

鼎湖山马尾松针阔叶混交林土壤有效氮动态的初步研究

莫江明, 彭少麟, 方运霆, 郁梦德, 孔国辉, 张佑昌

(中国科学院鼎湖山森林生态系统定位研究站, 广东肇庆鼎湖 526070)

摘要:用离子交换树脂袋法测定了鼎湖山生物圈保护区马尾松针阔叶混交林土壤有效氮变化情况。鼎湖山马尾松针阔叶混交林土壤各季节平均总有效氮(铵态氮+硝态氮)在 18.87~93.20 $\mu\text{g}/\text{d}\cdot\text{g}$ 干树脂之间,且具有明显的季节性变化特点。然而,这些季节性变化根据土层和有效氮组分的不同而异。总有效氮主要由铵态氮组成(>90%)。总有效氮和铵态氮在土层 0~10cm 和 10~20cm 之间各个季节均无显著的差异,但硝态氮在春、夏两季差异较大,尤其在夏季两土层之间的差异达显著水平($P<0.05$)。在本研究样地中,硝化速率受铵态氮供应的影响不甚明显。与同一地区的马尾松纯林和阔叶混交林比较,硝态氮为:针叶纯林<针阔叶混交林<阔叶混交林;铵态氮则为:针阔叶混交林>针叶纯林>阔叶混交林。

关键词:有效氮;离子交换树脂法;马尾松针阔叶混交林;鼎湖山

A preliminary study on the dynamics of bio-available nitrogen in soils of pine-broadleaf mixed forest in Dinghushan Biosphere Reserve

MO Jiang-Ming, PENG Shao-Lin, FANG Yun-Ting, YU Meng-De, KONG Guo-Hui, ZHANG Yuo-Chang (Dinghushan Forest Ecosystem Research Station, Chinese Academy of Sciences, Zhaoqing, Guangdong 526070, China)

Abstract: The dynamics of bio-available nitrogen in soils of pine-broadleaf mixed forest in Dinghushan Biosphere Reserve were studied using the ion exchange resin bag method. The total available nitrogen ($\text{NO}_3^- - \text{N} + \text{NH}_4^+ - \text{N}$) in different seasons ranged from 18.87 to 93.20 $\mu\text{g}/\text{d}\cdot\text{g}$ dry resin and showed significantly seasonal variation depending on different components of available nitrogen and at different depth of soil. It was the highest in the spring season. The available nitrogen in soil was mostly composed of ammonium nitrogen (>90%). No significant differences in soil ammonium N concentrations between the two studied soil layers (0~10cm, 10~20cm). However, there were significant differences in nitrate N concentrations in summer between the two layers. The positive correlation between ammonium N and nitrate N in this forest was significant only in one season.

Key words: available N; ion exchange resin bag method; pine-broadleaf mixed forest; Dinghushan

文章编号:1000-0933(2001)03-0492-06 中图分类号:Q948 文献标识码:A

除了温度和雨水外,氮素是限制植物生长的最重要的环境因素。在森林土壤中氮素的含量较高,但氮素常难以满足植物生长的需求。这主要是由于,氮素是植物从土壤中需求量最大的元素,且土壤中的氮素大部分是有机态氮(约占全氮的 85%~95%),这些有机态氮只有通过氮矿化,转化为非有机态氮,才能被植物吸收和利用。氮素矿化是森林土壤中有有机态氮转化为植物可吸收的非有机态氮必不可少的过程,同时也是森林生态系统氮素循环的一个重要组成环节。因此,研究土壤氮素矿化对于了解森林生态系统的生产力和氮素循环具有重要的意义。

基金项目:国家自然科学基金重大基金(39899370)和中国科学院院长基金资助项目

收稿日期:1998-12-26;修订日期:2000-11-20

作者简介:莫江明(1962-),男,广东人,副研究员。主要从事森林生态系统和自然保护区的研究。

马尾松(*Pinus massoniana*)是我国亚热带地区的主要用材树种,也是荒山造林的先锋树种。但马尾松纯林生态系统养分循环较差,容易导致土壤肥力下降,林分生长衰退,生境恶化;同时它亦易受松毛虫、松突圆蚧和火灾为害。因此,自 70 年代以来我国南方改造马尾松纯林和营造马尾松针阔叶混交林便成为这些地区造林的主要任务之一。多年来的实践证明,马尾松针阔叶混交林具有其纯林没法比美的优越性,既可以改良土壤肥力情况,又可以有效地抑制病虫害的发生。

尽管氮素对植物生长如此重要,但对森林土壤有效氮动态方面的研究仅在近期才为人们所重视。这可能与没有一个统一的土壤氮矿化测量方法有一定的关系。Binkley 和 Matson(1983)在比较了目前使用的 6 种方法后,发现离子交换树脂袋法不失为一种既简便而又较准确的方法^[1]。这种方法近期得到了许多学者的应用^[2]。树脂袋法不但可以测量土壤有效氮的供应量,同时亦提供了测量土壤有效氮供应的时间和空间变化规律的机会^[3]。近期笔者用此种方法对鼎湖山生物圈保护区马尾松纯林和季风常绿阔叶林土壤氮素矿化情况分别作了些报道^[2,4]。本文继续报道马尾松针阔叶混交林不同深度土层(0~10cm,10~20cm)有效氮的动态情况。为进一步研究南亚热带森林生态系统的生产力和氮素循环提供基础。

1 样地概况

本研究在鼎湖山生物圈保护区(东经 112°30'39"~112°33'41",北纬 23°09'21"~23°11'30")进行。保护区具有强的季风性气候,4 月份至 9 月份为雨季(月平均降雨量超过 200mm),11 月份至 1 月份为旱季(月平均降雨量在 22 至 50mm 之间),年平均降雨量为 1956mm^[5]。年平均相对湿度为 81.5%。年平均温度为 20.9℃,最冷月(1 月份)和最热月(7 月份)的平均温度分别为 12.0℃和 28.1℃^[5]。

研究样地位于保护区三宝峰一带,二号永久样地内的马尾松阔叶混交林内。海拔高度 200m。森林为人工种植的马尾松因一些阔叶树种入侵而自然形成的过渡类型的针叶、阔叶混交林。林龄约为 70a^[6]。群落结构简单,可分成 4 层。乔木两层,第一亚层乔木优势种有马尾松、荷木(*Schima superba*)、锥栗(*Castanopsis chinensis*)、红皮紫陵(*Craibiodendron kwangtungense*)等 4 种,马尾松在此层个体数约占总个体数的 45%;第二亚层乔木种类主要有黄果厚壳桂(*Cryptocarya concinna*)、荷木、山钓樟(*Lindera metcalifiana*)和天料木(*Homalium cochinchinense*)等。在此层,马尾松个体数仅占总个体数的 2%。灌木一层,以阳性灌木桃金娘(*Rhodomyrtus tomentosa*)占优势。草本及苗木一层,以芒萁(*Dicranopteris linearis var. dichotoma*)和黑莎草(*Gahnia tristis*)为主,极少发现有马尾松幼苗^[6]。

研究样地的母岩为沙岩。土壤为砂质壤土,土层厚薄不均,一般在 30~60cm 之间,地面枯枝落叶层盖度 80%~90%,厚度 1~3cm^[6],pH 值为 3.86,有机质含量和全 N 分别为 3.45%和 0.1%(表 1)。

表 1 鼎湖山马尾松针阔叶混交林土壤理化性质(平均值,标准差;样品数均为 10)

Table 1 Soil properties in a pine-broadleaf mixed forest of Dinghuashan (mean, SE in parenthesis; n=10 for all samples)

土层深度 Soil depth (cm)	有机质 Organic matter (%)	全氮 Total N (%)	C/N	pH	容重 Density	田间持水量 Water content (%)
0~10	4.87(0.58)	0.13(0.02)	21.35(1.05)	3.79(0.03)	1.24(0.03)	28.39(1.04)
10~20	2.02(0.11)	0.07(0.00)	16.45(0.89)	3.92(0.01)	1.36(0.04)	23.55(0.77)
平均 Mean	3.45(0.35)	0.10(0.01)	18.90(0.97)	3.86(0.02)	1.30(0.04)	25.97(0.91)

2 方法

本研究采用离子交换树脂袋法估测氮素的硝化和矿化速率^[1,7]。在实验开始时,准备 40 个离子交换尼龙树脂袋。每袋放约 12g 树脂,然后装订好。在 1992 年 9 月 15 日,把这 40 个装有树脂的尼龙袋埋在随机选择的 20 个试验点(每点两个)。在每个点,其中一个袋埋在深度为 2~7cm,另一个袋埋在 12~17cm 的土壤里。这些树脂袋于 1992 年 12 月 15 日取出,放在冰盒内带回实验室,然后存放在冰箱内直到提取为止。1992 年 12 月 15 日到 1993 年 3 月 14 日;1993 年 3 月 15 日到 1993 年 6 月 14 日;1993 年 6 月 15 日到 1993 年 9 月 14 日,重复以上试验。

1992 年 9 月 15 日,在同一林地随机选择 10 个点,用土壤钻在每点取两钻,然后按两土层(0~10cm, 10~20cm)分开。在同一层的两钻土混合,这样 10 个点每层共有 10 个样点,最后带回实验室以便作土壤理化分析。在 1993 年 12 月 9 日重复以上取样。

有效氮分析,附在袋里的根和土壤在提取前均小心地用手取走,然后,这些树脂用 100ml 1mol/L 的氯化钾提取^[1]。由于土壤中的非有机态氮主要以铵态氮和硝态氮形式存在,因此本研究仅对这两种状态的氮进行分析。铵态氮和硝态氮用比色法测定^[7]。土壤理化性质用中国土壤学会农业化学专业委员会编的,土壤农业化学常规分析方法中的方法测定^[8]。

在数据统计方面,采用对比学生氏 t(paired t-test)分析土壤效氮在不同土层深度的差异。

3 结果与分析

在两土层中,总有效氮变化在 18.87~93.20 $\mu\text{g/d}\cdot\text{g}$ 干树脂之间,铵态氮为 17.29~86.72 $\mu\text{g/d}\cdot\text{g}$ 干树脂,硝态氮则在 1.42~6.90 $\mu\text{g/d}\cdot\text{g}$ 干树脂之间(图 1)。它们在两土层中均表现出明显的季节性变化特点,但是这些季节性变化根据土层和有效氮组成成分的不同而异。它们的高峰期在两土层中均出现在春季。然而,它们的低峰期在不同土层却发生在不同季节,0~10cm 土层铵态氮和总有效氮发生在冬季,硝态氮则发生在夏季;10~20cm 土层铵态氮和总有效氮发生在夏季,硝态氮则发生在冬季。

两土层比较,有效氮的差异亦随季节、组成成分的不同而异(图 1)。硝态氮在春、夏两季差异较大,尤其在夏季两土层之间的差异达显著水平($P<0.05$)。然而,总有效氮和铵态氮在两土层之间各季节的差异均不明显。这种现象表明了硝化细菌对土壤环境因子的变化较敏感,在春季 0~10cm 土层较 10~20cm 土层的环境因子更有利于硝化细菌活动。在夏季则相反。

就有效氮的组成而言,尽管有效氮具有明显的季节性变化,但总有效氮在各个季节均主要由铵态氮组成(图 1)。如在春季,铵态氮在 0~10cm 土层所占的百分比为 92.60%,在 10~20cm 土层则为 94.33%。

变异系数表现了有效氮空间分布的均匀程度。有效氮的变异系数根据组分、土层深度和季节不同而异。就两土层比较,铵态氮的变异系数在 0~10cm 土层(85.86%)高于在 10~20cm 土层(82.91%)。然而,硝态氮的变异系数却相反,在 0~10cm 土层(91.01%)低于在 10~20cm 土层(99.25%)。尽管硝态氮的量比较小,但其变异系数明显高于铵态氮。硝态氮的变异系数在 55.37%~165.89%之间,铵态氮的变异系数则在 55.11%~117.22%之间。再次表明了硝态氮对土壤环境因子的变化较铵态氮敏感的特性。

为了解硝态氮和铵态氮的相关关系,对各季节的硝态氮和铵态氮的量作相关分析。图 2 和图 3 可见,在 0~10cm 土层中仅在秋季它们之间存在显著的直线相关关系($P<0.05$),在 10~20cm 土层中也只有一个季节(冬季)它们之间存在显著的直线相关关系($P<0.05$)。表明了在本研究森林土壤里,硝态氮受铵态氮供应的影响但不很强。

4 讨论 万方数据

马尾松针阔叶混交林是马尾松纯林向阔叶混交林自然演替过程中必由阶段。在鼎湖山生物圈保护区,

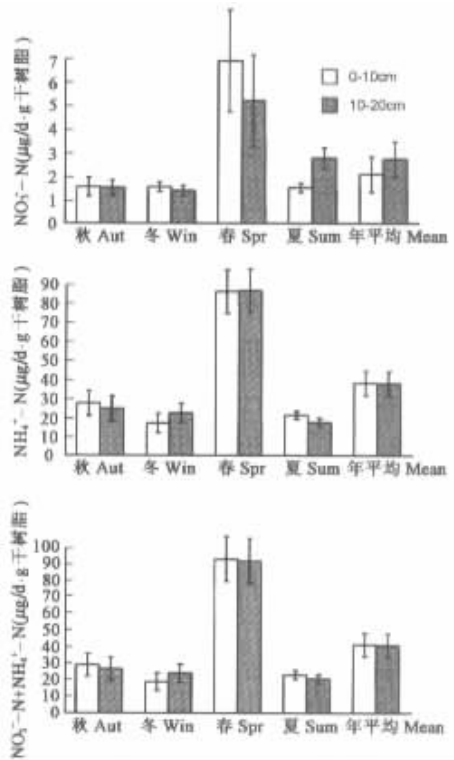


图 1 鼎湖山针阔叶混交林土壤有效氮动态

Fig.1 Dynamics of soil available N in a pine-broadleaf mixed forest of Dinghushan

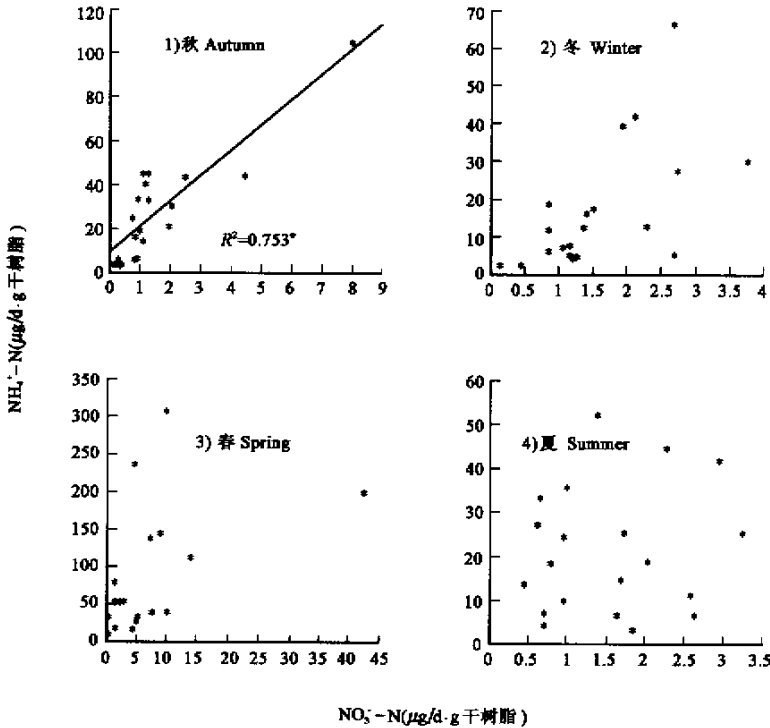


图2 鼎湖山马尾松针阔叶混交林土壤(0~10cm)硝态氮和铵态氮在各个季节的相关关系

Fig. 2 The seasonal relationship of $\text{NO}_3^- \text{-N}$ and $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ at soil depth of 0~10cm in a pine-broadleaf mixed forest of Dinghushan * 相关关系显著 Significant ($P < 0.05$)

马尾松纯林和针阔叶混交林分别占了该区森林总面积的10%和35%^[9]。目前在国际上对森林演替不同阶段对氮元素矿化的影响方面,存在着两种不同的看法:第一种观点认为,氮元素的矿化和硝化速率在森林演替早期较晚期高,而第二种观点则正好与上相反^[10~14]。本文对鼎湖山生物圈保护区针阔叶混交林两种不同深度土层氮素矿化动态的研究和分析,对于进一步探索森林不同演替阶段对氮素矿化的影响亦具有一定的理论意义。

本研究的结果表明,马尾松针阔叶混交林土壤硝态氮的量略高于同一地区的马尾松纯林(0.81~3.28 $\mu\text{g}/\text{d}\cdot\text{g}$ 干树脂)^[2],但显著低于同一地区的季风常绿阔叶林(4.44~12.62 $\mu\text{g}/\text{d}\cdot\text{g}$ 干树脂)^[4]。铵态氮的量高于同一地区的马尾松纯林(9.29~50.64 $\mu\text{g}/\text{d}\cdot\text{g}$ 干树脂)^[2],但明显高于同一地区的季风常绿阔叶林(6.88~24.46 $\mu\text{g}/\text{d}\cdot\text{g}$ 干树脂)^[4]。可见,森林不同演替阶段对氮素矿化的影响根据有效氮的组分不同而异。对于硝态氮来说,本研究结果支持第二种观点(早期<中期<晚期),但对于铵态氮则有些例外:(中期>早期>晚期)。

一般来说,随着演替的进展森林生态系统的营养保护机制逐渐趋向完善,养分循环通常从开放型向封闭型靠拢,系统中的营养利用效率相应提高。森林越成熟其养分利用效率越高,营养从系统中流失的可能性越低。这种现象在热带高温多雨以及土壤肥力较低的森林生态系统中更为明显。通过抑制土壤硝化速率来减少硝态氮从系统中流失的潜力,是热带森林营养保护机制的一个重要特征。这是由于硝态氮带负电,易于从土壤孔隙中随水交换能力差的土壤淋溶流失;硝态氮同样通过反硝化作用变为易挥发的气体而减少。因此,本研究结果显示的铵态氮占优势的现象,对于保护马尾松针阔叶混交林林地肥力,防止林地氮

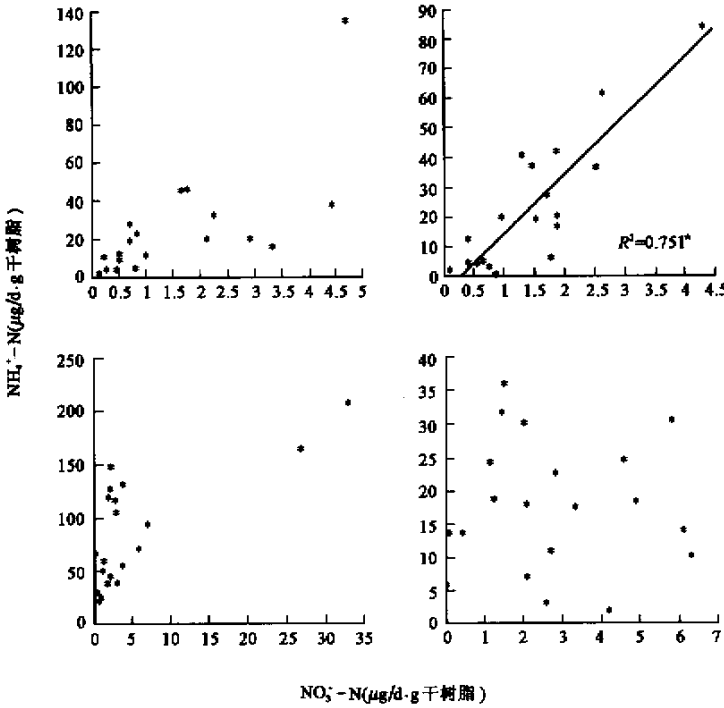


图3 鼎湖山马尾松针阔叶混交林土壤(10~20cm)硝态氮和铵态氮在各个季节的相关关系

Fig. 3 The seasonal relationship of $\text{NO}_3^- \text{-N}$ and $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ at soil depth of 10~20cm in a pine-broadleaf mixed forest of Dinghushan * 相关关系显著 Significant ($P < 0.05$)

素流失具有重要的现实意义。

本研究样地土壤铵态氮占绝对优势的现象与以下两种因素有关^[2],第一种是受马尾松生物学特性影响。马尾松常出现在土壤较贫瘠的地方,是森林演替中的先锋树种,因而它对营养需求量较低。在针叶林的试验表明,营养需求量低的针叶树通常喜好铵态氮^[15]。因此,为了满足对铵态氮的需求,马尾松有可能形成某种机制来抑制其林下土壤铵态氮转化为其它形式的氮。可能正是由于受这种抑制作用,研究结果表明马尾松纯林和马尾松混交林的铵态氮显著高于阔叶混交林的铵态氮。另外一种因素可能是由于本研究样地土壤的pH低(pH=3.8)的原因造成。低的pH值对硝化细菌的生长具有抑制作用^[16]。土壤硝化速率在低于pH 6.0后显著下降,在低于pH 5.0后则是微不足道^[17]。

研究结果(硝化速率,晚期>中期>早期)与上面提及的演替观点不一致的原因是:

(1)土壤肥力状况。据报道,土壤硝化速率的高低受铵态氮供应影响^[10]。这种现象的解释来源于硝态氮为铵态氮通过氧化而形成的产物。在对鼎湖山的马尾松纯林研究中也发现类似结果,硝态氮与铵态氮在试验的大部分季节表现出显著的线性关系^[2]。至于本研究结果硝态氮受铵态氮供应影响不强的原因可能与供试森林土壤铵态氮水平较高所致(约为马尾松纯林的1.4倍)。Robertson在一个热带低地雨林的研究中发现外加铵态氮显著提高土壤硝化速率^[18]。从而进一步揭示了硝化速率与土壤肥力之间的密切关系。鼎湖山3种不同演替阶段的森林中,土壤有机质和全氮含量均为:晚期>中期>早期^[2,4]。

(2)土壤结构。土壤结构通过影响土壤的供气状况来影响硝化速率。土壤养气充足有利于铵态氮的氧化从而增加土壤中硝态氮水平。由于阔叶林土壤有机质含量丰富,土壤结构较针阔叶混交林和马尾松纯林

疏松。3种不同演替阶段的森林土壤容重的大小序列为:晚期<中期<早期^[2,4]。

(3)凋落物的质与量及土壤微生物活性。

凋落物是土壤和林地动物食物的来源,与微生物活性有密切的关系。阔叶林的凋落物种类丰富且量大,同时其土壤的含水量亦较混交林和纯林高,含水量高有利于土壤微生物活动。3种不同类型森林土壤微生物量的大小顺序为:晚期>中期>早期^[19]。

综上所述,由于受土壤肥力、土壤结构、凋落物的质与量及土壤微生物活性综合影响,鼎湖山3种不同演替阶段森林土壤硝化速率为:早期<中期<晚期。

鼎湖山马尾松针阔叶混交林土壤的有效氮具有明显的季节性变化特点,与在同一地区其它林型的研究结果基本一致^[2,4,20]。这些季节性变化是多方面环境因素综合作用的结果。降水是其中最重要的因素。春季为本地区的雨季,雨水多加上气候温暖,是自然界中生物最适生长季节,微生物活动最活跃。其次,土壤温度和湿度的季节性变化也是其中重要的原因之一。形成了微生物种类组成的季节性变化特点^[21]。因此不难理解,在本研究中发现无论是总有效氮还是其它不同成份的量均在春季出现最高的现象。

参考文献

- [1] Binkley D and Matson P. Ion exchange resin bag method for assessing forest soil nitrogen availability. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1983, **47**:1050~1052.
- [2] 莫江明,郁梦德,孔国辉. 鼎湖山马尾松人工林土壤硝态氮和铵态氮动态研究. *植物生态学报*,1997, **21**(4):335~341.
- [3] Gibson D J. Spatial and temporal heterogeneity in soilnutrient supply measured using in situ ion-exchange resin bags. *Plant and Soil*. 1986, **96**:445~450.
- [4] 郁梦德,莫江明,孔国辉. 离子交换树脂袋法测定鼎湖山季风常绿阔叶林土壤有效氮的初步研究. *热带亚热带植物学报*,1995, **3**(4):44~48.
- [5] Kong G H, Liang C, Wu H and Huang Z. Dinghushan Biosphere Reserve, ecological research history and perspective. Science press, New York, 1993.
- [6] 王铸豪,何道泉,宋绍敦,等. 鼎湖山自然保护区的植被. *热带亚热带森林生态系统研究*,1982, **1**:77~141.
- [7] Anderson J M, Ingram J S I. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods. CAB International, Wallingford, Oxford, England, 1989.
- [8] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法, 北京: 科学出版社, 1984.
- [9] 周厚诚,李明佳,周远端,等. 鼎湖山自然保护区植被图及说明书. *热带亚热带森林生态系统研究*,1986, **4**:43~52.
- [10] Montagnini F, Buschbacher R. Nitrification rates in two undisturbed tropical rain forests and three slash-and-burn sites of the Venezuelan Amazon. *Biotropica*, 1989, **21**(1):9~14.
- [11] Davidson E A, Hart S C, Firestone M K. Internal cycling of nitrate in soils of a mature coniferous forest. *Ecology*, 1992, **73**:1148~1156.
- [12] Ellis R C. The seasonal pattern of nitrogen and carbon mineralization in forest and pasture soils in Southern Ontario. *Can. J. Soil Sci.*, 1974, **54**:15~28.
- [13] Rice E I and Panchoy S K. Inhibition of nitrification by climax vegetation. *Amer. J. Bot.*, 1972, **59**:1033~1040.
- [14] Zou X, Valentine D W, Sanford R L. Jr., and Binkley D. Resin-core and buried-bag estimate of nitrogen transformations in Costa Rica lowland rainforests. *Plant and Soil*, 1992, **139**:275~283.
- [15] Gosz J R. Nitrogen cycling in coniferous ecosystems. In Clark, F. E. and Rosswall, T. eds. *Terrestrial Nitrogen Cycles. Ecol. Bull.* (Stockholm), 1981, **33**:405~426.
- [16] Keeney D R. Prediction of soil nitrogen availability in forest ecosystems: A literature review. *For. Sci.*, 1980, **26**:159~171.
- [17] Alexander M. Introduction to soil microbiology. John Wiley and Sons, Inc., New York, . 1977. 467.
- [18] Robertson G P. Nitrification and nitrogen mineralization in a lowland forest succession in Costa Rica, Central America. *Oecologia*. 1984, **61**:99~104.
- [19] 傅声雷, 蚊伟民, 丁明懋. 鼎湖山不同植被类型下土壤微生物养分矿化. *植物生态学报*, 1995, **19**(3):217~224.
- [20] 莫江明, 孔国辉, Sandra Brown, et al. 凋落物和林下层收割对鼎湖山马尾松林土壤有效氮动态的影响. *生态学报*, 1997, **17**(1):109~112.
- [21] 蚊伟民, 丁明懋, 廖兰玉, 等. 鼎湖山自然保护区及电白人工林土壤微生物特性的研究. *热带亚热带森林生态系统研究*, 1984, **2**:59~68.