

리기다 소나무林的 直徑連年成長量 推定*1

李 麗 夏*2

A Estimation on the Annual Growth in Diameter of Pitch Pine (*Pinus rigida* Mill.) Stand*1

Yeo Ha Lee*2

In this survey, to estimate volume growth of pitch pine (*Pinus rigida* Mill) stand, diameter growth was estimated.

Among 223 sample trees, the number of rejected trees was 12, about 5 percent of total sample trees. The stand showed uniform growth and rejected trees included insect-damaged trees.

Compared with reports made on forest classification basis, pitch pine a single species showed faster growth.

Minimum, average and maximum value of D.B.H and mean annual diameter growth, of 16 year old pitch pine stand, were as follow.

| | Minimum (cm) | Average (cm) | Maximum (cm) |
|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|
| D.B.H | 5.60 | 19.00 | 13.64 |
| Mean annual diameter growth | 0.2960 | 0.8700 | 0.5683 |

The correlation of each factors estimated by 95% of confidence interval is shown in the table of correlation as bellow.

| Linear regression | Correlation coefficient | t-Test of significant defference |
|-------------------|-------------------------|----------------------------------|
| $Y=0.1618+0.298X$ | 0.9886 | 61.66** |

本試驗은 리기다소나무 林分의 材積成長量을 推定하기 爲하여 豫備의으로 直徑成長量을 推定한 것이다.

標準木 223本중 棄却木은 全體 本數의 約 5%인 12本으로 대체적으로 一律의인 成長을 하고있으며 棄却木은 病蟲害木이 이에 屬하고 있으며 林相別로 既 調査發表된 것과 比較할 때에 單一樹種인 리기다소나무 林分의 成長이 가장 좋았다.

직경(x)과 직경성장량(y)과의 關係를 보면 다음과 같다.

$$y=0.1618+0.0298x$$

但 $r=0.9886$ 이다.

리기다소나무 16年生林分의 D.B.H와 平均連年 直徑成長量의 最少, 平均 및 最大值는 다음과 같다.

| | Minimum (cm) | Maximum (cm) | Average (cm) |
|--------|--------------|--------------|--------------|
| D.B.H. | 5.60 | 19.00 | 13.64 |
| M.A.D. | 0.296 | 0.87 | 0.5686 |

*1 Received January 7, 1973

*2 建國大學校農科大學, College of Agriculture, Konkuk University, Seoul

緒 言

森林의 蓄積은 恒時 固定 沈滯되어 있지 않고 每年 얼마 만큼씩 增加하고 있는데, 이는 森林을 構成하고 있는 樹種 施業의 集約度 立地 등과 같은 因子에 따라 程度의 差異가 나타나게 된다.

따라서 森林蓄積의 樣相과 構造는 年間 成長量의 增減에 至大한 影響을 미친다고 하겠으나, 비록 森林蓄積의 構成要件이 一定하다고 하더라도 蓄積에 對한 成長量은 그 調査方法에 따라 測定의 精度에 큰 差異를 나타내는 수가 많다. 이는 林分을 構成하고 있는 各林木이 비록 單一樹種이라 하더라도 그 直徑分布가 一定하지 않기 때문이다.

林分의 徑分布는 天然林 또는 人工林을 莫論하고 그것이 同齡一齊林이라 하더라도 林分表에서는 個個林木이 同一直徑階에 屬하지 않고 直徑別 本數分布는 直徑階의 兩端에서 적고 中央에 갈수록 많아서 bell shape의 正常曲線을 나타냄이 一般的이다.

林分成長은 個個林木의 總合으로서 表示되며 單一木의 成長은 連年直徑成長과 더불어 樹高方向으로도 圓錐形으로 連年增加하여 材積成長을 하게 되는데 林分成長의 樣相은 單一木成長과는 달리 林木相互間의 甚한 受光競爭과 根系競爭으로 因하여 林木成長間의 優劣勝敗의 現象이 일어 나게 된다.

따라서 林分成長量의 調査는 林分의 樣相과 構造에 따라 複雜하고 多邊의이어서 必要以上の 時間과 經費를 消費하면서까지 調査할 必要는 없고 一定한 精度內에서만 測定하면 無關하다.

따라서 本調査는 成長量調査에 있어서 가장 簡單한 器具인 成長錐에 의한 連年材積成長量 推定의 豫備的인 調査로 試圖된것으로 D.B.H와 直徑成長量과의 直線回歸를 利用하여 直徑에 따른 連年成長量을 求하여 앞으로 材積表가 完成될때에 林分材積成長量을 推定하는데 도움이 되게 하기爲하여 調査된것이다.

이와같은 方法은 Meyer,와 Nelson (1955)에 의하여 試圖되었고⁽⁵⁾ 그后 Spurr (1952)^(6,10) 西澤(1960)⁽⁷⁾에 의하여 研究發展되고 있다.

Meyer (1955)는 林分構造의 變化를 豫測하기爲하여 直徑成長에 重點을 두고 調査하는가운데 簡單한 core를 抽出하여 直徑과 直徑連年 成長과의 關係를 直線回歸로 나타내고⁽⁶⁾ 西澤(1955)는 成長量推定精度에 있어서 그 調査誤差의 影響에 관한 評價에서 Meyer가 調査한 成長錐片數와 材積의 推定誤差에 따른 百分率誤차를 計算한 것을 引用하여 調査誤차가 5%보다 클때에

는 錐片數는 100個가 適當하고 5%以下에서는 200個程度가 適當하다고 發表하고 있다.^(6,7)

우리나라에서는 金(1964)에 의하여 針葉樹와 闊葉樹의 林相別로 調査된것은 있으나^(1,2) 樹種別로 調査發表된것은 없어서 우리나라 造林樹種으로 가장 많이 分布되고 있는 리기다소나무의 單一樹種에 對하여 林分材積成長推定에 도움이 되고자 調査한것이다.

材料 및 方法

1. 材料

供試木은 建國大學校 長安洞 校有林에서 選定한 것인데 本林分은 壤土乃至 粘質의 土壤으로서 土深이 깊고 傾斜가 緩한 西南向을 한 林木生育에 適合한 地位上인 리기다 소 林分으로서 過去 人工造林을 한 16年生의 同齡林分인데 當時 ha당 3,000本을 植栽하였던 林木은 其間 正式間伐은 하지않았으나 自然枯死 및 實習用 林木伐採등으로 一部 除去되어 現在로서는 完全한 林木度를 維持하고 있는 林分이다.

供試木選定은 11個의 植栽列番號를 無作爲로 抽出하고 抽出된 植栽列(1個植栽列本數 50本)에서 各己 一連番號를 붙인 林木의 偶數를 標準木으로 하여 223本을 供試木으로 選定 調査하였다.

2. 調査方法

選定된 各林木에 대하여 D.B.H에 따른 直徑成長量을 生長錐로 core를 抽出하였다.

D.B.H의 測定單位는 0.5cm, core의 測定單位는 0.5mm까지 測定하여 ① 皮付胸高直徑 ② 2倍의 樹皮厚 ③ 皮內胸高直徑 ④ 最近 5個年間の core의 長이를 調査하고 ⑤ 皮內直徑에서 core의 長이를 뺀 期間中央皮內直徑과 ⑥ ④項을 2倍한 數值를 5로 나눈 連年皮內成長量을 計算하고 皮付直徑의 合計를 皮內直徑의 合計로 나눈 樹皮係數를 算出하여 이를 期間中央皮內直徑에 곱하여 ⑦ 期間中央皮付直徑을 計算하였다. 또한 樹皮係數에서 連年皮內直徑을 곱하여 ⑧ 連年皮付直徑成長을 計算하였다. 各直徑은 平均直徑으로 換算하여 直徑階別樹皮成長量을 包含한 平均連年直徑成長量表를 作成했는데 表1과 같다.

結果 및 考察

1. 實驗式的 計算

算出된 平均直徑別 平均連年直徑成長量을 圖上에서 Plot하여 본 結果 그 傾向線은 直線을 나타내므로 1次

表 1. 平均直徑階別 樹皮成長量을 包含한 平均連年直徑成長量

| D.O.B. | Mean annual diameter growth (cm) | Number | D.O.B. (cm) | Mean annual diameter growth (cm) | Number | D.O.B. (cm) | Mean annual diameter growth (cm) | Number | D.O.B. (cm) | Mean annual diameter growth (cm) | Number |
|--------|----------------------------------|--------|-------------|----------------------------------|--------|-------------|----------------------------------|--------|-------------|----------------------------------|--------|
| 5.6 | 0.296 | 10 | 10.8 | 0.524 | 9 | 15.4 | 0.653 | 14 | 20.3 | 0.692 | 1 |
| 6.5 | 0.337 | 6 | 11.5 | 0.539 | 22 | 16.4 | 0.641 | 16 | 21.9 | 0.722 | 3 |
| 7.4 | 0.388 | 10 | 12.5 | 0.517 | 16 | 17.4 | 0.685 | 17 | 22.5 | 0.870 | 5 |
| 8.5 | 0.459 | 9 | 13.3 | 0.594 | 16 | 18.4 | 0.726 | 17 | 23.4 | 0.911 | 7 |
| 9.5 | 0.574 | 10 | 14.4 | 0.599 | 33 | 19.2 | 0.760 | 2 | total | | 223 |

直線式을 應用하여 얻어진 各數値와 回歸式은 다음과 같다.

1) 合計 自乘合

| w | Σx | Σy | Σx ² | Σy ² | Σxy | Σx ² w | Σwxy | Σxw |
|-----|-------|--------|-----------------|-----------------|-----------|-------------------|-----------|-------|
| 223 | 297.8 | 11.274 | 4,541.85 | 6,981 | 178,746.4 | 46,008.14 | 1,855.266 | 3,066 |

2) 平方合 積合 및 相關係數

| Sx ² | Sy ² | Sxy | r |
|-----------------|-----------------|---------|------|
| 3,914.08 | 10.6172 | 100.387 | 0.98 |

3) 回歸式

$$\text{回歸係數 } b = \frac{S_{xy}}{S_x^2} = \frac{100.387}{3,914.08} \approx 0.02565$$

$$\text{回歸定數 } a = \bar{y} - b\bar{x} = 5.572 - 0.3527 = 0.2197$$

$$\text{回歸式 } Y = 0.2197 + 0.02565X$$

4) 回歸式的 有意性檢定

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum(y - \hat{y})^2}{n-2}} = \sqrt{\frac{6.4113}{221}} = 0.029$$

$$\text{따라서, } S_{b_{yx}} = \frac{S_e}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2}} = \frac{0.029}{\sqrt{4189.01}} = 0.0005$$

$$\therefore t = \frac{b_{yx}}{S_{b_{yx}}} = \frac{0.02565}{0.0005} = 51.2 > 2.60 = t_{.01}$$

또한 相關係數 r에 대한 檢定은

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} = \frac{0.98\sqrt{221}}{0.38} = 35.52 > 2.60 = t_{.01}$$

따라서 回歸係數는 高度의 有意性이 있으므로 直徑과 直徑成長量사이에는 分明히 回歸가 成立되며 相關係數 r에도 高度의 有意性이 認定되고 있다.

2. 標本木의 棄却檢定

이상의 檢定結果로 算出된 $\hat{Y} = 0.2197 + 0.02565X$ 의 式은 妥當하다는 것을 알수있으나 蒐集한 材料中에서 一般의 傾向과 差가 甚한 異常材料는 다음式에 依하여 棄却하였다.

$$y_x = t \cdot s_{yx} \sqrt{1 - \frac{1}{n} - \frac{(x - \bar{x})^2}{\sum(x_i - \bar{x})^2}}$$

E_{yx} ...棄却限界値

t ...significant level 1%에서의 t 值

s_{yx} ...推定의 標準誤差

n ...材料本數

材料全體에 대해서 $y - \hat{y}$ 를 計算하고 計算된 값이 標準誤差의 2倍를 넘는 것에 대하여 E_{yx} 를 計算하고 $y - \hat{y} > E_{yx}$ 인것은 異常數値로 삼아 棄却하였는데 棄却한 林木은 表 2와 같으며 이는 全材料 223本에 대하여 約 5%에 該當하는 12本으로 大略 一律의인 成長을 하고있음을 보여준다.

表 2. 棄却木 一覽表

| No. | D.B.H | Y | \hat{Y} | $Y - \hat{Y}$ | No. | D.B.H | Y | \hat{Y} | $Y - \hat{Y}$ |
|-----|-------|-------|-----------|---------------|-----|-------|-------|-----------|---------------|
| 1 | 6.5 | 0.324 | 0.68610 | -0.36210 | 7 | 13.4 | 0.821 | 0.56274 | 0.25826 |
| 2 | 7.6 | 0.648 | 0.41426 | 0.23374 | 8 | 17.3 | 0.605 | 0.88228 | 0.27728 |
| 3 | 9.2 | 0.670 | 0.45522 | 0.21478 | 9 | 23.3 | 1.037 | 0.81618 | 0.22082 |
| 4 | 13.1 | 0.864 | 0.55506 | 0.30894 | 10 | 23.3 | 1.124 | 0.81618 | 0.30782 |
| 5 | 13.1 | 0.864 | 0.55506 | 0.30894 | 11 | 23.6 | 1.081 | 0.82386 | 0.25814 |
| 6 | 13.3 | 0.778 | 0.56018 | 0.21782 | 12 | 23.7 | 1.037 | 0.82642 | 0.21058 |

3. 成長量의 計算

棄却木을 除外한 棄却濟材料를 가지고 成長量을 再

計算하고 棄却濟에 대한 平均連年直徑成長量表(表 3)을 作成하고 이에 대한 回歸式과 이를 圖示(Fig. 1)하면 다음과 같다.

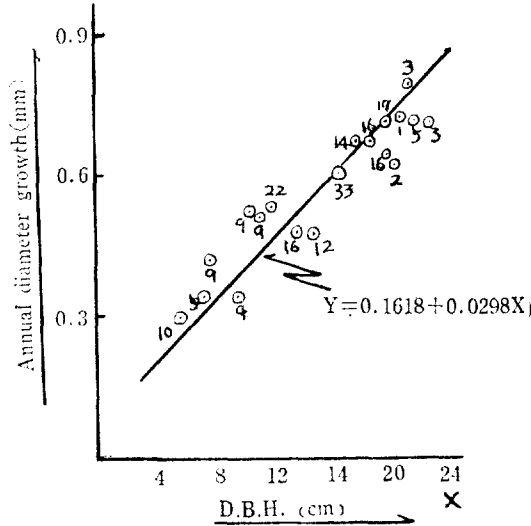


Fig. 1. The regression line

表 3. 棄却濟에 對한 平均直徑階別 樹皮成長量을 包含한 平均連年成長量

| D.O.B. | Mean annual diameter growth | Number | D.O.B. | Mean annual diameter growth | Number | D.O.B. | Mean annual diameter growth | Number | D.O.B. | Mean annual diameter growth | Number |
|--------|-----------------------------|--------|--------|-----------------------------|--------|--------|-----------------------------|--------|--------|-----------------------------|--------|
| 5.6 | 0.296 | 10 | 10.8 | 0.524 | 9 | 15.4 | 0.653 | 14 | 20.3 | 0.692 | 1 |
| 6.5 | 0.339 | 5 | 11.5 | 0.539 | 22 | 16.4 | 0.641 | 16 | 21.9 | 0.870 | 3 |
| 7.4 | 0.370 | 9 | 12.5 | 0.517 | 16 | 17.4 | 0.626 | 16 | 22.5 | 0.722 | 5 |
| 8.5 | 0.459 | 9 | 13.3 | 0.514 | 12 | 18.4 | 0.726 | 17 | 23.3 | 0.699 | 3 |
| 9.5 | 0.560 | 9 | 14.4 | 0.599 | 33 | 19.2 | 0.605 | 2 | total | | 211 |

1) 合 및 自乘合

| W | ΣX | ΣY | ΣX ² | ΣY ² | ΣXY | ΣX ² W | ΣY ² W | ΣXW | ΣXY |
|-----|-------|--------|-----------------|-----------------|----------|-------------------|-------------------|-------|------------|
| 211 | 274.9 | 10.951 | 4,538.67 | 6.6893 | 172.4073 | 42,679.7 | 70.9023 | 2,879 | 1,726.8132 |

2) 平方合 積合 및 相關關係

| Sx ² | Sy ² | Sxy | r |
|-----------------|-----------------|----------|--------|
| 3,397.0413 | 2.7556 | 101.4645 | 0.9886 |

3) 回歸式

回歸係數 $b = \frac{S_{xy}}{S_x^2} = \frac{101.465}{3,397.0413} = 0.0298$

回歸定數 $a = \bar{y} - b\bar{x} = 0.1683 - 0.4065 = 0.1618$

回歸方程式 $Y = 0.1618 + 0.0298X$

$$S_{b_{yx}} = \frac{S_e}{\sqrt{\Sigma(x-\bar{x})^2}} = \frac{0.1717}{\sqrt{4.8052}} = 0.00265$$

$$\therefore t = \frac{b_{yx}}{S_{b_{yx}}} = \frac{0.0298}{0.00265} = 11.2 > 2.60 = t_{.01}$$

또한 回歸係數 r에 대한 檢定은,

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} = \frac{10.3418}{0.1677} = 61.66 > 2.60 = t_{.01}$$

即 回歸係數는 高度의 有意性이 있으므로 D.O.B 와 直

4) 有意性 檢定

$$S_e = \sqrt{\frac{\Sigma(y-\hat{y})^2}{n-2}} = \sqrt{\frac{6.1206}{209}} = 0.1717$$

徑成長量사이에는 分明히 回歸가 成立되며 相關係數에 도 高度의 有意性이 認定되고 있다.

5) 信賴幅의 計算

다음은 Caus의 C係數를 利用한 信賴幅을 計算하여 成長量 推定의 精度를 調査하여 보면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 Q &= \sum w(Y - \hat{y})^2 \\
 &= \sum w(Y - \bar{y})^2 - b \sum w(X - \bar{X})(Y - \bar{Y}) \\
 &= S_y^2 = -b S_{xy} \\
 &= 2.7556 - 3.0236 \\
 &= -0.2680
 \end{aligned}$$

따라서 殘差分散은

$$S_{y^2} = \frac{Q}{N_1 - 2} = \frac{-0.268}{209} = -0.001208$$

回歸理論에 의한 回歸式의 推定分散은

$$\begin{aligned}
 S^2 \hat{y} &= S^2_{xy} (Caa + 2CabX + CbbX^2) \\
 Caa &= \frac{\sum WX^2}{N \sum WX^2 - (\sum WX)^2} = \frac{42679.792}{211 \times 42679.7 - 28.7^2} \\
 &= 0.0595 \\
 Cab &= \frac{-\sum WX}{N \sum WX^2 - (\sum WX)^2} = \frac{-2,879}{716,775.7} \\
 &= -0.0304 \\
 Cbb &= \frac{N}{N \sum WX^2 - (\sum WX)^2} = 0.0003
 \end{aligned}$$

따라서,

$$\begin{aligned}
 S^2 \hat{y} &= -0.0012(0.0595 - 0.0068X + 0.000X^2) \\
 &= -0.00007140 + 0.00000816X - 0.00000036X^2
 \end{aligned}$$

以上の 推定分散 $S^2 \hat{y}$ 과 回歸式에 依하여 95%信賴度의 信賴幅을 各直徑階別로 計算한 直徑階別 連年直徑成長量 및 信賴幅을 보면 表 4와 같다.

表 4. 直徑階別 連年直徑成長量 및 95% 信賴幅

| D.B.H (cm) | Annual diameter growth (cm) | 95% Confidence width | | D.B.H (cm) | Annual diameter growth (cm) | 95% Confidence width | |
|------------|-----------------------------|----------------------|-------------|------------|-----------------------------|----------------------|-------------|
| | | upper limit | lower limit | | | Upper limit | Lower limit |
| 4 | 0.2810 | 0.2942 | 0.2678 | 15 | 0.6088 | 0.6198 | 0.5978 |
| 5 | 0.3108 | 0.3204 | 0.2982 | 16 | 0.6386 | 0.6500 | 0.6220 |
| 6 | 0.3406 | 0.3524 | 0.3288 | 17 | 0.6674 | 0.6794 | 0.6554 |
| 7 | 0.3674 | 0.3816 | 0.3592 | 18 | 0.6982 | 0.7110 | 0.6854 |
| 8 | 0.4002 | 0.4110 | 0.3894 | 19 | 0.7280 | 0.7416 | 0.7144 |
| 9 | 0.4300 | 0.4404 | 0.4196 | 20 | 0.7578 | 0.7722 | 0.7434 |
| 10 | 0.4598 | 0.4700 | 0.4496 | 21 | 0.7876 | 0.8038 | 0.7734 |
| 11 | 0.4892 | 0.4992 | 0.4792 | 22 | 0.8174 | 0.8336 | 0.8012 |
| 12 | 0.5194 | 0.5286 | 0.5102 | 23 | 0.8472 | 0.8644 | 0.8300 |
| 13 | 0.5492 | 0.5594 | 0.5390 | 24 | 0.8770 | 0.8952 | 0.8588 |
| 14 | 0.5790 | 0.5894 | 0.5686 | 25 | 0.9068 | 0.9258 | 0.8878 |

우리나라에서는 樹種別로 調査된 것은없고 단지 針葉樹와 闊葉樹의 林相別로 調査된 것은있으나 이는 單一同齡林에 適用하기는 困難하다.

다음 <Fig.2>에서 보는 것과 같이 調査된것들을 比較하여 보면 單一樹種인 리기다소나무林的 成長이 가장 좋고 가장 낮은 것은 闊葉樹林임을 알수있다.

關係式은 다음과 같다.

리기다소나무 $Y=0.1618+0.0298X$
 針葉樹林 $Y=0.25924+0.013078X$
 闊葉樹林 $Y=0.37473+0.006624X$

結 論

1. 林分成長量推定의 方法으로 林木을 伐倒하여 成長量을 推定하는 것보다 材積式을 利用할 境遇 成長錐를 使用함으로써 林木伐採에 의한 材積損失이 없고 測定에

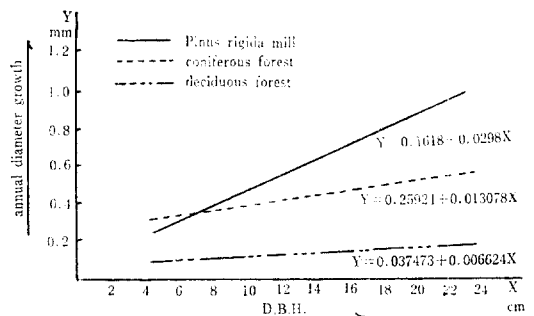


Fig. 2 : The relation between D.B.H and A.D.G.

對한 時間과 經費의 節約面에서도 簡單하게 測定되어 努力이 적게들고 比較的 精度도 높다.

2. D.B.H와 直徑連年成長量과의 關係는 그의 相關關係가 顯著하며 針葉樹 및 闊葉樹林的 林相別로 調査된 成長보다. 리기다單一林分의 成長이 뚜렷히 좋다.

各關係式은 다음과 같다.

$$\text{리기나소나무 } Y=0.1618+0.0298X$$

$$\text{針葉樹 } Y=0.25924+0.013078X$$

$$\text{潤葉樹 } Y=0.37473+0.006624X$$

3. 最近 5個年間の 半徑成長量은 大體로 皮付直徑의 1/10의 傾向으로 成長이 점차 높아지고 있음을 보여 주는데 이는 林齡으로 보아 直徑成長이 가장 旺盛한 時期임을 뜻한다.

4. 各直徑階別 95%信賴幅으로 조사한 連年直徑成長量은 그의 振幅이 크지않고 一律적으로 나타나있다.

引用文獻

1. 金東春. 1964. 重要樹種에 대한 收穫과 收穫表의 調製. 林試報告 9號: 173-285.
2. 金東春. 1965. 江原道 소나무 立木材積表. 林試 10: 1-18.
3. 金樟洙, 李麗夏. 1963. 林木生長因子的 相關關係에 대한 研究. 高大農大論文 1輯: 161-205.
4. 李麗夏. 1966. 秀型木 各形質間의 相關關係에 대한 研究. 建大學術誌 7號: 427-34.
5. Meyer, M.A. & Nelson, F.B. 1955. Accuracy of forest growth determinati on basedon the measurement of increment cores. For. Service, U.S.D.A. 872: 19-20.
6. 西澤正久. 1955. 林分成長量의 直接豫測法. 日林誌 37: 209-13.
7. 西澤正久. 1960. "森林測定法". 213~244. 日本地球出版.
8. 木梨謙吉. 1965. "推計學を基とした測樹學" 156-162 日本朝倉書店.
9. Spurr, S. H.. 1952. Simplified computation of volumes and growth. Jour. Forestry. 52(12): 914-22.
10. Spurr, S.H. 1952. „Forest Inventory.” 476. Ronald Press Co. New York.