

矮性菜豆豆莢生長分析¹

鍾維榮 余浩然²

摘 要

調查五個矮性菜豆品種其豆莢性狀在不同生長發育時期之變化情形，經變方分析結果顯示，不同品種存在極顯著的差異。圓莢品種之莢寬與莢厚的生長曲線幾乎一致；扁莢品種之莢寬初期生長速度比莢厚快，而後期則減緩。莢長與莢重初期的生長有較短的延緩期，種子重之延緩期則較長，但三者的生長曲線屬直線生長型。乾豆用品種其種子發育速度為所有品種中最快者。豆莢各性狀間之生長有極顯著的正相關關係。相對生長分析結果，莢長比莢寬有稍快的生長速率，但莢長與莢厚則有相同步調，而莢長生長速率則遠快於種子長，莢重之增加速率快於種子重。

關鍵詞：矮性菜豆、豆莢、生長分析。

前 言

菜豆(*Phaseolus vulgaris*)本省俗稱四季豆、敏豆或花豆，是豆類作物中重要性僅次於大豆的蔬菜。其豆莢、嫩豆及乾豆都可食用，嫩莢除供鮮食外，方可冷凍加工。菜豆是一年生作物，依植株生長習性，可分為蔓性、半蔓性及矮性三種。目前歐美國家，菜豆商業上栽培品種，全部為矮性品種，並利用機械採收。本省農民習慣種植蔓性品種，因生產量高，主要供鮮食市場用。近年來因菜豆冷凍加工原料需求量的增加，使矮性菜豆栽培面積增加迅速。目前本省鮮銷市場採用扁平或圓形之大莢蔓性品種，而加工冷凍業則喜好圓形小莢矮性品種，而矮性鮮食品種尚不為農民所接受。矮性菜豆生育期短，栽培時不需立支柱，是一種頗為省工的蔬菜作物。在開發中國家，矮性菜豆替代蔓性品種栽培為必然的生產趨勢。面對本省農業勞力不足及工資日益昂貴的問題，推廣栽培矮性菜豆品種，不但可替代部分蔓性品種的栽培，亦可增加市場蔬菜產品的多樣化。但為穩定矮性菜豆的栽培，必須分別選育不同用途的品種，因一般鮮食用、加工用或乾豆用之品種特性各不相同。最近，矮性菜豆已成為本省蔬菜育種人員研究的對象^(1,4)，但有關豆莢性狀方面，即莢形、莢長及種子特性在生長發育時期的變化情形以及不同品種間豆莢性狀差異的基礎研究較少。

菜豆豆莢形狀可分為圓形、卵圓形、橢圓形或扁平等⁽¹⁶⁾。豆莢形狀是菜豆育種中選拔最重要的項目之一，但菜豆形狀很容易發生突變⁽⁵⁾。例如圓莢品種出現扁平的豆莢，會因採種的不慎而混淆其中，造成品種退化或變種。豆莢長度是豆莢性狀中較為穩定者之一，即其品種特有的長度較不易發生改變。種子性狀常常被利用在冷凍加工品種上，做為判斷採收期或成熟度的標準^(14,15)。本試驗目的即在瞭解矮性菜豆不同豆莢形狀的品種，在生長發育時期的變化，其種子發育的過程，以及各性狀間生長步調的比較，可供矮性菜豆育種選拔的參考，

¹ 臺中區農業改良場研究報告第 0222 號。

² 臺中區農業改良場技士及約聘技師。

進一步配合不同莢形生長特性來調整選拔時期及選拔指標。

材料及方法

以五個不同莢形的矮性菜豆品種為材料，即"Tendercrop" (圓形、大莢、鮮食用)；CIAT "A207" (扁形、短小莢、乾豆用)；"VR-Romano" (扁形、大莢、鮮食用)；"Red Kidney" (扁形、中莢、乾豆用)；"Slenderette" (圓形、中小莢、加工用)。田間試驗採用逢機完全區集設計，四重複，每品種小區面積為六平方公尺，行株距為60×80公分。每一品種自第一朵花開放日期起，每天用不同顏色細線綁於小花花梗上，因初期豆莢細小，故自開花後第8日起至28日止，每隔2天調查各品種之豆莢性狀。每品種每重複取樣10莢。調查之豆莢性狀為莢長、莢寬、莢厚、莢重、種子長及種子重等。本試驗使用豆莢形狀指數(podcross section index)，即豆莢寬與豆莢厚之比來表示莢形，如指數大於1，則為扁平莢；指數等於1，則為圓形莢；指數小於1，則為卵圓形莢。豆莢厚為豆莢左側壁到右側壁之長度，豆莢寬為背縫線到腹縫線之長度。

結 果

調查五個矮性菜豆品種之豆莢品種之豆莢性狀在不同生育期的變化，經變方分析結果，如表一所示。發現在不同品種間，所有性狀均呈極顯著的差異存在。在不同生育期各性狀除莢寬外，其餘性狀之差異均達極顯著水準。至於品種與生育期之交感作用，除莢寬外，其他五個性狀亦表現出極顯著差異。

表一、五個矮性菜豆品種之豆莢性狀在不同生育時期變方分析之均方值

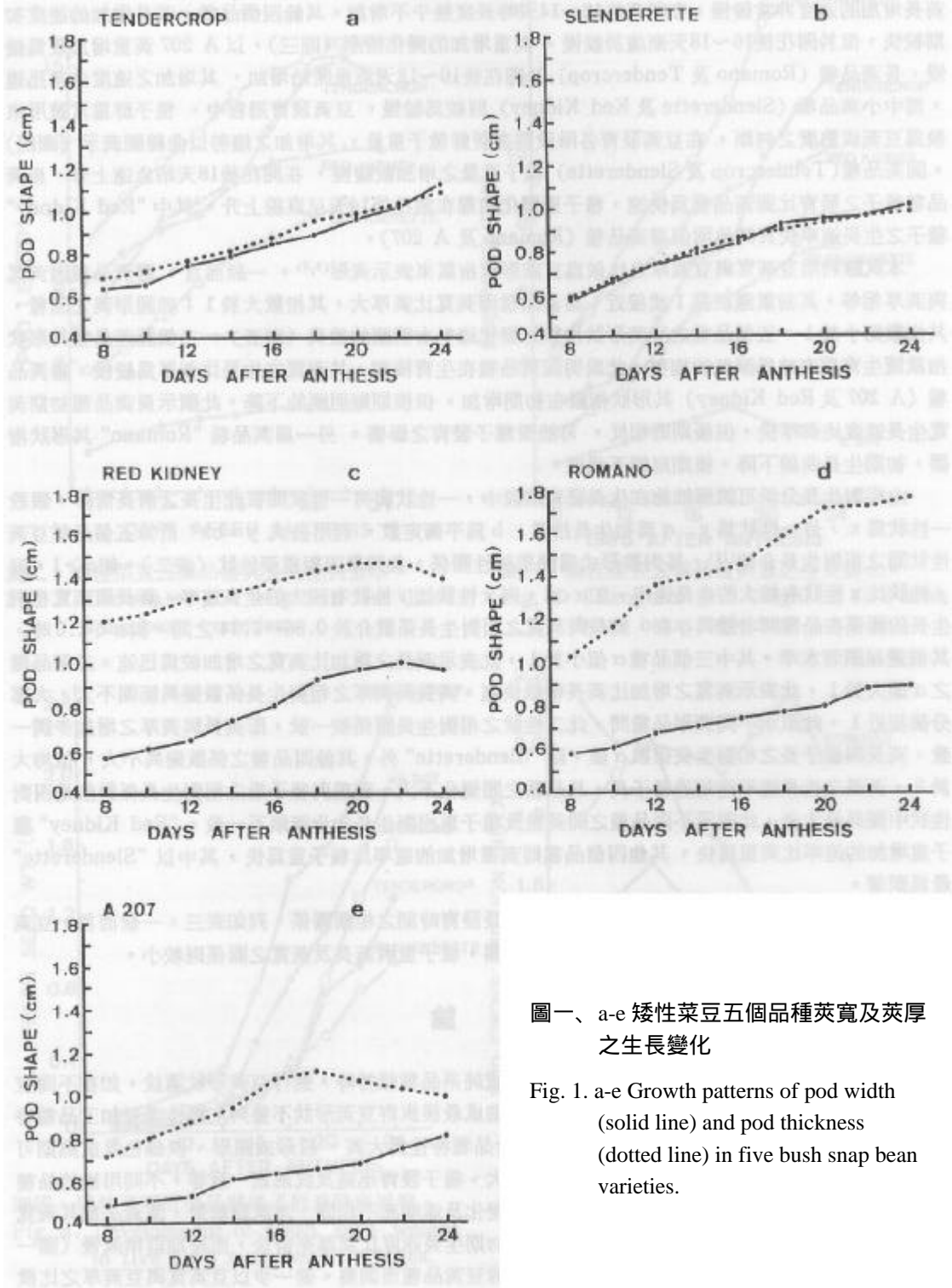
Table 1. Mean square of variance for pod characters in five bush snap bean varieties at different growth stages

Source of variation	df	Pod length	Pod width	Pod thickness	Pod weight	Seed length	Seed weight
Block	3	3.21	0.61	0.11**	0.91	0.01	0.13
Variety (V)	4	373.92**	4.94**	0.30**	328.25**	1.28**	2.30**
Date (D)	8	41.46**	1.25	0.39**	102.31**	2.34**	6.66**
V×D	32	4.33*	1.11	0.06**	8.61**	0.02**	0.20**
Error	132	2.22	1.10	0.01	0.41	0.003	0.004

不同莢形菜豆品種間莢寬與莢厚之生長變化有明顯的差異(圖一、a-e)。二個圓莢品種間，"Tendercrop"與"Slenderette"，豆莢形狀生長過程之變化頗為類似。但生長初期莢寬之發育略快於莢厚，後期莢厚之增加則較為迅速。此顯示圓莢品種莢寬及莢厚之生長發育非同步調，因此在進行以豆莢形狀為主要選拔目標時，應在該性狀表現最顯著及固定時實施，以免造成選拔偏差。扁莢品種中"A207"及"Romano"莢厚之生長緩慢，在開花後18天，略為快速，此時期可能是種子開始肥大階段。"Red Kidney"之莢厚亦是初期緩慢，但於開花後14天開始迅速生長。三個扁莢品種莢寬之生長比莢厚為迅速，在大莢品種"Romano"莢寬之初期生長最為迅速。

比較五個品種豆莢長發育過程(圖二)，顯示品種間有明顯的差異存在。短莢品種(A207)豆莢長增加的速度非常緩慢，在開花後12~14天時長度幾乎不增加。其餘四個品種，莢長增加的速度初期較快，但於開花後16~18天漸趨於緩慢。莢重增加的變化情形(圖三)，以A207莢重

增加最為緩慢，長莢品種(Romano及Tendercrop)於開花後10~12天莢重開始增加，其增加之速度非常迅速，而中小莢品種(Slenderette及Red Kidney)則較為緩慢。豆莢發育過程中，種子鮮重常被用來做為豆莢成熟度之判斷，在豆莢發育各階段調查新鮮種子重量，其增加之趨勢以



圖一、a-e 矮性菜豆五個品種莢寬及莢厚之生長變化

Fig. 1. a-e Growth patterns of pod width (solid line) and pod thickness (dotted line) in five bush snap bean varieties.

曲線圖表示(圖四)。圓莢品種(Tendercrop及Slenderette)種子重量之增加較緩慢，在開花後18天始急速上升。扁莢品種種子之發育比圓莢品種為快速，種子重變化曲線在開花後14天呈直線上升。其中"Red Kidney"種子之生長速率快於其他兩個扁莢品種(Romanc及A207)。

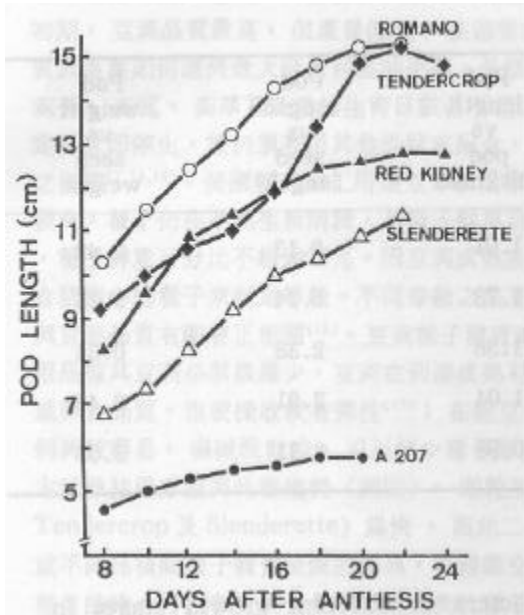
本試驗利用豆莢寬與豆莢厚之比做為豆莢形狀指數來表示莢形^(2,3)。一般而言，圓莢品種因莢寬與莢厚相等，其指數應該為1或接近；扁莢品種因莢寬比莢厚大，其指數大於1；卵圓形莢之品種，其指數則小於1。五個品種之豆莢形狀指數之理化趨勢有明顯的差異(圖五)。二個圓莢品種其形狀指數隨生育期有略為減低的趨勢，此說明圓莢品種在生育後期，其莢寬之生長比莢厚為緩慢。扁莢品種(A207及Red Kidney)其形狀指數在初期增加，但後期則明顯的下降。此顯示扁莢品種初期莢寬生長速度比莢厚快，但後期則相反，可能受種子發育之影響。另一扁莢品種"Romano"其形狀指標，初期生長曲線下降，後期則顯不規則。

由相對生長分析可瞭解植物在生長發育階段中，一性狀與另一性狀間彼此生長之消長情形。假設一性狀為x，另一性狀為y，a為初生長指數，b為平衡定數。利用公式 $y=bx^a$ 計算五個品種豆莢性狀間之相對生長介值⁽¹⁰⁾，其對數形式為簡單線性關係。共列舉四對重要性狀(表二)。如 $a>1$ ，則y性狀比x性狀有較大的生長速率，如 $a<1$ ，則x性狀比y性狀有較大的生長速率。莢長與莢寬相對生長的關係在品種間有差異存在，莢長與莢寬之相對生長係數介於0.86~1.34之間，與 $a<1.0$ 時，其偏差呈顯著水準。其中三個品種a值小於1，此表示莢長之增加比莢寬之增加較為迅速。二個品種之a值大於1，此表示莢寬之增加比莢長稍微快速。莢長與莢厚之相對生長係數變異範圍不大，大部分值接近1，此顯示不同莢形品種間，此二性狀之相對生長關係較一致，即莢長與莢厚之增加步調一致。莢長與種子長之相對生長係數a值，除"Slenderette"外，其餘四品種之係數變異不大，但均大於2。莢長之生長速率遠超過種子長，且品種之間變化不大。莢重與種子重之相對生長係數值是四對性狀中變異最大者，此顯示不同品種之間莢重及種子重相對生長的步調頗不一致。"Red Kidney"種子重增加的速率比莢重為快，其他四個品種則莢重增加的速率比種子重為快，其中以"Slenderette"最為顯著。

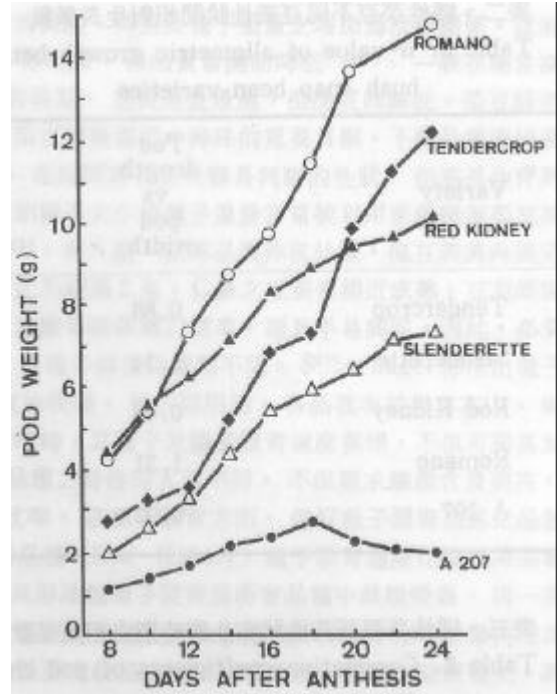
計算五個矮性菜豆品種之不同豆莢性狀在生長發育時期之相關關係，列表三。一般而言，豆莢性狀在生長發育時期彼此間都表現出顯著的正相關，種子重與莢長及莢寬之關係則較小。

討 論

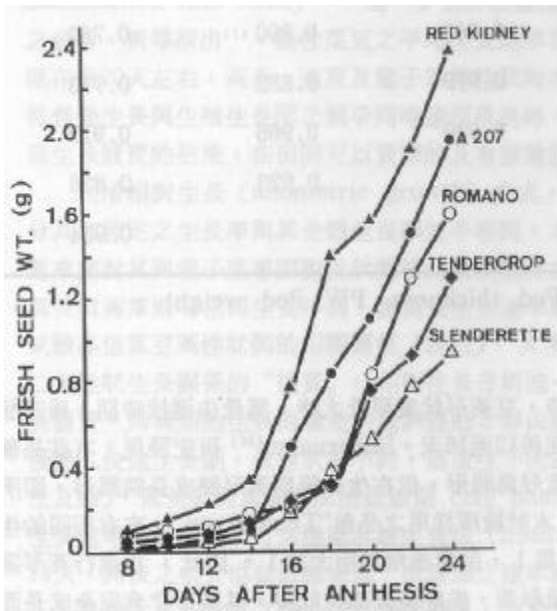
菜豆品種育種計畫中，在雜交分離後裔族群或純系品種維持時，進行豆莢形狀選拔，如在不同豆莢發育階段或性狀尚未完全表現時實行選拔，會造成最後族群豆莢形狀不整齊。矮性菜豆加工品種特性為小莢、圓形、深綠色及成熟期集中⁽¹⁶⁾。鮮食品種特性為大莢、扁形或圓形、淡綠色及成熟期可略為分散。乾豆用品種特性為中莢、扁形、種子大、種子發育迅速及成熟期一致等。不同用途的品種，其豆莢形狀及大小的需求不同，其豆莢發育的變化及速度亦不相同。本試驗結果，圓莢品種其莢寬與莢厚之生長曲線稍為一致，而扁莢品種之莢寬初期生長速度比莢厚來得快，而後期則稍減慢(圖一、a-e)。因此，豆莢選拔時期必須配合不同特性的豆莢品種而調整。進一步以豆莢寬與豆莢厚之比做為形狀指數來表示莢形，由圖五更進一步闡明莢寬與莢厚生長發育的關係。即圓莢品種在生育後期，大約為開花後20~24天，此時其形狀指數接近1時，豆莢形狀表現最大時，為最佳選拔時期。扁莢品種必須在形狀指數



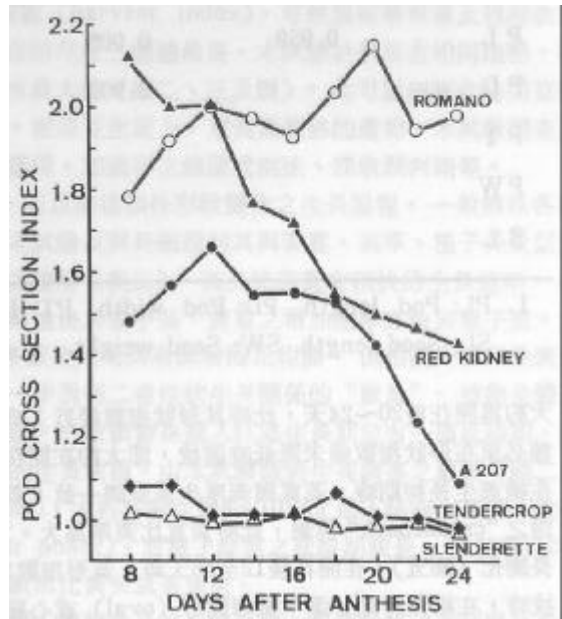
圖二、矮性菜豆五個品種莢長之生長情形。
Fig. 2. Growth of pod length in five bush snap bean varieties.



圖三、矮性菜豆五個品種莢重之生長變化。
Fig. 3. Change of pod weight in five bush snap bean varieties.



圖四、矮性菜豆五個品種種子鮮重發育過程。
Fig. 4. Development of fresh seed weight in five bush snap bean varieties.



圖五、矮性菜豆五個品種豆莢形狀指數在不同生長時期之變化。
Fig. 5. Growth curve of pod cross section index in five bush snap bean varieties at different growth stages.

表二、矮性菜豆不同豆莢性狀間相對生長係數

Table 2. a-value of allometric growth between different pairs of pod traits in five bush snap bean varieties

Variety	Pod length	Pod length	Pod length	Pod weight
	vs pod width	vs pod thickness	vs seed length	vs seed weight
Tendercrop	0.86	1.01	2.13	2.42
Slenderette	1.34	1.73	6.24	5.15
Red Kidney	0.48	1.38	2.38	0.64
Romano	1.31	1.04	2.91	2.48
A 207	0.92	0.98	2.31	3.08

表三、矮性菜豆豆莢性狀在生育時期之相關係數

Table 3. Correlation coefficients of pod characters at different growth stages in five bush snap bean varieties

	PD ¹	PT	PW	SL	SW
PL	0.959	0.908	0.963	0.890	0.762
PD		0.907	0.979	0.882	0.773
PT			0.920	0.966	0.919
PW				0.923	0.826
SL					0.954

1 PL: Pod length, PD: Pod width, PT: Pod thickness, PW: Pod weight, SL: Seed length, SW: Seed weight.

尚未降低時選拔，即大約在開花後12至16天。Silbernagel⁽¹⁶⁾研究發現，有些品種在嫩莢生長初期時，莢寬與莢厚生長步調一致，莢形為圓形，但在生長後期莢形變成長橢圓形，即所謂之"creaseback"現象，此時莢寬比莢厚為大。本試驗所採用之品種"Tendercrop"，亦有相同的生長變化(圖五)，在開花後12至16天時，莢形指數為1，但隨後增加而大於1。因此，在進行莢形選拔時，在嫩莢時期，選稍微卵圓形(oval)或心臟形莢，俟鮮莢成熟採收時，其莢形才會完全成長而為圓形。

影響菜豆鮮莢品質最重要的因子是成熟期⁽⁶⁾。鮮莢成熟期可由豆莢與種子發育的程度及莢嫩度表示，即莢長、莢硬度、種子鮮重、種子大小及纖維含量等⁽¹⁷⁾，各性狀影響的大小隨豆莢生長發育時期而變化。雖然各品種間豆莢性狀生長趨勢不同(圖二、三及四)，但各性狀間增加之變化有顯著的正相關(表三)。即豆莢生長由開花到收穫，其莢長度、莢重及種子重量之增加為直線關係。就鮮食品種而言，豆莢生長至最適當採收期時，產量不再增加，但品質會開始降低^(12,13)。一般在適當採收初期，豆莢品質最高，但產量偏低；在適當採收後期，豆莢產量最高，但品質則降低。菜豆鮮莢品質與產量如何達到最大經濟利益的平衡，是矮性菜豆育種選拔中特殊的重要目標。不同品種達到最大莢長、莢寬、莢厚及莢重的生育日數各不相同。在田間莢長是最容易判斷的性狀，但莢長生育到一定長度即停止，故仍須利用其他性狀來配合。例如種子大小或種子重量常常被利用來做嫩莢菜豆採收之指標^(7,14,15)。美國鮮莢加工用菜豆分級之標準⁽⁸⁾，在A級，豆莢必須非常幼嫩，但豆莢莢肉要完全發育，種子仍在早期生長階段，其種子鮮重百分比不超過2%；C級之豆莢要接近成熟，豆莢頗脆嫩，種子鮮重百分比不超過25%。因豆莢成熟度及幼嫩等級很難訂標準，而且不易測定。因此，必須配合發育中的種子來判定等級。不同等級之菜豆，其種子鮮重比例則不同。Silbernagel亦指出種子

長與豆莢品質有顯者正相關⁽¹⁵⁾。豆莢種子發育速度的快慢，依不同用途，各品種有差異存在⁽⁹⁾。嫩莢用品種其豆莢必須纖維少，豆莢在到達成熟可採收時，其種子及纖維發育速度要慢，不但可提高加工或鮮食品質，也使採收較有彈性⁽¹⁷⁾；在乾豆用品種之特性則大為不同，不但要求纖維含量要高，因剝莢數容易，機械脫粒時，可以減少種子傷害比率，在種子發育方面，偏好種子發育迅速之品種。本試驗結果亦證明此種趨勢(圖四)，即乾豆用品種(Red Kidney)種子發育速度比嫩莢用品種(Tendercrop及Slenderette)為快，而此二嫩莢用品種種子發育為所有品種中最緩慢者。同一品種或不同品種間種子發育快慢的差異，可藉雜交育種或純系選拔方法來達成所需的特性。以嫩莢用為育種目的時，可以在豆莢生長早期進行淘汰種子生長發育較迅速的植株或系統。而在乾豆育種上，則需等到種子完全發育成熟時才進行選拔。

一般作物生長分析主要利用不同植株生育期的株重(可再分為總株重、地上部重量及地下部重量)及葉面積等二個介值來計算作物相對生長速率(relative growth rate, RGR)或淨同化速率(net assimilation rate, NAR)(11)。進一步估計收穫指數(harvest index)，可做為從事育種及栽培改進之參考。黃等指出(1)。矮性菜豆之平均生長速率在始花後三週達最高。本試驗結果亦有相同趨勢，在開花後20天左右，莢長、莢重及種子重等性狀均有最大值(圖二、三及四)。此可以判斷此時菜豆植株營養生長與生殖生長間之競爭同時達到最高峰。在菜豆生產上，豆莢為最終的產物。本試驗調查豆莢生長發育的結果，在田間可以實際的及有效地應用，如莢形之篩選或淘汰、採收期判斷等。

利用相對生長(allometric growth)公式，可以描述植株形狀變化之生長過程，一般植株各部分具有特定之生長率與其全體生長率並不相同。本試驗以莢長來探討其與莢寬、莢厚、種子長及以莢重來探討其與種子重等四對性狀間彼此消長變化之情形(表二)。莢長比莢寬有稍快的生長速率，但莢長與莢厚則有相同生長步調，而莢長生長速率則遠快於種子長。莢重之增加速率亦快於種子重。本試驗亦估算豆莢性狀間的相關關係(表三)，大多數性狀間具有顯著的正相關，但相關介值只是表現二者性狀生長關係的"性質"，相對生長分析進一步說明二者性狀生長關係的"數量"。植物全體生長發育，其典型的生長曲線是一種斜體的S形曲線。一般植物在進入旺盛生長期前有一個延緩期，然後進入快速生長期。依性狀的不同，而產生不同的生長曲線。由本試驗嫩莢生長調查之結果(圖二、三及四)，莢長與莢重有較短的延緩期(lag phase)，大約在開花後8~10天才進入快速生長期，此時生長速率頗為穩定，可知應屬直線生長型(linear phase)。而種子鮮重之延緩期較長，大約有12~14天，其後之生長也呈直線增加，但增加之速率顯然比莢長或莢重快。

目前本省所栽培之矮性菜豆品種雜亂，對於加工與鮮食品種亦無區別，影響栽培生產制度及冷凍加工產品品質。因此，必須分別加強選育適合不同用途的矮性菜豆品種。本試驗不同品種豆莢生長發育的結果，不僅可做為決定適期採收的依據，且可以提供選拔不同用途品種之參考。

參考文獻

1. 黃天成、胡懋麟 1988 矮性菜豆之生長分析 嘉義農專學報 17:13-30。
2. 鍾維榮 1987 菜豆的遺傳與育種行為之研究 I.控制豆莢形狀之遺傳作用 臺中區農業改良場研究彙報 14,15:3-14。

3. 鍾維榮 1988 菜豆的遺傳與育種行為之研究 II.控制豆莢形狀之最少因子數及其因子作用 臺中區農業改良場研究彙報 19:11-20。
4. 鍾維榮 1989 矮性菜豆開花與結莢習性之探討 臺中區農業改良場研究彙報 23:53-60。
5. Atkin, J. D., and W. B. Robinson. 1972. Nature of the flat pod rogue of snap bean, *Phaseolus vulgaris*, Search Agric. 2(9):4-9.
6. Culpepper, C. W. 1936. Effect of stage of maturity of the snap bean on its composition and use as a food product. Food Res. 1:357-369.
7. Parkas, D. F. 1967. Use of seed size for controlling snap bean quality for processing. Food Technology. 21:105-107.
8. Gould, W. 1951. Quality evaluation of fresh, frozen and canned snap beans. Ohio Agr. Eyp. Sta. Res. Bul. No. 701.
9. Hsu, F. C. 1979. A development analysis of seed size in common bean. Crop Sci. 19:226-230.
10. Jolicoeur, P. 1963. The multivariate generation of the allometry equation. Biometrics 19:497-499.
11. Roller, H. R. W. E. Nyquist, and I. S. Chorush. 1970. Growth analysis of soybean community. Crop Sci. 10:407-412.
12. Robinson, W. G., D. E. Wilkson., J. C. Mayer., J. D. Atin., and D. B. Hand. 1964. Quality versus yield of snap beans for processing. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 84:339-347.
13. Rowe, S. C. and V. B. Bonney. 1936. A study of chemical and physical methods for determining the maturity of canned snap bean. J. of Asso. of Agric. Chem. 4:620-628.
14. Silbernagel, M. J. 1977. Seed quality index as an indicator of crop production potential, and a selection tool for the genetic improvement of snap bean quality. Annu. Rep. Bean Improv. Coop. 20:40-42.
15. Silbernagel, M. J., and S. R. Drake. 1978. Seed index, an estimate of snap bean quality. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 103:257-260.
16. Silbernagel, M. J. 1986. Snap bean breeding. In: M. J. Bassett (ed.) Breeding vegetable crops. p.243-282.
17. Stark, F. C., and C. H. Mahoney. 1942. A study of the time of development of the fibrous sheath in the side wall of edible snap pods with respect to quality. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 41:353-359.

Growth Analysis of Pod Development in Bush Snap Bean¹

W. J. Chung and H. R. Yu²

ABSTRACT

The growth patterns of pod development at different growth stages in five bush bean varieties were studied. The result indicated that there were significant differences between varieties and pod characters at different growth stages. The growth patterns of pod width and pod thickness are almost similar for roundpodded varieties, but the growth rate of pod width is much rapid than that of pod thickness in flat-podded varieties. The growth duration of pod length and pod weight have shorter lag phase than that of fresh seed weight, but all follow a similar linear phase of growth curve after then. The seed development rate of dry bean variety is the fastest among varieties. There were positive correlations between pod characters at different growth stages. The result of analysis of allometric growth showed that, in general, pod length have slightly fast growth rate than that of pod width, while pod length and pod thickness exhibit similar tendency, but the growth rate of pod length was much faster than that of seed length. The growth rate of fresh pod weight is higher than that of fresh seed weight.

Key words: bush snap bean, pod development, growth analysis.

¹ Contribution No. 222 from Taichung DAIS.

² Assistant Horticulturist and Assistant of Taichung DAIS.