

# 鼎湖山马尾松林凋落物主要微量元素研究\*

莫江明<sup>1</sup> 孔国辉<sup>2</sup> 方运霆<sup>1</sup> 张佑昌<sup>1</sup>

(1. 中国科学院华南植物研究所鼎湖山自然保护区、  
生态系统定位研究站 广东肇庆 526070; 2. 中国  
科学院华南植物研究所 广州 510650)

**摘要:** 通过处理(根据当地习惯收割凋落物和林下层)和保护(无任何人类活动)样地的比较,在三年时间里研究了鼎湖山生物圈保护区马尾松(*Pinus massoniana*)林凋落物三种微量元素(Al、Mn、Fe)浓度、归还量及其对人类干扰的响应。凋落物微量元素含量除Mn外均以杂物组分最高。元素含量的季节性变化仅在针叶组分具有明显的规律性。三个元素在各组分中的浓度大小变化顺序为:Al>Fe>Mn(针叶和皮+枝);Fe>Al>Mn(杂物)。处理样地凋落物微量元素含量趋向高于保护样地的浓度。凋落物微量元素回归量具有明显的年、季节变化特点。处理样地微量元素年平均回归总量为kg/(hm<sup>2</sup>·a):Al 0.970, Mn 0.245, Fe 1.103。保护样地年平均回归总量为kg/(hm<sup>2</sup>·a):Al 0.865, Mn 0.235, Fe 0.867。总的来说,针叶对元素回归总量贡献最大。在试验期间,保护样地凋落物叶片微量元素归还量相对于处理样地逐年提高,表明了收割凋落物和林下层这种人类活动,不但直接从林地中取走凋落物而且还可能降低林分凋落物量以及微量元素归还量。

**关键词:** 微量元素; 马尾松; 鼎湖山; 凋落物

## Studies on Main Microelements of Litterfall in a Pine Forest of Dinghushan

MO Jiang-Ming<sup>1</sup> KONG Gou-Hui<sup>2</sup> FANG Yun-Ting<sup>1</sup> ZHANG You-Chang<sup>1</sup>

(1. *Dinghushan Nature Reserve and Ecosystem Permanent Research Station, South China Institute of Botany, Chinese Academy of Science, Guangdong, Zhaoqing, 526070, China*; 2. *South China Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China*)

**Abstract:** Concentrations, returns and its dynamic of main microelements (Al, Mn and Fe) of litterfall in a *Pinus massoniana* forest of Dinghushan Biosphere Reserve were studied, by comparing the treatment (continued harvest according to local practice) and control (no harvest) plots during a period of three years. Concentrations of all studied microelements of litterfall were highest in miscellaneous component except for Mn. Concentrations of Mn were highest in pine needles. Seasonal variation of microelement concentration was found only in pine needles. The relative amounts of the microelement in litterfall were: Al>Fe>Mn (needles and bark + branches), Fe>Al>Mn (mis-

\* 中科院知识创新项目 KZCX2-407、国家自然科学基金重大项目(39899370)、中科院资环局和 USA MAB (1753-900555) 资助。E-mail: mojm@scib.ac.cn.

cellaneous). Concentrations of microelement of litterfall were generally higher in treatment plots than in control plots. Returns of microelement exhibited significantly yearly and seasonally variations. The annual total returns of microelement in treatment and control plots were: Al 0.970, Mn 0.245, Fe 1.103, and Al 0.865, Mn 0.235, Fe 0.867kg·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>, respectively. Pine needles generally contributed the most to the total returns of microelement. After stopping human impacts, microelement returns in pine needles tended to be increased with time compared to those in forest continued to be harvested, indicating that harvesting practice not only directly removed litter but also likely decreased the quantity of litterfall and its microelement returns.

**Keywords:** microelement; *Pinus massoniana*; Dinghushan; litterfall

近代, 人类活动正在影响着许多植物元素包括微量元素的生物地球化学循环的速率<sup>[1]</sup>。越来越多的研究表明, 微量元素是生物生长发育所必不可少的元素, 因此微量元素在森林生态系统中的作用已逐渐引起人们的关注。然而, 目前对于森林生态系统中微量元素的报道极少。凋落物是森林生态系统元素循环的一个重要物质库。植物从土壤中吸收的大部分元素养分, 最终主要通过凋落物形式回归到土壤, 是土壤养分的重要来源。因此凋落物元素动态是森林生态系统生物地球化学循环研究的重要组成部分。

马尾松 (*Pinus massoniana*) 是我国松属树种中分布最广的一种, 也是我国亚热带东部湿润地区典型的针叶乡土树种。分布于广东、广西、云南、福建、湖南、湖北、安徽、四川、贵州、河南、陕西、江苏、浙江、江西等 14 个省 (区)。目前, 马尾松的面积和蓄积量均占全国针叶树种的首位, 是我国南方最具代表性的森林类型之一<sup>[2]</sup>。由于马尾松是森林演替中的先锋树种, 它常出现在土壤营养较贫瘠的地方。而且在这些马尾松林分布地区, 人类干扰活动诸如农业生产、放牧、收获凋落物和林下层等经常发生<sup>[3,4]</sup>。因此, 凋落物在马尾松林生态系统营养循环中的作用显得尤为重要。前期我们报道了鼎湖山生物圈保护区马尾松林凋落物及其对人为干扰的响应<sup>[5,6]</sup>, 本文继续报道该马尾松林凋落物主要几种微量元素含量、归还量及其对人类干扰的响应, 为马尾松林生态系统的管理以及为该生态系统长期定位研究提供基础。

## 1 材料与方 法

### 1.1 样地概况

鼎湖山生物圈保护区位于广东省中部, 东经 112°33', 北纬 23°10', 属亚热带季风性气候型。年平均降雨量为 1927mm, 其中 75% 分布在 3 月到 8 月份, 而 12 月到 2 月仅占 6%。年平均相对湿度为 80%。年平均温度为 21.4℃, 最冷月 (1 月) 和最热月 (7 月) 的平均温度分别为 12.6℃ 和 28.0℃<sup>[7]</sup>。

研究样地位于保护区东南角过渡区人工种植的马尾松林里。海拔高度在 50~200m 之间。样地的母岩为沙岩。土壤为砖红壤性红壤, pH 值在 4.5 到 5.0 之间。土层较浅, 一般不超过 30cm。森林以马尾松为主, 还有少量的桉树 (*Eucalyptus robusta*)。林龄约为 66 年。林冠稀疏但下层的灌木、草本、蕨类植物较稠密。下层树种主要以桃金娘 (*Rhodomyrtus tomentosa*)、芒萁 (*Dicranopteris linearis*) 等为主<sup>[8]</sup>。

### 1.2 实验设计

采用对比样方 (paired-plot) 设计, 共有 20 对小样方。每对由处理 (允许收割凋落物

和林下层活动)样地和保护(不进行任何收割活动)样地各一个组成。每个小样方的面积为 $10 \times 10 \text{m}^2$ ,周围有10m宽的缓冲带。同一对的两个小样方在土壤、坡度、外貌、和海拔高度等均相类似。样地坡度的平均值为 $30^\circ$ ,最小和最大分别为 $26.5^\circ$ 和 $34.5^\circ$ 。自试验之日(1990年5月)始,当地居民在处理样地根据他们的习惯继续进行收割凋落物和林下层活动(每年2~3次),在保护样地则禁止任何人为活动<sup>[4,6]</sup>。

### 1.3 样品采集和处理

在试验开始时准备120个大小为 $0.5 \times 0.5 \text{m}^2$ 的凋落物收集网,网的孔径为1mm。于1990年5月27日,把这些网随机安置在20对小样方中(每个小样方三个)。收集网离地面约0.5m。在每月的第27日收集凋落物,并把这些凋落物分成针叶、皮+枝和杂物(主要是花和种子)三个组分<sup>[6]</sup>。

所有材料收集后,立即在 $40^\circ\text{C}$ 下恒温箱烘至恒重。然后,每个样品分开两部分,其中一部分在 $105^\circ\text{C}$ 烘至恒重,用来计算重量换算率( $40/105^\circ\text{C}$ );另一部分磨碎、过 $0.15 \text{mm}$ 孔径的网筛和装瓶,以供化学分析<sup>[9]</sup>。为了减少工作量,用来作化学分析的样品在分析前作如下处理:各组分按季节和样方混合(三个组分,每季共 $3 \times 2 \times 20 = 120$ 个分析样品,这里3代表组分数(松针、皮+枝和杂物),2代表处理组数(保护和处理样地),20代表每组处理中的小样方数)并假定凋落物各组分的营养浓度在试验的三年中年际差异不显著,因此仅取第一年样品进行分析<sup>[6]</sup>。所有样品的微量元素含量在美国伊莉诺大学用离子吸收光谱法分析<sup>[10]</sup>。所有结果以 $105^\circ\text{C}$ 恒重为基准。

## 2 结果

### 2.1 元素含量

两种样地凋落物中微量元素含量的变化根据组分、季节和元素不同而异(表1)。由于杂物主要由生殖器官组成,其元素含量除Mn外均高于其它组分。Mn元素含量则以针叶组分最高。元素含量的季节性变化仅在针叶组分中具有明显的规律性:三种元素含量均以冬、春两季最高,其余组分的规律性不明显。三个元素在各组分中的浓度大小变化顺序为: $\text{Al} > \text{Fe} > \text{Mn}$ (针叶和皮+枝); $\text{Fe} > \text{Al} > \text{Mn}$ (杂物)。两种样地比较,除在皮+枝组分中Mn和Fe两元素表现为处理样地小于保护样地外,其余所有组分和元素均表现为处理样地大于保护样地。

表1 鼎湖山马尾松林凋落物主要微量元素含量(g/kg,括号内为标准误)

Table 1 Concentrations of main micronutrient elements of litterfall in a pine forest of Dinghushan (g/kg, SE in parentheses)

	Al		Mn		Fe	
	处理 Treatment	保护 Control	处理 Treatment	保护 Control	处理 Treatment	保护 Control
针叶 NEEDLES						
夏 Summer	0.217(0.006)	0.231(0.006)	0.106(0.012)	0.114(0.009)	0.156(0.007)	0.175(0.004)
秋 Fall	0.236(0.008)	0.209(0.005)	0.133(0.014)	0.120(0.011)	0.193(0.027)	0.170(0.006)
冬 Winter	0.334(0.009)	0.302(0.009)	0.134(0.011)	0.119(0.010)	0.309(0.021)	0.272(0.018)

	Al		Mn		Fe	
	处理	保护	处理	保护	处理	保护
	Treatment	Control	Treatment	Control	Treatment	Control
春 Spring	0.353(0.007)	0.343(0.009)	0.101(0.009)	0.087(0.006)	0.306(0.012)	0.295(0.008)
平均 Mean	0.285(0.008)	0.271(0.007)	0.119(0.012)	0.110(0.009)	0.241(0.017)	0.228(0.009)
皮+枝 BARK + BRANCHES						
夏 Summer	0.511	0.487	0.084	0.072	0.278	0.384
秋 Fall	0.673	0.575	0.073	0.075	0.304	0.357
冬 Winter	0.604	0.708	0.067	0.103	0.34	0.401
春 Spring	0.64	0.668	0.082	0.097	0.287	0.336
平均 Mean	0.596	0.590(0.049)	0.075(0.004)	0.083(0.008)	0.307(0.014)	0.381(0.014)
杂物 MISCELLANEOUS						
夏 Summer	0.686	0.608	0.088	0.075	1.465	0.97
秋 Fall	1.244	0.846	0.089	0.078	1.552	0.916
冬 Winter	0.786	0.588	0.161	0.1	0.363	0.658
春 Spring	0.734	0.588	0.085	0.1	1.162	0.658
平均 Mean	0.905(0.129)	0.681(0.063)	0.113(0.018)	0.084(0.007)	1.127(0.271)	0.848(0.083)

## 2.2 元素归还量

凋落物元素归还量也根据组分、年、季节和元素不同而异(表2, 3, 4)。在试验第一、二年, Al 和 Mn 两元素归还量均表现为: 针叶(53%~84%) > 皮+枝(9%~26%) > 杂物(7%~21%); Fe 元素则为: 针叶(48%~58%) > 杂物(25%~37%) > 皮+枝(12%~17%)。在试验第三年, Al 和 Fe 两元素归还量为: 杂物(55%~80%) > 针叶(14%~27%) > 皮+枝(6%~18%); Mn 元素为: 针叶(50%~54%) > 杂物(33%~35%) > 皮+枝(12%~13%)。可见, 元素的归还量总的来说以针叶组分贡献最大。

表2 鼎湖山马尾松林凋落物 Al 元素回归量 (kg/hm<sup>2</sup>, 括号内为标准误)\*

Table 2 Contents of Al element of litterfall in a pine forest of Dinghushan (kg/hm<sup>2</sup>, SE in parentheses)\*

采样时间	T-松针	C-松针	T-皮+枝	C-皮+枝	T-杂物	C-杂物	T-总量	C-总量
Sampling date	T-needles	C-needles	T-bark + branches	C-bark + branches	T-miscellaneous	C-miscellaneous	T-total	C-total
6/27/90	0.038(0.004)	0.036(0.003)	0.031(0.006)	0.017(0.003)	0.017(0.002)	0.014(0.002)	0.086(0.012)	0.067(0.008)
7/27/90	0.060(0.005)	0.059(0.005)	0.019(0.002)	0.030(0.009)	0.008(0.001)	0.008(0.001)	0.087(0.008)	0.097(0.015)
8/27/90	0.077(0.006)	0.080(0.006)	0.027(0.000)	0.024(0.000)	0.006(0.001)	0.005(0.001)	0.110(0.007)	0.109(0.007)
9/27/90	0.040(0.004)	0.031(0.004)	0.005(0.001)	0.006(0.002)	0.005(0.001)	0.004(0.000)	0.050(0.006)	0.041(0.006)
10/27/90	0.029(0.002)	0.026(0.003)	0.001(0.000)	0.002(0.001)	0.008(0.001)	0.005(0.001)	0.038(0.003)	0.033(0.005)
11/27/90	0.024(0.003)	0.020(0.003)	0.004(0.001)	0.004(0.001)	0.004(0.000)	0.003(0.000)	0.032(0.004)	0.027(0.004)
12/27/90	0.017(0.002)	0.016(0.002)	0.002(0.000)	0.002(0.000)	0.002(0.000)	0.001(0.000)	0.021(0.002)	0.019(0.002)
1/27/91	0.030(0.004)	0.026(0.004)	0.004(0.002)	0.002(0.001)	0.001(0.000)	0.001(0.000)	0.035(0.006)	0.029(0.005)
2/27/91	0.017(0.001)	0.014(0.007)	0.005(0.002)	0.003(0.002)	0.003(0.001)	0.002(0.001)	0.025(0.004)	0.019(0.010)
3/27/91	0.017(0.002)	0.019(0.002)	0.007(0.001)	0.007(0.001)	0.031(0.003)	0.023(0.002)	0.055(0.006)	0.049(0.005)
4/27/91	0.009(0.001)	0.009(0.001)	0.015(0.006)	0.011(0.002)	0.016(0.001)	0.014(0.001)	0.040(0.008)	0.034(0.004)
5/27/91	0.027(0.004)	0.025(0.003)	0.016(0.002)	0.022(0.005)	0.018(0.002)	0.018(0.002)	0.0610(0.008)	0.065(0.010)

采样时间 Sampling date	T-松针 T-needles	C-松针 C-needles	T-皮+枝 T-bark+ branches	C-皮+枝 C-bark+ branches	T-杂物 T- miscellaneous	C-杂物 C- miscellaneous	T-总量 T-total	C-总量 C-total
6/27/91	0.048(0.004)	0.051(0.004)	0.026(0.006)	0.018(0.004)	0.009(0.001)	0.008(0.001)	0.083(0.011)	0.077(0.009)
7/27/91	0.057(0.005)	0.064(0.004)	0.053(0.009)	0.054(0.010)	0.010(0.001)	0.011(0.001)	0.120(0.015)	0.129(0.015)
8/27/91	0.050(0.004)	0.052(0.004)	0.019(0.006)	0.012(0.003)	0.005(0.000)	0.005(0.000)	0.074(0.010)	0.069(0.007)
9/27/91	0.064(0.007)	0.052(0.005)	0.031(0.015)	0.015(0.003)	0.039(0.006)	0.020(0.003)	0.134(0.028)	0.087(0.011)
10/27/91	0.089(0.008)	0.071(0.010)	0.010(0.004)	0.004(0.001)	0.030(0.003)	0.014(0.002)	0.129(0.015)	0.089(0.013)
11/27/91	0.035(0.004)	0.035(0.005)	0.004(0.001)	0.006(0.002)	0.004(0.000)	0.003(0.001)	0.043(0.005)	0.044(0.008)
12/27/91	0.058(0.006)	0.057(0.007)	0.006(0.003)	0.002(0.001)	0.001(0.000)	0.001(0.000)	0.065(0.009)	0.060(0.008)
1/27/92	0.021(0.002)	0.020(0.002)	0.004(0.001)	0.005(0.001)	0.002(0.000)	0.003(0.001)	0.027(0.003)	0.028(0.004)
2/27/92	0.023(0.003)	0.020(0.002)	0.014(0.005)	0.010(0.004)	0.005(0.001)	0.004(0.000)	0.042(0.009)	0.034(0.006)
3/27/92	0.028(0.004)	0.024(0.002)	0.022(0.004)	0.019(0.004)	0.034(0.003)	0.028(0.004)	0.084(0.011)	0.071(0.010)
4/27/92	0.014(0.002)	0.015(0.001)	0.030(0.001)	0.011(0.002)	0.027(0.002)	0.024(0.003)	0.071(0.005)	0.050(0.006)
5/27/92	0.022(0.003)	0.024(0.002)	0.031(0.006)	0.020(0.004)	0.040(0.004)	0.033(0.004)	0.093(0.013)	0.077(0.010)
6/27/92	0.047(0.002)	0.050(0.001)	0.029(0.005)	0.030(0.007)	0.643(0.086)	0.552(0.095)	0.719(0.093)	0.632(0.103)
7/27/92	0.023(0.003)	0.028(0.002)	0.038(0.006)	0.043(0.007)	0.022(0.002)	0.028(0.002)	0.083(0.011)	0.099(0.011)
8/27/92	0.015(0.003)	0.018(0.002)	0.012(0.003)	0.012(0.003)	0.006(0.001)	0.011(0.003)	0.033(0.007)	0.041(0.008)
9/27/92	0.018(0.003)	0.018(0.003)	0.013(0.005)	0.009(0.002)	0.016(0.002)	0.012(0.002)	0.047(0.010)	0.039(0.007)
10/27/92	0.010(0.002)	0.011(0.002)	0.007(0.002)	0.007(0.004)	0.021(0.002)	0.009(0.002)	0.038(0.006)	0.027(0.008)
11/27/92	0.020(0.003)	0.023(0.002)	0.014(0.007)	0.006(0.003)	0.005(0.000)	0.005(0.001)	0.039(0.010)	0.034(0.006)
12/27/92	0.049(0.006)	0.043(0.004)	0.008(0.003)	0.009(0.004)	0.001(0.000)	0.002(0.000)	0.058(0.009)	0.054(0.008)
1/27/93	0.027(0.003)	0.022(0.001)	0.008(0.003)	0.003(0.001)	0.000(0.000)	0.000(0.000)	0.035(0.006)	0.025(0.003)
2/27/93	0.045(0.005)	0.036(0.004)	0.007(0.002)	0.010(0.003)	0.001(0.000)	0.000(0.000)	0.053(0.007)	0.046(0.007)
3/27/93	0.025(0.002)	0.026(0.002)	0.019(0.005)	0.015(0.006)	0.009(0.001)	0.010(0.001)	0.053(0.008)	0.051(0.009)
4/27/93	0.020(0.002)	0.021(0.002)	0.044(0.011)	0.038(0.009)	0.010(0.001)	0.013(0.001)	0.074(0.014)	0.072(0.012)
5/27/93	0.026(0.002)	0.024(0.002)	0.041(0.008)	0.037(0.009)	0.006(0.001)	0.009(0.001)	0.073(0.011)	0.070(0.012)
年1(Year 1)	0.385(0.038)	0.361(0.043)	0.136(0.023)	0.130(0.027)	0.119(0.013)	0.098(0.011)	0.640(0.074)	0.809(0.081)
年2(Year 2)	0.509(0.052)	0.485(0.048)	0.250(0.061)	0.176(0.039)	0.206(0.021)	0.154(0.020)	0.965(0.134)	0.815(0.107)
年3(Year 3)	0.325(0.036)	0.320(0.028)	0.240(0.060)	0.219(0.058)	0.740(0.096)	0.651(0.108)	1.305(0.192)	1.190(0.194)
平均 Mean	0.406(0.042)	0.389(0.040)	0.209(0.048)	0.175(0.041)	0.355(0.043)	0.301(0.046)	0.970(0.133)	0.865(0.127)

\*T——处理, Treatment; C——保护, Control

元素的年归还量具有明显的年变化特点(表2,表3,表4)。例如,保护样地Al元素年平均归还总量为 $0.865\text{kg}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$ ,变异系数为35%。Al元素归还总量在试验三年间呈逐年上升变化,第三年的Al元素归还总量( $1.19\text{kg}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$ )为第一年的( $0.589\text{kg}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$ )2倍。不同组分Al元素年归还量比较,皮+枝的年际差异最大(变异系数:保护样地为101%),其次是杂物(25%),最小为针叶(22%)。

元素归还量同样具有显著的季节性变化特点。各元素在每一组分中的归还量大部分以春、夏两季最高和冬季最低。例如,Al元素在保护样地针叶组分第一年夏季的归还量为 $0.175\text{kg}/\text{hm}^2$ ,占当年总归还量( $0.361\text{kg}/\text{hm}^2$ )的49%;杂物组分第一年冬季的归还量为 $0.004\text{kg}/\text{hm}^2$ ,仅占当年总归还量( $0.098\text{kg}/\text{hm}^2$ )的4%。

三个元素归还量的大小变化顺序除在杂物组分外,均表现为:Al>Fe>Mn;在杂物组分则为:Fe>Al>Mn(表2,表3,表4)。

### 2.3 凋落物元素归还量对人类干扰的响应

在试验的第一年，处理样地所有组分的元素归还量均大于保护样地的归还量。然而，随着时间的推移，两样地元素归还量间的比例变化根据组分不同而异。在皮+枝组分，处理和保护样地间元素归还量的比例变化规律性不明显，但在针叶组分其所有元素归还量的比例逐渐减小。例如，针叶 Al 元素归还量在第一年处理样地与保护样地的比值为 1.07，第二年 1.05，第三年 1.02；Mn 元素 1.05，1.03，0.99（表 2，表 3，表 4）。

### 3 讨论

前期研究结果表明，尽管本研究马尾松林起源于人工种植，但其凋落物量各组分的空间分布很不均匀<sup>[6]</sup>。造成这种现象的原因是相对较大的凋落物量仅集中在一个或少数的凋落物网<sup>[6]</sup>。这种不均匀性影响了我们对凋落物元素总体归还量的估计，但由于我们随机布置了足够多的凋落物网（ $2 \times 20 \times 3 = 120$  个，这里 2 代表处理组数（处理和保护样地），20 代表每组处理中小样方数，3 代表每个小样方中的凋落物网数），所以本文研究结果是较准确和可靠的。

本文研究结果表明，处理样地凋落物微量元素含量趋向高于保护样地的浓度（表 1）。这种现象可能与处理样地因受人为干扰，林分土壤有效养分浓度较高有关。前期研究发现，收割林下层和凋落物显著提高处理样地土壤有效氮素水平<sup>[4]</sup>。这是由于，这种人为活动改变了土壤的干湿循环和地被物的性质以及减少生态系统对有效氮素的固持<sup>[4]</sup>。

凋落物微量元素归还量间的年际差异很大，且季节性变化也非常明显（表 2，表 3，表 4）。这些结果与凋落量、大量元素归还量以及附近类似林龄的马尾松林和常绿阔叶林凋落物的研究结果基本一致<sup>[6,11,12]</sup>。这种季节性差异主要受气候和马尾松生物学特性即物候的变化支配<sup>[6]</sup>。年际变化特点进一步说明了凋落物量的准确判断需要长期的定位观测。

由于叶片是植物进行光合作用的最重要场所，因此凋落物叶片的营养元素含量具有一定的代表性并能在一定程度上反映植物生境的条件<sup>[13]</sup>。从本研究结果看，保护样地凋落物叶片微量元素归还量相对于处理样地逐年提高的现象，说明了由于保护样地不再受人类干扰，其林下凋落物逐渐在林地中积累。从而，一方面改善了林地的生态条件，另一方面在微生物的作用下林地凋落物分解释放的营养量增加，有利于提高保护样地土壤的肥力。因此收割凋落物和林下层这种人类活动，不但直接从林地中取走凋落物而且还可能降低林分的凋落物量以及微量元素归还量。

表 3 鼎湖山马尾松林凋落物 Mn 元素回归量 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ ，括号内为标准误)\*

Table 3 Contents of Mn element of litterfall in a pine forest of Dinghushan ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ , SE in parentheses)\*

采样时间 Sampling date	T-松针 T-needles	C-松针 C-needles	T-皮+枝 T-bark + branches	C-皮+枝 C-bark + branche	T-杂物 T-miscellaneous	C-杂物 C-miscellaneous	T-总量 T-total	C-总量 C-total
6/27/90	0.018(0.003)	0.018(0.002)	0.005(0.001)	0.003(0.001)	0.002(0.000)	0.002(0.000)	0.025(0.004)	0.023(0.003)
7/27/90	0.027(0.003)	0.029(0.003)	0.003(0.000)	0.004(0.001)	0.001(0.000)	0.001(0.000)	0.031(0.003)	0.034(0.004)
8/27/90	0.037(0.005)	0.040(0.004)	0.004(0.001)	0.004(0.001)	0.001(0.000)	0.001(0.000)	0.042(0.006)	0.045(0.005)
9/27/90	0.020(0.002)	0.017(0.002)	0.000(0.000)	0.001(0.000)	0.000(0.000)	0.000(0.000)	0.020(0.002)	0.018(0.002)
10/27/90	0.016(0.002)	0.004(0.003)	0.000(0.000)	0.000(0.000)	0.001(0.000)	0.000(0.000)	0.017(0.002)	0.014(0.004)

采样时间 Sampling date	T-松针 T-needles	C-松针 C-needles	T-皮+枝 T-bark+ branches	C-皮+枝 C-bark+ branche	T-杂物 T- miscellaneous	C-杂物 C-miscellaneous	T-总量 T-total	C-总量 C-total
11/27/90	0.013(0.002)	0.011(0.002)	0.000(0.000)	0.001(0.000)	0.000(0.000)	0.000(0.000)	0.013(0.002)	0.012(0.002)
12/27/90	0.006(0.001)	0.006(0.001)	0.000(0.000)	0.000(0.000)	0.000(0.000)	0.000(0.000)	0.006(0.001)	0.006(0.001)
1/27/91	0.011(0.001)	0.010(0.002)	0.000(0.000)	0.000(0.000)	0.000(0.000)	0.000(0.000)	0.011(0.001)	0.010(0.002)
2/27/91	0.007(0.002)	0.004(0.002)	0.001(0.000)	0.000(0.000)	0.001(0.000)	0.000(0.000)	0.009(0.002)	0.004(0.002)
3/27/91	0.005(0.001)	0.004(0.000)	0.001(0.000)	0.001(0.000)	0.004(0.000)	0.004(0.000)	0.010(0.000)	0.009(0.000)
4/27/91	0.002(0.000)	0.002(0.000)	0.002(0.001)	0.002(0.000)	0.002(0.000)	0.002(0.000)	0.006(0.001)	0.006(0.000)
5/27/91	0.007(0.001)	0.006(0.001)	0.002(0.000)	0.003(0.001)	0.002(0.000)	0.003(0.000)	0.011(0.001)	0.012(0.002)
6/27/91	0.022(0.003)	0.024(0.002)	0.004(0.001)	0.003(0.001)	0.001(0.000)	0.001(0.000)	0.027(0.004)	0.028(0.003)
7/27/91	0.026(0.003)	0.031(0.003)	0.009(0.001)	0.008(0.002)	0.001(0.000)	0.001(0.000)	0.036(0.004)	0.040(0.005)
8/27/91	0.023(0.003)	0.025(0.002)	0.003(0.001)	0.002(0.000)	0.001(0.000)	0.001(0.000)	0.027(0.004)	0.028(0.002)
9/27/91	0.033(0.004)	0.028(0.003)	0.003(0.002)	0.002(0.000)	0.003(0.000)	0.002(0.000)	0.039(0.006)	0.032(0.003)
10/27/91	0.048(0.006)	0.040(0.007)	0.001(0.000)	0.001(0.000)	0.002(0.000)	0.001(0.000)	0.051(0.006)	0.042(0.007)
11/27/91	0.018(0.002)	0.019(0.003)	0.000(0.000)	0.001(0.000)	0.000(0.000)	0.000(0.000)	0.018(0.002)	0.020(0.003)
12/27/91	0.023(0.003)	0.023(0.004)	0.001(0.000)	0.000(0.000)	0.000(0.000)	0.000(0.000)	0.024(0.003)	0.023(0.004)
1/27/92	0.008(0.001)	0.007(0.001)	0.000(0.000)	0.001(0.000)	0.000(0.000)	0.000(0.000)	0.008(0.001)	0.008(0.001)
2/27/92	0.008(0.001)	0.008(0.001)	0.002(0.001)	0.001(0.001)	0.001(0.000)	0.001(0.000)	0.011(0.002)	0.010(0.002)
3/27/92	0.008(0.002)	0.006(0.001)	0.003(0.000)	0.003(0.001)	0.004(0.000)	0.005(0.001)	0.015(0.002)	0.014(0.003)
4/27/92	0.004(0.000)	0.004(0.000)	0.004(0.001)	0.002(0.000)	0.003(0.000)	0.004(0.001)	0.011(0.001)	0.010(0.001)
5/27/92	0.006(0.001)	0.006(0.001)	0.004(0.001)	0.003(0.001)	0.005(0.000)	0.006(0.001)	0.015(0.003)	0.015(0.003)
6/27/92	0.023(0.002)	0.025(0.001)	0.005(0.001)	0.005(0.001)	0.082(0.011)	0.068(0.012)	0.110(0.014)	0.098(0.014)
7/27/92	0.011(0.002)	0.013(0.001)	0.006(0.001)	0.006(0.001)	0.003(0.000)	0.003(0.000)	0.020(0.003)	0.022(0.002)
8/27/92	0.007(0.002)	0.008(0.001)	0.002(0.001)	0.002(0.001)	0.001(0.000)	0.001(0.000)	0.010(0.003)	0.011(0.002)
9/27/92	0.009(0.001)	0.011(0.002)	0.001(0.000)	0.001(0.000)	0.001(0.000)	0.001(0.000)	0.011(0.000)	0.013(0.002)
10/27/92	0.005(0.001)	0.007(0.001)	0.001(0.000)	0.001(0.000)	0.001(0.000)	0.001(0.000)	0.007(0.001)	0.009(0.001)
11/27/92	0.010(0.001)	0.013(0.001)	0.002(0.001)	0.001(0.000)	0.000(0.000)	0.000(0.000)	0.012(0.002)	0.014(0.001)
12/27/92	0.018(0.002)	0.016(0.002)	0.001(0.000)	0.001(0.001)	0.000(0.000)	0.000(0.000)	0.019(0.002)	0.017(0.003)
1/27/93	0.010(0.001)	0.008(0.001)	0.001(0.000)	0.000(0.000)	0.000(0.000)	0.000(0.000)	0.011(0.001)	0.008(0.001)
2/27/93	0.017(0.002)	0.013(0.001)	0.001(0.000)	0.001(0.000)	0.000(0.000)	0.000(0.000)	0.018(0.002)	0.014(0.001)
3/27/93	0.007(0.001)	0.006(0.000)	0.002(0.001)	0.002(0.001)	0.001(0.000)	0.002(0.000)	0.010(0.002)	0.010(0.001)
4/27/93	0.005(0.001)	0.005(0.001)	0.006(0.001)	0.005(0.001)	0.001(0.000)	0.002(0.000)	0.012(0.002)	0.012(0.002)
5/27/93	0.007(0.001)	0.006(0.001)	0.005(0.001)	0.005(0.001)	0.001(0.000)	0.002(0.000)	0.013(0.002)	0.013(0.002)
年1(Year 1)	0.169(0.023)	0.161(0.022)	0.018(0.003)	0.019(0.004)	0.014(0.000)	0.013(0.001)	0.201(0.026)	0.193(0.027)
年2(Year 2)	0.227(0.029)	0.221(0.028)	0.034(0.008)	0.027(0.006)	0.021(0.001)	0.022(0.003)	0.282(0.038)	0.270(0.037)
年3(Year 3)	0.129(0.017)	0.131(0.013)	0.033(0.007)	0.030(0.007)	0.091(0.011)	0.080(0.012)	0.253(0.035)	0.241(0.032)
平均 Mean	0.175(0.023)	0.171(0.021)	0.028(0.006)	0.025(0.006)	0.042(0.031)	0.038(0.005)	0.245(0.033)	0.235(0.032)

\* T——处理, Treatment; C——保护, Control

表 4 鼎湖山马尾松林凋落物 Fe 元素回归量 (kg/hm<sup>2</sup>, 括号内为标准误)\*Table 4 Contents of Fe element of litterfall in a pine forest of Dinghushan (kg/hm<sup>2</sup>, SE in parentheses)\*

采样时间 Sampling date	T-松针 T-needles	C-松针 C-needles	T-皮+枝 T-bark+ branches	C-皮+枝 C-bark+ branches	T-杂物 T- miscellaneous	C-杂物 C- miscellaneous	T-总量 T-total	C-总量 C-total
6/27/90	0.027(0.003)	0.027(0.003)	0.017(0.003)	0.014(0.003)	0.037(0.005)	0.022(0.003)	0.081(0.011)	0.063(0.009)
7/27/90	0.043(0.004)	0.045(0.004)	0.010(0.001)	0.023(0.007)	0.017(0.001)	0.013(0.001)	0.070(0.006)	0.081(0.012)

采样时间 Sampling date	T-松针 T-needles	C-松针 C-needles	T-皮+枝 T-bark+ branches	C-皮+枝 C-bark+ branches	T-杂物 T- miscellaneous	C-杂物 C- miscellaneous	T-总量 T-total	C-总量 C-total
8/27/90	0.057(0.005)	0.061(0.005)	0.014(0.003)	0.019(0.004)	0.014(0.001)	0.008(0.001)	0.085(0.009)	0.088(0.010)
9/27/90	0.030(0.003)	0.026(0.003)	0.002(0.001)	0.004(0.001)	0.007(0.001)	0.004(0.000)	0.039(0.005)	0.034(0.004)
10/27/90	0.024(0.005)	0.022(0.003)	0.000(0.000)	0.001(0.001)	0.010(0.002)	0.006(0.001)	0.034(0.007)	0.029(0.005)
11/27/90	0.021(0.006)	0.016(0.002)	0.002(0.000)	0.002(0.001)	0.005(0.001)	0.004(0.000)	0.028(0.007)	0.022(0.003)
12/27/90	0.015(0.002)	0.014(0.002)	0.001(0.001)	0.001(0.000)	0.001(0.000)	0.001(0.000)	0.017(0.003)	0.016(0.002)
1/27/91	0.026(0.003)	0.023(0.003)	0.002(0.001)	0.001(0.000)	0.000(0.000)	0.001(0.000)	0.028(0.004)	0.025(0.003)
2/27/91	0.016(0.002)	0.012(0.006)	0.003(0.001)	0.002(0.001)	0.002(0.000)	0.002(0.001)	0.021(0.003)	0.016(0.008)
3/27/91	0.015(0.001)	0.016(0.002)	0.003(0.001)	0.003(0.001)	0.049(0.005)	0.026(0.002)	0.067(0.007)	0.045(0.005)
4/27/91	0.008(0.001)	0.008(0.001)	0.007(0.003)	0.006(0.001)	0.025(0.001)	0.016(0.001)	0.040(0.005)	0.030(0.003)
5/27/91	0.024(0.004)	0.022(0.003)	0.007(0.001)	0.011(0.003)	0.029(0.003)	0.020(0.002)	0.060(0.008)	0.053(0.008)
6/27/91	0.034(0.003)	0.038(0.003)	0.014(0.003)	0.014(0.003)	0.019(0.002)	0.013(0.002)	0.067(0.008)	0.065(0.008)
7/27/91	0.042(0.004)	0.048(0.003)	0.029(0.005)	0.043(0.008)	0.022(0.002)	0.017(0.001)	0.093(0.011)	0.108(0.012)
8/27/91	0.037(0.004)	0.039(0.003)	0.010(0.003)	0.010(0.002)	0.010(0.001)	0.008(0.001)	0.057(0.008)	0.057(0.006)
9/27/91	0.052(0.009)	0.043(0.005)	0.014(0.007)	0.009(0.002)	0.049(0.007)	0.022(0.003)	0.115(0.023)	0.074(0.010)
10/27/91	0.075(0.014)	0.058(0.008)	0.005(0.002)	0.002(0.001)	0.038(0.003)	0.015(0.002)	0.118(0.019)	0.075(0.011)
11/27/91	0.027(0.004)	0.029(0.004)	0.002(0.001)	0.003(0.001)	0.005(0.000)	0.003(0.001)	0.034(0.005)	0.035(0.006)
12/27/91	0.052(0.006)	0.049(0.006)	0.003(0.001)	0.001(0.000)	0.000(0.000)	0.001(0.000)	0.055(0.007)	0.051(0.006)
1/27/92	0.019(0.002)	0.017(0.002)	0.002(0.000)	0.003(0.001)	0.001(0.000)	0.003(0.001)	0.022(0.002)	0.023(0.004)
2/27/92	0.020(0.002)	0.017(0.002)	0.008(0.003)	0.006(0.002)	0.003(0.000)	0.004(0.001)	0.031(0.005)	0.027(0.005)
3/27/92	0.024(0.003)	0.020(0.001)	0.010(0.002)	0.009(0.002)	0.054(0.006)	0.031(0.004)	0.088(0.011)	0.060(0.007)
4/27/92	0.012(0.001)	0.013(0.001)	0.014(0.005)	0.006(0.001)	0.042(0.004)	0.027(0.003)	0.068(0.010)	0.046(0.005)
5/27/92	0.000(0.003)	0.021(0.002)	0.014(0.003)	0.010(0.002)	0.063(0.007)	0.037(0.005)	0.077(0.013)	0.068(0.009)
6/27/92	0.034(0.003)	0.038(0.003)	0.016(0.003)	0.024(0.006)	1.372(0.184)	0.881(0.151)	1.422(0.190)	0.943(0.160)
7/27/92	0.016(0.002)	0.021(0.001)	0.021(0.003)	0.034(0.005)	0.048(0.004)	0.045(0.003)	0.085(0.009)	0.100(0.009)
8/27/92	0.011(0.003)	0.013(0.002)	0.006(0.002)	0.009(0.003)	0.014(0.002)	0.017(0.005)	0.031(0.007)	0.039(0.010)
9/27/92	0.013(0.002)	0.015(0.002)	0.006(0.002)	0.005(0.002)	0.020(0.002)	0.013(0.002)	0.039(0.006)	0.033(0.006)
10/27/92	0.007(0.001)	0.009(0.001)	0.003(0.001)	0.004(0.002)	0.026(0.002)	0.010(0.002)	0.036(0.004)	0.023(0.005)
11/27/92	0.016(0.002)	0.019(0.002)	0.007(0.003)	0.004(0.002)	0.006(0.001)	0.005(0.001)	0.029(0.006)	0.028(0.005)
12/27/92	0.044(0.005)	0.037(0.003)	0.005(0.002)	0.005(0.002)	0.001(0.000)	0.002(0.000)	0.050(0.007)	0.044(0.005)
1/27/93	0.024(0.003)	0.019(0.002)	0.005(0.001)	0.002(0.000)	0.000(0.000)	0.000(0.000)	0.029(0.004)	0.021(0.002)
2/27/93	0.041(0.004)	0.032(0.003)	0.004(0.001)	0.006(0.002)	0.000(0.000)	0.000(0.000)	0.045(0.005)	0.038(0.005)
3/27/93	0.022(0.002)	0.022(0.001)	0.009(0.002)	0.007(0.003)	0.015(0.002)	0.011(0.001)	0.046(0.006)	0.040(0.005)
4/27/93	0.017(0.002)	0.018(0.002)	0.020(0.005)	0.019(0.005)	0.016(0.001)	0.015(0.001)	0.053(0.008)	0.052(0.008)
5/27/93	0.022(0.002)	0.021(0.002)	0.018(0.004)	0.019(0.004)	0.009(0.001)	0.010(0.001)	0.049(0.007)	0.050(0.007)
年1(Year 1)	0.306(0.039)	0.292(0.037)	0.068(0.016)	0.087(0.023)	0.196(0.020)	0.123(0.012)	0.570(0.075)	0.502(0.072)
年2(Year 2)	0.394(0.055)	0.392(0.040)	0.125(0.035)	0.116(0.025)	0.306(0.032)	0.181(0.024)	0.825(0.122)	0.689(0.089)
年3(Year 3)	0.267(0.031)	0.264(0.024)	0.120(0.029)	0.138(0.036)	1.527(0.199)	1.009(0.167)	1.914(0.259)	1.411(0.227)
平均 Mean	0.322(0.042)	0.316(0.034)	0.104(0.027)	0.114(0.028)	0.676(0.084)	0.438(0.068)	1.103(0.152)	0.867(0.129)

T—处理, Treatment; C—保护, Control

## 参 考 文 献

- [1] Mo J M, et al. Nitrogen distribution in vegetation of a subtropical monsoon evergreen broadleaf forest in China. Tropics (Japan), 1994, 3 (2): 143~153
- [2] 肖祥希. 马尾松人工林生态系统养分特性的研究. 福建林业科技, 2000, 27 (4): 14~18

- [3] Mo J M, et al. Nutrient dynamics of a human-impacted pine forest in a MAB Reserve of subtropical China. *Biotropica*, 1995, 27: 290~304
- [4] 莫江明等. 凋落物和林下层收割对鼎湖山生物圈保护区马尾松林土壤有效氮的影响. *生态学报*, 1997, 17 (1): 109~112
- [5] 莫江明等. 鼎湖山生物圈保护马尾松林凋落物的分解及其营养动态研究. *植物生态学报*, 1996, 20 (6): 534~542
- [6] 莫江明等. 鼎湖山马尾松林凋落物及其对人类干扰反响的研究. *植物生态学报*, 2001, 25 (6): 656~664
- [7] 黄展帆, 范征广. 鼎湖山的气候. *热带亚热带森林生态系统研究*, 1982, 1: 11~13
- [8] Brown S, et al. Structure and organic matter dynamics of a human-impacted pine forest in a MAB Reserve of subtropical China. *Biotropica*, 1995, 27: 276~289
- [9] Anderson J M and Ingram J S. *Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods*. Wallingford, Oxford, England: CAB International, 1989
- [10] Luh Huang C Y and Schulte E E. Digestion of plant tissue for analysis by ICP emission spectroscopy. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1985, 16: 943~958
- [11] 翁轰等. 鼎湖山森林凋落物量及营养元素含量研究. *植物生态学与地植物学报*, 1993, 17 (4): 299-304
- [12] 蚁伟民等. 鼎湖山黄果厚壳桂群落的凋落物及其氮素动态. *植物生态学报*, 1994, 18 (3): 228~235
- [13] 莫江明等. 鼎湖山亚热带常绿阔叶林植物营养元素含量分配格局研究. *热带亚热带植物学报*, 2000, 8 (3): 198~206