

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

蔬菜種苗生長之動態量測與數學模式建立

Dynamic Growth Measurement and Modeling of Selected Vegetable Seedlings

計畫編號：NSC 87-2313-B-002-069

執行期限：86 年 8 月 1 日至 87 年 7 月 31 日

主持人：林達德 國立臺灣大學農業機械工程學系

電子郵件信箱：m456@ccms.ntu.edu.tw

一、中文摘要

在本計畫中我們應用機器視覺自動化量測系統，進行種苗生長過程的動態量測。量測系統以甘藍、芥菜、莧菜種苗為對象，分別由其數位影像中量測其株高、投影面積、葉片、莖部節點數、及葉片端點與莖頂節點座標。對於莖頂節點的演算法在本年度應用樹狀結構的觀念加以改善，以正確測得莖長。所量測得之動態生長曲線進一步應用logistic與Richards模式加以分析，模式之參數則利用非線性最小平方法分別求得並予以比較。由模式分析所得之結果可用以模擬預測不同生長條件下之種苗生長速率，以提供種苗生產業者在生產管理上之參考。

關鍵字：機器視覺、蔬菜種苗、生長模式

An automatic plant growth measurement system employing machine vision was applied in dynamic measurement of growth responses of cabbage, kale and amaranth seedlings under various conditions. Seedling characteristics were determined with combined information extracted from the processed images. The determined seedling characteristics were: seedling height, average projection area, leaf and stem node numbers, coordinates of stem nodes and leaf endpoints. A new image processing algorithm was developed to determine the

seedling stem length by tracking the connected pixels of the seedling skeleton. The growth curves of the selected vegetable seedlings were further analyzed and compared with logistic and Richards growth model. Model parameters were determined with the non-linear least-squares method. Based on the model, the growth responses of seedlings under various conditions can be predicted and thus better seedling production management can be advised.

Keywords: Machine Vision, Vegetable Seedling, Growth Model

二、緣由與目的

作物在設施中栽培的主要目的之一為創造一個最適於作物生長的環境條件，以提昇作物的產量與品質，而植物的生長量測與模式分析為設計設施中環境控制策略的重要依據。除此之外，植物生長模式的建立亦有助於研究工作者探討影響作物生長的主要因子，從而提出改善作物栽培方法之建議。對於植物生理的探討上，植物於不同環境條件下生長資料的建立與模式分析，則有助於了解植物與植物間或植物與環境因子間的交互作用[3,5]。

近年來國內對於蔬菜的消費逐年增加，蔬菜在整個農業生產中佔了相當重要的份量，其中十字花科、葫蘆科與茄科為最主要的三大類蔬菜。為配合蔬菜產業的

發展，政府部門於民國七十九年起即積極推動穴盤蔬菜種苗的生產自動化工作，以提高蔬菜生產的產量與品質，同時使蔬菜的生產作業得以機械化，以降低生產成本[1]。目前國內之蔬菜種苗育苗場中，穴盤種苗絕大多數均是在溫室內栽培，溫室內的環境控制對於所生產的種苗品質有很大的影響，如何配合種苗生長的需要而調整溫室內的環境是個相當重要的課題。為使溫室的環境能針對蔬菜種苗的生理需求進行調節，蔬菜種苗在不同環境條件下的生長資料量測，以及環境因子對於蔬菜種苗生長的交互影響之模式建立便成為進行蔬菜種苗栽培環境控制的主要依據。

機器視覺系統為建立非破壞性量測的可用方法之一，過去應用於植物性狀量測的影像處理研究不少，但多是應用於二維靜態的量測，如單片葉面積與植株高的量測等。至於對整株植株的三維量測研究則於近年來漸有研究報告出現。Meyer 及 Davidson [9]曾建立一套實驗性的系統以量測單株植物的葉片面積與莖粗。Suh 及 Miles [12]亦應用機器視覺系統量測松樹苗的莖粗、株高與投影面等外觀型態，同時利用傳統方法進行實際松樹苗之株重、株高與根系體積之量測。由機器視覺系統所量測得之影像資料與實測值有很好的相關性。同樣地，Hack [8]也應用類似的方法量測野豌豆的性狀，以所量測的影像葉片面積預測植株重量；Franz 等人[7]則發展影像處理方法擷取葉片邊界之資訊，以計算葉片面積。Shimizu 及 Heins [11]進一步以 *Verbena bonariensis* 為對象，以機器視覺系統量測植物在不同溫度與光照時間環境下的生長速率，在該研究中，植株各莖節的三維座標由兩張垂直角度擷取的影像以自行發展的演算法求得，由固定間隔時間所獲得的序列影像與資料，植物的生長過程

得以精確地記錄。

以機器視覺系統量測單株植物的外觀性狀，除可以較迅速與客觀地達到量測之目的，對於靜態（單一影像）的植株影像分析，可廣泛應用植物的類別鑑定、品質分析與分級等，而對於動態（與時間相關的序列影像）的植株影像分析而言，則可以應用於植物生長速率的量測、生長模式的建立[3]與溫室環境的監控等，是一個相當重要的研究課題。

在八十五年度的計畫「應用機器視覺於種苗生長之量測與分析」我們順利完成了一套實用的動態植物生長量測機器視覺系統，本年度則延續此項研究工作，繼續加強此系統之軟硬體功能，並應用於甘藍、芥藍與莧菜等蔬菜種苗之生長量測，建立基本資料以提供種苗生產業者應用，另外亦針對所量測之生長資料進行數學模式的建立與分析。

三、研究設備與方法

本研究所使用的自動量測系統是利用影像處理方法，對蔬菜種苗每45°取一張影像。為求得各不同角度的影像，種苗是安置於一以步進馬達驅動之自動旋轉機構上使之能原地旋轉，以便CCD攝影機能擷取各角度的影像，步進馬達則是以個人電腦透過單軸定位卡與驅動器進行控制[2]。

本計畫對國內主要生產的蔬菜除甘藍外另外選擇芥藍、莧菜等進行生長量測實驗，同時進行生長模式的比較分析，主要探討的環境因子仍為溫度與光照。實驗環境是利用臺大人工氣候實驗室，以15/12（日/夜溫）、20/15、25/20、30/25 與30/25 等五個溫度栽培蔬菜種苗，每一溫度之種苗量測均至少為八個重覆，種苗由發芽開始量測至本葉至少六葉為止，每一組實驗約需要歷時一個月左右。

四、結果與討論

(一) 演算法之改善

本年度針對莖頂節點的搜尋進行演算法的改善，主要是應用樹狀資料結構的觀念尋找種苗根部點及主莖分支點。有根樹(rooted tree)顯然為最直觀可加以使用的資料結構。有根樹的定義為一有如圖中僅有唯一的一個根節點(root node)，且每一分支點(branch node)僅有唯一的父節點(father node)，亦即結構中沒有迴路(circle path)存在。如果能由影像中尋找出適當的節點架構成一有根樹結構，不但可利用其中各節點的相關性建立快速簡單的演算法找出根部點及主莖分支點，對於構建3D種苗模型也會是很大的幫助。圖1所示即為依此原理所發展出來的演算法流程圖：

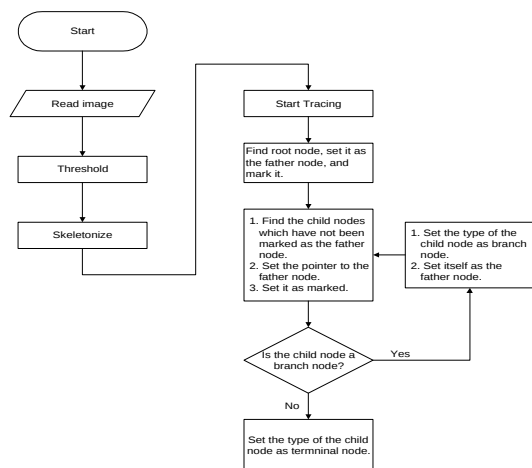


圖1 莖頂節點搜尋演算法之流程圖

於建立了所有節點的資料結構後，接下來的工作是利用此資料結構找出主莖上之最高分支點。我們可直觀的看出，只要適當的選取若干個影像上半部葉片產生之終節點，追尋這些終節點的祖先節點(ancestor nodes)的交集中離根節點最遠的點，即為主莖上之最高分支點，圖2所示即

為以芥藍種苗影像說明影像處理與莖頂節

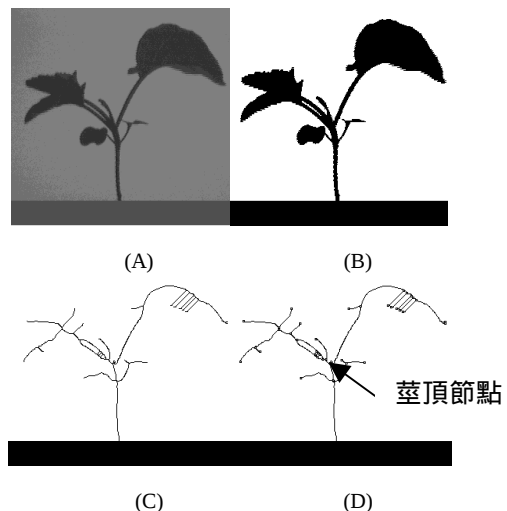


圖2 芥藍種苗影像處理過程，(A)原始影像，(B)二元化影像，(C)細線化影像，(D)搜尋到之莖頂節點。

點搜尋的結果。

(二) 蔬菜種苗的生長量測

本年度計畫中按預定進度完成三種主要蔬菜種苗的生長量測。圖3所示為典型的種苗生長量測實驗結果，由圖中可以看出同批種苗於相同生長環境下的變異性。

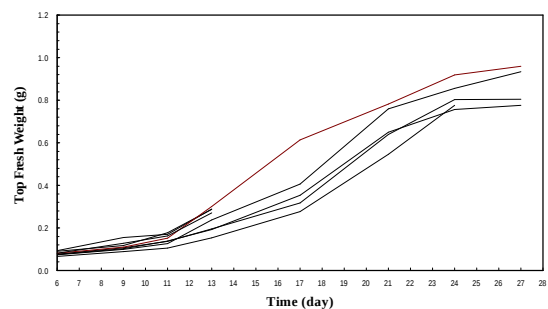
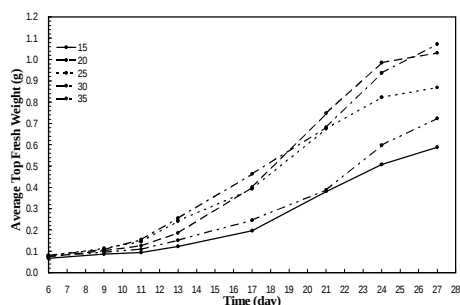


圖3 同一批芥藍種苗於25/20°C日夜溫條件下之地上部鮮重生長曲線

各批不同生長環境下種苗生長曲線平均值比較(地上部鮮重為例)則如圖4所示：



(三) 種苗生長模式與分析

本研究中分別以logistic與Richards兩個模式來描述種苗之生長曲線，並利用非線性最小平方法對實驗數據求得模式參數。logistic與Richards模式如下面兩式所列

[5,9]：

圖4 五種不同日夜溫條件下的芥藍種苗地上部鮮重平均生長曲線

$$\frac{dY}{dt} = m Y(1 - d Y) \quad (\text{logistic})$$

$$\frac{dY}{dt} = \frac{m Y [1 - (d Y)^{\gamma}]}{\gamma} \quad (\text{Richards})$$

表1 三種蔬菜種苗地上部鮮重模式參數值

甘藍種苗地上部鮮重模式參數值			
溫度 (日/夜)	μ	δ (g^{-1})	Y_0 ($g \times 10^{-2}$)
15/12°C	0.159 ± 0.020	0.601 ± 0.206	2.80 ± 0.53
20/15°C	0.204 ± 0.064	0.604 ± 0.335	2.71 ± 1.57
25/20°C	0.161 ± 0.029	0.378 ± 0.137	4.40 ± 1.06
30/25°C	0.172 ± 0.024	0.551 ± 0.242	3.61 ± 1.39
35/30°C	0.143 ± 0.026	0.595 ± 0.386	3.58 ± 1.08
芥藍種苗地上部鮮重模式參數值			
溫度 (日/夜)	μ	δ (g^{-1})	Y_0 ($g \times 10^{-2}$)
15/12°C	0.162 ± 0.008	0.912 ± 0.171	1.45 ± 0.17
20/15°C	0.246 ± 0.053	0.591 ± 0.318	0.81 ± 0.45
25/20°C	0.268 ± 0.041	0.991 ± 0.279	0.64 ± 0.18
30/25°C	0.217 ± 0.001	0.853 ± 0.257	1.15 ± 0.14
35/30°C	0.152 ± 0.004	0.563 ± 0.082	1.88 ± 0.44
莧菜種苗地上部鮮重模式參數值			
溫度 (日/夜)	μ	δ (g^{-1})	Y_0 ($g \times 10^{-2}$)
20/15°C	0.182 ± 0.012	4.686 ± 2.076	0.29 ± 0.07
25/20°C	0.281 ± 0.116	1.379 ± 0.948	0.67 ± 0.49
30/25°C	0.374 ± 0.079	1.280 ± 0.510	0.29 ± 0.51
35/30°C	0.436 ± 0.050	0.809 ± 0.108	0.13 ± 0.06

其中Y為種苗性狀， μ 為生長常數， $\delta=1/Y(\infty)$ 為Y在時間為無限大時之值。表1所列為以logistic模式對三種蔬菜種苗地上部鮮重(舉例)迴歸所得之模式參數。應用此模式參數與模式可進行種苗生長過程的電腦模擬與生長預測。

五、計畫成果自評

本研究依原先計畫之規劃分別完成了自動量測系統的演算法改善，除對莖頂節點的搜尋、葉面積與葉片數的計算都有新的演算法發展完成，使機器視覺自動量測系統的功能更為完整與精確。在蔬菜種苗的生長量測上除對甘藍、芥藍與莧菜三種蔬菜種苗完成生長量測外，並探討日夜溫與光照對生長之影響。研究成果亦於1998年7月於美國召開之生物工程學會年會發表會議論文。

六、參考文獻

- [1] 陳世銘. 1992. 種苗自動化生產設備與應用. 臺灣農業 28(6):70-76.

- [2] 鄭聖夫。1996。應用於種苗生長量測之機器視覺系統。碩士論文。臺北：農業機械工程學研究所。
- [3] Charles-Edwards, D. A. 1978. A model for leaf growth. *Ann. Bot.* 44:523-535.
- [4] Charles-Edwards, D. A., D. Doley and Rimmington, G. M. 1986. *Modeling Plant Growth and Development*. 1-20. Australia: Academic Press.
- [5] Curry, R. B. 1971. Dynamic simulation of plant growth - Part I. Development of a Model. *Transactions of the ASAE.* 22(5):946-949.
- [6] France, J. and J. H. M. Thornley. 1984. *Mathematical Models in Agriculture*. London: Butterworths Co.
- [7] Franz, E., M. R. Gebhardt and K. B. Unklesbay. 1995. Algorithms for extracting leaf boundary information from digital images of plant foliage. *Transactions of the ASAE.* 38(2):625-633.
- [8] Hack, G. R. 1989. On-line measurement of plant growth in the greenhouse. *Acta Horticulturae* 248:337-343.
- [9] Meyer, G. E. and Davidson, D. A. 1987. An electronic image plant growth measurement system. *Transactions of the ASAE* 30(1):242-248.
- [10] Richards, F. J. 1959. A flexible growth function for empirical use. *Journal of Experimental Botany.* 10:290-300.
- [11] Shimizu, H. and Heins, R. D. 1995. Computer-vision-based system for plant growth analysis. *Transactions of the ASAE* 38(3):959-964.
- [12] Suh, S. R. and Miles, G. E. 1988. Measurement of morphological properties of tree seedling using machine vision and image processing. ASAE Paper No. 88-1542. St. Joseph, MI:ASAE.