

作物生長、單位產量和生產力的測量



'98 6 26

1. 植物產品及其類型: harvest parts

- (1) 子粒類: 如麥類、玉米、稻、花生、油菜、食用豆類、向日葵、蓖麻等。
- (2) 果實類: 如蘋果、桃、梨、杏、棗、山楂、蕃茄、黃瓜、西瓜、茄子、辣椒等。
- (3) 莖稈類: 如甘蔗、麻類、蘆筍、竹筍、茭白、蒿苳等
- (4) 葉片類: 如茶葉、葉菜類蔬菜、菸草等。
- (5) 塊根類: 如甘藷、山藥等。
- (6) 塊莖類: 如馬鈴薯、菊芋等。
- (7) 根狀莖: 生薑、蓮藕等。
- (8) 球狀莖: 荸薺、慈姑、芋等。
- (9) 鱗莖類: 大蒜、洋蔥、百合等。
- (10) 花器類: 如花椰菜、金針菜等。
- (11) 子粒表皮類: 如棉花等。
- (12) 植物體全部: 如飼料、綠肥作物、觀賞植物等。
- (13) 植物汁液: 如樹脂和橡膠植物等。
- (14) 植物分泌物: 如香料植物等。

如何表達或描述其生長
或產量狀況、生長活力？

2. 產量



生物產量 (Biomass)
經濟產量 (Economic yield)
收穫指數 (Harvest index)

生物產量(biological yield, B)

植物在整個生育期間生產和積累有機物的總量，
即整個植物（一般不包括非栽培目的的根系）
的乾物質全量。

經濟產量: (economic yield, E)

單位面積上所獲得的有經濟價值的主產品數量，
也就是生產上所說的產量。

收穫指數: (harvest index, $HI = E/B$)

經濟產量與生物產量的比率。

3. 與產量有關的名詞定義

單位產量 (Yield) :

是最常用且通俗的名詞，
一般是指單位土地面積上的作物收穫量，
例如穀類作物：噸 / 公頃 (**tonnes / ha**) 。

生物量 (biomass, W) :

在單位土地面積上，
在某一定時間，植物全株的總重量，
包括地上部及地下部。

生產力 (productivity, production) : (效率，活力，**vigor**，**efficiency**)

在單位土地面積上，單位時間內，
作物累積生物量的速率。

初級生產 (primary production) :

經由光合作用將 CO_2 轉變為有機分子，
並將日光能轉變為化學能，貯存在植物體內的過程

粗初級生產 (gross primary production ; P_g) :

在單位土地面積上，單位時間內，
作物固定的有機物的總量。

淨初級生產 (net primary production, P_n) :

由上述的有機物總量再扣除呼吸的損失量 (R) ，
 $\therefore P_n = P_g - R$

栽培面積 (cultivated area) :

作物栽種面積

收穫面積 (harvest area) :

真正收穫到產量的面積

複作指數 (multiple cropping) :

同一土地面積上，栽培作物（收穫）次數

經濟產量：(economic yield)：EY

只計算作物可利用部位的產量。
可來自作物之地上部或地下部。
在收穫時只佔全生物量的一部分。

收穫指數 (harvest index)：HI

計算作物有用部分所佔比例

$$\text{Harvest Index} = \frac{\text{economic yield}}{\text{Total yield (biomass yield, BY)}} \times 100\%$$

$$\text{EY} = \text{BY} \times \text{HI}$$

表 不同植物的收穫指數

植物	收穫指數	植物	收穫指數
水稻、小麥	0.35 - 0.5	大豆	0.25 - 0.35
玉米	0.3 - 0.5	籽棉	0.35 - 0.4
薯類	0.7 - 0.85	皮棉	0.13 - 0.16
甜菜	0.6	菸草	0.6 - 0.7
油菜	0.28	葉菜類	1.0

如何提高產量: $EY = BY \times HI$

→ Biological yield (photosynthesis?)

Harvest index (source to sink translocation)?

作物生長分析（Growth analysis）- 單株分析

- ◎ 由田間，或溫室或環境控制之生長箱內採取單株樣品進行分析
- ◎ 在田間的小試區內（坪割，每平方公尺）採取全部植株或部分植株進行分析。
對單株進行分析最廣泛使用的方法為**classical growth analysis**。
包括以下各參數：

<http://generalhorticulture.tamu.edu/HORT604/LectureSuppl/GrowthKinetics/GrowthKinetics05.htm>

相對生長速率 (relative growth rate, RGR or R)

$$\text{RGR} = \frac{dW}{dt} \frac{1}{W} = \frac{d(\ln W)}{dt} \quad \text{----- 【公式1】}$$

為方便計算及試驗資料取得，公式可化為

$$\text{RGR} = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{(t_2 - t_1)} \quad \text{----- 【公式2】}$$

W_1, W_2 分別指第一次和第二次收穫之植物重量

t_1, t_2 分別為第一次和第二次收穫的時間。

這兩個公式計算的意義示於圖1.

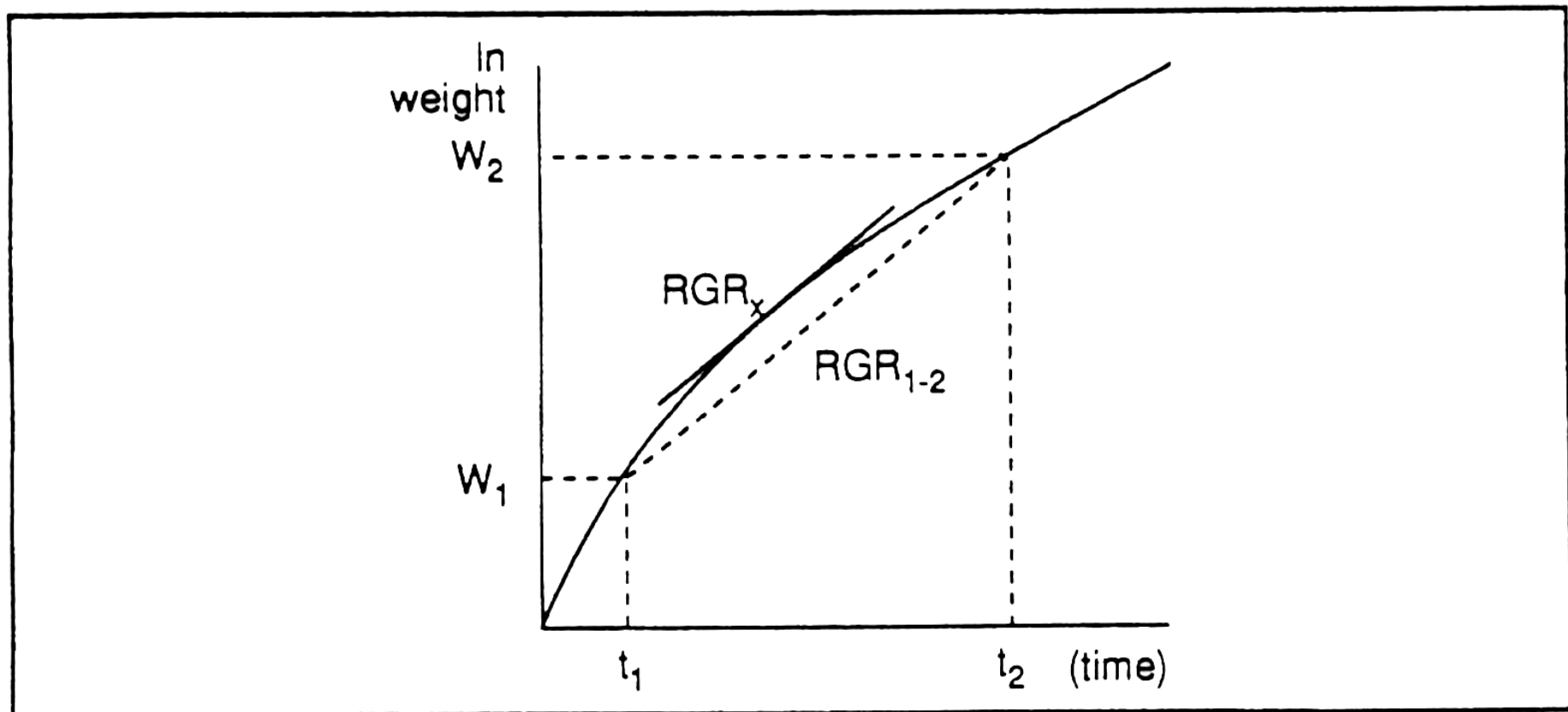
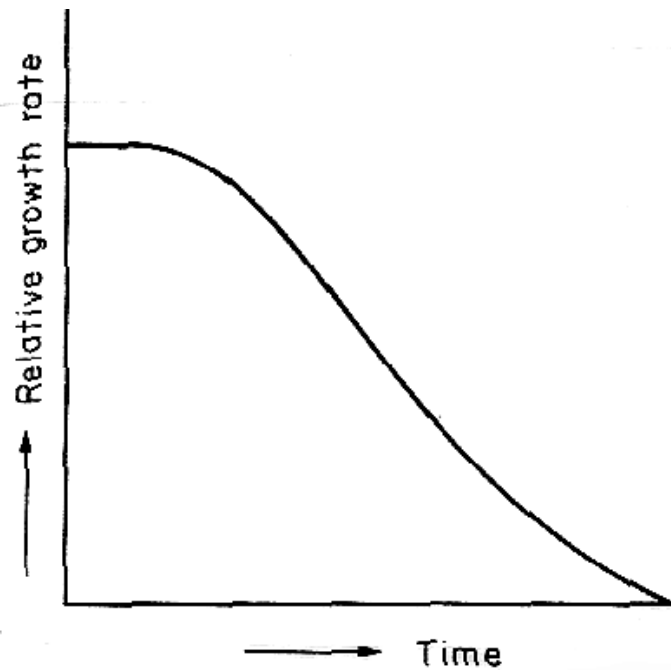
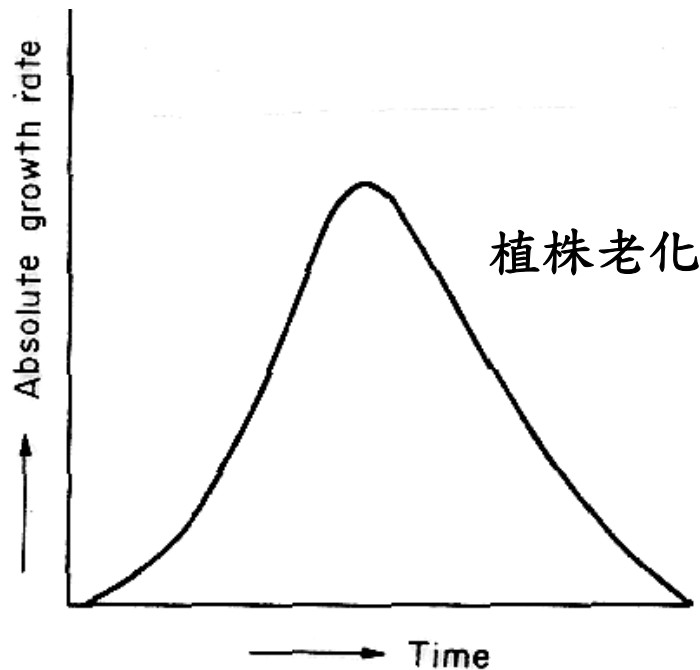


Figure 1. Measurement of mean and instantaneous growth rate. RGR_{1-2} is the mean relative growth rate between two time points (given by dotted line), RGR_x is the relative growth rate at any given time along the actual growth curve of the plant (solid line).

絕對生長速率（absolute growth rate：AGR）
是指在某一段時間內作物增加的總重量
（單位：g week⁻¹）：

$$\text{AGR} = \frac{(W_2 - W_1)}{(t_2 - t_1)} \quad \text{整體的表現}$$



葉面積指數（leaf area index：LAI）

在固定的土地面積上，
作物總葉面積與土地面積之比值，
計算公式為：

$$LAI = \frac{A}{P}$$

-----【公式 8】

A：葉面積

P：小區土地面積

LAI 單位：m² m⁻²

葉面積比（leaf area ratio：LAR或F）

是指某定點時間同化面積（葉面積）與總生物量之比

$$\text{LAR} = \frac{A}{W} \quad \text{-----} \quad \text{【公式 5】}$$

A：葉面積

W：作物重量

單位葉面積速率（unit leaf rate：ULR或E）
或 淨同化速率（net assimilation rate：NAR）

是指每單位同化面積（即葉面積）單位時間 所承擔的作物生物量的增加，其計算公式：

$$\text{ULR} = \frac{dW}{dt} \cdot \frac{1}{A} \quad \text{-----} \quad \text{【公式 3】}$$

W ： 作物重量

t ： 時間

A ： 葉面積

ULR單位： $\text{g cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 或 $\text{kgm}^{-2} \text{ week}^{-1}$

Unit leaf rate (ULR or E): $(dW/dt) \times (1/A)$

$$\text{ULR} = \frac{(W_2 - W_1) (I_n A_2 - I_n A_1)}{(A_2 - A_1) (t_2 - t_1)} \text{----- 【公式 4】}$$

A_1 與 A_2 分別為第一次和第二次收穫時的總葉面積。

RGR, ULR 和 LAR 間的關係

$$\text{RGR} = \text{ULR (or NAR)} \times \text{LAR}$$

作物生長速率（crop growth rate：CGR）

單位時間單位面積內作物生物量的增加，與AGR較相似。

由前述 $RGR = ULR \times LAR$

在此則為 $CGR = ULR \times LAI$

CGR 的測定公式為：

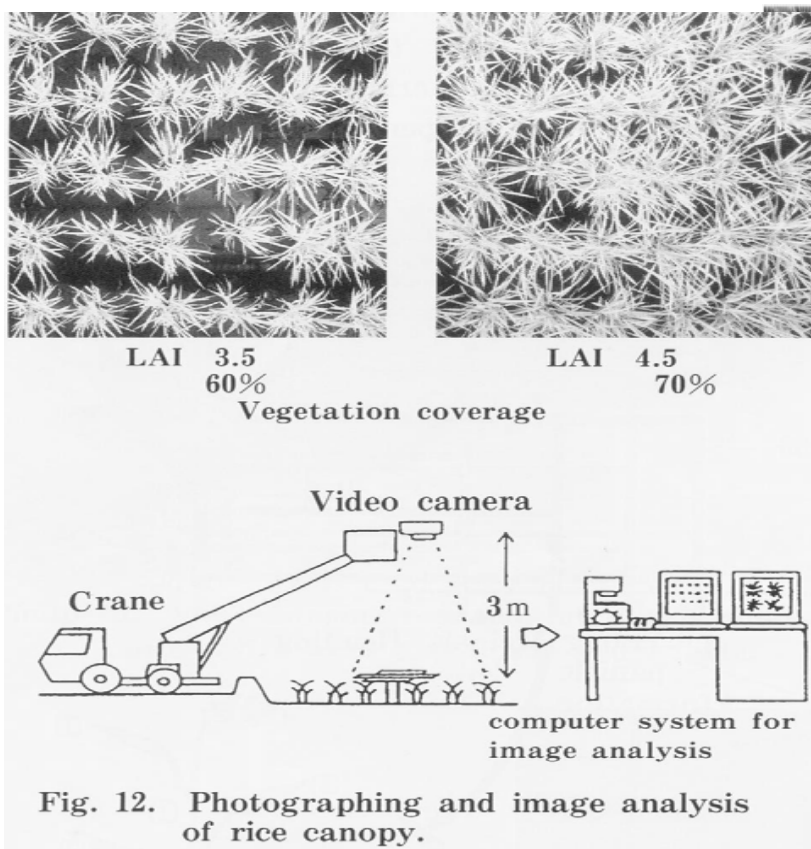
$$CGR = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1} \quad \text{----- 【公式 9】}$$

單位： $g \text{ cm}^{-2} \text{ soil day}^{-1}$

科技化管理

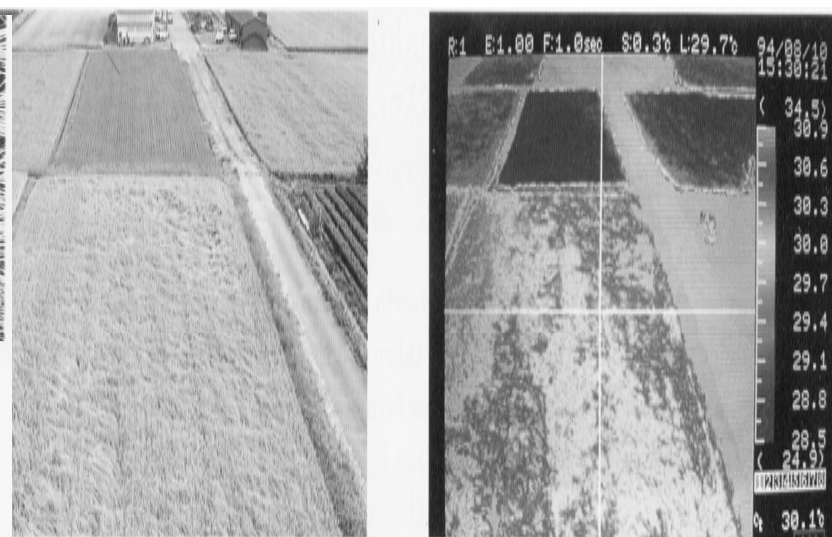
植冠(LAI)影像監測

➔ 施肥、病虫害管理



健康狀態影像監控

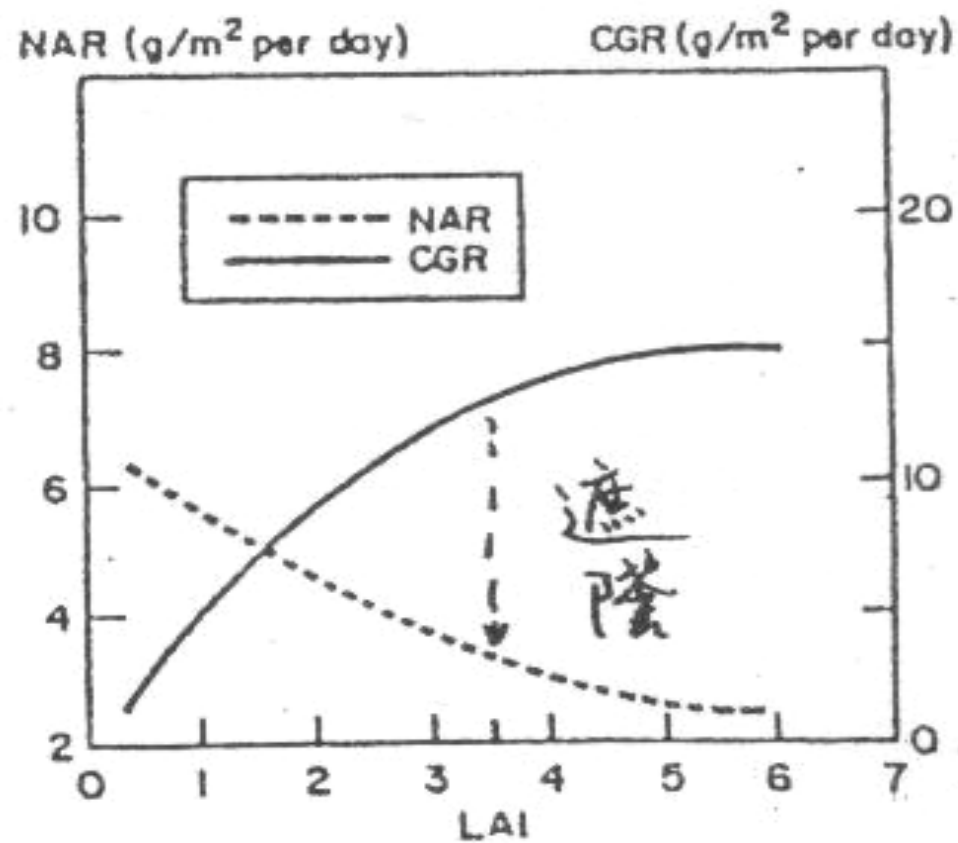
➔ 營養、逆境，水分、病虫害



➔ 由試驗單位建立基礎資訊
及管理模式

NAR (net assimilation rate; 淨同化速率)

- 單位時間、單位葉面積之乾物質增加量
- $(dW/dt) \times (1/A)$
- 不包括呼吸作用
- 淨光合作用速率



3. Relation between leaf area index (net assimilation rate (NAR), and crop growth rate (CGR) (adapted from B 1970).

Use of Quantitative Growth Measurements to Explain Other Growth Phenomena

Effects of increasing ambient carbon dioxide on plant growth

C3 type	Tomato		Bean	
	300 ppm CO ₂	1,000 ppm CO ₂	300 ppm CO ₂	1,000 ppm CO ₂
RGR (mg g ⁻¹ d ⁻¹)	222	254	122	172
NAR (mg dm ⁻² d ⁻¹)	71	89	46	80
LAR (dm ² g ⁻¹)	3.0	2.8	3.2	2.7
Root / shoot ratio	0.19	0.21	0.18	0.25

➔ Yield ?

<http://generalhorticulture.tamu.edu/HORT604/LectureSuppl/GrowthKinetics/GrowthKinetics05.htm>

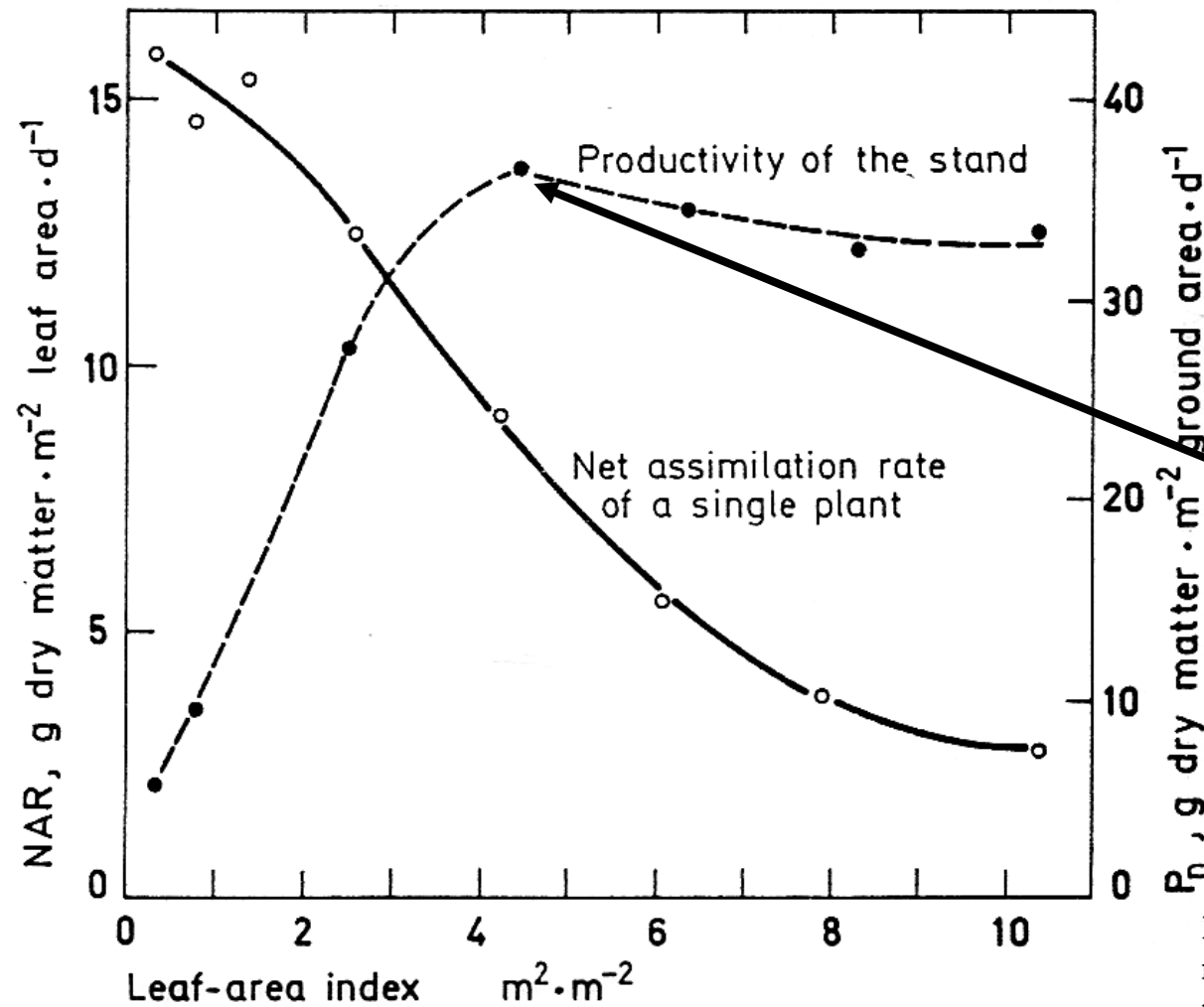
APPLICATION OF QUANTITATIVE MEASUREMENTS OF GROWTH

Efficiency of Different Species of Plants

	Net Assimilation Rate (mg dry matter per dm ² leaf area per day)	
Plant Type	Average Over Growing Season	During Main Growth Phase
C4 Grasses	> 200	400 - 800
Herbaceous C3 Plants	50 - 150	70 - 200
Grasses	50 - 100	100 - 600
Dicots		
Woody Dicots		
Topical and Sub-Tropical	10 - 20	30 - 50
Deciduous Temperate Trees	10 - 15	30 - 100
Conifers	3 - 10	10 - 50
Ericaceous Shrubs	5 - 10	15
CAM Plants	2 - 4	10

The higher the NAR the **more** efficient the species,

Effect of Leaf Area Index (LAI) on Net Assimilation Rate (NAR) and Crop Growth Rate (CGR)



Optimum LAI

Fig. 3.64. Relationship between the net assimilation rate of maize plants and the production rate of stands of maize (crop growth rate) as a function of leaf-area index. After W. A. Williams et al. (1965)

產量構成要素 (Yield components)

建構一個模式，
把作物產量分解為幾個構成因素，
主要為作物的生殖發育及形態上的參數。
田間測產時，只要測得各構成因素的平均值，
便可計算出理論產量。

表 栽培植物的產量構成要素

植物種類	代表植物	產量構成要素
禾穀類	稻、麥、玉米、高粱	穗數、每穗結實粒數、粒重
豆類	大豆、蠶豆、豌豆、綠豆	株數、每株有效分枝數、每分枝莢數、每莢結實粒數、粒重
薯類	甘藷、馬鈴薯	株數、每株薯塊數、單薯重
花生	花生	株數、每株有效莢果數、莢果重量、出仁率
棉花	棉花	株數、每株有效鈴數、單鈴籽棉重、衣分
韌皮纖維植物	苧麻、篋麻、亞麻、大麻	有效莖數、單株鮮莖或鮮皮重量、出麻率
油菜	油菜	株數、每株有效分枝數、每分枝角果數、每角果粒數、粒重
甘蔗	甘蔗	有效莖數、單莖重
菸草	菸草	株數、每株葉數、單葉重
綠肥植物	苜蓿、紫雲英、苕子	株數、單株鮮重
果樹	蘋果、梨、桃、杏等	株數、每株果樹、單果重
果菜類蔬菜	黃瓜、茄子、辣椒等	株數、單株果數、單果重
葉菜類、莖菜類蔬菜	白菜、甘藍、甘藷、芹等	株數、單株產量

產量構成要素 (Yield components)

ex.1. 以禾穀類作物為例，其穀粒收穫量的估算：

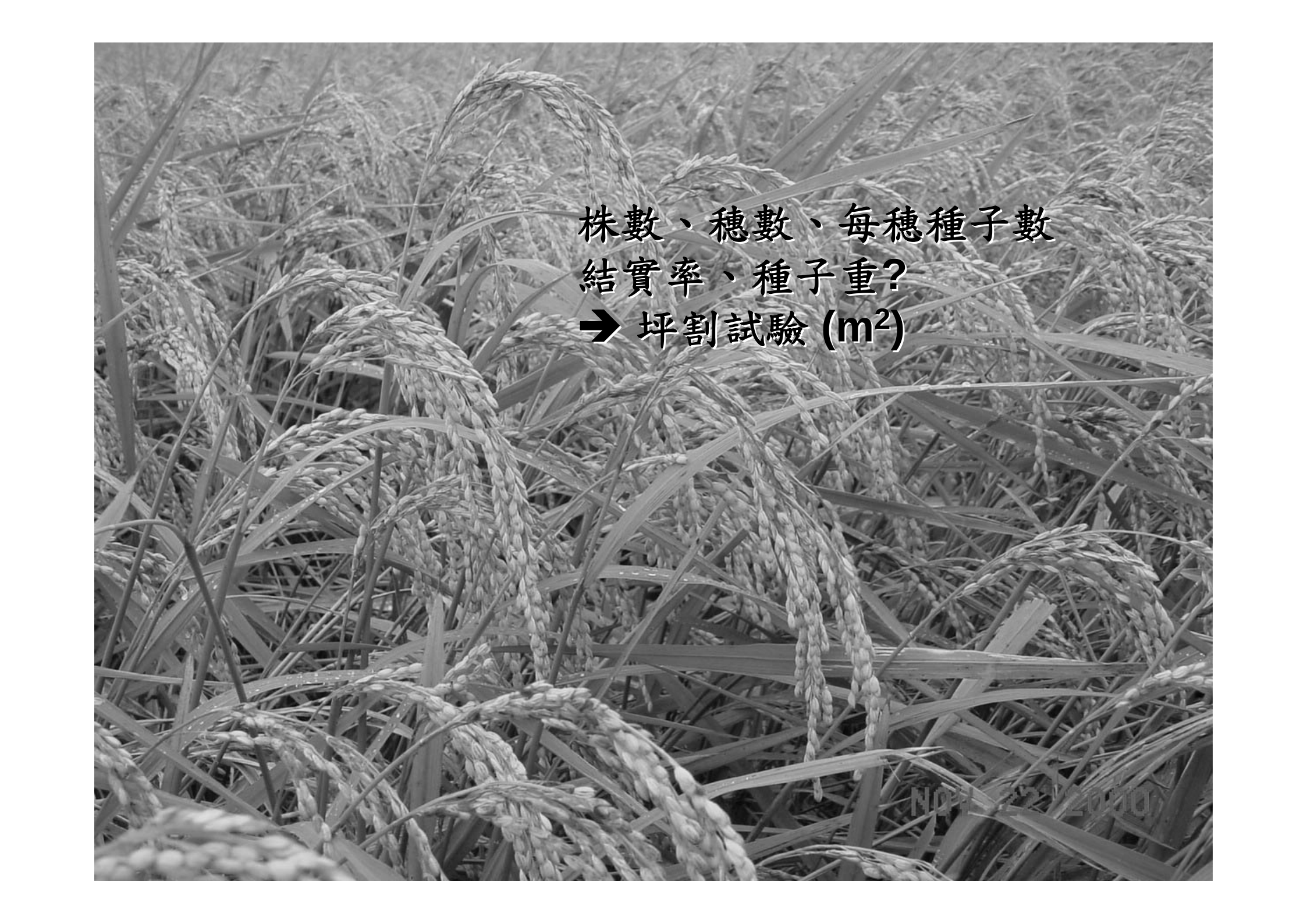
產量 / 單位面積

= 單位面積穗數 (行株距，栽培密度)

× 每穗平均粒數

× 稔實率

× 穀粒平均重量



株數、穗數、每穗種子數
結實率、種子重?
➔ 坪割試驗 (m²)

產量構成要素 (Yield components)

ex.2. 以豆莢類作物為例

$$\begin{aligned} \text{產量 / 單位面積} \\ &= \text{單位面積莢數} \\ &\quad \times \text{每莢平均粒數} \\ &\quad \times \text{平均粒重} \end{aligned}$$









6 - 2. 產量形成的特點

1. 以收獲營養器官為目的的植物：

2. 以收獲種子為目的的植物：

a. 禾穀類植物：

b. 雙子葉植物：

6 - 3. 產量要素間的相互關係

1. 產量要素的相互制約：

例如禾穀類植物，在單位面積上穗數增至一定程度以後，每穗粒數就有減少的趨勢，粒重也會有所降低。

2. 產量因素的相互補償：

例如水稻、小麥等植物基本苗不足或播種密度低，可藉由大量發生分蘖和形成較多的穗數來補償；穗數不足，每穗粒數和粒重的增加，也可略為補償。

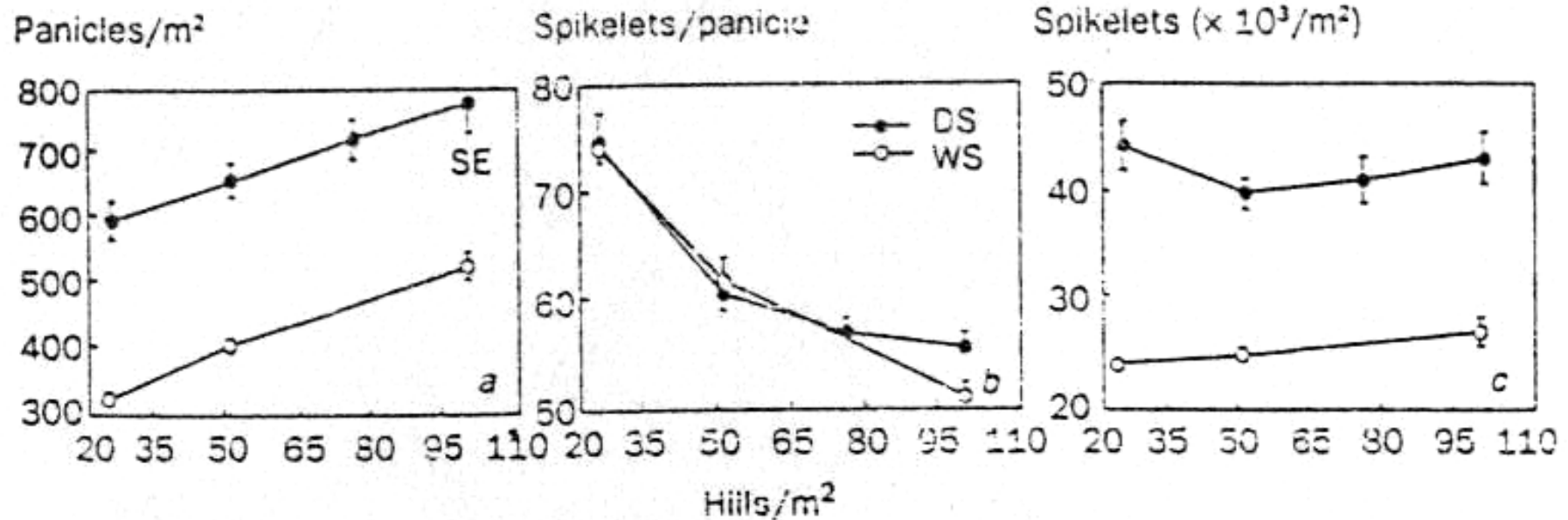
Table 3. Grain yield of IR72 and IR60819-34-2-1 grown with different fertilizer-N treatments, and yield components, total biomass production, and harvest index averaged across N treatments, 1992 WS (Peng et al., unpublished data).

	IR60819-34-2-1	IR72
Grain yield (t/ha)		
0-0-0-0 ^a	4.3 a ^b	4.0 b
0-0-30-30	6.0 a	5.2 b
0-30-30-30	6.5 a	5.8 b
30-30-30-30	6.3 a	5.9 a
Yield components		
Spikelets/m ² (x10 ³)	30.1 a	25.9 b
Panicles/m ²	312 a	342 a
Spikelets/panicle	97 a	76 b
Filled spikelets (%)	83.2 a	83.3 a
1000-grain wt (g)	21.8 a	22.2 a
Total biomass (t/ha)	11.5 a	10.9 c
Harvest index (%)	49.0 a	45.6 b

構成要素間之互動性?

^aN management (kg N/ha) at basal, midtillering, panicle initiation, and flowering. ^bComparison within a row by Duncan's Multiple Range Test (P<0.05).

農藝: 尋求最佳產量構成要素的組合，達到最佳產量與品質。(品種、栽培技術)



3. Panicles/m² (a), spikelets/panicle (b), and spikelets (× 10³/m²) (c) as a function of hill density of IR72 grown in the dry (DS) and wet (WS) seasons of 1992. Hills with 5 plants each were spaced at 20 × 20, 14 × 14, 11.5 × 11.5, and 10 × 10 cm, respectively (Peng et al, unpubl. data).

6 - 4. 產量形成的生理基礎

光合作用與生物產量、經濟產量的關係式如下：

生物產量 = 光合面積 × 光合強度 × 光合時間
— 消耗（呼吸、脫落等）

經濟產量 = 生物產量 × 收穫指數

→ Nutrients translocation, partition... among
sinks and sources?

→ Molecular basis? Hormones?
transporters?

增加生物產量 或收穫指數皆可達成高產

練習題：

- 田間試驗中每 1 m^2 收獲 600g 穀物，用以下的單位計算其產量
 (a) g m^{-2}
 (b) kg ha^{-1}
 (c) tonnes ha^{-1}
- 如何證明公式 7： $\text{RGR} = \text{ULR} \times \text{LAR}$
- 若 RGR 單位為 $\text{g g}^{-1} \text{ day}^{-1}$ ， ULR 單位為 $\text{g cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ ，則 LAR 的單位為何？
- 由下列兩個植株的數據，計算 RGR 和 AGR ，那一個植株的生長較快？

	植株 1	植株 2	單位
W_1	2	20	g
W_2	5	30	g
t_1	14	14	days
t_2	21	21	days
$W_2 - W_1$	_____	_____	g
$\ln W_2 - \ln W_1$	_____	_____	
$t_2 - t_1$	_____	_____	days
AGR	_____	_____	_____
RGR	_____	_____	_____

5. 某品種種植後 35 天和 42 天時取樣，測定其植株平均重量 (W) 及葉面積 (A)

35 天採收 $W = 1.0\text{g}$ ， $A = 106\text{ cm}^2$

42 天採收 $W = 3.9\text{g}$ ， $A = 467\text{ cm}^2$

計算

(a) 35-42 天期間之 ULA

(b) 第 35 天和第 42 天的 LAR

(c) 35-42 天期間之平均 LAR

6. 田間試驗中設定不同大小試區，分別於 40 天及 60 天採收，

40 天採收：田區面積 1.0 m^2 ， 葉面積 1.3 m^2 ， 生物量 75g

60 天採收：田區面積 1.5 m^2 ， 葉面積 3.3 m^2 ， 生物量 200g

計算 CGR 及 LAI。

重點：

1. 了解產量的意義
2. 了解產量的計算方法、單位
3. 了解作物生長分析
4. 了解產量構成要素
5. 實際演算練習
6. 作物器官形成與產量的關係