

芋葉大小與形狀之生長型式量化分析及季節性變異¹

呂秀英^{2,4} 魏夢麗² 呂椿棠² 陳烈夫³

摘要：確實掌握芋葉在生長過程中的動態變化，可預測芋的球莖產量生產。葉片之生長發育受到外界環境影響甚鉅；而葉片表面伸展速率的不同，不但造成葉片大小之變化，其形狀也可能有所差異。本研究主要目的在探討本省芋作物在不同葉位的葉片大小與形狀在生長過程中的變化，及其在不同期作栽培下受氣候因素之影響差異。試驗材料為本省地方品種檳榔心芋及其選育品種「高雄一號」，在農業試驗所進行兩年兩期作之栽培試驗，在水芋的全生育期間以非破壞取樣之方式，將所有葉片自初生展開日起依植株生長發育之速率每隔 2~4 天，利用影像處理系統數位相機予以照相存檔，直至枯萎老化為止，然後在電腦上進行葉片大小及形狀的數量化處理，收穫時則調查植株各部位鮮、乾重。結果得知，芋葉特徵變異可以兩個主成份來適當描述：第一主成份包含面積和所有長寬度量之與葉片大小有關的性狀，第二主成份則由 6 個指標綜合構成芋葉形狀。決定了葉裂凹點、葉柄銜接點、兩葉基尖端各至葉尖的相對位置，和兩葉基弧長的轉折點，再加上葉裂角度，應該足以描述及掌握芋葉的形狀特徵。芋葉在初生展開時顯得較狹長、葉裂較深、葉裂角度較小，但隨後葉形便趨於一致。芋葉的兩個葉基並不對稱，高雄一號的右葉基稍大於左葉基，而檳榔心芋則是左大於右。由於兩期作間生長階段氣候變化不同，一月種植期在地上部生長旺盛期的高溫強日照，葉片伸展較快，此有利於收穫時之球莖產量；而七月種植期在地上部生長旺盛期逢低溫寡日照，葉片伸展較慢，故產量較低。葉裂角度、葉裂凹點至葉柄銜接點之長對最大葉長之比例的生長型式受氣候差異之影響在不同期作間有明顯差異。高雄一號在一月種植期的葉裂凹點至葉柄銜接點之長度的延伸較七月種植期及檳榔心芋為快，故造成葉面積上的優勢，致球莖產量提高。

關鍵詞：芋、葉片大小、葉形、主成份分析、影像處理系統、氣象因素。

前 言

水芋栽培是芋在臺灣種植面積最多的一種栽培方式；而檳榔心芋品種則為主要的栽培品種（約佔 93%），具有適應性廣與品質佳之特性⁽¹⁰⁾。本省氣候環境於任何時期種植芋作物，只要氣溫、日光及水源充足，均有相當的收量，可行週年栽培，但因為配合本省稻作耕作制度，農民多在秋作或春作種植。

1. 行政院農業委員會農業試驗所研究報告第 2112 號。接受日期：91 年 5 月 10 日。

2. 本所農藝組研究員、助理研究員與助理研究員。臺灣省 臺中縣 霧峰鄉。

3. 本所農場管理組助理研究員。臺灣省 臺中縣 霧峰鄉。

4. 通訊作者，電子郵件：iying@wufeng.tari.gov.tw；傳真機：(04)23302806。

1989年高雄區農業改良場自檳榔心芋選育出豐產、耐軟腐病 (soft rot)、品質佳的品種「高雄一號」⁽⁹⁾。有關芋品種改良與栽培的研究在過去並不受重視，目前各改良場所已開始積極進行。欲有效選育優良品種並進行栽培技術之改良，必須對作物之生理基礎先充分認知，以瞭解作物之產量形成機制^(7,15)。而利用數理函數將作物植株的生長予以模式化，探討其生長模式及其生長介量的變異，是建立作物生理基礎研究的有效方法之一^(15,31)。呂等⁽³⁾及陳等⁽⁵⁾曾分別利用 Richards 函數及傳統生長解析方法估計水田栽培檳榔心芋在秋作栽培的生長變化，指出不同年度同一期作試驗之葉面積指數 (LAI) 曲線受到氣象因素影響而有變化，此影響球莖產量。其結果與 Satou et al.^(35,36)所發現者相符，即維持最適的 LAI 為提高芋生產力的有效途徑之一。提高 LAI 的增加速度及最大值，為生理上影響本省水田栽培檳榔心芋乾物質生產增加之重要原因⁽⁵⁾。由於本省水芋可全年種植，陳等⁽⁶⁾研究不同栽培季節下水芋 LAI 隨時間生長的動態變化，發現氣溫對水芋 LAI 增加速率及最大值之影響最大，其次為日照；中部地區不同期作下以一月種植期的 LAI 增加速率最快且年度間變異最小，若於七~九月之夏季初時種植因整個生長期處於氣溫及日射量均較低的秋冬季，最不利水芋葉片生長。水芋達最大 LAI 值後的累積 LAI 與球莖產量之間呈極顯著的直線關係，即 LAI 增加速率及最大值愈大，球莖產量則愈高⁽⁶⁾。由此可知，葉片為芋作物在生理上一個很重要的器官，其大小變化對芋的能量移轉與乾物質累積過程均有密切的關係^(5,6)。而葉片表面之伸展受到一些因素影響，如葉片生成及老化的速率、分枝及分蘖、葉片伸展的速率及持續期等⁽⁴²⁾，同時葉片伸展持續期又可能與競生嫩葉之發育速率有關⁽¹³⁾，因此探討植物葉片的生長發育，應該就不同葉位資料進行分析。同一葉位及混合不同葉位的葉片伸展速率與溫度間之關係未必一致⁽⁴²⁾。Jacob and Chand (1992)⁽²⁴⁾指出芋葉的展開葉愈多，生長勢愈強，最終將影響球莖產量。

芋的葉片形似心臟，葉背中心有一圓筒狀葉柄相連，由於葉柄著生於葉基部之上方，故又稱芋葉之形狀呈盾形 (peltate)；葉柄基部相互抱合，母芋每伸長一節就生長一個葉片，隨著氣象的變化和球莖的形成，葉片表面積伸展速率不同，葉片形成的形狀也可能有所差異；同一葉面積可能具有多種葉形；此外，溫度及病蟲害的侵襲都可能改變葉形。葉形的外表特徵是品種分類的重要特性之一，其可塑性高且變化又多，因此將葉形變化數量化是一項重要工作^(18,20,22,32,33)。葉形的定量分析，主要在發展控制生長及生長型式之異形葉性 (heterophylly, 即在植株不同部位上著生不同葉形的葉片)⁽⁸⁾。由於葉片表層界面厚度限制了熱、水份及二氧化碳之交換，造成葉片大小及形狀皆直接影響葉片的能量及物量交換^(19,29,41)，故相對於其他度量而言，葉片面積及形狀之測量有利於生態生理研究⁽⁴³⁾。因此，本研究之主要目的在探討本省芋作物在不同葉位的葉片大小與形狀在生長過程中的變化，及其在不同期作栽培下受氣候因素之影響差異，以瞭解控制水芋生長及生長型式之異形葉性，並進而瞭解芋葉大小及形狀之變化對球莖收穫產量的影響關係。

為探討芋作物不同葉位的葉片大小與形狀在生長過程中的變化，必須採用非破壞方法進行取樣調查；而葉形變異的測定並不適合使用形態學上的專門術語來分析，例如：卵圓形、披針形等⁽²⁷⁾，形狀方面則需增加一些有關對稱性功能的計量，故為一種比較複雜的測定。葉形指數 (shape index) 是分類學上常用的指標工具^(16,22,23,40)，但該法畢竟太過簡略，無法滿足精確性的要求^(4,8)。因此本研究擬利用數位影像系統 (image processing system)，在芋的全生育期間依葉位別將所有葉片自初生展開之日起到枯萎老化止予以照相存檔，並配合影像測量分析軟體 (image measurement and analysis software) 進行葉片大小及形狀的量化處理，此不但可避免破壞葉片，也提供自動化且快速同時可一再重複使用的簡便測定方法。本研究將由影像處理之定量分析所得的結果，藉由主成份分析 (principle component analysis, PCA) 找出可描述芋葉的大小及形狀的最適特徵值，並闡明各種葉片性狀間之相對生長關係，以確立芋葉的發育生長型式，同時探知芋葉大小及形狀在不同期作及品種間的差異性。

材料與方法

試驗材料之培育

參試品種為地方品種檳榔心芋及其選育品種高雄一號。選自田間帶有 2~3 片葉且重量在 50±5 公克之間的健康幼苗，將每一株各種植在置於試驗田間的 60 公升（直徑 50 公分，高度 48 公分）大塑膠桶中。種植於塑膠桶之目的，是爲了方便調查同時避免傷及植株（倘直接種植於水田，由於必須每天對植株進行調查照相，經常性地踐踏在植株間之田地，對芋植株之生長均極爲不利，另外芋植株最高可達 150 公分以上，屆時照相必須架梯，在田間操作相當不方便）。桶內培植土以田土 2/3 及坵土 1/3 混合後種植。整個生長期間共施用六次肥料，初期（前四個月）施用台肥 1 號複肥（N:P₂O₅:K₂O=20:5:10），每株施用量爲 12.5 公克，之後施用台肥 4 號複肥（N:P₂O₅:K₂O=11:5.5:22），每株施用量爲 22.3 公克。生長期間注意肥料施用、雜草及病蟲害控制，並於 3 個月及 5 個月各剷除子芋一次，土壤隨時保持濕潤狀態。本試驗水芋栽培前期採水田栽培管理，收穫後期則採蘆水處理方式，以避免球莖發生軟腐病，因此本試驗的桶之下方並加裝排水閥，以便於在收穫後期能配合需要打開閥口以控制水量流通。

試驗期作

根據陳等⁽⁶⁾研究不同栽培季節下水芋 LAI 隨時間生長的動態變化，發現中部地區栽培環境下以一月種植期的 LAI 增加速率最快且在年度間變異最小，倘提前於十一月或延後至三~五月種植有可能分別因爲低溫、梅雨或颱風等異常氣候而減緩葉片生長，若於七~九月之夏季秋初時種植因整個生長期處於氣溫及日射量均較低的秋冬季，故最不利於水芋葉片生長。因此本研究分別選擇中部地區最適合的栽培季節（一月）及最不利生長的栽培季節（七月）期間，分別於 1999 年 1 月 14 日及 1999 年 7 月 29 日開始，並分別於 1999 年 11 月 15 日及 2000 年 5 月 30 日收穫，以進行期間氣象差異對芋葉生長發育之影響研究。圖 1 爲水芋兩年兩種植期之栽培試驗期間（1999 年 1 月至 2000 年 6 月）在農業試驗所各月份的平均氣溫（°C）及每月累積日射量（MJ/m²）之變化。試驗期間不同種植期之氣象環境迥然不同，一月種植期生長初期氣溫及日射量由低而高，至生長中期達到最高溫後即因進入秋季而氣溫及日射量逐漸變低；七月種植期生長初期氣溫及日射量由高而低，至生長中期達到最低溫後，到翌年春季之生長後期氣溫及日射量又開始回升。

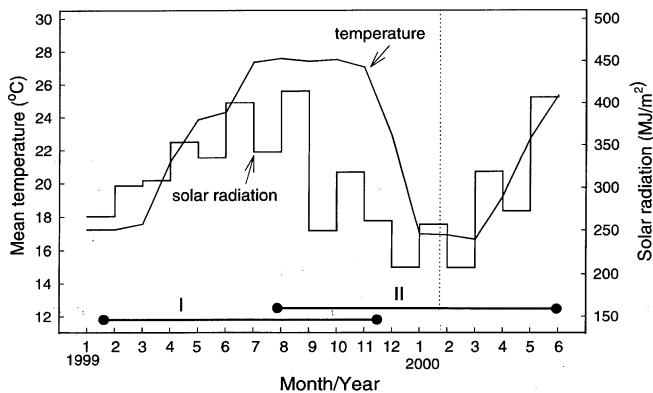


圖 1. 1999 年 1 月至 2000 年 6 月試驗期間在農業試驗所的每月平均日溫及累積日射量的變化。(I: 一月種植期; II: 七月種植期)

Fig.1. Daily mean temperature and monthly solar radiation at Taiwan Agricultural Research Institute, from January 1999 to June 2000. (I: January crop; II: July crop)

重複次數

根據陳等⁽²⁾以葉長及葉寬表示水芋葉面積方法之研究所得不同取樣時期之葉長及葉寬的平均值 (\bar{x}) 及標準機差 (S), 並設定信賴區間上下限值 (h) 在平均值之 5% 範圍內, 利用 $n \geq (t_{0.05} S/h)^2$ 公式 ($t_{0.05}$ 為 5% 顯著水準之 t 值臨界值), 可求得重複次數 (n) 應至少在 7.3 株以上。因此, 本研究試驗中兩品種於一及七月種植期均各種植 15 及 17 株 (由於七月種植期較不利芋植株生長, 故種植株數較多)。

性狀調查

就每一葉片自展開日起依植株生長發育之速率每隔 2~4 天, 以高解析度數位相機 (Agfa ePhoto 1680) 將每一葉片的影像連同比例尺照相存檔, 直到該葉片枯萎為止。每一植株的調查工作均至種植後第 10 個月收穫為止。將所獲得的數位影像檔, 利用 SigmaScan Pro 影像測量分析軟體⁽³⁸⁾ 進行葉片各性狀之定量分析。該軟體可以直接在電腦上測得影像的面積、角度、斜率、距離、圓周等測量值, 因此可用以進行芋葉各性狀之測量。所調查的芋之各種葉片性狀說明如圖 2, 並進而計算 L_X/W_X 、 L_{SA}/L_X 、 L_{SP}/L_X 、 $L_{B(R)}/L_X$ 、 $L_{B(L)}/L_X$ 、 W_P/W_X 、 W_S/W_X 及 W_B/W_X 之各種長寬度量間的比例。收穫時調查植株各部位鮮、乾重。

統計分析

將兩期作兩品種所有植株不同葉位在不同生長階段所測量的各種葉片性狀原始數據 (僅取第 1~27 葉位之自展開到枯黃皆有完整記錄的葉片), 分別取出其在葉片剛展開時、葉面積最大時、葉片開始枯黃時之不同生長狀態的完整葉片資料, 分別就期作、品種、葉位、葉片生長狀態下以植株為觀測值進行性狀間的相關分析, 然後藉此進行主成份分析, 以找出可用來描述芋之葉片大小及葉形的最適特徵值。根據主成份分析所得到的主要芋葉性狀特徵為指標, 探討芋之各葉位在全生育期內的葉片大小及形狀之相對生長關係, 並檢測其在不同品種及期作間之變異。最後探討芋葉大小及形狀之變化對球莖收穫產量的影響關係。

上述各項統計分析工作, 均依據 SAS 統計分析軟體⁽³⁴⁾ 於個人電腦建檔及運算, 並利用 SigmaPlot 軟體繪圖⁽³⁷⁾。

結 果

葉面積的生長變化

從種植後到 10 個月收穫止, 一般水芋植株可以產生 32~34 片葉。球莖的每節生出一葉, 但留在植株上的展開未枯萎的葉片, 除了種植後第 1 個月內僅有兩片葉以外, 大都維持在 5~6 片葉。水芋各葉位的葉面積生長變化, 如圖 3 所示。由於氣候上之差異, 一月種植期下兩品種都以生長到第 11~12 片葉時 (約種植後第 120 天) 的葉面積達一明顯高峰, 且高雄一號較檳榔心芋稍高, 高雄一號第 4~23 片葉的葉面積伸展也較大於檳榔心芋; 七月種植期則無明顯高峰存在, 且兩品種間的葉面積伸展趨勢變化無顯著差異。

葉形最適特徵指標之決定

分別就期作、品種、葉位、葉片生長狀態下以植株為觀測值進行性狀間的相關分析, 結果發現各種相關分析所得的係數結果皆一致, 因此以合併不同葉位和 3 種葉片生長狀態之植株平均值所得到的性狀間相關矩陣, 分別對兩期作和兩品種進行主成份分析, 結果各列於表 1, 2 (表 1 及表 2 中僅列出特性值大於 1.5 的前四個主成份分析結果)。由表 1 及表 2 得知, 不同期作和品種間的主成份分析結果, 皆相當一致, 前兩個主成份可反映所有芋葉特徵的基本面貌: 以第一主成份的貢獻率最高 (49%), 包含面積 (Area) 及所有長、寬度量 (L_X , L_{SA} , L_{SP} , $L_{B(R)}$, $L_{B(L)}$, W_X , W_P , W_S , W_B , $C_{(R)}$, $C_{(L)}$) 之與葉片大小有關的性狀, 它們的特性向量元素呈較大的正值, 這些性狀之間皆存在較大的正相關性; 第二主成份貢獻率為 12~14%, 由葉裂凹點至葉尖之主脈長對最大葉長的比例 (L_{SA}/L_X)、葉裂凹點至葉柄銜接點

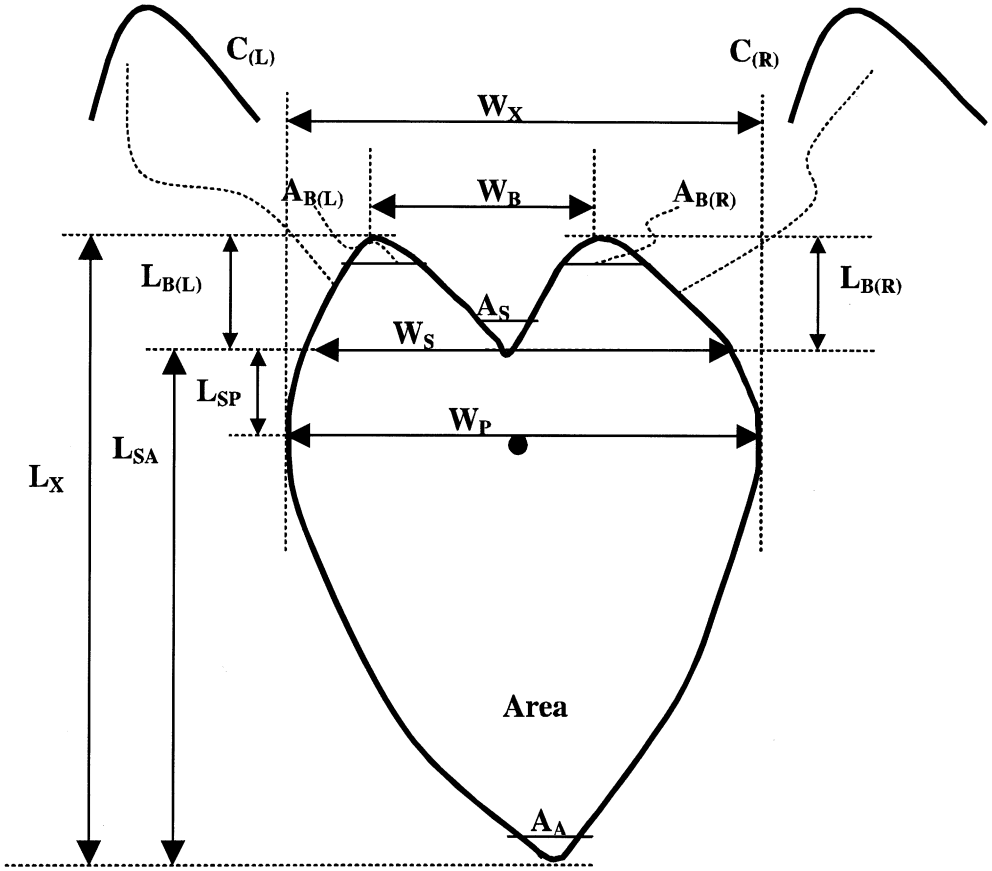


圖 2. 芋的葉片性狀測量圖。

Fig.2. Diagram of measurements taken on taro leaves.

Indication of symbols:

- L_x : Maximum leaf length (最大葉長)
- L_{SA} : Length from the sinus base to the apex of leaf along midrib (葉裂凹點至葉尖之主脈長)
- L_{SP} : Length from the sinus base to the petiole-attaching point of leaf (葉裂凹點至葉柄銜接點之長)
- W_x : Maximum leaf width (最大葉寬)
- W_p : Leaf width passing the petiole-attaching point and perpendicular to L_{SA} (通過葉柄銜接點並與 L_{SA} 垂直之葉寬)
- W_s : Leaf width passing the sinus base and perpendicular to L_{SA} (通過葉裂凹點並與 L_{SA} 垂直之葉寬)
- W_b : Distance between the tips of the right and left lobes (左右兩葉基尖端之距離)
- $L_{B(R)}$: Distance between the tip of right lobe and W_s (右葉基尖端與 W_s 垂直之距離)
- $L_{B(L)}$: Distance between the tip of left lobe and W_s (左葉基尖端與 W_s 垂直之距離)
- A_A : Angle of the apex (葉尖角度)
- A_s : Angle of the sinus (葉裂角度)
- $C_{(R)}$: Length of curved line on the right lobe arc (右葉基弧長)
- $C_{(L)}$: Length of curved line on the left lobe arc (左葉基弧長)
- $A_{B(R)}$: Angel of the right lobe tip (右葉基曲度)
- $A_{B(L)}$: Angel of the left lobe tip (左葉基曲度)
- Area** : Leaf area (葉面積)

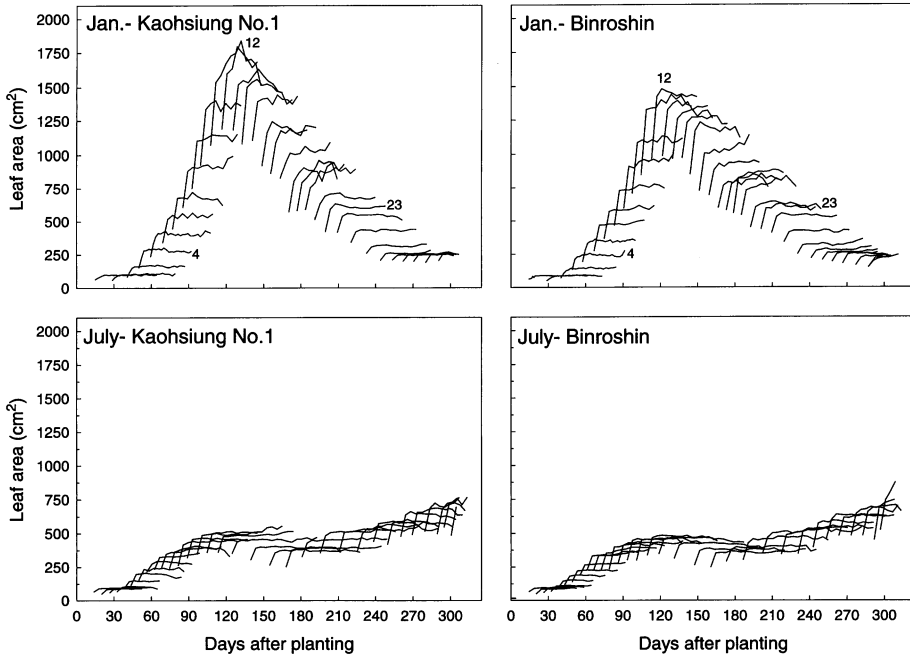


圖 3. 不同種植期及品種對水芋各葉位之葉面積的生長變化影響。(各曲線代表不同葉位之生長；圖中數字指向特定的葉位曲線)

Fig.3. Effects of planting times and varieties on the changes in leaf area for individual taro leaves at various leaf position during the growing period. (each curve for different leaf position; numbers in the figure indicate the specific leaf positions)

之長對最大葉長的比例 (L_{SP}/L_X)、左右兩葉基尖端各與 W_S 垂直之距離對最大葉長的比例 ($L_{B(R)}/L_X$, $L_{B(L)}/L_X$)、通過葉裂凹點並與 L_{SA} 垂直之葉寬對最大葉寬的比例 (W_S/W_X)、葉裂角度 (A_S)，共 6 個指標綜合構成芋葉形狀，其中 L_{SA}/L_X 、 L_{SP}/L_X 和 A_S 之間具有較大的正相關性，它們的第二主成份特性向量元素呈較大的正值；而 W_S/W_X 和 $L_{B(R)}/L_X$ 、 $L_{B(L)}/L_X$ 之間亦具有較大的相關性，且與前述一組性狀呈現明顯的負相關，它們的第二主成份特性向量元素呈突出的負值。至於傳統上以最大葉長對最大葉寬之比例 (L_X/W_X) 作為簡單葉形的指標，在本研究中屬於第三及第四主成份的表現性狀之一，該等成份的特性值與前兩個主成份比較變化甚小，貢獻率都低於 10%，且反映的規律性不明顯，分析價值不大。前兩個主成份雖然僅有 62~63% 的累計貢獻率，但仍不失為採納主成份分析的意義。因此，決定了葉裂凹點、葉柄銜接點、兩葉基尖端各至葉尖的相對位置，和兩葉基弧長的轉折點，再加上葉裂角度，應該足以描述及掌握芋葉的形狀特徵。

葉形的生長型式

進而比較這 6 個芋葉形狀特徵在各葉位的生長變化，並探討其不同期作和品種間的差異性，結果示如圖 4~9。結果發現，其中以葉裂凹點至葉尖之主脈長對最大葉長的比例 (L_{SA}/L_X)、左右兩葉基尖端各與 W_S 垂直之距離對最大葉長的比例 ($L_{B(R)}/L_X$, $L_{B(L)}/L_X$) 之三種葉形指標的生長曲線變化，看不出其在品種、期作、葉位及生長階段之間有明顯的差異 (圖 4,5,6)，但通過葉裂凹點並與 L_{SA} 垂直之葉寬對最大葉寬的比例 (W_S/W_X)、葉裂凹點至葉柄銜接點之長對最大葉長的比例 (L_{SP}/L_X)、和葉裂角度 (A_S) 之三種葉形指標的生長趨勢，在期作或品種之間則有差異 (圖 7,8,9)。綜觀圖 4~9 結果，各葉位的芋葉除了在剛展開之日稍有差異外，展開後期的葉片形狀均相當穩定，甚至到葉片開始枯黃

表 1. 水芋兩品種於一月種植期各葉片量化性狀的前四個主成份特性向量、特性值、貢獻率及累計貢獻率

Table 1. Eigenvectors and eigenvalues of first four principal components, contribution and cumulative contribution for each quantity characteristic of taro leaves for different taro varieties when planting on January

| Leaf characteristic ^z | Principal component eigenvector | | | | | | | |
|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | Kaohsiung No. 1 | | | | Binroshin | | | |
| | PRIN1 | PRIN2 | PRIN3 | PRIN4 | PRIN1 | PRIN2 | PRIN3 | PRIN4 |
| L _X | <u>0.287</u> ^y | -0.003 | -0.072 | 0.051 | <u>0.287</u> | -0.009 | -0.077 | -0.069 |
| L _{SA} | <u>0.286</u> | -0.033 | -0.082 | 0.056 | <u>0.286</u> | -0.039 | -0.080 | -0.083 |
| L _{SP} | <u>0.283</u> | -0.069 | 0.014 | 0.041 | <u>0.281</u> | -0.090 | 0.004 | -0.036 |
| W _X | <u>0.289</u> | -0.015 | 0.008 | 0.019 | <u>0.289</u> | -0.037 | -0.009 | -0.001 |
| W _P | <u>0.289</u> | -0.013 | 0.010 | 0.023 | <u>0.289</u> | -0.036 | -0.005 | -0.002 |
| W _S | <u>0.288</u> | 0.021 | 0.038 | 0.033 | <u>0.290</u> | 0.007 | 0.023 | -0.008 |
| L _{B(R)} | <u>0.270</u> | 0.127 | -0.011 | 0.017 | <u>0.271</u> | 0.139 | -0.036 | -0.046 |
| L _{B(L)} | <u>0.269</u> | 0.147 | -0.022 | 0.012 | <u>0.268</u> | 0.150 | -0.043 | 0.063 |
| W _B | <u>0.273</u> | -0.032 | 0.149 | 0.132 | <u>0.272</u> | -0.014 | 0.180 | -0.095 |
| L _X /W _X | -0.080 | 0.092 | <u>-0.511</u> | <u>0.214</u> | -0.066 | 0.172 | <u>-0.408</u> | <u>-0.387</u> |
| L _{SA} /L _X | 0.056 | <u>-0.480</u> | -0.193 | 0.088 | 0.050 | <u>-0.468</u> | -0.098 | <u>-0.241</u> |
| L _{SP} /L _X | 0.010 | <u>-0.298</u> | <u>0.403</u> | -0.096 | 0.014 | <u>-0.323</u> | <u>0.326</u> | 0.122 |
| L _{B(R)} /L _X | -0.047 | <u>0.373</u> | 0.192 | -0.084 | -0.021 | <u>0.406</u> | 0.141 | 0.057 |
| L _{B(L)} /L _X | -0.033 | <u>0.411</u> | 0.170 | -0.108 | -0.026 | <u>0.399</u> | 0.097 | <u>0.326</u> |
| W _P /W _X | 0.098 | 0.094 | 0.036 | <u>0.251</u> | 0.125 | 0.033 | 0.175 | -0.092 |
| W _S /W _X | -0.013 | <u>0.327</u> | <u>0.271</u> | 0.155 | 0.084 | <u>0.352</u> | <u>0.271</u> | -0.075 |
| W _B /W _X | -0.102 | -0.048 | <u>0.491</u> | <u>0.278</u> | -0.079 | 0.066 | <u>0.565</u> | -0.190 |
| A _A | 0.071 | 0.116 | 0.044 | <u>-0.520</u> | 0.043 | 0.001 | -0.143 | <u>0.543</u> |
| A _S | -0.023 | <u>-0.326</u> | <u>0.323</u> | <u>0.280</u> | -0.005 | <u>-0.216</u> | <u>0.443</u> | -0.070 |
| C _(R) | <u>0.281</u> | 0.072 | 0.025 | 0.022 | <u>0.283</u> | 0.079 | -0.001 | -0.019 |
| C _(L) | <u>0.281</u> | 0.074 | 0.020 | 0.020 | <u>0.281</u> | 0.089 | -0.001 | 0.029 |
| A _{B(R)} | 0.073 | -0.192 | 0.104 | <u>-0.401</u> | 0.058 | -0.190 | -0.005 | <u>0.443</u> |
| A _{B(L)} | 0.071 | -0.185 | 0.060 | <u>-0.465</u> | 0.067 | -0.201 | -0.001 | <u>0.304</u> |
| Area | <u>0.281</u> | -0.016 | 0.011 | -0.006 | <u>0.282</u> | -0.037 | 0.006 | 0.014 |
| Eigenvalue | 11.911 | 2.877 | 2.155 | 1.422 | 11.799 | 3.253 | 1.935 | 1.451 |
| Contribution (%) | 49.6 | 12.0 | 9.0 | 5.9 | 49.2 | 13.4 | 8.1 | 6.0 |
| Cumulative contribution(%) | 49.6 | 61.6 | 70.5 | 76.5 | 49.2 | 62.5 | 70.6 | 76.6 |

^z Definition of symbols same as in Fig. 2.

^y Relatively high positive or negative eigenvalues (bold and underline).

表 2. 水芋兩品種於七月種植期各葉片量化性狀的前四個主成份特性向量、特性值、貢獻率及累計貢獻率

Table 2. Eigenvectors and eigenvalues of first four principal components, contribution and cumulative contribution for each quantity characteristic of taro leaves for different taro varieties when planting on July

| Leaf characteristic ^z | Principal component eigenvector | | | | | | | |
|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| | Kaohsiung No. 1 | | | | Binroshin | | | |
| | PRIN1 | PRIN2 | PRIN3 | PRIN4 | PRIN1 | PRIN2 | PRIN3 | PRIN4 |
| L _X | <u>0.287</u> ^y | 0.061 | -0.035 | -0.079 | <u>0.284</u> | 0.058 | -0.063 | -0.070 |
| L _{SA} | <u>0.283</u> | 0.100 | -0.037 | -0.083 | <u>0.281</u> | 0.105 | -0.050 | -0.081 |
| L _{SP} | <u>0.271</u> | 0.168 | 0.019 | 0.025 | <u>0.267</u> | 0.189 | -0.003 | 0.025 |
| W _X | <u>0.284</u> | 0.046 | 0.128 | -0.089 | <u>0.282</u> | 0.067 | 0.108 | -0.096 |
| W _P | <u>0.284</u> | 0.043 | 0.134 | -0.070 | <u>0.282</u> | 0.065 | 0.117 | -0.079 |
| W _S | <u>0.284</u> | -0.017 | 0.135 | -0.042 | <u>0.283</u> | -0.000 | 0.127 | -0.055 |
| L _{B(R)} | <u>0.269</u> | -0.110 | -0.034 | -0.050 | <u>0.263</u> | -0.137 | -0.031 | 0.056 |
| L _{B(L)} | <u>0.266</u> | -0.138 | -0.009 | -0.051 | <u>0.266</u> | -0.114 | 0.032 | -0.127 |
| W _B | <u>0.284</u> | 0.018 | 0.041 | 0.064 | <u>0.281</u> | 0.034 | 0.053 | 0.084 |
| L _X /W _X | 0.060 | 0.062 | <u>-0.618</u> | 0.038 | 0.066 | -0.029 | <u>-0.619</u> | 0.067 |
| L _{SA} /L _X | -0.018 | <u>0.482</u> | -0.030 | -0.028 | -0.037 | <u>0.422</u> | 0.088 | -0.072 |
| L _{SP} /L _X | 0.029 | <u>0.331</u> | 0.126 | <u>0.364</u> | -0.003 | <u>0.377</u> | 0.139 | <u>0.317</u> |
| L _{B(R)} /L _X | 0.018 | <u>-0.374</u> | 0.002 | 0.020 | 0.028 | <u>-0.385</u> | 0.054 | <u>0.221</u> |
| L _{B(L)} /L _X | 0.035 | <u>-0.399</u> | 0.055 | -0.003 | 0.029 | <u>-0.358</u> | 0.175 | -0.159 |
| W _P /W _X | 0.035 | -0.065 | 0.174 | <u>0.554</u> | 0.045 | -0.060 | <u>0.232</u> | <u>0.477</u> |
| W _S /W _X | 0.027 | <u>-0.377</u> | 0.058 | <u>0.344</u> | 0.028 | <u>-0.409</u> | 0.125 | <u>0.287</u> |
| W _B /W _X | 0.127 | -0.053 | -0.186 | <u>0.518</u> | 0.132 | -0.051 | -0.087 | <u>0.536</u> |
| A _A | -0.035 | -0.022 | <u>0.581</u> | -0.003 | -0.050 | -0.000 | <u>0.577</u> | -0.094 |
| A _S | 0.068 | <u>0.315</u> | 0.054 | <u>0.334</u> | 0.070 | <u>0.334</u> | 0.011 | <u>0.370</u> |
| C _(R) | <u>0.281</u> | -0.064 | 0.013 | -0.035 | <u>0.278</u> | -0.079 | 0.041 | 0.002 |
| C _(L) | <u>0.279</u> | -0.077 | 0.033 | -0.037 | <u>0.277</u> | -0.067 | 0.063 | -0.087 |
| A _{B(R)} | -0.119 | 0.074 | <u>0.265</u> | -0.058 | -0.146 | 0.084 | <u>0.248</u> | -0.047 |
| A _{B(L)} | -0.138 | 0.080 | <u>0.236</u> | -0.091 | -0.153 | 0.054 | 0.156 | 0.059 |
| Area | <u>0.280</u> | 0.077 | 0.061 | -0.090 | <u>0.279</u> | 0.076 | 0.048 | -0.059 |
| Eigenvalue | 11.694 | 3.387 | 1.966 | 1.515 | 11.823 | 3.351 | 1.916 | 1.433 |
| Contribution (%) | 48.7 | 14.1 | 8.2 | 6.3 | 49.2 | 13.8 | 8.0 | 6.0 |
| Cumulative contribution (%) | 48.7 | 62.8 | 71.0 | 77.3 | 49.2 | 63.0 | 70.9 | 76.9 |

^z Definition of symbols same as in Fig. 2.^y Relatively high positive or negative eigenvalues (bold and underline).

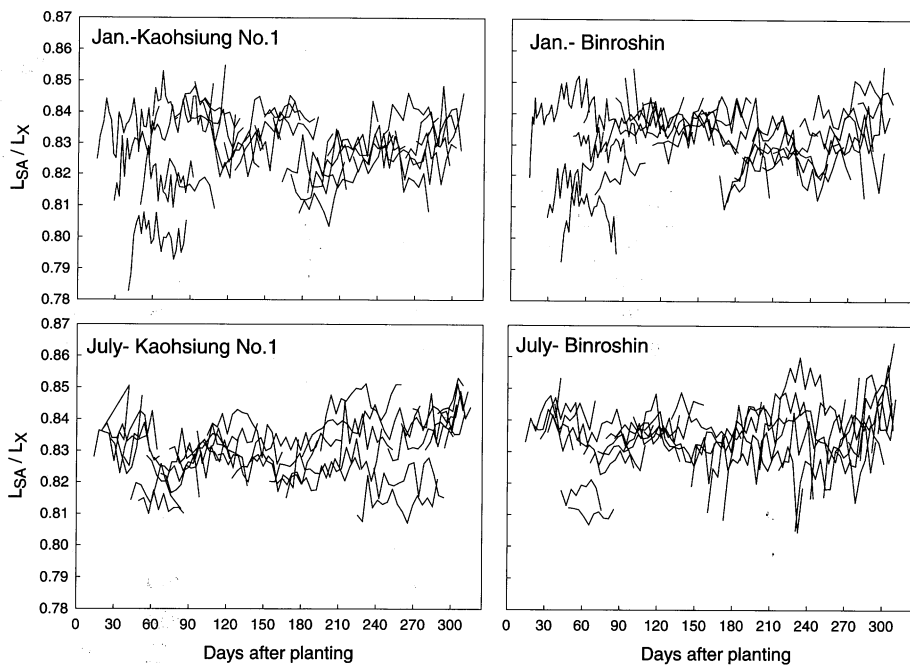


圖 4. 不同種植期及品種對水芋各葉位之葉裂凹點至葉尖之主脈長(L_{SA})對最大葉長(L_X)之比例的生長變化影響。(各曲線代表不同葉位之生長)

Fig. 4. Effects of planting times and varieties on the changes in ratio of length from the sinus base to the apex of leaf along midrib (L_{SA}) to maximum leaf length (L_X) for individual taro leaves at various leaf position during the growing period. (each curve for different leaf position)

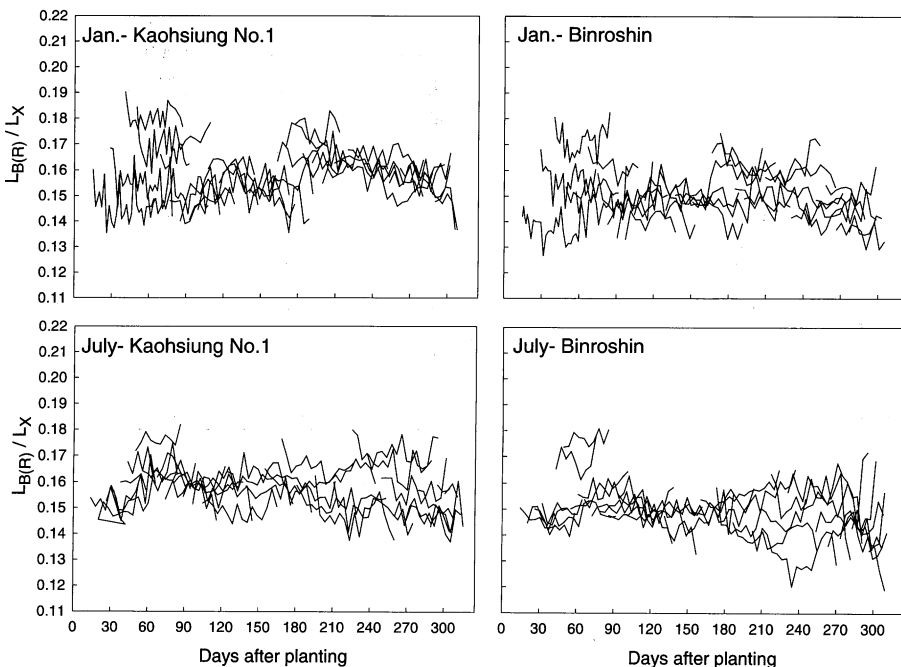


圖 5. 不同種植期及品種對水芋各葉位之右葉基尖端與 W_s 垂直之距離($L_{B(R)}$)對最大葉長(L_X)之比例的生長變化影響。(各曲線代表不同葉位之生長)

Fig. 5. Effects of planting times and varieties on the changes in ratio of distance between the tip of right lobe and W_s ($L_{B(R)}$) to maximum leaf length (L_X) for individual taro leaves at various leaf position during the growing period. (each curve for different leaf position)

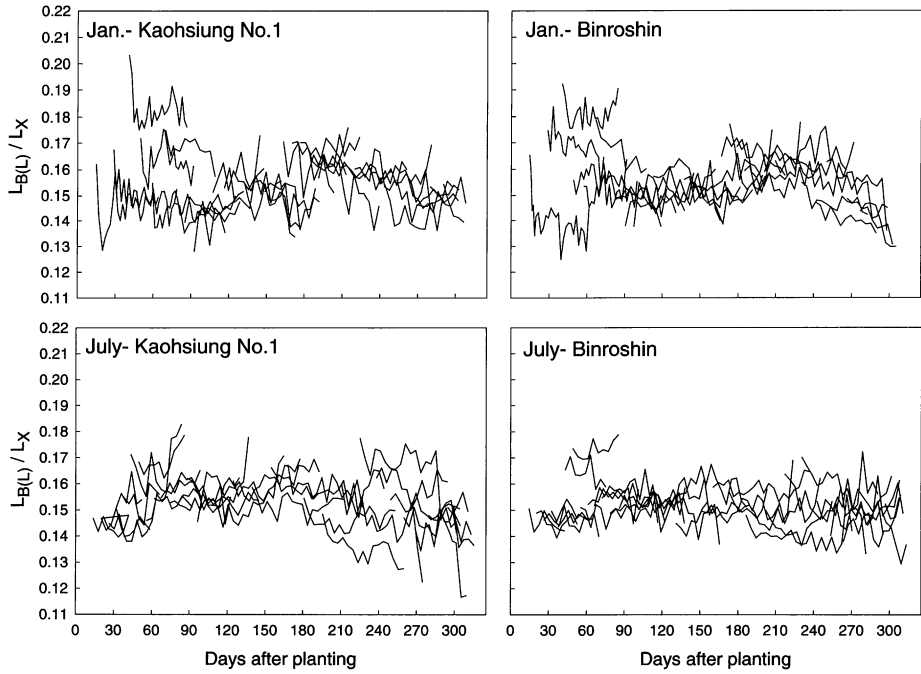


圖 6. 不同種植期及品種對水芋各葉位之左葉基尖端與 W_s 垂直之距離 ($L_{B(L)}$) 對最大葉長 (L_x) 之比例的生長變化影響。(各曲線代表不同葉位之生長)

Fig. 6. Effects of planting times and varieties on the changes in ratio of distance between the tip of left lobe and W_s ($L_{B(L)}$) to maximum leaf length (L_x) for individual taro leaves at various leaf position during the growing period. (each curve for different leaf position)

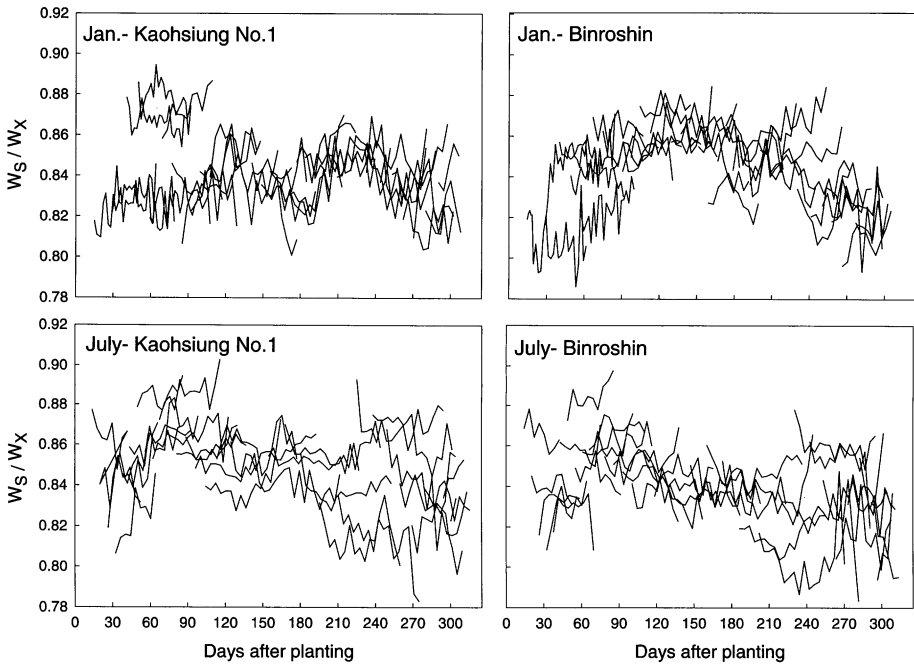


圖 7. 不同種植期及品種對水芋各葉位之通過葉裂凹點並與 L_{cA} 垂直之葉寬 (W_s) 對最大葉寬 (W_x) 之比例的生長變化影響。(各曲線代表不同葉位之生長)

Fig. 7. Effects of planting times and varieties on the changes in ratio of leaf width passing the petiole-attaching point and perpendicular to L_{cA} (W_c) to maximum leaf width (W_x) for individual taro leaves at various leaf position during

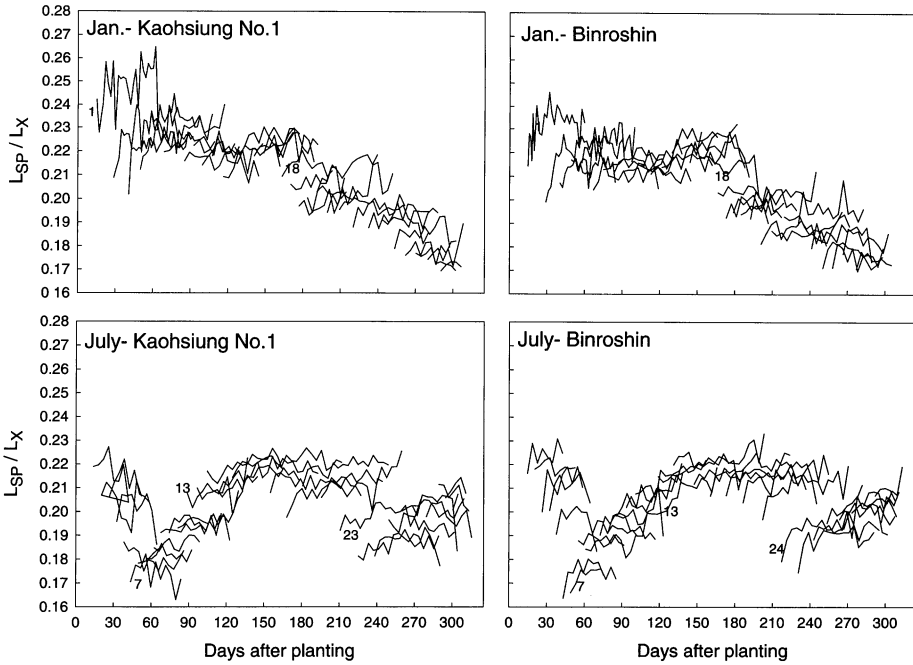


圖 8. 不同種植期及品種對水芋各葉位之葉裂凹點至葉柄銜接點之長 (L_{SP}) 對最大葉長 (L_X) 之比例的生長變化影響。(各曲線代表不同葉位之生長; 圖中數字指向特定的葉位曲線)

Fig. 8. Effects of planting times and varieties on the changes in ratio of length from the sinus base to the petiole-attaching point of leaf (L_{SP}) to maximum leaf length (L_X) for individual taro leaves at various leaf position during the growing period. (each curve for different leaf position; numbers in the figure indicate the specific leaf positions)

表 3. 不同葉片生長階段下水芋 6 個葉形指數和最大葉長與最大葉寬之比在不同品種及種植期間之差異性比較

Table 3. Comparison of 6 leaf shape indices, and ratio of maximum leaf length to maximum leaf width for different taro varieties and planting times under different leaf growing stages

| Leaf growing stage | Planting month | Variety | Leaf shape index ² | | | | | | Ratio of maximum leaf length to maximum leaf width (L_X/W_X) |
|---------------------------------------|----------------|-----------------|-------------------------------|----------------|----------------|-----------|--------------|----------|--|
| | | | L_{SA}/L_X | $L_{B(R)}/L_X$ | $L_{B(L)}/L_X$ | W_S/W_X | L_{SP}/L_X | A_S | |
| The first day after leaf expansion | Jan. | Kaohsiung No. 1 | 0.827 b ^y | 0.160 a | 0.159 a | 0.839 b | 0.205 a | 62.75 c | 1.516 c |
| | Jan. | Binroshin | 0.831 a | 0.152 b | 0.157 ab | 0.842 b | 0.200 b | 63.48 c | 1.549 a |
| | July | Kaohsiung No. 1 | 0.828 ab | 0.159 a | 0.155 bc | 0.850 a | 0.199 b | 68.96 a | 1.527 bc |
| | July | Binroshin | 0.828 ab | 0.150 b | 0.152 c | 0.843 b | 0.198 b | 66.09 b | 1.540 ab |
| The day when leaf having maximum area | Jan. | Kaohsiung No. 1 | 0.827 c | 0.160 a | 0.155 a | 0.843 b | 0.209 a | 71.18 c | 1.431 a |
| | Jan. | Binroshin | 0.833 ab | 0.150 b | 0.155 a | 0.844 b | 0.204 b | 72.34 bc | 1.441 a |
| | July | Kaohsiung No. 1 | 0.830 bc | 0.159 a | 0.153 a | 0.850 a | 0.203 b | 76.55 a | 1.442 a |
| | July | Binroshin | 0.835 a | 0.150 b | 0.152 a | 0.841 b | 0.204 b | 73.93 b | 1.432 a |
| The day when leaf started to wilt | Jan. | Kaohsiung No. 1 | 0.827 c | 0.159 a | 0.154 a | 0.843 b | 0.211 a | 71.44 b | 1.428 a |
| | Jan. | Binroshin | 0.833 b | 0.149 b | 0.154 a | 0.842 b | 0.205 b | 72.19 b | 1.442 a |
| | July | Kaohsiung No. 1 | 0.830 c | 0.158 a | 0.153 a | 0.851 a | 0.202 c | 75.89 a | 1.440 a |
| | July | Binroshin | 0.836 a | 0.150 b | 0.152 a | 0.842 b | 0.205 b | 74.29 a | 1.432 a |

²Definition of symbols same as in Fig. 2.

^y Within columns for each leaf growing stage, means followed by the same letter(s) are not significantly different based on Fisher's protected LSD at $P < 0.05$.

時葉片形狀仍維持不變，除非葉片枯萎捲曲，葉形才有明顯變化。而非如同本試驗自種植後即開始標記葉位，一般在田間栽培時是不可能分辨出實際的葉位，因此，進而分別就葉片剛展開日、葉面積最大時及葉片開始枯黃時之不同生長狀態下，以所有植株所有葉位之性狀觀測視爲重複（相當於在特定葉片生長階段時對所有試驗材料的葉片進行取樣），來比較 6 個葉形指標及最大長寬比例之傳統指標在不同品種和期作間的差異性，結果示如表 3。

芋葉的兩個葉基大小其實並不一致，此可由表 3 之差異性分析結果獲知：兩品種的左葉基大小相當 ($L_{B(L)}/L_X$ 在兩品種間無顯著差異)，但高雄一號的右葉基尖端與 W_S 垂直之距離對最大葉長的比例 ($L_{B(R)}/L_X$) 顯著大於檳榔心芋。因此從芋葉外觀來看，於是突顯出高雄一號的右葉基稍大於左葉基，而檳榔心芋則是左大於右。同時這種存在於品種間的兩葉基之不對稱性，並不會因葉位、生長時間、期作而異。無論是葉片剛展開時、葉面積最大時或葉片開始枯黃時，高雄一號在一月種植期的葉裂凹點至葉尖之長對最大葉長之比例 (L_{SA}/L_X) 似乎都較其他品種或期作所得結果稍低 (表 3)。

通過葉裂凹點並與 L_{SA} 垂直之葉寬對最大葉寬之比例 (W_S/W_X) 的生長曲線除了檳榔心芋在一月種植期有明顯不同外，高雄一號在兩期作間的 W_S/W_X 生長曲線並無太大差異，且與檳榔心芋之七月種植期結果相似，即各葉位隨生長無太大變化 (圖 7)。檳榔心芋在一月種植期環境下之植株生長初期，通過葉裂凹點並與 L_{SA} 垂直之葉寬對最大葉寬之比例值較低，而後逐漸升高，但到植株生長後期，該比例值又變低 (圖 7)。因此導致葉片在剛展開和開始枯黃時，檳榔心芋在一月種植期的通過葉裂凹點並與 L_{SA} 垂直之葉寬對最大葉寬之比例值顯得略高，但在葉面積最大時該比例與其他期作或品種間便無明顯差異 (表 3)。

葉裂凹點至葉柄銜接點之長對最大葉長之比例 (L_{SP}/L_X) 的生長變化，兩品種間一致但在不同期作間有明顯差異：在一月種植期下，兩品種皆以第 1 片葉的葉柄銜接點離葉裂凹點最遠 (L_{SP}/L_X 值最大)，第 2~18 片葉之間則均保持固定距離，之後 (約在種植後第 180 天) 兩點間便逐漸接近；兩品種在七月種植期下，自種植後隨著植株生長，葉柄銜接點與葉裂凹點間的距離便逐漸拉近，到第 7 葉起 (種植後約第 60 天) 兩點間距離又逐漸遠離，到第 13 片葉 (種植後約 120 天) 起保持固定距離，然後第 23、24 葉 (種植後約第 210 天) 起又稍近 (圖 8)。無論是葉片剛展開時、葉面積最大時或葉片開始枯黃時，高雄一號在一月種植期的葉裂凹點至葉柄銜接點之長對最大葉長之比例似乎都較其他品種或期作所得結果稍高 (表 3)。

葉裂角度 (A_S) 的生長變化在兩品種間一致，但在不同期作間有明顯差異：一月種植期下，兩品種皆以第 13 片葉 (種植後約 120 天) 之前的葉裂角度較大，而後則變小；七月種植期下，葉裂角度的表現相當穩定，並不因葉位、品種而異 (圖 9)。無論是葉片剛展開時、葉面積最大時或葉片開始枯黃時，兩品種的葉裂角度均以七月種植期較一月種植期爲大，且以高雄一號在一月種植期的葉裂角度最小 (表 3)。

至於傳統上常用爲簡單葉形指標的最大葉長對最大葉寬比例 (L_X/W_X)，兩品種在兩期作都呈現一致的生長曲線：隨著植株生長，該比例值隨著葉位次序有逐漸緩慢增加的趨勢 (圖 10)。同時芋葉在剛展開時該比例值較不穩定且較高於其他生長階段，之後便趨於穩定 (圖 10)。同一生長階段 (混合不同葉位) 內兩品種在不同期作間之 L_X/W_X 均無顯著差異 (表 3)。

球莖產量在品種及期作間之差異比較

水芋植株於收穫時各部位鮮、乾重及其佔全株之比例在期作與品種間均無顯著交感存在。一月種植期的葉片及葉柄鮮乾重及其佔全株之比例均極顯著小於七月種植期，但其球莖鮮乾重及其佔全株之比例則極顯著較大 (表 4)。七月種植期下，兩品種各部位的鮮乾重均無顯著差異；一月種植期下高雄一號的球莖鮮乾重略高於檳榔心芋，而葉片鮮乾重則兩品種間無顯著差異；但若由各部位鮮乾重佔全株比例值來看，同一期作兩品種間均無顯著差異 (表 4)。由此看來，期作間氣候差異變化對水芋收穫產量之影響最鉅。

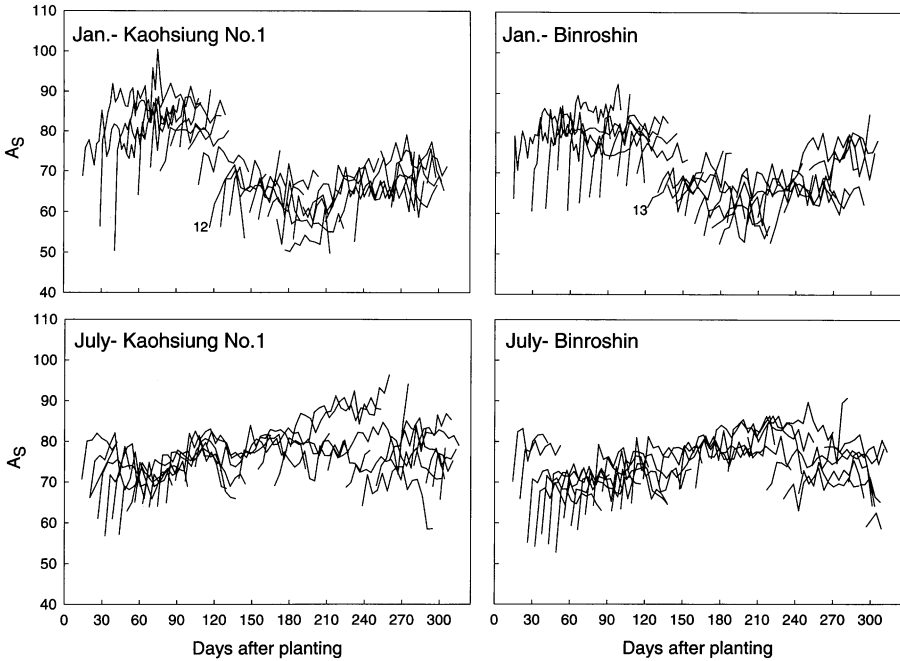


圖 9. 不同種植期及品種對水芋各葉位之葉裂角度 (A_s) 的生長變化影響。(各曲線代表不同葉位之生長；圖中數字指向特定的葉位曲線)

Fig. 9. Effects of planting times and varieties on the changes in angle of the sinus (A_s) for individual taro leaves at various leaf position during the growing period. (each curve for different leaf position; numbers in the figure indicate the specific leaf positions)

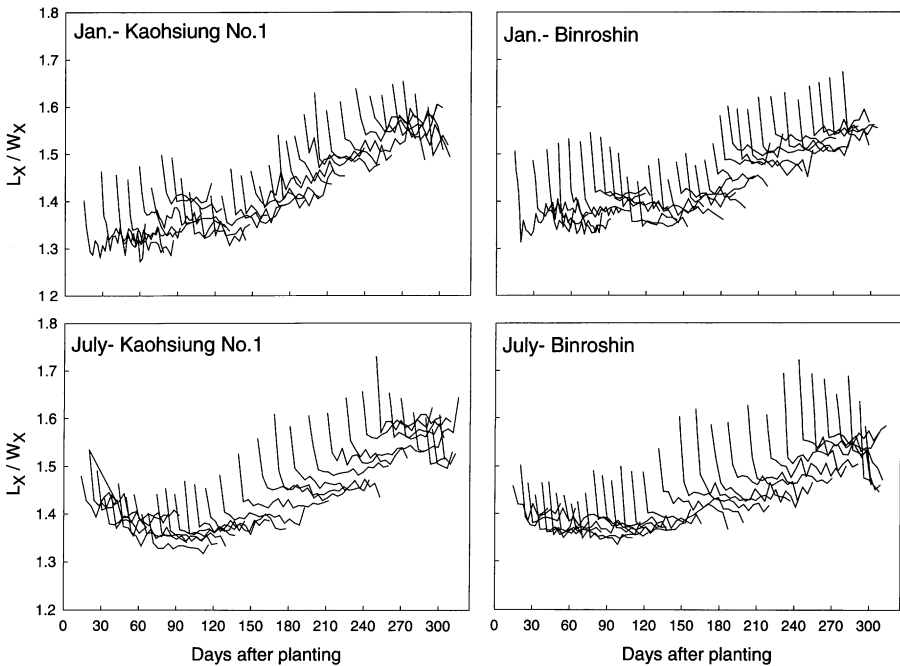


圖 10. 不同種植期及品種對水芋各葉位之最大葉長 (L_x) 對最大葉寬 (W_x) 之比例的生長變化影響。(各曲線代表不同葉位之生長)

Fig. 10. Effects of planting times and varieties on the changes in ratio of maximum leaf length (L_x) to maximum leaf width (W_x) for individual taro leaves at various leaf position during the growing period. (each curve for

表 4. 水芋植株於收穫時各部位鮮花重及其佔全株之比例在品種及種植期間之差異比較

Table 4. Harvested matter weight and its partitioning ratio(%) for different fractions of wetland taro varieties under different planting times

| Planting month | Variety | Fresh weight(g) | | | Dry weight(g) | | | Partitioning ratio of fresh weight(%) | | | Partitioning ratio of dry weight(%) | | |
|----------------|-----------------|--------------------|---------|-------|---------------|---------|------|---------------------------------------|---------|--------|-------------------------------------|---------|--------|
| | | Leaf | Petiole | Corm | Leaf | Petiole | Corm | Leaf | Petiole | Corm | Leaf | Petiole | Corm |
| Jan. | Kaohsiung No. 1 | 37.3b ² | 102.3b | 1274a | 6.2b | 8.8b | 441a | 2.63b | 7.18b | 90.19a | 1.36b | 1.92b | 96.72a |
| Jan. | Binroshin | 28.8b | 74.8b | 1103b | 4.9b | 6.3b | 380b | 2.42b | 6.21b | 91.37a | 1.30b | 1.64b | 97.06a |
| July | Kaohsiung No. 1 | 98.8a | 377.8a | 581c | 17.5a | 34.1a | 211c | 9.60a | 36.25a | 54.15b | 6.94a | 13.33a | 79.73b |
| July | Binroshin | 98.0a | 351.2a | 548c | 17.8a | 31.2a | 203c | 9.90a | 35.32a | 54.78b | 7.14a | 12.50a | 80.34b |

² Within columns, means followed by the same letter are not significantly different based on Fisher's protected LSD at P<0.05.

討 論

傳統上使用長對寬之比例作為葉形指標有兩個主要理由⁽³⁰⁾：一為直覺上比例是一種可以將大小差異標準化的方式，例如無論葉長為 1 公分或 1 公尺，長寬比同為 3 的葉片具有類似的形狀；二為比例易於計算且僅需一對測量值。但對於比例作為葉形指標的爭論一直存在⁽³⁰⁾，如 Atchley (1978)⁽¹¹⁾及 Atchley 等 (1978)⁽¹²⁾指出比例的分佈並非常態，較原始變數呈右偏尖峰，此造成信賴區間難以評估；再者，比例無法標準化大小，比例與大小兩變數間往往存在相當高的相關⁽³⁰⁾。於是針對相對生長的特性，有些學者認為以兩性狀間的迴歸分析所得的迴歸係數作為指標，其分析結果與比例相較，更適於發育路徑的比較^(14,26,39)。但比例的描述及直覺性用途在分類工作上仍有其定位，只不過應避免作為分類界定的數量方法⁽³⁰⁾。芋的葉片呈橢圓或心臟形，因此在描述芋葉形狀時，不單是特定的長寬比例，葉基大小、葉裂深淺及葉柄銜接點的位置，也可能是左右芋葉形狀的重要因素之一。而此由本研究的主成份分析結果獲得印證，從各種可能葉形度量性狀中並可以將其簡化為 6 個葉形指標，亦即決定了葉裂凹點、葉柄銜接點、兩葉基尖端各至葉尖的相對位置，和兩葉基弧長的轉折點，再加上葉裂角度，便能充分描述及掌握芋葉的形狀特徵。

綜觀圖 3~10 和表 3 之分析結果，各葉位的芋葉在剛展開時均較展開後期面積較小、狹長 (L_X/W_X 較大)、葉裂凹陷較深 (L_{SP}/L_X 較小)、葉裂角度 (A_S) 也較小 (根據目視觀察所得，此時的葉片較薄，具薄層角質層)，隨後葉片的大小及形狀便趨於穩定 (葉片變厚且具厚層角質層)，直到葉片開始枯黃時葉片大小及形狀仍維持不變，但很快地在 2~3 天內葉片漸枯萎，由於葉緣嚴重捲曲，葉形才有明顯變化，面積也縮小。因此，在判別期作及品種間的葉形大小及形狀之差異性時，取正常且完全展開的葉片來作比較，會比較理想。左右兩葉基間大小上的差異，似乎可以作為利用葉形區分品種的一個參考：高雄一號右葉基稍大於左葉基，而檳榔心芋則左大於右。期作間氣候差異對芋之葉形的影響，僅在於葉裂角度和葉裂凹點至葉柄銜接點之長對最大葉長之比例，故若僅簡單地從最大葉長對最大葉寬比例之傳統葉形指標來看芋的葉形，由於其不因期作和品種而異，就看不出芋葉形狀真正些微的差異了。固然，一般認為植物結構大小的改變主要反映出環境條件的變異，而植物形狀之變化則偏向於與環境無關，而較屬遺傳性的。但葉形變異發生在每一層級：個體、族群、類屬內及其之間，在某些類別，發育過程中相對環境條件下能促發葉形產生明顯可辨的外表型差異⁽¹⁸⁾。亦即外在環境的差異變化，對一些較敏感的作物而言，仍有可能影響其葉片長度或寬度之伸長。由於長、寬伸長程度上的差異，造成長寬之比例的改變，便形成某些葉形特徵的變化，進而影響葉片表面積的擴展，如本研究芋葉的葉裂角度和葉裂凹點至葉柄銜接點之長對最大葉長之比例的生長型式受期作氣候差異之影響而異。其中以高雄一號在一月種植期的葉裂凹點至葉尖之長對最大葉長之比例 (L_{SA}/L_X) 較低、葉裂凹

點至葉柄銜接點之長對最大葉長之比例 (L_{SP}/L_X) 較高，且葉裂角度 (A_S) 也較小 (圖 4,8,9 及表 3)，表示高雄一號在一月種植期生長環境下葉片形狀相對地較七月種植期之表現有些不同，其葉裂較深，且葉柄銜接點的位置似乎較偏向葉片中央。而檳榔心芋在一月種植期的葉裂角度較小於七月種植期，但葉柄銜接點的位置則沒有明顯差異 (表 3)。顯然，葉裂角度存在有遺傳與環境之交感作用。而 Dickinson 等 (1987) (17) 亦指出，個體內發生葉形變異可能也與環境無關，而是正常發育形式的一部分，像是莖上葉位次序間最為明顯，因此造成植株幼葉和成葉之間在葉片形態上明顯差異 (25)，Goebel (1900) (21) 以異胚胎性 (heteroblasty) 來描述這種差異現象。因此，本研究芋之各葉位在剛展開時較其他生長階段之葉形有明顯差異，應是芋作物正常發育形式的一部分，與環境無關。

芋收穫為球莖，球莖的生長於植株生育初期即已開始，此與一般禾穀類作物不同。當球莖開始形成，球莖和地上部頂端的新葉就變成積儲，且兩者在整個生育期中佔有相當長的時間，而地上部可行光合作用的葉片及葉柄即變成供源。如果供源無法充份分配供給時，則球莖與新葉之間發生相互競爭光合產物。所以在根莖作物生長中供源與積儲的關係較禾穀類複雜 (1)。故欲獲得高產，必須在植株生長前期有較大的葉面積以供光合作用，中後期保持葉片不衰敗，以延長光合作用時間，為球莖膨大提供更多的養分。Miyazaki (1960) (28) 調查芋的葉同化量，以第 7~8 片到 10~12 片的葉位為最大，第 12~14 葉以上同化量顯著下降。本省中部地區水芋栽培，由於氣候上之差異，一月適栽期亦以生長到第 11~12 片葉時的葉面積達到最大，之後則快速降低，使葉片大小的生長曲線呈現一明顯高峰，但倘於七月種植則無明顯高峰，且第 4~23 片葉的葉面積都甚小於一月種植期 (圖 3)，故葉同化量不如一月種植期，致球莖產量降低 (表 4)。在一月種植期下，高雄一號第 4~23 片葉的葉片面積伸展也稍大於檳榔心芋 (圖 3)，因此高雄一號的球莖鮮乾重略高於檳榔心芋 (表 4)。由此可知，在地上部生長旺盛期芋葉若能保持較大的葉面積，當能獲得較高的球莖產量。而高雄一號在一月種植期的葉裂凹點至葉尖之長對最大葉長之比例 (L_{SA}/L_X) 較低，但葉裂凹點至葉柄銜接點之長對最大葉長之比例 (L_{SP}/L_X) 較高 (圖 4,8 及表 3)，此顯示出高雄一號在一月種植期的葉面積優勢，應是其葉裂凹點至葉柄銜接點之長度延伸較快所致。

就數值分類學而言，客觀的相似性評估必須利用性狀的準確數據描述始能獲得。葉面積測定一般採用葉面積測量儀，因為此法既簡便又精確，唯須將葉片剪下測定，不能觀察到葉片連續生長的變化情形，為其缺點。利用數位影像系統，以數位相機及影像測量軟體的搭配，不但可以永久保存葉片影像，並可提供非破壞性取樣、自動化、簡便快速、精確度高且可一再重複使用的葉片測定方法，此將取代過去之葉面積測量儀、印畫法、影像投射法或數位顯示板法等，對往後進行任何作物之葉形定量分析及分類工作均很有幫助。

誌 謝

本研究承蒙行政院國家科學委員會補助經費 (NSC88-2313-B-055-009, NSC89-2313-B-055-002, NSC89-2313-B-055-009)，特此誌謝。

引用文獻

1. 朱德民。1988。作物生產過程。國立中興大學教務處出版組印。第 101-116 頁。
2. 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 171:22-34。
3. 高景輝、湯文通。1977。植物生長與分化。國立臺灣大學農學院印行。第 142-149 頁。
4. 陳美惠。1987。菸草葉片性狀間相對生長之研究。國立台灣大學農藝學研究所碩士論文。
5. 陳烈夫、呂椿棠、呂秀英、賴吉雄。1993。水田栽培檳榔心芋葉面積之簡易估算法。中華農業研究 42:162-172。

6. 陳烈夫、呂秀英、呂椿棠、賴吉雄。1994。水芋葉面積與乾物質生產之關係。中華農業研究 44:59-71。
7. 陳烈夫、呂椿棠、呂秀英。1997。水芋葉面積指數動態的季節性變異。中華農業研究 46:262-277。
8. 鄔宏潘、陳美惠。1988。葉面積與葉形的測定方法及其應用。科學農業 63 (9-10) : 272-281。
9. 黃賢喜、陳東鐘、韓青梅。1989。芋品種「高雄一號」之育成。臺灣省高雄區農業改良場研究彙報 2 : 52-71。
10. 雜糧作物各論。III、根及莖類。1994。臺灣省雜糧發展基金會成立二十週年紀念專輯之一。第 1665-1735 頁。
11. Atchley, W. R. 1978. Ratios, regression intercepts and the scaling of data. Syst. Zool. 27:78-83.
12. Atchley, W. R., and D. Anderson. 1978. Ratios and the statistical analysis of biological data. Syst. Zool. 27: 71-78.
13. Auld, B. A., M. D. Dennett, and J. Elston. 1978. The effect of temperature changes on the expansion of individual leaves of *Vicia faba* L. Ann. Bot. 42:877-888.
14. Bookstein, F. L. 1978. The measurement of biological shape and shape change. Lecture notes in Biomathematics, Vol. 24. pp191, Springer-Verlag, Berlin.
15. Causton, D. R. and J. C. Venus. 1981. The Biometry of Plant Growth. Edward Arnold, London, 307p.
16. Deschamp, P. A. and T. J. Cooke. 1984. Causal mechanisms of leaf dimorphism in the aquatic angiosperm callitriche heterophylla. Amer. J. Bot. 71:319-329.
17. Dickinson, T. A., W. H. Parker, and R. E. Strauss. 1987. Another approach to leaf shape comparisons. Taxon 36: 1-20.
18. Dolph, G. E. 1978. A proposal for data banking leaf information. Courier Forsch. Inst. Senckenberg. 30:159-164.
19. Gates, D. M. 1980. Biophysical ecology. Springer-Verlag, Berlin, 611p.
20. Gill, J. A. and A. J. Davy. 1984. Variation due to environment and heredity in Birch transplanted between heath and bog. New. Phytol. 97:489-505.
21. Goebel, K. 1900. Organography of Plants. I. General Organography (English translation by I. B. Balfour). Reprinted by Hafner, New York, 270p.
22. Hill, R. S. 1980. A numerical taxonomic approach to the study of angiosperm leaves. Bot. Gaz. 141:213-229.
23. Hirai, M., T. Sato, and K. Takayanagi. 1989. Classification of Japanese cultivars of taro (*Colocasia esculenta*) (L.) Schott) based on electrophoretic pattern of the tuber proteins and morphological characters. Japan. J. Breed. 39:307-317.
24. Jacobs, B. C. and V. Chand. 1992. Large headsets and improved cultivar enhance growth and development of taro (*Colocasia esculenta* [L.] Schott) during establishment. J. Agron. Crop Sci. 168:119-127.
25. Jones, C. S. 1995. Does shade prolong juvenile development? A morphological analysis of leaf shape changes in *Cucurbita argyrosperma* subsp. *Sororia* (Cucurbitaceae). Amer. J. Botany 82:346-359.
26. Maksymowich, R. 1973. Analysis of leaf development. Cambridge University Press, 109p.
27. Melville, R. 1937. The accurate definition of leaf shapes by rectangular coordinates. Ann. Bot. 14:673-679.
28. Miyazaki, Y. 1960. Seasonal changes of photosynthetic activity and physiological conditions in leaves of *Colocasia esculenta* Schott. J. Japanese Soc. Hort. Sci. 29:21-26.
29. Parkerhurst, D. F., P. R. Duncan, D. M. Gates, and F. Kreith. 1968. Windtunnel modelling of convection of heat between air and broad leaves of plants. Agric. Meteorol. 5:33-47.
30. Phillips, R. B. 1983. Shape characters in numerical taxonomy and problems with ratio. Taxon 32:535-544.
31. Richards, F. J. 1969. The quantitative analysis of growth. In Plant Physiology, VA. Ed. F. C. Steward. pp.1-76. Academic Press, London.
32. Renfroe, M. and R. W. Brown. 1983. Changes in cytokinin concentration during early development of American sycamore leaves. Can. J. Bot. 61:1931-1934.
33. Sanderson, J. B., T. B. Daynard, and M. Tollenaar. 1981. A mathematical model of the shape of corn leaves. Can. J. Plant Sci. 61:1009-1011.
34. SAS Institute Inc. 1989. SAS/STAT User's Guide. Version 6. Fourth ed., Vol. I. SAS Inst. Inc., Cary, N.C., USA. 943p.
35. Satou, T., M. Kawai and T. Fukuyama. 1978. Studies on matter production of taro plant (*Colocasia esculenta* Schott). Japan. J. Crop Sci. 47:425-430.
36. Satou, T., E. Miyauchi and H. Sugimoto. 1988. Studies on matter production of taro plant (*Colocasia esculenta* Schott). Japan. J. Crop Sci. 57:305-310.

37. SigmaPlot User's Manual. 1997. Jandel Scientific Cor., 463p.
38. SigmaScan & SigmaScan Pro User's Manual. 1995. Jandel Scientific Cor., 456p.
39. Sweet, S. S. 1980. Allometric inference in morphology. Amer. Zool. 20:643-652.
40. Tanimoto, T. 1990. Distribution and morphological characteristic of wild taro in Japan and Taiwan. Japan. J. Breed. 40:233-243.
41. Taylor, S. E., and D. M. Gates. 1970. Some field methods for obtaining meaningful leaf diffusion resistances and transpiration rates. Oecol. Plant 5:105-113.
42. Terry, N., L. J. Waldron, and S. E. Taylor. 1983. Environmental influence and leaf expansion. pp. 179-205. In J. E. Dale and F. L. Milthorpe. (ed.) The Growth and Functioning of Leaves. Cambridge, London.
43. Verwijst, T. and D.Z. Wen. 1996. Leaf allometry of *Salix viminalis* during the first growing season. Tree Physiology 16:655-660.

Seasonal Variation and Quantitative Analysis of Growth Patterns in Size and Shape for Taro Leaves¹

Hsiu-Ying Lu^{2,4}, Meng-Li Wei², Chun-Tang Lu² and Lit-Fu Chan³

Summary

Productivity of corm is determined by the adequate growth of leaves in taro (*Colocasia esculenta* [L.] Schott). The development and growth of leaves vary with the environmental factors. The difference in rates of expansion of leaf surface can lead to the variation in leaf size and leaf shape. This study was to investigate the morphological changes occur in the taro leaves and examine the influence of climatic factors on the leaf size and leaf shape of taro during the growth periods. Binroshin taro and its improved cultivar "Kaohsiung No. 1" were used as materials. The experiments were conducted in two crop seasons at Taiwan Agricultural Research Institute. After leaf expanding, measurements were made every 2-4 days depending on the speed of plant development, until leaf is senescent and die. We used digit camera to capture images of the individual leaves and then used image measurement software to determine the image quantification. At harvest, fresh and dry matter weights for different fractions of each taro plant were measured. The principal components analysis showed the first component summarized size variation, while the second contrasted shapes. The shape component was determined by six indices together. Leaf shape of taro was appropriately described by determining the relative positions of the sinus base, the petiole-attaching point of leaf, the lobe tips to the apex, respectively, and the turning points of two lobe tips as well as the angle of sinus. The juvenile leaves were frequently narrower, longer and more lobed, but similar in their shape forms to mature leaves. The cultivar "Kaohsiung No. 1" had the greater right lobe, while Binroshin taro had the greater left lobe. Climatic factors influenced the leaf growth of taro. Rising temperature and higher solar radiation during the vigorous top-growth stage for January crop increased the rate of leaf expansion. This favored corm yield at maturity for January crop. On the other hand, declining temperature and lower solar radiation during the vigorous top-growth stage for July crop decreased the rate of leaf expansion. This resulted in poor yield at maturity. Planting times affected the growth patterns of the angle of sinus, and the ratio of length from the sinus base to the petiole-attaching point of leaf to maximum leaf length. The cultivar "Kaohsiung No. 1" grown in January had more rapid expansion in the ratio of length from the sinus base to the petiole-attaching point of leaf to maximum leaf length than that for the July crop and Binroshin taro. This resulted in greater leaf area, which in turn, favored corm yield at maturity.

Key words: Taro, Leaf size, Leaf shape, Principal components analysis, Image processing system, Climatic factor.

1. Contribution No.2112 from Taiwan Agricultural Research Institute, Council of Agriculture. Accepted by May10, 2002.

2. Senior Statistician, Assistant Agronomist and Assistant Agronomist, Department of Agronomy, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.

3. Assistant Agronomist, Office of Farm Management, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.

4. Corresponding author; E-mail: iying@wufeng.tari.gov.tw; Fax:(04)23302806.