

林分最大蓄积量收获模型建立方法的探讨*

陈永富

(中国林业科学研究院资源信息研究所)

张小泉

(中国林业科学研究院林业研究所)

摘要 本文用太行山地区88块油松标准地资料,取改进的Chapman-Richards函数,运用有约束条件的非线性最小二乘法和改进平行线法求曲面回归方程参数的原理,建立一种以地位指数和年龄为解释变量的林分最大蓄积量收获模型,为立地质量的蓄积量指标评价和林业生产提供依据。

关键词 油松 林分最大蓄积量收获模型 有约束条件的非线性最小二乘法 改进平行线法
Chapman-Richards函数

以蓄积量作为评价立地生产潜力的指标,是林业集约经营发展的必然要求。国内外对用蓄积量评价立地质量都有较深入的研究,如瑞典的Björn Hägglund^[1]提出,用立地特性直接表达蓄积生长量的函数,对立地评价问题似乎是一个第一流的解答。而林分密度对蓄积量的影响,往往不亚于立地质量的影响,因此,只有统一到林地最大生产潜力的标准水平,以蓄积量作为立地质量评价指标才有意义。这就提出一个如何将蓄积量统一到标准水平的方法问题。目前有两种方法可以获得林分最大蓄积量:一是根据林分平均高,从标准表中查得对应的最大蓄积量。另一种是根据现实林分调查数据直接建立最大蓄积量预估模型。由于有的树种还未编制标准表,故方法一难以实现。本文以油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)为例,采用有约束的非线性最小二乘法,分别地位指数建立林分最大蓄积量预估模型,进而运用改进平行线法求曲面回归方程参数,建立以年龄和地位指数为解释变量的林分最大蓄积量收获模型。

1 材料收集和蓄积量计算

1.1 材料收集

从太行山地区设置的900余块油松标准地中挑选出郁闭度0.9以上、不同地位指数和年龄的标准地88块,其地位指数和年龄分布见表1。

表 1 标准地按地位指数和年龄分布统计

| 地位指数级 | 样地数(块) | 平均地位指数 | 最大最小地位指数 | 平均年龄(a) | 最大最小年龄(a) |
|-------|--------|--------|-----------|---------|-----------|
| 6 | 30 | 6.2 | 5.1~7.0 | 18.8 | 10~30 |
| 8 | 21 | 7.9 | 7.1~9.0 | 20.7 | 13~29 |
| 10 | 18 | 9.9 | 9.1~11.0 | 22.1 | 17~32 |
| 12 | 9 | 11.9 | 11.1~12.8 | 25.9 | 12~27 |
| 14 | 10 | 13.8 | 13.1~14.4 | 28.0 | 22~43 |
| 合 计 | 88 | | | | |

1.2 蓄积量计算

在各标准地的树高曲线上查得立木的树高值，按部颁华北地区油松二元材积表求得立木材积，全部立木材积求和并换算成每公顷蓄积。

2 模型建立

2.1 最大蓄积量收获模型的选择

林分蓄积量的生长过程呈“S”形曲线。对于体现这种规律的数学模型必须具备以下条件：当年龄为零时蓄积为零；当年龄趋向无限大时，蓄积量能趋近于一符合生物学解释的极限值；存在体现曲线变化的拐点。著名的 Chapman-Richards 函数能满足这三点要求，其函数式为：

$$M = a[1 - \exp(-b \cdot t)]^c \quad (1)$$

M ——蓄积量； a ——收敛极限参数； b ——生长速度参数； c ——形状参数； t ——年龄。

2.1.1 分地位指数求最大蓄积预估模型 具有相同年龄、立地条件和树种的林分因密度不同而蓄积量不同。对郁闭度在0.9以上的标准地资料，采用有约束的非线性最小二乘法，可获得最大蓄积量预估模型。其数学表达式为：

$$\begin{cases} \min = \sum (f(t_i) - y_i)^2 \\ f(t_i) - y_i \geq 0 \end{cases} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (2)$$

其中 $f(t) = a[1 - \exp(-b \cdot t)]^c$ ，是一个非线性最优化问题，其解法见文献[2]。

根据模型(1)及上述原理，求出各地位指数下模型(1)的参数 a 、 b 、 c ，即林分最大蓄积量生长曲线。由此求出的生长曲线必须满足：各观测点到曲线上的剩余方差最小，曲线上的点与之对应年龄的观测值之差不小于零。例如，拟合的地位指数为10的油松林分最大蓄积量生长曲线如图1。

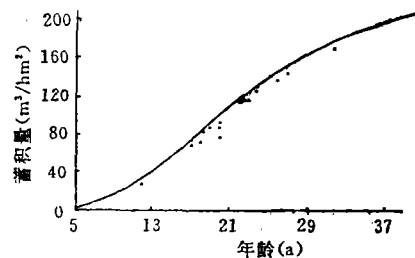


图 1 地位指数为10的油松林分最大蓄积生长曲线

2.1.2 最大蓄积量收获模型 在分别求出各地位指数最大蓄积量预估模型的基础上，计算出相应平均地位指数各年龄的林分最大蓄积量(表2)。经分析，模型(1)中的各参数与地位指数之间成下述关系：

表2 平均地位指数各年龄林分最大蓄积量

| 标准地 (块) | 平均地 位指数 | 各年龄的林分最大蓄积量 (m ³ /hm ²) | | | | | | |
|------------|------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 |
| 30 | 6.2 | 5.6 | 26.6 | 50.6 | 66.8 | 75.5 | 79.7 | 81.4 |
| 21 | 7.9 | 9.3 | 36.0 | 68.9 | 96.1 | 114.6 | 125.9 | 132.6 |
| 18 | 9.9 | 18.4 | 54.8 | 98.0 | 136.8 | 166.9 | 188.5 | 203.1 |
| 9 | 11.9 | 35.2 | 84.6 | 139.3 | 189.2 | 230.2 | 261.9 | 285.5 |
| 10 | 13.8 | 60.9 | 125.5 | 192.3 | 252.8 | 303.8 | 344.8 | 376.8 |

$$a = C_0 L^{C_1} \tag{3}$$

$$b = C_2 L^{C_3} \tag{4}$$

$$c = C_4 L^{C_5} \tag{5}$$

L——地位指数, C₀...C₅——为待定参数, 将(3)~(5)式代入(1)式得:

$$M = C_0 L^{C_1} [1 - \exp(-C_2 L^{C_3} \cdot t)]^{C_4 L^{C_5}} \tag{6}$$

方程(6)即为所选定的最大蓄积收获模型。

利用表(2)提供的数据, 用改进平行线法^[3], 求曲面回归方程(6)的参数C₀...C₅, 其结果为: C₀ = 1.591 45, C₁ = 2.169 401, C₂ = 1.353 397, C₃ = -1.169 434, C₄ = 370.370 4, C₅ = -1.872 063, 根据模型(6), 绘制出地位指数6~14的最大蓄积量生长曲线簇(图2)。

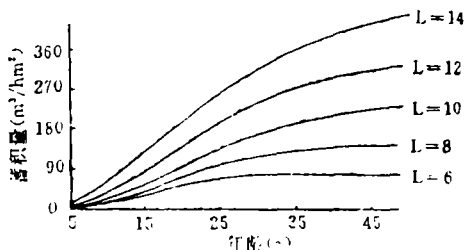


图2 油松林分最大蓄积量生长曲线簇

2.2 最大断面模型和平均高模型的建立

采用上述方法, 可建立林分最大断面模型和平均高模型。根据上述标准地资料, 建立的油松林分最大断面模型为:

$$G = C_0 L^{C_1} [1 - \exp(-C_2 L^{C_3} \cdot t)]^{C_4 L^{C_5}} \tag{7}$$

C₀ = 1.478 983, C₁ = 1.374 041, C₂ = 1.256 915, C₃ = -1.331 097, C₄ = 2.695 514, C₅ = -0.341 708, G——断面积。

建立的平均高模型为:

$$H = C_0 L^{C_1} [1 - \exp(-C_2 L^{C_3} \cdot t)]^{C_4 L^{C_5}} \tag{8}$$

C₀ = 0.328 091, C₁ = 1.555 381, C₂ = 0.919 406, C₃ = -1.193 322, C₄ = 3.056 120, C₅ = -0.329 288, H——平均高。

3 模型精度分析及应用

3.1 精度分析

将模型(6)、(7)、(8)的精度分析统计成表3, 可见, 各模型的相关系数均较高, 剩余标准差占观测平均值的百分比均小于10%,

表3 拟合模型精度分析

| 模型号 | 相关系数(R) | (S/Y)% | 曲面适合性F | F _{0.05} |
|-----|---------|--------|---------|-------------------|
| 6 | 0.983 3 | 4.28 | 0.830 8 | 19.5 |
| 7 | 0.989 8 | 1.88 | 0.169 9 | 19.5 |
| 8 | 0.992 8 | 2.98 | 0.134 5 | 19.5 |

注: S——剩余标准差, Y——观测平均值。

F 均小于 $F_{0.05}$, 即曲面适合性很好。

3.2 应用

本文结合太行山地区立地评价, 编制了太行山地区土石山立地小区各立地类型的油松最大蓄积量收获表 4。此表使用方便、灵活, 可以根据各种立地条件查得各龄级的最大蓄积量、断面积和平均高。

4 结论与讨论

(1) 林分最大蓄积量与收获指标一致, 便于多树种在林业生产经营时正确比较和选择。

(2) 用本文提供的最大蓄积量、断面积和平均高模型编制的收获量表, 内容丰富, 不仅包含有标准表中的断面积、平均高、蓄积量, 而且还包含有立地类型、地位指数和年龄。使用方便、灵活, 易于生产者接受, 为林业生产规划、预测带来极大的方便。

(3) 本文提供的(6)参数 Chapman-Richards 函数, 是拟合最大蓄积量收获模型的一个比较理想的数学模型。

(4) 为了更加准确地确定郁闭度, 有必要对郁闭度的观测方法作进一步的研究。

参 考 文 献

- 1 Björn Bågglund. Evaluation of forest site productivity. *Forestry Abstracts*, 1981, 42(11).
- 2 中国科学院数学研究所运筹室. 最优化方法. 北京: 科学出版社, 1980.
- 3 唐守正等. IBM PC-系列程序集. 北京: 中国林业出版社, 1989, 36~42.

Discussion on the Method of Establishing Stand Maximum Volume Yield Model

Chen Yongfu

(The Research Institute of Forest Resources Information Technique CAF)

Zang Xiaoquan

(The Research Institute of Forestry CAF)

Abstract A maximum volume yield model, which takes site and age as the interpreting variables, was established on the basis of 88 experimental plots of *Pinus tabulaeformis* in Taihangsan Area. Improved Chapman-Richards function, nonlinear least squares method and method of improved parallel line were used to construct the model. It supplies a function for site quality evaluation using index of volume and forest production.

Key words *Pinus tabulaeformis* stand maximum volume yield model
nonlinear least square method method of parallel line
Chapman-Richards function

表4 太行山地区油松最大收获量表 (摘录)

| 立地 小区 | 立地类型组 | 立地类型 | 地位 指数 | 年 龄 | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|--------|----------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|
| | | | | 20 | | | 30 | | | 40 | | | 50 | | |
| | | | | D | G | m | D | G | m | D | G | m | D | G | m |
| 土 | 低山丘陵中阳坡上部 | 中性壤土 | 7.2 | 5.2 | 17.463 | 60.8 | 6.3 | 20.301 | 98.0 | 6.7 | 21.478 | 110.5 | 6.9 | 21.957 | 114.0 |
| | | 中性砂壤土 | 6.1 | 4.4 | 15.130 | 49.6 | 5.1 | 16.887 | 73.3 | 5.3 | 17.466 | 79.0 | 5.4 | 17.654 | 80.2 |
| | | 微碱性壤土 | 6.2 | 4.5 | 15.356 | 50.6 | 5.2 | 17.209 | 75.5 | 5.5 | 17.833 | 81.7 | 5.6 | 18.042 | 83.0 |
| | | 微碱性砂壤土 | 5.0 | 3.5 | 12.419 | 38.9 | 3.9 | 13.251 | 50.3 | 4.0 | 13.444 | 52.0 | 4.0 | 13.488 | 52.2 |
| | 低山丘陵中阳坡中下部 | 中性壤土 | 7.9 | 5.7 | 18.785 | 68.7 | 7.0 | 22.328 | 114.5 | 7.6 | 23.963 | 132.5 | 7.9 | 24.706 | 138.4 |
| | | 中性砂壤土 | 6.7 | 4.9 | 16.508 | 55.8 | 5.8 | 18.875 | 87.2 | 6.1 | 19.775 | 96.6 | 6.3 | 20.111 | 98.9 |
| | | 微碱性壤土 | 6.9 | 5.0 | 16.860 | 57.6 | 5.9 | 19.397 | 91.1 | 6.3 | 20.393 | 101.5 | 6.5 | 20.778 | 104.2 |
| | | 微碱性砂壤土 | 5.7 | 4.1 | 14.190 | 45.7 | 4.7 | 15.584 | 64.7 | 4.8 | 15.996 | 68.6 | 4.9 | 16.116 | 69.3 |
| | 低山丘陵中阴坡上部 | 中性壤土 | 7.7 | 5.5 | 18.418 | 66.4 | 6.8 | 21.760 | 109.7 | 7.4 | 23.260 | 126.1 | 7.6 | 23.922 | 131.2 |
| | | 中性砂壤土 | 6.5 | 4.7 | 16.018 | 53.5 | 5.5 | 18.159 | 82.1 | 5.8 | 18.934 | 90.0 | 6.0 | 19.210 | 91.8 |
| | | 微碱性壤土 | 6.4 | 4.6 | 15.801 | 52.5 | 5.4 | 17.844 | 79.9 | 5.7 | 18.568 | 87.2 | 5.8 | 18.820 | 88.8 |
| | | 微碱性砂壤土 | 5.2 | 3.7 | 12.942 | 40.9 | 4.1 | 13.923 | 54.4 | 4.2 | 14.168 | 56.5 | 4.3 | 14.229 | 56.8 |
| 低山丘陵中阴坡中下部 | 中性壤土 | 8.3 | 5.9 | 19.493 | 73.8 | 7.4 | 23.434 | 124.3 | 8.1 | 25.350 | 145.8 | 8.5 | 26.266 | 153.3 | |
| | 中性砂壤土 | 7.2 | 5.2 | 17.463 | 60.8 | 6.3 | 20.301 | 98.0 | 6.7 | 21.478 | 110.5 | 6.9 | 21.957 | 114.0 | |
| | 微碱性壤土 | 7.0 | 5.1 | 17.064 | 58.6 | 6.1 | 19.700 | 93.4 | 6.5 | 20.756 | 104.5 | 6.6 | 21.171 | 107.4 | |
| | 微碱性砂壤土 | 5.9 | 4.3 | 14.666 | 47.7 | 4.9 | 16.239 | 69.0 | 5.1 | 16.731 | 73.7 | 5.2 | 16.882 | 74.6 | |
| 低山中阳坡上部 | 中性壤土 | 9.9 | 6.9 | 22.065 | 97.8 | 8.9 | 27.514 | 166.8 | 10.1 | 30.614 | 203.0 | 10.8 | 32.351 | 219.0 | |
| | 中性砂壤土 | 8.7 | 6.2 | 20.172 | 79.1 | 7.8 | 24.504 | 134.4 | 8.6 | 26.710 | 159.4 | 9.1 | 27.814 | 168.8 | |
| | 微碱性壤土 | 8.8 | 6.2 | 20.338 | 80.5 | 7.9 | 24.766 | 137.0 | 8.7 | 27.045 | 162.9 | 9.2 | 28.199 | 172.7 | |
| | 微碱性砂壤土 | 7.7 | 5.5 | 18.418 | 66.4 | 6.8 | 21.760 | 109.7 | 7.4 | 23.260 | 126.1 | 7.6 | 23.922 | 131.2 | |
| 山 | 低山中阳坡中下部 | 中性壤土 | 10.5 | 7.2 | 22.946 | 108.7 | 9.5 | 28.918 | 184.4 | 10.8 | 32.467 | 226.4 | 11.6 | 34.547 | 246.1 |
| | | 中性砂壤土 | 9.4 | 6.6 | 21.299 | 89.5 | 8.5 | 26.294 | 152.9 | 9.5 | 29.019 | 184.4 | 10.1 | 30.482 | 197.4 |
| | | 微碱性壤土 | 9.5 | 6.7 | 21.455 | 91.1 | 8.5 | 26.542 | 155.6 | 9.6 | 29.342 | 188.0 | 10.2 | 30.859 | 201.7 |
| | | 微碱性砂壤土 | 8.3 | 5.9 | 19.493 | 73.8 | 7.4 | 23.434 | 124.3 | 8.1 | 25.350 | 145.8 | 8.5 | 26.266 | 153.3 |
| | 低山中阴坡上部 | 中性壤土 | 10.3 | 7.1 | 22.656 | 104.9 | 9.3 | 28.457 | 178.4 | 10.6 | 31.856 | 218.5 | 11.3 | 33.821 | 236.9 |
| | | 中性砂壤土 | 9.1 | 6.4 | 20.825 | 84.9 | 8.2 | 25.540 | 144.8 | 9.1 | 28.041 | 173.5 | 9.6 | 29.346 | 184.9 |
| | | 微碱性壤土 | 9.0 | 6.4 | 20.664 | 83.4 | 8.1 | 25.284 | 142.2 | 9.0 | 27.711 | 169.9 | 9.5 | 28.964 | 180.8 |
| | | 微碱性砂壤土 | 7.8 | 5.6 | 18.603 | 67.5 | 6.9 | 22.045 | 112.1 | 7.5 | 23.613 | 129.3 | 7.8 | 24.314 | 134.8 |
| | 低山中阴坡中下部 | 中性壤土 | 10.9 | 7.5 | 23.515 | 116.6 | 9.8 | 29.821 | 196.8 | 11.3 | 33.667 | 242.6 | 12.2 | 35.982 | 265.0 |
| | | 中性砂壤土 | 9.8 | 6.8 | 21.914 | 96.1 | 8.8 | 27.274 | 164.0 | 10.0 | 30.299 | 199.2 | 10.6 | 31.980 | 214.6 |
| | | 微碱性壤土 | 9.7 | 6.8 | 21.762 | 94.4 | 8.7 | 27.032 | 161.2 | 9.9 | 29.982 | 195.5 | 10.5 | 31.607 | 210.3 |
| | | 微碱性砂壤土 | 8.5 | 6.1 | 19.836 | 76.4 | 7.6 | 23.974 | 129.3 | 8.4 | 26.034 | 152.5 | 8.8 | 27.042 | 160.9 |
| 低中山中阳坡上部 | 中性壤土 | 9.6 | 6.7 | 21.609 | 92.7 | 8.6 | 26.788 | 158.4 | 9.7 | 29.663 | 191.7 | 10.3 | 31.234 | 205.9 | |
| | 中性砂壤土 | 8.5 | 6.1 | 19.836 | 76.4 | 7.6 | 23.974 | 129.3 | 8.4 | 26.034 | 152.5 | 8.8 | 27.042 | 160.9 | |
| | 微碱性壤土 | 8.6 | 6.1 | 20.005 | 77.7 | 7.7 | 24.240 | 131.8 | 8.5 | 26.373 | 156.0 | 8.9 | 27.428 | 164.8 | |
| | 微碱性砂壤土 | 7.4 | 5.3 | 17.852 | 62.9 | 6.5 | 20.892 | 102.6 | 7.0 | 22.195 | 116.7 | 7.2 | 22.744 | 120.8 | |
| 低中山中阳坡中下部 | 中性壤土 | 10.3 | 7.1 | 22.656 | 104.9 | 9.3 | 28.457 | 178.4 | 10.6 | 31.856 | 218.5 | 11.3 | 33.821 | 236.9 | |
| | 中性砂壤土 | 9.2 | 6.5 | 20.985 | 86.4 | 8.3 | 25.793 | 147.5 | 9.2 | 28.369 | 177.1 | 9.8 | 29.726 | 189.0 | |
| | 微碱性壤土 | 9.3 | 6.5 | 21.143 | 87.9 | 8.4 | 26.045 | 150.2 | 9.4 | 28.695 | 180.7 | 9.9 | 30.105 | 193.2 | |
| | 微碱性砂壤土 | 8.1 | 5.8 | 19.143 | 71.2 | 7.2 | 22.885 | 119.4 | 7.9 | 24.660 | 139.1 | 8.2 | 25.487 | 145.7 | |

续表 4

| 立地 小区 | 立地类型组 | 立地类型 | 地位 指数 | 年 龄 | | | | | | | | | | | |
|-------------|--------|--------|----------|-----|--------|--------|------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|
| | | | | 20 | | | 30 | | | 40 | | | 50 | | |
| | | | | D | G | m | D | G | m | D | G | m | D | G | m |
| 土 石 山 | 低中山中阴坡 | 中性壤土 | 10.1 | 7.0 | 22.362 | 101.3 | 9.1 | 27.989 | 172.6 | 10.3 | 31.239 | 210.7 | 11.1 | 33.089 | 227.9 |
| | | 上部 | 中性砂壤土 | 8.9 | 6.3 | 20.502 | 82.0 | 8.0 | 25.026 | 139.6 | 8.9 | 27.379 | 166.4 | 9.3 | 28.582 |
| | 山 | 微碱性壤土 | 8.8 | 6.2 | 20.338 | 80.5 | 7.9 | 24.766 | 137.0 | 8.7 | 27.045 | 162.9 | 9.2 | 28.199 | 172.7 |
| | | 微碱性砂壤土 | 7.6 | 5.5 | 18.232 | 65.2 | 6.7 | 21.473 | 107.3 | 7.2 | 22.907 | 122.9 | 7.5 | 23.529 | 127.7 |

FORSPA 在行动

一、什么是 FORSPA?

FORSPA 是“亚太地区林业研究计划”的英文缩写。该组织的宗旨是为了加强亚太地区各国林业研究的合作与交流。成立的过程如下：联合国粮农组织亚太地区办事处于 1989 年 8 月在泰国首都曼谷，召开了“亚太地区林业研究所所长会议”，共有 15 个国家的 26 个研究所所长参加，我作为中国林科院林业所所长，应邀出席了会议。会议期间，除了交流各国林业研究所的现状、问题与前景之外，决定寻求有关国际组织的资助，成立“亚太地区林业研究计划”(FORSPA)，以促进和协调各国间的发展与合作。1991 年 8 月 14 日，在曼谷召开了一个小型的 FORSPA 顾问组会议，联合国粮农组织亚太地区办事处的林业官员 Y. S. Rao 先生介绍了 FORSPA 的筹备情况，以及联合国粮农组织(FAO)与联合国开发计划署(UNDP)和亚洲开发银行(ADB)等国际组织签署的总金额为 205 万美元的协议书。顾问组由 11 人组成，他们是：王世绩(中国)、D. N. Tewari(印度)、Wartono Kadri(印尼)、Fujio Kobayashi(日本)、P. Snivastava(巴布亚·新几内亚)、Suree Bhumibhamon(泰国)、B. N. Ganguli(亚洲开发银行)、Don Mentz(英联邦农业局)、M. K. Muthoo(FAO)、Salleh Mohd Nor(IUFRO)和 S. Zakharia(UNDP)。

二、活动

在 FORSPA 顾问组会议上讨论通过了在以下五个领域里优先资助研究课题，它们是：①小流域治理；②土地衰退与土壤问题；③提高人工林生产力；④包括生物多样性和非木质产品在内的生态系统的保护；⑤社区居民参与林业发展。会后，FORSPA 秘书处(Y. S. Rao 先生兼秘书长)向各国有关单位发出了课题招标指南。截至 1992 年 1 月 15 日止，共收到 150 项投标课题，其中包括：孟加拉 1 项，中国 24 项，印度 57 项，缅甸 3 项，尼泊尔 2 项，巴基斯坦 6 项，巴布亚·新几内亚 3 项，菲律宾 24 项，泰国 8 项，越南 22 项，总共申请金额 1 334 万美元，大大超过了原来的计划。1992 年 1 月 21~23 日，在马来西亚首都吉隆坡，召开了 FORSPA 的预执行会议和顾问组会议。来自 13 个国家的 15 名代表和 17 个国际组织的 20 名代表出席了会议。会上集中讨论资助研究课题的基本原则，今后三年内的学术活动计划和科技信息交流等有关事宜。关于优先资助研究课题的原则主要有两点：①亚太地区各国共同感兴趣的问题；②对特别贫穷的国家，如老挝、越南和南太平洋岛国等给予适当照顾。从这里可以预料，中标的研究课题主要是属于热带或亚热带的林业问题。

对招标课题的筛选办法是由 FORSPA 秘书处分别找有关方面的专家评审，然后通知中选课题的单位和负责人详细填报实施计划，同时下拨经费。从目前的情况看，每个课题的资助额约 1 万美元。截止目前，我国有 5 个申请书获得批准，其中，包括 2 项软科学研究，3 项热带林业研究。预计今后每年召开一次学术讨论会。

(王世绩)