

马尾松林下套种阔叶树土壤理化性质的研究*

林德喜¹ 樊后保¹ 苏兵强² 刘春华³ 蒋宗培³ 沈宝贵³

(1 福建农林大学资源与环境学院, 福州 350002)

(2 福建省国有林场管理局, 福州 350003)

(3 福建农林大学莘口教学林场, 福建三明 365000)

EFFECT OF INTERPLANTATION OF BROAD-LEAVED TREES IN *PINUS MASSONIANA* FOREST ON PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF THE SOIL

Lin Dexi¹ Fan Houbao¹ Su Bingqiang² Liu Chunhua³ Jiang Zongkai³ Shen Baogui³

(1 College of Resource and Environment, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

(2 Administration Bureau of National Forest Farms of Fujian Province, Fuzhou 353003, China)

(3 Xinkou Experimental Forest Farm, Saming, Fujian 365000, China)

关键词 马尾松; 阔叶树; 针阔混交林; 土壤理化性质

中图分类号 S791.27 文献标识码 A

马尾松(*Pinus massoniana*)是我国南方的主要用材树种,具有适应性强、主根明显、用途广、速生丰产等优点。然而营造的人工马尾松纯林,树种层次单一,结构简单,针叶化明显,弱点逐渐暴露出来,导致林地地力衰退、林分抗逆性差、火灾频率增加,已引起人们的广泛关注^[1]。研究表明,大力营造混交林,增加森林生态系统中生物类群的多样性、多层性,就能从根本上改善林分的生态环境,提高生产力。营造马尾松混交林不仅是一项重要的营林技术措施,而且涉及到对树种生物学和生态学特征,尤其是种间关系的全面了解。良好的混交模式应该既可以充分利用地力,增加产量,又可改善生态环境,提高系统的多样性和稳定性^[2,3]。马尾松属阳性树种,林冠稀疏,透光度大,深根发达。在林下套种合适的阔叶树种,就能充分利用地上与地下的能量和空间,增加生物量,改善土壤理化性质。福建农林大学莘口教学林场自 20 世纪 80 年代中期以来,开展了在马尾松林下套种阔叶树种的试验研究,取得了初步研究结果。因小范围土壤物理性质的空间变异研究是

土壤持续利用的基础^[4,5],而土壤化学性质是土壤肥力的重要物质基础^[6],故本文根据马尾松林下套种阔叶树的模式研究林地土壤理化性质的变化。

1 研究地点与方法

1.1 地点

试验地位于福建农林大学莘口教学林场,属武夷山东伸支脉。本区属中亚热带海洋性季风气候,年平均气温 19.1℃,年降水量 1 741 mm,年均相对湿度 81%。试验地位于该林场的沙阳工区,选择坡向、坡度、坡位比较相近的地方,每一处理建立 3 个(作为重复)20 m × 20 m 标准样地,海拔在 190~210 m 之间,土壤为粉砂岩发育的红壤,质地较轻,属轻壤到中壤质土壤。试验林为 1984 年在 25 年生的马尾松纯林下套种阔叶树所形成的针阔混交复层异龄林,套种时全部林地都没有施肥。套种树种有火力楠(*Michelia maclurei*)、苦槠(*Castanopsis sclerophylla*)、格氏栲(*Castanopsis kawakamii*)、青栲(*Cyclobalanopsis myrsinaefolia*)和拉氏栲(*Castanopsis*

* 福建省自然科学基金项目(B9910019)、福建省科学技术委员会科学基金项目(99-Z-112-2)资助

作者简介:林德喜(1963-),男,福建莆田人,副教授,在职博士生,主要从事土壤生态研究

收稿日期:2003-03-27;收到修改稿日期:2003-11-11

lamontii), 其与马尾松相应的混交林在文中分别简称为马×火、马×苦、马×格、马×青和马×拉, 马尾松纯林称为马纯。

1.2 分析方法

2001年2月进行土壤调查, 在每个标准样地内采用S型布5点, 挖取土壤剖面, 分层(0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm) 取样, 然后将同一样地相同土层的样品混合后取1 kg待测定土壤理化性质。土壤水分物理性质用环刀法, pH值用酸度计法。交换性酸和交换性铝用氯化钾交换-中和滴定法; 有机质用重铬酸钾氧化法; 全氮用半微量开氏法; 碱解氮用碱解扩散法; 速效磷用盐酸氟化铵-钼锑抗比色法; 速效钾用原子吸收分光光度计法^[7]。结果分析以同一处理的3个重复的平均数进行Duncan多重比较, Duncan多重比较以不同处理的相同土层的数值进行。

表1 土壤物理性质及其Duncan多重比较的结果

| 样地 | 土层 (cm) | 容重 (g cm ⁻³) | 毛管孔隙度(%) | 非毛管孔隙度(%) | 总孔隙度(%) | 自然含水量(g g ⁻¹) |
|-----|------------|-----------------------------|----------|-----------|------------|---------------------------|
| 马×火 | 0~20 | 1.10 abA | 39.70 aA | 18.00 abA | 57.50 bcB | 0.193 bB |
| | 20~40 | 1.17 bA | 38.40 aA | 16.00 aA | 55.39 aA | 0.205 bcdABC |
| | 40~60 | 1.31 cA | 39.60 aA | 11.17 aA | 50.77 aA | 0.165 bB |
| 马×苦 | 0~20 | 1.13 abA | 37.92 aA | 18.79 abA | 56.71 bcB | 0.211 bB |
| | 20~40 | 1.38 aA | 38.30 aA | 10.16 aA | 48.46 bA | 0.186 cdBC |
| | 40~60 | 1.56 aA | 32.40 aA | 10.12 aA | 42.52 cC | 0.177 abA |
| 马×格 | 0~20 | 1.00 abA | 42.80 aA | 18.20 bA | 61.00 cB | 0.182 bB |
| | 20~40 | 1.24 abA | 38.20 aA | 14.88 aA | 53.08 abA | 0.170 dC |
| | 40~60 | 1.42 bcA | 38.27 aA | 8.87 aA | 47.14 abAB | 0.161 bA |
| 马×青 | 0~20 | 1.10 abA | 37.23 aA | 20.41 abA | 57.64 bcB | 0.218 bB |
| | 20~40 | 1.30 abA | 37.50 aA | 13.66 aA | 51.18 abA | 0.181 cBC |
| | 40~60 | 1.45 bA | 38.50 aA | 12.68 aA | 46.04 bBC | 0.178 abA |
| 马×拉 | 0~20 | 0.86 cB | 38.20 aA | 27.37 aA | 65.57 aA | 0.289 aA |
| | 20~40 | 1.27 abA | 37.55 aA | 14.43 aA | 51.98 abA | 0.241 aA |
| | 40~60 | 1.40 bcA | 36.40 aA | 11.33 aA | 47.73 abAB | 0.210 aA |
| 马纯 | 0~20 | 1.07 bA | 38.10 aA | 17.95 abA | 56.05 bB | 0.279 aA |
| | 20~40 | 1.29 abA | 38.40 aA | 11.71 aA | 50.11 abA | 0.222 abAB |
| | 40~60 | 1.38 bcA | 36.60 aA | 11.86 aA | 48.46 abAB | 0.193 abA |

不同大小写字母分别表示达0.01和0.05显著水平

针阔混交林土壤的总孔隙度在不同处理间部分差异明显。分析表1可以得知, 0~20 cm、20~40 cm和40~60 cm土层中只有马尾松与火力楠混交的林地土壤毛管孔隙度、非毛管孔隙度和总孔隙度都比马尾松纯林的高, 表明马×火混交林更有利于林地孔隙状况的改善。

2.1.2 土壤的自然含水率 针阔混交林土壤的自然含水量与马尾松纯林比0~20 cm、20~40

2 结果与讨论

2.1 土壤物理性质

2.1.1 土壤孔隙组成特征 经过对5种针阔混交林和马尾松纯林土壤的测定, 结果表明, 在各种林分中, 土壤的容重从表层向下呈逐层增加, 说明表层土壤较松, 这与林地表面枯枝落叶量积累及其分解程度有关。从表1可以看出, 马尾松与阔叶树套种后能改善0~40 cm土层土壤物理性质的树种主要是拉氏栲, 能改善40~60 cm土层土壤物理性质的树种主要是火力楠。所以考虑混交模式时应选择马尾松×火力楠×拉氏栲模式。

表1表明, 不同混交模式对林地土壤水分有一定的影响, 但变化幅度不大。针阔混交林土壤的毛管孔隙度的不同处理间无差异。非毛管孔隙度在不同处理只有0~20 cm土层有显著性差异。

cm、40~60 cm只有马×拉林地的分别高于马纯的3.52%、8.55%和9.09%。其它混交模式的林地自然含水率都比马尾松纯林的低7.48%~34.90%, 与Duncan多重比较的结果相似。这主要是因为马尾松纯林其林下杂草较多, 覆盖率较高, 而且枯落物以马尾松针叶为主, 不易分解, 其它马阔混交林因其林下层有阔叶树生长, 阔叶树为了满足自身生长生理需要和蒸腾作用需消耗比杂草多得多的水分。不过

福建地处亚热带, 常年雨水较多, 土壤不缺水, 所以土壤中自然水分含量不是林分生长的制约因素。

2.2 土壤的化学性质

2.2.1 土壤全氮和土壤有机质

由表 2 可知, 针阔混交林土壤的全氮在苦槠和拉氏栲与马尾松混交模式中有所提高, 不同处理其相同土层之间有显著性差异 (Duncan 0.05) 甚至极显著差异 (Duncan 0.01)。林木自土壤中吸收的矿质养分相当一部分是以凋落物形式归还土壤, 不同混交模式形成了不同的林分, 由于不同树种的生物学特性不同, 使得其凋落物的质和量及分解速率均有较大的差异, 从而

影响土壤剖面不同土层的有机质含量水平和分布状况。马尾松与阔叶树混交林其土壤有机质含量存在显著性差异甚至极显著差异。与马尾松纯林相比, 在 0~ 20 cm 土层中, 仅马×青土壤有机质含量下降, 其它均增加(42.13%~110.2%); 在 20~ 40 cm 土层中, 所有混交林土壤有机质含量均下降(82.90%~31.09%); 在 40~ 60 cm 土层中, 马×火和马×格下降 36.84% 和 53.95%, 其它都是增加的。马×青仅提高 40~ 60cm 土层土壤的有机质。所以为了提高整个土壤剖面(0~ 60 cm 土层)的有机质, 应选择苦槠和拉氏栲与马尾松混交模式。

表 2 土壤化学性质及其 Duncan 多重比较的结果

| 样地 | 土层(cm) | 全 N(g kg ⁻¹) | 有机质(g kg ⁻¹) | pH | 碱解氮(mg kg ⁻¹) | 有效磷(mg kg ⁻¹) | 速效钾(mg kg ⁻¹) |
|-----|--------|--------------------------|--------------------------|-----------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 马×火 | 0~ 20 | 1.19 cBC | 27.9 bc | 4.41 bcB | 43 dc | 3.89 aA | 16 cdBC |
| | 20~ 40 | 0.61 cC | 3.3 cC | 4.58 bB | 39 cC | 3.06 aA | 13 cC |
| | 40~ 60 | 0.48 cC | 4.8 dC | 4.63 cBC | 25 cC | 0.17 dD | 12 bcB |
| 马×苦 | 0~ 20 | 1.47 aA | 41.4 aA | 4.43 bcAB | 133 aA | 3.61 aA | 11 dC |
| | 20~ 40 | 0.92 aA | 13.3 bB | 4.57 bB | 76 aA | 1.39 cC | 13 cC |
| | 40~ 60 | 0.58 bcBC | 11.1 bB | 4.66 bcB | 91 aA | 0.28 dD | 12 cB |
| 马×格 | 0~ 20 | 1.29 bcA | 32.3 bBC | 4.52 aA | 23 eD | 1.67 bB | 29 aA |
| | 20~ 40 | 0.72 bBC | 10.7 bB | 4.81 aA | 27 dC | 2.22 bB | 19 bcBC |
| | 40~ 60 | 0.48 cC | 3.5 dDC | 4.85 bB | 27 cC | 1.67 aA | 17 abAB |
| 马×青 | 0~ 20 | 1.03 dC | 14.1 dD | 4.48 abAB | 59 cC | 3.89 aA | 20 bcABC |
| | 20~ 40 | 0.71 bcBC | 13.3 bB | 4.66 bB | 41 cC | 2.22 bB | 23 bB |
| | 40~ 60 | 0.69 bAB | 14.7 aA | 4.72 bB | 15 cD | 0.56 cC | 16 bcAB |
| 马×拉 | 0~ 20 | 1.38 abAB | 37.5 aAB | 4.27 dC | 109 bB | 2.22 bB | 28 abAB |
| | 20~ 40 | 0.84 aAB | 13.3 bB | 4.44 cC | 57 bB | 2.22 bB | 20 bBC |
| | 40~ 60 | 0.82 aA | 10.5 bB | 4.53 dC | 59 bB | 1.39 bB | 13 bcB |
| 马纯 | 0~ 20 | 1.18 cBC | 19.7 cD | 4.39 cB | 62 cC | 1.67 bB | 18 cdABC |
| | 20~ 40 | 0.93 aA | 19.3 aA | 4.41 cC | 15 eD | 0.28 dD | 33 aA |
| | 40~ 60 | 0.59 bcBC | 7.6 cBC | 4.42 eD | 11 dD | 0.28 dD | 22 aA |

不同大小写字母分别表示达 0.01 和 0.05 显著水平

2.2.2 土壤碱解氮、有效磷和碱解钾

凋落物对于提高土壤氮素含量具有重要意义, 这既能快速提高土壤中碱解氮的含量, 又能长久保存土壤氮素^[8]。不同针阔混交林其凋落物的数量和氮素含量水平不同, 导致林地土壤碱解氮含量有较大差异。从表 2 中可见, 不同针阔混交林土壤碱解氮含量与马纯的相比较处理间存在极显著差异, 马×苦和马×拉能明显提高土壤碱解氮水平。为了提高整个剖面(0~ 60 cm 土层)的碱解氮含量, 应选择苦槠和拉氏栲与马尾松混交模式。

针阔混交林与马尾松纯林相比, 土壤有效磷在整个剖面中存在差异但变幅不大, 仅 0.11~ 2.2 mg kg⁻¹, 整个林分土壤中有效磷含量都是缺乏的, 均低于 5 mg kg⁻¹, 这主要是因为南方土壤呈酸性至强酸性, 游离态 Fe³⁺、Al³⁺ 含量较高, 易形成磷酸铁、磷

酸铝沉淀。

土壤碱解钾变化与土壤有效磷相似, 变幅不大(2~ 20 mg kg⁻¹)。整个林分土壤碱解钾含量都很低, 均低于 35 mg kg⁻¹。这主要是因为南方雨水较多, 加上土壤质地较轻、通透性较好, 土壤中钾易被淋洗而流失掉。

2.2.3 土壤活性酸、交换性 H⁺、交换性酸和交换性铝

从表 3 中可以看出, 在 0~ 20 cm 土层不同混交模式 pH 值变化不大, 在 pH 4.27~ 4.48 之间; 在 20~ 40 cm 和 40~ 60 cm 土层中, 其 pH 值变化比 0~ 20 cm 土层的大, 尤其是马×格其 20~ 40 cm 和 40~ 60 cm 土层中土壤 pH 值最高, 为 4.81 和 4.85, 而马纯的最低, 为 4.41 和 4.42。说明火力楠、苦槠、格氏栲、青栲和拉氏栲与马尾松混交都能一定程度降低 20 cm 深度以下土壤的 pH 值。

表3 土壤阳离子变化及其 Duncan 多重比较的结果

| 样地 | 土层 (cm) | 总酸 | 交换性(mol kg^{-1}) | | | | | 盐基总量 | CEC | 盐基饱 和度(%) |
|-----|------------|----------|-----------------------------|------------------|------------------|------------------|-----------|---------|----------|--------------|
| | | | H ⁺ | Al ³⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | | | | |
| 马×火 | 0~20 | 6.55 eE | 6.35 cC | 0.20 eE | 0.13 cdCD | 0.02 cdCD | 1.73 bB | 8.3 eE | 20.8 bB | |
| | 20~40 | 7.44 cC | 2.16 fF | 5.28 aA | 0.12 aA | 0.02 aA | 1.24 dC | 8.68 cC | 14.3 dD | |
| | 40~60 | 4.87 eE | 1.06 fF | 3.81 bB | 0.16 bB | 0.03 bB | 0.90 aA | 5.77 cC | 15.6 aA | |
| 马×苦 | 0~20 | 12.1 aA | 12.0 aA | 0.10 eE | 0.44 aA | 0.05 aA | 0.84 dD | 12.9 aA | 6.51 eE | |
| | 20~40 | 9.55 aA | 8.21 aA | 1.34 cC | 0.19 aA | 0.01 bA | 1.57 bcBC | 11.1 aA | 14.1 dD | |
| | 40~60 | 10.15 aA | 6.65 aA | 3.50 cC | 0.15 bcBC | 0.02 bB | 0.70 abAB | 10.6 aA | 6.60 cB | |
| 马×格 | 0~20 | 6.85 dD | 6.25 dC | 0.60 dD | 0.26 bBC | 0.03 bcBC | 1.66 bB | 8.51 dD | 19.5 cC | |
| | 20~40 | 6.08 eE | 5.02 eE | 1.06 dD | 0.13 aA | 0.01 bA | 1.77 bB | 7.85 eE | 22.5 bB | |
| | 40~60 | 6.35 cC | 1.25 eE | 5.10 aA | 0.28 aA | 0.01 bB | 0.68 bcAB | 7.03 eE | 9.67 bB | |
| 马×青 | 0~20 | 7.28 cC | 5.49 eD | 1.79 bB | 0.10 dD | 0.01 dD | 0.79 dD | 8.07 cC | 9.79 dD | |
| | 20~40 | 6.58 dD | 5.17 dD | 1.41 cC | 0.15 aA | 0.02 aA | 2.88 aA | 9.46 dD | 30.4 aA | |
| | 40~60 | 5.25 cC | 4.52 dD | 0.73 eE | 0.08 cdBC | 0.01 bB | 0.71 abAB | 5.96 dD | 11.9 bB | |
| 马×拉 | 0~20 | 7.26 cC | 6.30 cdC | 0.96 cC | 0.22 bcBCD | 0.04 abAB | 2.40 aA | 9.66 cC | 24.8 aA | |
| | 20~40 | 6.05 eE | 5.70 cC | 0.35 eE | 0.18 aA | 0.02 aA | 1.39 cdC | 7.44 eE | 18.7 cC | |
| | 40~60 | 5.38 dD | 4.95 cC | 0.43 fF | 0.05 dC | 0.04 aA | 0.49 cB | 5.87 eE | 8.35 bcB | |
| 马纯 | 0~20 | 11.28 bB | 8.28 bB | 3.00 aA | 0.28 bB | 0.01 dD | 1.21 cC | 12.5 bB | 9.68 dD | |
| | 20~40 | 8.97 bB | 6.97 bB | 2.00 bB | 0.18 aA | 0.01 bA | 1.55 bcBC | 10.5 bB | 14.8 dD | |
| | 40~60 | 7.97 bB | 5.81 bB | 2.16 dD | 0.17 bB | 0.01 bB | 0.79 abAB | 8.76 bB | 9.02 bcB | |

不同大小写字母分别表示达 0.01 和 0.05 显著水平

从表3中还可以看出,马×苦混交林土壤交换性H⁺明显高于马纯的,其它均低于马纯的,尤其是马×格林分的40~60 cm土层更低。说明格氏栲与马尾松混交不易导致林地20 cm深度以下土壤酸化,而苦槠与马尾松混交最容易导致0~20 cm土层土壤酸化。这主要是因为苦槠与马尾松混交林其0~20 cm土层土壤有机质含量较低,可能是其枯落物容易降解而产生有机酸引起土壤酸化。

土壤交换性酸在马×青、马×拉以及马纯林分中均随土层加深而减少,而马×苦和马×格是0~20 cm和40~60 cm高于20~40 cm土层的,只有马×火林分的变化独特,为20~40 cm土层的高于0~20 cm和40~60 cm的。土壤交换性H⁺和Al³⁺是土壤交换性酸的组分,因土壤交换性H⁺和Al³⁺的总和只在马×苦林分中是高于马纯的,所以仅马×苦林分的土壤交换性酸高于马尾松纯林的,其它均低于马纯的。这可能与根系的分布有关。

不同母质发育的红壤交换性铝数量差异较大,范围在0.1~16.2 cmol kg^{-1} [9]。从表3可以看出,在0~20 cm土层中混交林分土壤交换性铝均比马纯的低;在20~40 cm土层中只有马×火林分土壤交换性铝比马纯的高,其它混交林分土壤交换性铝均比马纯的低;而在40~60 cm土层中,马×火、马×苦和马×格林分土壤交换性铝比马纯的高,马×青和马×拉林分土壤交换性铝比马纯的低,这与Duncan多重比较的结果相似。这是否是因为不同

阔叶树种的地下根系对Al³⁺吸收量不同而引起的,有待于进一步研究。

2.2.4 土壤交换性钙和镁、阳离子交换量和盐基饱和度的变化 从表3可以看出,不同处理之间土壤交换性钙含量存在显著差异。土壤中Ca²⁺、Mg²⁺主要来自钙、镁的矿物,在我国南方高温多雨,风化作用强烈,矿物分解比较彻底,Mg²⁺易大量流失,所以Mg²⁺含量较少^[10]。本研究的结果证实这一点。从表3中可以看出,所有林分土壤的交换性镁的含量均较低,仅为0.01~0.05 cmol kg^{-1} 。

阳离子交换量的大小与土壤可能吸收的速效养分的容量及土壤保肥能力有关。不同处理之间土壤阳离子交换量差异显著,与马纯相比,在0~20 cm、20~40 cm和40~60 cm土层中只有马×苦的分别增加了3.2%、5.71%和21.0%,其余混交林均降低(35.44%~9.92%)。这说明苦槠与马尾松混交有利于林地0~60 cm土层土壤保肥能力的改善。

盐基饱和度是土壤的重要特性之一,可作为土壤利用改良的依据。通过表3可明显看出,不同处理之间盐基饱和度差异显著。火力楠和格氏栲与马尾松混交可以提高0~20 cm、20~40 cm和40~60 cm三个土层土壤的盐基饱和度,青栲与马尾松混交可以提高20 cm以下土层土壤的盐基饱和度,而拉氏栲与马尾松混交可以提高40 cm以上土层土壤的盐基饱和度。

3 结 论

不同混交模式对林分土壤理化性质有显著影响。本试验研究表明, 不同阔叶树种对土壤改良的层次深度不同, 通过综合比较土壤的理化性质, 可以将拉氏栲和苦槠进行混合套种于马尾松纯林中, 并应多施 P、K 肥, 适量施用 Mg 肥。

参 考 文 献

- [1] 王宏志. 中国南方混交林研究. 北京: 中国林业出版社, 1993. 1~ 13
- [2] Worrell R, Hampson A. The influence of some forest operations on the sustainable management of forest soils: A review. *Forestry*, 1997, 70(1): 61~ 86
- [3] 周长瑞. 国内外混交林研究概况(下). *山东林业科技*, 1985, (4):16~ 20
- [4] 邱扬, 傅伯杰, 王军, 等. 黄土小流域土壤物理性质的空间变异. *地理学报*, 2002, 57(2): 587~ 594
- [5] 孙国荣, 阎秀峰, 李晶. 星星草对碱化土壤物理性质的影响. *草地学报*, 2002, 10(2): 117~ 123
- [6] Mercik S, Nemeth K. Effects of 60-year N, P, K and Ca fertilization on EUF-nutrient fractions in the soil and on yields of rye and potato crops. *Plant and Soil*, 1985, 83(1): 151~ 159
- [7] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1987. 62~ 136
- [8] 刘杏兰, 高宗, 刘存寿, 等. 有机-无机肥配施的增产效应及对土壤肥力影响的定位研究. *土壤学报*, 1996, 33(2): 138~ 147
- [9] 陈福兴, 秦瑞君. 湖南丘陵红壤利用方式对交换性铝分布的影响. *土壤*, 1996, 28(6): 295~ 297
- [10] 黄昌勇. 土壤学. 北京: 中国农业出版社, 2000. 192~ 214