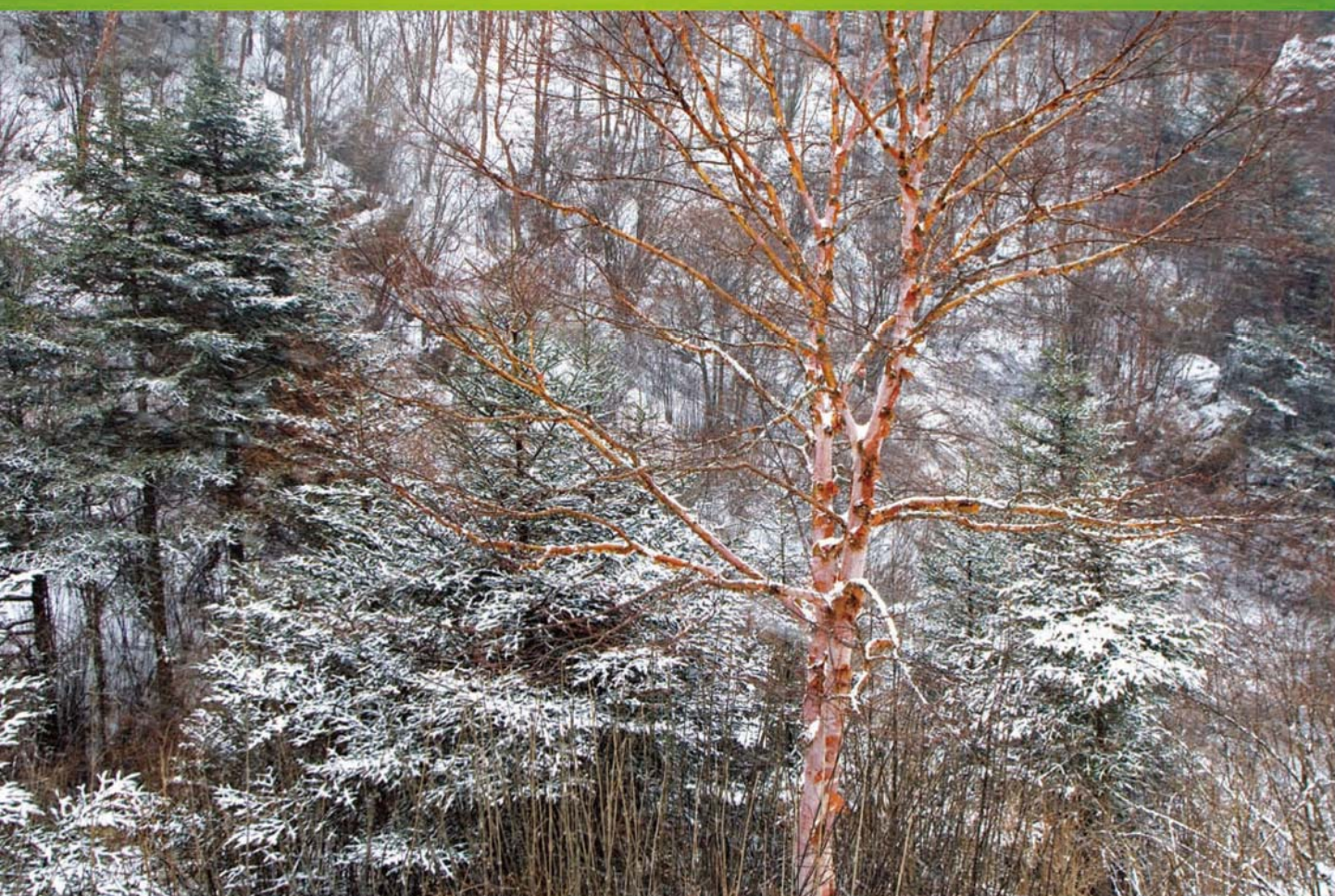


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

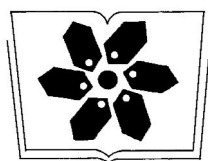
Acta Ecologica Sinica



第34卷 第8期 Vol.34 No.8 **2014**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 8 期 2014 年 4 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 海洋浮游纤毛虫生长率研究进展..... 张武昌,李海波,丰美萍,等 (1897)
- 城市森林调控空气颗粒物功能研究进展..... 王晓磊,王 成 (1910)
- 雪地生活跳虫研究进展..... 张 兵,倪 珍,常 亮,等 (1922)

个体与基础生态

- 黄河三角洲贝壳堤岛叶底珠叶片光合作用对 CO_2 浓度及土壤水分的响应.....
..... 张淑勇,夏江宝,张光灿,等 (1937)
- 米槠人促更新林与杉木人工林叶片及凋落物溶解性有机物的数量和光谱学特征.....
..... 康根丽,杨玉盛,司友涛,等 (1946)
- 利用不同方法测定红松人工林叶面积指数的季节动态..... 王宝琦,刘志理,戚玉娇,等 (1956)
- 环境变化对兴安落叶松氮磷化学计量特征的影响 平 川,王传宽,全先奎 (1965)
- 黄土塬区不同土地利用方式下深层土壤水分变化特征 程立平,刘文兆,李 志 (1975)
- 土壤水分胁迫对拉瑞尔小枝水分参数的影响..... 张香凝,孙向阳,王保平,等 (1984)
- 遮荫处理对臭柏幼苗光合特性的影响..... 赵 顺,黄秋娴,李玉灵,等 (1994)
- 漓江水陆交错带典型立地根系分布与土壤性质的关系..... 李青山,王冬梅,信忠保,等 (2003)
- 梭梭幼苗的存活与地上地下生长的关系..... 田 媛,塔西甫拉提·特依拜,李 彦,等 (2012)
- 模拟酸雨对西洋杜鹃生理生态特性的影响..... 陶巧静,付 涛,项锡娜,等 (2020)
- 岩溶洞穴微生物沉积碳酸钙——以贵州石将军洞为例..... 蒋建建,刘子琦,贺秋芳,等 (2028)
- 桂东北稻区第七代褐飞虱迁飞规律及虫源分析..... 齐会会,张云慧,蒋春先,等 (2039)

种群、群落和生态系统

- 鄱阳湖区灰鹤越冬种群数量与分布动态及其影响因素..... 单继红,马建章,李言阔,等 (2050)
- 雪被斑块对川西亚高山两个森林群落冬季土壤氮转化的影响..... 殷 睿,徐振锋,吴福忠,等 (2061)
- 小秦岭森林群落数量分类、排序及多样性垂直格局 陈 云,王海亮,韩军旺,等 (2068)
- 2012 年夏季挪威海和格陵兰海浮游植物群落结构的色素表征 王肖颖,张 芳,李娟英,等 (2076)
- 云南花椒园中昆虫群落特征的海拔间差异分析..... 高 鑫,张立敏,张晓明,等 (2085)
- 人工湿地处理造纸废水后细菌群落结构变化..... 郭建国,赵龙浩,徐 丹,等 (2095)
- 极端干旱区尾间湖生态需水估算——以东居延海为例 张 华,张 兰,赵传燕 (2102)

景观、区域和全球生态

- 秦岭重点保护植物丰富度空间格局与热点地区…………… 张殷波,郭柳琳,王 伟,等 (2109)
- 太阳辐射对黄河小浪底人工混交林净生态系统碳交换的影响…………… 刘 佳,同小娟,张劲松,等 (2118)
- 黄土丘陵区油松人工林生态系统碳密度及其分配 …………… 杨玉姣,陈云明,曹 扬 (2128)
- 湘潭锰矿废弃地不同林龄栎树人工林碳储量变化趋势…………… 田大伦,李雄华,罗赵慧,等 (2137)

资源与产业生态

- 湘南某矿区蔬菜中 Pb、Cd 污染状况及健康风险评估 …………… 吴燕明,吕高明,周 航,等 (2146)

城乡与社会生态

- 北京市主要建筑保温材料生命周期与环境经济效益评价 …………… 朱连滨,孔祥荣,吴 宪 (2155)
- 城市地表硬化对银杏生境及生理生态特征的影响…………… 宋英石,李 锋,王效科,等 (2164)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 276 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 29 * 2014-04



封面图说: 冷杉红桦混交林雪——冷杉是松科的一属,中国是冷杉属植物最多的国家,约 22 种 3 个变种。冷杉常常在高纬度地区至低纬度的亚高山至高山地带的阴坡、半阴坡及谷地形成纯林,或与性喜冷湿的云杉、落叶松、铁杉和某些松树及阔叶树组成针叶混交林或针阔混交林。冷杉具有较强的耐阴性,适应温凉和寒冷的气候,土壤以山地棕壤、暗棕壤为主。川西、滇北山区的冷杉林往往呈混交状态,冷杉红桦混交林为其中重要的类型。雪被对冷杉林型冬季土壤氮转化影响的研究对揭示高山森林对气候变化的响应及其适应机制提供重要的理论支持。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201306301805

平川,王传宽,全先奎.环境变化对兴安落叶松氮磷化学计量特征的影响.生态学报,2014,34(8):1965-1974.

Ping C, Wang C K, Quan X K. Influence of environmental changes on stoichiometric traits of nitrogen and phosphorus for *Larix gmelinii* trees. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(8): 1965-1974.

环境变化对兴安落叶松氮磷化学计量特征的影响

平 川,王传宽*,全先奎

(东北林业大学生态研究中心, 哈尔滨 150040)

摘要:兴安落叶松(*Larix gmelinii*)为我国北方人工林优势树种,采集地理和气候差异明显的6个种源种子,在分布区南界的均一立地条件下进行播种,形成了32a林分。采集新老枝、新老叶和不同径级的根样品,测定其氮(N)和磷(P)浓度,比较种源间差异以及其随月份的变化和各器官NP元素之间的相关性。结果表明:老枝叶($P<0.05$)、1—2 mm根($P<0.01$)和2—5 mm根($P<0.05$)N浓度在种源间差异显著,变化范围分别为21.1—24.2 mg/g、5.9—7.8 mg/g和4.7—6.5 mg/g。P浓度在老枝叶($P<0.05$)和新枝叶($P<0.05$)中都表现出种源间的差异显著,变化范围分别为4.5—5.8 mg/g和4.5—6.5 mg/g。根系和枝叶的N/P皆存在种源间显著性差异($P<0.05$)。叶片和根系的NP浓度的月份变化呈现先减小再增加的趋势,而新枝则呈现增加-减小-增加的不同趋势。新老枝、新老叶和根系的N和P浓度之间显著相关;新老枝、新老叶和根系之间的N浓度显著相关。不同种源兴安落叶松因对不同环境的长期适应而产生NP化学计量特征的遗传差异。

关键词:兴安落叶松;环境变化;氮;磷;生态化学计量学

Influence of environmental changes on stoichiometric traits of nitrogen and phosphorus for *Larix gmelinii* trees

PING Chuan, WANG Chuankuan*, QUAN Xiankui

Center for Ecological Research, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

Abstract: To understand response and adaptation of nitrogen (N) and phosphorus (P) stoichiometry to environmental changes, we conducted a provenance experiment on *Larix gmelinii*, the dominant boreal tree species in northeastern China. We collected seeds from six provenances with different geographical and climatic conditions and planted the seeds at a homogenous site in the southern boundary of the distribution range of this species for 32 years. Our objectives were to (1) examine variations in the concentrations of N and P in different organs among provenances, (2) explore monthly dynamics in the concentrations, and (3) explore correlations between N and P concentrations in different organs. The results showed that the N concentrations in the needles on old branch, fine roots (diameter 1—2 mm), and medium roots (diameter 2—5 mm) showed significantly different among the provenances ($P<0.05$, $P<0.01$, and $P<0.05$, respectively), with the concentrations ranging from 21.1 to 24.2 mg/g, from 5.9 to 7.8 mg/g, and from 4.7 to 6.5 mg/g, respectively. The P concentrations in the needles on old branch and needles on new twig were significantly different ($P<0.05$) among the provenances, with the concentrations ranging from 4.5—5.8 mg/g and from 4.5—6.5 mg/g, respectively. The N/P in the roots, branches and needles showed significantly different among the provenances ($P<0.05$). The seasonal variations in the concentrations of N and P in the needles and roots trended to decrease first and then increase as the growing season proceeded, while those in the twigs showed a trend of increasing-decreasing-increasing. There were significant correlations

基金项目:林业公益性行业科研专项(201104009-05);国家“十二五”科技支撑项目(2011BAD37B01);教育部长江学者和创新团队发展计划资助(IRT1054)

收稿日期:2013-06-30; **修订日期:**2013-12-16

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangck-cf@nefu.edu.cn

between N and P concentrations in branches, needles, fine roots and medium roots. There were significant correlations between the N concentrations in the needles on twigs and on branches, twigs, branches and roots. The results suggest that the adaptation of *Larix gmelinii* trees to different environments in the six provenances lead to genetic differentiation in their stoichiometric traits of N and P.

Key Words: *Larix gmelinii*; environmental changes; nitrogen; phosphorus; stoichiometry

生态化学计量学综合生物学、化学和物理学的基本原理,跨越个体、种群、群落、生态系统、景观、区域等层次,主要研究生态过程中不同化学元素的比例关系^[1-3],为研究不同元素在生态系统过程中的耦合关系提供了一种综合方法^[4]。植物体内的氮(N)作为酶的重要成分,参与许多重要的生理活动(如光合作用),而磷(P)与细胞的生长分裂和蛋白质的形成有关^[5-6],因此,研究树木体内 NP 生态化学计量特征对于揭示树木生理生态功能过程的藕联关系有重要意义。

植物体内 NP 化学计量特征受外界环境因子和内在属性的共同影响。同一区域不同植物、同一植物生长在不同的环境条件下,其 NP 化学计量特征的受限制因素不同^[11-12]。Reich 等^[8]将不同气温条件下的种源移植到同质种植园内种植后发现,来自较低温的种源表现出更高的叶片 N 和 P 含量,由此认为这是植物在低温下提高新陈代谢活动和生长率的一种适应。Han 等^[10]综合了中国 753 种陆生植物的 N/P 发现,中国植物的 P 含量比全球水平低,因而引起较高的 N/P。兴安落叶松(*Larix gmelinii*)广泛分布于欧亚大陆北方森林的南部,是我国寒温带森林的优势树种,也是我国北方地区的主要造林树种之一。广阔的分布区以及多种自然环境条件的综合作用使得该树种出现了多种遗传型和表现型的分异,使不同种源兴安落叶松的生长性状产生变异^[13]。然而,不同种源的兴安落叶松的 NP 化学计量特征是否存在差异、差异度如何、器官之间是否有差异以及季节变化如何等问题,尚未见报道。这些问题的回答,有助于阐明兴安落叶松对环境变化的响应适应机制。

移植试验可用于区分环境变化与树种互作关系中的环境效应和遗传效应,即保持试验的种群不变,可观测到环境效应;而控制试验的环境因子不变,可观测到遗传效应^[14]。本试验将采自兴安落叶松自

然分布区内地理和气候差异明显的 6 个种源的种子播植在均一的立地条件下生长了 32a,比较其枝、叶、根中的 NP 元素含量及其时空变化,旨在比较分析环境变化对兴安落叶松 NP 化学计量特征的遗传效应,探讨引起这种效应的原因,为评价预测兴安落叶松对环境变化的响应适应提供理论基础和实测数据。

1 试验材料与方法

1.1 试验地自然概况

试验地位于东北林业大学帽儿山森林生态站(127°30'—34'E, 45°20'—25'N)。该地区为大陆性季风气候:春季多风干燥、夏季温暖湿润、冬季寒冷。1989—2009 年平均降水量为 629 mm,其中 50%集中在 6—8 月份;年均蒸发量为 864 mm。年均温为 3.1℃;1 月和 7 月平均气温分别为 -18.5℃ 和 22℃;5℃ 以上年积温为 2897℃;无霜期为 120—140d(5—9 月份);年平均日照时数为 1850h^[15]。

所用种子采集于兴安落叶松自然分布区内 6 个具有不同地理和气候特点的种源地(表 1)。1980 年秋采种,1981 年育苗,1983 年春造林,株行距为 4.5 m × 2.5 m。造林地土壤、地形、气候条件一致,海拔约为 300 m,平均坡度为 10—15°,母质岩为花岗岩,土壤为暗棕壤^[13]。

1.2 野外取样和室内分析

每个兴安落叶松种源选取 3 株标准木,于 2012 年 5—9 月期间,每月中旬选择无雨晴天,在 09:00—15:00 时段对老枝、新枝(即当年生枝)、老枝叶(即老枝上的针叶)、新枝叶(即当年生枝上的针叶)、根分别取样。根系用小铲在 0—15 cm 深度进行取样。所取样品立即装入配有冰块 of 储存箱(温度保持在 0—4℃)。根样用清水洗净附着的泥土及杂物后,用游标卡尺将其按直径 0—1 mm、1—2 mm、2—5 mm、>5 mm 分为 4 个等级分装。所有的样品在取样后 3 h 之内用微波炉大火杀青 2 min;之后置于 65℃ 烘箱

中烘至恒重;用粉碎机将样品粉碎后用于元素分析。

表 1 兴安落叶松 6 个种源地的地理、气候及林木状况

Table 1 Characteristics of geography, climate and trees of the six provenances of *Larix gmellini*

种源 (代码) Provenance (Code)	纬度 Latitude/ °N	经度 Longitude/ °E	海拔 Altitude /m	年均温 MAT /°C	年均降水量 MAP /mm	年均蒸发量 MAE /mm	平均树高 MH /m	平均胸径 MDBH /cm
塔河 (TH)	52.19	124.22	357.4	-2.3	467.4	970.7	20.37	16.4
根河 (GH)	50.62	121.95	979.9	-0.5	466.0	1100.0	17.13	14.5
中央站 (ZYZ)	50.45	125.20	230	0.6	482.5	1370.1	17.10	14.5
三站 (SZ)	49.62	126.80	160.0	-0.3	535.0	1125.5	19.23	15.4
乌伊岭 (WYL)	48.67	129.42	300	-0.5	569.8	1043.2	23.43	17.8
鹤北 (HB)	47.55	130.42	120.0	2.6	554.3	1237.8	24.57	16.6

* MAT, MAP, MAE, MH, and MDBH stand for mean annual air temperature, mean annual precipitation, mean annual evaporation, mean tree height, and mean diameter at breast height, respectively

元素含量测定时,先将粉碎样品在 420℃ 恒温下消解 60min;冷却后转移到容量瓶中(反复冲洗消煮管)定容;随后采用双氧水-硫酸消煮-钼锑抗分光光度法测定全 P 含量;采用凯氏定氮仪(FOSS8400,瑞典)测定全 N 含量^[16]。测定结果均以单位质量的养分含量表示(mg/g)。

1.3 数据分析

采用单因素方差分析(One-Way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)比较种源间 NP 含量差异。采用 Pearson 相关性分析器官 NP 含量之间的关系。所有数据分析均采用 SPSS statistics 17.0(SPSS Inc., Chicago, USA)完成。

2 结果

2.1 不同器官 NP 含量的种源间差异

兴安落叶松老枝叶 N 含量的种源间差异显著($P<0.05$)(图 1),5—9 月的平均值变化范围为 21.1(三站)—24.2 mg/g(鹤北);然而,新枝叶 N 含量的种源间差异不显著($P>0.05$),平均值波动在 19.0(塔河)—22.3(中央站)之间。老枝叶和新枝叶 P 含量的种源间差异均显著($P<0.05$),平均值变化幅度分别为 4.46—5.78 mg/g 和 4.46—6.53 mg/g,均以中央站最低、鹤北最高。新枝叶的 N/P 在种源间差异显著,变化范围分别为 3.23(鹤北)—4.63(中央站)(图 1)。

新枝和老枝中的 N 和 P 含量的种源间差异均不显著($P>0.05$),两者 N 含量的平均值分别为 8.7 和 10.7,P 含量的平均值分别为 3.07 和 4.13。然而,N/

P 的种源间差异显著($P<0.05$)。老枝 N/P 平均值波动在 2.5(根河)—3.4(中央站)之间;新枝 N/P 平均值变化在 2.5(塔河)—3.1(乌伊岭)之间(图 1)。

根系中的 N 和 P 含量均随根径增加而下降,但 N/P 随根径的变化没有明显的趋势(图 1)。1—2 mm 和 2—5 mm 两个根径级的根中 N 含量的种源间差异显著($P<0.01$),变化范围分别为 5.9—7.8 mg/g 和 4.7—6.5 mg/g,均以鹤北最高、乌伊岭最低。其他根径级的根中 N 含量的种源间差异均不显著($P>0.05$)。所有根径级的根中 P 含量的种源间差异均不显著($P>0.05$)。0—1 mm 和 >5 mm 两个根径级根的 N/P 的种源间差异显著($P<0.05$),变化范围分别为 2.76—3.68 和 1.97—3.14;其他根径级根的 N/P 的种源间差异不显著(图 1)。

2.2 不同器官氮磷含量的时间动态

除了新枝之外,其它器官中 N 含量均表现为生长季初期(5 月份)和末期(9 月份)较高、生长季中期较低的趋势,其中 >5 mm 粗根中 N 含量的种源间变异性较大(图 2)。新枝中的 N 含量在 6 月份达到峰值;随生长季进程下降之后反弹,至 9 月份再次达到峰值。

新枝叶 P 含量表现出与 N 含量相同的趋势,其他器官与 N 含量不同,各器官中 P 含量除了 1—2 mm 细根和新枝叶之外均表现为 6 月份形成一个峰值的总体趋势,而且在各个测定月份中 6 个种源间的变异性均大于对应时段 N 含量的变异性(图 2)。1—2 mm 细根中的 P 含量在生长季初期达到最大值,随后随生长季进程而下降。

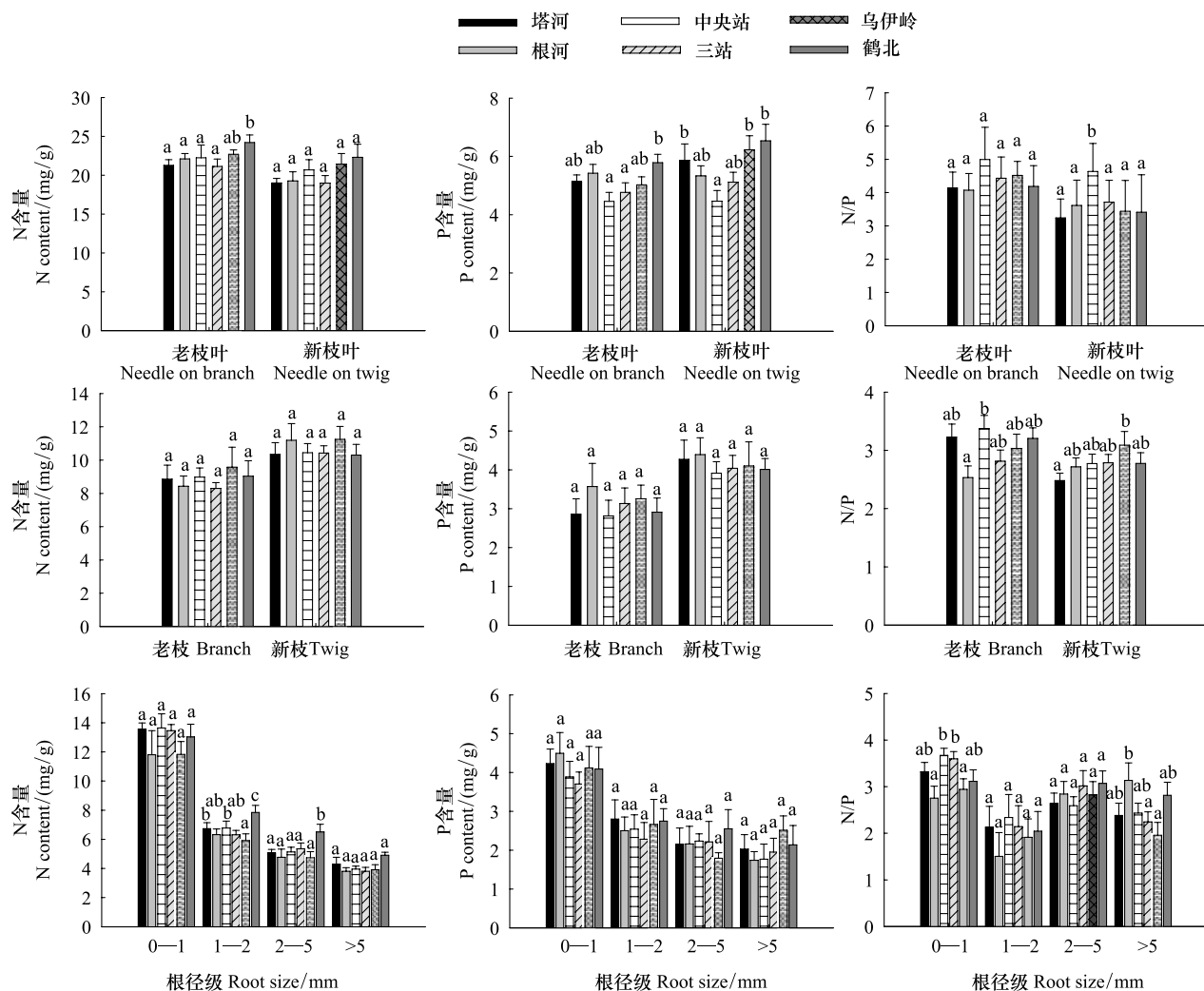


图1 6个种源兴安落叶松各器官NP含量及N/P比较

Fig.1 Comparisons of contents of N and P and N/P in different organs of the six provenances of *Larix gmelinii*

图中的误差线为标准误;小写字母表示 Duncan 检验显著性差异组 ($\alpha=0.05$);种源代码参见表1

各个器官中 N/P 在种源间的变异性大于 N、P 含量的变异性(图2)。新枝叶 N/P 在生长季初期(6月)下降,随后略有上升,新枝 N/P 在整个生长季较稳定,呈现先下降再上升的趋势。1—2 mm 细根在生长季初期(5月、6月)较稳定,并且除根河外其它种源在生长季末期有明显上升,>5 mm 粗根中,除根河外所有种源都在7月达到峰值且随后有所下降。

2.3 不同器官 NP 含量的相关性

老枝叶、新枝叶和新枝中的 N 与 P 含量极显著相关,呈现线性关系,其中新枝叶的 NP 相关性方程斜率最大,老枝叶次之,新枝最低(图3)。粗根、细根和老枝中 NP 含量极显著相关并呈现幂函数关系

(图3)。根中 P 含量与 N/P 同样极显著相关并呈现幂函数关系,而在枝叶中则是 N 含量与 N/P 呈现上述关系(图3)。

N 含量在各器官间具有不同相关性。地上部分:老枝叶与新枝叶、老枝、新枝的 N 含量极显著相关,老枝与新枝间存在极显著相关性。地上与地下部分:0—1 mm 细根和新枝间存在显著相关性;1—2 mm 细根与老枝叶和老枝 N 含量显著相关;2—5 mm 根与新枝叶和新枝 N 含量显著相关;>5 mm 粗根与老枝叶中 N 含量显著相关,与新枝叶极显著相关。地下部分:1—2 mm 根与2—5 mm 根 N 含量显著相关,2—5 mm 根与>5 mm 根 N 含量极显著相关(表2)。

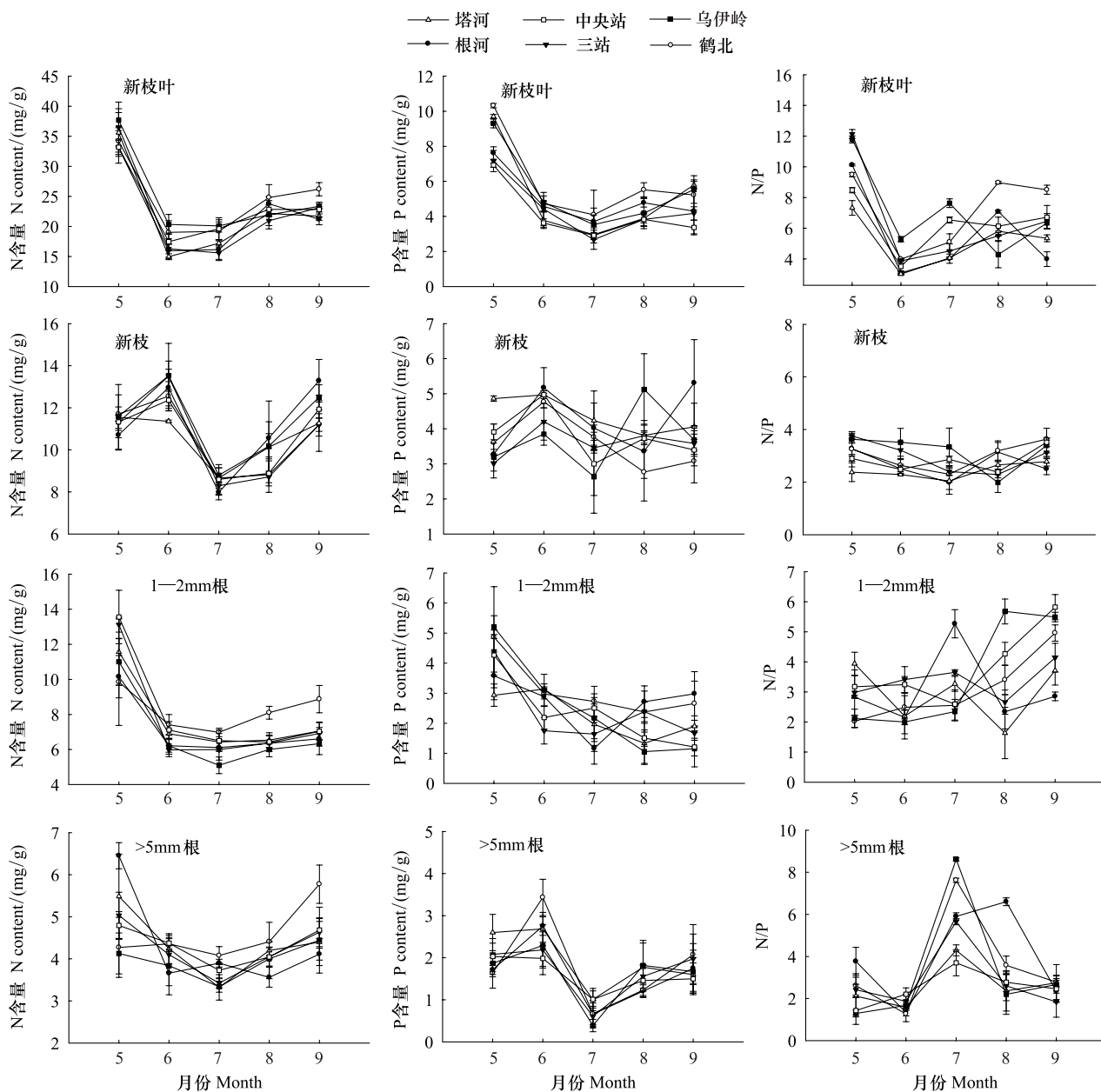
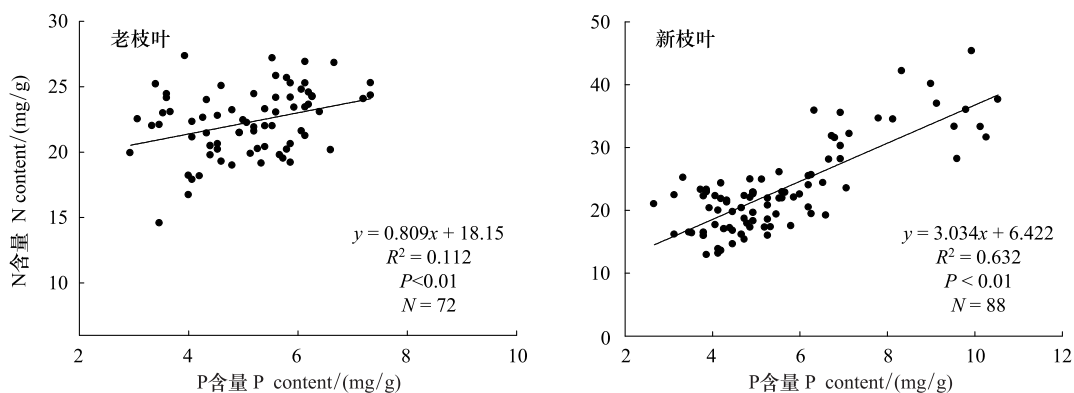


图 2 6 个种源兴安落叶松各器官 NP 含量及 N/P 的时间动态

Fig.2 Temporal dynamics in contents of N, P and N/P in different organs for the six provenances of *Larix gmelinii*

图中的误差线为标准误;种源代码参见表 1



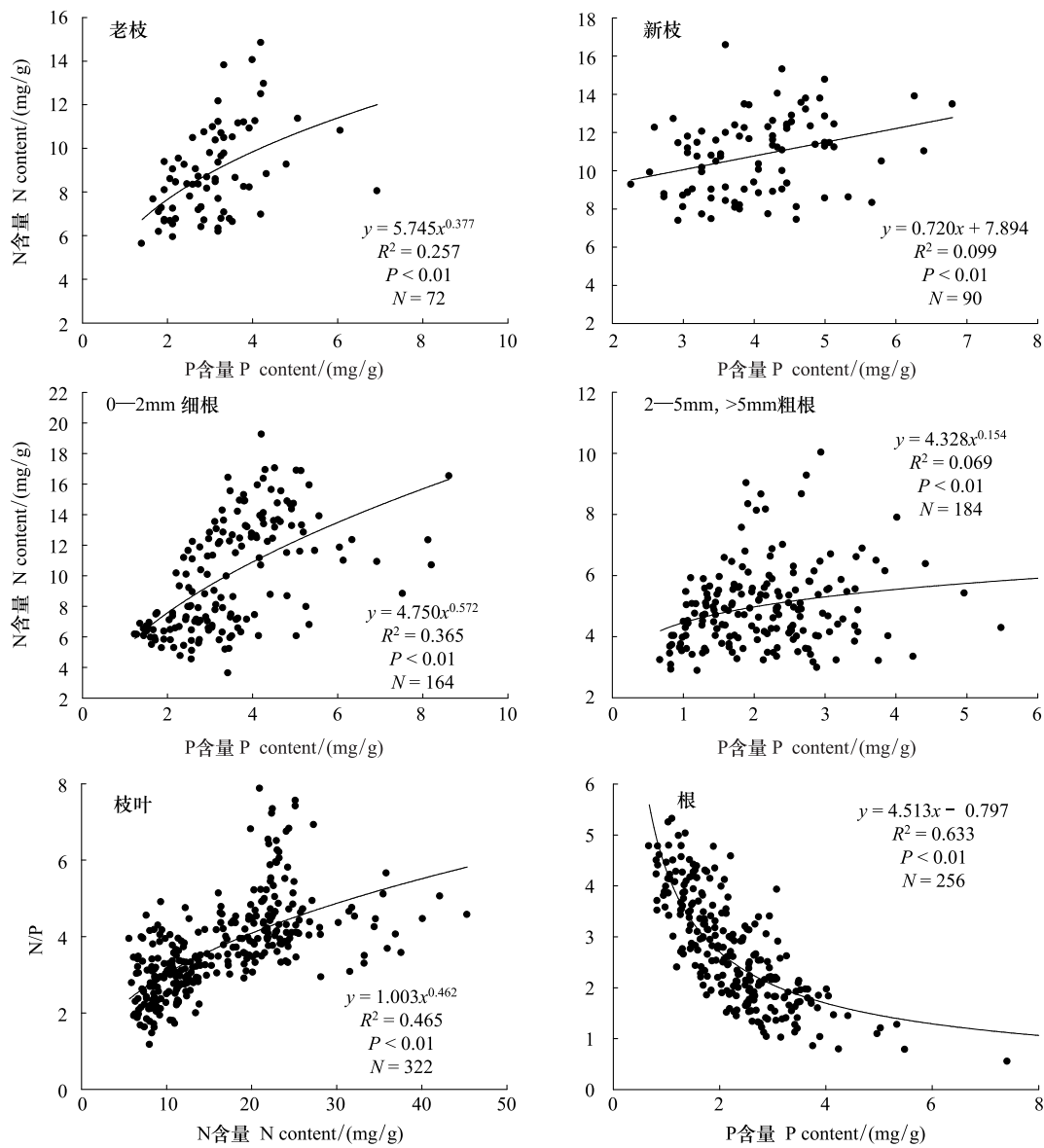


图3 各器官 NP 元素相关性

Fig.3 Relationships between N and P contents, P and N/P of different organs

表 2 不同器官氮含量 Pearson's 相关性

Table 2 Pearson's correlation between N content of each organ

器官 Organ	统计量 Statistics	2—5mm 根 2—5mm root	>5mm 根 >5mm root	老枝叶 Needle on branch	老枝 Branch	新枝叶 Needle on twig	新枝 Twig
0—1mm 根 0—1mm root	<i>r</i>	0.116	0.107	−0.407	−0.036	0.130	0.267 *
	<i>P</i>	0.270	0.310	0.695	0.763	0.228	0.011
	<i>n</i>	92	92	72	72	88	90
1—2mm 根 1—2mm root	<i>r</i>	0.291 *	−0.006	0.334 **	0.250 *	0.011	−0.155
	<i>P</i>	0.013	0.958	0.004	0.034	0.926	0.194
	<i>n</i>	72	72	72	72	72	72
2—5mm 根 2—5mm root	<i>r</i>		0.368 **	−0.124	−0.091	0.450 **	0.275 **
	<i>P</i>		0.000	0.298	0.446	0.000	0.009
	<i>n</i>		92	72	72	88	90

续表

器官 Organ	统计量 Statistics	2—5mm 根 2—5mm root	>5mm 根 >5mm root	老枝叶 Needle on branch	老枝 Branch	新枝叶 Needle on twig	新枝 Twig
>5mm 根	<i>r</i>			0.294 *	-0.115	0.277 **	0.162
>5mm root	<i>P</i>			0.012	0.334	0.009	0.127
	<i>n</i>			72	72	88	90
老枝叶	<i>r</i>				0.513 **	-0.387 **	-0.343 **
Needle on branch	<i>P</i>				0.000	0.001	0.003
	<i>n</i>				72	72	72
老枝	<i>r</i>					-0.187	-0.364 **
Branch	<i>P</i>					0.116	0.002
	<i>n</i>					72	72
新枝叶	<i>r</i>						0.139
Needle on twig	<i>P</i>						0.195
	<i>n</i>						88

r: 分别表示相关系数; *p*: 概率; *n*: 样本数

3 讨论

3.1 NP 含量的种源间差异

本试验采用 6 个兴安落叶松种源种子, 播种在气候和土壤条件完全一致的立地下 32a, 这样可将各器官化学元素的计量特征的表型驯化和遗传性适应区分开来^[17]。研究表明, 兴安落叶松根、枝、叶中部分 NP 元素的化学计量特征表现出显著的种源间差异 (图 1)。说明这种差异是能在子代中表现的遗传型适应的结果, 主要源于兴安落叶松不同器官中化学元素对于种源地环境条件的长期适应。Reich 和 Oleksyn 曾指出, 温度可以影响植物叶片的 N 和 P 含量, 低温可以降低土壤微生物活性, 从而进一步降低有机物的分解速率和养分的释放; 此外, 低温还会阻碍养分元素的运输和植物对养分元素的更新, 这也就导致了低温环境下植物根系养分元素偏低的结果 (图 4)^[18-19], 此结果与 Reich 的研究结果相反^[8], 这可能是由于树种、研究地域和测量器官的不同所造成。在高纬度地区, 尤其是年均温低于 5℃ 的地区, 植物会因为土壤微生物生理过程受到低温限制而表现出较低的叶片 N 和 P^[5]。由于不同种源地的经纬度、海拔、气温以及降水的不同, 导致种源间表现出不同的生理学特征, 胡启武等对青海云杉叶片 NP 含量的研究表明, 叶片 N 含量随年均温升高而升高^[20], 与本实验结果一致。

N 元素在枝叶中的分配中存在显著差异 ($P < 0.01$), 在叶中的含量显著高于枝中, 这是因为叶独

特的结构和涉及到 N 参与的光合作用过程的功能所造成的^[21]。在根部的 N 元素分配中, N、P 元素随根径级变化存在显著差异 ($P < 0.01$), 这与 Ang Li 的研究结果一致, 在初级细胞中, 占优势地位的细胞为生物活性强和养分含量高的表皮细胞, 随着根直径的增加, 这种细胞的比例逐渐降低, 这就造成了根系中, 养分含量随径级增加而降低的现象^[22]。

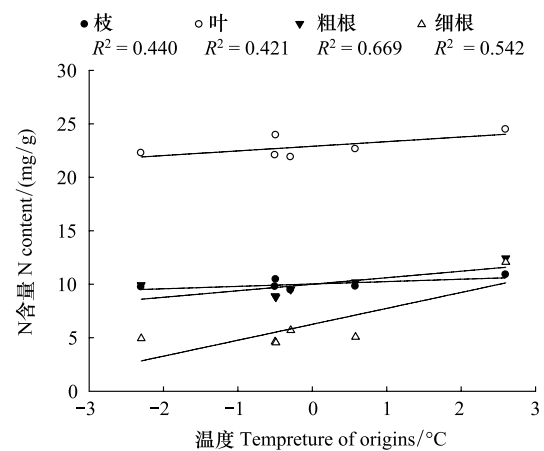


图 4 根、枝、叶 N 含量与种源年平均气温间关系

Fig.4 Relationship between the N content of leaves, branches and roots and the mean annual air temperature of the origins

3.2 NP 含量的时间动态

植物叶片和其它器官中的养分元素含量与自身结构特点和生长节律有很大关系^[23], 在本研究中, 兴安落叶松叶、枝以及根部营养元素也随月份变化而变化。生长初期, 植物叶片生长速度快, 生物量小, 各器官发育都不完善, 细胞大多具有分裂能力,

需要大量的蛋白质和核酸,因此植物对于 N 和 P 的选择性吸收能力较强,从而导致各器官内的 NP 含量相对较高^[24],生长旺盛季节,叶片生物量迅速增加,营养元素逐渐稀释^[25-26],含量剧烈下降;当叶片稳定基本不再生长之后,叶片营养元素又略有增加,这可能是因为 8、9 月份为植物吸收根系快速生长期,根系的吸收能力得到加强^[27-28],而到了生长末期,叶片开始衰老,营养元素出现回流现象,含量再次降低^[29]。在生长开始的 6 月份,植物中大量元素下降幅度最大,这是植物开始加速生长的“稀释作用”^[30],本试验中,叶片 N 和 P 含量在 6 月份下降幅度最大,与王庆成的结果一致^[27],说明兴安落叶松是在 6 月开始生长,而枝的最大下降幅度出现在 7 月,可以推测其比叶的加速生长晚 1 个月。本文叶片 N 含量结果与任书杰等研究结果一致^[38],但 P 含量低于其研究结果,其原因可能与所选叶片成熟度的差异、测定时间、树龄和样地气象条件差别较大有关,另外也可能涉及植物体内养分的迁移和再分配模式以及体内外的养分交换^[31]。Kellomaki 和 Tingey 分别对欧洲赤松和花旗松做了研究^[32-33],结果说明温度升高叶片 N 含量会随之升高,本试验 6 月之后叶片随气温升高而升高也验证了这一结论。

3.3 NP 含量的相关性

本试验中,枝、叶、粗根以及细根中的 N、P 元素均显著相关,反映了植物 NP 含量的相对一致性。这是由于植物生长需要合成蛋白质,而这一过程,需要消耗大量三磷酸腺苷^[34],另一方面,也体现了环境提供养分元素的共变性^[35]。植物体内 NP 元素的分配因物种、生长策略和土壤环境的不同而异,但大量研究发现 NP 的分配必然服从某一化学计量规律^[4, 36-39]。由于本试验的试验对象为兴安落叶松,所以排除了物种的影响,对 NP 含量构成影响的主要因素为环境因子和生长节律以及种源间的差异。全球尺度上,随着温度升高,植物 N 含量基本不变, P 含量逐渐减少^[40-42],降水量不同的地区植物 NP 含量也存在明显差异,Zheng 和 Shangguan 研究发现随年降水量减少,黄土高原植物叶片 N/P 增加^[43]。此外,同一植物不同器官间的 NP 元素化学计量特征也存在明显差异,但不同器官间(如枝、叶、根)的 NP 元素也密切相关^[44]。从表 2 可以看出,结构型器官(粗根、枝)和新陈代谢型器官(叶片、细根)虽具有

不同生理功能,但其养分含量具有显著相关性。Yuan 等发现的根与叶片 NP 化学计量特征相似的结论也与本试验结果一致,李昂等^[22]对 49 个树种根枝叶的 NP 分配的研究中也指出,根与叶片具有一致的化学计量特征。但在 NP 元素和 N/P 相关性方面,根部和枝叶表现出了不同,根部 P 含量与 N/P 显著相关,而枝叶 N 含量与 N/P 显著相关,这是由于养分元素在植物不同器官的分配受到生长环境和自身生理活动的影响^[11],植物为了适应环境中的养分限制情况,从而调节不同器官中的养分含量变化及其化学计量比值。

4 结论

(1)兴安落叶松的枝、叶、根的 NP 化学计量特征受种源不同环境的影响从而差异显著,这可能是树木对环境因子的长期适应所表现出来的遗传型差异。

(2)兴安落叶松各器官 NP 化学计量特征的月份变化具有相同趋势,但在不同器官中呈现显著差异,这是树木适应外界因子和自身生长节律共同作用的结果,也说明在不同的月份,各器官具有不同的养分利用策略。

(3)兴安落叶松枝、叶、根中的 N 元素随种源原地年平均气温发生变化,并且 N、P 元素之间存在相关性。不同器官中的同一种元素也存在相关性,说明植物的生理活动是由 N 和 P 共同调节作用的,且不同器官间对养分的利用存在一定相关性。

致谢:感谢黑龙江帽儿山森林生态系统国家野外科学观测研究站和东北林业大学林木遗传育种国家重点实验室提供的野外基础支持。

References:

- [1] Zhang L X, Bai Y F, Han X G. Application of N: P stoichiometry to ecology studies. *Acta Botanica Sinica*, 2003, 45: 1009-1018.
- [2] Wang S Q, Yu G R. Ecological stoichiometry characteristics of ecosystem carbon, nitrogen and phosphorus elements. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(8): 3937-3947.
- [3] Zeng D H, Chen G S. Ecological stoichiometry: a science to explore the complexity of living systems. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29: 1007-1019.
- [4] Sterner R W, Elser J J. *Ecological Stoichiometry: the biology of elements from molecules to the biosphere*. Princeton University Press, 2002: 2-3.

- [5] Reich P B, Oleksyn J. Global patterns of plant leaf N and P in relation to temperature and latitude. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2004, 101 (30): 11001-11006.
- [6] Lambers H, Chapin F S, Pons T L. *Plant Physiological Ecology*. Springer Verlag, 1998.
- [7] Körner C. *Alpine Plant Life: Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems*. Springer Verlag, 2003.
- [8] Reich P B, Oleksyn J, Tjoelker M G. Needle respiration and nitrogen concentration in Scots pine populations from a broad latitudinal range: a common garden test with field-grown trees. *Functional Ecology*, 1996, 10(6): 768-776.
- [9] Oleksyn J, Modrzyński J, Tjoelker M G, Reich P B, Karolewski P. Growth and physiology of *Picea abies* populations from elevational transects: common garden evidence for altitudinal ecotypes and cold adaptation. *Functional Ecology*, 1998, 12(4): 573-590.
- [10] Wardle D A, Bardgett R D, Klironomos J N, Setälä H, Van Der Putten W H, Wall D H. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science*, 2004, 304(5677): 1629-1633.
- [11] Aerts R, Chapin III F S. The mineral nutrition of wild plants revisited: a re-evaluation of processes and patterns-iii. nutrient-limited plant growth: which nutrient is limiting? -B. How to detect N-or P-limited plant. *Advances in Ecological Research*, 2000, 30: 7-8.
- [12] Davidson E A, de Carvalho C J R, Figueira A M, Ishida F Y, Ometto J P H B, Nardoto G B, Sabá R T, Hayashi S N, Leal E C, Vieira I C G, Martinelli L A. Recuperation of nitrogen cycling in Amazonian forests following agricultural abandonment. *Nature*, 2007, 447: 995-998.
- [13] Yang C P, Jiang J, Tang S S, Li J Y, Wang H R. The provenance test of 21-year old *Larix gmelinii* at Maershan area. *Journal of Northeast Forestry University*, 2002, 30 (6): 1-5.
- [14] Wu G K, Qin D Z, Gu L X. *Ecological Genetics*. Beijing: Country Reading Press, 1992, 109-113.
- [15] Wang C, Han Y, Chen J, Wang X C, Zhang Q Z, Bond-Lamberty B. Seasonality of soil CO₂ efflux in a temperate forest: Biophysical effects of snowpack and spring freeze-thaw cycles. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2013, 177: 83-92.
- [16] Lu R K. *The Analytical Methods for Soil and Agrochemistry*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000.
- [17] Zhao X Y, Wang C K, Huo H. Variations in photosynthetic capacity and associated factors for *Larix gmelinii* from diverse origins. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28: 3798-3807.
- [18] Oleksyn J, Reich P B, Zytowski R, Karolewski P, Tjoelker M G. Nutrient conservation increases with latitude of origin in European *Pinus sylvestris* populations. *Oecologia*, 2003, 136(2): 220-235.
- [19] Weih M, Karlsson P S. Growth response of altitudinal ecotypes of mountain birch to temperature and fertilization. *Oecologia*, 1999, 119(1): 16-23.
- [20] Hu Q H, Song M H, Ouyang H, Liu X D. Variations in leaf N, P of *Picea crassifolia* along the altitude gradient in Qilian Mountains. *Acta Bot. Boreal.-Occident. Sin.* 2007, 27(10): 2072-2079.
- [21] Reich P B, Tjoelker M G, Pregitzer K S, Wright I J, Oleksyn J, Machado J L. Scaling of respiration to nitrogen in leaves, stems and roots of higher land plants. *Ecology Letters*, 2008, 11(8): 793-801.
- [22] Li A, Guo D, Wang Z, Liu H. Nitrogen and phosphorus allocation in leaves, twigs, and fine roots across 49 temperate, subtropical and tropical tree species: a hierarchical pattern. *Functional Ecology*, 2010, 24(1): 224-232.
- [23] Baldwin D S, Rees G N, Mitchell A M, Watson G, Williams J. The short-term effects of salinization on anaerobic nutrient cycling and microbial community structure in sediment from a freshwater wetland. *Wetlands*, 2006, 26(2): 455-464.
- [24] Sun S C, Chen L Z. Leaf nutrient dynamics and resorption efficiency of *Quercus liaotungensis* in the Dongling Mountain region. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 25(1): 76-82.
- [25] Yan Q, Lu J J, He W S. Succession character of salt marsh vegetation in Chongming Dongtan wetland. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18: 1097-1101.
- [26] Townsend A R, Cleveland C C, Asner G P, Bustamante M M. Controls over foliar N: P ratios in tropical rain forests. *Ecology*, 2007, 88(1): 107-118.
- [27] Liu G Q, Zhao S D, Wang H, Tu X N, Gong L Q. Seasonal variation of growth and nutrient contents for photosynthetic organ of the sharptooth oak stands. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21: 883-889.
- [28] Li X, Zhang L J, Liu W S, Yang J M, Ma Z Y. On nutrient accumulation and distribution in plum tree as well as nutrient dynamics changes in plum leaves. *Soils*, 2007, 39: 982-986.
- [29] Lin Y M, Sternberg L, da Silveira L. Nitrogen and phosphorus dynamics and nutrient resorption of *Rhizophora mangle* leaves in south Florida, USA. *Bulletin of Marine Science*, 2007, 80(1): 159-169.
- [30] Wang Q C. The concentration and seasonal dynamics of nutrient elements of ash and larch in the mixed plantation. *Journal of Northeast Forestry University*, 1995, 23(2): 14-19.
- [31] Fan Z Q, Wang Z Q, Wu C, Li H X. Effect of different nitrogen supply on *Fraxinus mandshurica* seedling's biomass, N partitioning and their seasonal variation. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15: 1497-1501.
- [32] Kellomäki S, Wang K Y. Effects of long-term CO₂ and temperature elevation on crown nitrogen distribution and daily photosynthetic performance of Scots pine. *Forest Ecology and Management*, 1997, 99(3): 309-326.
- [33] Tingey D T, Mckane R B, Olszyk D M, et al. Elevated CO₂ and

- temperature alter nitrogen allocation in Douglas - fir. *Global Change Biology*, 2003, 9(7): 1038-1050.
- [34] Chapin F S. The mineral nutrition of wild plants. *Annual review of ecology and systematics*, 1980, 11: 233-260.
- [35] Güsewell S, Koerselman W, Verhoeven J T A. Biomass N:P ratios as indicators of nutrient limitation for plant populations in wetlands. *Ecological Applications*, 2003, 13(2): 372-384.
- [36] Güsewell S. N:P ratios in terrestrial plants: variation and functional significance. *New Phytologist*, 2004, 164 (2): 243-266.
- [37] Kerkhoff A J, Enquist B J, Elser J J, Fagan W F. Plant allometry, stoichiometry and the temperature-dependence of primary productivity. *Global Ecology and Biogeography*, 2005, 14 (6): 585-598.
- [38] Ågren G I. Stoichiometry and nutrition of plant growth in natural communities. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 2008, 39: 153-170.
- [39] Lambers H, Chapin F S, Chapin F S, Pons T L. *Plant Physiological Ecology*. Springer, 1998.
- [40] McGroddy M E, Daufresne T, Hedin L O. Scaling of C:N:P stoichiometry in forests worldwide: implications of terrestrial Redfield-type ratios. *Ecology*, 2004, 85(9): 2390-2401.
- [41] Ren S J, Yu G R, Tao B, Wang S Q. Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry across 654 terrestrial plant species in NSTEC. *Environmental Science*, 2007, 28, 2665-2673.
- [42] Han W X, Fang J Y, Guo D L, Zhang Y. Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry across 753 terrestrial plant species in China. *New Phytologist*, 2005, 168(2): 377-385.
- [43] Zheng S X, Shangguan Z P. Spacial distribution of leaf nutrition composition in Loess Plateau. *Progress in Natural Science*, 2006, 16: 965-973.
- [44] Liu C, Wang Y, Wang N, Wang G X. Advances research in plant nitrogen, phosphorus and their stoichiometry in terrestrial ecosystems: a review. *Acta Phytocologica Sinica*, 2012, 36 (11): 1205-1216.
- 征. *生态学报*, 2008, 28(8): 3937-3947.
- [3] 曾德慧, 陈广生. 生态化学计量学: 复杂生命系统奥秘的探索. *植物生态学报*, 2005, 29(6): 1007-1019.
- [13] 杨传平, 姜静, 唐盛松, 李景云, 王会仁. 帽儿山地区 21 年生兴安落叶松种源试验. *东北林业大学学报*, 2002, 30(6): 1-5.
- [14] 吴国凯, 秦德智, 古立秀. *生态遗传学*. 农村读物出版社, 1992: 109-113.
- [16] 鲁如坤. *土壤农业化学分析方法*. 中国农业科技出版社, 2000.
- [17] 赵晓焱, 王传宽, 霍宏. 兴安落叶松 (*Larix gmelinii*) 光合能力及相关因子的种源差异. *生态学报*, 2008, 28(8): 3798-3807.
- [20] 胡启武, 宋明华, 欧阳华, 刘贤德. 祁连山青海云杉叶片氮、磷含量随海拔变化特征. *西北植物学报*, 2007, 27(10): 2072-2079.
- [24] 孙书存, 陈灵芝. 东灵山地区辽东栎种子库统计. *植物生态学报*, 2000, 24(2): 215-221.
- [25] 闫芊, 陆健健, 何文珊. 崇明东滩湿地高等植被演替特征. *应用生态学报*, 2007, 18(5): 1097-1101.
- [27] 刘广全, 赵士洞, 王浩, 土小宁. 锐齿栎林非同化器官营养元素含量的分布. *生态学报*, 2001, 21(3): 422-429.
- [28] 李鑫, 张丽娟, 刘威生, 杨建民, 马峙英. 李营养累积分布及叶片养分动态研究. *土壤*, 2008(6): 982-986.
- [30] 王庆成. 混交林中水曲柳落叶松营养元素含量及季节动态. *东北林业大学学报*, 1995, 23(2): 14-19.
- [31] 范志强, 王政权, 吴楚, 李红心. 不同供氮水平对水曲柳苗木生物及其季节变化的影响. *应用生态学报*, 2004, 15(9): 1497-1501.
- [41] 任书杰, 于贵瑞, 姜春明, 方华军, 孙晓敏. 中国东部南北样带森林生态系统 102 个优势种叶片碳氮磷化学计量统计特征. *应用生态学报*, 2012, 23(3): 581-586.
- [43] 郑淑霞, 上官周平. 黄土高原地区植物叶片养分组成的空间分布格局. *自然科学进展*, 2006, 16(8): 965-973.
- [44] 刘超, 王洋, 王楠, 王根轩. 陆地生态系统植被氮磷化学计量研究进展. *植物生态学报*, 2012, 36(11): 1205-1216.

参考文献:

- [2] 王绍强, 于贵瑞. 生态系统碳氮磷元素的生态化学计量学特

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.8 Apr., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Growth rates of marine planktonic ciliates; a review ZHANG Wuchang, LI Haibo, FENG Meiping, et al (1897)
- Research status and prospects on functions of urban forests in regulating the air particulate matter
..... WANG Xiaolei, WANG Cheng (1910)
- A review of snow-living Collembola ZHANG Bing, NI Zhen, CHANG Liang, et al (1922)

Autecology & Fundamentals

- Photosynthetic responses to changes in CO₂ concentration and soil moisture in leaves of *Securinega suffruticosa* from shell ridge
islands in the Yellow River Delta, China ZHANG Shuyong, XIA Jiangbao, ZHANG Guangcan, et al (1937)
- Quantities and spectral characteristics of DOM released from leaf and litterfall in *Castanopsis carlesii* forest and *Cunninghamia
lanceolata* plantation KANG Genli, YANG Yusheng, SI Youtao, et al (1946)
- Seasonal dynamics of leaf area index using different methods in the Korean pine plantation
..... WANG Baoqi, LIU Zhili, QI Yujiao, et al (1956)
- Influence of environmental changes on stoichiometric traits of nitrogen and phosphorus for *Larix gmelinii* trees
..... PING Chuan, WANG Chuankuan, et al (1965)
- Soil water in deep layers under different land use patterns on the Loess Tableland ... CHENG Liping, LIU Wenzhao, LI Zhi (1975)
- Water parameters of the branch of *Larrea tridentata* under different soil drought stress
..... ZHANG Xiangning, SUN Xiangyang, WANG Baoping, et al (1984)
- Effects of shading treatments on photosynthetic characteristics of *Juniperus sabina* Ant. seedlings
..... ZHAO Shun, HUANG Qiuxian, LI Yuling, et al (1994)
- Root distribution in typical sites of Lijiang ecotone and their relationship to soil properties
..... LI Qingshan, WANG Dongmei, XIN Zhongbao, et al (2003)
- The survival and above/below ground growth of *Haloxylon ammodendron* seedling
..... TIAN Yuan, TASHPOLAT · Tiyp, LI Yan, et al (2012)
- Effects of simulated acid rain on the physiological and ecological characteristics of *Rhododendron hybridum*
..... TAO Qiaojing, FU Tao, XIANG Xina, et al (2020)
- Karst cave bacterial calcium carbonate precipitation: the Shijiangjun Cave in Guizhou, China
..... JIANG Jianjian, LIU Ziqi, HE Qiufang, et al (2028)
- Migration of the 7th generation of brown planthopper in northeastern Guangxi Zhuang Autonomous Region, and analysis of source
areas QI Huihui, ZHANG Yunhui, JIANG Chunxian, et al (2039)

Population, Community and Ecosystem

- The dynamics and determinants of population size and spatial distribution of Common Cranes wintering in Poyang Lake
..... SHAN Jihong, MA Jianzhang, LI Yankuo, et al (2050)
- Effects of snow pack on wintertime soil nitrogen transformation in two subalpine forests of western Sichuan
..... YIN Rui, XU Zhengfeng, WU Fuzhong, et al (2061)
- Numerical classification, ordination and species diversity along elevation gradients of the forest community in Xiaolinling
..... CHEN Yun, WANG Hailiang, HAN Junwang, et al (2068)
- Phytoplankton community structures revealed by pigment signatures in Norwegian and Greenland Seas in summer 2012
..... WANG Xiaoying, ZHANG Fang, LI Juanying, et al (2076)
- Analysis of differences in insect communities at different altitudes in *Zanthoxylum bungeanum* gardens, Yunnan, China
..... GAO Xin, ZHANG Limin, ZHANG Xiaoming, et al (2085)
- The bacterial community changes after papermaking wastewater treatment with artificial wetland
..... GUO Jianguo, ZHAO Longhao, XU Dan, et al (2095)

- Ecological water requirement estimation of the rump lake in an extreme arid region of East Juyanhai
..... ZHANG Hua, ZHANG Lan, ZHAO Chuanyan (2102)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Spatial distribution patterns of species richness and hotspots of protected plants in Qinling Mountain
..... ZHANG Yinbo, GUO Liulin, WANG Wei, et al (2109)
- Impacts of solar radiation on net ecosystem carbon exchange in a mixed plantation in the Xiaolangdi Area
..... LIU Jia, TONG Xiaojuan, ZHANG Jinsong, et al (2118)
- Carbon density and distribution of *Pinus tabulaeformis* plantation ecosystem in Hilly Loess Plateau
..... YANG Yujiao, CHEN Yunming, CAO Yang (2128)
- Dynamics of carbon storage at different aged *Koelreuteria paniclata* tree in Xiangtan Mn mining wasteland
..... TIAN Dalun, Li Xionghua, LUO Zhaozhui, et al (2137)

Resource and Industrial Ecology

- Contamination status of Pb and Cd and health risk assessment on vegetables in a mining area in southern Hunan
..... WU Yanming, LV Gaoming, ZHOU Hang, on storage at different age (2146)

Urban, Rural and Social Ecology

- Life cycle assessment and environmental & economic benefits research of important building external insulation materials in Beijing ...
..... ZHU Lianbin, KONG Xiangrong, WU Xian (2155)
- Effects of urban imperious surface on the habitat and ecophysiology characteristics of *Ginkgo biloba*
..... SONG Yingshi, LI Feng, WANG Xiaoke, et al (2164)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 杨永兴

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 34 卷 第 8 期 (2014 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 8 (April, 2014)

编 辑 《生态学报》编辑部
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085
电话:(010)62941099
www.ecologica.cn
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

主 编 王如松

主 管 中国科学技术协会

主 办 中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂

发 行 科 学 出 版 社
地址:东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717
电话:(010)64034563
E-mail: journal@cspg.net

订 购 全国各地邮局

国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址:北京 399 信箱
邮政编码:100044

广告经营 京海工商广字第 8013 号

许 可 证

Edited by Editorial board of
ACTA ECOLOGICA SINICA
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Tel: (010) 62941099
www.ecologica.cn
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

Editor-in-chief WANG Rusong

Supervised by China Association for Science and Technology

Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

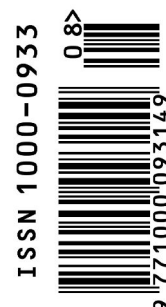
Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel: (010) 64034563
E-mail: journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China

Foreign China International Book Trading
Corporation
Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发刊

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元