积、地径和苗高生长量有影响, 其中氮的影响达显著水平, 磷的影响达极显著水平, 氮和磷之间的交互作用不明显。在氮和磷营养配合处理时, 只要二者之一的供应水平低于母液中的质量浓度, 旱冬瓜幼苗的地上部分生长和根系生长都不如对照。氮营养水平低于 210 mg·L<sup>-1</sup> 时, 增加营养液中磷的质量浓度, 细根/叶生物量比和地下/地上生物量比降低; 氮营养水平等于 210 mg·L<sup>-1</sup> 时, 增加营养液中磷的质量浓度, 这 2 种生物量比增加; 磷营养水平低于 62 mg·L<sup>-1</sup> 时, 低于或高于 210 mg·L<sup>-1</sup> 的氮营养水平导致 2 种生物量比增大。在 50 和 210 mg·L<sup>-1</sup> 氮营养水平下, 增加供磷质量浓度, 根和茎中的氮质量分数逐渐降低, 当磷水平增到 62 mg·L<sup>-1</sup> 时下降为最低, 继续增加磷水平, 则开始上升; 在 50 mg·L<sup>-1</sup> 氮水平下, 增加供磷水平, 叶中的氮质量分数逐渐上升, 磷供应达到 62 mg·L<sup>-1</sup> 时最有利叶片中氮的积累; 在 210 mg·L<sup>-1</sup> 氮水平下, 同样为磷在 62 mg·L<sup>-1</sup> 水平时最有利于叶片中氮的积累; 不论在何种供氮水平下, 在供给 32 mg·L<sup>-1</sup> 磷水平时, 不利于幼苗对磷的吸收, 根、茎、叶中的磷质量分数都最低。图 4 表 3 参 9

**关键词:** 植物学; 氮磷营养; 旱冬瓜; 生物量

中图分类号: S718.3; Q948.113 文献标志码: A 文章编号: 1000-5692(2008)05-0553-06

## *Alnus nepalensis* seedling growth with N and P treatments

FU Yu-pin<sup>1</sup>, XU Liang<sup>1</sup>, BAI Shang-bin<sup>2</sup>, MENG Guang-tao<sup>1</sup>, QI Rong-pin<sup>1</sup>

(1. Yunnan Academy of Forestry, Kunming 650204, Yunnan, China; 2. School of Tianmu, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

**Abstract:** Nitrogen (N) and phosphorus (P) are important nutrients for tree growth. There is low N and P content of mountain soil in Yunan Province. They maybe affect *Alnus nepalensis* seedling growth. This aim was to study *Alnus nepalensis* seedling growth with different N and P supply. Sand culture greenhouse experiments were used to determine the growth response of *Alnus nepalensis* to three N treatments (50, 210, and 420 mg·L<sup>-1</sup>) and four P treatments (14, 32, 62, and 124 mg·L<sup>-1</sup>), of which the control treatment design was 210 mg·L<sup>-1</sup> N and 62 mg·L<sup>-1</sup> P. Split-plot design with 9 treatments and 5 replications was used in the experiment. Results showed: (1) There had significant changes in root biomass, shoot biomass, leaf biomass, height and diameter increments of seedlings with different N and P supply, but no interaction between N and P, of which the effect of N was remarkable ( $P < 0.05$ ), and P was extreme remarkable ( $P < 0.01$ ). However, when N or P supply was less than the control, seedling growth reduced. (2) With increasing P and with N lower than 210 mg·L<sup>-1</sup>, the fine root mass/leaf mass ratio and root mass/shoot mass ratio was reduced, whereas with N of 210 mg·L<sup>-1</sup> these two ratios increased. (3) Compared to the control, with N of 50 and 210 mg·L<sup>-1</sup> as P increased, N content of roots and shoots decreased, but

收稿日期: 2007-10-08; 修回日期: 2008-03-13

基金项目: 国家林业局重点实验室开放基金资助项目(2002-12); “十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD03A10-03)

作者简介: 付玉斌, 助理研究员, 硕士, 从事森林培育和林木育种等研究。E-mail: yaf.ybfu@126.com

leaf N increased. (4) For all N treatments, P concentration in roots, shoots, and leaves was lowest with P 32 mg·L<sup>-1</sup>. In conclusion, there was an important effect of *Alnus nepalensis* seedling growth with balanced N and P supply or with increased P from a Hoagland solution. [Ch, 4 fig. 3 tab. 9 ref.]

Key words: botany; nitrogen and phosphorus; *Alnus nepalensis*; biomass

旱冬瓜 *Alnus nepalensis* 是桦木科 Betulaceae 落叶阔叶乔木, 是重要的多用途树种, 为理想的茶叶及食品包装用材, 较好的栲胶原料, 也是良好的绿化固氮树种。关于该树种的研究, 目前主要集中在固氮根瘤菌方面<sup>[1]</sup>, 而对营养栽培试验、栽培技术、对土壤资源的利用情况及在植被恢复中的作用机制等等都少见报道。旱冬瓜较为突出的特点是属于少数能固氮的非豆科 Leguminosae 树种之一, 具有很强的固氮和改良土壤功能, 因此, 红壤地区氮素缺乏对其生长的影响较小或者不会受到影响。其幼苗期虽然也有固氮根瘤, 但固氮的能力弱, 对土壤氮素的需求尚不清楚, 红壤地区缺磷又较为严重, 缺磷可能会进一步成为其正常生长发育的限制因子。因此, 展开氮和磷营养对旱冬瓜幼苗影响的研究, 了解旱冬瓜的养分利用过程及对养分缺乏条件下的反应, 对旱冬瓜林地施肥和提高林分生产力具有重要的科学意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究材料

试验用种子于 2002 年在云南保山昌宁优树上采集, 经调制后置于 4℃ 冰箱内保存, 于 2004 年 12 月播种, 发芽生长 8 个月后, 将幼苗拔出来洗净称量, 然后选择平均鲜质量约 0.622 g·株<sup>-1</sup>, 平均株长约 9.75 cm, 生长基本一致的幼苗, 分别栽植于砂盆中进行试验。

### 1.2 试验方法

幼苗培养基质为石英砂。将石英砂用清水浸泡、洗净, 然后用体积分数为 5.0 mL·L<sup>-1</sup> 氯化氢浸泡 24 h, 再用清水洗净。将洗净的石英砂装入上口口径为 30 cm, 高 22 cm, 底径 18 cm 的塑料盆中, 装至离上沿 2 cm 为宜。每盆栽 3 株, 移栽后浇灌平衡营养液 25 d, 成活稳定后, 开始进行不同营养液浇灌处理, 间隔 2 d 浇灌处理营养液 100 mL·盆<sup>-1</sup>, 浇水 200 mL·盆<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>。处理 3 个月后, 因冬天幼苗生长较为缓慢, 营养吸收较少, 故停止处理 1 个月, 春季气温回升后又接着处理了 3 个月。

处理营养液配制: 以 Hoagland 液为母液, 通过改变母液中的氮和磷质量浓度形成养分梯度。母液配方<sup>[2]</sup>: 0.51 g·L<sup>-1</sup>KNO<sub>3</sub>, 0.82 g·L<sup>-1</sup>Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, 0.49 g·L<sup>-1</sup>MgSO<sub>4</sub>·7 H<sub>2</sub>O, 0.136 g·L<sup>-1</sup>KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 2.86 mg·L<sup>-1</sup>H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, 0.08 mg·L<sup>-1</sup>CuSO<sub>4</sub>·5 H<sub>2</sub>O, 0.22 mg·L<sup>-1</sup>Zn SO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 1.81 mg·L<sup>-1</sup>MnCl<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O, 0.09 mg·L<sup>-1</sup>H<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O, 20 mg·L<sup>-1</sup>Fe-EDTA。共设置 9 种氮和磷营养液配比处理(表 1), 缺磷营养液中, K<sup>+</sup>以等量氯化钾(KCl)补齐, 缺氮条件下, Ca<sup>2+</sup>以等量氯化钙(CaCl<sub>2</sub>)补齐, 其他营养成分质量浓度不变, 并以 Hoagland 液营养液(N2P3)为对照。每个处理 5 盆。

### 1.3 指标测定

经过 6 个月的营养液处理后, 对各处理的旱冬瓜苗木进行苗高和地径生长量调查, 并进行全株收获, 分别称取根系(按根直径分为 3 级: <2, 2~5, >5 mm)、茎和叶的鲜质量, 然后 80℃ 烘干至恒量, 分别测定干质量。并采用双酸消化法分析测定根、茎、叶总氮和总磷的质量分数。进行统计分析。

表 1 各组处理的氮磷营养水平

Table 1 N and P nutrition levels

处理编号	氮/(mg·L <sup>-1</sup> )	磷/(mg·L <sup>-1</sup> )
N1P1	50	14
N1P2	50	32
N1P3	50	62
N1P4	50	124
N2P1	210	14
N2P2	210	32
N2P3 (ck)	210	62
N2P4	210	124
N3P2	420	32

## 2 结果与分析

### 2.1 氮、磷营养对旱冬瓜幼苗生物量分配的影响

2.1.1 氮、磷营养对地上部分生长的影响 植物地上部分的生长与地下根系的生长有明显的相关性, 从植物营养学的角度来看, 植物地上部分的变化主要在于根系的变化。氮和磷及其交互作用对旱冬瓜根系的影响反应在地上部分则是茎和叶生长量的差异(表 2 和图 1)。结果表明, 各处理间幼苗地上部分的生长差异都极显著, 氮和磷的作用为显著或极显著, 但以磷的作用更为重要, 氮和磷之间交互作用不明显。氮供应水平为  $50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (N1)时, 随着供磷水平增加, N1P1, N1P2, N1P3 和 N1P4 的茎生物量依次比对照减少了 91.0%, 65.0%, 43.0%和 40.0%, 叶生物量依次减少了 92.9%, 64.5%, 40.2%和 40.9%, 地上部分生物量也是依次减少了 92.2%, 64.8%, 41.4%, 40.6%; 氮的供应水平为  $210 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  (N2)时, 旱冬瓜幼苗的茎、叶生物量均比 N1 水平时有所增加, N2P1 和 N2P2 低磷处理的幼苗茎生物量依次比对照减少了 42.0%和 26.0%, 叶生物量依次比对照减少了 38.7%和 24.4%, 地上部分生物量依次减少 40.0%和 25.0%, 而 N1P4 高磷营养水平下茎和叶生物量及地上部分生物量均比对照增加了 29.0%, 37.3%和 33.6%。氮的供应水平为  $420 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  (N3)时, 当磷水平为  $32 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 地上生物量的累积明显下降, 茎和叶生物量及地上部分生物量均比对照减少了 43.0%, 44.0%和 44.4%。研究表明, 平衡营养有利于旱冬瓜幼苗的生长, 但在此基础上增加磷的供应水平更加有利于它的生长。

表 2 不同氮和磷营养水平对旱冬瓜幼苗各部分生物量及苗高、地径生长影响的方差分析结果

Table 2 Statistical analysis of biomass of different organs, height and diameter at butt end under different N and P nutrition levels

测定项目	自由度	F	处理间差异	氮的影响	磷的影响	氮磷交互作用
叶生物量	36	5.159	**	*	**	
茎生物量	36	4.318	**		**	
地上部分生物量	36	4.887	**	*	**	
直径 < 2 mm 的细根生物量	36	5.512	**	*	**	
直径 2 ~ 5 mm 的根系生物量	36	8.042	**	**	**	不明显
直径 > 5 mm 的粗根生物量	36	4.535	**	*	**	
根系总生物量	36	6.327	**	*	**	
地径生长量	36	8.478	**	**	**	
苗高生长量	36	5.174	**	*	**	

说明: \*\* 表示 0.01 水平极显著, \* 为表示 0.05 水平显著。

2.1.2 氮、磷营养对根系生长的影响 根系的生长与土壤养分多少有关, 土壤中氮和磷的多少直接影响旱冬瓜根系的生长。如表 2 和图 2 所示, 各处理间幼苗根系生长的差异都极显著, 氮和磷的作用都显著, 但以磷的作用更为重要, 氮、磷之间交互作用不明显。低氮营养水平(N1)下, 随着磷营养水平的增加, N1P1, N1P2, N1P3 和 N1P4 处理的幼苗细根(直径 < 2 mm)的生物量依次比对照减少 89.1%, 56.6%, 48.8%和 48.2%, 直径在 2 ~ 5 mm 的根生物量依次比对照减少 94.7%, 31.6%, 10.9%和 10.4%, 直径 > 5 mm 的粗根生物量依次比对照减少 100%, 84.0%, 75.5%和 59.4%, 根系总生物量依次减少 92.3%, 60.0%, 50.5%和 46.5%。全氮营养(N2)下, 随着磷营养水平的增加, 旱冬瓜幼苗根系的生物量也依次增加, N2P1 和 N2P2 低磷水平处理的幼苗的直径 < 2 mm 的细根生物量依次比对照减少 54.4%和 40.2%, 直径在 2 ~ 5 mm 范围内的根生物量依次比对照减少 12.0%和增加 38.9%, 直径 > 5 mm 的粗根生物量依次减少 66.2%和 48.3%, 根系总生物量依次减少 52.2%和 32.8%, 但高磷水平 N2P4 处理下, 直径 < 2 mm, 2 ~ 5 mm, > 5 mm 的幼苗根生物量及根系总生物量依次比对照增加 42.4%, 54.5%, 9.0%和 35.6%。氮营养水平增加到 N3, 磷水平降低到 P2 时, 直径 < 2 mm, 2 ~ 5 mm, > 5 mm 的幼苗根生物量及根系总生物量依次比对照减少 35.9%, 6.6%, 72.4%和 41.0%。试验结果表

明, 通过提高氮的供给水平, 对弥补磷缺乏下根系生长有一定的促进作用, 但在 N2 不缺氮或 N3 高氮的营养水平下, 磷营养极度缺乏会严重影响幼苗根系的生长。

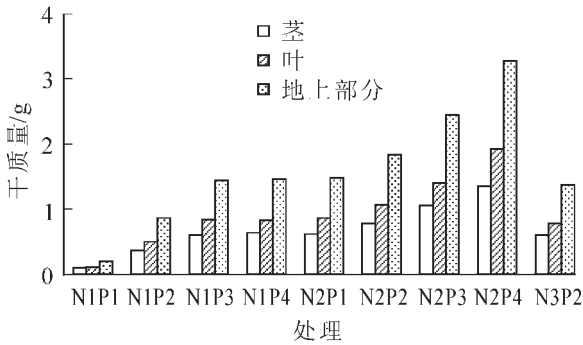


图 1 不同氮、磷供应水平对早冬瓜地上部分生物量的影响

Figure 1 Effects of N and P nutrition levels on shoot biomass

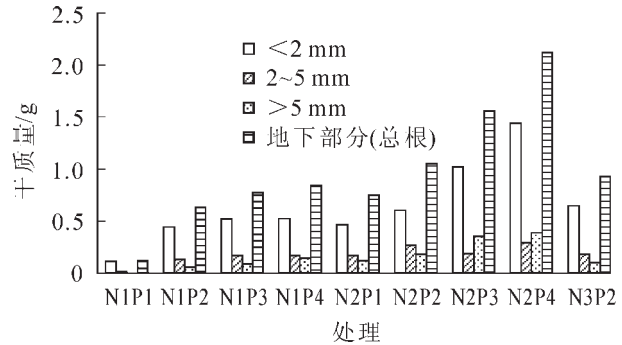


图 2 不同氮、磷供应水平对早冬瓜幼苗根系生物量的影响

Figure 2 Effects of N and P nutrition levels on root biomass

### 2.2 氮、磷营养对苗高及地径生长量的影响

苗高和地径是衡量苗木生长状况的重要品质指标, 也是最直观的指标, 土壤中养分充足与否能够通过苗木的苗高和地径反应出来。氮磷营养对早冬瓜苗木生长的影响如表 2 和图 3 所示, 各处理的幼苗苗高和地径生长量差异都极显著, 氮和磷的影响都显著, 氮、磷之间交互作用不明显。N1 低氮营养水平下, 随着磷营养水平的增加, N1P1, N1P2, N1P3 和 N1P4 处理的幼苗地径生长量依次比对照减少 63.0%, 33.0%, 24.0%和 28.0%, 苗高生长量依次比对照减少 70.0%, 50.0%, 20.0%和 30.0%。N2 氮营养处理下, N2P1 和 N2P2 低磷水平处理的幼苗地径生长量依次比对照减少 12.3%和 4.6%, 苗高生长量依次减少 20.0%和 30.0%, N2P4 高磷水平处理的幼苗地径、苗高生长量分别比对照增加 26.5%和 10.0%。N3P2 高氮低磷营养处理的幼苗, 地径比对照增加 2.0%, 苗高比对照减少 40.0%。在低氮水平下, 磷水平的增加能明显促进早冬瓜苗木地径的生长, 随着氮水平的增加, 磷的作用相对减弱, 但 P4 磷营养水平仍然能明显促进地径生长。

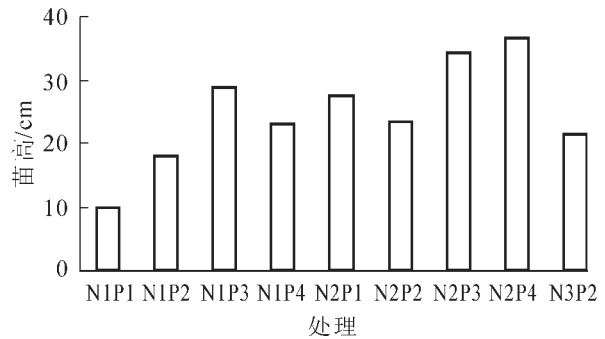
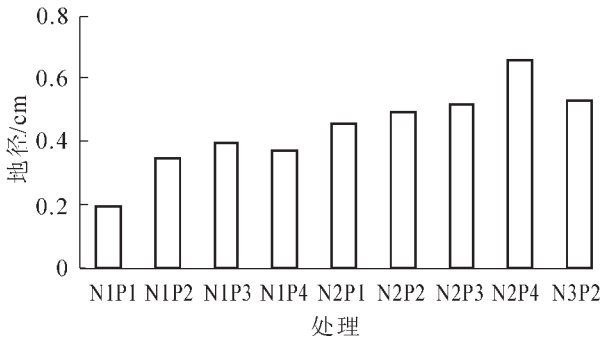


图 3 氮、磷缺乏条件下苗高和地径生长量的变化

Figure 3 Height and diameter at butt end of seedlings under different N and P nutrition levels

### 2.3 氮、磷营养对地下生物量与地上生物量比率的影响

个体植株的地下和地上部分生物量的大小反应植株对养分或光照的需求能力, 两者之比 > 1, 反应苗木对养分的需求能力较强, 反之则对光照有较强的需求<sup>[3]</sup>。试验表明(图 4), 在 N1 低氮营养水平下, 随着供磷水平的增加, 早冬瓜幼苗细根生物量/叶生物量的比率从大于 1 依次降低到了 0.54 左右, 同时, 地下/地上生物量的比率总体上也是下降的, 表明随着磷营养供给水平增加, 早冬瓜幼苗从对养分的需求较大逐渐转向对光照的需求增强。在 N2 全氮营养水平下, 随着供磷水平的增加, 早冬瓜幼苗的细根/叶生物量比率和地下/地上生物量比率呈现相似的变化规律, 都是呈上升趋势, 表现

出幼苗对养分的需求能力随着磷供应水平的增加逐渐减弱, 但二者之比仍然小于 1, 表明旱冬瓜幼苗不仅养分缺乏, 对光照需求也还很强。苏文华等<sup>[4]</sup>对旱冬瓜种子萌发和幼苗生长的研究中也证实了旱冬瓜苗期需要充分的光照。N3P2 高氮低磷处理下, 幼苗上述 2 种比率都很高, 而且高于 N2 全氮条件下相同磷水平处理的比率, 说明过多的氮补充并不能弥补磷的缺乏。在氮磷极度缺乏(N1P1)时和营养极度不平衡(N3P2)时, 营养大部分用于细根的生长, 说明树木幼苗在营养条件恶劣时, 有优先满足吸收养分的器官, 即细根的生长特点<sup>[5-7]</sup>。此外, 研究还表明, 在氮缺乏的条件下, 增加磷水平, 这 2 种比率降低, 说明通过增加磷营养水平可以调节幼苗对氮胁迫的适应; 在磷缺乏的条件下, 幼苗在 N1P2 和 N3P2 处理下都比 N2P2 表现出更强的养分需求能力, 也表明增加供氮水平不能促进旱冬瓜幼苗对磷胁迫的适应, 反而表现为更严重的养分缺乏。已有研究认为: 在磷限制生长条件下, 通常地上/地下生物量比率减少<sup>[8]</sup>, 地下/地上生物量比率增加<sup>[9]</sup>。本试验仅在 N1 的氮供应水平下, 磷受限制时与此结论相似, 但在 N2 的氮供应水平下确得到相反的结果。

#### 2.4 氮、磷营养对旱冬瓜幼苗氮、磷吸收的影响

2.4.1 不同氮、磷营养水平对旱冬瓜幼苗氮吸收的影响 试验表明(表 3), 在 N1 和 N2 的氮供应水平下, 随着磷供应水平增加, 细根和茎中的氮质量分数逐渐减少, 并于磷供应水平增至 P3 时降至最低, 供磷水平为 P4 时氮质量分数又回升。叶的氮质量分数变化则与根部和茎的氮质量分数变化呈现不同的规律, 在 N1 水平下, 磷供应达到 P4 水平时最有利于叶片中氮的累积, 在 N2 水平下, 磷供应在 P3 水平时最有利于叶片中氮营养的累积, 高于和低于 P3 供应水平都不利于叶片氮营养的吸收。在 N3 水平下, 仅供给 P2 的磷水平时, 根和茎中的氮质量分数都比对照高, 而叶片中的氮质量分数则低于对照, 说明磷缺乏时, 根和茎吸收的氮很难转移到其他营养器官, 如进行光合作用的叶片, 所以叶片中的氮质量分数低于对照。研究说明, 当营养供给平衡时, 细根有将吸收的养分大部分转移到叶片的可能, 高于或低于 P3 的供磷水平(或者磷的不平衡供应)都会影响叶片对氮的吸收, 全磷营养供给时叶片吸收的氮最多。

2.4.2 不同氮、磷营养水平对旱冬瓜幼苗磷吸收的影响 旱冬瓜幼苗叶的磷质量分数受氮、磷供应水平的影响较小, 叶中的磷质量分数变化不显著(表 3)。在 N1, N2 和 N3 的供氮水平下, 仅供给 P2 磷水平时, 叶片中的磷质量分数都是最低的, 且在总体上有随着供氮水平的增加叶片中的磷质量分数呈现下降的趋势。相比之下, 根和茎的磷质量分数对供磷水平要敏感得多, 在 N1 和 N2 供氮水平下, 随着供磷水平的增加, 根、茎的磷质量分数均呈现“V”字形的先降后升的变化规律, 都在 P2 供磷水平下出现最低值和 P4 水平下最高, 只是变化幅度不同。试验还表明, 处理 N3P2 的根、茎、叶中的磷远远低于其他处理, 十分不利于旱冬瓜幼苗对磷素营养的吸收。

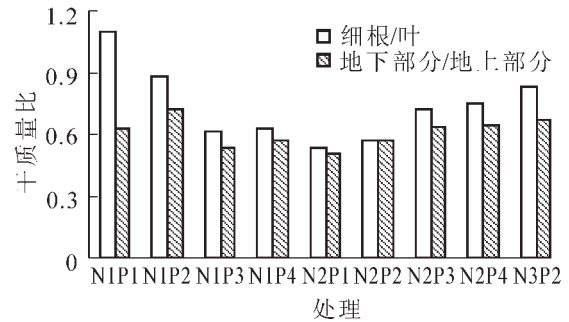


图 4 氮、磷缺乏条件下地下生物量与地上生物量比(干质量之比)的变化

Figure 4 Root biomass / shoot biomass ratio under different N and P nutrition levels

表 3 不同氮、磷营养水平下旱冬瓜幼苗根、茎及叶的氮磷质量分数

Table 3 N and P concentrations in root, stem and leaf of the seedling under different N and P nutrition levels

处理	氮/(g·kg <sup>-1</sup> )			磷/(g·kg <sup>-1</sup> )		
	根	茎	叶	根	茎	叶
N1P1	2.417	1.709	2.417	2.997	4.354	3.986
N1P2	2.771	1.297	2.888	2.309	1.758	2.559
N1P3	1.356	1.120	3.891	3.573	2.973	3.898
N1P4	2.358	1.886	4.185	6.677	4.354	4.311
N2P1	2.810	2.004	3.478	2.747	2.287	3.235
N2P2	1.827	1.238	2.712	2.246	1.749	3.047
N2P3	1.415	0.943	4.185	2.684	1.832	3.247
N2P4	2.181	1.474	3.655	2.859	2.400	3.235
N3P2	3.537	2.122	3.478	2.184	1.163	2.270

### 3 结论

对旱冬瓜幼苗的砂盆培养试验研究表明, 氮营养对旱冬瓜幼苗的根、茎、叶生物量及苗高生长量影响差异显著, 对地径生长量影响差异极显著; 磷对旱冬瓜幼苗的根、茎、叶生物量及苗高、地径生长量影响差异极显著; 氮和磷对旱冬瓜幼苗生长的交互作用不明显。在氮和磷营养配合处理旱冬瓜幼苗的研究中, 只要二者之一的供应水平低于对照时, 旱冬瓜幼苗的地上部分生长和根系生长都不如对照。因此, 氮、磷的平衡供应对旱冬瓜幼苗的生长很重要。

旱冬瓜幼苗的细根/叶生物量比率和地下/地上生物量比率, 在  $50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  低氮水平下, 随着供磷水平的提高, 依次下降, 表现出由对养分的需求能力下降到对光照的需求增强, 在  $210 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  氮水平下, 则相反, 随着供磷水平的提高, 依次增加, 表现出由对光照需求减弱到对养分需求能力增强。旱冬瓜体内氮和磷质量分数与外界供应氮和磷质量浓度有着密切关系, 表现为, 在  $50$  和  $210 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  供氮水平下, 随着供磷水平增加, 根和茎的氮质量分数降低, 于磷水平增到  $62 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  时下降为最低, 继续提高供磷水平到  $124 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 则上升; 叶片中的氮质量分数变化与此不同, 在  $50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  氮水平下, 随着供磷水平增加, 叶中的氮质量分数增加, 磷供应达到  $124 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  水平时最有利于叶片中氮的累积, 在  $210 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  氮水平下, 磷供应在  $62 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  水平时最有利于叶片中氮营养的累积, 高于和低于  $62 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  磷供应水平都不利于叶片氮营养的吸收。在  $420 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  氮水平下, 仅供给  $32 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  的磷水平时, 根和茎中的氮质量分数都比对照高, 而叶片中的氮质量分数则低于对照, 说明磷缺乏时, 根和茎吸收的氮很难转移到其他营养器官。氮和磷营养水平对旱冬瓜幼苗的磷吸收影响也很大, 在  $50, 210, 420 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  的供氮水平下, 都是以供给  $32 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  磷水平时, 叶中的磷质量分数最低。根和茎中的磷质量分数, 在  $50$  和  $210 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  供氮水平下, 随着供磷水平的提高, 均呈现“V”字形先降后升的变化规律, 都在  $32 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  的供磷水平下出现最低值和  $124 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  供磷水平下最高。

在云南山地红壤或山地黄壤严重缺磷、缺氮的条件下培育旱冬瓜人工林的实践中, 适当进行林地施肥是必要的, 在育苗过程中, 对旱冬瓜幼苗施磷肥也有必要。

#### 参考文献:

- [1] 熊智, 李文军, 张忠泽, 等. 海拔对旱冬瓜共生固氮放线菌基因多样性的影响[J]. 西南林学院学报, 2001, 21(4): 205 - 209.
- [2] 上海植物生理学会. 植物生理学实验手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985.
- [3] 王政权, 张彦东, 王庆成. 氮、磷对胡桃楸幼苗根系生长的影响[J]. 东北林业大学学报, 1999, 27(1): 1 - 4.
- [4] 苏文华, 张光飞, 庞慧仙, 等. 光照条件对旱冬瓜种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 云南林业科技, 2003(2): 8 - 10.
- [5] 白尚斌, 王懿祥, 左显东, 等. 磷胁迫条件下北美红杉幼苗生长的适应性反应[J]. 生态环境, 2005, 14(4): 488 - 492.
- [6] PREGITZER K S, ZAK D R, CURTIS P S, et al. Atmospheric  $\text{CO}_2$ , soil nitrogen and turnover of fine roots[J]. New Phytol, 1995, 129(4): 579 - 585.
- [7] TOGNETTI R, JOHNSON J D. Responses of growth, nitrogen and carbon partitioning to elevated atmospheric  $\text{CO}_2$  concentration in live oak (*Quercus virginiana* Mill.) seedlings in relation to nutrient supply[J]. Ann For Sci, 1999, 56(2): 91 - 105.
- [8] ERICSSON T. Growth and shoot: root ratio of seedlings in relation to nutrient availability [J]. Plant Soil, 1995, 168 - 169: 205 - 214.
- [9] PROE F M, MILLARD P. Effect of P supply upon seasonal growth and internal cycling of P in Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) seedlings[J]. Plant Soil, 1995, 168 - 169: 313 - 317.