

# 山东鲁山侧柏、油松混交林 混交效益的初步研究\*

齐鑫山 季明川

(山东省农业环境保护监测站, 济南, 250100)

杨明华

(中国科学院生态环境研究中心, 北京)

S718.56

## 摘 要

本文通过对山东鲁山不同立地条件下的8组可比样地进行定位观测, 从群落生产力、森林小气候、枯枝落叶蓄水量、土壤水分、土壤肥力和水土保持效益等方面, 对侧柏油松混交林的混交效益进行了研究, 认为混交林比侧柏纯林具有更大的优越性, 并通过相关分析探讨了各混交效益指标的相互关系。作者认为, 侧柏油松混交林作为山区防护林是很有发展前途的, 宜加强研究推广。

**关键词:** 混交林、混交效益、生态效益。

侧柏(*Platycladus orientalis*)和油松(*Pinus tabulaeformis*)是我国北方山区主要的造林绿化树种, 主要用作防护林, 其耐干旱瘠薄的能力强, 适应性广, 并具有寿命长, 易管理的特点。但由于侧柏纯林一般生长缓慢, 郁闭较迟, 水土流失严重, 从而未能有效地发挥其生态防护功能。因此, 通过与其它树种混交来促进侧柏生长, 提高其生态效益是非常必要的, 因而对侧柏和油松的混交林进行研究则具有重要的实际意义。

## 一、试验地情况和调查研究方法

### 1. 试验地的基本情况

该研究于1988年至1989年在山东省沂源县鲁山林场进行。该场属暖温带季风气候, 年均温11.3℃, 年均降水量765 mm。侧柏与油松的混交试验林于1964年营造, 林龄24a生。为便于比较, 混交林及相应侧柏纯林的样地都设计成可比样地, 即其立地条件和造林、营林历史基本一致。这样, 共设置8组 $10 \times 10 \text{ m}^2$ 的可比样地作为重复, 但林分立地条件的组间差异还是较大的(见表1)。

侧柏油松混交林为株间混交方式, 混交株数比(松: 柏)为1:2。营造混交林时参照油松纯林株行距, 一般为 $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ , 侧柏纯林为 $1 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$ , 再根据混交比确定其株行距按 $1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$ 设计, 现有实际密度 $4800 \text{ 株}/10^4 \text{ m}^2$ , 稍高于其理论密度( $4445 \text{ 株}/10^4 \text{ m}^2$ )。侧柏纯林的现有密度 $6100 \text{ 株}/10^4 \text{ m}^2$ , 比理论密度( $6667 \text{ 株}/10^4 \text{ m}^2$ )稍低。8组可比林分中混交林的郁闭度都大于其对照纯林, 为0.6—0.9, 平均是0.74, 而侧柏纯林为0.4—0.7, 平均仅0.57。由于混交林的立木密度小于侧柏纯林, 所以混交林郁闭度较大的原因只能是树种组成和树木生长不同

\* 本文在周光裕教授、叶正丰副教授指导下完成, 并得到了周长瑞高级工程师的热情帮助和鲁山林场干部职工的大力支持, 在此一并表示感谢!

本文于1991年5月15日收到, 修改稿于1992年1月5日收到。

表 1 8组可比样地的立地条件  
Table 1 The geographic conditions of eight groups of comparable sampling plots

| 组 别<br>No. | 海 拔<br>Altitude<br>(m) | 坡 向<br>Directness | 坡 度<br>Slope | 土壤类型<br>Soil type | 土层厚度<br>Soil depth<br>(cm) |
|------------|------------------------|-------------------|--------------|-------------------|----------------------------|
| 1          | 550                    | N80°E(阳坡)         | 20°          | 粗 骨 土             | 30                         |
| 2          | 660                    | S85°W(阴坡)         | 28°          | 粗 骨 土             | 28                         |
| 3          | 600                    | N60°E(阳坡)         | 21°          | 棕 壤               | 40                         |
| 4          | 580                    | N40°E(半阴坡)        | 33°          | 粗 骨 土             | 30                         |
| 5          | 750                    | N40°E(半阴坡)        | 30°          | 粗 骨 土             | 30                         |
| 6          | 720                    | N80°E(阳坡)         | 25°          | 粗 骨 土             | 25                         |
| 7          | 700                    | N40°E(半阴坡)        | 36°          | 褐土性土              | 50                         |
| 8          | 500                    | N55°E(半阴坡)        | 35°          | 褐土性土              | 50                         |

造成的,即由混交效应所致,因而并不影响混交林与对照纯林间的可比性。

因此,从所研究试验林的立地条件、造林营林历史、造林技术和林分现状等各个方面看,混交林与相应的侧柏纯林间都具有可比性。可以认为,混交林与其对照纯林间生长效益和生态效益方面的差异都是由于混交效应引起的,从而排除了地理环境与人为因素影响分析结果的可能性。

## 2. 调查研究方法

各样地中立木的胸径和树高通过每木调查实测得到,乔木层和灌木草本层生物量的测定则采用标准木法和样方收割法<sup>[1]</sup>在9月中旬进行,这时灌木草本层的生物量为全年最高值。

小气候的测定均在晴朗天气下进行。在每个样地内均匀布置10个测点,于1988年5月15日中午在8组可比样地内同时测定了地上1m的光强、气温和湿度,地表和地下10cm的地温。从5月16日至26日的6点到18点在第2组可比样地内每隔2h进行上述各项测定,用这10d内各时间的平均值反映小气候的日变化规律,这样可以排除一些偶然因素的影响<sup>[2]</sup>。

枯枝落叶现存量的调查于7月份进行。方法是在样方内沿对角线均匀设置9个 $0.5 \times 0.5 \text{ m}^2$ 的小样方,将未分解的 $A_{c0}$ 层和半分解的 $A_0$ 层分别收集称重,采样测定其含水率后即可求得每公顷枯枝落叶的干重。利用小区实验测定了混交林下和侧柏纯林下两种枯枝落叶层的最大有效持水率\*,以此计算枯枝落叶层的蓄水量<sup>[4]</sup>。

为了比较土壤含水量大小和年度变化情况,于1988年4—12月每隔15d用烘干法测定了第3组可比样地0—15cm和15—30cm土层的水分含量。并于5月上旬连续5d测量了干旱期间8组可比样地0—10cm的土壤自然含水率。

在样地内沿对角线设6个点,分0—10cm和10—20cm两层测定其有机质、全氮、全磷和速效钾含量。1a内测定3次(3月、7月和11月各1次),以其平均值来比较各组可比样地的土壤养分含量。

所调查样地的土壤片蚀的测定是在各标准地内测量每个侵蚀片的侵蚀面积和侵蚀去的土层厚(因试验样地是较平整的,可用未侵蚀地段作为参照面)以计算侵蚀土壤体积。为了增强侵蚀土层深的测量精度,还比较了侵蚀片内和未侵蚀地段土壤发生层的厚度,用其差值作为侵蚀深,此法得到的值与上法十分吻合。沟蚀体积的计算用C.C.索波列夫(前苏联)测量细沟

\* 最大有效持水率是指未受扰动的枯枝落叶已去除重力水后的水分含量。

断面和细沟长的方法求得。由侵蚀体积和土壤容重可求得侵蚀土壤总重,用它除以林龄(24a)即可得出年均侵蚀模数<sup>[5]</sup>。

## 二、结果与分析

### 1. 立木生长与生物量的混交效益

(1) 侧柏的单株生长 由表2可知,混交林中侧柏的胸径、树高和单株材积平均为4.51 cm、3.98m和0.00493m<sup>3</sup>,而侧柏纯林分别为3.87cm、3.29m和0.00354m<sup>3</sup>,混交林比纯林

表 2 各可比林分中侧柏的单株生长现状调查

Table 2 The present growth situation of the Chinese arborvitae in the comparable woodlands

| 组 别<br>No. of groups       | 胸径(cm)D.B.H. |        | 树高(m)Height |        | 单株材积(m <sup>3</sup> )Volume |         |
|----------------------------|--------------|--------|-------------|--------|-----------------------------|---------|
|                            | 混交林M.        | 纯林C.a. | 混交林M.       | 纯林C.a. | 混交林M.                       | 纯林C.a.  |
| 1                          | 4.69         | 5.91   | 3.92        | 3.68   | 0.00502                     | 0.00770 |
| 2                          | 4.36         | 2.90   | 3.52        | 2.67   | 0.00409                     | 0.00157 |
| 3                          | 6.17         | 5.20   | 5.09        | 4.50   | 0.01016                     | 0.00669 |
| 4                          | 3.51         | 2.59   | 3.40        | 2.66   | 0.00260                     | 0.00125 |
| 5                          | 4.98         | 3.24   | 4.14        | 2.82   | 0.00584                     | 0.00202 |
| 6                          | 3.84         | 2.86   | 3.15        | 2.59   | 0.00299                     | 0.00151 |
| 7                          | 4.21         | 4.06   | 4.49        | 3.36   | 0.00436                     | 0.00346 |
| 8                          | 4.29         | 4.21   | 4.15        | 4.02   | 0.00434                     | 0.00410 |
| 显著检验<br>Significance tests | t = 1.91*    |        | t = 4.83*** |        | t = 2.11*                   |         |
|                            | 显 著          |        | 极 显 著       |        | 显 著                         |         |

分别大16.5%、21.0%和39.3%。统计检验表明,混交林与其对照纯林中侧柏的胸径和单株材积差异显著,树高差异极显著。混交林中侧柏的冠幅平均为1.20m,油松平均为2.10m,纯林中侧柏冠幅平均为0.95m,混交后侧柏的冠幅也增大了。

由此可见,油松与侧柏适当混交后可以明显地促进侧柏的单株生长,提高侧柏的生长速度。从形态学和生态学角度考虑,其原因主要是:①侧柏与油松的同龄林虽然常形成单层林,但由于侧柏树冠呈尖塔形,上窄下宽,而油松树冠的上部则较宽大,所以其树冠形态上具有互补性,有利于树冠扩展进行光合作用。②侧柏为吸收根密集型的浅根系,油松为吸收根散布型的深根系,两者在混交林中的主要分布范围不同,树种间根系在营养空间上的矛盾较纯林小,单株营养空间相对较大。③侧柏稍耐阴,在干燥瘠薄的土壤上再有阳光直射常不利于它的生长发育,若有较为喜光的油松适当遮阴,即可促进它的生长。上述3个方面是油松与侧柏混交的理论依据所在。

(2) 群落生物量 表3是油松和侧柏不同部位生物量的优化模型,根据这些模型和每木调查结果可以求得各可比林分乔木层的生物量。8组林分中,混交林乔木层的总生物量是31.0—71.7t/10<sup>4</sup>m<sup>2</sup>,平均为50.2t/10<sup>4</sup>m<sup>2</sup>,侧柏纯林为15.0—56.7t/10<sup>4</sup>m<sup>2</sup>,平均是30.7t/10<sup>4</sup>m<sup>2</sup>,混交林都大于相应的侧柏纯林,平均是侧柏纯林的1.64倍。

灌木草本层的生物量远小于其上层乔木。由于郁闭度等生态环境因素的影响,侧柏纯林中灌木草本层的生物量都高于相应的混交林。经测定,混交林灌木草本层生物量在2.8—11.0t/10<sup>4</sup>m<sup>2</sup>之间,平均为6.26t/10<sup>4</sup>m<sup>2</sup>,侧柏纯林在3.3—13.0t/10<sup>4</sup>m<sup>2</sup>之间,平均为

表 3 侧柏与油松生物量的优化模型

Table 3 The mathematical biomass models of Chinese pine and Chinese arborvitae

|         | 侧柏 <i>Platycladus orientalis</i> |                  | 油松 <i>Pinus tabulaeformis</i> |                  |
|---------|----------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------|
|         | 模 型 Models                       | 相关系数 Correlation | 模 型 Models                    | 相关系数 Correlation |
| 干Trunk  | $W_s = 1034.885 + 22.3(D^2H)$    | 0.988***         | $W_s = 946.835 + 21.4(D^2H)$  | 0.949***         |
| 枝Branch | $W_{br} = 95.0(D^2H)^{0.571}$    | 0.868***         | $W_{br} = 77.0(D^2H)^{0.679}$ | 0.923**          |
| 叶Leaves | $W_L = 71.4(D^2H)^{0.583}$       | 0.871***         | $W_L = 84.8(D^2H)^{0.594}$    | 0.934**          |
| 根Root   | $W_r = 36.7 + 0.84(D^2H)$        | 0.893***         | $W_r = 120.0(D^2H)^{0.533}$   | 0.927**          |

注: \*\*\*: 极显著 ( $P < 0.001$ ); \*\*: 高度显著 ( $P < 0.01$ );  $D$ : 胸径,  $H$ : 树高, 侧柏标准木 22 株, 油松标准木 10 株。  
 9.16t/10<sup>4</sup>m<sup>2</sup>。灌木草本层与乔木层的生物量之比混交林是 11:89, 侧柏纯林是 23:77, 侧柏纯林中灌木草本层所占比例较大。特别对立地条件较差的侧柏林(如第 6 组)而言, 灌木草本层所起的作用相对更为重要。从群落总生物量上看, 混交林为 40.0—78.6t/10<sup>4</sup>m<sup>2</sup>, 侧柏纯林仅为 25.8—60.0t/10<sup>4</sup>m<sup>2</sup>, 混交林都远大于其对照纯林。

## 2. 森林生态效益

(1) 林内小气候 在森林小气候中, 起主导作用的是光照, 林内气温、湿度和地温等都为光照强度所制约。由于侧柏油松混交林比侧柏纯林郁闭早, 郁闭度大(混交林平均为侧柏纯林的 1.3 倍), 所以林内光强较弱。经测定, 5 月中 8 组可比样地离地表 1 m 的相对光照强度\*混交林为 12.0%—46.0%, 平均是 23.5%, 侧柏纯林为 20.0%—66.9%, 平均是 48.4%, 侧柏纯林是混交林的近 2 倍, 并且光强最高点的出现时间混交林比侧柏纯林一般要推迟半个多小时。混交林与侧柏纯林光照强度的差异并不与郁闭度的差异成正比, 而是比郁闭度的差异大得多。这一方面是由于混交林树高较纯林大, 光照由上至下减弱得较多, 另一方面则是因为侧柏纯林树木矮且树冠长, 测得的实际上是林冠层的值。

从图 1 看出, 日出前混交林与纯林间的气温相近, 日出后气温迅速上升, 混交林出现最高峰的时间\*\* (约 15:00) 比林外延迟近 1h, 最高温度混交林比林外低 2℃, 比纯林低 0.5—1℃。林内地温的日变化一般较气温平缓, 且变率随土层深度的增加而减少。由图 2 可知, 13:00—15:00 的地表温度混交林比纯林低 3—8℃, 地下 10cm 的温度低 2—5℃。地温的差异除了与林分郁闭度有关外, 还与混交林枯枝落叶层较厚有关。

混交林与对照纯林间小气候的差异第 1 是光照, 第 2 是地温, 气温的差异较小, 相对湿度的差异不明显。这是由于所研究的样地设在地小片林中, 树木又较矮小, 空气温度和相对湿度受到空气对流的强烈影响使可比林分间的差异减小。

(2) 枯枝落叶的蓄水效益 枯枝落叶在森林水分平衡、营养物质循环和防止水土流失等方面都具有重要作用。研究森林的水分平衡状况可以从枯枝落叶层的蓄水能力和土壤含水量等方面考察, 为此首先测定了各林分枯枝落叶现存量。结果表明, 8 组样地中, 混交林枯枝落叶现存量为 14.5—39.0t/10<sup>4</sup>m<sup>2</sup>, 平均是 22.4t/10<sup>4</sup>m<sup>2</sup>, 侧柏纯林为 6.2—11.5t/10<sup>4</sup>m<sup>2</sup>, 平均是 8.85t/10<sup>4</sup>m<sup>2</sup>。枯枝落叶现存量的多少与气候、土壤、树种等有关, 在所研究的可比样地中则主要取决于枯枝落叶的性质。由于油松枯枝落叶的年腐解率小于侧柏(侧柏为 0.990

\* 相对光照强度是林内光照强度与林外空旷地光照强度的比值。

\*\* 本文所指的时间都为夏令时, 夏令时比北京时间提前 1h。

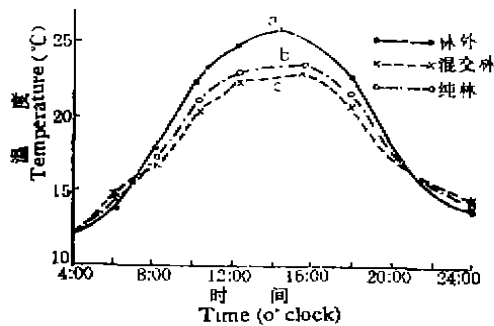


图 1 混交林与侧柏纯林气温的日变化曲线

Fig.1 The change of air temperature in the mixed forest and its corresponding Chinese arborvitae forest in a day  
a—out of the forest,  
b—Chinese arborvitae forest  
c—mixed forest

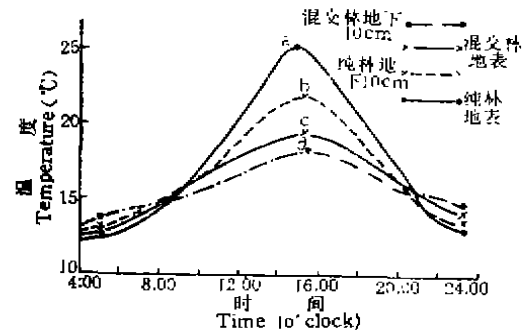


图 2 混交林与侧柏纯林地温的日变化曲线

Fig.2 The change of soil temperature in the mixed forest and its corresponding Chinese arborvitae forest in a day  
d—Under ground 10cm in the mixed forest  
c—Surface soil in the mixed forest  
b—Under ground 10cm in corresponding Chinese arborvitae forest  
a—Surface soil in corresponding Chinese arborvitae forest

$g/g \cdot a$ , 油松为  $0.190-0.210g/g \cdot a$ )<sup>[6]</sup>, 造成了侧柏油松混交林枯枝落叶现存量比侧柏纯林大,  $A_{0.1}/A_0$  比偏小(混交林平均为 0.69, 侧柏纯林为 0.89)。  $A_{0.1}/A_0$  比越小, 其转化为腐植质的过程就越慢, 养分循环周期也就越长, 这是混交林不利的一面。

小区实验测得混交林枯枝落叶层的最大有效持水率平均为 223%, 侧柏纯林为 215%, 再结合枯枝落叶现存量可以得到各组可比林分枯枝落叶的最大有效持水量。混交林的最大有效持水量明显大于侧柏纯林, 8 组可比林分的平均值为  $50.0t/10^4m^2$ , 是侧柏纯林  $19.0t/10^4m^2$  的 2.56 倍。也就是说混交林的枯枝落叶层平均可以蓄存 5 mm 降水, 这与该地区年均每次降雨量 5—10mm 相比, 其蓄水作用还是很明显的。枯枝落叶蓄存的这部分水分后来大部分被蒸发掉, 不能被根系吸收, 在干旱少雨的季节无疑是对降雨的损失, 这也是其不利之处。但是, 由于这些地区雨量相对集中, 非常有大暴雨发生, 所以在湿润多雨季节枯枝落叶层对降雨的调蓄作用也是很有意义的。与土壤不同, 枯枝落叶能在固持比自身重 2—3 倍水量的同时, 使多余水分缓慢渗入土壤中, 减弱了地表径流, 并防止了雨水直接冲击土壤, 从而有效地防止了水土流失。在这方面, 混交林由于有更厚更多的枯枝落叶层, 其效益较侧柏纯林更大。另外, 厚的枯枝落叶层及其高的蓄水力, 对减少土壤蒸发是有利的。如再考虑枯枝落叶对地温和物质循环等方面的影响, 混交林厚的枯枝落叶层的综合效益要大于侧柏纯林。

(3) 土壤水分 土壤水分状况直接影响林木的水分平衡, 特别在我国北方山区, 干旱是制约树木生长的主要因子, 因此, 土壤含水量也是研究侧柏油松混交林生态效益的重要指标。由图 3 不同土壤层次含水率的年度变化可以得出如下结论:

其一, 混交林与侧柏纯林一年中土壤含水率的变化趋势是基本一致的, 夏季一般高于春季和秋季, 但曲线位置混交林明显高于侧柏纯林, 说明各土层的土壤水分含量混交林一般高于侧柏纯林。例如, 4—12 月份 0—15cm 的土壤含水率混交林平均为 9.82%, 侧柏纯林为 5.47%, 15—30cm 的土壤含水率混交林平均为 9.50%, 侧柏纯林为 6.65%。其二, 不同土壤层次的

土壤含水量,混交林上层土多大于下层土,而侧柏林纯与之相反。即随着土层加深混交林含水量降低,而侧柏纯林则升高。两种林分含水率的差异以0—15cm土层较大,15—30cm差别较小,特别是在雨季树木生长旺盛期,两种林分土壤含水率的差异更大。例如,6—9

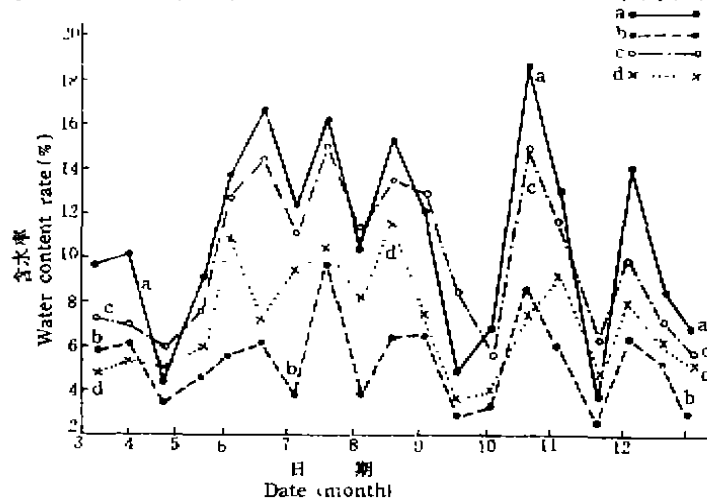


图3 第3组样地土壤含水率的年变化曲线

Fig.3 The change of soil water content in the third group of sampling plots during a year

a—Under ground 0—15cm in the mixed forest

b—Under ground 0—15cm in corresponding chinese arborvitae forest

c—Under ground 15—30cm in the mixed forest

d—Under ground 15—30cm in corresponding chinese arborvitae forest.

月混交林0—15cm的土壤含水率平均为10.7%,纯林为5.3%,混交林比纯林高近1倍。

造成两种林分水量差异的原因是林分郁闭度、林下植物覆盖度、枯枝落叶层的厚度和根系分布的共同影响。由于混交林的郁闭度大,枯枝落叶层较厚,土壤蒸发量较小,再加上水土流失较轻,所以混交林土壤含水量较侧柏纯林大。另外,由于侧柏林中侧柏根系浅(5cm以下侧柏根系即大量分布,而油松一般在10cm以下),林下植物也较多,所以,植物吸收上层土的水份最强烈,从而形成了侧柏纯林的蒸发散(即蒸发和蒸腾)上层大、下层小,土壤含水量上层低于下层的现象。而混交林中油松根系的分布较深,林分对各土层水分的消耗较为均衡,下层土的水分蒸腾消耗甚至高于上层土蒸发散消耗,所以上层土水分含量略高于下层土。

由此看来,侧柏油松混交林能减少水分的无效蒸发,保持土壤水分,使根系更有效地利用降水,在干旱无雨期,其水分供应条件比侧柏纯林要好,从而促进了林木生长。

(4) 土壤肥力 土壤有机质和营养元素含量是土壤肥力的重要指标。8组可比样地中混交林0—10cm土层有机质含量的年平均值为4.36%,全氮为0.167%,全磷0.033%,速效钾0.0137%;而侧柏林中有机质、全氮、全磷和速效钾含量则分别为4.77%、0.215%、0.049%、0.0149%,上述各项混交林都小于纯林。碳氮比混交林平均为15.2,大于侧柏纯林的平均值12.9。因此,侧柏纯林0—10cm的土壤肥力高于混交林,表明侧柏油松混交林在提高上层土壤肥力效益方面不如侧柏纯林。统计检验表明,除全氮外,上述各项混交林与对照纯林间均存在显著性差异(见表4)。

两种林分10—20cm土层土壤肥力的差异则不明显,统计检验不显著。

混交林改善土壤肥力的效益不如侧柏纯林,是由下列几个方面的原因造成的: ①混

表 4 各组可比样地土壤的肥力状况(0—10cm)  
Table 4 The conditions of soil fertility in every groups of comarable woodlands

| 组 别<br>No.                     | 林 型<br>Forest<br>type | 有 机 质(%)<br>Organic<br>material | 全 氮(%)<br>Total N | 碳 氮 比<br>C/N rate | 全 磷(%)<br>Total P | 速效钾(%)<br>Effective<br>K |
|--------------------------------|-----------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|
| 1                              | 混 交 林                 | 3.39                            | 0.128             | 15.4              | 0.0210            | 0.0130                   |
|                                | 纯 林                   | 3.96                            | 0.151             | 15.2              | 0.0355            | 0.0151                   |
| 2                              | 混 交 林                 | 4.14                            | 0.166             | 14.5              | 0.0450            | 0.0148                   |
|                                | 纯 林                   | 4.83                            | 0.207             | 13.5              | 0.0720            | 0.0151                   |
| 3                              | 混 交 林                 | 3.50                            | 0.120             | 16.9              | —                 | —                        |
|                                | 纯 林                   | 4.00                            | 0.167             | 13.9              | —                 | —                        |
| 4                              | 混 交 林                 | 5.24                            | 0.233             | 13.0              | 0.0400            | 0.0134                   |
|                                | 纯 林                   | 4.82                            | 0.185             | 15.1              | 0.0280            | 0.0136                   |
| 5                              | 混 交 林                 | 4.59                            | 0.168             | 15.8              | 0.0350            | 0.0137                   |
|                                | 纯 林                   | 5.67                            | 0.296             | 11.1              | 0.0585            | 0.0152                   |
| 6                              | 混 交 林                 | 3.85                            | 0.160             | 14.0              | —                 | —                        |
|                                | 纯 林                   | 4.20                            | 0.220             | 11.0              | —                 | —                        |
| 7                              | 混 交 林                 | 4.74                            | 0.173             | 15.9              | 0.0250            | 0.0131                   |
|                                | 纯 林                   | 5.24                            | 0.230             | 13.2              | 0.0450            | 0.0155                   |
| 8                              | 混 交 林                 | 5.40                            | 0.191             | 16.4              | 0.0320            | 0.0141                   |
|                                | 纯 林                   | 5.44                            | 0.259             | 12.2              | 0.0550            | 0.0146                   |
| 差异的显著性检验<br>Significance tests |                       | $t = -2.62^*$                   | $t = -1.36$       | $t = 2.62^*$      | $t = 2.67^*$      | $t = 2.97^*$             |

交林生长快, 总生物量大, 积累到活植物体中的营养物质多, 对土壤中营养物质的消耗要比侧柏纯林多得多。②侧柏立木的灰分含量一般为 7.0% 左右, 平均含氮 1.35%, 含磷 0.13%, 含钾 0.79%; 油松的灰分含量一般为 3.0%, 平均含氮 0.91%, 含磷 0.10%, 含钾 0.32%<sup>[7]</sup>。可见侧柏的灰分、氮、磷、钾含量都明显高于油松, 其枯枝落叶的养分含量也就较大, 再加上油松枯枝落叶的分解率远小于侧柏, 所以油松侧柏混交林枯枝落叶归还土壤的养分比侧柏林就少得多, 大量的营养成分还蓄存在立木与枯枝落叶中。③灌木草本层对增加土壤表层的养分含量作用巨大, 其中豆科植物的固氮作用能显著增加土壤的氮素含量。侧柏纯林中灌木草本层的生物量高于混交林, 所以它对提高土壤肥力的作用必然比混交林大。

(5) 防止土壤侵蚀的效益 经实测知, 8 组可比样地中, 侧柏油松混交林的年侵蚀模数在 280—1150t/km<sup>2</sup>·a 之间, 年侵蚀土层厚平均仅为 0.56mm, 为轻度侵蚀(侵蚀等级的划分按当地标准进行); 侧柏纯林的侵蚀模数在不同情况下变化较大, 一般为 900—3200t/km<sup>2</sup>·a, 年侵蚀土层厚平均为 1.43mm, 许多地段达到了中等侵蚀等级。侧柏油松混交林的郁闭度大, 枯枝落叶厚, 所以其土壤侵蚀量也就小于相应的侧柏纯林。

### 3. 侧柏油松混交林混交效益的简单相关分析

在混交林及侧柏纯林间选取了 8 个因子计算其效益指标值:

$$E = F_1/F_2 - 1 \quad EI = E / \sum_{i=1}^n E$$

其中 $F_1$ 是混交林值,  $F_2$ 是侧柏纯林的值。 $EI$ 的绝对值大小即表示了可比林分中混交林相对于侧柏纯林的混交效益, 它排除了坡度、坡向、海拔、土层厚度等立地条件的影响。8组可比林分、8个因子 $EI$ 值的简单相关矩阵见表5。

表5 8个混交效益指标的相关矩阵  
Table 5 Correlation coefficient matrix and significance among eight benefit indexes

|       | $B_1$     | $B_2$    | $L$    | $T$     | $W_d$    | $O_1$  | $W_w$    | $O_2$ |
|-------|-----------|----------|--------|---------|----------|--------|----------|-------|
| $B_1$ | 1.000     |          |        |         |          |        |          |       |
| $B_2$ | -0.602    | 1.000    |        |         |          |        |          |       |
| $L$   | -0.542    | 0.397    | 1.000  |         |          |        |          |       |
| $T$   | -0.928*** | 0.407    | 0.447  | 1.000   |          |        |          |       |
| $W_d$ | 0.822*    | -0.326   | -0.513 | -0.831* | 1.000    |        |          |       |
| $O_1$ | -0.468    | 0.954*** | 0.270  | 0.290   | -0.288   | 1.000  |          |       |
| $W_w$ | 0.807*    | -0.454   | -0.502 | -0.783* | 0.970*** | -0.462 | 1.000    |       |
| $O_2$ | -0.773*   | 0.334    | 0.588  | 0.777*  | -0.886** | 0.314  | -0.863** | 1.000 |

$B_1$ : 乔木层生物量  $B_2$ : 草本层生物量  $L$ : 地上1m相对光强  $T$ : 地表面温度  $W_d$ : 0—10cm早期土壤水分  $O_1$ : 0—10cm土壤有机质  $W_w$ : 枯枝落叶现存量  $O_2$ : 土壤年侵蚀模数

\*显著( $P < 0.05$ ), \*\*高度显著( $P < 0.01$ ), \*\*\*极显著( $P < 0.001$ ).

由表5可得到与以前的分析相一致的结论:(1) $T$ 与 $B_1$ 和 $W_w$ 呈极显著或显著负相关, 证明了土壤表面温度取决于上层乔木和地面枯枝落叶覆盖。(2) $L$ 、 $T$ 与群落生物量效益指标的相关性说明了混交林生产力效益与小气候效益是相联系的。而 $L$ 与 $T$ 相关不显著, 即相对光强(或开敞度)的增加并不能引起土壤温度的显著升高, 这是林下植物和枯枝落叶层的影响所致。(3) $W_d$ 与 $B_1$ 、 $W_w$ 呈显著或极显著正相关, 主要是因为乔木层和枯枝落叶层的覆盖能抑制土壤蒸发损失。(4) $O_1$ 与 $B_1$ 、 $W_w$ 有一定负相关性, 但并不显著, 与 $B_2$ 呈极显著的正相关, 这与以前的分析相同。即混交林上层土壤肥力较低的原因与乔木层生物量较大而林下植物较少和枯枝落叶分解率低有关。(5) $O_2$ 与 $B_1$ 、 $W_w$ 呈显著或高度显著的负相关, 这符合土壤侵蚀的一般规律。

### 三、结论及建议

1. 油松与侧柏适当混交有利于侧柏生长, 群落生产力也显著提高了, 特别是乔木层生物量远较侧柏纯林大。

2. 侧柏油松混交林的混交效益还在于其生态效益总体上好于侧柏纯林。主要表现在:(1)混交林比纯林的小气候特征更为明显, 日变化曲线较为平缓, 日较差较小, 它能更有效地改善林地气候;(2)混交林枯枝落叶现存量大于侧柏纯林, 其蓄水能力较大, 尽管这存在某些消极作用, 但利大于弊;(3)混交林的土壤含水量一般高于纯林, 它能减少水分损失, 从而更有效地维持水分平衡;(4)混交林的水土保持效益好于侧柏纯林, 其土壤侵蚀量远较纯林为小。

3. 油松与侧柏混交后的不利影响主要表现在其上层土的肥力状况不如纯林。但由于侧柏油松混交林主要用作山地防护林, 其改土效益的重要性相对较小, 所以它在这方面的不足还是可以接受的。

侧柏油松混交林的综合生长效益和生态效益优于侧柏纯林, 它是山区防护林中具有发展

前途的一种混交林类型。因此,笔者建议在适于这两个树种生长的地区可推广这种造林,对现有的侧柏或油松纯林,特别是生长差的疏林和部分幼林可结合当地条件有计划地改造成侧柏和油松的混交林。

### 参 考 文 献

- [1] 佐藤大七郎, 堤利夫著(聂绍荃译), 陆地植物群落的物质生产, 科学出版社, 1986, 21—37.
- [2] D.M. 昂温著(杨正明译), 生物环境小气候测量, 北京气象出版社, 1985.
- [3] 赵荣贵等, 中国辽西地区油松针阔混交林生态效益的研究, 生态学报, 1983, 3(4):341—348.
- [4] 蒋有绪, 川西亚高山冷杉枯枝落叶层的群落学作用, 植物生态学与地植物学丛刊, 1981, 5(2):29—36.
- [5] 史德明, 土壤侵蚀的野外调查研究方法介绍, 土壤学报, 1964, 12(2):222—229.
- [6] 胡静慧, 陈灵芝等, 几种树木枯叶分解速度的试验研究, 植物生态学与地植物学丛刊, 1987, 11(2):124—132.
- [7] 侯学煜, 中国植被地理及优势植物化学成分, 科学出版社, 1982.
- [8] Ayyad M.A.G. and Dix, P.L. An analysis of a vegetation-microenvironmental complex on prairie slopes in Saskatchewan. Ecological Monographs, 1964, 31(4):83—106.

## A PRELIMINARY STUDY ON THE MIXTURE BENEFITS OF THE MIXED FOREST OF CHINESE PINE WITH CHINESE ARBORVITAE ON LU MOUNTAIN, SHANDONG PROVINCE

Qi Xin-Shan Ji Ming Chuan.

(The Station of Agro-environmental Protection and Monitoring of Shandong Province, Jinan 250100)

Yang Ming Hua

(Research Center for Eco-Environmental Science, Academia Sinica, Beijing)

In order to study the mixture benefits of the mixed forest of Chinese pine with Chinese arborvitae, eight series of comparable sample plots of the mixed forest and its corresponding Chinese arborvitae forest are located on the slopes of different site conditions. It is found that the mixed forest has shown significant mixture benefits

1. The mixed forest has more biological productivity in tree layer than the pure forest, but the undergrowth has less. The total community biomass of the mixed forest is more than the pure forest obviously.

2. The daily microclimate change of illumination, air temperature and soil temperature in the mixed forest is more gentle than in the pure forest. This proves that the mixed forest can certainly improve its microclimate.

3. The maximum water contents of forest litter are discussed with its other effects. A conclusion is that the litter in mixed forest is superior to the pure forest overall.

4. The natural soil water contents of the mixed forest during a year are generally larger than the Chinese arborvitae's.

5. The condition of soil fertility of the mixed forest is worse than the pure Chinese arborvitae forest mainly for the decomposition rate of the Chinese arborvitae's litter is much more fast than the Chinese pine's.

6. The amount of soil erosion in the mixed forest is just about 280—1150 t/km<sup>2</sup> · a, but 900—3200 t/km<sup>2</sup> · a in the pure Chinese arborvitae forest.

It is suggested that the mixed forest of Chinese pine with Chinese arborvitae as a protection forest in mountainous areas has a broad prospect to be expanded.

**Key words:** mixed forest, mixture benefit, ecological benefit.