

鼎湖山针阔叶混交林土壤酸度与土壤养分的季节动态

刘 艳^{1, 2}, 周国逸¹, 褚国伟¹, 刘菊秀^{1*}, 张倩媚¹

1. 中国科学院华南植物研究所, 广东 广州 510650; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039

摘要: 研究了鼎湖山亚热带森林演替系列中处于中间阶段的针阔叶混交林土壤的 pH 值、水解氮、速效磷、钾、交换性钙、镁等几种营养元素的含量现状及季节动态。结果表明: 混交林土壤为强酸性土壤, 表层 (0~20 cm) 土壤酸度高于中 (20~40 cm) 下 (40~60 cm) 层土壤, 0~40 cm 土壤 pH 值具有明显的季节波动性。降雨、温度、凋落物、植物根系以及微生物的活动等因素可能是鼎湖山混交林土壤 pH 值季节动态变化的主要因素。除 Ca 外, 在同一剖面内, 表层土壤养分的含量明显高于中下层, 而中下层之间相差不大, 养分大多在冬季较高, 随着季节变动 (1, 4, 7, 10 月) 呈下降趋势。

关键词: 鼎湖山; 针阔叶混交林; 土壤酸度; 土壤养分

中图分类号: S153.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-2175 (2005) 01-0081-05

森林土壤是森林生态系统中一个非常重要的组成部分, 也一直是生态工作者研究的重点^[1]。土壤酸化将加速元素的淋失, 使土壤贫瘠化, 导致森林衰亡, 因此酸沉降影响下的森林土壤、植被状况一直倍受关注^[2]。研究所在地鼎湖山自然保护区位于北回归线附近, 具有独特的植被景观——地带性季风常绿阔叶林及其前期演替系列: 马尾松林和针阔叶混交林^[3]。对于不同的演替阶段, 森林土壤的养分元素的分配格局是有差异的, 有关酸沉降下鼎湖山季风林的土壤养分动态已有研究, 但对于处于演替中间阶段、鼎湖山面积最大的森林生态系统——混交林土壤养分动态的专门研究却没有见报道^[2, 4]。本文以酸沉降下混交林土壤为对象, 研究土壤的酸度、养分含量现状及季节动态, 为今后更系统、深入地研究该保护区的群落演替机制, 土壤的演化机理和营养元素的生物地球化学循环提供一些素材。

1 试验地概况

鼎湖山自然保护区位于东经 112°35', 北纬 23°08'。面积 1145 hm², 属亚热带季风气候, 年均温 21.4℃, 年均湿度为 80%, 年均降雨量约 1927 mm, 干湿季较明显, 4~9 月为雨季, 10~3 月为旱季。最冷月 (1 月) 和最热月 (7 月) 的平均温度分别为 12.6℃ 和 28.0℃^[6]。土壤由泥盆纪厚层变质砂岩、砂页岩发育形成, 主要土壤类型有赤红壤、红壤等。所研究的森林的土壤为赤红壤, 并且都在东南坡, 坡度 30°~40°。

鼎湖山主要植被类型为季风常绿阔叶林、针阔叶混交林和马尾松林。本文研究的针阔叶混交林

(Coniferous and broad-leaved mixed forest) 位于保护区南部二宝峰山腰的过渡区, 紧靠核心区, 海拔 200~400 m。该处原为人工种植的马尾松林, 后因缺乏管理, 先锋性的阔叶树逐渐侵入而成为针叶、阔叶混交林, 是马尾松林向季风常绿阔叶林演替发展的一个过渡类型。林中的阔叶树主要有荷木、锥栗、黎蒴等。

2 材料与方法

2.1 土样采集

分别于 1994 年和 1996 年 1、4、7、10 月在针阔叶混交林中, 每隔 10 m 随机设置样点各 10 个, 每次共 30 个样。采样深度为 0~20 cm, 20~40 cm, 40~60 cm 三个层次。风干过 2 mm 筛, 以供 pH、水解性 N、有效 P、速效 K、交换性 Ca 和 Mg 的测定。

2.2 分析方法

土样 pH 值用水土比为 2.5:1 测定。水解性 N 用碱解蒸馏法, 有效 P 用盐酸-氟化铵浸提-钼锑抗比色法测定。速效 K 和交换性 Ca²⁺、Mg²⁺用乙酸铵浸提后分别用火焰光度法和原子吸收光谱法测定。

3 结果与分析

3.1 针阔叶混交林土壤酸度及其季节动态

图 1 为针阔叶混交林不同土壤层次的 pH 值随时间变化的趋势。可以看出, 针阔叶混交林土壤整个剖面 (0~60 cm) 层 pH 值都小于 4.5, 可见它们都是强酸性土壤。而且土壤的酸度都是表层最高, 随深度增加而逐渐减弱, 这与以往测定的鼎湖山土壤 pH 值的变化趋势一致^[2]。不同深度土壤 pH 值有不同的季节变动趋势: 下层土壤 (40~60 cm) pH 值随时间而逐渐升高, 上 (0~20 cm) 中层 (20~

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大方向性项目(KSCX2-SW-120); 中国科学院海外杰出青年基金项目

作者简介: 刘艳 (1980 -), 女, 硕士研究生, 研究方向为生态系统生态学。E-mail: yanliu@scbg.ac.cn

*通讯作者: Author for correspondence

收稿日期: 2004-07-30

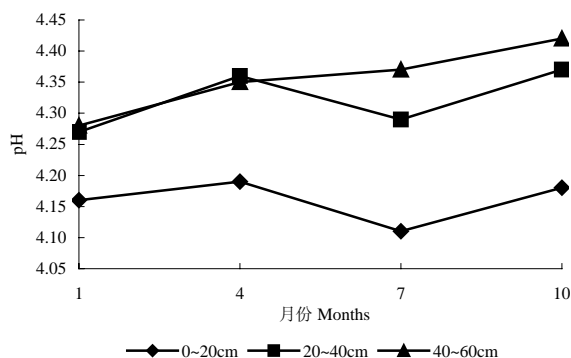


图1 鼎湖山针阔叶混交林不同剖面层土壤 pH 值动态变化
($n=20$,下同)

Fig. 1 The dynamic of the pH values in different soil layers in the Coniferous and broad-leave mixed forest at Dinghushan
($n=20$, the same below)

40 cm) 土壤层酸度在七月又有所波动,但在十月回升到最高值。总的来说,土壤的酸度在不同的土壤层次和不同季节下的变化幅度都不是很大。

3.2 针阔叶混交林土壤养分含量状况及季节动态

分析氮、磷、钾、钙、镁几种养分在整个土壤剖面的现状及季节变化趋势,发现 1) 养分含量不均衡:氮、磷、钾三种大量元素中,N 的质量分数较高,1 月份 0~20 cm 土壤有效 N 超过 120 mg/kg,但 P 的质量分数非常低,在 20~40 cm 和 40~60 cm

土层大部分检测不出(表 1),土壤交换性 Ca、Mg 的质量浓度比较低,全年平均仅有 0.13 cmol/kg、0.052 cmol/kg;2) 除 Ca 外,土壤养分含量随着土壤剖面深度的增加而下降,表层土壤养分明显高于中下层,而中层和下层的养分含量都非常接近;3) 不同深度的土壤的营养元素含量的季节变化基本一致,除 P 外,养分含量普遍都是冬季较高,且随季节变化(冬、春、夏、秋)呈下降趋势;4) 表层养分的变化幅度普遍大于中下层。

森林表层土壤由于受凋落物分解使养分归还以及微生物作用等多种因子的影响,使其表层的养分含量及变化都要明显地高于下层;同时由于植被的根系对土壤的理化性质发生作用的主要有效区域也为土壤表层,因此观测土壤表层的养分状况就显得更为重要^[4, 5]。从图 2 可以看出,虽然表层土壤的养分比较丰富,变化幅度也较大,但季节变化规律基本与整个土壤剖面一致。

森林土壤的理化性质,尤其是酸度和速效养分易受环境因子的影响^[5]。气温、降雨、凋落物归还量以及土壤微生物的数量和种类等因素往往随时间的变化表现出一定的季节规律性,从而影响到土壤的理化性质的波动。从表 1 可以看出,pH 和速效养分都随季节变化出现了一些显著波动,规律性

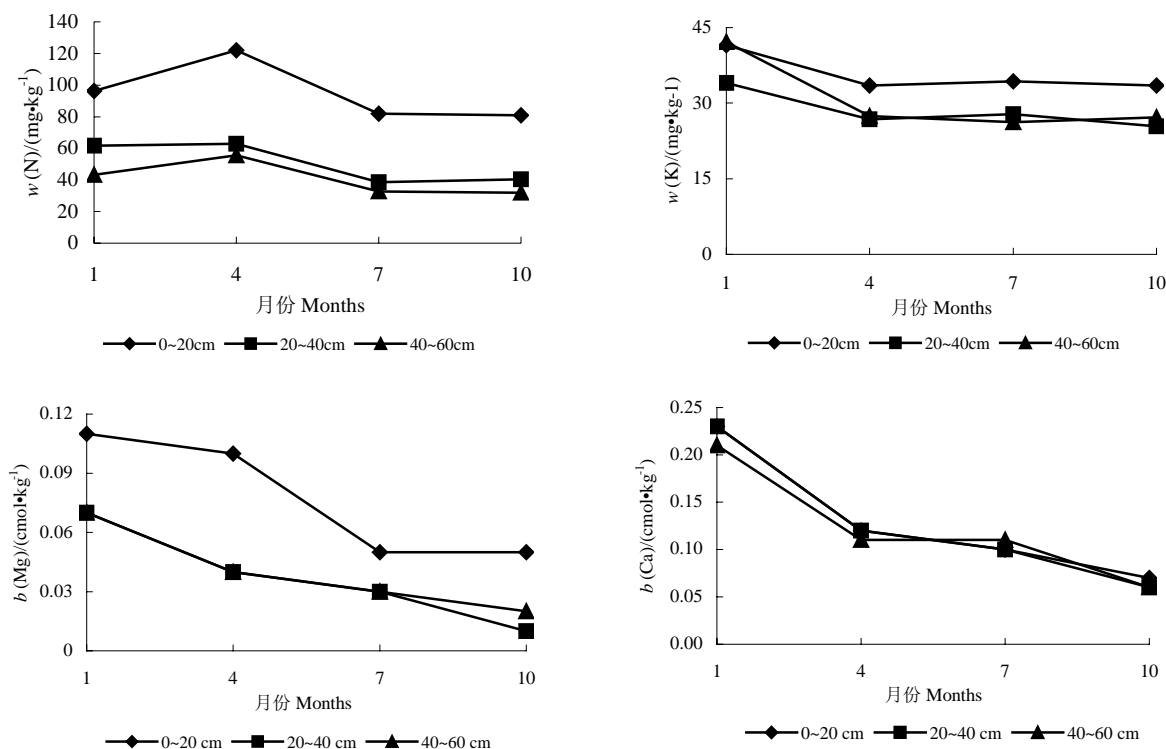


图2 鼎湖山针阔叶混交林不同层次土壤养分含量动态变化

Fig. 2 Dynamic changes of nutrient concentrations in different soil layers under the Coniferous and broad-leaved mixed forest at Dinghushan

表 1 季节变化对针阔叶混交林不同层次土壤养分状况影响的差异显著性比较

Table 1 Effects of season change on acidity and nutrients of different soil layers under the Coniferous and broad-leaved mixed forest Dinghushan

采样深度/cm	养分	1 月	4 月	7 月	10 月
0~20	pH	4.16a ± 0.05	4.19a ± 0.12	4.11b ± 0.10	4.18a ± 0.08
	K	41.50a ± 11.48	33.51a ± 9.80	34.36a ± 11.72	33.54a ± 9.68
	N	96.28ab ± 16.25	122.10b ± 18.33	82.00b ± 18.35	80.83b ± 21.34
	Ca	0.23a ± 0.08	0.12b ± 0.02	0.10bc ± 0.03	0.07c ± 0.04
	Mg	0.11a ± 0.17	0.10a ± 0.02	0.05b ± 0.01	0.05b ± 0.03
	P	0.82c ± 0.26	2.78a ± 1.54	2.23ab ± 1.69	1.36bc ± 0.83
20~40	pH	4.27a ± 0.06	4.36a ± 0.07	4.29a ± 0.06	4.37a ± 0.05
	K	34.03a ± 14.55	26.79a ± 6.76	27.80a ± 9.16	25.36a ± 5.29
	N	61.66a ± 12.78	62.84a ± 13.87	38.62b ± 10.73	40.46b ± 18.13
	Ca	0.23a ± 0.06	0.12b ± 0.02	0.10b ± 0.04	0.06b ± 0.03
	Mg	0.07a ± 0.01	0.04ab ± 0.01	0.03b ± 0.01	0.01b ± 0.01
	P	-	-	0.59b ± 0.29	-
40~60	pH	4.28a ± 0.06	4.35a ± 0.13	4.37a ± 0.12	4.42a ± 0.07
	K	41.13a ± 15.24	27.41ab ± 7.28	26.24b ± 11.56	27.18b ± 6.74
	N	43.37a ± 15.87	55.55a ± 12.68	32.81a ± 9.87	31.93a ± 17.47
	Ca	0.21a ± 0.09	0.11a ± 0.03	0.11ab ± 0.07	0.06b ± 0.03
	Mg	0.04a ± 0.02	0.04a ± 0.02	0.03b ± 0.01	0.02b ± 0.01
	P	-	-	0.35b ± 0.25	-

注：同一行内，a、b 分别表示其含量具有显著差异（ $P=0.01$ ）

比较明显。除了在 7 月份中上、层土壤酸度有所波动外，整个土壤剖面 pH 值随时间变化逐渐升高，N、K、Ca、Mg 质量分数和质量浓度则随时间变化呈下降趋势，P 在高温雨季（4 月、7 月）质量分数要显著高过低温旱季（1 月、10 月）。

4 讨论

4.1 土壤酸度现状以及季节动态变化的原因

土壤 pH 值对所在地段的生物生长起着极为重要的作用，它不但对土壤中的微生物区系产生反应，另一方面，它可以直接作用于土壤中的元素转换，影响元素对植物的有效性，因此研究土壤酸度的成因和动态对森林生态系统来说具有重要的现实意义^[6]。导致土壤变酸，以及土壤酸度出现季节变动的因素很多，包括土壤生物的种类和数量，当地的气候条件以及土壤本身的理化性质等，而由于各个因子之间复杂的相互作用，往往难以识别出主导因子^[5]。本研究中针阔叶混交林土壤为酸性土壤，pH 值随土壤深度增加而增加；从 1 月（冬季）到 4、7、10（春、夏、秋季）月土壤 pH 值总体呈上升趋势，但在 0~40 cm 土壤层酸度在 7 月有所降低，10 月回升较高值。

鼎湖山降雨集中在每年的 4 月到 9 月期间，高强度和高频度的降水能带走大量的酸性离子，同时混交林在整个雨季具有比较高的凋落物量，腐烂的凋落物有可能对土壤酸度起到缓冲作用^[2]，这可能是土壤 pH 值呈上升趋势的主要原因。另一方面，微生物活动也可以产生一些酸性较强的有机酸，如

草酸等，使土壤酸化，例如导致日本京都的棕色森林土壤表层酸化的主要原因就是土壤微生物硝化的作用^[7, 8]。鼎湖山针阔叶混交林土壤微生物含量非常丰富，其数量在一年内冬季（1 月）最高，以后逐渐降低（表 2），由此看来它也是引起混交林土壤随季节变化（冬、春、夏、秋）呈上升趋势的一个重要因素^[9]。

表 2 针阔叶混交林土壤微生物量和土壤酸度的差异及其季节变化

Table 2 Differences and seasonal changes of microbial biomass and acidity in the coniferous and broad-leaved mixed forest Dinghushan

月份	微生物量/(mg·kg ⁻¹)	pH
1	682.3	4.10 ± 0.06
4	656.4	4.17 ± 0.05
7	617.2	4.25 ± 0.04
10	551.4	4.31 ± 0.03
平均值	627.8	4.21 ± 0.03

数据引自文献^[9]。其中，微生物量以 C 计算

植物和微生物是引起土壤酸化的主要生物因素，在土壤中、下层的 pH 值比表层高可能跟植物根系量和微生物量大大低于土壤表层有关，因为微生物、植物根系分泌物中含有多多种有机酸，易导致土壤酸化^[7, 10]。分析表 2 中有关数据，发现微生物的数量与土壤 pH 值呈显著的负相关（相关系数为 -0.97），说明微生物数量越多，土壤酸性会越强。微生物致酸机制主要为分泌有机酸或是硝化作用产生 H⁺，但低的 pH 值对硝化细菌的生长具有抑制

作用,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^[11, 12]。混交林土壤的 pH 低于 4.5,因此微生物硝化作用不应为混交林土壤微生物的致酸机理。微生物生物活性与气候因子具有密切关系,低温干燥,土壤微生物活性低,高温多雨,土壤微生物活性强^[13]。王德龙通过测定湿地土壤微生物的活性发现,在一定温度范围内(0~28℃),温度与微生物呼吸强度成正比关系^[14]。鼎湖山最热月为 7 月,平均温度达 25.9℃,此时混交林土壤微生物活性有可能达到最大。看来混交林表层和中层土壤的 pH 值在 7 月有所下降,主要是因为此时微生物分泌的有机酸增多而导致。

由以上分析可知,降雨、温度、凋落物、植物根系以及微生物的活动等因素是鼎湖山混交林土壤 pH 值季节动态变化的主要因素。但气候的季节变化却是导致降雨增多,温度升高,以及引起凋落物量增加、植物与微生物活动增强的直接原因。因此土壤酸度季节变化的间接原因是气候的季节变化所致。

4.2 土壤养分现状及季节动态变化的原因

森林土壤养分的主要来源是土壤母岩母质的风化及凋落物养分的归还,而凋落物的归还作用十分明显^[15]。混交林的凋落物在整个雨季维持较高的凋落物量,这是其土壤具有较高养分含量的主要原因^[13]。就某一具体的营养元素在土壤剖面层次的分布而言,不同的生态系统有不同的结论。本研究中土壤交换性钙的质量浓度不随土壤深度的增加而变化,但 Popenoe 却发现可交换性钙在栎树林和针叶林中随土层增加而下降,且草原土壤剖面中却几乎是一致的^[16]。N、K、Mg 在土壤剖面中的分布变化比较一致,表层土壤含量高于中下层土壤,这与许多研究工作的结果相似。

影响土壤养分季节动态变化的因子很多,包括凋落物的季节动态、土壤生物活性、土壤速效养分的淋失状况及植物的吸收等诸多因素^[5]。在本研究中,除 Ca 外,其它养分在土壤剖面上具有明显的层次性,这表明,土壤养分受植被的影响很大,但土层愈深,受植被的影响愈弱^[6]。除 P 外,混交林土壤速效养分含量随季节变化呈下降趋势。春(4月)、夏(7月)季雨水逐步增多,气温也开始升高,微生物活性不断加强,土壤矿化较强,此时,植物生长旺季,易从土壤中吸收大量的养分,同时养分的淋失量也大^[13]。秋季雨水的减少使得土壤的固化作用得以加强,养分元素的含量继续下降^[2, 5, 13]。虽然混交林凋落物的节律比较特殊,全年没有明显的凋落高峰,但 7~9 月其凋落物量明显比其它月份

多^[13]。凋落物经过 3~5 个月的缓慢分解后,进入冬季,在大量微生物的作用下,养分矿化较快,从而土壤养分含量明显增加。P 由于易被土壤、微生物和凋落物所固定,不易被活化和淋失,因此,土壤速效 P 的季节动态与 N、K 不同,其以春、夏季较高,秋(10月)、冬(1月)季较低。

参考文献:

- [1] 丁圣彦. 常绿阔叶林演替系列群落下土壤性质的比较[J]. 河南大学学报(自然科学版), 1999, 29(3): 92-96.
DING SHENG-YAN. comparison of soil characteristics under different successive communities of evergreen broad-leaved Forest[J]. Journal of Henan University (Natural Science Edition), 1999, 29(3): 92-96.
- [2] 刘菊秀, 周国逸, 褚国伟, 等. 鼎湖山季风常绿阔叶林土壤酸度对土壤养分的影响[J]. 土壤学报, 2003, 40(5): 763-767.
LIU JU-XIU, ZHOU GUO-YI, CHU GUO-WEI, et al. effects of soil acidity on the soil nutrients under dinghushan monsoon evergreen broad-leaved forest[J]. Acta Pedologica Sinica, 2003, 40(5): 763-767.
- [3] 欧阳学军, 黄忠良, 周国逸, 等. 鼎湖山南亚热带森林群落演替对土壤化学性质影响的积累效应[J]. 水土保持学报, 2003, 12, 17(4): 51-54.
OUYANG XUE-JUN, HUANG ZHONG-LIANG, ZHOU GUO-YI, et al. accumulative effects of forest community succession on soil chemical properties in Dinghushan of tropical China[J]. Journal of Soil and Water Conservation. 2003, 12, 17(4): 51-54.
- [4] 卢其明, 林琳, 庄雪影, 等. 车八岭不同演替阶段植物群落土壤特性的初步研究[J]. 华南农业大学学报, 1997, 18(3): 48-52.
LU QI-MING, LIN LIN, ZHUANG XUE-YING, et al. Preliminary study on the soil characteristics of different plant communities in che-baling[J]. Journal of South China Agriculture university, 1997, 18(3): 48-52.
- [5] 夏汉平, 余清发, 张德强. 鼎湖山 3 种不同林型下的土壤酸度和养分含量差异及季节动态变化特性[J]. 生态学报, 1997, 17(6): 645-653.
XIA HAN-PING, YU QING-FA, ZHANG DE-QIANG. The soil acidity and nutrient contents, and their characteristics of seasonal dynamic changes under 3 different forests of dinghushan nature reserve[J]. Acta ecologica sinica, 1997, 17(6): 645-653.
- [6] 张全发, 郑重, 金义兴. 植物群落演替与土壤发展之间的关系[J]. 武汉植物学研究, 1990, 8(4): 325-334.
ZHANG QUAN-FA, ZHENG ZHONG, JIN YI-XIN. The relationship between the plant communities succession and the soil development[J]. Journal of wuhan botanical research, 1990, 8(4): 325-334.
- [7] PALLANT E, RIHA S J. Surface soil acidification under red pine and Norway spruce[J]. Soil Science Society of America Journal, 1990, 54: 1124-1130.
- [8] HIRAI H, ARAKI S. et al. Characteristics of brown forest soils developed on the Paleozoic shale in northern Kyoto with reference to their pedogenetic process[J]. Soil Science and Plant Nutrition, 1988, 34(2): 157-170.

- [9] MO J M, BROWN S. *et al.* Nutrient dynamics of a human-impacted pine forest in a MAB reserve of subtropical China[J]. *Biotropica*, 1995, 27(3): 290-304.
- [10] 旷远文, 温达志, 钟传文, 等. 根系分泌物及其在植物修复中的作用[J]. *植物生态学报*, 2003, 27(5): 709-717.
KUANG YUAN-WEN, WEN DA-ZHI, ZHOU GUO-YI *et al.* Root exudates and their roles in phytoremediation[J]. *Acta phytocologica sinica*, 2003, 27(5): 709-717.
- [11] KEENEY DR. Prediction of soil nitrogen availability in forest ecosystems: A literature review[J]. *Forest Science*, 1980, 26: 159-171.
- [12] 莫江明, 彭少麟, 方运霆, 等. 鼎湖山马尾松针阔叶混交林土壤有效氮动态的初步研究[J]. *生态学报*, 2001, 21(3): 493-497.
MO JIANG-MING, PENG SHAO-LIN, FANG YUN-TING, *et al.* A preliminary study on the dynamics of bio-available nitrogen in soils of pine-broad leaf mixed forest in Dinghushan Biosphere Reserve[J]. *Acta ecologica sinica*, 2001, 21(3): 493-497.
- [13] 张德强, 叶万辉, 余清发, 等. 鼎湖山演替系列中代表性森林凋落物研究[J]. *生态学报*, 2000, 20(6): 938-944.
- ZHANG DE-QIANG, YE WANG-HUI, YU QING-FA, *et al.* The litter-fall of representative forests of successional series in Dinghushan[J]. *Acta ecologica sinica*, 2000, 20(6): 938-944.
- [14] 王德龙, 张玉惠, 张震. 自由水面湿地系统的微生物活性及其变化规律[J]. *城市环境与城市生态*. 1998, 11 增刊: 21-25.
WANG DE-LONG, ZHANG YU-HUI, ZHANG ZHEN, *et al.* Variation of the soil biological activity of the free water surface wetland[J]. *Urban environment & Urban ecology*, 1998, 11(suppl): 21-25.
- [15] POPENOE J H, BEVIS K A. *et al.* Soil-vegetation relationships in Franciscan Terrain of Northwestern California[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1992, 56: 1 951-1 959.
- [16] 杨万勤, 钟章成, 陶建平. 缙云山森林土壤速效 N、P、K 时空特征研究[J]. *生态学报*, 2001, 21 (8): 1 286-1 289.
YANG WAN-QIN, ZHONG ZHANG-CHENG, TAO JIAN-PING, *et al.* Study on temporal and spatial characteristics of available soil nitrogen, phosphorus, and potassium among the forest ecosystem of MtJinyun[J]. *Acta ecologica sinica*, 2001, 21 (8): 1 286-1 289.

Seasonal dynamics of soil acidity and nutrient contents under coniferous and broad-leaved mixed forest at Dinghushan

LIU Yan^{1, 2}, ZHOU Guo-yi¹, CHU Guo-wei¹, LIU Ju-xiu¹, ZHANG Qian-mei¹

1. South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

Abstract: Soil acidity and contents of several nutrients, Hydrolysable N, available P, K, exchangeable Ca, Mg, and their seasonal dynamic changes in the Coniferous and broad-leaved mixed forest of Dinghushan were investigated. We found that the pH values of all soil layers in the Coniferous and broad-leaved mixed forest at Dinghushan were below 4.5, and increased with soil depth. Soil acidity in the 0~40 cm layer had an obvious seasonal fluctuated. The reason for these phenomena was probably the co-operation of the precipitation, temperature, litter fall and soil microbes. Soil nutrients were the highest in the surface horizon, and decreased with depth except exchangeable Ca. In January and April, contents of the most soil nutrients were higher than in July and October.

Key word: Dinghushan; coniferous and broad-leaved mixed forest; soil acidity; soil nutrient