

小白菜生長模式之評估

陳加忠 雷鵬魁¹⁾

(接受刊載日期：中華民國 85 年 10 月 21 日)

摘要：此研究用以探討與評估小白菜於 PVC 遮雨棚設施內部與外部生產之最佳生長模式。模式之型態與參數用以比較與解釋作物之生長特性。結果顯示 Logistic 模式為小白菜在各種處理下最適切之生長模式，可用以描述全葉面積，乾物重與生長日期之分佈關係。利用此生長模式計算所得之相對成長率，葉面積比例與淨同化率等生長指數可用以說明設施栽培對小白菜成長之影響。利用葉面積量測間接量測小白菜乾物重量之方式並不適用。

關鍵詞：小白菜，生長模式

前言

國內蔬菜的產期與產量往往無法穩定。尤其以葉菜的供應最為嚴重。夏季因高溫、高濕或強風暴雨為害，造成了產銷未能平衡，冬季又有生產過剩之問題，因而形成所謂“菜金菜土”之現象。為了穩定蔬菜之產期與產量，必須對蔬菜之生產總產量有所掌握。影響蔬菜之總產量有兩項因素：總生產面積與單位面積之產量。為能把握因內蔬菜之生產資料、生長時期中產量與時間之關係必須加以建立，外界條件對於作物生長之影響也必須量化。

作物之生長受到生命現象之影響，無法無法無的限生長。自生長之始期，抵觸生長的強度也逐漸增加。利用數學模式可以量化

描述此種生命現象，並可以利用生長模式 (growth model) 中其常數項建立生長指數 (growth index) 給予物理與生物之意義，用以探討外在生長條件對作物生長之影響：

此研究之目的在於探討評估探討評估國內葉菜中主要作物之小白菜其適用生長模式，並討論其生長指數之意義。

生長模式探討

一、生長模式理論

生長模式係用以說明作物之生長量（葉長、葉寬、葉面積）、鮮重與乾物重等條件與生長時間的函數關係，最基本之定義如下：

1) 國立中興大學農業機械工程學系副教授

$$W_i = f(t), t \text{ 為時間單位} \quad (1)$$

利用微分可說明生長速率，公式(1)可再定義為：

$$\frac{dW}{dt} = G(W, t) \quad (2)$$

公式(2)代表生長速率與目前生長量與時間之關係，最簡單之生長模式中， dw/dt 與現在生長量有常數比例關係，

$$\frac{dW}{dt} = G(W, t) \quad (3)$$

$$W = W_0 * \text{Exp}(u * t) \quad (4)$$

w_0 為最初生長量， u 稱為生長常數

公式(4)僅有在生長無限制因子之狀況下才能存在，在大自然界內，事實上並不存在。作物之成長有其負面之限制條件。

(一) Monomolecular 公式

$$\text{假設 } dW/dt = d \times S \quad (5)$$

公式(5)表示生長速率與限制生長條件成比例關係。

S 值之限制如下：

$$W + S = \text{Constant} = W_f \quad (6)$$

W_f 為最後之總重量。

由公式(5)、(6)而得

$$dW/dt = k \times (W_f - W) \quad (7)$$

由初始與最後條件，公式(7)可擴充為：

$$W = A \times [1 - B \times \text{Exp}(-C \times t)] \quad (8)$$

此公式稱為 Monomolecular equation，生長曲線為連續性，本身無任何轉折點。對作物生長而言，表示作物生長之養份供應為常數，成長與養份供應有比例關係，直到養份用盡即停止生長。

(二) The Logistic growth equation

此公式假設生長速率與現在生長量與限制量有比例關係，

$$dW/dt = k1 \times W \times S = k1 \times W \times (W_f - W) \quad (9)$$

公式(9)可積分為：

$$W = \frac{W_f}{1 + \left(\frac{W_f}{W_0} - 1\right) * \text{Exp}(-ut)}$$

$$= \frac{A}{1 + B * \text{Exp}(-C * t)} \quad (10)$$

此公式之特點在於生長半程時， $W = W_f$ ，生長曲線有一轉折點。在生物成長之意義在於提供的養份為有限度。

(三) The Gompertz growth equation

此公式假設作物之成長並無限制，可利用公式(3)以表示，但是生長係數 u 並非常數，而是本身具有限制性。

$$u = u_0 \times \text{exp}(-k \times t) \quad (11)$$

由公式(3)、(11)可得

$$dW/dt = u_0 \times W \times \text{Exp}(-kt) \quad (12)$$

公式(12)之積分可得 Gompertz growth equation

$$W = A \times \text{Exp}(-B \times \text{Exp}(-C \times t)) \quad (13)$$

Gompertz equation 之特點在於比 Logistic function 更早到達 w_f 之時期。

(四) The Richards growth equation

此公式之假設條件如下：

$$\frac{dW}{dt} = \frac{K * W * (W_f^n - W^n)}{n * W_f^n} \quad (14)$$

$n = -1, 0, 1$ 時，公式(14)分別為

Monomolecular, Gompertz 與 Logistic 模式。其積分公式可表達為：

$$W = \frac{A}{[1 + B * \text{Exp}(-C * t)]^d} \quad (15)$$

(五) The Mitcherlich growth equation

此公式並無生物學理之推衍基礎，而純一項經驗公式：

$$W = A - B * C^x \quad (16)$$

六、多項式經驗公式

描述生長曲線另一種方式係利用多項式公式以描述此曲線，多項式之參數值以多重線性迴歸技術求得。所用之公式主要有兩種：

$$W = a_0 + a_1 * t + a_2 * t^2 + \dots + a_n * t^n \quad (17)$$

$$\ln(W) = a_0 + a_1 * t + a_2 * t^2 + \dots + a_n * t^n \quad (18)$$

二、生長模式與生長指數

作物生長模式之主要價值在於其參數具有生物與物理之意義，而可應用於探討作物栽培技術對收穫產量之影響。常用之生長指數 (Growth index) 如下：

(一) 相對成長率 (RGR)

相對成長率 (RGR, Relative Growth Rate) 代表在單位時間內作物之增減速率。

$$RGR = \frac{1}{W} * \frac{dW}{dt} = \frac{d(\ln W)}{dt} \quad (19)$$

(二) 葉面積比例 (LAR)

葉面積比例 (LAR, Leaf Area Ratio) 代表面積與乾物量之比例關係，其公式：

$$LAR = A/W \quad (20)$$

(三) 淨同化率 (NAR, Net Assimilation Rate)

$$NAR = RGR/LAR \quad (21)$$

三、生長模式之應用

以數學模式描述作物生長曲線之研究已有許多專書加以討論 (Hunt, 1979; 1982; Causton and Venus, 1981; Thornley and Johnson, 1990)，但是其對象以傳統農藝作物中穀物與纖維作物為主，對於蔬菜之探討較少。

Hamamoto 氏 (1994) 利用生長模式以探討在簡易設施內外春菠菜 (*Spinacia oleracea* L.) 之生長性狀。其研究結果顯示菠菜

葉面積 (A)，葉長 (L) 與乾物重 (Wd) 之對數轉換值 ($\ln A$, $\ln L$ 與 $\ln Wd$) 與生長時間 (t) 皆有二次方多項式之關係。並以 RGR, LAR 與 NAR 指數說明設施對菠菜生長之影響。

柴田氏等 (1994) 對於萵苣於植物工場的生長速度研究中，以影像處理技術量測萵苣的全葉面積，其統計分析結果顯示在三十天的生長時期；葉面積，鮮重與乾物重與時間之關係為指數函數 (Exponential function)。

守谷氏等 (1996) 在樹苗 (Camphor tree) 生長影響因子之研究中，比較四種處理對樹苗生長之影響。其乾物重與生長時間之關係以 Logistic 成長公式加以描述，並以相對成長率 (RGR) 與葉面積比值 (LAR) 以探討林木苗同化作用時養份之分配。

國內之研究中，呂氏等 (1995) 以 Richards 函數探討水芋的生長模式，並以公式中常數所推衍之參數研究氣象因素對水芋成長之影響。在其研究中，葉部、地上莖與球莖之乾物重對生長時間之數據以 Richards 式迴歸結果顯示公式 (15) 之 d 值均介於 0.9 ~ 1.1 之間，與 1.0 值十分接近。

研究生長曲線時，量取作物葉部之乾物重必須摘取葉部，再以烘乾法量取乾物重量。此方式屬於破壞式測定，容易干擾影響作物之生長。以非破壞性方式，間接測定作物之乾物重之量測技術有其建立之必要，Pasian 與 lieth 氏 (1994) 即量測玫瑰花之葉長、梗與花苞之直徑，配合乾物重之數據，建立乾物重與各量測數據之關係式，其結果顯示葉乾物重與葉長為二次多項式關係，莖乾物重與莖直徑亦為二次多項式，花苞乾物重與花苞直徑則為四次方之多項式關係。

材料與方法

一、試驗材料與方法

試驗材料為白梗白葉 (Pakchoi, *B. Chinensis* L.)，分別種植於 1996 年 3 月至 4 月與 5 月至 6 月。種植過程，施肥量與管理技術如賴氏 (1996) 所述。3 月~ 4 月係於設施內種植 (處理 I)，5 月~ 6 月則分別於設施內外種植 (處理 II 與 III)，試驗期間量測設施內外溫度，相對濕度與日照量。

試料之取樣係自四重覆之田區內隨機取樣。每隔四天取樣一次至收穫。取得樣本之葉面積測定係利用葉面積測定儀 (Model LI-3000, LI-COR CO.) 量測全株之葉面積。乾物之量測係利用烤箱以 130 °C 烘乾 5 小時後再量測其乾物重。所用電子天平準確性至 0.001g。

栽培用設施為高架 (3.2 公尺) 之遮雨棚，以 PVC 塑膠布為覆蓋物，透光率約 70 %。

二、非線性迴歸分析

多項式迴歸分析之應用軟體有許多商業軟體可加以利用執行，此研究所應用的軟體為 "MULTREG" (Weisberg, 1985)，可在 PC 上直接執行。

生長模式中，Monomolecular equation (公式 8)，Logistic equation (公式 10)，Gompertz equation (公式 13) 與 Mitcherlich equation (公式 16) 均屬於包含三個參數之非線性函數，Richards equation (公式 15) 為包含四個參數之非線性函數。非線性公式之迴歸分析無法最小平方直接求解，此研究係採用 Newton-Hartley 修正法加以求得參數數值之近似值 (Hartley, 1961; Myers, 1986)。使用軟體為作為以

QBASIC 所撰寫之 "NONLIN.BAS" 軟體，加以計算各參數值與統計量。

模式適稱性之判別，在定量方面採用 R² 值與標準差 (SE, Standard deviation of errors)，在定性方面則採用殘差對預測值之分佈圖。

結果與討論

一、小白菜葉面積生長曲線與模式評估

1996 年 3 月~ 4 月所種植之小白菜，其葉面積 (At) 對生長時間 (t) 之曲線關係如圖 1 所示，葉面積數值以對數據轉換後與生長時間之關係曲線則如圖 2 所示。

以非線性迴歸程式 "NONLIN" 與多項式迴歸程式 "Multreg" 所計算之各生長模式之參數值與統計量如表一所示。對多項式經驗公式而言，葉面積對生長時期之適用方程式為高達四次方之多項式，葉面積數值之對數轉換值對生長日期之適用公式則為包含二次之多項式，此結果與 Hamamota 氏 (1994) 對春季菠菜生長曲線之研究結果相同。

對非線性公式而言，在具有三常數的四個模式中，Monomolecular 式，Gompertz 式與 Logistic 式均有均勻分佈之殘差圖。在量化之統計量方面，Gompertz 式有最大之 R² 值，最小標準差 (SE) 值。Logistic 式在量化統計方面，較劣於 Gompertz 式。對四參數之 Richards 式而言，其參數 d 值接近 1.0，顯示此公式可簡化為 Logistic 式。Logistic 式之預測曲線與量測數據之比較如圖 1，可知其預測性能良好。

$$\begin{aligned} &\text{Gompertz 式爲} \\ &At = 122.71 * \text{Exp}(-12.777 * \text{Exp}[-0.201 * t]) \end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} &\text{Logistic 式爲} \\ &At = 114.29 / (1 + 101.414 * \text{Exp}[0.3242 * t]) \end{aligned} \quad (23)$$

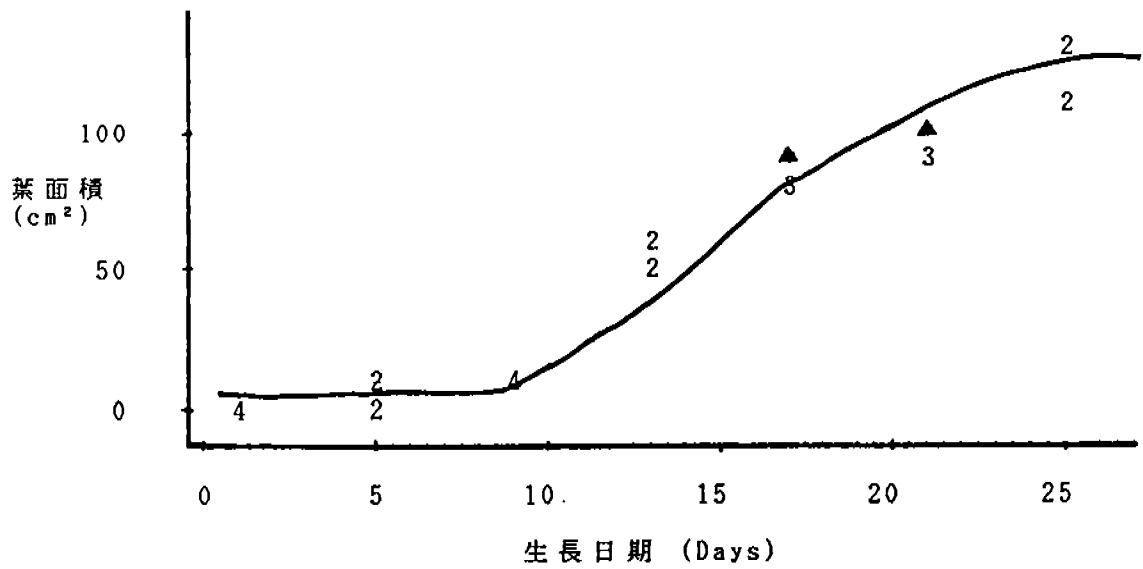


圖 1 設施小白菜葉面積生長曲線 (85年3月至4月)
 Figure 1. The leaf area growth curve of the Pakchoi culture under rain shelter (March-April, 1996)

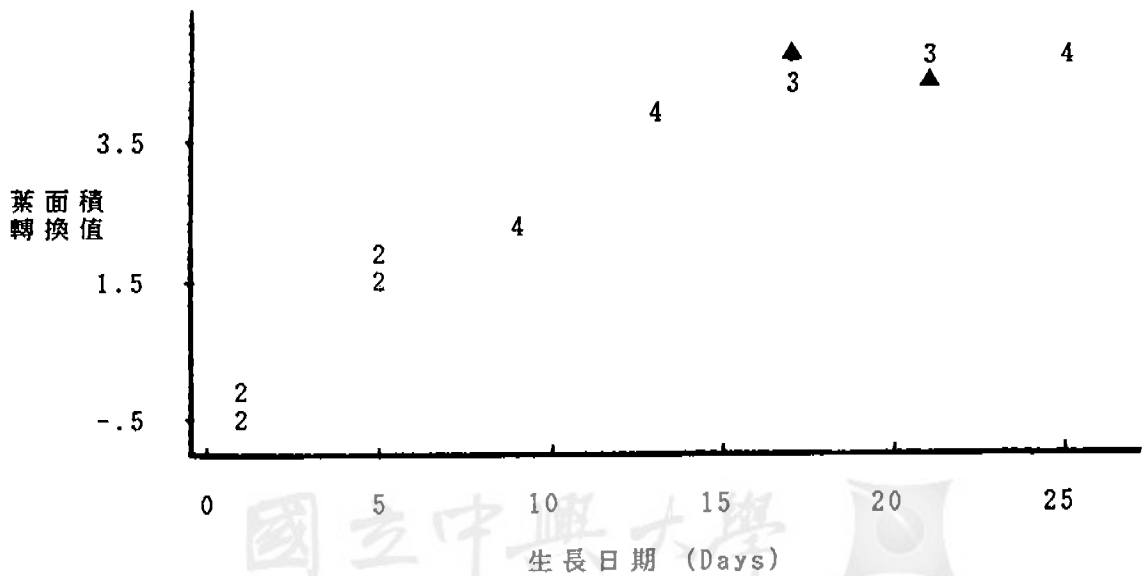


圖 2 設施 ob 1 小白菜葉面積轉換值與生長時間之關係 (85年3月至4月)
 Figure 2. The logarithmic curve of leaf area growth data of the Pakchoi culture under rain shelter (March-April, 1996)

表 1 小白菜葉面積生長曲線之適用模式評估 (設施內, 3-4 月)

Table 1. The evaluation of the fitting-agreement for the leaf area growth models of Pakchio (Under rain shelter, March-April)

Growth Models	3 Parameters				4 Parameters	Empirical	model
	Monomolecular	Gompertz	Mitcherlich	Logistic	Richards	I ⁽¹⁾	II ⁽²⁾
A	-154.016	122.71	-123.93	114.288	116.872	-0.6878	-12.608
B	0.92724	12.777	-113.54	101.414	102.42	0.4631	18.745
C	-2.631*10 ⁻²	0.2005	1.0313	0.3242	0.3242	-9.869*10 ⁻³	-5.8508
D					1.0607		0.7051
E							-3.278*10 ⁻²
R ²	0.944	0.973	0.953	0.966	0.976	0.975	0.985
SE	11.06	7.686	10.07	8.61	7.61	7.81	6.16
Residual Plots	UD	UD	Pattern ⁽⁴⁾	UD	UD	UD	UD

Note : (1) Model I : $\ln Y = A + BX + CX^2 + DX^3 + EX^4$

(3) UD : Uniform distribution

(2) Model II : $Y = A + BX + CX^2 + DX^3 + EX^4$

(4) Pattern : Clear Pattern

表 2 小白菜葉面積生長曲線之適用模式評估 (設施內, 5-6 月)

Table 2. The evaluation of the fitting-agreement for the leaf area growth models of Pakchio (Under rain shelter, May-June)

Model coefficient	3 Parameters				4 Parameters	Empirical	model
	Monomolecular	Gompertz	Mitcherlich	Logistic	Richards	I	II
A	-1.2006	159.66	-1.2009	685.85	628.61	-0.3357	-1.9637
B	1.3817	66.575	-1.659	615.56	614.46	0.2609	2.4406
C	-0.16985	0.2074	1.1851	0.1926	0.1931	-2.398*10 ⁻³	-0.3123
D					0.9955		1.6*10 ⁻²
R ²	0.9961	0.964	0.9961	0.9662	0.9964	0.9955	0.9927
SE	2.544	7.73	2.544	2.51	2.50	2.80	1.16
Residual Plots	UD	Pattern	UD	UD	UD	UD	UD

Note : Same as Table 1

5月至6月栽培季節下，設施內外小白菜葉面積之生長曲線如圖3,4。模式迴歸分析之結果如表2,3所示。對純經驗公式而言，葉面積對生長日期之多項式各為三次式（設施內）與四次式（設施外），而以對數化之葉面積數值與生長日期則為二次多項式關係，此結果與Hamamoto氏(1994)對菠菜，柴田氏等(1994)對高苜之研究結果相同。

對非線性迴歸模式之迴歸結果，Gompertz氏有最小之 R^2 值，最大之SE值與固定分佈曲線之殘差圖，顯示此公式並不適用。其餘三常數之生長函數，以Logistic模式之適稱能力最佳。四常數之Richards式其迴歸結果，常數d之數值與1.0極接近，顯示此公式可再簡化為Logistic公式。Logistic公式如下：

1. 5-6月栽培，設施內

$$At=685.85/(1 + 615.56*Exp[-0.1926*6]) \quad (24)$$

2. 5-6月栽培，設施外

$$At=10798/(1 + 5794.2*Exp[-0.1567*t]) \quad (25)$$

二、小白菜乾物重生長曲線之模式評估

85年3-4月所栽植小白菜之乾物重(Wd)對生長日期(t)之關係曲線如圖5所示，乾物之數值轉換值與生長日期之關係如圖6。

經驗公式之迴歸結果，乾物重之經驗多項公式為二次多項式，轉換值則為直線公式：

$$\ln(Wd)=-4.9+0.3175*t \quad R^2 = 0.98 \quad (26)$$

五個非線性生長模式之中，Mitcherlich公式其適稱能力不佳，殘差圖有固定曲線分佈。其他具有三個參數之生長模式以Logistic式最佳，四參數之Richards公式，因為其參數d值仍然接近1.0，可簡化為Logistic公式，因此以Logistic公式對數

據之適稱能力最好。此公式如下：

$$Wd=\frac{15.9304}{1+15235*Exp(-0.345*t)} \quad (27)$$

85年5月至6月小白菜栽培時間乾物重對生長日期之分佈圖形如圖7所示。設施內部乾物重則高於設施外部區。非線性生長模式的迴歸分析結果相同；logistic式為最佳公式，Richards式之參數d值各為0.9989與1.038。因此以Logistic公式代表乾物質之公佈曲線。

1. 設施內：

$$Wd=\frac{15.93}{1+1523.4*Exp(-0.345*t)} \quad (28)$$

2. 設施外：

$$Wd=\frac{24.96}{1+19506*Exp(-0.4766*t)} \quad (29)$$

三、生長模式之參數與作物栽培

小白菜在三種栽培狀況下之葉面積(At)與乾物重(Wd)對生長時間之比較如圖8,9。可知全葉面積與乾物重之比較結果依序如下：I.3-4月設施內栽培 > II.5-6月設施內栽培 > III.5-6月設施外栽培。

三個栽培狀況下微氣候如表5。三個狀況之比較中，I處理有較低的氣溫與日照量，相對濕度則差異不大。II、III處理之氣溫相近，I處理因覆蓋材料影響，日照強度較低。

利用相對成長率(RGR)，葉面積比例(LAR)與淨同化率(NAR)以探討環境對小白菜生長之影響。由公式(19)中RGR之定義： $RGR=d\ln(W)/dt$ 與logistic公式： $W=A/(1+B*Exp(-C*t))$ ，可得RGR之計算公式：

$$RGR=\frac{B+C*Exp(-C*t)}{1+B*Exp(-C*t)} \quad (30)$$

表 3 小白菜葉面積生長曲線適用模式評估 (設施外, 5-6 月)

Table 3. The evaluation of the fitting-agreement for the leaf area growth models of Pakchiao (Open field, May-June)

Models	3 Parameters				4 Parameters		Empirical	model
	Monomolecular	Gompertz	Mitcherlich	Logistic	Richards	I	II	
A	-0.7372	124.3	-0.7367	10798	1541.193	-0.38294	-4.051	
B	2.1163	57.02	-1.5598	5794.2	5791.3	0.25577	6.496	
C	-0.16466	0.206	1.179	0.15665	0.1565	-2.3987*10 ⁻³	-1.8475	
D					1.025		0.21095	
E							-9.757*10 ⁻³	
R ²	0.9852	0.943	0.985	0.993	0.994	0.99	0.9984	
SE	3.33	7.82	3.32	2.83	2.82	1.178	1.44	
Residual Plots	UD	Pattern	UD	UD	UD	UD	UD	

Note : Same as Table 1

表 4 小白菜葉面積生長曲線適用模式評估 (設施內, 5-6 月)

Table 4. The evaluation of the fitting-agreement for the dry weights growth models of Pakchiao (Under rain shelter, May-June)

Model coefficient	3 Parameters				4 Parameters		Empirical	model
	Monomolecular	Gompertz	Mitcherlich	Logistic	Richards	I	II	
A	-0.8938	54.994	-0.80485	15.9304	16.1	-4.8998	2.31	
B	0.3784	11.476	-0.2556	1523.48	1521.5	0.3175	-6.79	
C	-0.14815	0.082336	1.172	0.3451	0.343		14.27	
D					0.9989			
R ²	0.982	0.993	0.98	0.9938	0.994	0.979	0.9885	
SE	0.683	0.41	0.72	0.405	0.403	2.10	1.73	
Residual Plots	UD	Pattern	UD	UD	UD	UD	UD	

Note : Same as Table 1

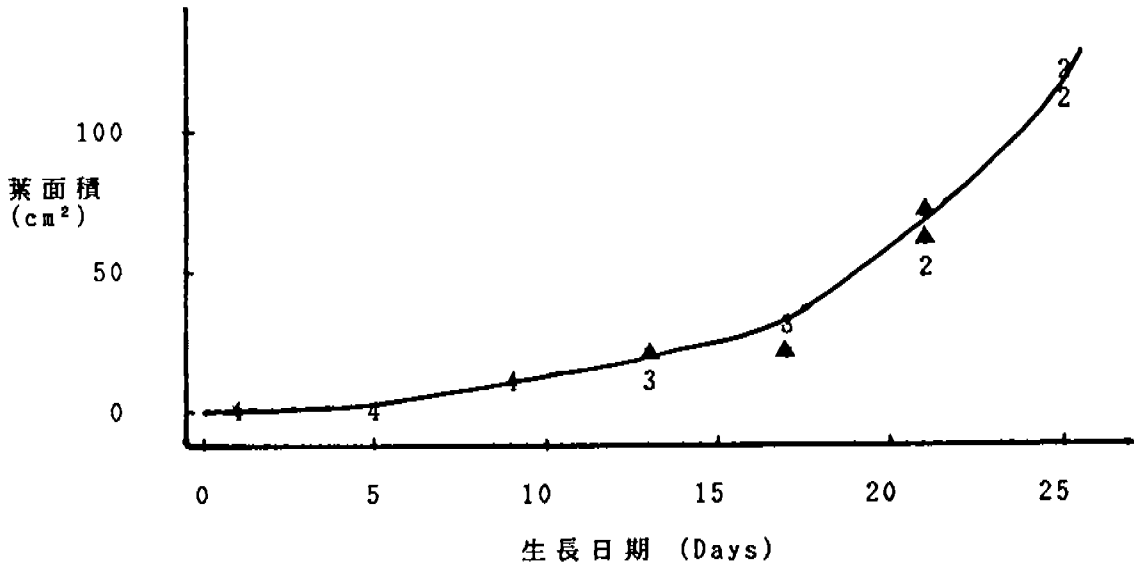


圖3 設施小白菜葉面積之成長曲線 (85年5月至6月)
Figure 3. The leaf area growth curve of the Pakchoi culture under rain shelter (May-June, 1996)

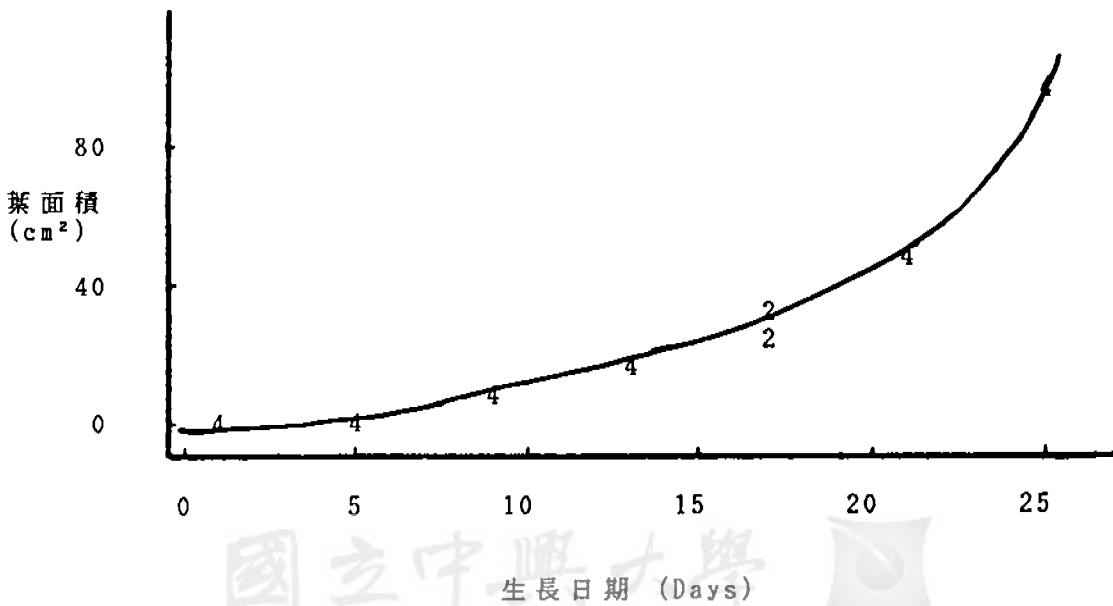


圖4 設施外小白菜葉面積之成長曲線 (85年5月至6月)
Figure 4. The leaf area growth curve of the Pakchoi culture in open field (May-June, 1996)

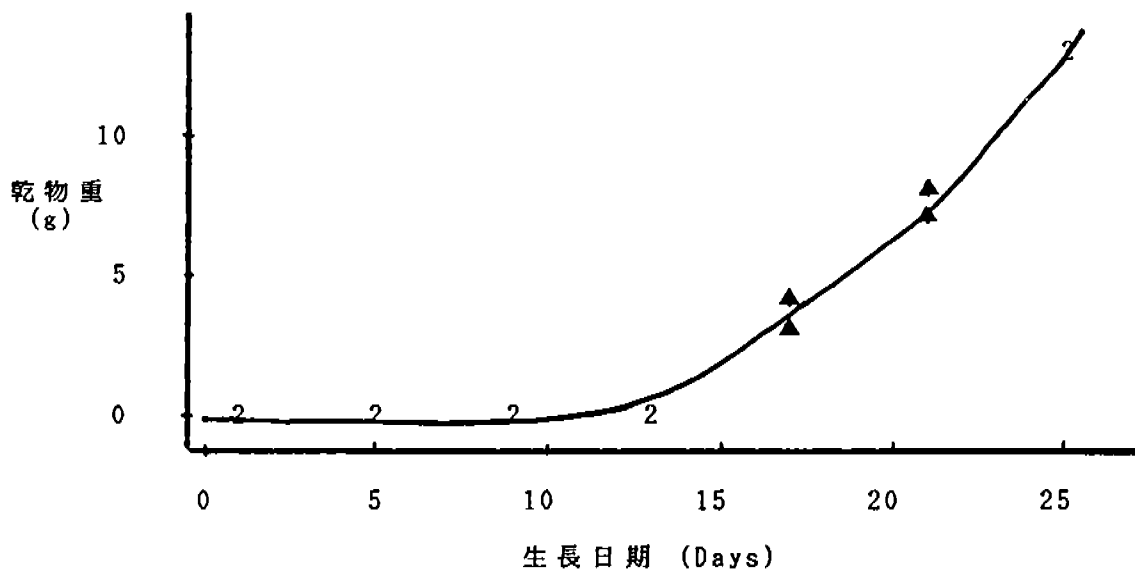


圖 5 小白菜乾物重與生長時間之關係 (85 年 3 月至 4 月)
Figure 5. The dry weights growth curve of the Pakchoi culture under rain shelter (March-April, 1996)

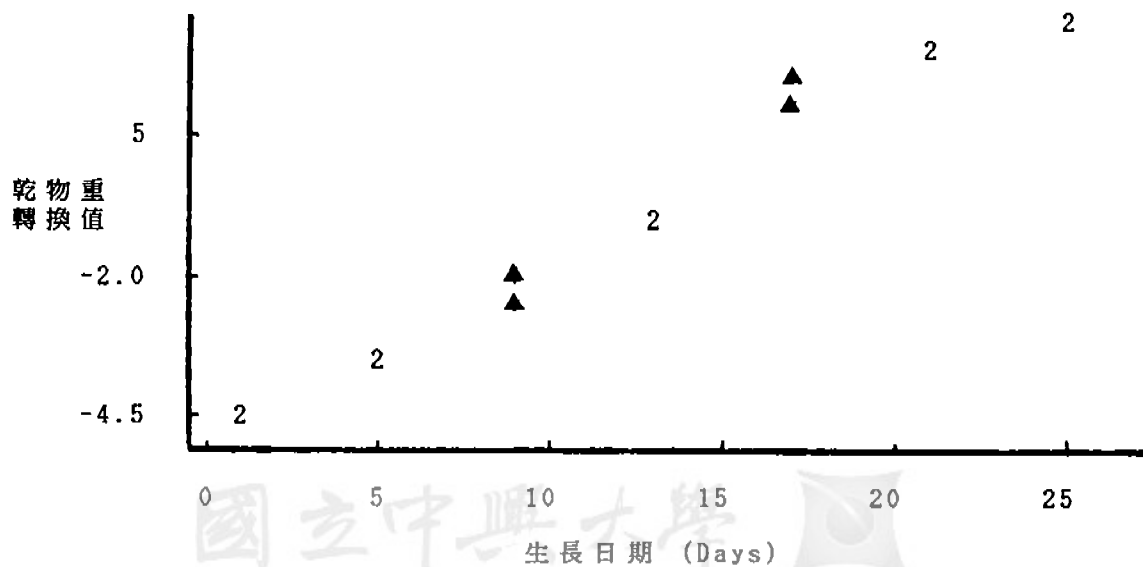


圖 6 小白菜乾物重轉換值與生長時間之關係 (85 年 3 月至 4 月)
Figure 6. The logarithmic curve of the weights growth data of the Pakchoi under rain shelter (March-April, 1996)

表5 三種栽培狀況之微氣候

Table 5. The microclimate of three treatments for Pakchio culture

栽培處理	日期	白日氣溫 (°C)	相對濕度 (%)	日照量 (w/m ²) asje k ojbm
I 設施內 ~	3月12日			
	4月7日	21-26	61-90	520
II 設施內 ~	5月8日			
	6月3日	25-32	75-91	570
III 設施內 ~	5月8日			
	6月3日	25-30	76-93	820

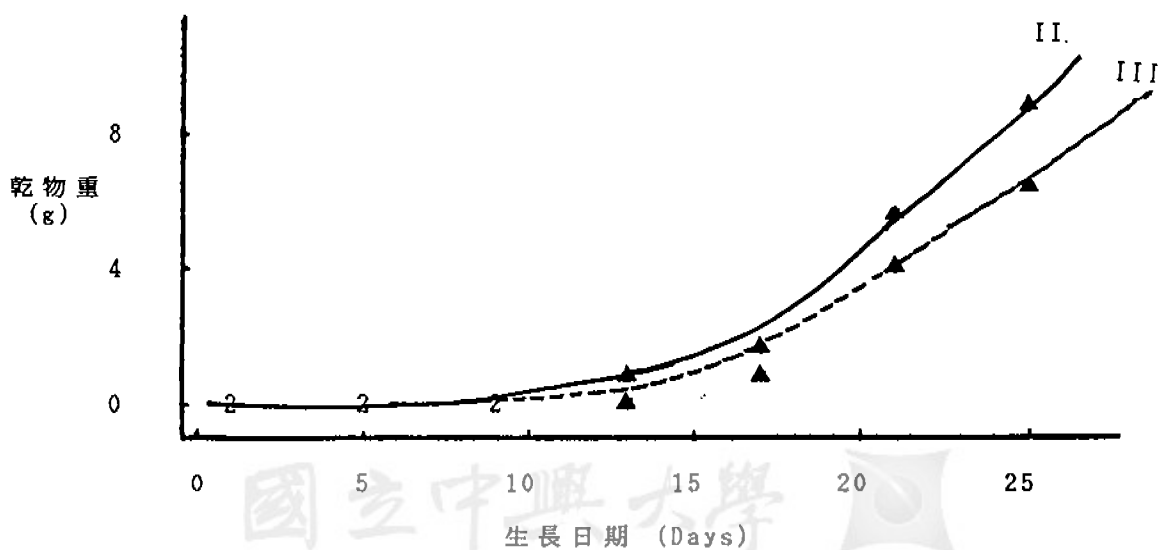


圖7 小白菜乾物重與生長時間之關係 (85年5月至6月)

Figure 7. The dry weights growth curve of the Pakchoi (May-July, 1996)

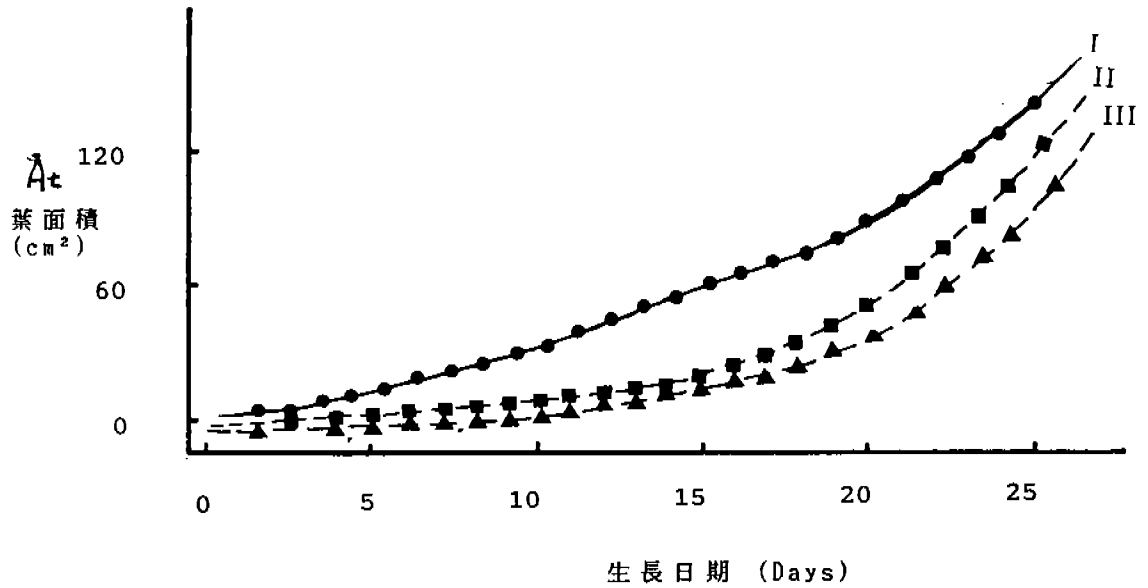


圖 8 小白菜三個生長條件下葉面積對日期之關係
Figure 8. The leaf area growth curve of the Pakchoi for three treatments

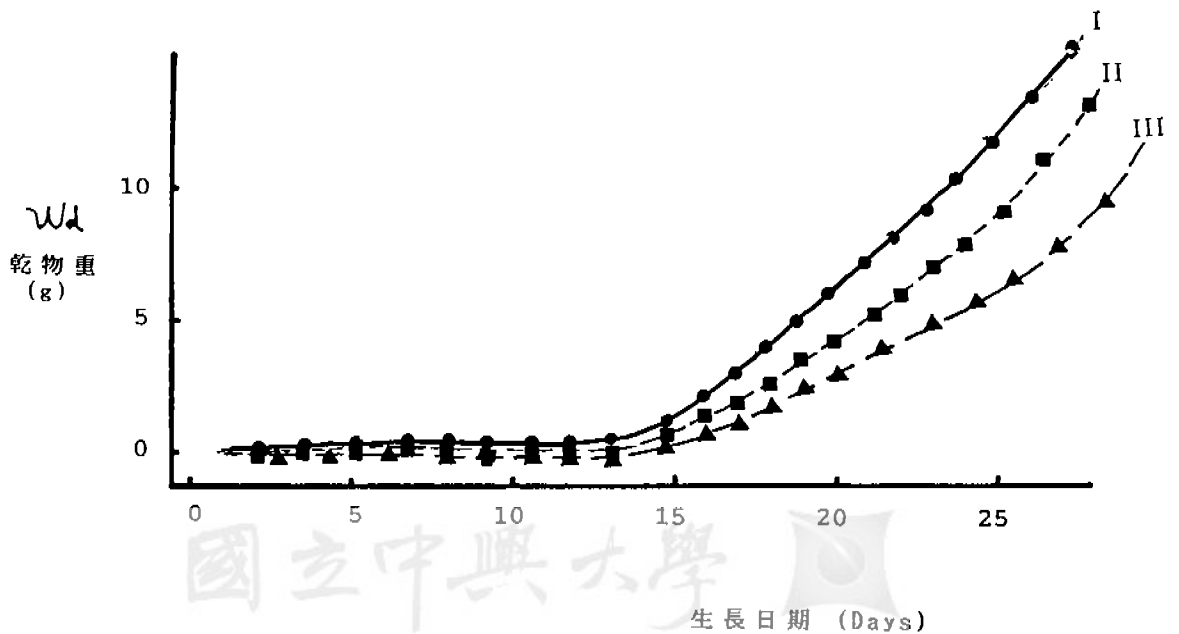


圖 9 小白菜三個生長條件下乾物重對日期之關係
Figure 9. The dry weights growth curve of the Pakchoi for three treatments

LAR 值是 At 與 Wd 之 Logistic 公式加以計算，而 NAR 值可由 RGR/LAR 值計算。

(一)相對成長率 (RGR)

三種栽培狀況下，相對成長率對日期與乾物重之關係如圖 10,11 所示。在 I 處理下，生長第 18 日之前，RGR 均高於第 II 處理，以乾物重之分岐點為 4g 左右。對第 II 處理而言，在生長期 16 日之前，有極高的相對成長率，但在 16 日之後急遽的降低。對乾物重而言，第 II 處理之相對成長率則隨乾物重累積而降低。

在 I、II 處理之比較中，小白菜最後的葉面積與乾物重，I 處理高於 II 處理。在同一栽培季節，設施內部的乾物重則高於外界（II 處理）。自圖 10,11 可知，在小白菜生長前期，RGR 為穩定，在生長後期，RGR 開始降低。II 處理時期降低的趨勢更為明顯，以表 5 之微氣候資料，配合 RGR 加以討論並未能說明此趨勢。

由於 $RGR=NAR \cdot LAR$ ，前者為淨同化率 (Net Assimilation Rate)，代表 RGR 的同化成份 (Assimilatory component)，後者的葉面積比 (Leaf area ratio)，代表 RGR 的形態部份 (Morphological component)，三個處理下小白菜之生長則以 NAR 與 LAR 加以討論。

(二)葉面積比值 (LAR)

三種處理下，小白菜葉面積比值與生長日期，乾物重之關係分佈圖如圖 12 與 13。對圖 12 而言，I 處理之 LAR 值略高於 II、III。在圖 13 中，以生長早期，乾物重 5.0g 之前較明顯，而在後期，則未有顯著差別。

(三)淨同化率 (NAR)

三種處理下，淨同化率對乾物質之分佈圖形如圖 14。處 I 處理而言，乾物重在 8g

時有最大的淨同化率，對 I、II 處理而言，乾物重在 4g 時有最大的淨同化率，但是 III 處理則急劇的減少。

綜合 LAR 與 NAR 之分佈圖形，可說明乾物質之累積現象。自 RGR 之觀點而言，I 與 II 處理之差異性並不大，III 處理則顯著低於兩者，因而影響了白菜的產量。在 LAR 的比較中，三者處理之差異亦不大。然而自 NAR 之比較可知，第一種處理有明顯的優勢。由於小白菜之適合生長溫度為 25 °C，第一種處理之栽培微氣候之日溫為 21 ~ 26 °C，配合不強的日照量，光合作用之淨合成量良好，使小白菜產量最佳。在第二種處理之栽培微氣候，日溫已高達 25 ~ 32 °C，光合作用淨合成量已遞減，因此 NAR 降低，影響了收穫量。對第 III 處理而言，微氣候為 25-30 °C，但因為無設施保護，外界逆境因子如雨水侵襲等造成光合作用降低，影響了 NAR 值，而間接影響了產量。

由上述的討論可知，小白菜設施栽培之微氣候對產量影響可由適當的生產模式配合各種作物生長指數加以說明。在設施內不同季節之栽培，良好的氣溫提高了淨同化率，使產量增加。在 5-6 月時期，以遮雨棚設施內、外之栽培，氣溫已影響 NAR 值。遮雨設施的保護使設施生產內之小白菜淨同化率降低率較少，因此影響了產量。在外在氣候不良時，遮雨設施對小白菜之生長有其必要，但是氣溫導至了淨同化率的變化，連帶影響了產量。利用設施栽培，如何維持小白菜之成長溫度在合理範圍，此為設施栽培面對之課題。

四、小白菜葉面積與乾物重

由於乾物重之量測為破壞性，利用間接非破壞性之方式對於作物生長模式之研究十分重要。以此次試驗三重處理狀況下所得數

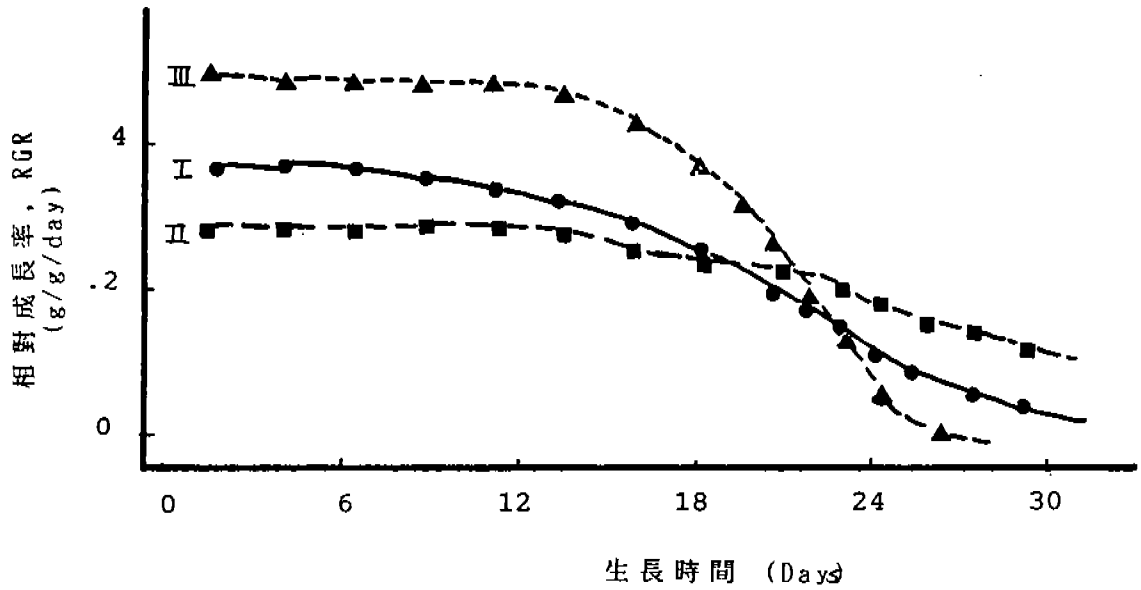


圖 10 相對成長率與生長時間之關係

Figure 10. The relationships between relative growth rate and growth periods

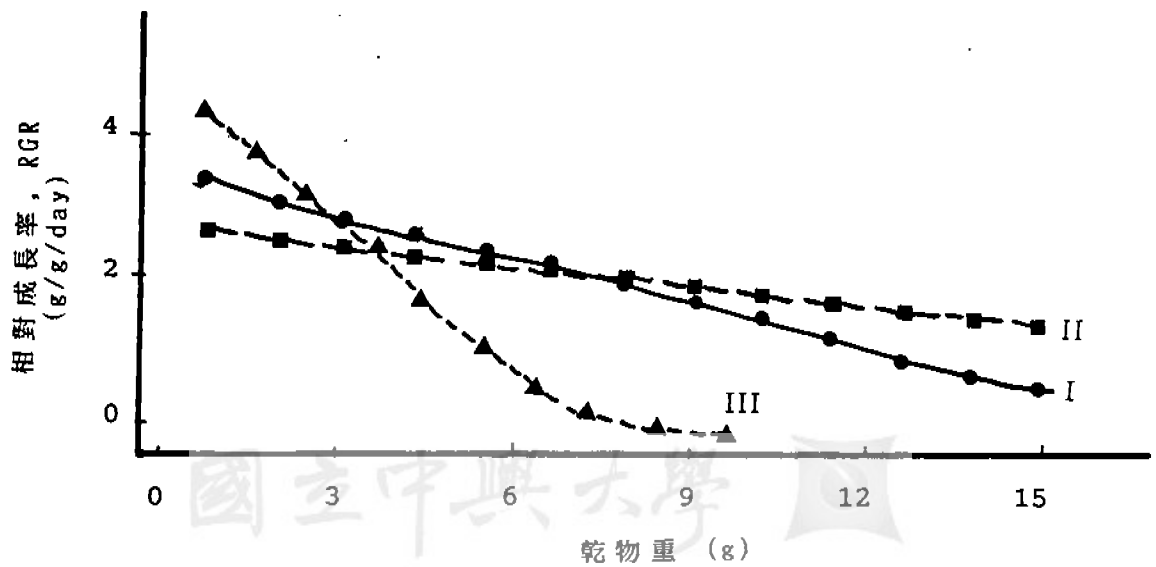


圖 11 相對成長率與乾物重之關係

Figure 11. The relationships between relative growth rate and dry weights

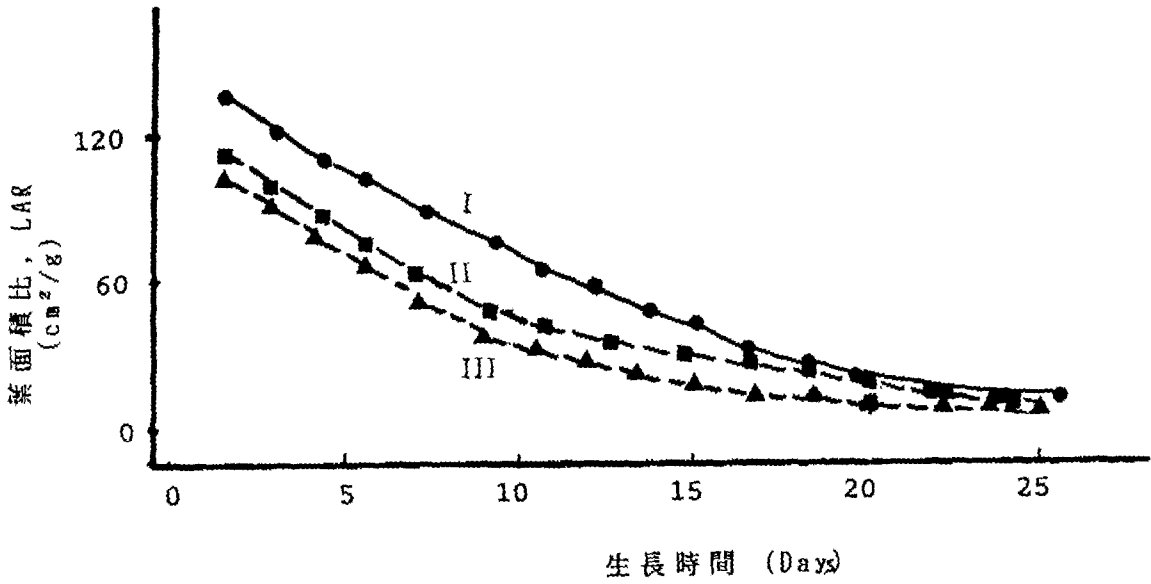


圖 12. 葉面積比與生長時間之關係

Figure 12. The relationships between leaf area ratio and growth periods

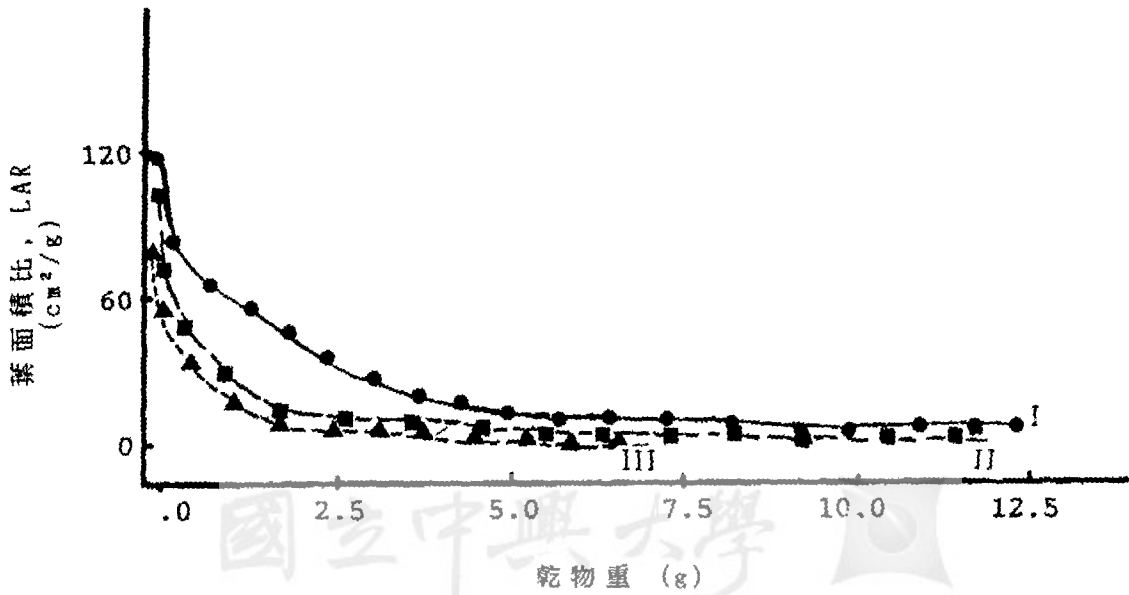


圖 13. 葉面積比與乾物重之關係

Figure 13. The relationships between leaf area ratio and dry weights

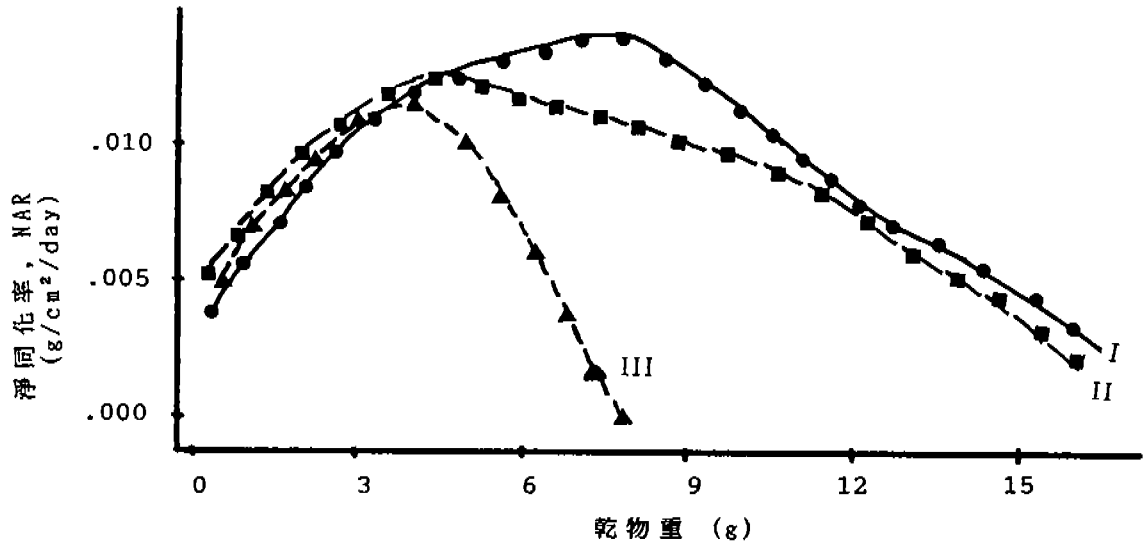


圖 14. 淨同化率與乾物重之關係

Figure 14. The relationships between net assimilation rate and dry weights

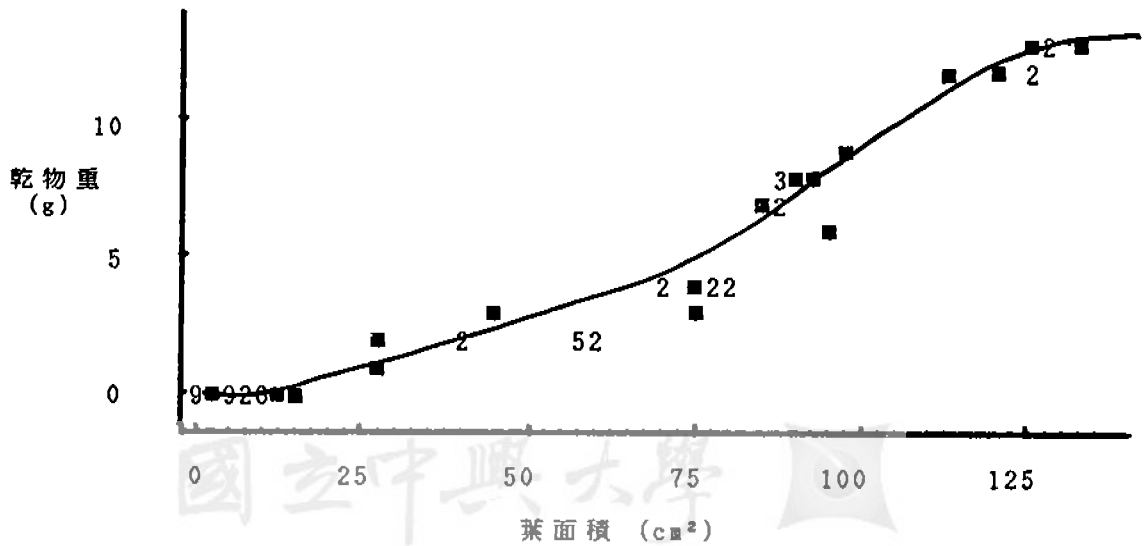


圖 15. 小白菜乾物重與面積之關係

Figure 15. The relationships between leaf area and dry weights for Pakchoi

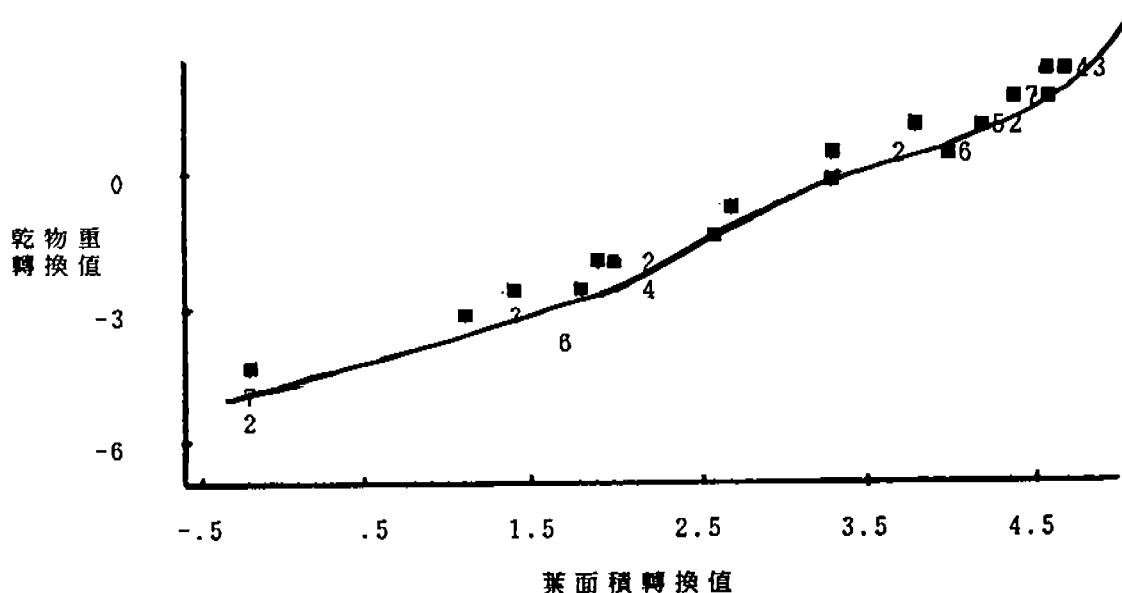


圖 16. 小葉乾物重轉換值與葉面積轉換值之關係

Figure 16. The relationships between logarithmic values of leaf area and logarithmic values of dry weights for pakchoi

據，探討以葉面積量測以間接量測乾物重之可能性，而者之關係如圖 15。以對數轉換之數值如圖 16。

以多項式迴歸所得結果如下：

$$1. Wd = -0.3773 + 0.1311 \cdot At - 4.56 \cdot 10^{-3} \cdot At^2 + 7.071 \cdot 10^{-5} \cdot At^3 - 2.8786 \cdot 10^{-7} \cdot At^4$$

$$R^2 = 0.98 \quad SE = 0.61$$

$$2. \ln(Wd) = -4.66 + 0.888 \ln At + 0.1265 (\ln At)^2$$

$$R^2 = 0.983 \quad SE = 0.58$$

此結果與 Pasion 氏等人 (1994) 對玫瑰花葉梗與花苞之非破壞性測定類似，必需利用多次多項式或對數轉換才能提高兩者之關係係數。對小白菜之生長模式研究中，乾物重之平均值約 6.0g，迴歸方程式之標準差為 0.61g，約有 10% 之誤差比例，因此以葉面積量測取代小白菜乾物量測並非合理之技術。

結論

此研究所得之結果顯示小白菜在三種栽培處理下之葉面積，乾物重量與生長日期之關係，以 Logistic 生長模式最為適切，四參數模式之 Richards 公式也可簡化成此公式。以 Logistic 公式配合作物生長指數之相對生長率，葉面積比例與淨同化率可用以說明設施生產對小白菜成長之影響，利用葉面積量測以間接測量乾物重對此作物並不適當。

誌謝

此研究承蒙賴亮任先生協助數據之收集與試驗區管理，特此誌謝。

參考文獻

1. 呂秀英、陳烈夫、呂椿棠、賴吉雄。1995。以 Richards 函數建立水芋之生長模式。中華農學會報新 171 期：22-34。
2. 陳加忠。1995。臺灣蔬菜設施生產之問題與展望。興農月刊 320:84-94。
3. 賴亮任。1996。小白菜在簡易設施栽培生長之建立。中興大學農機研究所碩士論文。
4. 守谷榮樹，松井鑄一郎，三輪精博，後藤清和。1996。ビニルハウスにわたる光強度と土壤水份がクスノキ稚曲の成長に及ぼす影響。農業施設 26(4)：187-196。
5. 柴田孝信，岩田尾憲三，高野泰吉。1994。植物工場にわけレタスの成長予測手法の開発。生物環境調節 32(2)：79-86。
6. Causton, D.R. and J.C. Venus. 1981. *The Biometry of Plant Growth*. Edward Arnold Ltd., London.
7. France, J. and J. H. M. Thornley. 1984. *Mathematical Models in Agriculture*. Butterwoths, London.
8. Hamamoto, H. 1994. Growth analysis of spring Spinach under the rowcover. *Environmental Control in Biology* 32(2): 87-83.
9. Hartley, H. O. 1961. The modified Gauss-Newton method for the fitting of nonlinear regression function by least squares. *Technometrics* 3:269-280.
10. Hunt, R. 1979. Plant growth analysis: The rationale behind the use of fitted mathematical function. *Annal Botany* 43:245-247.
11. Hunt, R. 1982. *Plant growth curves: The functional approach to plant growth analysis*. Edward Arnold Ltd., London.
12. Myers, R. H. 1986. *Classical and Modern Regression with Applications*. Pws and Kent Publishing CO. Boston, MA.
13. Weissberg, L. 1985. *Multreg manual*. University of Minnesota, MN.
14. Pasian, C.C. and J. H. Lieth. 1994. Nondestructive dry-matter estimation of ross shoot leaves, stems, and flower busd using regression methods. *HortScience* 29(3):162-164.
15. Thonley, J. H. and I. R. Johnson. 1990. *Plant and Crop Modelling: a*, Oxford, London. U.K.

Evaluation of the Growth Models for Pakchoi

Chiachung Chen and Perng-Kwei Lie¹⁾

(Accepted for publication : Oct 21, 1996)

Summary

The growth models of Pokchoi (*B. Chinensisc.*) grown inside and outside of PVC rain shelter at different season were evaluated. The parameters and pattern of models were compared to understand the growth characteristics of plant growth. The Logistic model was found to be the best model to fit the data of total leaf areas and dry weights with growth date. The growth index of reative growth ratio, leaf area ratio and net assimilation rate were calculated from the growth model to describe the growth characteristic of Pokchoi with different treatment. The indirect method to determine the dry weights by the measurement of total leaf area was inadequate for this vegetable.

Key words: Growth model, Pakchio



1) Associate Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, National Chung Hsing University.