

## 华北落叶松人工林天然更新及与土壤因子的关系

孙国龙<sup>1</sup>, 李文博<sup>2</sup>, 黄选瑞<sup>2</sup>, 张志东<sup>2\*</sup>

(1. 河北省塞罕坝机械林场, 围场 068466; 2. 河北农业大学林学院, 保定 071000)

**摘要:** 为了更好的理解华北落叶松人工林天然更新动态及其与土壤化学性质的关系, 以塞罕坝地区不同林龄(Ⅲ: 20~30 a, Ⅳ: 30~40 a)华北落叶松人工林为研究对象, 基于 18 块标准地(50 m×50 m)的调查数据, 采用回归分析等方法对不同龄级林分的更新幼苗生长及与土壤化学性质之间的关系进行了分析。结果表明: (1) 2 个龄级林分更新幼苗高生长、基径生长与年龄均呈指数函数关系, 高度与基径呈线性相关; (2) Ⅲ龄级林分幼苗高随基径增长速率小于Ⅳ龄级林分; (3) pH 值和土壤全磷含量对Ⅲ龄级林分华北落叶松幼苗更新密度有显著影响, 而在Ⅳ龄级林分 pH 值和土壤全钾含量对幼苗基径、苗高和苗龄均有显著影响。

**关键词:** 华北落叶松; 天然更新; 土壤因子; 塞罕坝

中图分类号: S754

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2017)06-1047-05

### Natural regeneration of the *Larix principis-rupprechtii* plantation and its relation to the soil factors

SUN Guolong<sup>1</sup>, LI Wenbo<sup>2</sup>, HUANG Xuanrui<sup>2</sup>, ZHANG Zhidong<sup>2</sup>

(1. Saihanba Mechanized Forestry Centre of Hebei Province, Weichang 068466;

2. College of Forestry, Hebei Agricultural University, Baoding 071000)

**Abstract:** In order to better understand the natural regeneration dynamics of *Larix principis-rupprechtii* and its relation to the soil chemical factors, we conducted a field vegetation survey in 18 plots (50 m × 50 m) of two age classes (III age class, 20-30 years; IV age class, 30- 40 years) in a *Larix principis-rupprechtii* plantation. Regression analysis and correlation analysis were used to study the growth of natural recruited seedlings and the influences of soil chemical factors on regeneration establishment. The results showed that: (1) both seedling height and basal diameter had an exponential function correlation with age. There was a linear correlation between the seedling height and the basal diameter; (2) with the growth of basal diameter, the growth rate of seedling height was higher in the stands of III age class than that of IV age class; (3) soil pH and total P content had significant effects on the density of natural recruited seedlings in the stands of III age class, while in the stands of IV age class, soil pH and soil total K content were the main factors affecting basal diameter, height and age of seedlings.

**Key words:** *Larix principis-rupprechtii*; natural regeneration; soil factor; Saihanba

天然更新是森林生态系统稳定的基础。幼苗阶段被认为是森林更新过程中最重要和敏感的时期之一, 也是未来群落组成和结构的决定性阶段之一<sup>[1]</sup>。影响森林天然更新的因素有很多, 诸如种源<sup>[2]</sup>、土壤因子<sup>[3]</sup>、枯落物<sup>[4]</sup>、林分结构<sup>[5]</sup>和生境因子<sup>[6]</sup>等。目前对落叶松天然更新的研究多集中于采伐方式和更新动态<sup>[7-8]</sup>、林内生物<sup>[9-10]</sup>、微生境因子<sup>[11-12]</sup>、火烧和林隙<sup>[13-14]</sup>等, 但由于林分和研究区域的差异, 所得

结果并不一致, 因此开展塞罕坝华北落叶松人工林天然更新及其与土壤因子关系的研究很有必要。

华北落叶松由于其生长速度快、材质优良、生产性能好已经成为华北山地主要用材树种。河北省塞罕坝是华北落叶松生长适宜区, 而近些年该地区人工林普遍存在天然更新能力差, 更新苗难以成树的现象<sup>[15]</sup>, 制约了华北落叶松人工林的天然更新进程。本研究以河北省塞罕坝机械林场华北落叶松人

收稿日期: 2017-04-06

基金项目: 林业公益性行业科研专项(20150430304)资助。

作者简介: 孙国龙, 硕士研究生。E-mail: 308589271@qq.com

\* 通信作者: 张志东, 博士, 副教授。E-mail: zhzhido@163.com

工林为研究对象,分析华北落叶松幼苗生长状态,探讨土壤条件对幼苗更新的影响,拟为研究区华北落叶松人工林的保育和可持续经营提供科学依据。

## 1 研究区概况

塞罕坝机械林场位于河北省围场满族蒙古族自治县最北部(41°92'N~42°36'N, 116°53'E~117°39'E);地貌复杂,以丘陵、曼甸和山地地形为主;寒温带大陆性气候,降水多集中在6—9月,年均降水量438 mm,最大、最小年降水量分别为646.0 mm和255.9 mm,年均气温-1.40℃,极端最高、最低气温分别为30.9℃和-42.8℃;土壤具有垂直地带性和水平地带性的特点,由低到高分布着棕壤、灰土和黑土,由东到西分布着黑土、灰土和沙土。研究区内植物主要有:华北落叶松、稠李(*Prunus padus*)、山刺玫(*Rose davurica*)、华北忍冬(*Lonicera tatarinowii*)、小红菊(*Dendranthema chanelii*)、早熟禾(*Poa annua*)和苔草(*Carex lanceolata*)等。

## 2 研究方法

### 2.1 调查方法

在塞罕坝华北落叶松人工林区,分别选取3块中龄林(20~30 a)和3块近熟林(30~40 a)林分,每个林分内分别设置3个50 m×50 m的标准样地,在每个样地中按相邻格子法划分成25个10 m×10 m的小样方,样方内调查内容包括:1)更新苗:将基径小于5 cm的幼苗统一标号挂牌,记录其株数、高度和基径,并采用查数轮生枝法确定其年龄。2)土壤样品采集:在每个样地的4个角及中心位置,去除表层枯枝落叶采集深度分别为0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm 3层土壤样品,每个层次取一定量土样混合后置于密封袋中,带回实验室荫干后参照《土壤农业化学分析方法》测定其化学性质<sup>[16]</sup>。

### 2.2 种群更新状况测定

采用查数轮生枝法确定幼苗年龄,统计同一龄级林分下幼苗的高度、基径以及株数,分别计算同龄级林分下相同年龄幼苗的平均高和平均基径,并将相同年龄幼苗的株数合并,分别组成不同龄级华北落叶松人工林幼苗生长状态和种群年龄结构的基本数据;将高度在1.2 m以下的更新苗按高度(H)划分为5个高度级:H1:  $H \leq 0.05$  m; H2:  $0.05 < H \leq 0.2$  m; H3:  $0.2 < H \leq 0.4$  m; H4:  $0.4 < H \leq 0.8$  m; H5:  $0.8 < H \leq 1.2$  m,分别统计各高度级内幼苗的株数以确定其高度结构;分别绘制2个龄级华北落叶松人工林的幼苗生长状态图以及种群

龄级、高度级与个体密度分布图,以分析其生长状态和种群结构变化。

## 2.3 数据处理

采用线性回归分析的方法分析不同年龄段华北落叶松幼苗的平均树高与基径的关系;非线性回归方法分析不同年龄段内华北落叶松幼苗的平均树高、平均基径与密度和年龄的关系;皮尔逊相关分析法分析土壤因子对华北落叶松人工林幼苗更新的影响。所有分析和制图在SPSS 20和Sigmaplot 12.5软件中进行。

## 3 结果与分析

### 3.1 幼苗生长动态

随幼苗年龄增加,更新苗高度和基径均呈指数增长趋势(图1和图2)。从更新苗高度来看,更新前5年,20~30 a林分幼苗平均高均大于30~40 a林分,从第6年开始30~40 a林分幼苗平均高均大于20~30 a林分;从更新苗基径看,更新最初6年,30~40 a林分幼苗平均基径均大于20~30 a林分,从第7年开始,20~30 a林分幼苗平均基径整体上大于30~40 a林分。

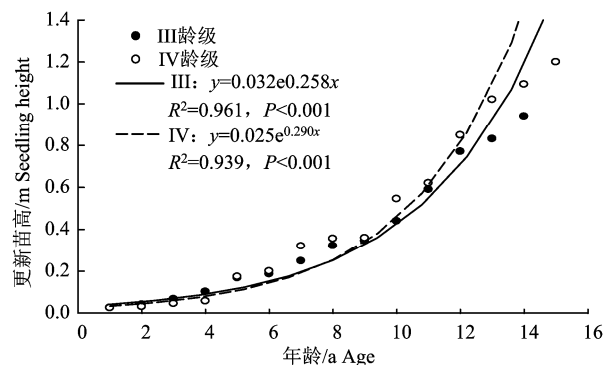


图1 不同龄级华北落叶松更新幼苗高度与年龄关系  
Figure 1 The relationship between height and age of seedlings in different ages of *Larix principis-rupprechtii* stands

回归分析表明2个龄级华北落叶松幼苗基径与苗高的关系呈直线回归函数关系(图3),与20~30 a的林分相比,30~40 a林分更新苗高随基径变化斜率更大,即30~40 a林分更新苗高随基径的增长生长更快。在幼苗基径约为0.04 cm时,2直线相交,以此为临界点,基径小于0.04 cm时,30~40 a林分随基径变化的幼苗高度小于20~30 a林分;反之,30~40 a林分随基径变化的幼苗高度大于20~30 a林分。

### 3.2 林龄结构

更新苗密度与年龄呈指数函数相关(图4),表

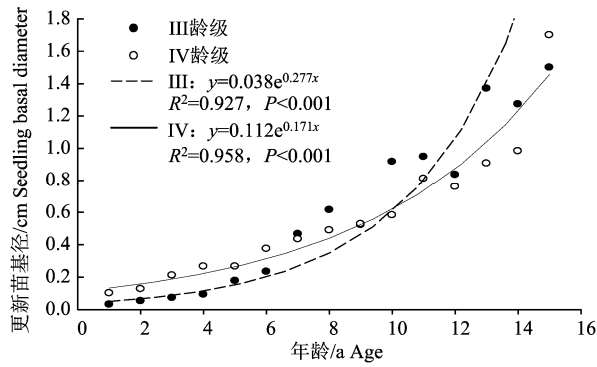


图 2 不同龄级华北落叶松更新幼苗基径与年龄关系  
Figure 2 The relationship between basal diameter and age of seedlings in different ages of *Larix principis-rupprechtii* stands

现为:

III 龄级:  $y=185.141e^{-0.386x}$   $R^2=0.738$   $P<0.001$

IV 龄级:  $y=473.720e^{-0.444x}$   $R^2=0.902$   $P<0.001$

式中,  $y$  为更新幼苗密度 (棵· $hm^{-2}$ ),  $x$  为更新

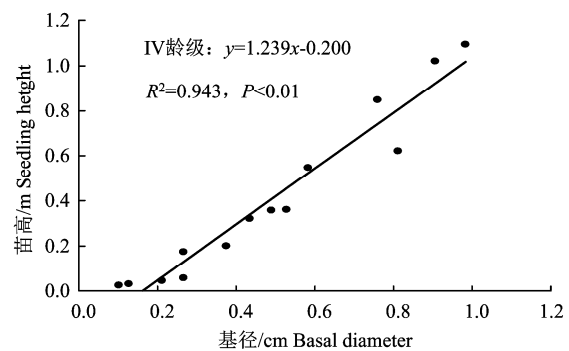
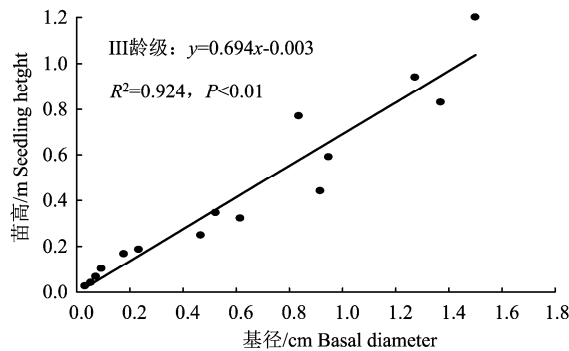


图 3 不同龄级华北落叶松更新幼苗基径与高度关系

Figure 3 The relationship between basal diameter and height of seedlings in different ages of *Larix principis-rupprechtii* stands

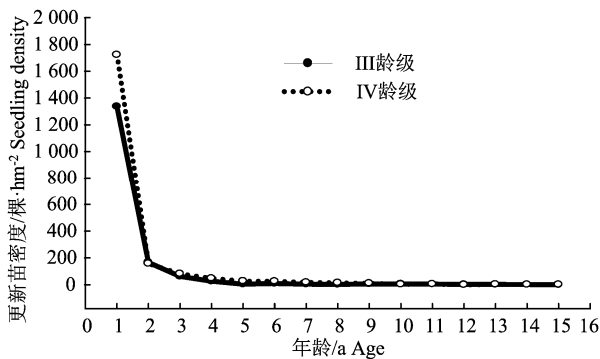


图 4 不同龄级华北落叶松更新幼苗密度与年龄关系  
Figure 4 The relationship between density and age of seedlings in different ages of *Larix principis-rupprechtii* stands

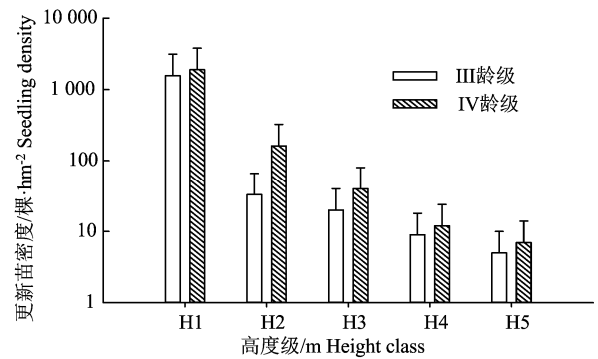


图 5 不同龄级华北落叶松更新幼苗密度与高度关系  
Figure 5 The relationship between density and height of seedlings in different ages of *Larix principis-rupprechtii* stands

幼苗年龄 (a)。

20~30 a 以及 30~40 a 林分华北落叶松 1~4 年更新幼苗个体数占总体更新苗的绝大部分, 分别为 97.40%和 94.86%, 其中 1 年生的更新幼苗数量分别占总体的 81.84%和 81.27%, 体现出 2 个龄级林分更新苗的高繁殖性, 但从第 5 年开始, 更新苗密度持续下降并逐渐趋于稳定, 说明幼苗的成活率较低。

### 3.3 高度结构

从图 5 可以看出, 整体上随着苗高的增加, 更新苗的密度呈下降趋势。20~30 a 龄级林分的更新苗密度在各高度级范围内都低于 30~40 a 龄级林分, 其中, H1 ( $\leq 0.05$  m) 高度级下, 不同龄级林分对应的更新苗密度差异最小, 分别占总体密度的 95.86%和 89.58%; H2 (0.05~0.2 m) 高度级下, 不同龄级林分对应的更新苗密度差异最大, 分别占总体密度的 2.04%和 7.64%。

### 3.4 土壤化学性质对天然更新的影响

相关分析表明, 影响天然更新的主要因素为 pH 值, 土壤全磷含量和全钾含量, 但影响程度因林龄而异 (表 1)。在 III 龄级林分内, pH 值和土壤全磷

含量与幼苗更新密度呈显著负相关关系 ( $P \leq 0.05$ ); 在 IV 龄级林分, 随着 pH 值和土壤全钾含量的增加, 幼苗高度、基径和苗龄都呈显著增加趋势 ( $P \leq 0.05$ )。通过进一步分析影响不同林龄林分下幼苗更

新的主要化学性质的变异程度(表2)发现:土壤pH值变异程度都最小;全磷含量变异显著,但是两

林龄林分之间差异不显著;IV龄级林分全钾量变异程度显著大于III龄级林分,且变异显著。

表1 不同林龄华北落叶松幼苗生长状况与土壤化学性质的关系

Table 1 Correlation between growth status of seedlings and soil chemical factors in *Larix principis-rupprechtii* stands with different ages

土壤化学性质 Soil chemical factor	III (20~30 a) 中龄林 Middle-aged forest				IV (30~40 a) 近熟林 Over-mature forest			
	密度 Density	高度 Height	基径 Basal diameter	苗龄 Seedling age	密度 Density	高度 Height	基径 Basal diameter	苗龄 Seedling age
pH	-0.668*	0.189	0.215	0.358	-0.627	0.767*	0.792*	0.755*
土壤有机质 SOM	0.063	0.378	0.335	0.226	-0.210	0.522	0.496	0.463
全磷含量 TP	-0.690*	0.518	0.522	0.536	0.549	-0.375	-0.389	-0.449
土壤速效磷含量 SAP	-0.028	0.420	0.402	0.243	0.162	-0.194	-0.206	-0.180
全氮含量 TN	0.042	0.359	0.302	0.303	0.538	-0.352	-0.402	-0.434
碱解氮 AN	0.114	0.032	-0.024	-0.159	-0.610	0.389	0.336	0.507
土壤速效钾 SAK	0.028	0.226	0.185	0.048	-0.125	-0.037	-0.024	-0.015
土壤全钾含量 STK	0.535	-0.488	-0.479	-0.467	-0.662	0.700*	0.754*	0.705*

\* $P \leq 0.05$ .

表2 影响不同林龄华北落叶松幼苗更新的主要土壤化学性质基本数量特征

Table 2 Quantitative characteristics of major soil chemical factors effect natural regeneration in *Larix principis-rupprechtii* stands with different ages

土壤化学性质 Soil chemical factor	最小值 Minimum		最大值 Maximum		均值 Mean		标准差 Standard error		变异系数 CV/%	
	III	IV	III	IV	III	IV	III	IV	III	IV
pH	5.08	5.39	6.00	5.70	5.61	5.52	0.37	0.10	6.59	1.81
全磷含量 TP/g·kg <sup>-1</sup>	0.23	0.32	0.43	0.53	0.31	0.38	0.07	0.08	21.16	20.41
土壤全钾量 STK/g·kg <sup>-1</sup>	14.77	10.23	21.01	22.09	17.59	13.88	2.30	3.66	13.07	26.39

## 4 讨论与结论

### 4.1 天然更新动态

不同龄级华北落叶松人工林的幼苗高度、基径与年龄都呈现指数函数关系,并且在更新初期,中龄林(20~30 a)下幼苗高度、基径生长速度都大于近熟林(30~40 a)下的幼苗生长,但随幼苗年龄的增加,近熟林下的幼苗高、基径生长速度却超过中龄林下幼苗。究其原因,在更新初期,幼苗受环境影响比较大,中龄林土壤结构及通透性能好<sup>[17]</sup>,更有利于更新;但随幼苗年龄增长,幼苗生长对光照及其他营养需求增大,疏伐营林措施,降低了近熟林的林分密度、增加了林内的光照水平,同时割灌措施减少了来自草本和灌木对幼苗的竞争,导致了近熟林内幼苗生长较好。

从更新密度上来说,两龄级华北落叶松林分的幼苗更新都表现出相同的趋势:更新前4年中龄林和近熟林幼苗更新密度分别占总体的81.84%和81.27%,在数量上占绝对优势,处于稳定时期;但随幼苗年龄的增长,更新苗数量显著下降,属于衰

退型种群<sup>[18]</sup>。更新幼苗都随年龄增加而死亡率上升,除了光照的原因外,另一原因很可能是由于萌发在厚重枯落物层中的种子胚根很难到达土壤层<sup>[19]</sup>,致使其无法进一步获得生存所需的营养物质。幼苗更新密度都随着高度级的增加而下降,其中近熟林下每个高度级下更新苗密度都大于中龄林下幼苗更新密度,一般来说,林分密度大,林内更新差,幼苗幼树少<sup>[20]</sup>,中龄林和近熟林的林分密度分别为1 735.56 棵·hm<sup>-2</sup>、1 035.11 棵·hm<sup>-2</sup>,因此近熟林林下环境更适宜幼苗更新生长。

### 4.2 土壤化学性质对幼苗更新的影响

两龄级林分幼苗的更新动态都受pH值的影响,反映了种群建立对土壤酸碱性的要求:近熟林林分下幼苗平均高、基径和苗龄与土壤pH值呈现正相关关系,说明华北落叶松近熟林下天然更新幼苗在偏中性环境中生长良好;中龄林林分下更新苗的密度与pH值呈现负相关关系,说明弱酸土壤环境更有利于其天然更新。而两林龄林分内pH值的变异程度都很小,pH值相对稳定。中龄林内,土壤全磷含量与其幼苗更新密度负相关,很可能是因为磷影

响氮的代谢, 过量的磷会降低氮的同化, 从而抑制苗木吸收磷的过程<sup>[21]</sup>, 不利于幼苗的生长。近熟林林分下全钾含量对幼苗的平均高度、平均基径和平均苗龄都有积极影响, 进一步分析也发现土壤全钾含量变异程度明显大于中龄林林分, 更反映了其对幼苗生长的显著影响, 因此在经营过程中, 应当适当增加土壤中的全钾含量, 以更好地维护森林更新。

### 参考文献:

- [1] 闫琰. 吉林蛟河针阔混交林种子扩散和幼苗更新研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2016.
- [2] YAN Q L, LIU Z M, ZHU J J, et al. Structure, Pattern and Mechanisms of Formation of Seed Banks in Sand Dune Systems in Northeastern Inner Mongolia, China[J]. *Plant Soil*, 2005, 277(1):175-184.
- [3] 杨秀清, 韩有志, 李乐, 等. 华北山地典型天然次生林土壤氮素空间异质性对落叶松幼苗更新的影响[J]. *生态学报*, 2009, 29(9): 4656-4664.
- [4] 陈永富. 森林天然更新障碍机制研究进展[J]. *世界林业研究*, 2012, 25(2): 41-45.
- [5] 张志东, 毛培利, 刘玉虹, 等. 林分结构对烟台黑松海岸防护林天然更新的影响[J]. *生态学报*, 2010, 30(8): 2205-2211.
- [6] 陈圣宾, 宋爱琴, 李振基. 森林幼苗更新对光环境异质性的响应研究进展[J]. *应用生态学报*, 2005, 16(2): 365-370.
- [7] 刘春延. 塞罕坝地区华北落叶松人工林采伐迹地更新树种选择的研究[J]. *山东林业科技*, 2008, 38(6): 28-29.
- [8] 罗梅, 郑小贤. 金沟岭林场落叶松人工林天然更新动态研究[J]. *中南林业科技大学学报*, 2016, 36(9): 7-11.
- [9] ZHU J, MATSUZAKI T, LEE F, et al. Effect of gap size created by thinning on seedling emergency, survival and establishment in a coastal pine forest[J]. *Forest Ecol Manag*, 2003, 182(1/2/3): 339-354.
- [10] 朱教君, 刘足根, 王贺新. 辽东山区长白落叶松人工林天然更新障碍分析[J]. *应用生态学报*, 2008, 19(4): 695-703.
- [11] BUNGARD R A, ZIPPERLEN S A, PRESS M C, et al. The influence of nutrients on growth and photosynthesis of seedlings of two rainforest dipterocarp species[J]. *Funct Plant Biol*, 2002, 29(4):505-515.
- [12] 杨秀清. 影响关帝山华北落叶松天然更新与幼苗存活的微生境变量分析[J]. *山西农业大学学报*, 2010, 30(6): 542-547.
- [13] 王鼎, 周梅, 赵鹏武, 等. 森林火灾后兴安落叶松植被群落乔木更新状况研究[J]. *林业资源管理*, 2016, (6): 64-70.
- [14] 董博睿, 徐雪华, 黄选瑞, 等. 退化华北落叶松人工林林隙更新特征[J]. *中南林业科技大学学报*, 2014, 34(8): 1-8.
- [15] 张树梓, 李梅, 张树彬, 等. 塞罕坝华北落叶松人工林天然更新影响因子[J]. *生态学报*, 2015, 36(16): 5403-5411.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 34-110.
- [17] 王美莲, 王飞, 姚晓娟, 等. 不同林龄兴安落叶松枯落物及土壤水文效应研究[J]. *生态环境学报*, 2015, 24(6): 925-931.
- [18] 孙玉军, 马炜, 刘艳红. 与物种多样性有关的长白落叶松人工林生物量[J]. *生态学报*, 2015, 35(10): 3329-3338.
- [19] 王贺新, 李根柱, 于冬梅, 等. 枯枝落叶层对森林天然更新的障碍[J]. *生态学杂志*, 2008, 27(1): 83-88.
- [20] 李景文. 森林生态学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1994: 162-164.
- [21] 孙宇, 李国雷, 刘勇, 等. 磷肥施用方式对长白落叶松播种苗生长的影响[J]. *南京林业大学学报*, 2011, 35(5): 16-20.