

# 台湾桫木根叶养分内循环对施肥的响应<sup>①</sup>

吴勇<sup>a,b</sup> 李贤伟<sup>②a</sup> 张健<sup>a</sup>

<sup>a</sup> (四川农业大学生态林业工程重点实验室 四川省雅安市雨城区新康路 46 号 625014)

<sup>b</sup> (西华师范大学管理学院 四川省南充市师大路 1 号 637002)

**摘要** 对比分析了施肥与未施肥退耕地 7 年生台湾桫木树叶和细根中 N、P、K、Ca、Mg 5 种元素内循环差异。结果发现: 生活叶和落叶, 活细根和死细根中各养分含量和 5 种元素总养分含量均为树叶 > 极细根 > 细根; 树叶和细根都存在养分内循环, 但树叶内循环率高于细根。各养分元素在树叶和细根中的内循环率并不一致, 三大元素中 K 内循环率最高, N 次之, P 最低; Mg 的内循环率较低, 而 Ca 则表现为富集。施肥与树叶和细根中养分变化显著相关 ( $P < 0.01$ ), 施肥后树叶和细根中 N、K 含量和总养分含量增加, 而 P、Ca、Mg 的含量减少; 施肥与树叶养分内循环率变化显著相关 ( $P < 0.01$ ), 与细根养分内循环率变化中度相关, 而与极细根养分内循环率变化不相关。

**关键词** 施肥; 养分内循环; 响应; 台湾桫木

**中图分类号:** S714.7; O657.31

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1004-8138(2011)03-0992-05

## 1 引言

林木器官在衰老脱落前将部分养分元素回输到其他器官的现象被称为养分内循环, 它是植株为适应贫瘠环境而提高养分循环利用率的一种自我保护机制。养分内循环可以发生在新老器官之间也可能发生在植物体内不同的养分库之间<sup>[1]</sup>。前者被认为是植物减少养分损失的适应对策, 是提高养分利用效率的重要途径<sup>[2-4]</sup>。目前对树叶凋落的养分内循环研究较为充分, 落叶树种树叶一般在凋落前都存在全部养分元素或部分养分元素内循环<sup>[5,6]</sup>, 而常绿树种可以保持较大的老叶生物量, 在外部吸收不能满足树木新生长需要时, 通过老叶中养分的转移来弥补。但对于根系, 尤其是寿命短、周转快的细根 (直径  $\leq 2\text{mm}$ ) 在衰老过程是否存在同样机制, 一直以来颇有争议<sup>[1,7-10]</sup>, 但大多数学者认为细根中部分元素是存在内循环的。无论细根还是树叶, 凋落前的养分内循环都是植株充分利用有效养分的重要自我保护措施, 也是应对贫瘠立地或贫养季节的生态策略, 通过人为改变立地土壤养分有效性, 测定土壤养分改变对细根养分内循环的影响, 可以为人工林的施肥和经营管理提供理论依据。

① 国家自然科学基金项目 (30771717); 国家“十一五”科技支撑项目 (2006BAC01A11); 国家教育部重点学科博士点基金 (20050626001); 四川省教育厅重点实验室项目 (2006ZD006)

② 联系人, 手机: (0) 13890898599; E-mail: sewuyong12@yahoo.com.cn

作者简介: 吴勇 (1971—), 男, 四川省仁寿县, 在读博士, 主要从事森林生态学和林业生态工程研究工作。

收稿日期: 2010-08-19; 接受日期: 2010-09-09

## 2 实验部分

### 2.1 试验地概况

实验地位于眉山市丹棱县仁美镇飞龙村,地理位置  $103^{\circ}25' E$ ,  $29^{\circ}59' N$ , 面积约  $0.2 \text{ km}^2$ , 海拔  $485\text{—}514 \text{ m}$ , 该区地处四川盆地西南边缘, 属于亚热带气候, 最冷月平均温度为  $6.7^{\circ}\text{C}$ , 最热月平均温度为  $28.0^{\circ}\text{C}$ 。冬干春旱, 夏洪秋雨, 阴天偏多, 日照偏少。多年平均降雨量  $1413 \text{ mm}$ , 相对湿度  $82\%$ , 土壤为紫色土。实验地为 2001 年退耕还林时种植的台湾桫木林, 栽植密度为  $120000 \text{ 株}/\text{km}^2$ , 2008 年 12 月取样时平均胸径  $7.0 \text{ cm}$ , 平均树高  $7.52 \text{ m}$ 。林下种植多花黑麦草 (*Lolium multiflorum Lam.*) 和扁穗牛鞭草 [*Hemarthria compressa (L. F.) R. Br.*], 栽植密度  $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ 。林草复合林中一半样地每年 4 月和 9 月施 N, K 复合肥 (总养分  $\geq 36\%$ , N-K<sub>2</sub>O-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 为 30-6-0), 施肥量  $22500 \text{ kg}/\text{km}^2$ , 另一半不施肥, 作为对照。

### 2.2 根叶取样及处理

细根采用挖掘法, 室内清洗后分为细根 ( $1 \text{ mm} < D \leq 2 \text{ mm}$ ) 和极细根 ( $D \leq 1 \text{ mm}$ ), 风干。每样地内选择 3 棵标准木, 2008 年 11 月用 6 个  $1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0.3 \text{ m}$  竹筐悬挂于台湾桫木林冠下收集落叶, 10 天后取回, 取约  $500 \text{ g}$  落叶在室内用清水将表面灰尘等杂质清洗后晾干。鲜叶用人工采摘法, 收集落叶时采摘 3 棵标准木树枝上尚未泛黄的全叶各约  $500 \text{ g}$ 。带回实验室用清水清洗表面尘埃后晾干, 放入烘箱中杀青 6h。最后将细根和树叶分袋标记后在  $80^{\circ}\text{C}$  烘箱中烘干至恒重, 取出磨碎, 密封待用。

### 2.3 仪器与试剂

HG-5 火焰光度计 (北京检测仪器厂); WA2081 原子吸收分光光度计 (北京恒通瑞利仪器有限公司); ATN-300 凯氏定氮仪 (上海洪纪仪器设备有限公司); M 48505 震荡仪 (北京市中西远大科技有限公司)。

浓硫酸 (75%);  $\text{NaHCO}_3$  溶液 ( $0.5 \text{ mol/L}$ );  $\text{NaOH}$  溶液 ( $0.5 \text{ mol/L}$ ); 过氧化氢溶液 (30%); 盐酸溶液 ( $0.01 \text{ mol/L}$ ); 硼酸溶液 (2%); 实验所用试剂均为分析纯。

### 2.4 养分测定

分别用火焰光度法, 原子吸收分光光度法, 凯氏定氮蒸馏法和钼锑抗比法, 测定各样品中 Ca、Mg、N、P、K 的浓度。用 SPSS14.0 软件包对各样品中养分浓度以及 Ca 与 N、P、K、Mg 比值进行分析, 并对各样品养分变化、养分内循环变化与施肥进行相关分析。

## 3 实验结果及分析

### 3.1 施肥对台湾桫木树叶养分含量的影响

施肥与鲜叶和落叶中的养分元素含量显著相关 ( $r = 1$ ,  $P < 0.01$ )。施肥后鲜叶中 N, K 含量分别比未施肥样地高  $1.75\%$  和  $0.62\%$ , 而 Ca、Mg、P 含量则分别降低  $2.19\%$ 、 $1.96\%$  和  $2.60\%$ , 变化幅度不大。5 种元素含量总量在施肥后增加了  $0.63\%$ , 变化也不明显。落叶中 N、K、P 含量施肥后均出现增加, 其中 N 增加  $8.67\%$ , K 和 P 都增加  $0.97\%$ , Ca、Mg 则分别减少  $0.23\%$  和  $0.19\%$ , 见图 1。

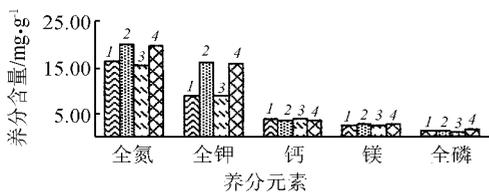


图 1 树叶中养分元素含量图

1——施肥地落叶; 2——施肥地鲜叶;  
3——未施肥地落叶; 4——未施肥地鲜叶。

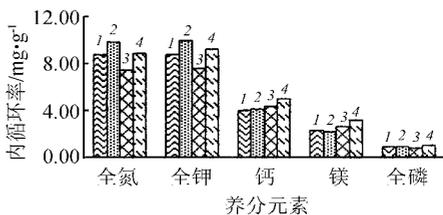


图 2 细根中养分元素含量图

1——施肥地死细根; 2——施肥地活细根;  
3——未施肥地死细根; 4——未施肥地活细根。

### 3.2 施肥对台湾栲木细根养分含量的影响

与树叶相比, 细根(1mm < D ≤ 2mm)中养分元素含量较低, 但对施肥的响应也非常积极, 活细根养分含量与施肥的相关系数( $r = 0.987, P < 0.01$ ) 低于死细根( $r = 0.993, P < 0.01$ )。活细根中 N、K 含量施肥后增加比例分别为 11.93% 和 8.19%, 而 Ca、Mg 含量则明显降低, 其中 Mg 降低 30.66%, 降幅最大, 其次是 Ca, 降幅为 19.18%, P 稍有降低, 幅度为 4.38%。施肥后细根中 5 种元素含量总量减少了 0.57%, 与未施肥地细根养分含量相比, 变化甚微。死细根中 N、K、P 含量在施肥后增加明显, 分别增加 15.0%、13.4% 和 11.46%, Ca、Mg 分别减少 7.23% 和 14.72%, 施肥后死细根中 5 种元素含量总量增加了 7.29%, 增加较为明显, 如图 2。

极细根(D ≤ 1mm)中养分含量变化与细根中较为相似, 死极细根养分含量与施肥相关系数( $r = 0.999, P < 0.01$ ) 高于活极细根( $r = 0.992, P < 0.01$ )。活极细根施肥后 N、K 增加而 Ca、Mg、P 减少。但 N、K 增加的比例比细根更高, 分别达到 19.29% 和 9.4%, Ca、Mg、P 含量则分别减少 12.28%、16.49% 和 8.73%。活极细根中, 施肥后 5 种元素含量总量增加了 5.58%。死极细根中 5 种元素含量在施肥后均表现为增加, N、P、K、Ca、Mg 含量分别比未施肥地增加 9.8%、5.89%、15.79%、21.17% 和 11.95%, 5 种元素含量总量比未施肥地增加 10.65%, 增加明显。不论从单个元素还是元素含量总量看, 极细根比细根对施肥的响应更为积极, 相关系数更高, 如图 3。

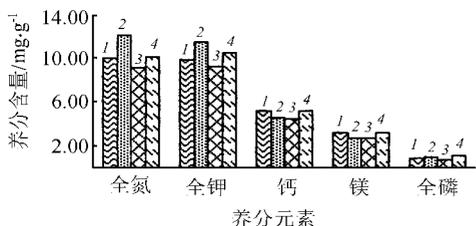


图 3 极细根中养分元素含量图

1——施肥地死极细根; 2——施肥地活极细根;  
3——未施肥地死极细根; 4——未施肥地活极细根。

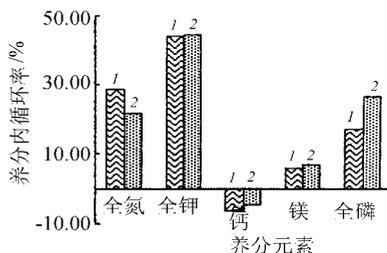


图 4 树叶养分元素内循环率图

1——施肥地树叶养分内循环率;  
2——未施肥地树叶养分内循环率。

### 3.3 施肥对台湾栲木树叶养分内循环的影响

对施肥地与未施肥地鲜叶和落叶各养分元素含量的对比分析表明, 5 种元素中全 K 的内循环率最高, 在施肥地为 43.98%, 未施肥地为 44.25%, 其次是全 N 和全 P, 全 N 在施肥地和未施肥地内循环率分别为 18.52% 和 21.51%, 全 P 的内循环率则分别为 17.13% 和 26.37%, Mg 的内循环

率较低,施肥地为 5.75%,未施肥地为 6.89%,Ca 在施肥地和未施肥地叶片衰老死亡过程中均表现为富集,且施肥地富集率高于未施肥地 1.72%。

施肥与树叶养分内循环显著相关( $r=0.982, P<0.01$ ),施肥后减少了各养分元素在树叶中的内循环,但减少幅度不大。全 P 减少幅度最大,为 9.24%,全 N 减少 2.99%,全 K 减少了 0.27%,Ca、Mg 则分别减少 1.72%和 1.14%。尽管 5 种元素的内循环率均出现降低趋势,但幅度均未超过 10%,如图 4。

### 3.4 施肥对台湾桫木细根养分内循环的影响

细根中 5 种元素的内循环率与施肥没有相关性( $r=0.114, P>0.05$ );极细根中养分内循环率与施肥有一定相关性( $r=0.559, P=0.328$ )。施肥后细根中各养分元素内循环率都出现减少趋势,其中 Mg 减少最明显,达到 19.61%,全 P 减少 2.44%,Ca 减少 12.7%,全 K 减少 5.37%,全 N 减少 3.84%。极细根在施肥后养分内循环率减少较细根更明显,除全 N,全 P 内循环率与细根接近外,其他 3 种元素内循环率减少量都高于细根,说明极细根养分元素内循环变化对施肥最敏感,细根次之,树叶最不敏感,如图 5。

## 4 结论

台湾桫木细根和树叶在衰老过程中都存在养分迁移,部分养分元素迁移到其它组织和器官中,以提高植株对养分的利用效率。台湾桫木根叶养分内循环与土壤养分有效性密切相关,随着土壤养分有效性的提高,养分元素的迁移出现减弱趋势,证实了养分内循环是对贫瘠立地的适应对策之一。各组织养分内循环变化对施肥的响应不尽相同,由强到弱依次为极细根>细根>树叶。各养分元素的内循环率并不一样,这可能与各种元素存在的不同形态有关。其中以离子态存在的 K 元素内循环率最高,而主要存在于细胞壁的 Ca 元素迁移量最小。

## 参考文献

- [1] 黄石竹,张彦东,王政权. 树木细根养分内循环[J]. 生态学杂志, 2006, 25(11): 1395—1399.
- [2] 刘增文,李雅素,吕月玲等. 刺槐主要养分元素内循环及外循环研究[J]. 南京林业大学学报, 1997, 21(4): 6—10.
- [3] Maria P S, Manuel M, Luiz G. The Role of Phenology, Growth and Nutrient Retention During Leaf Fall in the Competitive Potential of Two Species of Mediterranean Shrubs in the Context of Global Climate Changes[J]. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 2008, 203(7): 578—589.
- [4] Julie C D, David R H, Stephen S J. Characterizing Nitrogen Use Efficiency in Natural and Agricultural Ecosystems to Improve the Performance of Cereal Crops in Low-Input and Organic Agricultural Systems[J]. *Field Crops Research*, 2008, 107(2): 89—101.
- [5] 廖利平. 国外林木养分内循环研究[J]. 生态学杂志, 1994, 13(6): 34—38.
- [6] 王希华,黄建军,闫恩荣. 天童常绿阔叶林若干树种的叶片营养转移研究[J]. 广西植物, 2004, 24(1): 81—85.
- [7] Jorge L F, Marcelo D B, Laural L R et al. Nutrient Cycling in Nothofagus Pumilio Forests Along an Altitudinal Gradient in Tierra Del Fuego, Argentina[J]. *Forest Ecology and Management*. 2005, (217): 80—94.
- [8] Vogt K A, Vogt D J, Asbjomsen H et al. Roots, Nutrients and Their Relationship to Spatial Patterns[J]. *Plant and Soil*, 1995, (168/169): 113—123.
- [9] 廖利平,高洪,于小军. 人工混交林中杉木、桫木和刺楸细根养分迁移的初步研究[J]. 应用生态学报, 2000, 11(2): 161—164.
- [10] Gordon W S, Jackson R B. Nutrient Concentrations in Fine Roots[J]. *Ecology*, 2000, 81(1): 275—280.

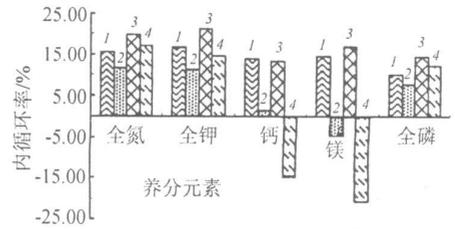


图 5 细根、极细根养分元素内循环率图

- 1——未施肥地细根养分内循环率;
- 2——施肥地细根养分内循环率;
- 3——未施肥地极细根养分内循环率;
- 4——施肥地极细根养分内循环率。

# Response of Nutrients Internal Cycling of *Alnus Formosana* Makino Roots and Leaves to Fertilization

WU Yong<sup>a, b</sup> LI Xian-Wei<sup>a</sup> ZHANG Jian<sup>a</sup>

<sup>a</sup>(Province Key Laboratory of Ecological Forestry Engineering, Sichuan Agricultural University, Yaan, Sichuan 625014, P. R. China)

<sup>b</sup>(College of Administration, China West Normal University, Nanchong, Sichuan 637002, P. R. China)

**Abstract** The nutrients (N, P, K, Ca, Mg) internal cycling of roots and leaves of 7 years old *Alnus formosana* Makino on fertilized and unfertilized spots were analyzed. The order of nutrient elements and total nutrients concentration both in live and dead fine roots and leaves was leaves > very fine roots > fine roots. There were nutrients internal cycling both in leaves and fine roots, but the ratio of leaves was higher. The internal cycling ratio of each nutrient element was different, ratio of K was the highest, ratio of N was higher and that of P was the lowest in the three main elements, the ratio of Mg was lower, while Ca enriched in dead leaves and fine roots. There was a significant correlation between fertilization and the variation of nutrients for leaves and fine roots ( $P < 0.01$ ). The concentrations of N, K and the total nutrients increased, while the concentrations of P, Ca, Mg decreased after fertilization, and there was a significant correlation between fertilization and the nutrients internal cycling ratio of leaves ( $P < 0.01$ ), a moderate correlation between fertilization and the nutrients internal cycling ratio of fine roots, while there was no correlation between fertilization and the nutrients internal cycling ratio of very fine roots.

**Key words** Fertilization; Nutrients Internal Cycling; Response; *Alnus Formosana* Makino

## 廉价光谱分析资料讯息

1. 《光电光谱分析》,周开亿主编,4册,16开,1236页,《光谱实验室》编辑部增刊,每套110元。
2. 《数理统计在化学、光谱分析中的应用》,纳利莫夫著,余生等译,《光谱实验室》编辑部编,16开,396页,每册10元。
3. 《空心阴极放电及其应用》,周开亿主编,《真空科学与技术》杂志社出版,32开,798页,上下册,每套10元。
4. 《邮票上的光谱学和化学史》,周开亿等编,《科学出版社》1991年出版,16开,158页,附有67个国家和地区的彩色邮票(复印件,下同)176枚,每册10元。
5. 《邮票上的化学、光学和光谱学史》,周开亿主编,《光谱实验室》2006年第1期彩色抽印本(收藏本),16开,64页,附有77个国家和地区的彩色邮票314枚,每册30元。
6. 《邮票上的科学家——佼佼者之路》,周开亿主编,《光谱实验室》2007年第1期彩色抽印本(珍藏本),16开,196页,附有91个国家和地区的彩色邮票533枚,每册70元。
7. 《邮票上的杰出科学家》,周开亿主编,《光谱实验室》2008年第1期彩色抽印本(珍藏本),16开,240页,附有104个国家和地区的彩色邮票515枚,每册90元。
8. 爱国主义学习基地——刊上《陆达纪念馆》和刊上《嘉锡纪念馆》,周开亿主编,《光谱实验室》2009年第1期彩色抽印本(珍藏本),16开,116页,附有彩色照片59张,黑白照片41张,共100张,每册40元。

以上各书售价中均含普通印刷品邮费。

欲购买者,请通过电子邮件(发到gpsys@periodicals.net.cn)与本编辑部联系。

《光谱实验室》编辑部