

我国南亚热带几种人工林的生物物质 循环特点及其对土壤的影响*

吴志东 彭福泉 车玉萍 尹瑞龄 顾希贤

(中国科学院南京土壤研究所)

吴幼媚

(广西壮族自治区林业科学研究所)

摘 要

通过对杉木、马尾松、红荷木、格木四种人工林的三年定位研究,初步获得了四种林木对主要营养元素的生物吸收和归还特点、对土壤养分状况、水分状况、微生物状况和土壤酶活性的影响等一系列资料。初步阐明了四种林木凋落物的数量及主要营养元素含量,研究了四种林木凋落物的分解特点。从而为进一步研究林木混交提供了科学依据。

研究表明,阔叶树种与针叶树种相比,在改善土壤理化性状、提高土壤生产力等方面都表现出明显的优点。

我国南亚热带的主要人工林,长期以来以杉木和松类为主。经过几代更新,出现了土壤肥力减退,林木长势减弱。早衰、枯梢和“老头树”多有发生,对发展林业造成威胁^[2]。近十余年开始注意速生阔叶树种的栽培,以期改善林业生产前景。鉴于此,作者在定位试验的基础上,试图以生物地球化学观点^[4,7],剖析几种人工林的生物物质循环特点及其对土壤的影响,探索合理混交、改良土壤和综合开发的途径。

一、定位试验设计

定位试验设在广西南宁市郊的自治区林科所树木园内(北纬 $21^{\circ}56'$,东经 $108^{\circ}21'$),海拔为120米,土壤发育于寒武系砂岩的浅丘岗地,为赤红壤。当地热量丰富,雨水充沛¹⁾。年均气温 21.6°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温为 7483°C ;年均降水量为1340毫米,多集中于6—9月;年均蒸发量1609毫米,干湿季明显;常年多东和东北风,夏季多台风侵袭,属南亚热带季风气候。供试林地的基本状况列于表1。

供试树种选用当地栽培较多的杉(*Cunninghamia lanceolata*)、马尾松(*Pinus massoniana*)作为针叶树的代表;阔叶树种选用茶科的红荷木(*Schima wallichii*)和苏木科的格木(*Erythrophloeum fordii*)。上述林木的树龄均在20年以上,对土壤表层的影响已显示有差异(表2、3)。

* 本文中植物、土壤样品的化学测定由中国科学院南京土壤研究所朱韻芬、教剑英和高坤林同志承担;论文得到管子同志审阅和修改,一并致谢。

1) 北京气象中心资料室编,1984:中国地面气候资料。气象出版社。

表 1 供试林地的基本情况(1983)*
Table 1 Some conditions of forest trees in experiment

| 类型 Type | 林龄 Age of trees (year) | 株/公顷 tree/ha | 郁闭度 Crown density | 平均株高 Mean height of tree (m) | 平均胸径 Mean d.b.h. (cm) | 平均材积 Mean stockpile (m ³) | 蓄积量 Stocking (m ³ /ha) | 下木覆盖度 Coverage of underbrush (%) | 下木主要类型 Type of underbrush |
|------------|------------------------------|-----------------|----------------------|---------------------------------------|-----------------------------|--|---|---|------------------------------|
| 杉木 | 26 | 2715 | 0.95 | 9.0 | 10.8 | 0.05 | 141.0 | 5.0 | 东方乌毛蕨 |
| 马尾松 | 约 20 | 1620 | 0.80 | 12.7 | 15.6 | 0.11 | 180.0 | 7.6 | 铁芒箕、五节芒 |
| 红荷木 | 约 20 | 1950 | 0.80 | 9.3 | 9.6 | 0.04 | 79.5 | 9.0 | 铁芒箕 |
| 格木 | 22 | 795 | 0.95 | 12.1 | 15.1 | 0.11 | 88.5 | 6.0 | 鸭脚木、越南悬钩子等 |

* 参加调查的还有广西林科所刘佑房同志。

表 2 林区土壤的化学组成 (<1mm, 占烘干土重%)
Table 2 Chemical composition of soil under forest (<1mm, % of dry weight)

| 采样深度 Depth (cm) | pH (H ₂ O) | 全氮 N (%) | 烧失量 Ign. loss | SiO ₂ | Fe ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ | CaO | MgO | TiO ₂ | MnO | K ₂ O | Na ₂ O | P ₂ O ₅ |
|-----------------------|--------------------------|----------------|---------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------------------|-------|------------------|-------------------|-------------------------------|
| 0-10 | 3.84 | 0.16 | 10.63 | 71.38 | 5.85 | 10.00 | 0.18 | 0.29 | 0.91 | 0.011 | 0.97 | 0.10 | 0.08 |
| 10-29 | 4.14 | 0.08 | 6.94 | 70.63 | 5.52 | 14.08 | 0.07 | 0.38 | 0.94 | 0.009 | 1.09 | 0.11 | 0.09 |
| 39-70 | 4.38 | 0.06 | 6.63 | 67.55 | 5.72 | 16.99 | 0.07 | 0.49 | 0.90 | 0.013 | 1.29 | 0.12 | 0.09 |
| 75-85 | 4.68 | 0.05 | 6.42 | 66.18 | 7.06 | 17.41 | 0.01 | 0.51 | 0.82 | 0.012 | 1.45 | 0.13 | 0.09 |

表 3 林下土壤的理化性状

Table 3 Physical-chemical behavior of soils under forest

| 类型 Type | pH (H ₂ O) | 有机质* O.M. (%) | 全氮* N (%) | C/N | HA/FA** | 全磷 P ₂ O ₅ (%) | 全钾 K ₂ O (%) | 土壤容重 Bulk density of soil (g/cm ³) | |
|------------|--------------------------|---------------------|-----------------|------|---------|--|-------------------------------|--|---------|
| | | | | | | | | 0-20cm | 20-40cm |
| 杉木 | 4.73 | 2.26 | 0.10 | 13.8 | 0.63 | 0.09 | 0.72 | 1.26 | 1.53 |
| 马尾松 | 4.31 | 3.53 | 0.13 | 16.1 | 0.77 | 0.07 | 1.03 | 1.33 | 1.49 |
| 红荷木 | 4.26 | 3.97 | 0.14 | 16.7 | 0.53 | 0.15 | 0.87 | 1.41 | 1.48 |
| 格木 | 4.79 | 2.76 | 0.14 | 11.6 | 0.65 | 0.07 | 0.70 | 1.19 | 1.49 |

* 为多次采样平均值;

** HA--胡敏酸; FA--富里酸。

试验时间从 1983 年 8 月至 1986 年 7 月。主要研究项目为凋落物数量和类型;凋落物腐解;土壤温度、水分状况;土壤微生物状况及土壤酶活性等。

二、研究结果

(一) 不同林木对主要营养元素的吸收及归还特点^[3]

1. 主要营养元素需求量的比较 生物体在长期演化过程中逐步形成了从环境中选择吸收自身需要的那些物质,以补充新陈代谢过程。而叶片“是植物诸功能的中心,它对直接影响光合作用的矿质元素来说,是相当灵敏的指示器”(F. F. Smith, 1962),树叶养分含量占整株树的 40—50%,鲜叶养分含量能反应出其树木对土壤中各元素的需求方向。根据我们对林木鲜叶的测定,杉木对钙、镁的需要比较多;马尾松对锰的吸收较高(锰占灰分总量的 3.68%);红荷木是富铝植物,它对铝的吸收量是其他三种林木的 5—10 倍;格木根系有根瘤菌,所以其叶片含氮量甚高(表 4),是该地区叶片含氮量较高的一类林木。

表 4 林木鲜叶的化学组成(占干物质重 %)*

Table 4 Chemical composition of fresh leaves of forest trees
(% of dry weight)

| 类型 Type | 全氮 (N) | 灰分 Ash | SiO ₂ | Fe ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ | CaO |
|------------|-----------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 杉木 | 1.13 | 3.54 | 0.11 | 0.013 | 0.028 | 1.08 |
| 马尾松 | 1.02 | 2.34 | 0.13 | 0.012 | 0.048 | 0.40 |
| 红荷木 | 1.05 | 3.74 | 0.59 | 0.042 | 0.23 | 0.77 |
| 格木 | 3.00 | 2.74 | 0.14 | 0.013 | 0.022 | 0.46 |
| 类型 Type | MgO | TiO ₂ | MnO | K ₂ O | Na ₂ O | P ₂ O ₅ |
| 杉木 | 0.68 | 0.001 | 0.039 | 0.86 | 0.015 | 0.28 |
| 马尾松 | 0.46 | 0.003 | 0.086 | 0.72 | 0.005 | 0.17 |
| 红荷木 | 0.50 | 0.001 | 0.084 | 1.09 | 0.012 | 0.12 |
| 格木 | 0.58 | 0.001 | 0.010 | 0.73 | 0.24 | 0.22 |

* 鲜叶采于 7 月份,为东、南、西、北四个方位的平均值。

2. 不同林木凋落物的数量和落叶节律 林木凋落物的数量决定于本身的生物学特性和外界环境的影响。观测结果(三年平均值)表明,格木的凋落物总量最高,杉木最低,马尾松与红荷木比较接近(表 5)。与鼎湖山常绿阔叶林^[3]和同一地区高峰林场的某些针、阔叶林^[2]相比,上述四种林的凋落物总量略显偏低。

不同林木凋落物组成间的比例亦不相同。马尾松以松针为主,占凋落物总量的 80% 以上;成熟的杉木林果实数量较多,占总量的 30% 以上。显然,上述比例将随林木的生长发育而不断改变,但其落叶所占的主导地位不变(表 6)。

图 1 所示为各树种在正常年份落叶节律的差异。落叶高峰期杉木出现在 5 月,月凋落量为 563 公斤/公顷,占年凋落量的 19.7%;马尾松在 8 月,为 907 公斤/公顷,占

表 5 四种林木凋落物的总重量

Table 5 The total weight of litter in four types of trees

| 类型 Type | 凋落物总重量 Total weight of litter (dry weight, kg/ha) | | | |
|------------|---|---------------|---------------|--------|
| | 1983年8月—84年7月 | 1984年8月—85年7月 | 1985年8月—86年7月 | 三年平均 |
| 杉木 | 2078.2 | 3283.8 | 3641.5 | 3001.2 |
| 马尾松 | 1555.7 | 5948.0 | 4543.8 | 4015.8 |
| 红荷木 | 3318.6 | 5257.6 | 4436.4 | 4337.5 |
| 格木 | 4821.8 | 8315.3 | 5990.5 | 6375.9 |

表 6 凋落物的组成成分

Table 6 The components of litter

| 类型 Type | 凋落物重量 Dry weight of litter (kg/ha, % of total weight) | | | | | |
|------------|---|------|-----------|------|---------|------|
| | 枝 Branch | (%) | 叶 Foliage | (%) | 果 Fruit | (%) |
| 杉木 | 752.7 | 20.7 | 1763.3 | 48.4 | 1125.5 | 30.9 |
| 马尾松 | 660.3 | 14.5 | 3654.6 | 80.4 | 229.0 | 5.1 |
| 红荷木 | 967.2 | 21.8 | 3344.3 | 75.4 | 125.0 | 2.8 |
| 格木 | 1574.7 | 26.3 | 3954.0 | 66.0 | 461.9 | 7.7 |

29.7%；格木在6月，月凋落量为1183公斤/公顷，占21.9%。红荷木没有明显的落叶高峰，比较而言，雨季落叶少些，旱季落叶多些。此外，环境条件对落叶节律的影响甚大。旱、风、暴雨及病虫害等都能使其产生变化。试验的第二年度，9月发生强台风袭击，最大风速达12米/秒，造成各林木集中落叶和断枝，受害最烈的是杉木，其次是红荷木，其凋落量均超过正常年份生理落叶高峰期的落叶量。

不同林木凋落物量之间及其月变化的关系，经方差分析表明(表7)，树种间凋落物量的差异是显著的；凋落物量的月变化达到极显著差异的水平。前者表现了不同林木对土

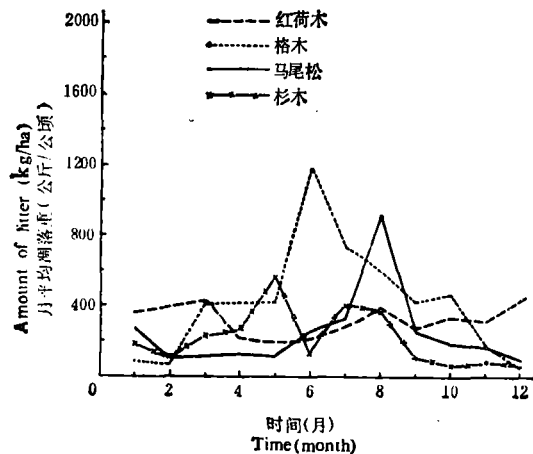


图 1 林木落叶节律比较

Fig. 1 Annual fluctuation of fallen leaves of forest trees

壤归还强度的差异,后者则说明林木落叶节律的客观存在。

表 7 不同林木凋落物量的方差分析

Table 7 The analysis of variance for littres of different forest trees

| 变异来源 V.C.S. | 平方和 Sum of squares | 自由度 <i>f.</i> | 均方 Mean square | <i>F</i> | <i>F_α</i> | 显著性 Significance |
|----------------|-----------------------|------------------|-------------------|----------|--------------------------|---------------------|
| 树 种 | 83131.495 | 3 | 27710.498 | 3.489 | $F_{0.05}(3,96) = 2.70$ | * |
| 月变化 | 247357.809 | 11 | 22487.074 | 2.832 | $F_{0.01}(11,96) = 2.44$ | ** |
| 树种×月变化 | 113598.740 | 33 | 3442.386 | 0.433 | $F_{0.1}(33,96) = 1.42$ | — |
| 误 差 | 762380.352 | 96 | 7941.462 | — | — | — |
| 总 和 | 1206468.038 | 143 | — | — | — | — |

3. 凋落物主要营养元素含量及其变化^[1, 5] 营养元素在生物体的浓度除了受土壤供肥状况的影响外,还有自身的调节、迁移。从林木鲜叶与落叶间元素含量变化来看,氮、磷、钾被转移,其它元素则相对富集。不同林木间,元素的生物迁移特点也各不相同(表 8)。

表 9 列出了不同林木凋落物各部分的化学成分。一般来说,林木果实中磷、钾含量相对较高,叶片中氮的含量稍高;另外,针叶树枝干中硅有所富集,阔叶树枝干中钙、镁含量相对较高。

研究表明,不同林木对各元素的归还强度不同。从生物归还系数分级^[2]来看(表 10),杉木中钙的归还系数达到千位数,即 $n \times 10^3$;格木有较多的氮素归还土壤,其归还系数是其他三种树木的 10 倍;针叶树对锰的归还比较强烈,红荷木与马尾松有比较相近的元素归还特点。这些差异,除了与林木对各元素的需求有关外,还决定于林木归还土壤的主要部分——叶片的元素含量。

(二) 凋落物分解特点^[6]

1. 不同林木凋落物的分解速度 研究中分别用尼龙袋地表分解和砂管土层中埋桩分解试验,通过测定其总失重率和有机碳损失率研究各林木凋落物的分解速度。在分解条件基本一致的情况下,各林木的凋落物分解速度明显不同(表 11),红荷木分解最快,为 73%,杉木最慢,为 20%。从表中还说明,在地面条件下各林木凋落物都表现为前期分解快,后期分解慢。除杉木外,其余林木凋落物在开始三个月内,分解率分别达到 28.03—53.05%;在前半年的分解率为年分解率的 80% 以上,甚至杉木可达 96%。凋落物残体总的分解失重情况也与上述有机碳分解率相一致。

2. 分解过程中有机组分的变化 以红荷木作为阔叶树代表,马尾松为针叶树代表,分别研究了各分解阶段它们的有机组分的变化。结果表明(表 12),针叶树种的半纤维素、纤维素和木质素均高于阔叶树种。这些化合物在分解初期通常不表现失重,木质素在为期一年的各分解阶段中还表现为相对积聚;而苯醇溶性物和水溶物在早期便表现为分解失重,随后又逐步趋于稳定;随着有机成分的不断分解,灰分含量稳定地增加,这是凋落物总体失重引起的相对富集。

表 8 营养元素在林木叶片中的生物迁移特点*
Table 8 The characteristics of biological migration of nutrient elements in leaves of forest trees

| 类型 Type | 全氮 N (%) | 灰分 Ash (%) | 凋落物/鲜叶 Litter/fresh leaf (% of ash) | | | | | | | | | |
|------------|----------------|------------------|-------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------------------|------|------------------|-------------------|-------------------------------|
| | | | SiO ₂ | Fe ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ | CaO | MgO | TiO ₂ | MnO | K ₂ O | Na ₂ O | P ₂ O ₅ |
| 杉木 | 0.82 | 1.24 | 9.18 | 3.02 | 1.97 | 1.61 | 0.68 | 4.96 | 1.57 | 0.07 | 1.94 | 0.32 |
| 马尾松 | 0.54 | 0.72 | 2.45 | 5.64 | 2.02 | 1.81 | 1.17 | 1.56 | 1.59 | 0.50 | 4.77 | 0.59 |
| 红荷木 | 0.77 | 1.03 | 2.19 | 1.46 | 1.85 | 0.75 | 1.02 | 8.98 | 1.47 | 0.59 | 1.90 | 0.74 |
| 柞木 | 0.72 | 0.95 | 3.96 | 3.27 | 1.31 | 1.34 | 1.14 | 3.29 | 2.27 | 0.53 | 1.23 | 0.63 |

* 全氮、灰分为占干物质重的%的比值,即凋落物的全氮或灰分含量百分比与鲜叶中的全氮或灰分含量百分比之间的比值;表列数值大于1,表明该元素在凋落物中相对富集,小于1,表现为淋溶(或迁移)。

表 9 林木凋落物各分组的化学组成

Table 9 Chemical composition of various fractions of litter in forest trees

| 类型 Type | 组分 Fraction | 全氮 N (%) | 灰分 Ash (%) | 占灰分重%, % of ash weight | | | | | | | | | |
|------------|----------------|----------------|------------------|------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-------|------------------|------|------------------|-------------------|-------------------------------|
| | | | | SiO ₂ | Fe ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ | CaO | MgO | TiO ₂ | MnO | K ₂ O | Na ₂ O | P ₂ O ₅ |
| 杉木 | 枝叶果 | 0.47 | 2.86 | 32.85 | 1.76 | 2.37 | 40.14 | 16.33 | 0.22 | 0.91 | 2.40 | 1.10 | 2.30 |
| | | 0.93 | 4.39 | 28.51 | 1.11 | 1.56 | 49.19 | 13.15 | 0.14 | 1.73 | 1.73 | 0.82 | 2.52 |
| 马尾松 | 枝叶果 | 0.97 | 2.08 | 25.57 | 2.86 | 3.67 | 28.71 | 20.04 | 0.32 | 1.57 | 7.90 | 0.88 | 4.94 |
| | | 0.29 | 1.52 | 14.26 | 1.81 | 7.64 | 56.58 | 8.74 | 0.18 | 2.16 | 5.48 | 1.23 | 2.46 |
| 红荷木 | 枝叶果 | 0.55 | 1.68 | 13.61 | 2.09 | 4.14 | 30.92 | 22.99 | 0.20 | 5.86 | 15.33 | 1.02 | 4.30 |
| | | 0.45 | 1.14 | 12.18 | 2.25 | 5.31 | 39.57 | 10.45 | 0.18 | 1.85 | 19.97 | 0.97 | 7.73 |
| 柞木 | 枝叶果 | 0.52 | 1.72 | 11.65 | 2.05 | 3.02 | 41.41 | 23.48 | 0.21 | 2.53 | 11.56 | 1.13 | 3.42 |
| | | 0.81 | 3.84 | 34.54 | 1.64 | 11.37 | 15.54 | 13.63 | 0.24 | 3.30 | 17.21 | 0.61 | 2.39 |
| 柞木 | 枝叶果 | 0.57 | 1.32 | 12.61 | 1.79 | 3.30 | 14.91 | 18.83 | 0.19 | 1.99 | 41.89 | 1.31 | 3.65 |
| | | 1.01 | 1.61 | 5.23 | 1.11 | 0.91 | 38.40 | 22.50 | 0.11 | 1.08 | 16.09 | 10.76 | 4.26 |
| 柞木 | 枝叶果 | 2.17 | 2.59 | 20.25 | 1.55 | 1.05 | 22.51 | 24.11 | 0.12 | 0.83 | 14.21 | 10.76 | 5.06 |
| | | 1.19 | 1.27 | 7.38 | 1.79 | 1.34 | 21.66 | 13.56 | 0.15 | 0.66 | 39.80 | 2.82 | 11.39 |

表 10 林木各营养元素归还系数的比较

Table 10 Comparison for the return coefficients of nutrient elements of forest trees

| 类型 Type | 归还系数分级 Grade of the return coefficient | | | | | |
|------------|--|-----------------|------------------------------|-----------------|----------------------------------|--------------------|
| | $n \times 10^3$ | $n \times 10^1$ | $n \times 10^1$ | $n \times 10^0$ | $n \times 10^{-1}$ | $n \times 10^{-2}$ |
| 杉木 | CaO | MnO | P_2O_5, MgO, Na_2O | N, K_2O | Fe_2O_3, SiO_2 | Al_2O_3, TiO_2 |
| 马尾松 | | CaO, MnO | P_2O_5, MgO, Na_2O, K_2O | N | $Al_2O_3, Fe_2O_3, SiO_2, TiO_2$ | |
| 红荷木 | | CaO, MnO | MgO, P_2O_5, K_2O | Na_2O, N | Al_2O_3, SiO_2, Fe_2O_3 | TiO_2 |
| 格木 | | CaO | $Na_2O, MnO, MgO, P_2O_5, N$ | K_2O | SiO_2, Fe_2O_3 | TiO_2, Al_2O_3 |

表 11 林木凋落物的地面分解速度(有机碳分解%)

Table 11 The decomposed velocity of forest litters at land surface (% of O.M.—C.)

| 类型 Type | 连续分解天数 Time of continuous decomposition (day) | | | | | | | |
|------------|---|-------|---------|-------|-------|----------|-------|--------|
| | 90 天 | | 180 天 | | | 360 天 | | |
| | 第 1—3 月 | 占年分解% | 第 4—6 月 | 累计% | 占年分解% | 第 6—12 月 | 累计% | 年总失重%* |
| 杉木 | 1.84 | 9.0 | 17.81 | 19.65 | 96.3 | 0.76 | 20.41 | 20.22 |
| 马尾松 | 28.03 | 58.5 | 14.53 | 42.56 | 88.9 | 5.34 | 47.90 | 42.47 |
| 红荷木 | 53.05 | 73.1 | 10.06 | 63.11 | 87.0 | 9.45 | 72.56 | 57.58 |
| 格木 | 37.34 | 67.4 | 10.46 | 47.80 | 86.3 | 7.59 | 55.39 | 50.52 |

* 凋落物分解一年后,总重量减少的部分占分解前总重的%,均以风干重计算。

表 12 凋落物不同分解阶段有机组分的变化(占干物质重%)

Table 12 The change of organic components of litter at different stages of decomposition (% of dry weight)

| 树种 Type | 连续分解天数 T.O.C.D. (day) | 灰分 Ash | 苯醇溶性物 Benzyl alcohol soluble | 水溶物 Water sol- uble | 半纤维素 Semicel- lulose | 纤维素 Cellulose | 木质素 Lignin |
|------------|-----------------------------|-----------|------------------------------------|---------------------------|----------------------------|------------------|---------------|
| 红荷木 | 分解前 | 4.26 | 14.97 | 7.66 | 16.37 | 14.50 | 35.66 |
| | 90 天 | 5.35 | 7.78 | 5.18 | 18.79 | 16.40 | 46.32 |
| | 180 天 | 7.41 | 7.72 | 5.51 | 16.44 | 13.95 | 47.97 |
| | 360 天 | 9.06 | 8.70 | 5.60 | 12.72 | 9.74 | 46.69 |
| 马尾松 | 分解前 | 2.61 | 11.79 | 7.78 | 18.52 | 21.16 | 37.52 |
| | 90 天 | 3.03 | 9.98 | 1.43 | 18.34 | 18.66 | 45.50 |
| | 180 天 | 4.09 | 9.90 | 2.00 | 17.74 | 19.88 | 47.65 |
| | 360 天 | 5.59 | 9.18 | 6.61 | 16.06 | 13.29 | 53.57 |

3. 各营养元素的分解系数 凋落物分解一年后的残渣,其化学组成与新凋落物之间的差异,反映出元素在生物分解过程中的行为。我们将此表述为该元素的生物分解系数,用以衡量元素在生物体分解过程中的迁移速度。根据三年研究资料来看,初步的结果是,铁在分解过程中几乎不移动;硅、铁、铝由于分解损失较慢,表现为相对富集;而最先离开植物体进入土壤的是钾和钠;其次是钙、镁、锰、磷(表 13)。

(三) 不同林木对土壤的影响

表 13 凋落物残渣的化学组成及各元素的分解系数*

Table 13 The chemical composition of litter-residues and decomposition coefficient of elements

| 项目 Item | 林木 Type | 灰分 Ash | 全氮 (%) | SiO ₂ | Fe ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ | CaO | MgO | TiO ₂ | MnO | K ₂ O | Na ₂ O | P ₂ O ₅ |
|-----------------------|------------|-----------|-----------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------------------|------|------------------|-------------------|-------------------------------|
| 元素的全量组成(占干物质重%) | 杉木 | 5.33 | 1.15 | 1.20 | 0.10 | 0.23 | 2.67 | 0.56 | 0.02 | 0.08 | 0.08 | 0.05 | 0.12 |
| | 马尾松 | 2.88 | 0.79 | 0.89 | 0.09 | 0.29 | 0.81 | 0.30 | 0.01 | 0.10 | 0.10 | 0.01 | 0.08 |
| | 红荷木 | 5.64 | 1.30 | 1.30 | 0.13 | 0.85 | 1.18 | 0.51 | 0.02 | 0.15 | 0.18 | 0.01 | 0.12 |
| | 格木 | 3.71 | 2.44 | 2.44 | 0.08 | 0.16 | 1.20 | 0.82 | 0.01 | 0.03 | 0.18 | 0.07 | 0.13 |
| 生物分解系数 $R = WP/DP$ | 杉木 | | 0.77 | 0.48 | 0.75 | 0.33 | 1.21 | 1.18 | 0.21 | 1.13 | 2.26 | 2.11 | 1.25 |
| | 马尾松 | | 0.59 | 0.37 | 0.39 | 0.54 | 1.27 | 1.51 | 0.35 | 1.57 | 3.84 | 5.24 | 1.31 |
| | 红荷木 | | 0.53 | 0.56 | 0.54 | 0.55 | 1.12 | 1.54 | 0.25 | 1.28 | 5.2+ | 5.25 | 1.02 |
| | 格木 | | 0.77 | 0.63 | 0.33 | 0.25 | 0.88 | 0.94 | 0.26 | 0.89 | 2.31 | 5.36 | 0.93 |

* WP——新鲜凋落物某元素%；DP——分解一年后某元素%；其中氮用占干物质重%，其余用占灰分%。 $R < 1$ ，为相对累积， $R > 1$ ，为分解损失的元素。

表 14 不同林木每年归还土壤的营养元素比较(千克/公顷·年)

Table 14 Comparison for the nutrient elements returning to soil by different types of forest trees annually (kg/ha·y)

| 类型 Type | 灰分 Ash | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | MgO | Fe ₂ O ₃ | MnO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | TiO ₂ | Na ₂ O |
|------------|-----------|--------|-------------------------------|------------------|-------|-------|--------------------------------|------|--------------------------------|------------------|------------------|-------------------|
| 杉木 | 94.91 | 23.59 | 2.68 | 3.22 | 57.37 | 11.80 | 1.34 | 1.61 | 1.34 | 10.19 | 0.08 | 1.88 |
| 马尾松 | 61.90 | 17.63 | 2.25 | 8.25 | 22.14 | 9.75 | 0.75 | 3.38 | 3.38 | 7.13 | 0.08 | 1.13 |
| 红荷木 | 138.51 | 29.59 | 3.00 | 23.16 | 32.59 | 19.30 | 1.72 | 4.72 | 11.58 | 29.59 | 0.13 | 1.29 |
| 格木 | 181.95 | 122.83 | 5.91 | 20.36 | 51.89 | 37.44 | 1.31 | 1.31 | 1.97 | 24.30 | 0.13 | 18.39 |

表 15 不同林木下土壤含水量比较(%)
Table 15 Comparison for the soil moisture content under different types of forest trees (%)

| 类型 Type | 层次深度 Depth (cm) | 各月平均 Average in every month | | | | | | | | | | | | 年平均 Average in year |
|------------|-----------------------|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| 杉木 | 0-10 | 16.5 | 20.1 | 14.8 | 16.8 | 21.6 | 22.9 | 26.6 | 27.6 | 23.7 | 24.3 | 26.1 | 16.7 | 21.5 |
| | 10-20 | 18.8 | 21.6 | 16.4 | 17.6 | 20.8 | 24.4 | 22.9 | 26.7 | 26.1 | 17.7 | 27.2 | 21.9 | 21.8 |
| 马尾松 | 0-10 | 15.4 | 17.2 | 15.7 | 21.8 | 23.6 | 20.8 | 28.1 | 22.3 | 20.9 | 19.0 | 18.5 | 18.1 | 20.2 |
| | 10-20 | 20.9 | 15.7 | 19.2 | 20.6 | 24.4 | 24.8 | 29.7 | 19.5 | 22.3 | 19.4 | 25.5 | 20.1 | 21.8 |
| 红栎木 | 0-10 | 19.2 | 26.5 | 24.6 | 20.3 | 28.6 | 24.6 | — | 27.5 | 25.4 | 24.3 | 26.4 | 25.0 | 24.8 |
| | 10-20 | 21.8 | 23.6 | 25.4 | 24.4 | 25.5 | 26.3 | — | 27.8 | 26.1 | 25.8 | 27.9 | 23.7 | 25.3 |
| 柞木 | 0-10 | 15.0 | 17.3 | 12.0 | 16.9 | 21.6 | 22.9 | 26.6 | 22.9 | 23.1 | 26.2 | 24.1 | 18.3 | 20.5 |
| | 10-20 | 15.1 | 13.7 | 13.9 | 17.7 | 20.8 | 24.4 | 22.9 | 20.2 | 23.4 | 17.2 | 22.3 | 17.1 | 19.1 |

表 16 不同林木凋落物含水量比较
Table 16 Comparison for the litter moisture content under different types of forest trees

| 类型 Type | 层次深度 Depth (cm) | 各月平均 Average in every month (% of wet weight of litter) | | | | | | | | | | | | 年平均 Moisture retention capacity (T/ha) |
|------------|-----------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| 杉木 | 45.2 | 53.8 | 26.6 | 47.6 | 44.1 | 33.8 | 29.5 | 19.4 | 27.5 | 44.7 | 18.6 | 42.8 | 36.1 | 1.5±0.4 |
| 马尾松 | 48.5 | 52.2 | 35.7 | 55.7 | 38.7 | 34.8 | 29.8 | 13.3 | 23.3 | 27.5 | 14.3 | 20.2 | 32.7 | 1.8±0.6 |
| 红栎木 | 49.5 | 60.6 | 25.7 | 56.4 | 52.5 | 29.0 | 44.9 | 12.3 | 30.0 | 27.8 | 23.7 | 21.2 | 37.0 | 2.5±0.8 |
| 柞木 | 43.5 | 46.3 | 36.7 | 49.2 | 43.8 | 37.8 | 20.8 | 23.3 | 25.9 | 29.8 | 20.0 | 22.8 | 33.3 | 3.2±0.8 |

1. 对土壤养分状况的影响 凋落物的数量、化学组成及元素归还速度是直接影响土壤养分状况的三个因素。针叶树(成熟林,下同)不仅凋落物数量少,化学组成比较单一(主要是钙),且分解较慢;阔叶树凋落量大,营养元素含量丰富,且分解快。以格木为例,每年归还土壤的灰分总量达 180 公斤/公顷,是杉木的二倍,马尾松的三倍;氮、磷、钾的归还量分别为针叶树的二至六倍(表 14)。加上格木根系根瘤菌的固氮作用,使栽种 20 年后格木成熟林下的土壤肥力较高,酸度有所下降。相反,长期栽植杉木纯林,虽然土壤中获得大量的钙,使土壤 pH 值提高,但有机质含量下降,营养元素日趋贫乏;马尾松对土壤条件要求较低,通常作为先锋植物,但不是改土培肥、适于连作的理想树种。

2. 对土壤水分状况的影响 土壤水分状况是土壤肥力的重要因素之一。在一般情况下,针叶树叶面蒸腾远较阔叶树为小,因此前者对土壤水分的消耗较小,土壤水分状况理应好于阔叶林下的土壤。但从观测结果来看,各林下土壤水分状况差异不大,年均土壤含水量 0—10 厘米土层为 20.2—24.8%,10—20 厘米为 19.1—25.3%(表 15)。显然,凋落物从中起了重要作用。研究表明,虽然各林木凋落物的含水量差异不大,年均含水量为 33.3—37.0%,但凋落物总量的差异造成了各林下总保蓄水量的变化,其差异十分明显(表 16)。

从土壤水分分布特点来看,针叶林下土壤表层(0—10 厘米)的湿度通常低于亚表层(10—20 厘米),明显地表现了土表蒸发。相反,格木林由于表层受到凋落物的保护和不断得到水汽补给,使表层湿度在多数情况下高于亚表层。红荷木叶面蒸腾小些,加上凋落物的地面覆盖,蒸发作用也小,因此其土壤水分状况是四种林木中最好的(表 15)。

3. 对土壤微生物的影响 不同林木下微生物的数量、种类各不相同(表 17)。在马尾松林下真菌数量为其余三种林木的 3—8 倍;红荷木林下放线菌含量最低;细菌包括有机磷细菌含量,针叶林下比阔叶林下的高。

以熏蒸——培养法测定土壤微生物的生物量表明,红荷木林地最高,其余三种林木对微生物生物量的影响无明显差异。

表 17 不同林木下土壤微生物组成(年平均值)

Table 17 The components of soil microbes under different types of forest trees (Average in a year)

| 类型 Type | 真菌 Fungi ($\times 10^4/g$) | 放线菌 Actinomyces ($\times 10^4/g$) | 细菌 Bacteria ($\times 10^4/g$) | 有机磷菌 O.P.B. ($\times 10^4/g$) | 微生物生物量 Biomass of microbes (c. mg/100g dry soil) |
|------------|------------------------------------|---|---------------------------------------|---------------------------------------|--|
| 杉木 | 5.0 | 47.4 | 420.2 | 182.6 | 17.80 |
| 马尾松 | 19.0 | 59.1 | 312.9 | 161.8 | 18.07 |
| 红荷木 | 6.3 | 7.0 | 171.8 | 100.9 | 44.15 |
| 格木 | 2.3 | 48.3 | 211.8 | 116.1 | 17.13 |

真菌在土壤中合成各种独特的酸性化合物,它们也常合成许多毒性物质,连作则往往促使土壤中毒素的累积。观测结果表明,杉木、格木对真菌繁殖有一定的抑制作用。

不同林木下真菌和细菌的组成及优势属各不相同。针叶林下的细菌以蜡质芽孢杆菌为主,占细菌总数的 64—90%;而阔叶林下主要是多粘芽孢杆菌和节细菌,前者占 55—64%,后者占 22—29%。真菌优势属的分布受林木的影响亦十分明显,杉木以 *Paccilo-*

myces 为主,马尾松多为 *Cephalosporum*, 格木林下主要是 *Mortierella* 和 *Mucor*, 红荷木林下的真菌与杉木林类似。

4. 对土壤酶活性的影响 土壤酶参与土壤中许多重要的生化过程。它们引导并加速新产物的氧化、还原、水解、发酵、合成或再合成,与土壤肥力的消长有密切关系。不同林木对土壤酶的活性有明显影响(表 18)。过氧化氢酶似乎与土壤酸度成正相关;蛋白酶在阔叶林下有较强的活性;而解磷酶活性表现为针叶林下稍高于阔叶林下的土壤。

表 18 土壤酶活性比较(平均值)

Table 18 Comparison for the activities of soil-enzymes (Average)

| 类型 Type | 过氧化氢酶 Catalase 0.1N KMnO ₄ (ml/g. 24hours) | 蛋白酶 Protease NH ₃ -N (μg/g. 24hours) | 转化酶 Invertase 还原糖 (mg/g. 24hours) | 脲酶 Urease NH ₃ -N (mg/g. 24hours) | 解磷酶 Phosphatase (P mg/100g) |
|------------|--|--|--|---|-----------------------------------|
| 杉木 | 21.43 | 105.17 | 7.86 | 0.44 | 1.61 |
| 马尾松 | 72.05 | 111.48 | 7.40 | 0.67 | 1.66 |
| 红荷木 | 50.13 | 367.78 | 15.77 | 0.58 | 1.26 |
| 格木 | 15.07 | 282.27 | 5.36 | 0.48 | 1.02 |

参 考 文 献

- [1] 罗汝英,1983: 森林土壤学。164—207 页,科学出版社。
- [2] 龚子同等,1985: 南宁附近森林土壤及其生物地球化学特征。土壤地球化学的进展和应用,17—99 页,科学出版社。
- [3] 屠梦照,1984: 鼎湖山亚热带常绿阔叶林凋落物量。热带亚热带森林生态系统研究,第二集,18—23 页。科学普及出版社广州分社。
- [4] 京都大学农学部土壤室(黄钺译),1985: 土壤——植物系统中元素分布图绘制的研究。土壤地球化学的进展和应用,258—280 页,科学出版社。
- [5] P. Duvigneaud 和 S. Denaeyer-De Smet (彭克明、陈佐忠译),1974: 温带落叶林矿质元素的生物循环。植物生态学译丛,第一集,72—95 页,科学出版社。
- [6] P.W. 理查斯(张宏达等译),1959: 热带雨林。239—250 页,科学出版社。
- [7] B.A. 柯夫达(陆宝树等译),1983: 土壤学原理(上册)。67—88 页,科学出版社。

CHARACTERISTICS OF THE BIOLOGICAL MATERIAL CYCLING OF SEVERAL TYPES OF ARTIFICIAL FORESTS AND THEIR INFLUENCE ON SOILS IN SOUTH SUBTROPICAL CHINA

Wu Zhidong, Peng Fuquan, Che Yuping,
Yin Ruiling and Gu Xixian

(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing)

Wu Youmei

(Institute of forestry, the Guangxi Zhuang Autonomous Region)

Summary

The artificial forests existing in southern subtropical China consist chiefly of China fir and pines. Continuous reforestation of coniferous trees has resulted in the deterioration of soil conditions and decreased the production of forestry. For improvement of the forest soil and production of forestry, a three-year location experiment on material cycling of the establishing artificial forests of *Cunninghamia lanceolata*, *Pinus massoniana*, *Schima wallichii* and *Erythrophloeum fordii* on lateritic red earth in Nanning was conducted.

Results of the experiment showed that the four types of forest trees differed from each other both in characteristics of biological material cycling and in amounts of litter. The mean annual amount of litter of coniferous trees was less than 4t/ha, whereas that of broadleaf trees such as *Schima wallichii* and *Erythrophloeum fordii* was more than 6.3t/ha. In litter coniferous trees, Ca, Mg and Si as its essential nutrient elements, made up 60—80% of total ash, these elements being usually lacking in soil itself, while the litter of broadleaf trees contained considerable amounts of N, P and K in addition to Ca, Mg and Si. Each year, China fir returned to the soil 118.5 kg of ash and nitrogen per hectare in the form of litter, *Pinus massoniana* 79.5 kg/ha, *Schima wallichii* 168.1 kg/ha, and *Erythrophloeum fordii* 304.8 kg/ha.

The litter of woods played a significant role in promoting water-retention ability of soil. It was estimated that the mean annual water-retention capacity of the litter under China fir, *Pinus massoniana*, *Schima wallichii*, *Erythrophloeum fordii* was 1.5 t/ha, 1.8 t/ha, 2.5 t/ha, 3.2 t/ha respectively.

Effect of different forest trees on both number and dominant species of micro-organisms in soil was distinct; it for example, although in the soils under coniferous trees, there were the highest contents of fungi actinomycetes and bacteria; in the soil under broad leaf trees, there was the highest amount of microbial biomass. At the same time, the variety and activity of soil enzymes were also influenced by different forest trees.

It is indicated that broad leaf forests are litter in improvement of physical and chemical properties of soil and promotion of soil productivity, as compared with coniferous forests, therefore, the development of mixed forest of coniferous trees that provide timbers and broad-leaf trees than can improve soil condition is a important measure for development of forestry in south China.