

陸上植物의 生産力推定을 위한 相對生長法의 利用에 대하여

金 俊 鎬

(서울大學校 敎養課程部)

On the Utilization of the Allometric Method for an Estimation of the Productivity of the Terrestrial Plants

KIM, Joon Ho

(College of General Studies, Seoul National University)

ABSTRACT

In order to approach a reasonable method for the indirect estimation of the productivity in terrestrial plants, allometric method was studied with herbs, such as *Boehmeria frutescens* and *Hibiscus mutabilis*, and scrubs, such as *Robinia pseudacacia* and *Morus alba* f. *lichiroc*.

Allometric relations between $D_{30}^2 H$, square of the stem(or shoot) diameter (D_{30}) on 30cm height above ground multiplied by stem length (H), and the amount of the stem (W_s), or of the leaves per stem, were fitted to each material plant with linear regression.

The allometric coefficient in relation of $D_{30}^2 H$ to W_s was approximated between scrubs having different life form, and the allometric function in relation of D_{30}^2 to W_L was common between herbs in spite of having different growth habitat.

As the allometrics between $D_{30}^2 H$ and W_s or W_L were changeable with the seasonal change it function should be calculated repeatedly whenever investigating the standing crop of such community.

It is able to utilize an indirect value of D_{30} obtained from the allometry between D_{30} and H because direct measurement of D_{30} in the field is accompanied by troublesome and waste of much time.

結 論

植物의 生産力 研究는 生物量의 正確한 推定에서 비롯하지만, 넓은 面積에 있는 植物을 모조리 베어서 現存量을 測定한다는 것은 不合理하며 또 不可能한 일이다. 경우에 따라서는 植物群集을 破壞하지 않고 살려놓은대로 生産力을 推定하면 便利할때가 있다. 從來 林木의 胸高直徑(DBH)과 幹·枝·根·葉量사이의 相關關係를 基礎로 하여 森林의 現存量推定을 하여왔다.

예를 들면 生物體의 任意의 2部分의 量 W 및 X 사이의 相對生長(Allometry)의 關係가 成立하며 그 式은

$$W = AX^k \tag{1}$$

로 이루어진다. 여기에서 A 및 k 는 部分의 各 組合에 固有한 常數로서 特別히 k 를 相對生長係數라고 한다(Kira et al 1967, 吉良 1960). 式(1)은 다시

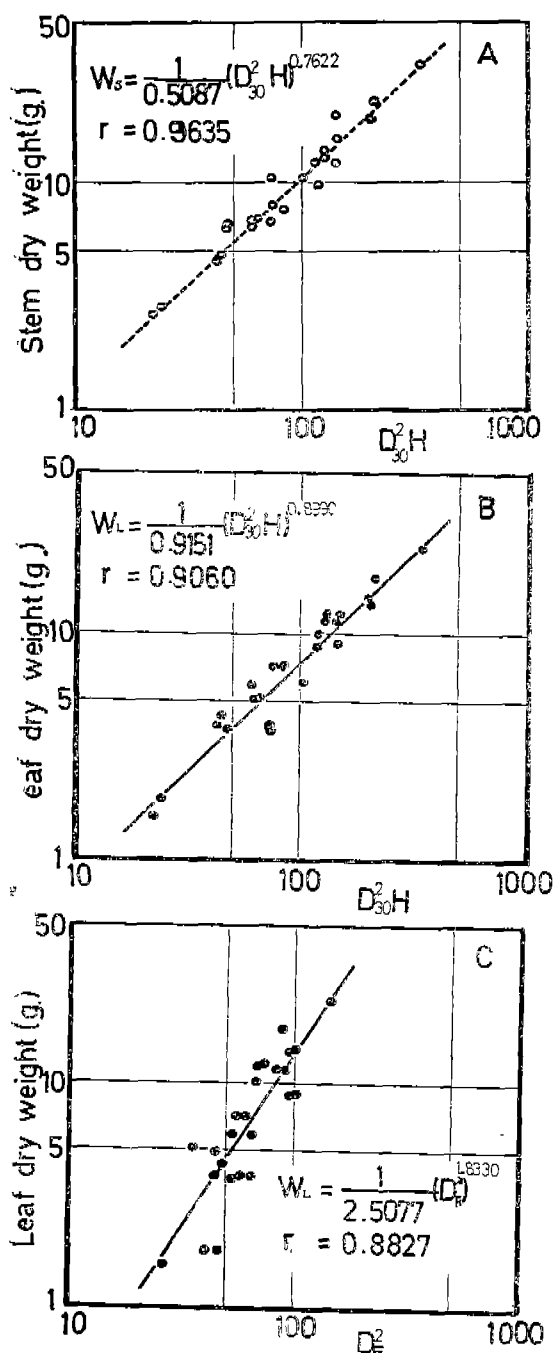


Fig. 1. Allometric relations of stem dry weight(A) and leaf dry weight per stem(B) to $D_{30}^2 H$, and of leaf dry weight per stem(C) to D^2 in *Boehmeria frutescens* on log-log axes.

$$\log W = h \cdot \log X + \log A \quad (2)$$

이므로 測定植의 適合點은 $\log W \sim \log X$ 의 直線性에 의하여 쉽게 確認할 수 있고 또 이 直線關係에서 A나 h 値를 求할 수 있다. 式(2)는 對數 直線關係이므로 X 및 W는 重量(또는 容積)과 같은 3次의 冪뿐만 아니라 面積이나 길이등과 같이 1~2次의 冪에서도 成立한다.

植物에 있어서 이 方面의 研究는, Kittredge (1944)에 의하여, 처음으로 樹木의 DBH와 葉 量사이의 一定한 相關關係가 있다는 것이 發見 된 以來, 여러 植物生態學者 및 林學者(Hozum 1963, Kira 1939, 1967, 吉良 1960, Kitazawa et al 1959, Nemoto 1964, Shanks et al 1962, Takaki 1966)에 의하여 DBH와 枝木의 各 分量사이의 關係를 森林의 現存量推定에 利用하여 왔고, Sato(1963) 및 Yoda et al(1957)등은 草本 및 低木의 現存量推定에 相對生長法을 利用하여 왔다.

本報에서는 陸上植物의 生産力을 測定하기 위하여 草本과 低木을 材料로 하여 二群集을 破壞하지 않고 一部の 材料만을 使用하여, 比較的 測定하기 쉬운 要因으로서 地上 30cm높이의 莖 直徑(D_{30})과 莖長 또는 枝條長(H)의 測定結果에서 $D_{30}^2 H$ 를 얻은후, 이것을 變數로 하여 各個體의 葉量(WL) 또는 莖(또는 枝條)量(W_s)사이의 相對生長式을 算出하는 한편, 이식의 群集內 全個體의 $D_{30}^2 H$ 値를 代入하여 總合함으로써, 該當 群集의 現存量을 推定하는 方法을 確立 하려고 努力한 바 있다.

材料 및 方法

여기에서 使用한 材料植物은 公州師範大學 또는 忠南鬮種場의 圃場에서 栽培하여 왔거나 學校林의 植物中에서 側枝가 없는 單調로운 生活 形을 가진 種들을 選다져 試驗材料로 하였다. 모시풀(*Boehmeria frutescens*)은 大學圃場에서 3年間 栽培하여 왔던 群集을 當年에는 春季에서 秋季까지 收穫하지 않았던 까닭에 根莖에서 繼續하여 地上莖이 發生하였으므로 調査當時(9月 12日)에는 草齡이 서로 다른 여러가지 個體가

섞여있는 群集에서, 부용화(*Hibiscus mutabilis*)는 한株에서 여러개의 枝條가 叢生한 것들을 材料로 使用하였으므로 草齡과 生育條件이 同一한 群集에서, 아까시아(*Robinia Pseudoacacia*)林은 每年 秋季에 地面에서 完全 伐採하였으므로 測枝가 없이 當年生의 新枝條만 密生한 群集에서, 뽕나무(*Morus alba*, 品種 一之瀨)는 栽植距離 1.8×0.75m로 하여 9年間 栽培하여 온 것을 當年에 夏伐(6月 6日)하므 로서 新枝條가 密生한 群集에서 各各 Sampling 하였다.

Sampling 에 앞서서 單位面積內의 全枝條(또는 莖)에 對하여 番號와 地上 30cm 높이를 表示한 후, 地上 30cm 높이의 直徑(D_{30})과 枝條長(H)을 記錄하였다. 이때에 $H=30\text{cm}$ 以下의 枝條는 除外하였다. 다음에 直徑 分布를 考慮하여, 直徑階를 高루 代表하도록 그 群集에서 가장 큰 枝條를 포함시켜서 선 발한 材料를 地面에서 切斷하였다. 切斷한 各 枝條에 대하여 다음項의 것을 記錄하였다. 1) 地上 30cm 높이의 枝條直徑(D_{30}), 2) 生葉이 붙은 最下位置의 枝條直徑(D_F), 3) 枝條長(H), 4) 枝條當의 葉乾燥量(W_L), 5) 枝條乾燥量(W_S) 등.

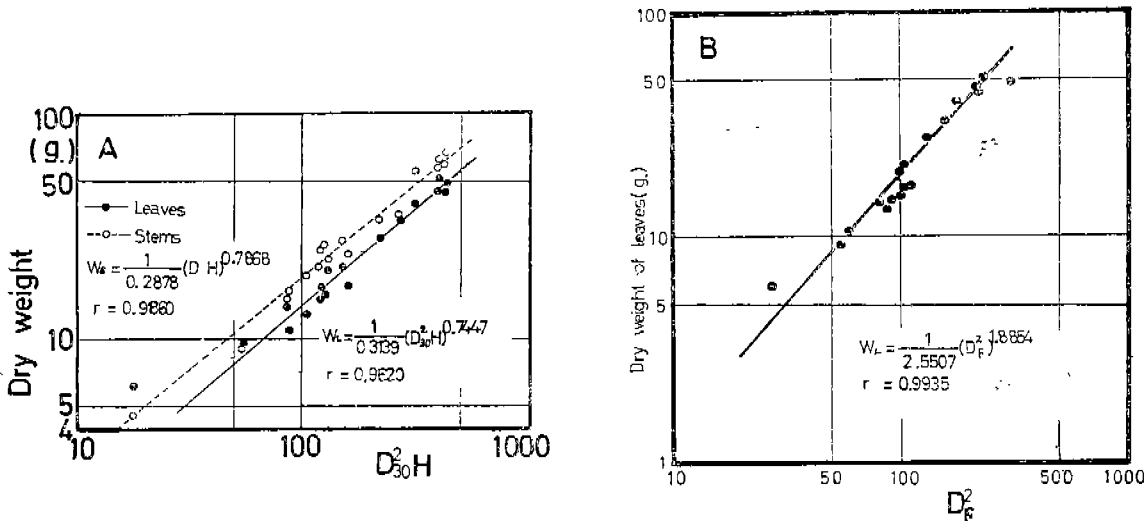


Fig. 2. Allometric relations between shoot dry weight or leaf dry weight per shoot and $D_{30}H$ (A) and between leaf dry weight per shoot and D_F^2 (B) in *Hibiscus mutabilis*-on log-log axes.

여기에서 枝條直徑은 $\frac{1}{100}$ mm의 精度를 가진 Screw meter 로, 枝條長은 1cm 範圍로 括約하였고 葉 및 枝條의 乾燥量은 80°C 의 乾燥器內에서 恒量이 될때 까지 乾燥시킨 것이다. 實測值를 兩對數方 眼紙에 그림으로 그렸고 常數 A 와 相對生長係數 h 는 最少自乘法에 의하여 算出하였다.

結 果

1. 모시풀 *Boehmeria frutescens*

모시풀에 있어서 $D_{30}H$ 를 變數로하여 莖乾燥量(W_S) 및 葉乾燥量(W_L)과의 相對生長 關係를 兩對數 直線으로 그리면 Fig 1, A,B.와 같이 된다. $D_{30}H \sim W_S$, 또는 $\sim W_L$ 의 關係는 比較的 直線性이 強으며 式(1)을 適用하여 係數 A 및 h 를 求하면,

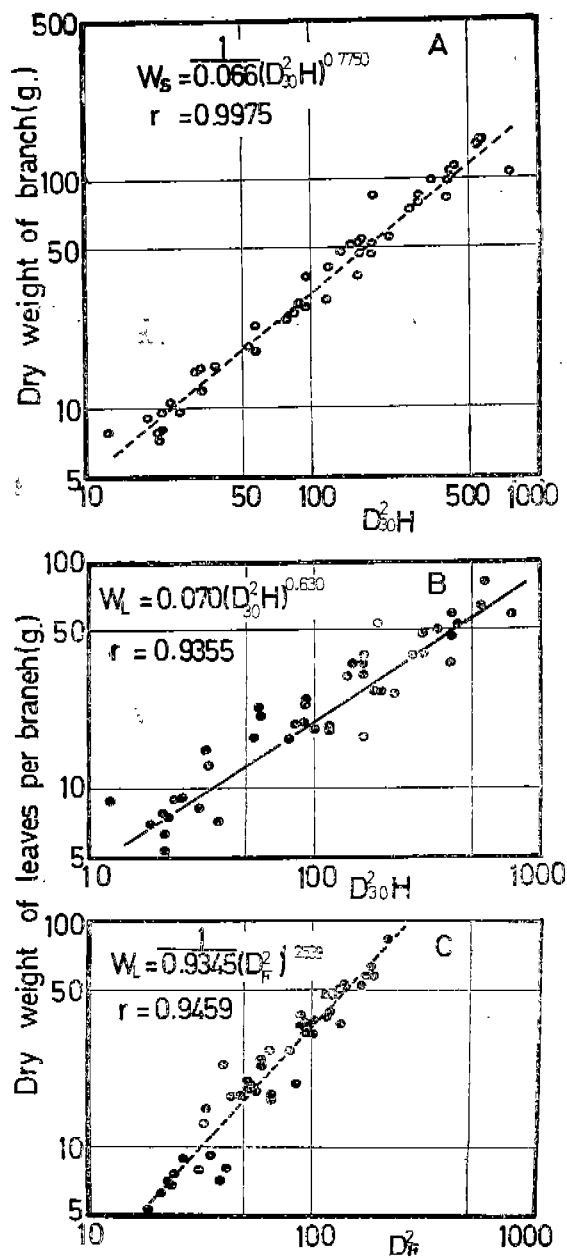


Fig. 3. Allometric relations between shoot dry weight (A) or leaf dry weight per shoot (B) and $D^2_{30}H$, and between leaf dry weight and D^2_F (C) in *Robinia Pseudoacacia*-on log-log axes.

3. 아카시아나무 *Robinia pseudoacacia*

아카시아 나무의 幼木에서 $D^2_{30}H \sim W_L$ 또는 $\sim W_S$ 의 關係는 Fig 3, A, B에서 보는 바와 같으며 그들의 近似式은 다음과 같다.

$$W_S = \frac{1}{0.5087} (D^2_{30}H)^{0.7622} \quad (3)$$

$$W_L = \frac{1}{0.9151} (D^2_{30}H)^{0.8990} \quad (4)$$

로 되었다. 이들 關係에서 直線의 適合度는 Fig. 1위의 相關係數 r 의 값으로 미루어보아 $D^2_{30}H \sim W_L$ 보다 $D^2_{30}H \sim W_S$ 사이가 良好한 것을 알수 있다.

生葉이 붙어있는 最下位置의 莖直徑을 二乗한 值(D^2_F) $\sim W_L$ 의 關係는 Fig 1, C에서 보는 바와 같다. 이 關係는 點의 散在가 甚하여 全體를 한줄의 直線으로 近似시키기가 어렵고, r 值도 낮아졌지만 相對生長係數를 算出하면,

$$W_L = \frac{1}{2.5077} (D^2_F)^{1.8320} \quad (5)$$

로 되었다. $W_L \sim D^2_{30}H$ 또는 $\sim D^2_F$ 에서 直線性은 後者보다 前者의 境遇가 좋게 나타났다. 그 理由는 本研究에서 材料로 사용한 모시풀은 發芽時期의 差異로 因하여 草齡이 많은 줄기는 下部의 葉이 落葉되었고, 또 水分含量이 減少되어 組織의 硬化度에 差異가 생기므로서 그림위의 點의 散在가 甚한 것으로 생각된다.

2. 부용화 *Hibiscus mutabilis*

Fig. 2, A에 부용화의 $D^2_{30}H \sim W_S$, 또는 $\sim W_L$ 사이의 相對生長關係를 表示한다. 이들 關係는 다음과 같은 直線으로 近似된다.

$$W_S = \frac{1}{0.2878} (D^2_{30}H)^{0.7868} \quad (6)$$

$$W_L = \frac{1}{0.3139} (D^2_{30}H)^{0.7447} \quad (7)$$

r 의 값이 1에 近接하는 것으로 보아 直線性의 適合度도 대단히 좋은 것을 알수 있다. $D^2_{30}H \sim W_L$ 關係를 그린 Fig. 2, A의 左下に 한點이 떨어져 있는 것은, 줄기가 $D_{30} = 4.8\text{mm}$ 및 $H = 78\text{cm}$ 만치 작은 것이었다.

$W_L \sim D^2_{30}H$, 또는 $\sim D^2_F$ 사이의 關係는 Fig. 2, A와 B에서 點이 線上에 散在한 程度와 r 值로 比較하여 보면, $W_L \sim D^2_F$ 가 $W_L \sim D^2_{30}H$ 의 경우보다 直線性이 若干 좋아지는 것을 알수 있다.

$$W_s = \frac{1}{0.066} (D_{30}^2 H)^{0.7750} \tag{8}$$

$$W_L = 0.070 (D_{30}^2 H)^{0.6300} \tag{9}$$

여기에서 使用한 材料는 줄기의 크기가 $D_{30}=15.85\sim4.68\text{mm}$, $H=301\sim78\text{cm}$ 사이의 一年生枝條이었는데, $D_{30}^2 H \sim W_s$ 關係는 Fig. 3, A 및 r 值로 미루어 보아 直線性이 매우 良好하였다. 그러나 $D_{30}^2 H \sim W_L$ 關係는 Fig. 3, B 및 r 值로 보아 直線의 適合度가 낮어진 것을 알수 있다. $D_{30}^2 H \sim W_L$ 의 直線性의 適合度가 낮어진 原因은, 密度가 다른 群集에서 材料를 Sampling 하였으므로 枝條의 下部에 落葉된 枝條가 섞였던 까닭이라고 생각된다. 그러나 $D_F^2 \sim W_L$ 關係는 $D_{30}^2 H \sim W_L$ 關係보다 直線性이 多少 改善되는 것을 볼수있다.

4. 뽕나무 *Morus alba* f. *Ilchiroae*

枝條量의 推定을 위한 $D_{30}^2 H \sim W_s$ 의 關係는 Fig.4에서 보는 바와같이 實測值가 回歸線에 잘 配列되어 있다. 이 關係에서 相對生長式을 計算하면

$$W_s = 0.4434 (D_{30}^2 H)^{0.9065} \tag{10}$$

으로 된다.

葉量의 推定을 위한 $W_L \sim D_{30}^2 H$, 또는 $\sim D_F^2$ 關係는 Fig. 5 A, B, 에 나타난 바와같이, 枝條量의 경우보다 適合度가 좋

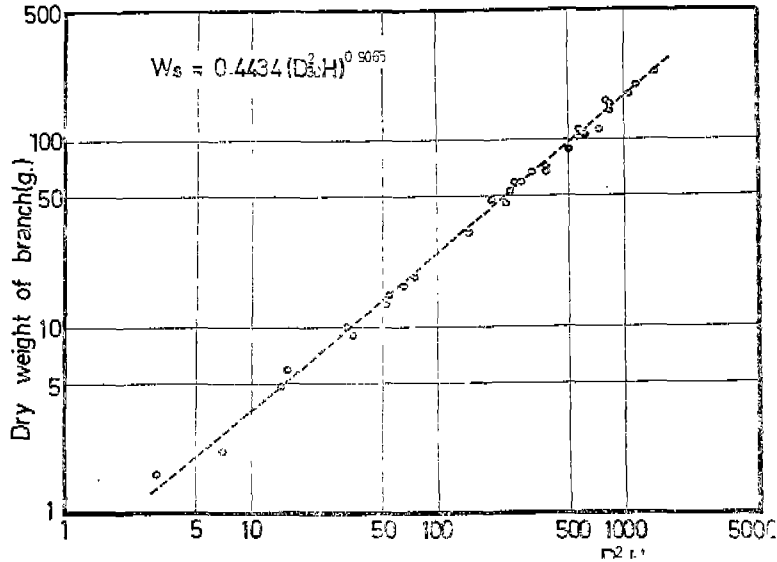


Fig. 4. Allometric relation between shoot dry weight and $D_{30}^2 H$ in mulberry plant (*Morus alba*, f. *Ilchiroae*)

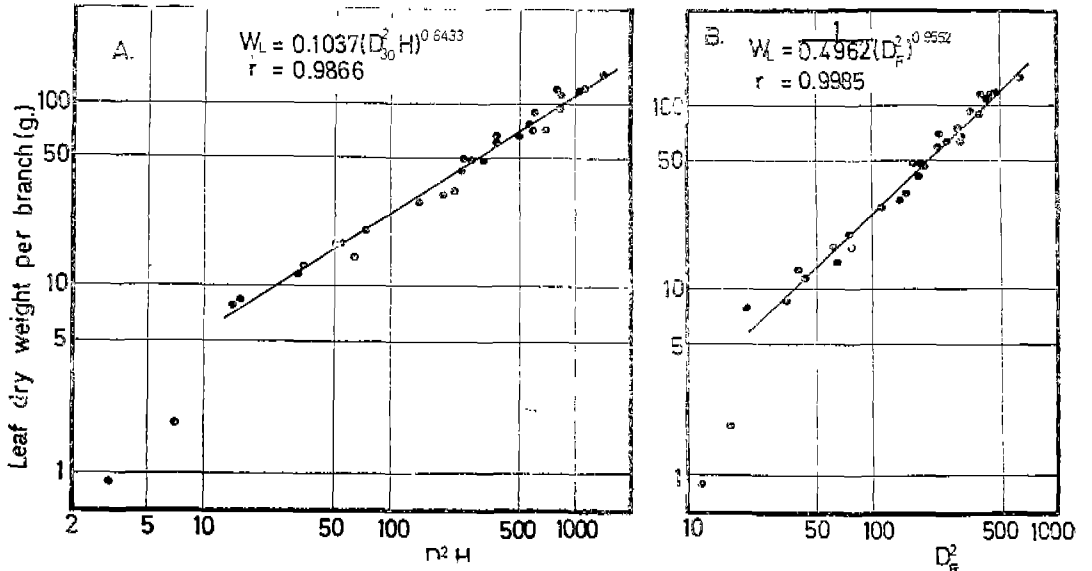


Fig. 5. Comparison of the allometric relations of $D_{30}^2 H$ (A) and D_F^2 (B) to leaf dry weight per shoot in mulberry plant—on log-log axes.

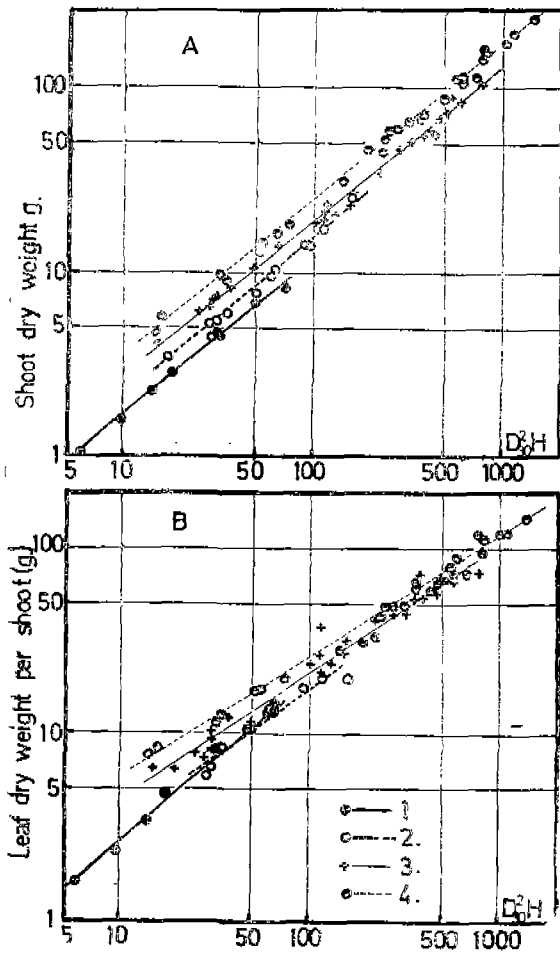


Fig. 6. Periodical change on the allometric relations between $D^2_{30}H$ and leaf dry weight per shoot (A) or shoot dry weight (B) in mulberry plant (*Morus alba* f. *Ilchi roe*)-on log-log axes.

지 못하였지만, 直線性은 變數의 性質에 關係없이 比較的 良好하였다. 이들 直線은 다음과 같이 近似된다.

$$W_L = 0.1037(D^2_{30}H)^{0.6433} \quad (11)$$

$$W_L = \frac{1}{0.4962}(D^2_F)^{0.9552} \quad (12)$$

그런데 여기에서 使用한 뽕나무 枝條는 $D_{30} = 18.74 \sim 4.21\text{mm}$ 그리고 $H = 228 \sim 70\text{cm}$ 의 크기의 範圍에 속하였다. Fig. 5, A, B의 左下에 回歸線에서 離脫된 二點이 散在하고 있는데 이들 枝條의 크기는, $D_{30} = 4.5\text{mm}$ $H = 70\text{cm}$ 以下の 작은 被壓枝條이다. 이와같이 W_L 가 過少하게 나타난 것은 式(11) 및 (12)의 計算에서 除外시켰다.

한편 뽕나무의 $D^2_{30}H \sim W_S$ 또는 $\sim W_L$ 사이의 相對生長의 時間經過에 따르는 變化를 Fig 6. A B에 표시한다. 그림에서 보는 바와같이 $D^2_{30}H \sim W_L$ 關係는 時間經過에 따라 回歸線이 右側으로 移動하였지만 線의 勾配는 거의 一定하게 維持되었다. 換言하면 時間經過에 따라 相對生長式의 A 値는 增大되었지만 h 値는 거의 變化가 없었다는 것을 뜻한다. $D^2_{30}H \sim W_L$ 關係도 역시 回歸線이 時間經過에 따라 右로 移動하였지만 線의 勾配는 작어지서, 相對生長式의 A 値는 增大되고 h 値는 減少됨을 보여주었다.

論 議

上述한 4種의 植物은 各各 生長習성이 多少달라서 모시풀과 부용화는 다같이 多年生草本이지만 前者는 根莖에 의하여 넓게 퍼져나가며 密度가 과이 크지 않은 群集을 形成하고, 또 新枝條

가 繼續하여 發生하므로 草齡이 서르 다른데 反하여, 後者는 匏立된 株에서 枝條가 密生하고, 新枝條의 發生時期가 同一하므로 草齡은 거의 同一하였다. 아까시아와 뽕나무는 木本이지만 每年 根柢를 하였으므로 多年生草本과 비슷한 生活形을 하고 있지만, 前者는, 모시풀과 같이, 넓게 퍼지며, 密度가 크지 않지만, 後者는 부용화와 같이, 匏立된 株에 枝條가 密生하여있다. 즉 生活形으로 보아 모시풀과 아까시아, 부용화와 뽕나무는 서르 닮어 있다고 본다. 이와같이 種이 다른 植物의 $D^2_{30}H \sim W_S$ 또는 $\sim W_L$ 사이의 相對生長式에서 求한 h 및 A 의 値를 Table 1에 綜合하였다. Table 上의 $D^2_{30}H \sim W_S$ 또는 $\sim W_L$ 의 關係式에서 A 가 다른것은 各種植物의 組織의 比重이 다른 것으로 미루어 豫想할수 있는 일이다. $D^2_{30}H \sim W_S$ 에서 h 는 뽕나무를 除外하고는 모시풀·부용화·아까시아가 모두 近似한 値를 나타내고 있다. 이것은 대단히 興味있는 事實로서 相對生長係數는 한種의 植物에 特異성이 있지않고 비슷한 生活形의 植物사이에는 共通性이 있다는 것을 보여주는 것이다. 따라서 한種의 群集에 대하여

Table 1. Constant (A) and allometric coefficient (h) obtained from an equation of allometric relation between various parts.

	Name of plants	$D_{30}^2H \sim W_S$		$D_{30}^2H \sim W_L$		$D_F^2 \sim W_L$	
		A	h	A	h	A	h
Herbs	<i>Boehmer aifrutescens</i>	-0.5087	0.7622	-0.9151	0.8990	-2.5077	1.8330
	<i>H b scusimutabilis</i>	-0.2878	0.7868	-0.3139	0.7449	-2.5507	0.8854
Scrubs	<i>Rovinia pseudoacacia</i>	-0.0660	0.7550	0.0700	0.6300	-0.9343	1.2539
	<i>Morus alba(Ilchiroe)</i>	0.4434	-0.9065	0.1037	0.6433	0.4962	0.9552

相對生長式을 求하면 비슷한 다른 群集의 現存量推定에 利用할 수 있는 可能性을 제시하여준다. 實際로 森林의 現存量推定에 있어서 胸高直徑(D)과 樹高(H)에서 얻은 D_{30}^2H 와 幹量사이의 相對生長式은 50種의 다른 熱帶 雨林樹사이에 (Kira et al 1967), 6種의 暖帶潤葉樹사이에 (Kitazawa et at 1957), 그리고 3種의 亞寒帶針葉樹사이에 (Sidei 1960) 共通性이 있다는 것이 알려졌다. $D_{30}^2H \sim W$ 關係에서 h 値는 草本에서는 各各 다르지만 木本사이에서는 近似하였다. 이것으로 보아 아카시아와 뽕나무에서는 $D_{30}^2H \sim W_L$ 사이의 相對生長係數를 共用할 수 있다고 본다. 草本은 오히려 $D_F^2 \sim W_L$ 關係에서 A 및 h 가 極히 近似한 것으로 보아 모시풀과 부용화 와의 葉量推定에는 $D_F^2 \sim W_L$ 의 相對生長式을 共用하는 것이 좋을 것이다. 樹木의 葉量推定에 있어서도 生枝下高의 幹直徑(D_B)과 葉量사이의 相對生長式이 種이 다른 樹木사이에 共用된다는 것이 밝혀졌다 (Kira et al 1967, Sidei 1960) $D_F^2 \sim W_L$ 關係는 葉量推定을 위한 좋은 方法이기는 하지만 枝條의 下部에서 부터 落葉이되는 植物은 時間經過에 따라 D_F 値가 變하므로 D_{30} 을 測定하는 것보다 勞力이 더 많이 들고 均一性이 缺如되는 短點도 있다.

$D_{30}^2H \sim W_S$ 또는 $\sim W_L$ 사이의 相對生長式이 各植物에 대하여 適合度가 良好하다는 것은 各 r 値가 1 에 近接한 것으로 쉽게 알 수 있다. 따라서 相對生長式이 다른 種의 植物사이에 共通性이 없다 하더라도 該當植物群集의 現存量推定에는 훌륭하게 利用될 수 있을 것이다. 즉 對象群集內의 地上 30cm 높이 이상의 個體의 D_{30}^2H 을 얻고, 이것을 式(1)에 代入하여 W_S 와 W_L 를 求한 후 이들 個體量을 總計하면 그 群集의 現存量을 얻을 수 있다. 그런데 Fig 2 및 5에서 작은 枝條의 W_L 는 過大 또는 過少하게 나타났는데 이량은 無視할만치 적으므로 現存量推定에는 크게 문제되지 않을 것이다. 한편 地上 30cm 以下の 枝條量은 別途로 그것만 切取하여 秤量하여 上述한 큰 枝條量과 合算하면 된다.

陸上植物의 生産力推定法중의 하나에 現存量을 季節에 따라 週期的으로 測定하는 方法이 있다. 그런데 Fig 6에 表示한 뽕나무의 $D_{30}^2H \sim W_S$ 또는 $\sim W_L$ 사이의 相對生長關係는 時間經過에 따라 回歸線이 移動하고 있다. 이런 現象은 林木에서도 觀察되고 있다. (Kira et al 1967, Yoda et al 1957) 따라서 여기서 문제되는 相對生長은 時間 要因이 관계하므로

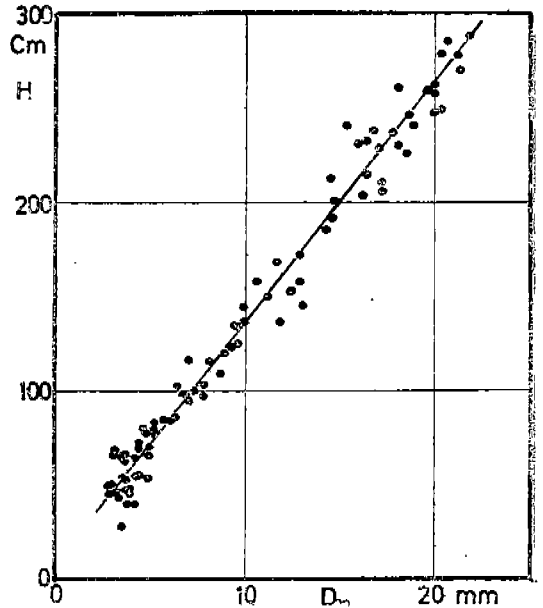


Fig. 7. Allometric relation between shoot height (H) and stem diameter(D_{30}) on 30cm height above ground of mulberry plant (*Morus alba f. Ilchiroe*)

群集의 現存量 推定을 할 때 마다 相對生長式을 求하여야 할 必要가 있다.

草本 또는 低木의 現存量推定을 할 경우 D_{30}^2H 를 測定할때 H 의 測定은 [容易하지만 D_{30} 의 測定은 時間과 神經이 많이 消費된다. 이 難點을 解決하기 위하여 Fig 7과 같이 $H \sim D_{30}$ 關係의 回歸線을 그 러 놓으면 H 에서 D_{30} 을 推定하고, 더 나가서 D_{30}^2H 을 求할수 있을 것이다. 本報에서는 相對生長法에 의한 現存量의 推定方法만 報告하고 群集의 現存量推定値는 다른 報文에 미루기로 한다.

摘 要

陸上植物群集의 生産力推定의 間接的方法에 確立하기 위하여 草本과 低木을 材料로하여 相對生長法을 研究하였다.

1) 地上 30cm 높이의 莖(또는 枝條)直徑(D_{30})과 莖(또는 枝條)長(H)에서 얻은 D_{30}^2H 와 莖重量(W_s) 또는 葉重量(W_L) 사이의 相對生長式(式1)은 各材料植物에 잘 適用되어 直線을 나타냈다.

2) 生育習性이 서로 다른 低木의 아까시아나무와 뽕나무사이에 $D_{30}^2H \sim W_s$ 關係의 相對生長係數가 近似하였고, 草本의 모시풀과 부용화사이에 $D_{30}^2H \sim W_L$ 關係의 相對生長式의 共通性이 있었다.

3) $D_{30}^2H \sim W_s$ 또는 $\sim W_L$ 사이의 相對生長은 時間經過에 따라 變化됨으로(Fig. 6) 現存量測定을 할 때마다 相對生長式을 算出하여야 한다.

4) D_{30} 의 測定의 繁雜을 피하기 위하여 H 만을 測定하고 $D_{30}^2 \sim H$ 사이의 相對生長關係를 利用하여 D_{30} 을 間接적으로 얻을수 있다.

文 獻

- 1) Hozumi, K. (1963) Allometry in higher plants with special reference to the relations concerned with DBH, (in Japanese) *Seicho* (J. of Growth), 2:1-18.
- 2) 金俊鎬 (1969) 忠南地方의 主要뽕나무品種의 生産力 比較研究 I. 과학교육연구, 公州師範大學 2 : 印刷中.
- 3) Kira T., H. Ogawa, K. Hozumi, H. Koyama and K. Yoda, (1956) Intraspecific competition among higher plants V. Supplementary notes on the C-D effect, *Jour. Inst. Polytech. Osaka City Univ.* D7:1-14.
- 4) 吉良龍夫, (1960) 相對生長, 吉良龍夫編 植物生態學 II上, 古今書院, p. 265-272.
- 5) Kira, T. and T. Shidei, (1967) Primary production and turnover of organic matter in different forest ecosystems of the western pacific, *Jap. Jour. Ecol.* 17:70-87.
- 6) Kittredge, J. (1944) Estimation of amount of foliage of trees and stands, *Jour. Forstry. Bot. Mag. (Tokyo)* 42:905-912.
- 7) Kitazawa, Y.M. Kimura, H. Kurasawa, M. Sakamoto, and M. Yoshino, (1959) Plant ecology of the southern part of Osumi Peninsula, *Misc. Rep. Res. Inst. Nat. Resources*, 49:19-36.
- 8) Kuroiwa, S. (1959) Ecological and physiological studies on the vegetation of Mt. Shimagare III. Intraspecific competition and structural development of the *Abies* forest. *Bot. Mag., (Tokyo)* 72:413-421.
- 9) Ovington, J. D. and H. A. I. Madgwick, (1959) Distribution of organic matter and plant nutrients in a plantation of Scots pine, *For. Sci.* 5:344-355.
- 10) Nomoto, N. (1964) Primary productivity of beech forest in Japan. *Jap. Jour. Bot.* 18:385-421.
- 11) Sato, H. (1963) Dry matter production by *Abies sachalinensis* forest in Hokkaido, *Thesis, Inst.*

Polytech. Ohsaka City Univ.

- 12) Shanks, R. E. and E.E.C. Clebsch, (1962) Computer programs for the estimation of forest stand weight and mineral pool, *Ecol.* 43:339-341.
- 13). Shidei, T. (1960) Studies on the productivity of the forest I. Essential needle-leaved forests of Hokkaido, (in Japanese) Kokusaku Pulp Ind. Co. Tokyo, 99 pp.
- 14) .Shinozaki, K., K. Yoda, K. Hozumi and T. Kira, (1964) A quantitative analysis of plant form the pipe model theory II. Further evidence of the theory and its application in forest ecology, *Jap. Jour. Ecol.* 14:133-139.
- 15) Tadaki Y., N. Ogata and Y. Nagamoto, (1965) The dry matter productivity in several stands of *Cryptomeria Japonica* in Kyushu, *Bull. Gov't. Forest. Exp. St.* 173:45-66.
- 16) _ __ (1965) Studies on the production structure of forest VIII. Productivity of an *Acacia mollissima* stand in higher stand density, *Jour. Jap. Forest. Soc.* 47:384-391.
- 17) ____ and Y. Kawasaki, (1966) Ditto. K. Primary productivity of a young *Cryptomeria* plantation with excessively high stand density, *ibid.* 48:55-61.
- 18) ____ N. Ogata, Y. Nagatomo and T. Yoshida, (1966) Ditto. X. Primary productivity of an unthinned 45 year-old stand of *Chamaecyparis obtusa*, *ibid.* 48:387-393.
- 19) ____, ____ and ____ (1967) Ditto. XI. Primary productivities of 28 year-old plantation of *Criy ptomeria* ofcutting and of seedling origin, *Bull. Gov't Forest. Exp. St.* 199:46-65.
- 20) ____ (1966) Some discussion on the leaf biomass of forest stand and trees, *ibid.* 184:135-161.
- 21) Yoda. K., T. Kira and K. Hozumi, (1957) Intraspecific competition among higher plants IX. Further analysis of the competitive interaction between adjacent individuals, *Jour. Inst Polytech. Ohsaka City Univ.* D8:153-170.