

缓释肥和有机肥对长白落叶松容器苗养分库构建的影响*

魏红旭 徐程扬** 马履一 江俐妮

(北京林业大学省部共建森林培育与保护国家重点实验室, 北京 100083)

摘要 采用每株施入供氮(N)量为 36.36 或 18.18 mg 的缓释肥,并增施 0 或 1.82 g FM 有机肥的 2×2 析因设计,对长白落叶松容器幼苗施肥效果进行研究.结果表明:施肥处理对苗高、地径、生物量和钾(K)的吸收均无显著影响.增施有机肥显著提高了长度>1 cm 的一级侧根数量($P=0.040$)、主根长(TRL, $P=0.012$)和主根长与苗高比($P=0.008$).高量缓释肥处理下,苗木根 N 浓度($P=0.035$)以及苗干($P=0.005$)、根($P=0.037$)和苗干+根($P=0.030$)中 N 含量以及苗干中磷(P)含量($P=0.047$)均高于低量缓释肥处理;高量缓释肥处理下,增施有机肥使叶片和苗干+根中 N 浓度提高了 137% ($P=0.040$)和 21% ($P=0.013$);增施有机肥提高了苗干($P=0.020$)、根($P=0.017$)和苗干+根($P=0.013$)中 N 浓度.经矢量养分分析,高量缓释肥供给可引起苗体 N、P 的过量,增施有机肥能明显克服 N、P 的缺乏,但导致 K 的损耗.对长白落叶松播种苗的培育,建议采用每株供氮 18 mg 的缓释肥并配施 1.82 g FM 有机肥的施肥方法.

关键词 长白落叶松 缓释肥 有机肥 养分库 根

文章编号 1001-9332(2011)07-1731-06 中图分类号 S723 文献标识码 A

Effects of controlled-release fertilizer and organic amendment on the construction of nutrients reserves in *Larix olgensis* container seedlings. WEI Hong-xu, XU Cheng-yang, MA Lü-yi, JIANG Li-ni (Province-Ministry Co-construct Key Laboratory of Forest Silviculture and Conservation, Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2011, 22(7): 1731-1736.

Abstract: A 2×2 factorial experiment was conducted to study the effect of fertilization on *Larix olgensis* container seedlings. 36.36 or 18.18 mg controlled-release fertilizer (CRF) N and 0 or 1.82 g FM organic amendment (OA) per seedling were applied. There were no significant responses to fertilization in the seedling height, collar diameter, biomass, and potassium (K) uptake. Applying FM OA increased the number of first-order lateral roots with a length > 1 cm ($P=0.040$), the tap root length (TRL) ($P=0.012$), and the ratio of TRL to seedling height ($P=0.008$). Comparing with low application rate CRF N, high application rate CRF N increased the N concentration in root ($P=0.035$) as well as the N reserves in stem ($P=0.005$), root ($P=0.037$), and stem plus root ($P=0.030$), and the P reserves in stem ($P=0.047$). Applying 36.36 mg CRF N plus 1.82 g FM OA increased the N concentrations in leaf and in stem plus root by 137% ($P=0.040$) and 21% ($P=0.013$), respectively, and the N reserves in stem ($P=0.020$), root ($P=0.017$), and stem plus root ($P=0.013$). Vector analysis revealed that high application rate of CRF N led to the excess of seedlings N and P, while applying FM OA alleviated the N and P deficiency but led to the K depletion. For nursing *L. olgensis* container seedlings, a solution of CRF 18 mg N combined with 1.82 g FM OA per seedling was recommended.

Key words: *Larix olgensis*; controlled-release fertilizer; organic amendment; nutrient reserve; root.

* “十一五”国家科技攻关计划项目(2006BAD24B01)资助。

** 通讯作者. E-mail: cyxu@bjfu.edu.cn

2011-01-07 收稿, 2011-04-25 接受。

苗木质量一直是林业领域的研究热点之一^[1-2],苗木形态和养分含量是评价苗木质量的两个重要指标^[2].育苗阶段施肥不仅会促进苗木生长,也会对苗体养分库起到积极作用^[3].国内外近年以强化养分库为目的开展了一系列研究^[4-5],但所使用的植物材料多为落叶阔叶^[5]或常绿针叶^[6]树种,对落叶针叶树种的研究相对较少.

研究表明,缓释肥有利于苗木生长并能提高其养分利用效率^[7].国内关于缓释肥的研究大多集中于其养分释放特性及其对农作物生长的影响等方面^[8-9],有关缓释肥对林业苗木的影响报道相对较少^[10].有机肥对林业苗木生长影响的相关研究在北美和欧洲已有很长历史^[11-14].近年研究发现,其不仅可以显著影响苗圃培育阶段苗木的生长和养分吸收^[12-13],也对林木细根生长有着积极的影响^[14].国内有关有机肥的研究多集中于其对农业作物和土壤养分淋失方面的影响^[15],而对林业苗木影响的研究十分匮乏.

长白落叶松(*Larix olgensis*)是我国东北地区常见的用材造林树种,具有很高的生态价值和商业价值.近年来,由于生产上惯用大水、大肥的粗放育苗方法,其苗木质量始终无法得到有效改善.目前,利用有机肥和缓释肥对该树种温室苗木培育的研究尚未见报道,而且对针叶落叶树种养分库构建方面的研究比较匮乏.本文以长白落叶松播种苗为材料,在温室条件下观察了缓释肥和有机肥对落叶后苗木茎根组合的形态、生物量积累及N、P、K的吸收、分配和积累的影响,以期对温室育苗的科学施肥提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 试验材料及处理

试验地为位于北京市门头沟区的中国林业科学研究院华北林业实验中心温室.供试植物为长白落叶松播种苗,由吉林市江密峰苗圃(43°45' N, 126°45' E)提供.种子发芽率35%,千粒重3.9 g.采用盆栽试验方法,塑料盆规格为24 cm×20 cm×36 cm,填充基质为体积比1:1的草炭和珍珠岩,其容重为0.16 g·cm⁻³,pH 6.63.采用吉林省云天化云升农业发展有限公司生产的缓释肥,其N:P₂O₅:K₂O含量比为30:14:10,总养分含量≥54%,肥料中添加微量元素,养分释放时间在3个月以上.采用鸡粪作为有机肥,其中含水量为53.98%±1.89%,含N量为11.93±0.98 mg·g⁻¹、

含P量为8.22±0.77 mg·g⁻¹.

2009年5月14日对每盆浇底水2 L后,施肥并播种50粒.5月29日开始出苗,6月8日苗木出齐,6月13日间苗后每盆定株20棵.出苗期、夏季和秋季每盆灌溉量分别为0.8、0.4和0.2 L.每周采用雾化喷雾器灌溉3次,尽量保证水分条件均一.自然光周期,光照强度由遮阳网控制.当夏季1 m高空气温高于30℃时采用人工控制的水帘和风扇降温.基质平均温度为26.3℃,昼、夜气温分别为30.1℃和20.2℃,空气平均湿度41%.每周重新随机摆放各塑料盆.

1.2 研究方法

1.2.1 试验设计及施肥 采用每株配施供N量为36.36或18.18 mg的缓释肥,并增施0或1.82 g FM的有机肥的2×2析因设计.高、低缓释肥供给量分别相当于生产上每平方米550株裸根苗时每公顷200和100 kg的施N量.这两种供给量的近似值有利于长白落叶松裸根苗木的生长^[10].同理,有机肥添加量相当于10000 kg FM·hm⁻²的田间供给量,其中N(54.9 kg·hm⁻²)和P(37.8 kg·hm⁻²)的施肥量与Davis等^[12]研究报告的中量有机肥处理(1450 kg·hm⁻²)下N(48 kg·hm⁻²)和P施肥量(25.4 kg·hm⁻²)接近.每处理3次重复,每重复一盆,每盆12株苗,共12盆,240株苗木用于试验.施肥方法为:将基质和有机肥混匀后,在盆内填入总基质的2/3,均匀散施缓释肥,然后将其余1/3基质填充.

1.2.2 苗木收获 本试验中,苗木于2009年9月末开始出现黄叶并逐渐形成顶芽,11月中旬叶片全部变黄,大部分自然脱落.2009年11月24日收获苗木.从每盆中严格筛选出5株长势一致的苗木,在保证其根系完整情况下从基质中取出,测定苗高(子叶痕至顶芽长度)、地径(子叶痕处直径)、长度>1 cm的一级侧根数(FOLR)和主根长(TRL)后,再在其子叶痕处切分为地上、地下2部分.同时收集每盆中落叶若干,用于N浓度测定.所有植物材料均用塑料袋封装,于0℃~4℃保存,用于内业测定.

1.2.3 测定方法 每盆中所有茎和根于70℃烘干72 h后测定其生物量.然后将茎、根和叶片经液氮超低温冷冻粉碎后,研磨至粉状,取约0.5 g以H₂SO₄-H₂O₂消煮,取5 mL消煮液测定其N浓度(UDK 152 automatic N analyser, VELP Co., Italy)^[16],另取7 mL消煮液,测定其P、K浓度(ICAP-OES, Perkin Elmer Co., Waltham (MA), United States)^[17].

表 1 有机肥对一级侧根数、主根长和根茎生物量比的影响

Table 1 Effects of treatment with or without organic amendment on FOLR, TRL, and R/S (mean±SE)

处理 Treatment	一级侧根数 FOLR	主根长 TRL (cm)	主根长/苗高 R/S (cm · cm ⁻¹)
无机肥 Inorganic fertilizer	6.47±0.32b	9.09±0.73b	2.78±0.27b
有机肥 Organic fertilizer	8.35±0.76a	13.36±1.20a	4.37±0.34a
<i>P</i>	0.040	0.012	0.008

FOLR: Number of first order lateral roots in length >1 cm; TRL: Tap root length; R/S: TRL to seedling height ratio. 不同字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$) Different letters indicated significant difference between treatments at 0.05 level. 下同 The same below.

1.3 数据处理

养分(N、P、K)含量由其浓度×生物量得到. 采用 SAS 9.0 软件(SAS Institute Inc., NC, United States)的 GLM 过程对数据进行缓释肥和有机肥处理的 2 因素方差分析. 当 two-way ANOVA 指示有显著响应产生时,以 Tukey 检验在 $\alpha=0.05$ 水平进行多重比较. 生物量、养分浓度及养分含量间关系的矢量分析方法见文献[18].

2 结果与分析

2.1 缓释肥和有机肥对苗木形态和生物量的影响

缓释肥用量和有机肥添加与否对苗高(缓释肥: $P=0.952$,有机肥: $P=0.429$)、地径(缓释肥: $P=0.130$,有机肥: $P=0.328$)和苗干+根生物量比(缓释肥: $P=0.065$,有机肥: $P=0.870$)均无显著影响,并且缓释肥处理对 FOLR($P=0.110$)和 TRL($P=0.110$)也无显著影响. 与无机肥相比,有机肥处理使 FOLR 和 TRL 分别提高了 29% 和 47%,并使 TRL 与苗高之比(R/S)提高了 57% (表 1). 表明有机肥对长白落叶松苗木根系形态的生长可以起到显著促进作用. R/S 总体上>1,说明与光照资源需求相比,苗木对基质中的养分需求更大. 缓释肥和有机肥对苗干(缓释肥: $P=0.055$;有机肥: $P=0.436$)、根(缓释肥: $P=0.103$;有机肥: $P=0.485$)和苗干+根(缓释肥: $P=0.065$;有机肥: $P=0.870$)的生物量均无显著影响,故结果未列出.

2.2 缓释肥和有机肥对养分库中 N、P、K 吸收及分配的影响

2.2.1 缓释肥用量或有机肥添加的单因素作用 与低量缓释肥处理相比,高量缓释肥处理使苗干、根和苗干+根中 N 含量分别提高了 53% ($P=0.005$)、58% ($P=0.037$)和 56% ($P=0.030$),P 含量分别提高了 105% ($P=0.047$)、71% ($P=0.118$)和 83% ($P=0.064$) (图 1). 可见高量缓释肥处理对苗木 N 含量积累的影响较明显,对 P 含量积累的影响更强

烈地体现在苗干上. 无论缓释肥用量还是有机肥处理,均对苗木各器官的 K 含量和浓度无显著影响($P>0.05$).

与低量缓释肥供给处理相比,高量缓释肥处理使根系的 N 浓度显著提高了 22% ($P=0.035$),但对苗干以及苗干+根的增效不显著(图 2). 说明高量缓释肥对落叶松幼苗晚季养分库的构建影响主要体现在根系上. 增施有机肥分别使苗干、根和苗干+根中 N 浓度提高了 20% ($P=0.020$)、26% ($P=0.017$)和 21% ($P=0.013$) (图 2). 可见,有机肥的添加对苗体养分库内的 N 浓度积累具有十分重要的作用. 有机肥处理对苗干(N: $P=0.836$; P: $P=0.510$)、根(N: $P=0.081$; P: $P=0.419$)和苗干+根(N: $P=0.216$; P: $P=0.773$)的 N、P 含量均无显著影响. 这可能与苗木生物量对有机肥处理响应不显著有关,因为 N、P 含量是其养分浓度与生物量的乘积.

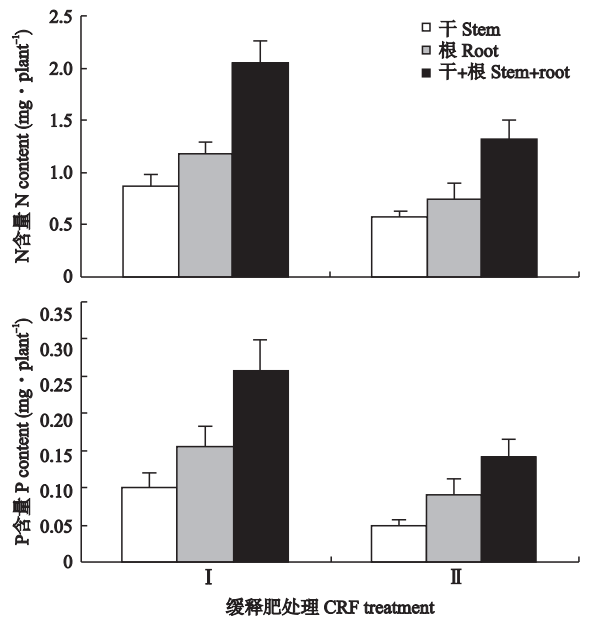


图 1 缓释肥用量对苗干、根和干+根中氮、磷含量的影响
Fig. 1 Effects of controlled-release fertilizer (CRF) amount on N and P contents in stems, roots, and stems + roots (mean±SE).

I: 36.36 mg N; II: 18.18 mg N. 下同 The same below.

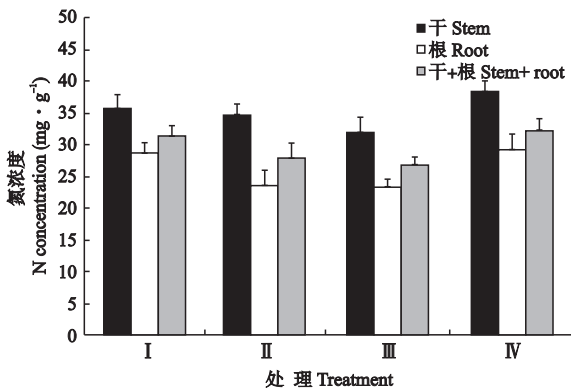


图2 缓释肥供给和有机肥添加对苗干、根及干+根中的氮浓度的影响

Fig. 2 Effects of controlled-release fertilizer with or without organic amendment on N concentrations in seedling stems, roots, and stems + roots (mean±SE).

III: 0 g OA; IV: 1.82 g OA. 下同 The same below.

2.2.2 缓释肥用量和有机肥添加的交互作用 缓释肥用量和有机肥添加处理的交互作用显著影响叶片N浓度 ($P=0.005$)。施高量缓释肥的前提下,和无机肥处理相比,添加有机肥使苗木叶片N浓度提高了137% ($P=0.040$);但在施低量缓释肥的前提下,添加有机肥使苗木叶片N浓度降低了30% ($P=0.014$) (图3a)。在无有机肥添加的前提下,和高量缓释肥处理相比,低量缓释肥处理提高了叶片N浓度的47% ($P=0.015$);但在有机肥添加的前提

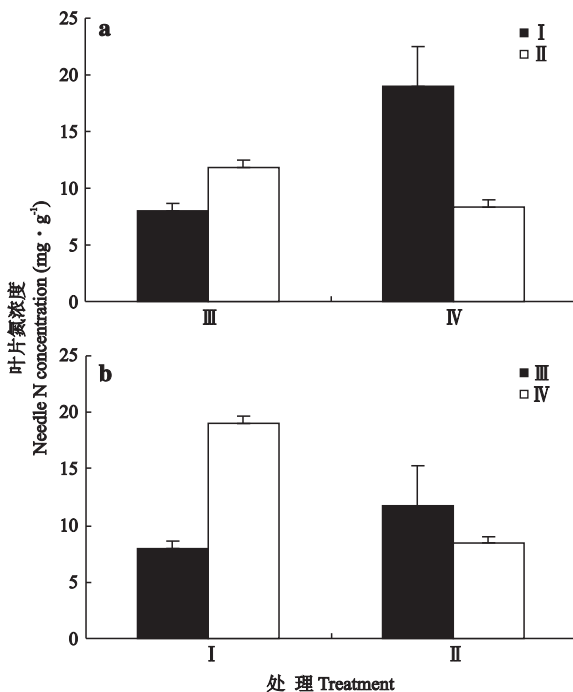


图3 缓释肥供给(a)和有机肥添加(b)对叶片氮浓度的影响
Fig. 3 Effects of organic fertilization (b) on needle N concentration in seedlings treated with CRF (a) (mean±SE).

下,低量缓释肥处理降低了叶片N浓度的56% ($P=0.043$) (图3b)。说明在有机肥添加的情况下高量缓释肥能促进N向叶片的分配。

2.3 缓释肥和有机肥施肥效果的矢量分析

与低量缓释肥处理相比,高量缓释肥处理下苗干+根的生物量和N、P、K含量相对较低,因此出现养分过量的征兆(图4a)。与增施有机肥处理相比,未施有机肥处理苗木的N、P供给相对不足,因此苗体养分库中N、P呈相对缺乏状态(图4b)。但增施有机肥引起了K浓度和含量同时降低,导致苗体内积累的K出现损耗(图4b)。

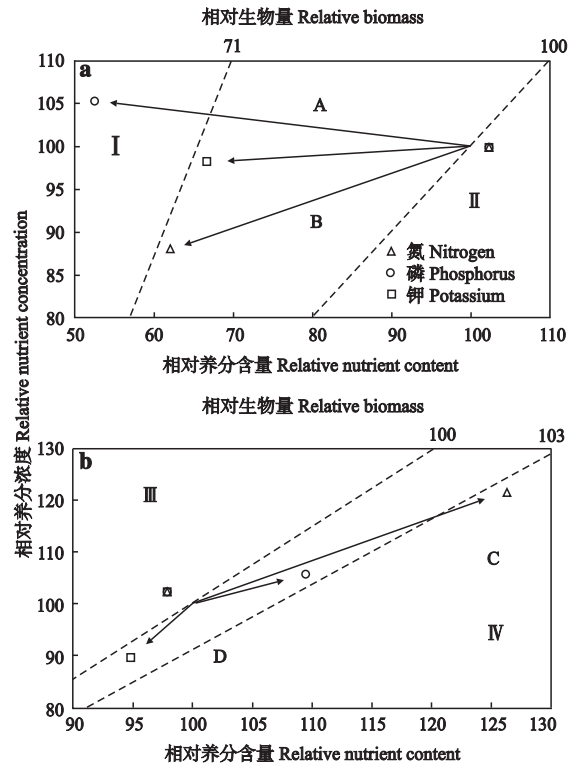


图4 缓释肥供给(a)和有机肥添加(b)对苗干+根生物量和N、P、K相对含量以及浓度影响的矢量分析

Fig. 4 Vector analysis of relative changes in biomass and contents and concentrations of N, P, and K in stems and roots in seedlings subjected to controlled-release fertilizer (a) with or without organic amendment (b).

A, B: 养分过量 Nutrient excess; C: 参照点养分相对缺乏 Relative nutrient deficiency of the reference. Low = 100; D: 养分损耗 Nutrient depletion.

3 讨论

本研究中,不同量缓释肥供给处理对苗木苗高、地径和根系生长没有产生显著影响,与 Jacobs 等^[19]采用 8 和 16 g 缓释肥处理对花旗松 (*Pseudotsuga menziesii*) 苗木生长的研究结果相似。这可能因为低

量缓释肥供给能够满足长白落叶松幼苗的生长需要. 增施有机肥能有效地改善长白落叶松苗木根系形态质量(表 1), 这与 Davis 等^[12]的研究结果一致. 他们发现, 增施鸡粪作为有机肥可以显著提高红栎 (*Quercus rubra*) 和水曲柳 (*Fraxinus americana*) 的苗木根系体积, 可能是有机肥降低土壤容重所致. Gebauer 等^[20]研究结果显示, 较大容重土壤中苗木根系管胞内腔轴径显著降低. 添加有机肥显著提高了 R/S, 说明有机肥会促进碳水化合物向根系的分配, 从而提高苗木对土壤养分和水分的吸收效率^[21].

高量缓释肥供给或添加有机肥均有利于长白落叶松幼苗体内 N 含量(图 1)和浓度(图 2)的积累, 同时, 高量缓释肥处理苗干中 P 含量积累显著增加, 但根系中 P 积累却无显著响应(图 1). 这可能与本研究所使用的缓释肥种类有关. Oliet 等^[22]利用 2 种不同 N、P₂O₅、K₂O 供给比例的缓释肥对阿拉伯松 (*Pinus halepensis*) 苗木进行试验后发现, 9 : 13 : 18 比例较 17 : 10 : 10 更适合苗木根和茎中 P 的积累. 高量缓释肥供给下增施有机肥后, 长白落叶松叶片 N 浓度提高(图 3)是其光合能力增强的表现^[23], 同时不排除部分叶片 N 浓度的提高来自茎干的养分回流^[24]. Millard 和 Grelet^[25]发现, 将大量 N 贮存于苗体养分库内是温带树种中秋季特有的苗木生理现象, 与常绿树种将 N 贮存在老叶和木质茎中不同, 落叶树种大多将 N 贮存在木质组织中(木质茎和较粗大的根系部分).

高量缓释肥处理下苗体生物量下降, 且其 N、P、K 的储量降低(图 4)是供养过量的典型表现^[4]. 增施有机肥可以促进苗木体内 N、P 积累(图 4), 与 Coleman 等^[11]和 Veijalainen 等^[21]的研究结果一致. 添加有机肥后, 苗木体内出现 K 储量损耗的症状疑为养分重新分配所致^[18]. van den Driessche 和 Ponsford^[26]曾发现, NH₄⁺对 K⁺的吸收具有拮抗影响. 类似现象在红栎 (*Quercus rubra*) 苗木中亦曾出现^[27]. 苗木对 K 的吸收对施肥处理无显著响应, 也许是由于 K⁺在被长白落叶松幼苗吸收积累时受到了 NH₄⁺影响, 并可能和 K 不参与植物组织的构建, 且移动性极强、易淋失有关. 具体原因有待进一步研究.

综上所述, 每株施用供 N 量 18 mg 的缓释肥, 配施 1.82 g FM 有机肥会促进长白落叶松幼苗生长和养分吸收.

参考文献

- [1] Mattsson A. Predicting field performance using seedling quality assessment. *New Forests*, 1997, **13**: 227–252
- [2] Davis AS, Jacobs DF. Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to outplanting performance. *New Forests*, 2005, **30**: 295–311
- [3] Cuesta B, Vega J, Villar-Salvador P, et al. Root growth dynamics of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) seedlings in relation to shoot elongation, plant size and tissue nitrogen concentration. *Trees*, 2010, **24**: 899–908
- [4] Wei H-X (魏红旭), Xu C-Y (徐程扬), Ma L-Y (马履一), et al. Advances in study on seedling exponential fertilization regime. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), 2010, **46**(7): 140–146 (in Chinese)
- [5] Oliet JA, Tejada M, Salifu KF, et al. Performance and nutrient dynamics of holm oak (*Quercus ilex* L.) seedlings in relation to nursery nutrient loading and post-transplant fertility. *European Journal of Forest Research*, 2009, **128**: 253–263
- [6] Heiskanen J, Lahti M, Luoranen J, et al. Nutrient loading has a transitory effect on the nitrogen status and growth of outplanted Norway spruce seedlings. *Silva Fennica*, 2009, **43**: 249–260
- [7] Haase DL, Alzugaray J, Rose R, et al. Nutrient-release rates of controlled-release fertilizers in forest soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2007, **38**: 739–750
- [8] Duan L-L (段路路), Zhang M (张民), Liu G (刘刚), et al. Nutrient release characteristics and efficiency of slow- and controlled release fertilizers. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2009, **20**(5): 1118–1124 (in Chinese)
- [9] Yang J-G (杨俊刚), Xu K (徐凯), Tong E-J (佟二健), et al. Effect of applying controlled-release fertilizer blended with conventional nitrogen fertilizer on Chinese cabbage yield and quality as well as nitrogen losses. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2010, **21**(12): 3147–3153 (in Chinese)
- [10] Zhu Y (祝燕), Ma L-Y (马履一), Liu Y (刘勇), et al. Application of controlled-release fertilizer in the cultivation of *Larix olgensis* seedling. *Journal of Nanjing Forestry University* (南京林业大学学报), 2011, **35**(1): 24–27 (in Chinese)
- [11] Coleman M, Dunlap J, Dutton Z, et al. Nursery and field evaluation of compost-grown conifer seedlings. *Tree Planters' Notes*, 1987, **38**: 22–27
- [12] Davis AS, Jacobs DF, Wightman KE, et al. Organic matter added to bareroot nursery beds influences soil

- properties and morphology of *Fraxinus pennsylvanica* and *Quercus rubra* seedlings. *New Forests*, 2006, **31**: 293–303
- [13] Mañas P, Castro E, de las Heras J. Quality of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) seedlings using waste materials as nursery growing media. *New Forests*, 2009, **37**: 295–311
- [14] Pritchard SG, Maier CA, Johnson KH, *et al.* Soil incorporation of logging residue affects fine-root and mycorrhizal root-tip dynamics of young loblolly pine clones. *Tree Physiology*, 2010, **30**: 1299–1310
- [15] Huang S-M (黄绍敏), Guo D-D (郭斗斗), Zhang S-Q (张水清), *et al.* Effect of long-term application of organic fertilizer and superphosphate on accumulation and leaching of Olsen-P in Fluvo-aquic soil. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2011, **22** (1): 93–98 (in Chinese)
- [16] Honda C. Rapid procedure for determination of nitrogen in soil by Kjeldahl method. *Journal of the Science of Soil and Manure*, 1962, **33**: 195–200
- [17] Parkinson JA, Allen SE. A wet oxidation procedure for the determination of nitrogen and mineral nutrients in biological material. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1975, **6**: 1–11
- [18] Salifu KF, Timmer VR. Nutrient retranslocation response of *Picea mariana* seedlings to nitrogen supply. *Soil Science Society of America Journal*, 2001, **65**: 905–913
- [19] Jacobs DF, Rose R, Haase DL. Development of Douglas-fir seedling root architecture in response to localized nutrient supply. *Canadian Journal of Forest Research*, 2003, **33**: 118–125
- [20] Gebauer R, Volarík D, Martinková M. Impact of soil pressure and compaction on tracheids in Norway spruce seedlings. *New Forests*, 2011, **41**: 75–88
- [21] Veijalainen AM, Juntunen ML, Heiskanen J, *et al.* Growing *Picea abies* container seedlings in peat and composted forest-nursery waste mixtures for forest regeneration. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2007, **22**: 390–397
- [22] Olliet J, Planelles R, Segura JL, *et al.* Mineral nutrition and growth of containerized *Pinus halepensis* seedlings under controlled-release fertilizer. *Scientia Horticulturae*, 2004, **103**: 113–129
- [23] Evans JR. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C₃ plants. *Oecologia*, 1989, **78**: 9–19
- [24] Egli P, Schmid B. Seasonal dynamics of biomass and nitrogen in canopies of *Solidago altissima* and effects of a yearly mowing treatment. *Acta Oecologica*, 2000, **21**: 63–77
- [25] Millard P, Grelet GA. Nitrogen storage and remobilization by trees: Ecophysiological relevance in a changing world. *Tree Physiology*, 2010, **30**: 1083–1095
- [26] van den Driessche R, Ponsford D. Nitrogen induced potassium deficiency in white spruce (*Picea glauca*) and Engelmann spruce (*Picea engelmannii*) seedlings. *Canadian Journal of Forest Research*, 1995, **25**: 1445–1454
- [27] Salifu KF, Jacobs DF. Characterizing fertility targets and multi-element interactions in nursery culture of *Quercus rubra* seedlings. *Annals of Forest Science*, 2006, **63**: 231–237

作者简介 魏红旭,男,1983年生,博士研究生.主要从事植物营养和苗木生理生态研究. E-mail: kiyohawa@126.com

责任编辑 李凤琴
