

文章编号: 1001-1498(2005)05-0561-06

北美红杉幼苗对不同供 N 水平的生长反应

白尚斌^{1,2}, 王懿祥^{1,2}, 左显东², 饶龙兵³

(1. 浙江林学院生命科学院, 浙江 临安 311300; 2. 云南省林业科学院, 云南 昆明 650204;
3. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400)

摘要:采用温室盆栽的方法探讨了北美红杉 1 年生幼苗对不同 N 供应水平 (0, 0.05, 0.11, 0.16, 0.21, 0.32, 0.42 和 0.63 g · L⁻¹, 0.21 g · L⁻¹ 为对照) 的生长反应, 结果表明: (1) 幼苗在完全供 N 水平 (对照) 时, 苗高净增量为 31.2 cm; 当供 N 水平降到一半 (0.11 g · L⁻¹) 以下时 (N₃ ~ N₁), 苗木的生长明显减缓, 苗高净增量分别是对照的 92.6%、83.0% 和 29.8%; 供 N 水平增加 2 倍 (0.63 g · L⁻¹) 时, 苗高净增量为对照的 70.8%。(2) 当 N 供应水平降低 (N₄ ~ N₂) 或缺 N (N₁) 时, 幼苗地下部分与地上部分比率 (R/S) 增加, 缺 N 时是对照的 2.1 倍; 净增生物量分配给根系的比例也明显增大, 缺 N 时为 56%。(3) 在低 N 供应条件下, 幼苗细根 (D < 2 mm) 的特定根长增加尤为明显, 缺 N 时为 14.9 m · g⁻¹, 是对照的 169%; N 供应过量时, 细根的特定根长减小, 在 0.63 g · L⁻¹ 供 N 水平 (N₈) 时为 6.0 m · g⁻¹, 约为对照的 68%。

关键词:北美红杉; N 营养; 生物量; 根系

中图分类号: S791.226 **文献标识码:** A

Growth Response of *Sequoia sempervirens* Seedlings to N Nutrients

BAI Shang-bin^{1,2}, WANG Yi-xiang^{1,2}, ZUO Xian-dong², RAO Long-bing³

(1. School of Life Science, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China;
2. Yunnan Academy of Forestry, Kunming 650204, Yunnan, China;
3. Research Institute of Subtropical Forestry, CAF, Fuyang 311400, Zhejiang, China)

Abstract: In this paper, the growth response of one-year-old *Sequoia sempervirens* seedlings to N nutrients level was studied in a six-month period. In greenhouse, the plants were sand-cultured in pots supplied with various N mass concentration (0, 0.05, 0.11, 0.16, 0.21, 0.32, 0.42 and 0.63 g · L⁻¹, 0.21 g · L⁻¹ as control). The results suggested: (1) When the seedlings were supplied with normal levels of nitrogen, they grew well and their net increase heights were 31.2 cm; when they were supplied with less nitrogen as 0.11, 0.05 and 0 g · L⁻¹, or oversupplied with nitrogen as 0.63 g · L⁻¹, they grew slowly and their net increase heights were 92.6%, 83.0%, 29.8% and 70.8% of those supplied with normal nitrogen respectively. (2) When supplied with less N nutrients, the seedlings changed below-ground and above-ground biomass by regulating partitioning of photosynthates between them. Deficient nitrogen supply caused increments of biomass partitioning to roots in order to increase root growth and the ratio was 56%. When the seedlings were oversupplied with nitrogen, and the ratios of below-ground to whole biomass evidently decreased. (3) Under the conditions of less nitrogen, the specific root length of the seedlings fine roots significantly increased, helpful for the seedlings to absorb more nutrients and water. It was 14.9 m · g⁻¹, when supplied with 0 g · L⁻¹. When oversupplied with nitrogen as 0.63 g · L⁻¹, their specific root length was 6.0 m · g⁻¹.

Keywords: *Sequoia sempervirens*; nitrogen; biomass; root

收稿日期: 2005-01-27

基金项目: 云南省“九五”科技攻关项目 (云计科技 (1998) 1132), 国家林业局“948”项目 (99-4-05)

作者简介: 白尚斌 (1973—), 男, 山西偏关人, 助研, 博士, 主要从事森林生态和森林资源培育研究

N是树木最重要的营养元素之一,对树木生长发育起着决定性的作用。N供应水平与树木的生长速度及生理代谢有密切关系^[1],一旦土壤中N素供应缺乏,就会限制树木的生长发育。研究表明:在有限的养分资源环境中,植物常表现出明显的反应特征^[2~5],如改变生长速度^[6,7]或是调节C在不同部位的分配^[8,9]等。许多植物的适应性既明显地表现在地上部分,又表现在地下部分,特别是根系的可塑性反应非常突出^[5,10]。因此,研究树木在不同供N水平条件下的地上生长和地下根系表现特征,对于研究树木的适应性反应及其生理生态学特性具有非常重要的理论意义。

云南地处热带、亚热带地区,由于气候原因,水土流失严重,通常因土壤N缺乏限制了植被的生长,普遍存在林地生产力下降现象。北美红杉(*Sequoia sempervirens* Endll)是著名的速生大径级用材树种。原产北美洲,分布于美国的俄勒冈州至加利福尼亚一带。自20世纪70年代初,我国云南、贵州、四川、上海、南京、浙江、福建等地相继引种了北美红杉,其中在云南、贵州生长较好。系统地研究其生长对不同供N水平的反应,对更好地认识和发挥其潜在的生理生态功能,指导人工林培育具有重要现实意义。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验所用苗木为北美红杉1年生同一批苗。栽植前平均高为20.1 cm,地径0.28 cm。

1.2 试验设计

苗木培养基质为石英砂。先将石英砂用水浸泡,洗去泥土,再经体积分数为0.5%盐酸浸泡24 h,然后用自来水冲洗至中性。将石英砂装入底径23.0 cm,上口径29.0 cm,高30.0 cm的塑料桶中,每桶13 kg,上沿空出2~3 cm,以便浇水和浇灌营养液。于2001年4月初,将北美红杉苗木移至装有石英砂的塑料桶中栽培,每桶3株。每个处理每隔1 d浇1次营养液,每桶每次浇100 mL,每天每桶浇水约200 mL。在温室内培养,室内昼夜温度分别为26和18,相对湿度80%以上,光照14 h·d⁻¹。

营养液配方^[11]为大量元素用Hoagland配方:KNO₃ 0.51 g·L⁻¹,Ca(NO₃)₂ 0.82 g·L⁻¹,MgSO₄·7H₂O 0.49 g·L⁻¹,KH₂PO₄ 0.136 g·L⁻¹;微量元素用Amon配方:H₃BO₃ 2.86 mg·L⁻¹,CuSO₄·5H₂O 0.08 mg·L⁻¹,ZnSO₄·7H₂O 0.22 mg·L⁻¹,MnCl₂·4H₂O 1.81 mg·L⁻¹,H₂MoO₄·4H₂O 0.09 mg·L⁻¹,FeEDTA 20 mg·L⁻¹;pH调至6.0;缺氮营养液中K⁺以等量KCl补齐。以营养液中N的质量浓度梯度不同(分别为0,0.05,0.11,0.16,0.21,0.32,0.42和0.63 g·L⁻¹)设计8个处理(N₁~N₈),每个处理5桶,其中0.21 g·L⁻¹为完全营养液中N的质量浓度,以其作对照。

1.3 测定方法

经温室培养180 d后,在收获前,从每桶中选择生长均匀的2株苗,每个处理5桶共10株,分别测定其苗高、地径、分枝数;然后全株收获,分根系(按直径分为3级:D<2 mm,D=2~5 mm,D>5 mm)、茎和叶,称量鲜质量,并测定根数、相邻同级侧根节点距和根长^[12];然后75℃烘干至恒质量,测定干质量,并计算直径D<2 mm细根的特定根长。统计分析绘图采用Excel软件进行。

2 结果与分析

2.1 供N水平与幼苗生长

2.1.1 幼苗高生长 从8个供N水平(N₁~N₈)的试验结果看,北美红杉幼苗对N的供应水平反应敏感,不同处理之间苗高差异达显著水平;经多重比较分析得知(表1),在N₄~N₇处理时表现出较大或最大的高生长,但差异不显著;而当供N水平下降为0.11 g·L⁻¹以下(N₃~N₂)时,或不进行供N(N₁)时,苗高则显著下降,经180 d的试验培养,苗高净增量(观测时平均苗高与试验初始平均苗高之差)分别为28.9、25.9和9.3 cm,为对照N₅(31.2 cm)的92.6%、83.0%和29.8%;当N的供应水平提高到0.63 g·L⁻¹时(N₈),苗高净增量为22.1 cm,是对照(N₅)的70.8%,这些结果说明,北美红杉幼苗对供N的适应范围较宽。

表1 不同供N水平下北美红杉幼苗的高、径生长

项目	供N水平 / (g·L ⁻¹)							
	N ₁ (0)	N ₂ (0.05)	N ₃ (0.11)	N ₄ (0.16)	N ₅ (0.21)	N ₆ (0.32)	N ₇ (0.42)	N ₈ (0.63)
苗高	29.4 ±1.3 e	46.0 ±2.9 c	49.0 ±3.2 b	51.0 ±3.1 a b	51.3 ±1.7 a b	51.4 ±1.6 a b	52.3 ±2.3 a	42.2 ±3.2 d
地径	0.44 ±0.04 c	0.45 ±0.03 c	0.51 ±0.01 b	0.51 ±0.01 b	0.57 ±0.03 a	0.50 ±0.02 b	0.49 ±0.05 b c	0.46 ±0.02 b c
苗高/地径	66.3	101.5	96.6	99.6	89.7	102.6	106.8	91.7

注:表中数据为均值±标准差(n=10);同行中不同字母表示差异显著 a~e, P=0.05。

2.1.2 幼苗地径生长 地径是衡量幼苗横向生长的一个指标。由表 1 可知,在对照处理 (N_5) 时,北美红杉幼苗地径的生长最大,为 0.57 cm;供 N 水平较低 ($N_3 \sim N_4$) 时,地径生长较小,为 0.51 cm;在缺 N 时 (N_1),地径的生长最小,为 0.44 cm;提高供 N 水平 ($N_6 \sim N_8$) 时,地径生长并不随供 N 水平的增加而增加,而是均比对照处理 (N_5) 有明显下降,且水平间差异不显著。

2.1.3 苗高/地径比值的变化 苗高/地径比是衡量幼苗纵向和横向协调生长的一个指标,在一定程度上可反应养分供应水平的变化。北美红杉幼苗在 N_5 时,其苗高/地径比为 89.7;降低供 N 水平时,苗高/地径比有所增加,当供 N 水平下降到 $0.05 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ (N_2) 时,苗高/地径比增加为 101.5,说明在较低供应 N 时幼苗优先纵向生长,但缺 N 时,明显下降,为 66.3,幼苗的高生长较地径生长弱;提高供 N 水平,苗高/地径比随供 N 水平的增加有增加的趋势,但当供 N 水平增加到 $0.63 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ (N_8) 时,苗高/地径比又降低(表 1),此时苗高和地径生长都相应减弱。

2.2 供 N 水平与幼苗生物量分配

2.2.1 地下部分与地上部分比率的变化

从表 2 结果看,N 供应水平的高低与幼苗地上、地下生物量的大小有密切关系。不同处理下,幼苗地上、地下生物量的差异均达显著水平 ($P < 0.05$),充分说明北美红杉幼苗对 N 具有较高的敏感性。

表 2 不同供 N 水平下北美红杉幼苗生物质量(烘干)测定结果

$\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$

处理	地上部分			地下部分						
	叶	茎	地上总计	$D < 2 \text{ mm}$ 根	%	$D = 2 \sim 5 \text{ mm}$ 根	%	$D > 5 \text{ mm}$ 根	%	地下总计
N_1	1.75	1.17	2.92	2.42	88.3	0.17	6.2	0.15	5.5	2.74
N_2	3.89	2.48	6.37	2.24	69.1	0.31	9.6	0.69	21.3	3.24
N_3	4.35	2.31	6.66	2.03	61.3	0.50	15.1	0.78	23.6	3.31
N_4	4.50	2.50	7.00	1.98	61.5	0.48	14.9	0.76	23.6	3.22
N_5	5.11	2.94	8.05	2.33	65.4	0.48	13.5	0.75	21.1	3.56
N_6	4.01	2.47	6.48	2.00	76.3	0.41	15.6	0.21	8.1	2.62
N_7	3.82	2.44	6.26	1.51	71.9	0.31	14.8	0.28	13.3	2.10
N_8	2.83	1.65	4.48	1.27	76.5	0.39	23.5	-	-	1.66

分析比较不同供 N 水平时幼苗地下/地上生物量比率 (R/S) 的变化表明(图 1a),北美红杉幼苗的 R/S 在供 N 水平 $0.21 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ (N_5) 时为 0.44,在此供 N 水平以下,随供 N 水平的下降 R/S 增加,且增加的幅度较大,如在缺 N 时,达 0.94。超过 $0.21 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的供 N 水平后,随供 N 水平的增加 R/S 变小。在 $0.63 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 供 N 水平 (N_8) 时, R/S 为 0.37。从

中可以看出,较低的 R/S 与充足的 N 供应有密切的关系;较大的 R/S 值表明,幼苗对 N 养分处于强烈的需求状态。

2.2.2 幼苗细根/叶生物量比率的变化 研究发现,不同供 N 水平处理下,幼苗细根/叶生物量比率 (R/L) 与幼苗地下/地上生物量比率 (R/S) 表现出相似的变化趋势(图 1a, b)。

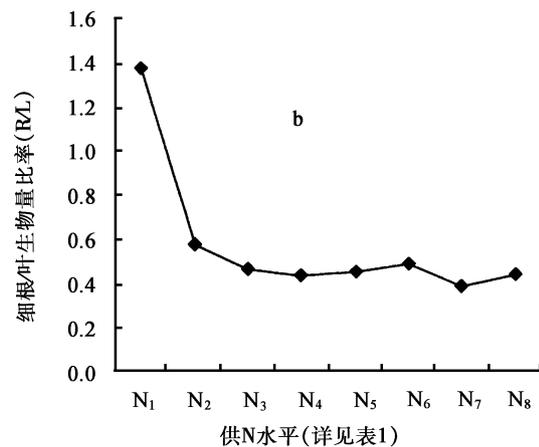
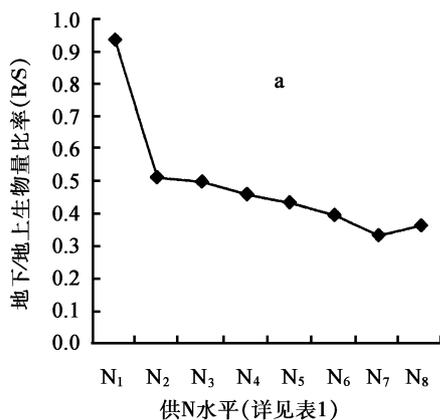


图 1 不同供 N 水平对北美红杉幼苗地下/地上生物量比率 (a) 和细根/叶生物量比率 (b) 的影响

缺 N 处理下 (N_1),表现出最高的 R/L ,为 1.38;随着供 N 水平提高 ($N_2 \sim N_4$), R/L 逐渐变小;在供 N 水平为 $0.21 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ (N_5)时, R/L 较低 (0.46);供 N 水平较高时 ($N_6 \sim N_8$), R/L 没有继续降低,而是在比值较小的范围内呈现不太明显的变动,为 $0.40 \sim 0.50$ (图 1b)。从这些结果可推测,较高的 R/L ,表明 N 营养缺乏; R/L 较小,表明 N 供应较充分或过量。

2.2.3 幼苗净增生物量在根、茎、叶中的分配 幼苗在不同水平的 N 养分环境中培育后,光合产物在根、茎和叶等组织中的分配表现出有规律的变化趋势。分析不同 N 水平下幼苗的净增生物量 (试验测定时幼苗生物量与试验初始幼苗生物量的差值)的分配发现,不同 N 处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

分析试验结果表明 (B_n ——幼苗净增生物量, B_r ——分配给根的比例, B_s ——分配给茎的比例, B_l ——分配给叶的比例):北美红杉缺 N 时 (N_1), B_r 较高 (56%),而 B_l 较小 (22%);在 $0.63 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 供 N 水平 (N_8)时, B_r 减少至 28%, B_l 增加为 42%;缺 N 时, B_s 也较小 (21%),其它供 N 水平的 B_s 接近 30% 且变化不明显 (图 2)。这些分配比例的变化说明,N 供应水平较低时,分配给根系的净增生物量增加,减少地上干物质的积累;充足供 N 时,分配到根系的物质减少,增加了地上干物质的积累。

2.3 地下部分与地上部分结构特征

2.3.1 根系结构的变化 植物对土壤养分的摄取,以及对不同养分环境的适应能力,不仅与介质环境

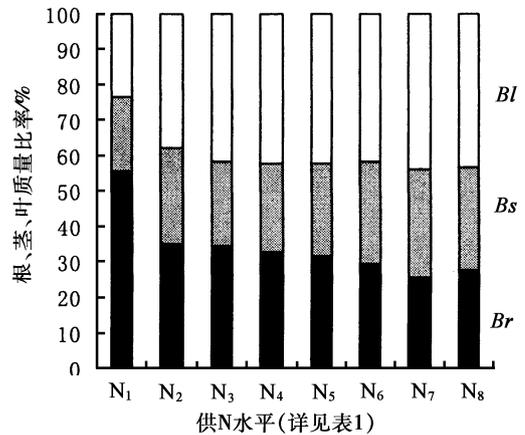


图 2 供 N 水平与净增生物量在不同器官的分配比例

中养分供应有关,而且还取决于植物的根系状况,根系结构特征的变化涉及到有效养分空间的大小,从而影响植物可获得养分的多少。总根长度 (R_t)指平均单株幼苗根系的总长度。研究发现,不同 N 供应水平处理间,北美红杉幼苗的总根长度和侧根数等差异显著 (表 3)。在供 N 水平为 $0.21 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ (N_5)时,北美红杉幼苗的 R_t 为 $23.0 \text{ m} \cdot \text{株}^{-1}$,在缺 N 和低 N 供应水平处理时 ($N_1 \sim N_4$), R_t 变化不明显 ($20.1 \sim 23.1 \text{ m} \cdot \text{株}^{-1}$),且与对照处理 (N_5)间差异不显著。当供 N 水平提高到 $0.42 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ (N_7)和 $0.63 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ (N_8)时, R_t 明显变小 (分别为 19.6 和 $16.5 \text{ m} \cdot \text{株}^{-1}$)。其一级侧根数在 N_5 处理时最少 (10.9 条 $\cdot \text{株}^{-1}$),在低于 $0.11 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ($N_1 \sim N_3$)或高于 $0.32 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ($N_6 \sim N_8$)供 N 时均明显增多。

表 3 不同供 N 水平下北美红杉幼苗的地上、地下结构变化

指标	供 N 水平 (详见表 1)							
	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6	N_7	N_8
分枝数 / (条 $\cdot \text{株}^{-1}$)	$1.6 \pm 0.5 \text{ e}$	$5.3 \pm 0.6 \text{ d}$	$4.7 \pm 1.4 \text{ d}$	$6.7 \pm 1.1 \text{ c}$	$9.7 \pm 0.7 \text{ a}$	$8.1 \pm 1.3 \text{ b}$	$7.7 \pm 1.8 \text{ bc}$	$5.5 \pm 1.4 \text{ cd}$
一级侧根数 / (条 $\cdot \text{株}^{-1}$)	$16.2 \pm 0.2 \text{ bc}$	$19.8 \pm 0.4 \text{ b}$	$15.3 \pm 0.3 \text{ c}$	$11.4 \pm 0.2 \text{ d}$	$10.9 \pm 0.3 \text{ d}$	$15.2 \pm 0.3 \text{ c}$	$26.8 \pm 0.5 \text{ a}$	$16.7 \pm 0.3 \text{ bc}$
总根长 / ($\text{m} \cdot \text{株}^{-1}$)	$22.6 \pm 0.3 \text{ ab}$	$20.1 \pm 0.4 \text{ ab}$	$21.6 \pm 0.5 \text{ ab}$	$23.1 \pm 0.3 \text{ a}$	$23.0 \pm 0.4 \text{ a}$	$21.3 \pm 0.2 \text{ ab}$	$19.6 \pm 0.5 \text{ b}$	$16.5 \pm 0.2 \text{ c}$
节点之间距离 / mm	$3.5 \pm 0.2 \text{ e}$	$4.5 \pm 0.3 \text{ c}$	$5.0 \pm 0.3 \text{ b}$	$5.5 \pm 0.4 \text{ a}$	$5.0 \pm 0.2 \text{ b}$	$4.3 \pm 0.2 \text{ cd}$	$4.0 \pm 0.3 \text{ d}$	$4.0 \pm 0.2 \text{ d}$

注:表中数据为均值 \pm 标准差 ($n=10$);同行中不同字母表示差异显著 $a \sim e$, $\alpha = 0.05$ 。

不同供 N 水平条件下,对北美红杉幼苗根系的相邻同级侧根节点间的距离测定结果见表 3。北美红杉幼苗在低于 $0.21 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 供 N 水平 (N_5)时,一级侧根节点间的距离随供 N 水平下降而变小;高于 $0.21 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 供 N 水平 (N_5),随供 N 水平增加也明显减小。

特定根长是指单位干质量的根长,是根结构中很重要的指标,它涉及根系总表面积,影响根系对土壤养分的获取或是养分向根表的迁移,与养分的有

效利用有密切关系。通过测定 $D=2 \text{ mm}$ 细根的特定根长,发现北美红杉幼苗的特定根长在缺 N 时 (N_1)为 $14.9 \text{ m} \cdot \text{g}^{-1}$,是对照的 169%,随供 N 水平的增加而减少,高于 $0.21 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 供 N 水平 (N_5)处理的幼苗的特定根长随供 N 水平增加减少得缓慢,在 $0.63 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 供 N 水平 (N_8)时为 $6.0 \text{ m} \cdot \text{g}^{-1}$,约为对照的 68% (图 3)。

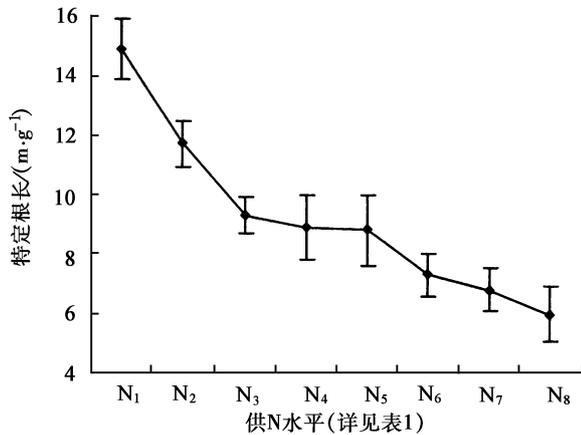


图 3 不同供 N 水平下幼苗 $D = 2$ mm 细根的特定根长

2.3.2 地上结构的变化 从分枝特性上看,表现出各供 N 水平处理间差异显著(表 3)。在完全供 N 水平处理(N_5)时,分枝数量最多(9.7条);在低于 $0.21 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 供 N 水平下,随供 N 水平的下降而减少,缺 N 时,仅为 1.6 条;在高于 $0.21 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 供 N 水平处理下,随供 N 水平的增加也明显减少,在 $0.63 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 供 N (N_8) 时,有 5.5 条。

3 讨论与结论

在自然条件下,土壤中 N 营养以矿质态存在的比例较低,常限制树木的生长发育。因此,在 N 营养缺乏的土壤环境中,增加 N 营养供应会促进树木生长^[13];但是,N 养分供应过量时,则对树木的生长产生抑制作用^[7]。本次研究得出了相似的结论,北美红杉幼苗在供 N 水平降低到完全供 N 水平 ($0.21 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$) 的一半 ($0.11 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$) 以下时 ($N_1 \sim N_3$),苗木的生长明显减缓。因为当 N 供应水平低于最适量时,蛋白质合成受阻,酶的数量下降,叶绿素合成减少,导致光合产物减少,从而延缓植物生长^[14]。供 N 水平增加 2 倍 ($0.63 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$) 时,即 N_8 处理,幼苗的生长也明显减缓,苗高净增量为对照 (N_5) 的 70.8%。一方面与 N 过量对幼苗生长产生抑制作用有关,另一方面可能与养分之间的供应平衡有关,N 的过量供应,可能会限制或影响其它必需养分的吸收,从而影响生长。

植物生长过程中,养分环境的改变与植物调节干物质的分配有密切联系^[15]。本次试验中北美红杉幼苗地下部分与地上部分比率 (R/S) 的变化,说明了这一点。当 N 营养供应降低 ($N_2 \sim N_4$) 或缺 N (N_1) 时,幼苗为了摄取更多的养分,扩大根系生长,加强对根系 C 的投入,使得地下部分与地上部分比

率增加,缺 N 处理 (N_1) 下 R/S 为完全供 N (N_5) 的 2.1 倍;分配给根系的比例 (R) 也明显增大,缺 N 处理时为 56%,通过这种 C 分配格局的变化来适应 N 养分亏缺环境。

除了 C 分配上的变化外,树木对 N 水平的反应还表现在地下和地上结构的变化上:当供 N 水平较低 ($N_2 \sim N_3$) 或缺 N 处理 (N_1) 时,北美红杉幼苗的侧根数增多 ($15.3 \sim 19.8$ 条 $\cdot \text{株}^{-1}$);较高供 N 水平 ($N_6 \sim N_8$) 时均明显增多,根系的分枝密度增加;同时,相邻一级侧根节点间的距离随 N 供应水平降低或提高而明显变小;幼苗细根 ($D = 2$ mm) 的特定根长随供 N 水平降低而增加,特定根长^[10]增加,表明根系直径减少,根系吸收面积扩大,有利于养分和水分的吸收和运输。试验中发现,在降低 ($N_1 \sim N_4$) 或提高 ($N_6 \sim N_8$) 供 N 水平时,幼苗单株分枝数减少,缺 N 时只有 1.6 条;完全供 N 处理 (N_5) 时,分枝数达到最多,9.7 条。已有的研究认为,养分供应适宜时,植物对养分的需求没有对光的需求强烈,会通过增加叶面积生长来满足潜在的生长^[16,17]。因此,这些结构的变化可能是幼苗对养分环境作出的一种适应性反应。

总之,在低 N 供应时,树木以减少地上部的生长,扩大地下部的生长来获取受限制的 N 资源。因此,在云南山地红壤或山地黄壤严重缺 N 条件下进行森林培育的实践中,为使人工林能够得到迅速健康的成长,苗圃育苗时要培育具有较大根系的苗木;造林后,要进行林地施肥,以促进幼林的生长。

参考文献:

- [1] Luchli A, Bielecki R L. 植物的无机营养 [M]. 张礼中,毛知耘译.北京:农业出版社,1992:104~106
- [2] Coomes D A, Grubb P J. Responses of juvenile trees to above and belowground competition in nutrient-starved Amazonian rain forest [J]. Ecology, 1998, 79(3): 768~782
- [3] Rothstein D E, Zak D R, Pregitzer K S, et al. Kinetics of nitrogen uptake by *Populus tremuloides* in relation to atmospheric CO_2 and soil nitrogen availability [J]. Tree Physiology, 2000, 20: 265~270
- [4] Constable J V H, Bassirrad H, Lussenhop J, et al. Influence of elevated CO_2 and mycorrhizae on nitrogen acquisition: contrasting responses in *Pinus taeda* and *Liquidambar styraciflua* [J]. Tree Physiology, 2001, 21: 83~91
- [5] 王庆成,程云环.土壤养分空间异质性与植物根系的觅食反应 [J]. 应用生态学报, 2004, 15(6): 1063~1068
- [6] Hawkins B J, Henry G, Kiiskila S B R. Biomass and nutrient allocation in Douglas fir and amabilis fir seedlings: influence of growth rate and nutrition [J]. Tree Physiology, 1998, 18: 803~810

- [7] 谷尘平,姜高明,王福仲,等. 水杉苗期对氮素营养需求的研究[J]. 湖北林业科技, 2004, 2: 19~22
- [8] Ibrahim L, Proe M F, Cameron A D. Interactive effects of nitrogen and water availabilities on gas exchange and whole-plant carbon allocation in poplar[J]. Tree Physiology, 1998, 18: 481~487
- [9] 范志强,王政权,吴楚,等. 不同供氮水平对水曲柳苗木生物量、氮分配及其季节变化的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(9): 1497~1501
- [10] Mou P, Jones R H, Mitchell R J, et al. Spatial distribution of roots in sweetgum and loblolly pine monocultures and relations with above-ground biomass and soil nutrients[J]. Functional Ecology, 1995, 9(3): 689~699
- [11] 上海植物生理学会. 植物生理学实验手册[M]. 上海:上海科技出版社, 1985
- [12] 刘芷宇,李良谟,施卫民. 根际研究法[M]. 南京:江苏科学技术出版社, 1997
- [13] Seith B, George E, Marschner H, et al. Effects of varied soil nitrogen supply on Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) I Shoot and root growth and nutrient uptake[J]. Plant and Soil, 1996, 184: 291~298
- [14] Marschner H. Mineral Nutrition of Higher Plants[M]. San Diego: Academic Press Inc, 1990
- [15] Cannell M G R. Physiological basis of wood production: a review[J]. Scan J For Res, 1989, 4: 459~490
- [16] Huston M A, Smith T M. Plant succession: life history and competition[J]. American Naturalist, 1987, 130(2): 168~198
- [17] Tilman D. Plant strategies and the structure and dynamics of plant communities[M]. Princeton: Princeton University Press, 1988, 52~97

书 讯

《理论生长方程与林分直径结构模型的研究》一书由中国林业科学研究院林业研究所首席专家张建国及课题组成员段爱国所著, 2004年10月由科学出版社出版。该书系统阐述了理论生长方程与林分直径结构模型的研究现状及其进展。本书共分6章, 围绕杉木人工林林分直径结构模拟和预测、优势高生长模拟及其多形地位指数方程的研制、Fuzzy分布函数的应用、直径动态变化规律和密度效应的关系等内容进行了论述, 从方程—林分匹配性这一全新角度, 提示了理论生长方程的解析性质和林分结构的实质特点, 以期进一步推动理论生长方程及林分直径结构模拟和预测的研究, 为杉木人工林的定向培育提供科学可靠的理论和实践依据。该书可供林学工作者和高校相关专业的师生学习、使用, 定价38元, 如有意购买者敬请联系, 团购者价格从优。

联系人: 张建国 (010-62889603; zhangjg@caf.ac.cn)

段爱国 (010-6288309; duanag@caf.ac.cn)

汇款地址: 北京市颐和园后中国林业科学研究院林业研究所段爱国收 邮编 100091