

# 담배의 生長反應에 관한 數理解析의 研究

## I. 全乾物重의 生長曲線과 生長速度

金容岩·卞珠燮\*  
韓國人蔘煙草研究所 陰城試驗場  
\*忠北大學校 農科大學

### Studies on the Mathematical Analysis of Growth Kinetics in Tobacco (*Nicotiana tabacum* L.)

#### 1. Growth Curve and Growth Velocity of Total Dry Weight.

Young Am Kim and Ju Sub Bion\*

Eumseong Experiment Station,  
Korea Ginseng and Tobacco Research Institute, Chung-Buk, Korea  
\*Coll. of Agr., Chung-Buk National Univ., Cheongju, Chung-Buk, Korea

(Received Aug. 31, 1981)

---

#### Abstract

This experiment was conducted with three varieties (Hicks, Burley 21, Sohyang) and cropping systems (Improved mulching, Mulching, Non mulching) of NC 2326 to analyze growth kinetics by means of growth function involving its velocity and accelerated velocity.

The basic growth data were obtained by harvest method at interval of ten days from transplanting to hundred days and analyzed by regression equation, determinant of matrix, and differentiation.

The plot of total dry weight of leaves, stalk and roots per a plant vs. time forms a sigmoid curve and its function fitted logistic satisfactorily.

Tobacco plant grows at an accelerated velocity. And growth velocity, symmetric about an inflection point, is proportional to biomass attained and to the difference between biomass attained and the maximum, and to the decrease according to the biomass.

Of varieties and cropping systems, the most maximum velocity was 9.58g per day per plant in mulching cultivation of NC 2326 and maximum accelerated velocity was 264mg per day<sup>2</sup> per plant in Burley 21.

## 緒 論

담배의 收量과 品質은 담배가 成長해온 過程에 좌우되며 品種과 環境의 複合結果는 蓄積生長으로 나타난다. 그러므로 蓄積生長의 形態는 담배의 收量과 品質을 解析하는 하나의 指標로 생각되며 이는 生長速度와 加速度로 解析된다.

그러나 지금까지 生長을 數理的으로 연구한 결과는 거의 없는 실정이다. 前報(5)에서 담배의 재배 形態별 生長곡선을 檢査하였으나 資料의 不備로 完全하게 분석하지 못했기 때문에 品種別 資料를 補完하여 普偏妥當性있는 生長模型을 選定하고 生長速度를 定立코자 한 것이다.

결국 담배의 生長은 時間에 反應한 産物이므로 生長曲線을 函數化하고 生長速度와 生長加速度를 導入하여 速度로서 生長을 數理解析하고 定量하기 위하여 本 試驗을 遂行하였다.

## 材料 및 方法

本試驗의 生長資料는 韓國煙草研究所 陰城試驗場에서 1980년 一般 mulching으로 標準栽培한 Hicks, Burley 21과 素香 및 改良말칭(I. M.), 一般말칭(G. M.), 裸地作(N. M.)으로 재배한 NC2326(10)의 株當乾物重을 移植後 10日間隔으로 調査하여 얻은 것이다.

生長模型은 Gompertz curve(A型), Logistic curve(B型), Blackman curve(C型)와 Normal curve(D型)을 다음과 같이 直線化方程式으로 代數變形시켜서 利用하였다.

$$A型: \ln(-\ln Y/Y_0) = a - bt$$

$$B型: \ln Y/(Y_0 - Y) = dt - \ln C$$

$$C型: \ln Y = K_0 + K_1 \ln t + K_2 t^2$$

$$D型: \ln Y = -(h + gt + ft^2)$$

$Y_0$ 는 乾物重의 最大值,  $\ln$ 는 自然代數,  $t$ 는 移植後 日數,  $a, b, c, \dots$ 는 常數 및 係數이다. 各係數와 常數는 行列式과 直交多項式에 의하여 求하고  $Y_0$ 는 Davidson(1)의 三點法으로 産出했다. Chi-square 값은  $X^2 = \sum (Y - \hat{Y})^2 / \hat{Y}^2$ 에서 求하고 回歸分散은

$bi(\sum Y_t - \sum t \sum Y/n)$ 으로 推定하였다.

生長速度와 生長加速度는 生長曲線의 導函數로 定式化했으며 最大速度와 最大加速度는 變曲點에서의 時點으로 求하였다.

## 結果 및 考察

### 1. 담배의 生長模型(growth model)

Hicks, Burley 21, 素香의 3品種과 NC2326의 재배 形態별 건물중을 4가지의 各모형에 適用하여 얻은 方程式의 適合性을 Chi-square 檢定한 결과는 表 1과 같다.

A型은 生育初期부터 上向曲線으로 觀測值보다 크게 隔差를 보이다가 末期에는 근소한 下向曲線으로 接近하는 S字型曲線이다. 初期生育이 빠른 素香과 一般말칭의 NC2326의  $X^2$ 이 比較的 작고 叢生期間이 긴 Burley 21이 Hicks보다 큰 것으로 보아 初期生育의 促進與否가 이 曲線의 妥當性을 좌우하는 것 같다. 이는 Sea lamprey의 길이의 生長(12)이나 Pel-argoinum의 葉면적 生長(17), 그리고 切除된 部位의 새 器官의 生長(2)에 Gompertz curve가 適合하다는 보고와 같은 傾向으로 보인다. 담배는 低溫期에 移植을 하며 또한 植傷에 의한 初期生育의 遲延이 A型和 맞지 않는 要因으로 생각되며 조기생육이 促進된 담배의 生長이나 氣象災害로 斷莖후 생기는 腋芽와 葉面積의 生長曲線에 適合할 것 같다.

C型은 初期의 緩慢한 生長과 中期以後 直線의 生長을 하는 林木의 生長式으로 보이며 담배의 乾物重 生長에는 가장 不適當하며 S字型曲線이 아니다.

D型은 正規分布曲線의 變形型으로 Nichol과 Calder(11)가 *Atriplex spongiosa*의 乾物生長에 利用한 바 있다. 生育初期에 잘 맞으나 50日以後는 큰 오차를 나타낸다.

이 式을 活用하려면 最大生長量 以後의 減少期資料가 필요하며 中期의 生育이 다소 억제되고 末期生育이 促進된 담배의 老衰期生長分析에 適合할 것으로 보인다.

B型은 典型的인 S字型曲線이며 담배에 普偏性을 갖는 것 같다. Burley 21과 改良말칭(NC2326)에서  $X^2$ 이 큰 것은 50~60日의 異常值 때문이다. 觀測值

보다 推定曲線에 의한 것이 더 正確한 것과 같이(16) 曲線에 의해 誤差나 異常值가 補正되는 것 같다. 曲線의 形態와  $X^2$ 을 綜合해 볼 때 品種과 栽培型 모두

담배의 株當 全乾物重은 logistic curve生長을 하는 것으로 解析된다.

**Table 1.** Chi-square values of three varieties and cropping systems in cv. NC 2326 for four different growth models

Variety	Model			
	A	B	C	D
Hicks	209.8	10.3*	60.4	22.6
Burley 21	216.5	26.7	209.5	83.7
Sohyang	1.9*	0.07*	0.8*	76.7
NC 2326				
I.M.	319.8	36.2	34.2	15.2*
G.M.	61.8	11.5*	33.1	10.0*
N.M.	195.4	16.3*	19.3	11.9*
Mean	169.2	16.8*	59.6	25.8

I.M.: Improved mulching, G.M.: General mulching, N.M.: Non mulching

\* Significant at the 0.05 level of probability.

## 2. 담배의 生長曲線 (growth curve)

生長은 純同化產物의 蓄積이 基本이며 非可逆性을 갖는다. 엄밀한 意味에서 蓄積生長은 瞬間變化를 하는 附加生長으로 時間經過의 자취는 多形曲線이며

生物의 種類에 따라 S字型, J字型, 二重S字型 등(13) 이 알려져 있다.

表 2는 logistic curve로서 表現한 品種과 栽培型의 生長曲線方程式이다. 이 式의 分子는 推定最大值이

**Table 2.** Growth equations of logistic curves for different varieties

Variety	Growth equation
Hicks	$227.6 / (1 + 1686.02 e^{-0.1470t})$
Burley 21	$236.6 / (1 + 3023.51 e^{-0.1577t})$
Sohyang	$27.0 / (1 + 57.96 e^{-0.0943t})$
NC 2326	
I.M.	$259.4 / (1 + 2770.08 e^{-0.1310t})$
G.M.	$313.4 / (1 + 1815.49 e^{-0.1223t})$
N.M.	$208.6 / (1 + 770.35 e^{-0.1146t})$

I.M.: Improved mulching, G.M.: General mulching, N.M.: Non mulching

t: Days after transplanting.

고 t의 係數는 直線化方程式의 기울기이며 e의 係數는 截片이다.

담배의 全乾物重의 生長曲線은 S字型과 對稱性(symmetry)의 基本特性을 가지며 exponential의 屬性을 갖기 때문에 指數修正式으로도 설명된다(9).

品種別 生長曲線을 보면 初期生長은 Burley21과 Hicks가 素香보다 遲延되나 移植後 45일경부터는 더 커지는 경향이다. 素香은 移植後부터 生長이 이루어지고 初期生育의 停滯가 적은 특성을 보이는데 이는 遺傳的인 要因에 의한 品種間 差異인 것 같다.

栽培型別 生長曲線을 보면 初期生育은 一般말칭, 裸地作, 改良말칭의 順으로 크나 移植後 55일경부터는 改良말칭이 一般말칭보다 커지는 경향이다. 栽培型間의 乾物重差는 株當 約90g 程度인데 이는 栽培環境에 의한 環境變量으로 解析된다.

### 3. 담배의 生長速度(growth velocity)

速度는 變位の 時間에 대한 率로서 表示되는 vector 量이다. 廣義로는 變位以外的 量일지라도 變化의 時間率을 速度라한다(6). 廣義의 速度에는 光速度(light velocity:12), 波面이 進行하는 位相速度(phase velocity), 反應系의 各成分의 時間變化率인 化學反應速度(3, 4), Michaelis-Menten方程式에서 효소의 初期速度와 最大速度(8, 14) 등이 있다. 여기서 처음시

도하여 使用한 生長速度는 廣義의 速度概念이며 生長現象에 速度를 導入함으로써 生長을 보다 더 깊게 動態的으로 定量하고 解析하여 生長反應論을 數理的으로 定立하기 위한 것이다.

廣義의 速度概念에서 보면 現象變化의 連續的인 曲線자취는 速度를 갖는 고로 담배의 生長曲線은 生長速度와 生長加速度를 갖는다. 同化產物(P)과 理化學產物(R)의 相互關係에 따라 生長速度가 變한다.

P=R이면 生長은 停滯하며 現狀態를 계속 유지하기 때문에 生長速度는 零이나(停滯生長). P<R이면 作物은 自體의 營養을 消耗하면서 生命을 유지하기 때문에 蓄積生長은 감소하다가 作物은 죽고 만다(消耗生長). 이때 生長速度는 負이다. P>R이면 附加生長을 하며 生長速度는 正으로 진정한 의미의 生長이다(蓄積生長).

담배의 生長速度式을 變形 置換하면  $V = \frac{K}{Y_0} \cdot Y(Y_0 - Y) = \frac{K}{Y_0} (Y_0 Y - Y^2)$ 으로 된다. 이 관계식에서 보면 담배의 生長速度는 當時의 生長量에 比例하며, 最大生長量과 當時生長量의 差( $Y_0 - Y$ )에 比例하여 增加하고, 當時生長量의 平方( $Y^2$ )에 따라 감소하는 特性을 갖고 있다. 여기서  $Y^2$ 은 太田(15)의 抵抗 및 Kormndy(7)의 feedback effect와 同一한 개념인 negative growth potential로 생각된다.

Table 3. Growth velocity equations and maximum growth velocity (MGV) for four varieties.

Variety	Growth velocity equation	M G V	
		g/day/plant	at t
Hicks	$56409.45 e^{-0.1470t} / (1 + 1686.02 e^{-0.1470t})^2$	8.36	50.5
Burley 21	$11280.66 e^{-0.1577t} / (1 + 3023.51 e^{-0.1577t})^2$	9.30	50.8
Sohyang	$147.55 e^{-0.0943t} / (1 + 57.96 e^{-0.0943t})^2$	2.54	43.1
NC 2326			
I.M.	$94123.59 e^{-0.1310t} / (1 + 2770.07 e^{-0.1310t})^2$	8.49	60.5
G.M.	$69570.23 e^{-0.1223t} / (1 + 1815.49 e^{-0.1223t})^2$	9.58	61.4
N.M.	$18418.60 e^{-0.1146t} / (1 + 770.35 e^{-0.1146t})^2$	5.98	58.0

I.M.: Improved mulching, G.M.: General mulching, N.M.: Non mulching

t : Days after transplanting.

**Table 4. Maximum and minimum growth accelerated velocity (GAV) for four varieties.**

Variety	Maximum GAV		Minimum GAV	
	mg/day <sup>2</sup> /plant	at t <sub>1</sub>	mg/day <sup>2</sup> /plant	at t <sub>2</sub>
Hicks	473	41.6	-473	59.5
Burley-21	566	42.5	-566	59.2
Sohyang	23	29.1	- 23	57.0
NC 2326				
I.M.	428	50.5	-428	70.6
G.M.	451	50.6	-451	72.1
N.M.	264	46.5	-264	69.5

담배의 生長加速度는  $V_a = V \frac{K}{Y_0} (Y_0 - 2Y) = VK(Y/2Ce^{Kt} - 1)$ 로 變形된다. 加速度는 速度에 比例하나  $Y < \frac{1}{2} Y_0$ 에서 正(+)이고,  $Y > \frac{1}{2} Y_0$ 에서 負(-)의 加速度를 가지며  $t_0 = \ln C/K$  day에서 加速度는 零이며 生長速度는 最大이다.

담배의 品種과 栽培型別 加速度方程式은 表 3과 같다. 生長速度曲線은 increment 曲線이며  $t_0$ 에 좌우 對稱이다. 加速度曲線은 速度曲線의 兩變曲點( $t_1, t_2$ )을 極大, 極小로 하는 경우 漸近線曲線이다. 따라서  $t_1$  day의 加速度를 極大로 하는 increment curve와  $t_2$  day을 極小로 하는 decrement curve의 合成曲線이

며 X軸과  $X=t_0$ 인 Y軸에 對稱이다. 그러므로 극대 극소시의 가속도의 絶對値는 동일하다(表 4).

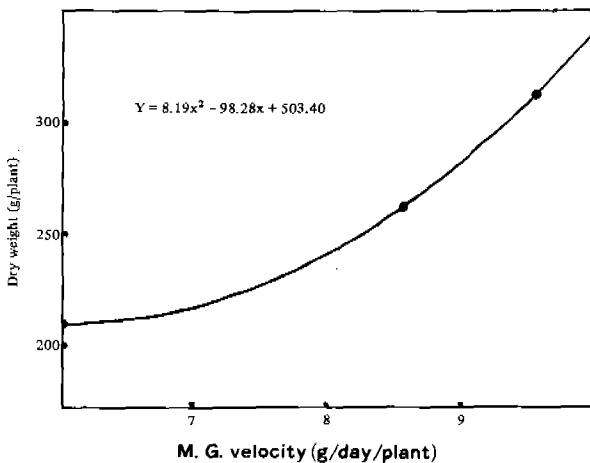
表 2에서 보면 移植後 最大生長速度까지 到達日과 最大生長速度는 Hicks, Burley21에서 비슷하나 素香은 7日程度 먼저오며 最大速度는 1/4에 불과한 데 이는 品種의 差로 보인다. 栽培型에 있어서는 개량 말칭에서 일반말칭으로 增加하여 裸地作에서 감소하는 傾向이다. 最大生長速度는 品種과 栽培型에 따라 株當 2.5~10g/day程度며 最大生長加速度는 20~600 mg/day<sup>2</sup>程度다(表 4).

NC2326의 作培型에 있어서 最大生長速度和 乾物重과의 回歸관계는 그림 1과 같이 二次函數관계가 있으므로 最大生長速度는 收量에 큰 영향을 주는 것으로 解析된다. 最大生長速度의 大小와 速度曲線의 기울기, 變曲點, 生長曲線의 段階等 生長曲線의 特性은 담배의 收量과 品質形成過程의 重要한 指標로 解析되며 앞으로 연구할 가치가 크다고 생각된다.

### 結 論

本研究에서 Hicks, Burley21, 素香과 NC2326의 栽培型和 品種에 따른 株當全乾物重의 蓄積量이 時間에 따라 增加하는 하나의 生長反應으로 보아 이를 生長模型에 의하여 生長을 函數化하고 速度論의 立場에서 본 담배생장의 數理的 表現과 그 特性은 다음과 같다.

1. 담배의 全乾物重의 生長은 logistic函數이며 加速度生長을 한다.



**Fig. 1. Quadratic regression between dry weight and maximum growth (MG) velocity for var. NC 2326.**

2. 담배의 生長速度는 當時의 生長量에 比例하여 增加하고, 最大生長量과 當時生長量의 差에 比例하여 증가하고, 當時生長量의 平方에 따라 감소한다.

3. 담배의 生長速度曲線은 increment curve 이며 最大速度時點에 對稱이다.

4. 담배의 生長加速度는 increment曲線과 decrement曲線의 合成曲線이며 X軸과  $X=t_0$  인 Y軸에 對稱이다.

5. 담배의 生長速度와 加速度는 品種과 栽培型에 따라 다르며 最大生長速度는 株當 2.5~10g/day이며 最大生長加速度는 20~600mg/day<sup>2</sup>이다.

6. 담배의 最大生長速度와 乾物重은 二次函數關係가 있으며 速度의 增加에 따라 乾物重은 급격히 증가한다.

#### 인용문헌

1. Bliss, C.I. "Statistics in biology", Vol. 2, pp. 149-199, MacGraw H.B. New York, U.S.A. (1970).
2. Erickson, R. O. Ann Rev. Plant Physiol. 24:407-434 (1976).
3. 全學濟. 理化學大辭典. 信一, p. 376 (1980).
4. 鄭鎮壽. 現代科學大辭典. 科學社. p. 395 (1962).
5. 金允東. 金容岩. 韓作誌. 2(2): 44-50 (1980).
6. 金益達. 百科辭典. 學園社. 4: 167 (1957).
7. Kormndy, E.J. "Concepts of ecology," 2nd Ed. p. 10-20, Prentice Hall London, England (1976).
8. Lehninger, A.L. "Biochemistry", 2nd Ed. p. 192 Worth Publ. (1970).
9. 岸根卓郎. "統計學", pp. 156-165, 養賢堂. 東京 (1970)
10. 南基元. 試驗研究報告書. 中央煙試. p. 186 (1976).
11. Nicholl, A.O. and D.M. Calder, New Phytol. 72:557-581 (1973).
12. Riffenburch, R.H. Biometrics 22:162-178 (1966).
13. Salisbury, F.B. and C.W. Ross. "Plant physiology," 2nd Ed. p. 226, Wadsworth P., California, U.S.A. (1978).
14. Stenesh, J. "Dictionary of Biochemistry." p. 197 A Wiley-Inter. Science New York, U.S.A. (1975).
15. 田中亮平. "作物生理學". 三版, pp. 304-310. 養賢堂. 東京 (1962)
16. Vernon. A.J. and J.C.S. Allion. Nature 209:814 (1963).
17. Williams, W.T. and F.A. Amer. Ann. Bot. 21:339-342 (1957).