

柑橘 葉面積의 推定法

文 斗 吉

Estimation of Leaf Areas of Citrus Plants by Linear Measurements

Doo-Khil Moon

- Summary -

Several mathematical relationships between leaf surface area and linear dimensions were investigated in 'Okitsu' Satsuma Mandarin, in order to select an efficient method of leaf area estimation. Unexplained variation was much less in multiple regression among logarithms of leaf area, length and width than simple regression between logarithms of leaf area and length or width. For the practical application, however, it was suggested that the equation of $A=a+b(LxW)$ or $A=b(LxW)$ where A, L, and W are area, length and width of leaves, and a and b are constants, would be satisfactory. The constants a and b were tabulated, for 13 other cv. or species of Citrus.

序 論

葉面積은 作物의 乾物生産이나 炭水化物代謝, 生産性 등을 決定하는 生長要因을 나타내는 指數가 된다¹⁾. 따라서 作物의 生長解析 및 기타 生理研究의 基礎資料가 되는 葉面積을 測定하기 위한 여러가지 方法이 開發되어 왔는데 이들 大部分은 잎에 損傷을 주게 된다. 光合成을 비롯한 作物의 活動이나 生産성을 研究하기 위해서는 非破壞의인 方法으로 葉面積을 測定할 必要가 있다.

一部 電光葉面積計는 園場에서 非破壞의인 方法으로 使用되도록 開發되어 있지만, 큰 나무를 다루어야 하는 果樹에서는 使用하기에 어려움이 있다²⁾

葉長이나 葉幅의 測定値와 葉面積 사이의 函數關係를 利用하여 葉面積을 推定하는 方法은 여러가지 作物에서 成功의으로 檢討되어 왔으며^{3,4)} 園場에서 葉長이나 葉幅을 測定하여 바로 葉面積을 읽을 수 있는 簡易計器로 考案되었다^{3,4)}. 그러나 柑橘葉에 對한 同一模型에서도 關係式의 常數는 種 및 品種에 따라 다를 뿐만 아니라^{2,11)} 同一品種의 個體라 할지라도 잎의 形態는 生長環境에 따라 다를 수 있다¹⁾.

柑橘의 葉長 및 葉幅과 葉面積과의 關係에 對해서 지금까지 提示된 몇몇 數學的模型中 葉面積 推定에 適合한 模型을 탐색하고 나아가서 濟州道에서 今後 集中의인 研究對象이 될 것으로 예상되는 몇몇 柑橘種 또는 品種들에 對해서 常數를 決定하기 위하여 本 研究을 遂行하였다.

材料 및 方法

葉長 및 葉幅 測定値와 葉表面積 사이의 回歸關係를 調査하기 위하여, 肥培管理가 良好하여 樹勢가 고른 濟州市 道蓮洞 所在(海拔 35 m)의 柑橘園에서 健全 葉을 對象으로 標本抽出하였다. 濟州道에서 地域의으로 重要視되고 있는 興津早生, 官川早生, 林溫州, 南柑 20號, 青島溫州, 十萬溫州 等 6個의 溫州蜜柑(*Citrus unshiu*) 品種과 그 의 瓶橘(*C. platymamma*), 濟家 네불(*C. sinensis* 'Washington-Seike'), 吉田네불(*C. sinensis* 'Washington-Yoshida'), 伊豫柑(*C. iyo*), 宮內伊豫柑(*C. iyo* 'Miyauchi'), 柑夏橘(*C. natsudaidai* 'Kawano') 八期(*C. hassaku*), 金柑子(*C. nobuoides*), 等 8個의 柑橘種 또는 品種을 選

2 는 문 장

擇하여 해당 種 또는 品種의 3~4 그루의 나무로부터 여러가지 크기의 잎이 골고루 섞이도록 하여 合計 100 葉씩 채취하였다.

葉長은 脫離層으로부터 頂端까지의 직선길이를, 葉幅은 가장 넓은 部位의 넓이를 各各 0.1 cm 單位까지 測定하였다. 測定된 100 葉을 크기에 따라 10 枚씩 10 個의 單位로 分類한 다음 自動葉面積計 (AAM-7, HAYASHI DENKOH Co., 日本) 를 利用하여 0.01 cm² 單位까지 葉面積을 測定하였다.

葉面積 推定을 目的으로 誘導된 몇가지 回歸方程式의 實用的 適合度를 檢討하기 위하여, 上記 標本과는

별도로 興津早生에 대하여 20 枚의 葉을 無作為 抽出하고 個個葉에 대하여 回歸方程式에 依한 推定値와 實測値 사이의 差를 百分率로 나타내어 差의 分布를 分析하였다.

結果 및 考察

作物의 葉表面積을 推定하기 위하여 提示되어온 몇가지 數學的模型에 準하여, 興津早生の 잎 100 枚 (10 枚 × 10 單位) 의 標本에서 얻어진 回歸方程式은 表 1 에 나타낸 바와 같다.

Table 1. Various regression equations between leaf area(A), leaf length(L) and leaf width(W) in 'Okitsu Early' Satsuma Mandarin.

Mathematical model	Regression equation	(1-R ²) 100 ²)
$A = \alpha L^\beta$	$\text{Log } A = -0.5188 + 1.9993 \text{ Log } L \dots\dots\dots (1)$	0.15
$A = \alpha W^\beta$	$\text{Log } A = 0.2164 + 1.9321 \text{ Log } W \dots\dots\dots (2)$	0.22
$A = \alpha L^\beta x W^\beta$	$\text{Log } A = -0.1719 + 1.0525 \text{ Log } L$ $+ 0.9171 \text{ Log } W \dots\dots\dots (3)$	0.07
$A = \alpha (L \times W)$	$A = 0.5804 + 0.6545 (L \times W) \dots\dots\dots (4)$ $A = 0.6668 (L \times W)^{0.7} \dots\dots\dots (5)$	0.06

x) Unexplained variation.

y) Regression through the origin.

柑橘類를 포함하여 여러 作物에서 葉長 (L) 과 葉表面積 (A) 사이의 $A = \alpha L^\beta$ (α 와 β 는 常數) 즉 $\text{Log } A = a + b \text{ Log } L$ 의 關係式으로 葉面積을 滿足스럽게 推定할 수 있다는 報告는 많다^{3,7,11,12}) 그러나 Ascenso 및 Soost (1976)²)는 12 種類의 柑橘實生 集團에 대해 檢討하여, 葉長 대신에 葉幅 (W) 을 利用한 $\text{Log } A = a + b \text{ Log } W$ 의 關係式이 葉長을 利用하는 境遇보다 葉面積 推定效果가 좋았으며 葉長 (L) 과 葉幅 (W) 을 둘 다 고려한 $\text{Log } A = a + b_1 \text{ Log } L + b_2 \text{ Log } W$ 의 重回歸式을 利用함으로써 더욱 推定效果가 向上 되었다고 報告하였다.

表 1 에서, 葉面積의 變異中 回歸式으로 說明되지 않은 部分을 나타낸다고 할 수 있는 (1-R²) 100의 값을 보면 葉長이나 葉幅 어느 하나의 側定値만 利用하여 葉面積을 推定할 境遇 Ascenso 및 Soost의 結果

처럼 葉幅을 利用하는 편이 낫다고는 결코 할 수 없으나 두개의 測定値를 모두 利用함으로써 推定效果를 크게 向上시킬 수 있음을 보여주고 있다. 또한 이 境遇 測定値를 對數로 換算하여 重回歸 關係를 利用하지 않고 Ackley 등¹)이나 鈴木¹⁰)가 利用한 葉長과 葉幅의 倍數인 (L × W) 値와 葉面積 사이의 單純回歸 關係인 $A = a + b (L \times W)$ 또는 $A = b (L \times W)$ 을 使用하여도 葉面積 推定效率이 매우 좋은 것으로 나타났다.

表 2 는, 表 1 의 關係式을 얻은 標本과는 별도로 같은 園場의 興津早生 葉 20 枚를 無作為抽出하여 表 1 의 關係式에 의한 葉面積 推定値와 葉面積計로 測定한 實測値 사이의 差 (%) 의 分布를 나타낸 것이다. 回歸式 (4 - p) 와 (5 - p) 는 6 個 品種의 溫州蜜柑 成績을 綜合하여 얻은 것이다 (表 3). 差의 平均은

Table 2. Distribution of percent differences between measured and estimated leaf areas in 'Okitsu Early' Satsuma Mandarin.

Regression equation ^{x)}	Range	Mean	Standard deviation ^{y)}	Frequency distribution					Total
				~ ±1 %	±1 ~ ±5 %	±5 ~ ±10 %	±10 % ~		
(1)	-9.89 ~ + 26.46	3.26	10.02	1	7	9	3	20	
(2)	-19.40 ~ + 13.33	-3.17	8.97	1	4	8	7	20	
(3)	-4.08 ~ + 10.09	-0.14	3.35	5	14	0	1	20	
(4)	-4.95 ~ + 8.47	-0.76	3.40	3	16	1	0	20	
(5)	-4.72 ~ + 8.71	-0.68	3.30	4	15	1	0	20	
(4-P) ^{z)}	-4.19 ~ + 9.31	0.44	3.29	4	15	1	0	20	
(5-P)	-3.77 ~ + 9.82	0.31	3.28	1	18	1	0	20	

x) See table 1.

y) Calculated in the hypothesis of $\mu=0$

z) Estimated from the equations of (4-P); $A = 0.6678 + 0.6582 (LxW)$ and (5-P); $A = 0.6735 (LxW)$, that is, pooled equations of six cv. of *C. unshiu*: see table 3.

Table 3. Regression equations between leaf area(A), leaf length(L) and leaf width(W) in *Citrus spp.*

Species or hort. cultivar.	Sample regression	(1-R ²)100 ^{z)}	Significance of intercept ^{y)}	Regression through origin
<i>C. unshiu</i> 'Okitsu'	$A = 0.5804 + 0.6545 (LxW)$	0.06	*	$A = 0.6668 (LxW)$
<i>C. unshiu</i> 'Miyagawa'	$A = 0.0637 + 0.6605 (LxW)$	0.30	ns	$A = 0.6624 (LxW)$
<i>C. unshiu</i> 'Hayashi'	$A = 0.8433 + 0.6651 (LxW)$	0.10	*	$A = 0.6828 (LxW)$
<i>C. unshiu</i> 'Nankan No.20'	$A = 1.1026 + 0.6441 (LxW)$	0.36	ns	$A = 0.6686 (LxW)$
<i>C. unshiu</i> 'Aoshima'	$A = 0.8386 + 0.6631 (LxW)$	0.34	ns	$A = 0.6782 (LxW)$
<i>C. unshiu</i> 'Juman'	$A = 0.5496 + 0.6621 (LxW)$	0.10	ns	$A = 0.6768 (LxW)$
Pool of the above six	$A = 0.6678 + 0.6582 (LxW)$	-	-	$A = 0.6735 (LxW)$
<i>C. Platyamma</i>	$A = 0.1844 + 0.7027 (LxW)$	0.06	ns	$A = 0.7097 (LxW)$
<i>C. sinensis</i> 'Washington-Seike'	$A = 0.7563 + 0.6750 (LxW)$	0.36	ns	$A = 0.6858 (LxW)$
<i>C. sinensis</i> 'Washington-Yoshida'	$A = 0.2368 + 0.6877 (LxW)$	0.04	ns	$A = 0.6941 (LxW)$
<i>C. iyo</i>	$A = 0.0804 + 0.7214 (LxW)$	0.22	ns	$A = 0.7236 (LxW)$
<i>C. iyo</i> 'Miyachi'	$A = 0.3621 + 0.7135 (LxW)$	0.04	ns	$A = 0.7219 (LxW)$
<i>C. natsundaikai</i> 'Kawano'	$A = -0.1144 + 0.6990 (LxW)$	0.08	ns	$A = 0.6957 (LxW)$
<i>C. hassaku</i>	$A = -1.1097 + 0.7423 (LxW)$	0.36	ns	$A = 0.7227 (LxW)$
<i>C. obovoidea</i>	$A = -0.5593 + 0.7382 (LxW)$	0.20	ns	$A = 0.7272 (LxW)$

z) Unexplained variation

y) * Significant at 5 % level.

어느 회귀식을 이용하여도 5% 미만이었으며 특히 葉長과 葉幅 두개의 測定值를 利用할 境遇(회귀式 3, 4, 5, 4-p, 및 5-p) 모든 境遇에 1%미만으로 葉面積 推定效果가 매우 좋았다. 또한 差의 度數分布를 보면 觀測值의 95%가 $\pm 5\%$ 以下の 範圍에 들었다. 理論적으로는 $A = b(L \times W)$ 의 對數를 취하면 $\text{Log } A = \text{Log } b + \text{Log } L + \text{Log } W$ 로서 $\text{Log } L$ 및 $\text{Log } W$ 의 계수를 1로 고정시킨 것이 되기 때문에 (3)式 $\text{Log } A = a + b_1 \text{Log } L + b_2 \text{Log } W$ 보다 A值 推定效果가 떨어질 것으로 생각되나 실제 (3)式에서 두 계수는 거의 1에 가까우므로 結果는 별 差異가 없는 것이라고 할 수 있다. 오히려 觀測值를 對數로 換算하는 번거로움과 數字變換에서 오는 誤差를 피할 수 있으므로 葉長과 葉幅의 倍數인 $(L \times W)$ 값과 葉面積과의 關係式을 利用하는 편이 實用的이라고 생각되었다.

表 3은 $(L \times W)$ 값과 葉面積과의 關係를 몇가지 柑橘의 種 또는 品種에 대해서 調査한 結果이다. 調査된 6種類의 溫州蜜柑 品種 사이에 係數의 同質性을 Steel 및 Torrie (1980)⁹⁾가 提示한 方法으로 F檢定한 結果 $F < 1$ 로 나타났다. 따라서 이들에 대해서는 綜合關係式을 提示하였다. 그러나 14個의 回歸式 全體에 대해서는 $F = 9.04^{***}$ 로서 係數가 異質의임이 分明하였다.

回歸式에서 $(L \times W)$ 值가 0 (Zero)인 때의 切片의 有意性을 檢定한 結果 興津早生과 林溫州에서 5%水準의 有意性을 보였고 나머지는 모두 無意로 나타났다. 따라서 原點을 지나는 回歸式 즉 $A = b(L \times W)$ 의 b 값을 提示하였다.

調査된 溫州蜜柑 가운데 十萬溫州는 外見上 葉形이 餘他 品種과는 크게 다른 것처럼 보이지만 回歸式의 常數는 有意差가 없는 것으로 봐서 本 調査園場과 비슷한 條件에서 栽培되는 溫州蜜柑에 대해서는 表 3에 提示된 綜合 關係式 즉 $A = 0.6678 + 0.6582(L \times W)$ 나 $A = 0.6735(L \times W)$ 를 利用하여 葉面積을 推定하면 滿足스러운 結果를 얻을 수 있으리라고 判斷되었다. 그런데 이 關係式을 얻은 園場과는 生育條件이 다른 園場에 栽培되고 있는 溫州蜜柑의 몇 集團에서 檢討한 結果 林溫州와 興津早生の 境遇는 推定值와 實測值가 비슷했지만 宮川早生인 境遇는 推定值가 實測值보다 커지는 傾向이었다. 따라서 正確한 推定值를 얻기 위해서는 對象集團에 대해서 常數를 별도로 구하는 것이 安全할 것으로 結論되었다.

要 約

非破壞的인 方法으로 葉面積을 推定하기 위하여, 興津早生을 供試하여 葉表面積(A)과 葉長(L) 및 葉幅(W)과의 關係에 대한 여러가지 數學的 模型을 檢討하였다. 葉面積과 葉長 또는 葉幅의 對數 사이에 直線的인 關係가 있었지만 이들 對數의 重回歸 關係를 利用하는 것이 더욱 變異가 적었다. 그러나 實用的인 面에서는 $A = a + b(L \times W)$ 또는 $A = b(L \times W)$ 의 關係式(여기서 a, b는 常數)을 利用하는 것이 좋을 것으로 判斷되었다. 다른 다섯개의 溫州蜜柑 品種과 溫州蜜柑 以外的 8種 또는 品種에 대해서 上記式의 a, b 常數를 決定하였다.

引 用 文 獻

1. Ackley, W.B., P.C. Grandall, and T.S. Russel. 1958. The use of linear measurements in estimating leaf areas. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 72:326-330.
2. Ascenso, J.C., and R.K. Soost. 1976. Relationships between leaf surface area and linear dimensions in seedling Citrus populations. Jour. Amer. Soc. Hort. Sci. 101(6):696-698.
3. Grimes, D.W., and L.M. Carter. 1969. A linear rule for direct non-destructive leaf area measurements. Agron. J. 61:477-479.
4. Freeman, G.H., and B.D. Bolas. 1956. A method for the rapid determination of leaf areas in the field. Rpt. East Malling Res. Sta. for 1955 p.104-109. Cited from Jackson (1980).
5. Jackson, J.E. 1980. Light interception and utilization by orchard systems. Hort. Rev. 2:208-267.
6. Kvet, J., and J.K. Marshall. 1971. 14. Assessment of leaf area and other assimilating plant surfaces. in Z. Sestak et al (ed.) Plant photosynthetic production. Dr. W. Junk

- N.V. Pub. (Hague).
7. Lal, K.N., and M.S. Subba Rao. 1951. A Rapid method of leaf area determination. *Nature* 167:72.
 8. Sharma, B.B., S. Feungchan, and K.A. Balakrishnan, 1972/73. A note on the estimation of leaf area of orange (*Citrus sinensis* Osbeck) leaves by linear measurements. *Progressive Hort.* 4 (3/4): 9-11.
 9. Steel, R.G., and J.H. Torrie. 1980. Principles and procedures of statistics, 2nd ed. McGraw-Hill Book Co. (New York).
 10. 鈴木鐵男. 1964. 果樹葉面積の概算法に關する検討. 農及園 39(10):1585-1586
 11. Turrell, F.M. 1961. Growth of the photosynthetic area of citrus. *Bot. Gaz.* 122:284-298.
 12. Wendt, C.W. 1967. Use of a relationship between leaf length and leaf area of cotton (*Gossypium hirsutum* L), castors (*Ricinus communis* L), and sorghum (*Sorghum vulgare* L). *Agron. Jour.* 59:484-486.