

巨竹與馬來麻竹物質生產之比較研究

高毓斌

摘 要

爲了解巨竹與馬來麻竹物質生產之過程，及其與生產結構之關係，以作爲生產力改良之基礎，本研究係以造林15年後已完全鬱閉之竹林爲材料，探討育林施業如擇伐老竹、施用化學肥料或覆以土壤等措施，對其竹筍生產及枯死之影響，並由相對生長式之導出，以估算並比較生物量生產及積聚之式樣，配合地上部有機物回歸量之測定，藉以估算此二竹種在不同育林施業時之淨初生產量及物質分配。

無論是巨竹或馬來麻竹，在施行改良作業後，發筍期均將延長，發筍量增加，退筍率降低，而新竹生物量之年生產量、地上部有機物脫落量、淨初生產量及生產效性，亦均增加。就竹種比較結果而言，馬來麻竹之淨初生產量及生產效性，均較巨竹爲高。

由於此二竹種兼具常綠林及落葉林物質生產之優點，林分生產力乃能較一般森林爲高。

關鍵詞：生物量，淨初生產量，產筍率，退筍量，脫落有機物，生產效性。

高毓斌 1991. 巨竹與馬來麻竹物質生產之比較研究. 林業試驗所研究報告季刊. 6(3):249-282.

Comparative Study on the Dry Matter Productions of *Dendrocalamus giganteus* and *D. asper*

Yu-ping Kao

[Summary]

This study was investigate the sprout growth and stand productivity of *Dendrocalamus giganteus* and *D. asper* after treatments including thinning the over-matured bamboos, chemical fertilizer application and mulching soils on above-ground rhizomes. The study site is a 15-year old plantation in completely closed stands with sparse annual emerging sprouts and high abortion rate. The number and survival ratio of annual emerging sprouts were significantly increased three years following the tending practices particularly in plots with combined treatment of thinning, fertilization and mulching. Similar peak of leaf-fall from April to June were observed for both species. The pattern of litterfall remained constant, however, the amount of litterfall were increased with the increasing biomass accumulation. The productivity attributes, including the biomass production of currently sprouted bamboos, the biomass increaments of the parent bamboos and the net primary production

1990年12月送審

1990年12月通過

(NPP) of the stands were all dramatically promoted after improving the stand structures, especially with the combined practices. The highest NPP of *D. giganteus* and *D. asper* were estimated as 36.9 and 36.6 ton/ha/yr, respectively. The production efficiency was decreased with the increasing of leaf area index (LAI) for both species. The dry matter production efficiency was 2.2 times higher in *D. asper* than *D. giganteus*. Generally, the NPP should increase proportionally to the increasing of LAI. However, the NPP of *D. asper* will decrease when LAI was above 4. The critical LAI point estimated for *D. giganteus* was 6.

Key Words: biomass, net primary production, sprouts production, abortion rate, litter-fall, production efficiency

Kao Yu-ping 1991. Comparative Study on the Dry Matter Production of *Dendrocalamus giganteus* and *D. asper*. Bull. Taiwan For. Res. Inst. New Series. 6(3):249-282.

一、緒 言

近20年來，各國學者曾致力於各類型森林之物質生產(dry matter production)之研究，期能了解森林生產之本質，並藉以評估環境、時間、育林施業或人為干擾對其長期生產力(long-term productivity)之影響，進而選擇並促其生產結構屆至最適狀態。在這期間所累積之豐碩資料，多已編纂成冊，足供林業人員作為生產力改良之實質基礎(Grey, et. al., 1984; Reichle, 1981; Shidei and Kira, 1977; Waring and Schlesinger, 1985)。惟就分佈廣大、種類繁多，且與人類生活密切相關之竹類，則少見有此領域之探討。

竹類屬禾本科(Gramineae)之竹亞科(Bambusoideae)，分佈相當遼闊，不論熱帶、亞熱帶及溫帶均見其蹤跡，尤主分佈南、北回歸線。惟此崇豐與珍貴之資源，由於缺乏完整而系統之研究，僅其中小部份培育為人工林，多仍處於未開發之狀態。IUFRO曾指出：在多雨潮濕帶之地區，如我國、菲律賓、馬來西亞、印尼、泰國、孟加拉及印度等，今後亟應研究、開發及利用之多用途樹種(multipurpose tree species)，首推桉屬(*Eucalyptus*)，次則為竹類(Shea and Carlson 1984)。今後欲由粗放之經營，使為科學化之培育、經營與利用，均需以資源之再生性(renewability)及永續生產力(sustained productivity)為依據。

本研究所探討之馬來麻竹(*Dendrocalamus*

asper) (Schultes) Baker)及巨竹(*Dendrocalamus giganteus* Munro)，均屬地下莖合軸叢生之熱帶竹類。除了印度及孟加拉外，馬來麻竹在東南亞諸國均有廣大之自然分佈，少有人工栽培。此竹種之秆形高大且粗壯，秆肉亦厚，係在1967年為充裕本省之竹材原料，首由泰國引進。巨竹原產於印度、緬甸及孟加拉諸國(林維治等，1977)，在我國雲南省之西南部，亦見有廣大之天然分佈(吳征鎰，1980)，本省係於1966年自馬拉加西引進此竹種。此二竹種自從引進本省後，有探討其適應性、加工利用性質(林維治等，1977)、產筍量(林維治，1981)及平插繁殖技術之研究(高毓斌等，1989)，惟有關其生產特性之解析，僅見於作者對馬來麻竹在造林後16年間，有關林分生長及生物量生產(biomass production)之探討(高毓斌與張添榮，1989)。

本研究即以此二種具高生產潛力(high-production potential)，且具多用途之竹種為材料，探討育林施業如擇伐老竹及施用化學肥料，對其竹筍之生成及退筍發生之影響，以了解成竹過程與育林施業之關係；並由單株相對生長關係(allometric relationship)之導出，以比較其生物量生產及積聚之式樣；復以作者所提出之竹林物質生產收支表(budget sheet)為依據(高毓斌，1985)，在分析有機物回歸之季節性變動後，藉以估算各竹種在不同育林作業時之淨初生產量(net primary production)；最終之目的，期能藉由生產結構與物質分配(allocation)或積聚之解析，以評估此二竹種物質生產之特性，供為今後生產力改良之基礎。

二、材料與方法

本研究探討之巨竹及馬來麻竹，分別以林業試驗所在1972年所栽植成功之竹林為材料。

(一)試驗地之概況及處理

馬來麻竹林位於六龜分所海拔800m之處，試區面積為0.11ha，區內之竹櫟數為40，相當於植距5m×5m，即每公頃之櫟數為400。自栽植後至初次調查前，並未擇伐任何成熟之老竹，亦無嚴重病蟲害或風害發生。

至1986年12月時，林分已完全鬱閉，地被植群相當稀少。竹櫟經編號後，記錄退筍之高度、基徑及數量；依竹稈色澤、竹籜留存及枝條發育狀態，將竹株區分為1、2、3、4年生以上及仍佇立之枯死竹，以直徑尺量取離地際1.3m處之胸徑。本文所指1年生即當年發筍所成之竹株，餘者類推。枯死竹以仍佇立者為調查對象，已倒地之枯竹不予計算。該年調查後未伐採枯竹，以免改變生育空間。隔年12月時，再次就該年度所生成之新竹、枯竹及退筍記錄。

在生物量調查結束後，即對全試區擇伐逾熟之老竹及枯竹，各竹櫟於留存母竹時，均以竹齡構成及健壯程度為取決標準，最近3年內萌發健壯者為優先，各保留2株，若竹齡構成未能完整，則以4年生或以上者替代之，各櫟之母竹留存量約為5株，餘者均以利鋸由基部伐倒。

巨竹林位於蓮華池分所海拔約480公尺之處，栽植距離7×7公尺，每公頃栽植株數為200株，試區之面積為0.5公頃。自造林後，經多次颱風侵襲，分所曾於1979年伐採斷折、風倒或逾齡之老竹，伐採數量不詳。在1986年11月初次調查時，現有林分僅存92櫟，然林分已呈完全鬱閉，且甚多斷折之竹株，若未包括枯死個體，林分密度達5886株/公頃，每櫟平均約為32株。由於多年來之荒蕪，龐大之地下莖系已隆起地面，生產力極為衰退。

為探討伐採作業對竹林生產力之改良效應，遂於調查後即擇伐所有斷折、風倒、枯死及逾齡之老竹，每櫟僅留存5株母竹。母竹之留存，係以當年生之幼齡竹為優先，全數予以保留，後再漸及2年生或3年生健全之個體，基本上，竹林在經整理伐採後，各櫟母竹之年齡，罕有超逾4年生者。除上述之擇伐處理外，復就全林分規劃為3個區集，9個小區，各小區包括6櫟，外緣之竹櫟全予剔除，俾降低邊際效應。在1987年3月時，採行3種生產力改良作業以進行試驗，即：

1.集約栽培作業：各櫟均行培土作業，以能完全覆蓋隆起地面之地下莖為度，上並覆蓋20公斤之稻草，同時施用2公斤/櫟之台肥5號肥料，續於當年之6月及8月各追加施用一次化肥。以單位面積計之，覆草量為4公噸/公頃，施肥量為1200公斤/公頃。

2.施肥作業：未培土或覆草，僅於竹櫟四周施以2公斤/櫟之台肥5號肥料，續於當年之6月及8月各追加施用一次，施肥量同於前一處理。

3.對照作業：除已施行之擇伐作業外，未配合其他之生產力改良措施。

上述之試驗即構成逢機區集設計，計有3種處理，區集數為3。

(二)生物量調查

馬來麻竹生物量之調查，係配合林分整理時之擇伐作業，在1987年12月施行。調查施行之際，依全區之每株調查資料，就各竹齡之竹株胸徑區分為6~9級，各胸徑級之株數約略相等，迨完成竹株之分級後，即於各竹齡各胸徑級內，逢機選取1~2株樣株，各齡級之樣木數為9株，合計為36株。自地際處伐倒後，即以皮尺測其伐倒口至稈尖端之長度，是為竹高；由伐倒口至枝下高之長度及生活冠部基部之稈徑亦一併測定。各部位鮮重之測定，係以Sensotec可攜型數字測定儀秤量其鮮重。先將稈部自伐口處起，每隔2公尺截成一段，分秤各段稈部之鮮重，復由各段基部鋸取10~20公分長之竹筒，供為含水率之測定。冠層內各段稈部著生之枝條，以利刀由竹稈切除後，即依冠層順序以Licor-3000可攜型葉面積儀，量取各段30~50片竹葉之面積，再予摘取並測其鮮重。再取3~4枝條及200公克之竹葉分裝於不透水塑膠袋中，即予冷藏。

生物量及葉面積調查所採取之各類樣本，以電氣爐乾器於100±3℃烘乾至恆重。樣本之葉、枝及稈部在各層次之乾重，由各層次樣本之含水率及總鮮重推算之；充為葉面積測定之樣本，則用以求出各層次之比葉重(specific leaf weight)，即單位葉面積(m²)內所含有之乾物(g)，復由各層次之葉量以估算其葉面積。

各部位重量(或葉面積)與外形生長參數之相對生長式(allometric equation)，由次列迴歸式分就各竹齡導出：

$$W_i = aDBH^b$$

其中W_i表示各部位乾重(kg)、或葉面積(m²)或是竹高(m)，DBH為胸徑(cm)，a為截距，b為相對生長係數(allometric constant)。

巨竹之生物量調查，則施行於1988年12月。樣木之選取，僅就對照區及集約栽培區分別實施，再將竹株區分為4個齡級，各齡級依胸徑區分為4個直徑級，由各直徑級逢機取2株樣木，故各齡級之樣木數為8，所調查之樣木數共為64株(8株×4齡級×2處理)。其餘之調查方式，均同於馬來麻竹所採用之步驟。

在馬來麻竹不同竹齡間所導出之相對生長式，係以單因子之共變數分析(analysis of covariance)，檢定各齡級迴歸式之修正均值與相對生長係數，再由t-檢定比較各齡級修正均值之差異。巨竹乾重迴歸式之檢定，則由複因子(處理及竹齡)之共變數分析比較之。上述之迴歸分析及共變數分析均由BMDP統計軟體執行。

生物量及葉面積指數(leaf area index, LAI)之估算，係以所導出之預測式為基礎，將試區內屬同處理及同竹齡之竹株胸徑，分別導入各竹齡之相對生長式，求出此群竹株於不同竹齡時之理論生物量及葉面積。各年度之林分生物量或葉面積指數，即依實際區分之竹齡，求取各竹齡生物量或葉面積之總和。

(三)竹筍生產及生長之調查

試驗地在經設置或處理後，馬來麻竹自1986年之發筍期始，每隔6~7日至試區巡視，凡於觀察期間內，遇有新筍萌發或筍尖出土者，即予標誌其發筍日期，直至發筍期結束止。在每年12月間，再次全面調查，凡已發育成幼竹，且株梢未枯萎者，即認定為新生竹株，並測量其胸徑；部份竹筍在其生長過程中，未能成稈而中途枯死者，即為退筍，除記錄其發筍日期及數量外，並量測退筍之基徑及高度。此項調查工作共持續4年，直至1989年發筍期結束。

巨竹則分2階段進行調查，1986年竹筍之生產，係於年底進行計數，因為未及定期標示各竹筍之發筍日期，僅調查新竹之胸徑及退筍之數量、基徑及高度。自1987年發筍期始，即依前述之方法進行，直至1989年發筍期結束止，前後共歷經3年。

有關巨竹林之發筍量、退筍率或是新竹生長之變方分析，則以不同季節之分析(analysis over seasons)(Gomez and Gomez,1984)進行，藉以明瞭生產特性在處理後不同發筍期間之變動。處理均值或年度均值之比較，則由鄧肯氏多變域檢定行之。若處理及年度間未具顯著之交感效應，在比較年度間或處理間之差異時，係以各年度內3種處理之平均值，或是各處理內所有年度之平均值

為比較依據。若處理及年度間，具有顯著之交感效應，則不同處理間之效應分析，僅能就同年度內予以比較；不同年度間之變動分析，亦僅能就同一處理予以比較。上述之分析，均由SAS統計軟體執行。

(四)地上部有機物脫落量之測定

巨竹及馬來麻竹地上部所脫落有機物之收集，均始自1987年1月1日，而止於1989年12月31日，前後共歷經36個月。其中馬來麻竹共設置15座枝葉收集網，均勻且逢機分佈於全試區內；巨竹則在各小區內，定距設置2座枝葉收集網，全區共計18座(2個×3區集×3處理)。枝葉收集網之設計，係以粗鐵片圍成圓框，直徑1公尺，外覆1公厘網目之白色細紗網，深度60公分，略呈半橢圓形。各枝葉收集網於設置後，其周邊粗鐵片以長約150公分、徑約5公分之竹稈相固結，直立地面，高度為100公分，底部由網尼龍線固定後，綑緊於木椿。

自設置後，每隔15~16日，即每月1日及16日定期收集網內之材料，裝袋、編號並予冷藏。迨材料攜回實驗室後，先於70±3℃預乾24小時後取出，所收集材料區分為4部份，即落葉、落鞘(包括葉鞘及枝鞘)、落枝及其他。各部份材料再於100±3℃爐乾至恆重。落葉、落鞘及落枝之單位面積脫落量，由收集網之面積換算之。由於巨竹及馬來麻竹均為叢生竹類，竹筍在成稈過程中所脫落之稈籜，均集中在竹櫬四周，無法確認其歸屬，故無法由稈籜量~胸徑之相對生長式估算之，在本研究所論及之落鞘，因而僅指葉鞘及枝鞘，並不包括稈籜。

(五)淨初生產量之估算

本研究對巨竹及馬來麻竹地上部淨初生產量之估算，係以作者所提出之竹林物質收支表(budget sheet)為依據(高毓斌, 1985)，此將可說明竹林物質生產因時間所發生之變動，且符合竹類特性之生長與生產特性。

基本上，竹林之生產過程可區分為有機物之輸入及輸出二者，有機物輸入包括：光合作用所生成之總初生產量(gross primary production)及有機物於竹林內之移轉量；輸出則包括枯損量、被食量、移轉量及呼吸消耗量。由於上述生產過程之作用，其生物量亦發生變化，自 t_1 時之現存量($B_{1/0}$)增至 t_2 時之現存量($B_2 = B_{2/0} + B_{2/n}$)，故竹林之淨初生產量可由3部份估算：新竹生物量($B_{2/n}$)、母竹生物量生長量(biomass increments)($B_{2/0} - B_{1/0}$)、全林分之枯損量(ΔL)

及被食量(ΔG)。假定母竹與新竹間之移轉量相互抵消，則其淨初生產量可由次簡化式求出：

$$P_n = B_{2/0} + B_{1/n} - B_{1/0} + \Delta L + \Delta G$$

$$= B_2 - B_1 + \Delta L + \Delta G$$

本研究係假定調查施行時所導出之乾重預測式，不因年度而異，同時，被食量甚微，可省略不計。在試驗期間，未行伐採，且亦未採收竹筍，故淨初生產量可由新竹生物量、母竹生物量生長量及有機物脫落量以求出。各試區竹林在不同年度之生物量，即依各試區所導出而分屬於不同

竹齡之乾重預測式，經由每株合計法求出之。其於2年度間生物量之差額，即其生物量生長量，此係包括第2年新竹生物量及母竹生物量之淨增長量。

三、結果與討論

(一)單株之相對生長關係

由對照區及施肥區之1~4年生巨竹，各取8株樣木後，所導出之相對生長式，經共變數分析所檢定之結果，如表1所示。

表1. 不同處理及竹齡之巨竹，各部位生長與胸徑間之共變數分析之F值(共變數為胸徑)。

變異來源	竹高	稈鮮重	稈乾重	枝乾重	葉乾重	葉面積
施肥處理	0.5 ^{n.s.}	2.0 ^{n.s.}	3.4 ^{n.s.}	10.4 ^{**}	4.5 [*]	5.2 [*]
竹齡	0.9 ^{n.s.}	2.3 ^{n.s.}	118.1 ^{**}	61.7 ^{**}	7.6 ^{**}	9.0 ^{**}
施肥×處理	1.3 ^{n.s.}	0.9 ^{n.s.}	0.5 ^{n.s.}	2.7 ^{n.s.}	6.3 ^{**}	3.7 [*]

* 表示具顯著差異($P \leq 0.05$)，** 表示具極顯著差異($P \leq 0.01$)，n.s.表示未具顯著差異($P > 0.05$)。

竹高或是稈部鮮重與胸徑之迴歸關係，在施肥處理間或是不同竹齡間，並不具顯著差異，施肥與竹齡間亦未具顯著之交感效應，此即意謂著化學肥料之施用，或是竹齡間之差異，並未改變巨竹之竹高~胸徑或是稈鮮重~胸徑之相對生長關係。

對乾重或是葉面積與胸徑之相對生長式，則具有較大之變動。稈部乾重與胸徑之關係，並不因施肥處理而有異於對照區，然於不同竹齡間，則具極顯著之差異，而施肥處理與竹齡間，則不

具顯著之交感效應；枝部乾重、葉部乾重或是葉面積之相對生長式，則於施肥處理間及不同竹齡間，具顯著或極顯著之差異。就交互效應而言，其顯著性僅見於葉乾重及葉面積，即此二者與胸徑間之迴歸關係，固然互異於不同竹齡間之巨竹，然而因竹齡所產生差異之效應，亦將因化學肥料之施用而變動。

就馬來麻竹而言，由各竹齡取9株樣木後，導出之相對生長式，經共變數分析所檢定之結果，如表2所示。

表2. 馬來麻竹各部位乾重及葉面積於各竹齡間之共變數分析之F值(共變數為胸徑)。

變異來源	竹高	稈鮮重	稈乾重	枝乾重	葉乾重	葉面積
迴歸	126.5 ^{**}	2042.7 ^{**}	1580.1 ^{**}	98.1 ^{**}	136.4 ^{**}	219.4 ^{**}
斜率	1.4 ^{n.s.}	2.3 ^{n.s.}	2.6 ^{n.s.}	3.7 [*]	8.6 ^{**}	3.7 [*]
訂正均值	0.6 ^{n.s.}	1.2 ^{n.s.}	14.1 ^{**}	26.0 ^{**}	6.3 ^{**}	22.0 ^{**}

* 表示具顯著差異($P \leq 0.05$)，** 表示具極顯著差異($P \leq 0.01$)，N.S.表示未具顯著差異($P > 0.05$)。

以胸徑為共變數時，馬來麻竹之竹高或是稈部鮮重之相對生長式，其斜率及訂正均值，在不

同竹齡間，均不具顯著差異；稈部乾重與胸徑之迴歸關係式，斜率雖於竹齡間不具差異，惟其訂

正均值則具極顯著之差異；餘者如葉乾重、枝乾重或是葉面積與胸徑之相對生長式，其斜率與訂正均值在不同竹齡間，均具顯著或極顯著差異。

上述結果顯示，無論是巨竹或馬來麻竹，竹

高~胸徑或稈鮮重~胸徑之相對生長關係，並不因竹齡或施肥處理而異，故可勻和各樣株資料，導出其共同迴歸式(common equation)，如表3所示。

表3. 巨竹及馬來麻竹之竹高(Ht, m)或稈鮮重(FWc, kg)與胸徑(DBH, cm)之共同迴歸式.*

竹種	Ht=aDBH ^b			FWc=aDBH ^b		
	a	b	R ²	a	b	R ²
巨竹	1.1878	1.0198	0.91	0.1040	2.3155	0.95
馬來麻竹	1.5509	1.0626	0.91	0.1574	2.4476	0.98

* 表中所列各迴歸式均為極顯著相關，R²為決定係數。

巨竹與馬來麻竹之竹高曲線，其相對生長參數均約近於1，顯示此二者係呈簡單線型關係。生長於菲律賓之印尼刺竹(*Bambusa blumeana*)及*Schizostachyum Lumampao*，其竹高與胸徑亦呈近於簡單之線型關係(Uchimura, 1978)，然屬單稈散生型之孟宗竹(高毓斌, 1985)或剛竹(Watanabe and Oohata, 1980; Watanabe *et al.*, 1989)，其相對生長係數則位於0.71~0.76間，曲線趨勢較強烈於巨竹及馬來麻竹。

基於表1之檢定結果，巨竹各部位乾重或葉面積之預測式，遂依不同之處理及竹齡，列示於表4。基本上，隨著竹齡之增大而竹株趨於成熟時，或是化學肥料之施用，稈部乾重與胸徑間之迴歸式，略呈系統性之變動，即相對生長參數漸減而截距漸增，惟其他部位並未見有任何持續性之變動。

基於表2之檢定結果，馬來麻竹1~4年生各部位乾重或葉面積與胸徑之相對生長式，列示於表5。

表4. 不同竹齡之巨竹各部位乾重(kg)或葉面積(m²)與胸徑(cm)之相對生長關係.*

部位	竹齡 (yr)	對照			施肥		
		a	b	R ²	a	b	R ²
稈部 乾重	1	0.0096	2.7722	0.99	0.0172	2.5379	0.96
	2	0.0445	2.3757	0.99	0.1345	1.9511	0.97
	3	0.0376	2.4891	0.95	0.1304	1.9890	0.98
	>4	0.0676	2.2972	0.97	0.0756	2.2414	0.99
枝部 乾重	2	0.1279	1.1975	0.84	0.1889	1.1470	0.75
	3	0.2212	1.1308	0.78	0.2176	1.1415	0.95
	>4	0.1499	1.3648	0.80	0.1566	1.3961	0.85
葉部 乾重	2	0.4199	0.7170	0.89	0.0628	1.5635	0.78
	3	0.0220	1.9350	0.76	0.3663	0.7993	0.81
	>4	0.0527	1.6281	0.80	0.0445	1.7717	0.73
葉 面 積	2	2.8633	0.7453	0.82	0.5267	1.5134	0.72
	3	0.1275	2.0511	0.80	2.1614	0.9431	0.78
	>4	0.7126	1.4252	0.72	0.4036	1.7065	0.69

* 表列各迴歸式均呈極顯著相關(P ≤ 0.01)，迴歸模式為Wi=aDBH^b或Area=aDBH^b，其中Wi為各部位乾重，Area為葉面積，DBH為胸徑。

表5. 不同竹齡馬來麻竹各部位乾重(kg)及葉面積(m²)之迴歸關係式.*

部位	竹齡 (yr)	a	b	R ²
稈部 乾重	1	0.0370	2.6110	0.94
	2	0.0276	2.8748	0.99
	3	0.0392	2.7844	0.98
	>4	0.0880	2.4813	0.99
枝部 乾重	2	0.0953	1.1458	0.81
	3	0.0176	2.0364	0.93
	>4	0.0883	1.4198	0.77
葉部 乾重	2	0.0243	1.5480	0.85
	3	0.0010	2.9194	0.93
	>4	0.0111	1.8062	0.77
葉 面 積	2	0.2161	1.5586	0.88
	3	0.0526	2.3255	0.92
	>4	0.1120	1.9168	0.80

*迴歸式為 $W = aDBH^b$ ，其中之W為各部位乾重或葉面積，DBH為胸徑(cm)，R²為決定係數，本表所列之各迴歸式均具極顯著相關。

巨竹及馬來麻竹稈基處所著生之筍芽於膨大後，在6~9月間出土成筍，需時2個月即完成幼竹之外形生長。新竹初形成時，材質鬆柔而多汁。在長出新葉以進行光合作用後，光合物由枝及稈部向下輸送，移轉並貯存於地下莖，在此過程中，部份碳水化合物將轉化為細胞壁之組成物質，漸積聚於細胞壁，使木質部之乾重因竹齡增加而趨大。以本研究之結果而言，巨竹之幼竹在歷經1年之生長後，稈部乾重約增加67%，馬來麻竹則增加41~43%；迨至3年生以後，物質之積聚漸趨於緩和，與1年生竹株相比較，4年生以上之約增加115~118%，馬來麻竹則增加71~75%。故此二種稈部乾重之變動，主要發生於成竹後之2年內。孟宗竹2年生竹株較新生幼竹增加27%之稈重(高毓斌, 1980)，增加率之所以較低，主要是孟宗竹在完成高生長後即抽發新葉，隨即進行光合作用以生產物質；巨竹及馬來麻竹之新竹需於翌年初春，稈芽始呈向基性(basipetal)萌放以長出枝條，故其年度間之變動較單稈散生型為著。

2年生竹株之枝葉，均於成竹後翌年內生成。3年生以上竹株，因此2竹種稈部之側芽，由一主芽先發育成主枝，其他副芽又在主枝抽發後，陸續形成次生枝，故其枝重仍因竹齡持續增加。

綜合以上所述，不同齡級間巨竹或馬來麻竹乾重之變異，乃為內部構造或發育階段所致，與其外形如竹高或直徑之生長均無關，故以胸徑為自變數，均無法消除齡級間顯呈分離之現象，各齡級迴歸式之斜率或修正均值之差異都呈顯著(表2)，無法導出其共同迴歸式。

與本省之孟宗竹、柳杉(*Cryptomeria japonica*)及銀合歡(*Leucaena leucocephala*)(Kao, 1987)相比較，在相同單位之材積指數(volume index)時，2—4年生之馬來麻竹稈部乾重低於銀合歡及柳杉，較大於巨竹(圖1)。屬闊葉樹種之銀合歡，木材比重較針葉樹之柳杉為高，此特性可由生物量關係式之比較反映出；竹材則為中空，故單位材積之乾重較低於材木，惟巨竹及馬來麻竹之比重相若(~0.70)，此二者間稈重之差異，主要源於馬來麻竹之壁厚高於巨竹之故。圖2所示，即以竹株胸高處之直徑及稈壁厚為基準，對此二竹種所作之比較。隨著稈徑之增加，稈壁厚亦有隨之增加之趨勢，然馬來麻竹則較強烈於巨竹，即稈徑愈大，馬來麻竹與巨竹之稈壁厚之差距亦更明顯。在所分析之樣木中，馬來麻竹胸徑處之稈壁厚，可達1.1~3.0公分間，而巨竹僅位於1.0~1.6公分間。

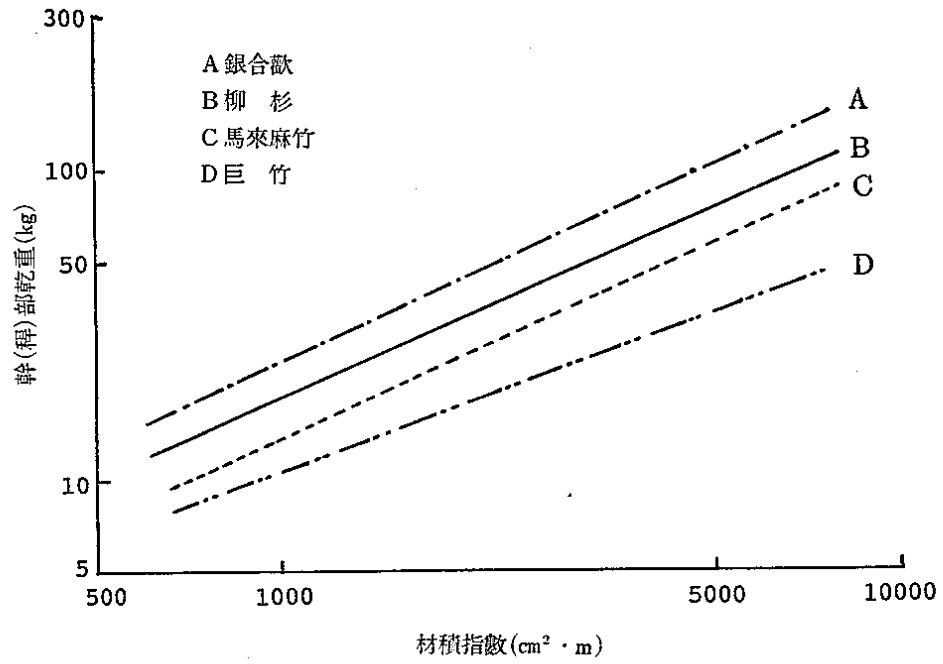


圖1. 成熟之馬來麻竹、巨竹與其他樹種之比較

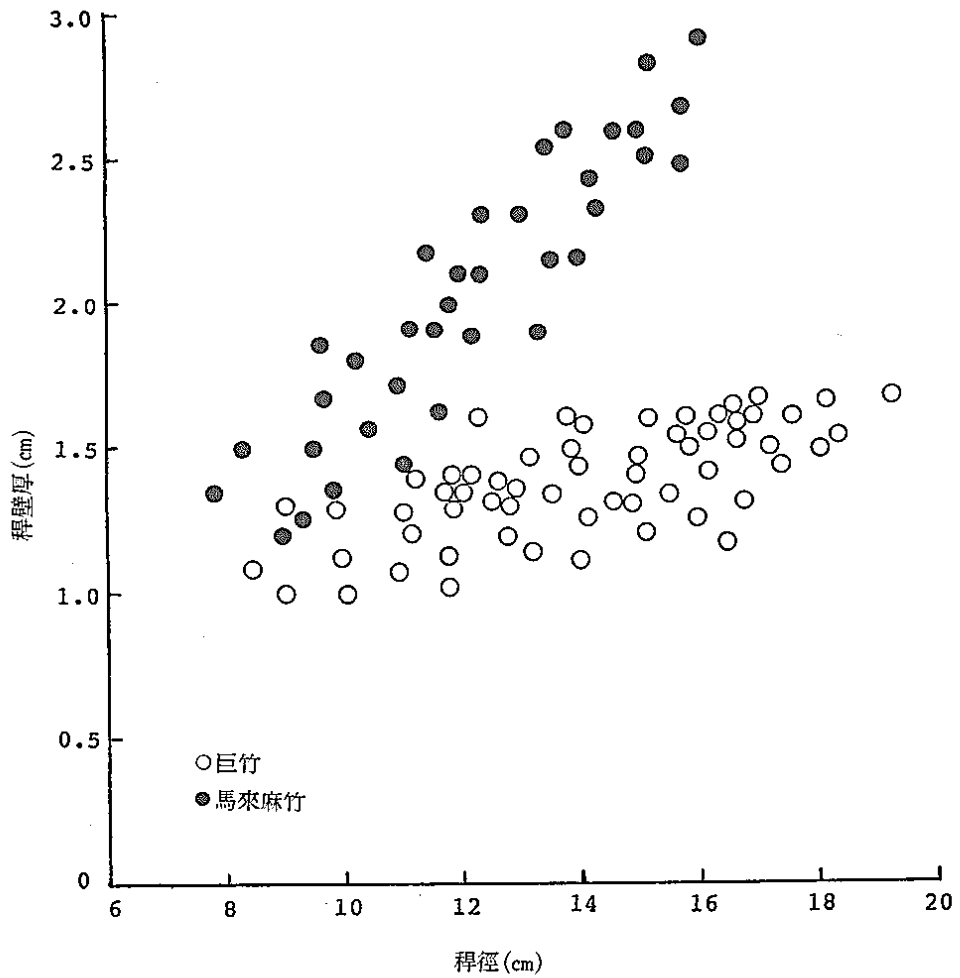


圖2. 巨竹與馬來麻竹稈壁厚(胸徑處)之比較

(二)竹筍之萌發及退筍之發生

為探討擇伐老竹之作業及生產力改良措施，對巨竹之竹筍生產及退筍發生過程之影響，本研究曾於1986年11月，即擇伐施行前，逐一計數各試區新竹竹及退筍之數量，並自1987年發筍期始，定期標示各竹筍之萌發日期。處理後連續3年內各試區之發筍期及發筍日數，如表6所示。在擇伐

老竹後之第一年，不同處理之發筍期間，相差甚大，與對照區相比較，施肥區發筍終止日之延後，相當明顯，而施肥並覆土者，則兼具有提早及延長發筍期之作用；隨著擇伐後年度之增加，發筍起始日愈晚，而發筍終止日愈早，故發筍日數亦隨之減少；各處理間之差異，亦因年度之延續而漸不明顯。

表6. 巨竹發筍期及發筍日數(天)在不同年度及處理間之比較.

竹種	1987年		1988年		1989年	
	期間	日數	期間	日數	期間	日數
對照區	6.3 ~8.28	87	6.15~8.19	66	6.12~7.30	49
施肥區	5.30~9.12	106	6.11~8.18	69	6.9 ~8.2	55
施肥及覆土區	5.21~9.21	124	6.1 ~8.25	86	6.8 ~7.28	51

化學肥料之施用，得以延長巨竹之發筍期，或因添加養分能持續供應竹筍萌發所需者，故於施肥後第1年內，發筍終止日乃延後15日，迨至第2年始，大部分之養分或已被消耗，而與對照區相類似。在一栽植多年之巨竹林，龐大之地下莖將日漸隆起地面，著生於地下莖之側芽，若因而暴露於地面上，終因缺乏水分供應而未能萌動，若採用覆土以改良其生產力時，此部份之筍芽將因土壤之覆蓋而萌發，故發筍日期乃提早發生，同時施以化學肥料以增添生長所需養分時，發筍期間將可延長，與對照組相比較，處理後第1年之發筍日數增加37天，第2年增加20天，迨至第3年時，所覆蓋之土壤大部分已流失，與對照區相類似。

在連續4個調查年度內，定期標示馬來麻竹出土竹筍日期之結果，擇伐前後之發筍期及發筍日數，如表7所示。在老竹未擇伐前之2個年度內，馬來麻竹之發筍期，均相當穩定地始於6月中旬，而終於9月中、下旬，發筍日數約為95~96天。在經擇伐施行後，其發筍起始日約提早1個月發生，自5月中、下旬即有新筍萌發，惟發筍終止日則約略同於擇伐前，就全期之發筍日數而言，約為115~122天，較擇伐前約增加20~27天之發筍日數。擇伐老竹後，馬來麻竹之發筍起始日之所以較早發生，或因林內光度之增加，土壤溫度因而提高，若適逢雨季，在水分充分供應之狀態下，竹筍自然萌發。

表7. 馬來麻竹發筍期及日數(天)在擇伐前後之比較.

處理	年度	發筍期	發筍日數
擇伐前	1986	6.14~9.16	95
	1987	6.20~9.23	96
擇伐後	1988	5.17~9.15	122
	1989	5.28~9.19	115

就竹種間之比較而言，在經擇伐老竹而未輔以其他育林作業時，馬來麻竹之發筍期較巨竹為

長，此亦導因於巨竹地下莖隆起地面之現象，較著於馬來麻竹之故。若能消除此一不利於竹類生

長之因素，如施用土壤以覆蓋之，則此二竹種之發筍期乃相當接近，均約始自5月中、下旬，終於9月上、中旬，發筍日數位於110—120天間(表6、7)，大致與本省雨季之期間相吻合。主要分佈於熱帶地區之叢生竹類，在正常之狀態下，其竹筍萌發期多始自雨季之初期，而終於雨季之末期，雨季甚長之地區其發筍期更可高達240—280天左右(Yolanda, 1984; Uchimura, 1978)，端視土壤水分狀態及溫度而定，在氣溫高而水份足之地區或年度，出筍時期將較提早。

在研究期間內，各不同處理之巨竹林，其年發筍量及退筍率之變方分析，如表8所示，結果顯示：巨竹林之發筍量及退筍率，均因年度或處理而具有極顯著之差異，年度與處理間亦具有極顯著之交感效應，即施肥或(及)覆土對巨竹發筍之

影響，尚因年度而異。年發筍量在各年度間或處理間之均值比較，列如表9。在老竹尚未擇伐時之1986年發筍期中，共萌發956~1022枚/公頃之竹筍，迨經擇伐後之連續2年內，無論是對照區、施肥區或集約栽培區，年發筍量均顯著高於擇伐前之量，尤其是以擇伐後之翌年為最著，惟至擇伐後之第3年時，無論是何種處理，其年發筍量均明顯降低，而與擇伐前相比較，在統計上並無顯著差異。施肥或覆土對年發筍量之促進，亦相當顯著，尤其是在擇伐後之第1年，施肥區較對照區增加14%之發筍量，集約栽培區之增加率更高達28%；在肥料施用後之第2年時，施肥區與對照區已無差異，惟集約栽培區仍較未施肥者增加17%之發筍量；各處理間之差異，在擇伐後第3年時，已不再顯著。

表8. 不同處理巨竹林之發筍量及退筍率之變方分析。

變異來源	自由度	發筍量		退筍率	
		均方	F值	均方	F值
區集	2	7777.8		4.2	
年度	3	767438.3	50.1**	300.6	145.2**
機誤	6	15308.6		2.1	
處理	2	57314.8	9.0**	204.1	65.4**
年度 × 處理	6	30648.2	4.8**	64.2	20.6**
機誤	16	6342.6		3.1	

** 表示極具顯著差異(P ≤ 0.01)。

表9. 巨竹林年發筍量(no/ha)在不同處理及年度間之比較.*

年 度	對 照	施 肥	施肥及覆土
1986	β978a	τ1022a	τ956a
1987	α1322c	α1511b	α1689a
1988	α1222b	β1233b	β1433a
1989	β889a	τ833a	τ878a

* 由於年度與處理間，具極顯著之交感效應，不同處理間之效應分析，僅能就同一年度內予以比較，不同年度間之變動分析，僅能就同處理內予以比較。表列數值右上角之字母(a~c)為處理間比較之結果，左下角之字母(α~δ)為年度間比較之結果。凡字母相同者，表示其間不具顯著差異(P>0.05)，字母相異者，表示其間具顯著差異(P≤0.05)。

退筍率在各處理及年度間之比較結果(表10)則顯示：在老竹尚未伐採及整理前，該年所萌發

之竹筍，約有73~77%未能成竹，中途夭折。在未施肥或覆土之情況下，巨竹之退筍率將因擇伐

作業而顯著且逐年之降低；若配合化學肥料之施用，退筍率之降低或是成竹率之提高，將更為明顯，在1989年之發筍期中，僅53%之竹筍中途夭折；若採用集約栽培之措施，在處理後之第1個發

筍期中，退筍率更降至35%，爾後之連續2年內，退筍率又顯著上昇，至1989年時，退筍率約為57%，與施肥區不具顯著差異，惟仍低於對照區。

表10. 巨竹林年退筍率(%)在不同處理及年度間之比較.*

年 度	對 照	施 肥	施肥及覆土
1986	α 74.9a	α 77.3a	α 73.2a
1987	β 68.9a	β 58.8b	δ 35.0c
1988	β τ 65.4a	β τ 55.9b	τ 50.5b
1989	τ 62.6a	τ 53.3b	β 57.0b

* 均數比較之方法及說明，同於表9。

進一步比較經過不同處理後之巨竹林，其發筍過程於整個發筍期間內之變動，將有助於施肥及覆土作業對生產力改良機制之了解。圖3所示即在擇伐並改良處理後之翌年(1987)，自發筍起始日後，以20天為一階段，各期之發筍量及退筍率之比較。在未施肥或覆土之情況下，隨著發筍日之遞增，其發筍量亦漸趨於大，在發筍起始日後之80~100天內，達至最多量，約為8月上、中旬左右。若施以化學肥料，事實上，並未改變巨竹之發筍曲線，仍於相同之期間達至發筍高峰，惟在此階段前之各期發筍量，均較對照區為高。當生產力改良作業採用施肥並配合覆土時，巨竹之發筍盛期則提早至發筍起始日之60天內，即約在當年之5月下旬至7月中旬左右，竹筍萌發之提早及增產之效果，相當明顯。就退筍率在各階段之變動而言，隨著發筍日之遞增，其退筍率有漸增之趨勢，直至發筍末期而達至最大。施肥區退筍率之季節性變動，略似於對照區，惟於全發筍期中，均維持較低之退筍率。施肥並覆土之作業，

退筍率在初期發筍高峰之前40天內，均維持在30%以下，惟至第3期之盛產期時，約為7月中旬，退筍率激增至62%而達到最大量，爾後則再漸趨於少，直至發筍期之結束。

就馬來麻竹而言，依每年生長季結束所計算之發筍量、退筍率及成竹量，結果如表11所示。在擇伐老竹前之2個年度內(1986~1987)，每年所萌發之竹筍，每櫟僅約2.8枚，其中之60%~65%因故而成退筍，僅約370~470枚/公頃可發育為健全之新生竹株。迨經擇伐施行後之第1年，發筍量增至5.6枚/櫟，較擇伐前增加99%，退筍率則遽降至42%，故當年所生成之新竹達1290株/公頃，較擇伐前增加207%。在擇伐老竹後之第2年時(1989)，發筍量略呈下降，僅及1988年之83%，然仍較擇伐前增加66%之發筍量，而退筍率仍持續下降至37%，故當年所生成之健壯新竹，仍高達1860株/公頃，較擇伐前約增加179%。因擇伐老竹後，對其發筍量之促進，或是降低退筍率之效應，均相當明顯。

表11. 擇伐前後之馬來麻竹發筍特性之比較。

處 理	年 度	發筍量 (no/ha)	成竹量 (st/ha)	退筍率 (%)
擇伐前	1986	1180	470	60.2
	1987	1060	370	65.1
擇伐後	1988	2230	1290	42.2
	1989	1860	1170	37.1

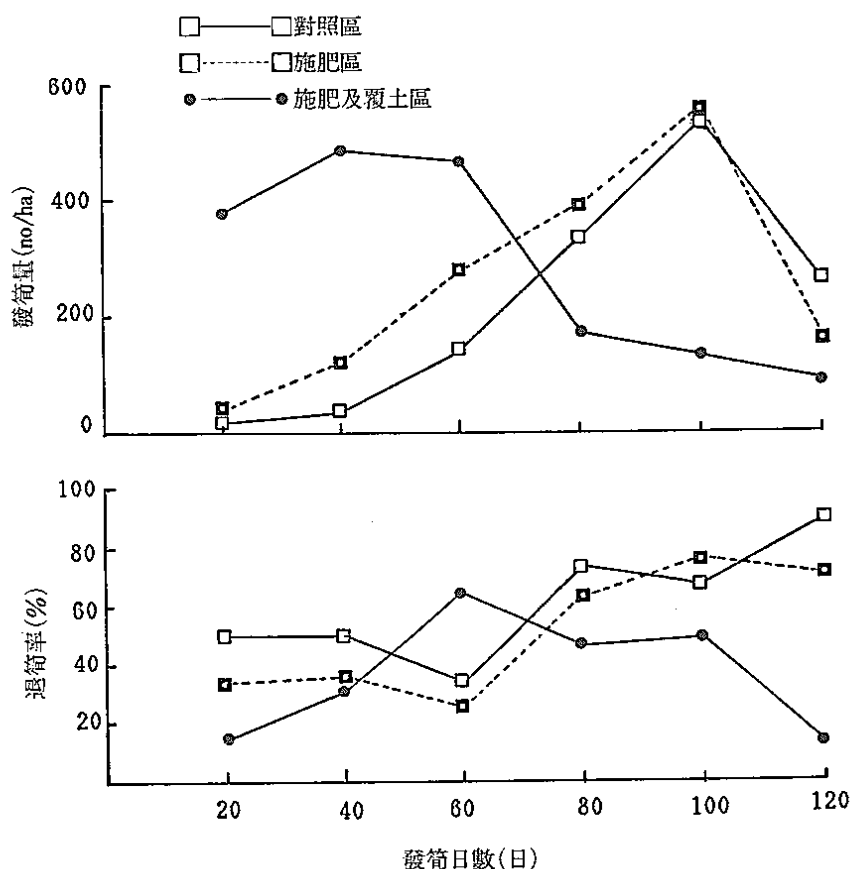


圖3. 不同處理之巨竹林在1987年時發筍過程之比較

進一步比較擇伐前後發筍過程之變動，將有助於林分密度控制對生產力改良機制之了解。圖4所示即以擇伐前2個年度(1986年及1987)及擇伐後2個年度(1988年及1989)之平均值，每隔20天為一發筍期所作之比較。在一完全鬱閉之馬來麻竹林中，隨著發筍日之遞增，發筍量亦漸趨於大，約於7月中、下旬達至發筍盛期；在經擇伐老竹後，不但較早萌發竹筍，且於6月上、中旬即達至發筍盛期，雖自8月上旬以後，發筍量與擇伐前約略相似，然就整個發筍期而言，發筍量則因早期大量之萌發而顯受促進。就退筍率在各階段之變動而言，擇伐前後則相當類似，即自發筍期之初始後，退筍率即穩定地漸呈增加，直至發筍末期而達至最大。惟擇伐後初期所大量萌發之竹筍，僅約30%將為退筍，而擇伐前發筍盛期之退筍率

，高達60%左右，故擇伐後全年度之退筍率，乃顯著低於擇伐前之狀態。

就此二竹種之發筍量及退筍率之比較結果而言(圖5)，無論是巨竹或馬來麻竹，在未擇伐老竹前，發筍量低而退筍率高，乃其共同之特徵。迨經伐移逾熟之竹株後之第1個發筍期，其發筍量均顯受促進而退筍率亦急遽降低；惟自擇伐後之第2個發筍期始，發筍量雖仍高於擇伐前，然已趨下降，未能再持續增大，即使是施以化學肥料或覆土作業之巨竹亦然。然而，在退筍率之年度變動而言，擇伐或是施肥均將使其退筍率持續降低，惟一例外者，則為覆土及施肥作業之巨竹林，在處理後之第1年，退筍率急遽降至35%，迨至第2年始，則持續地增大。

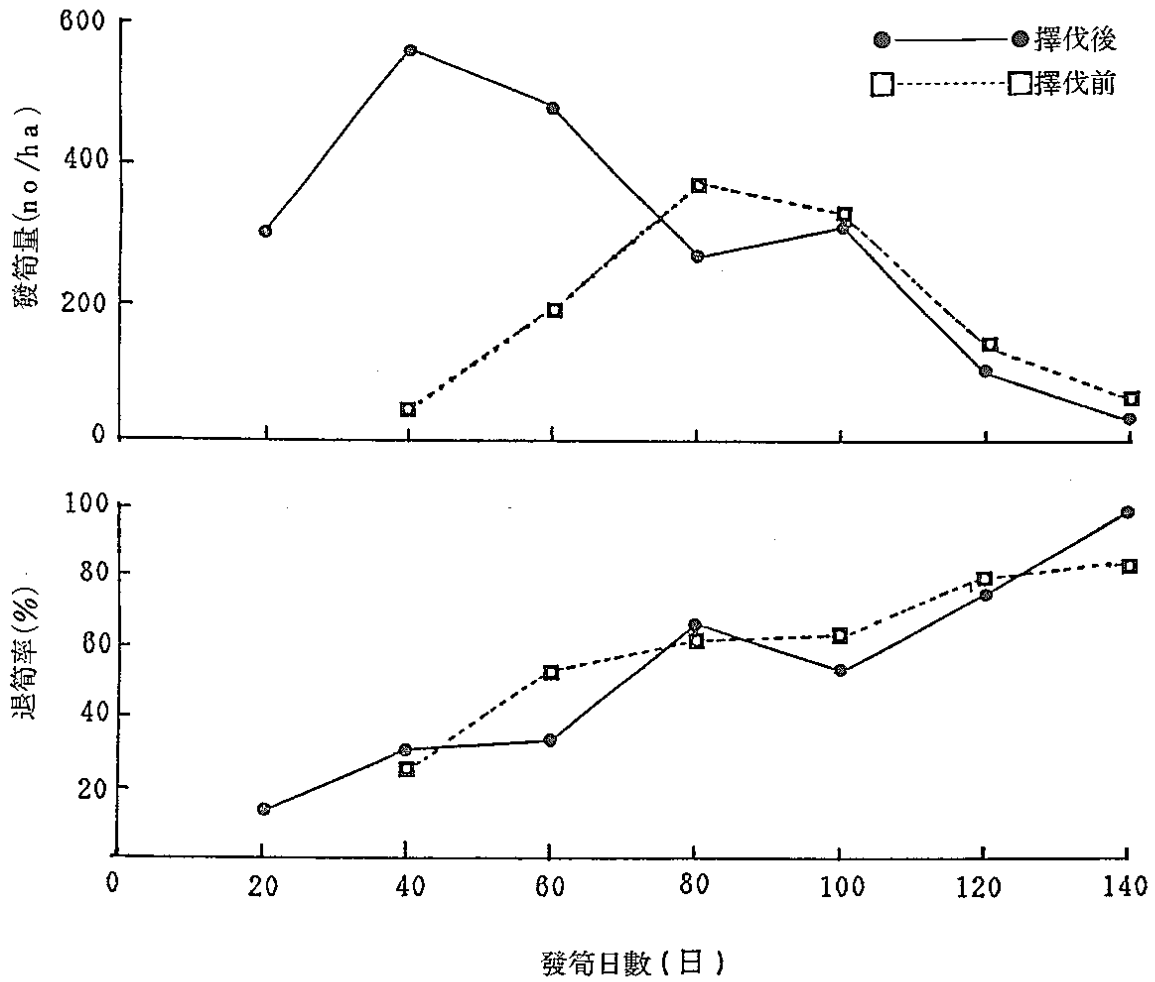


圖4. 擇伐前後之馬來麻竹發筍過程之比較(擇伐前為1986年及1987年之平均值，擇伐後為1988年及1989年之平均值)

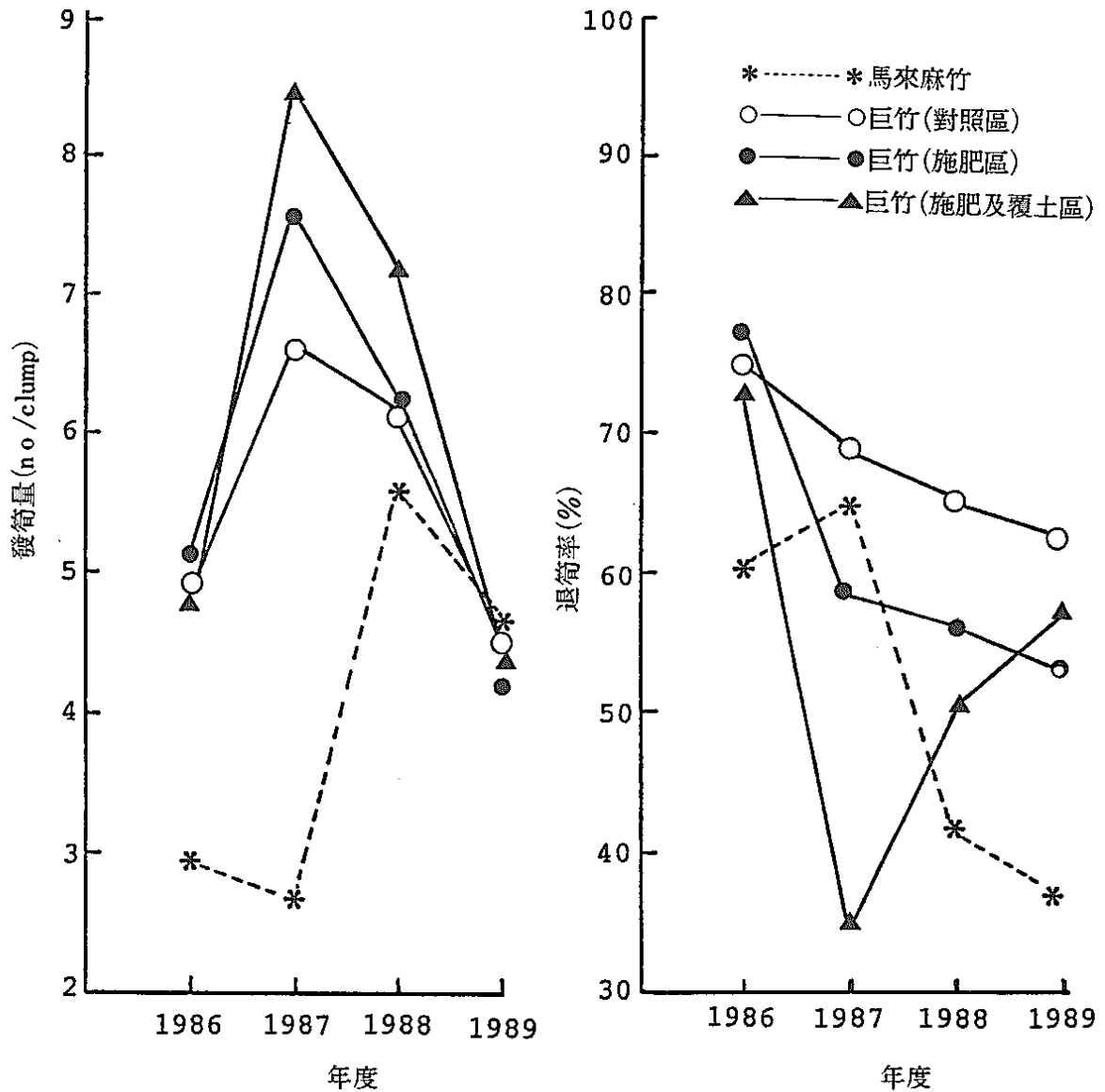


圖5. 巨竹與馬來麻竹發筍量及退筍率之比較

退筍之發生或導因於氣候不良及病蟲害，最主要仍由養分供應不足所致。溫帶竹類之研究已指出，當生育地品質較劣(橋本、渡邊，1960)，產筍量較高之豐年(青木，1959)，林分密度增加(渡邊、本山，1957)或於發筍後期時(野中，1982)，退筍率均將增大。叢生竹類之大徑竹種如巨竹於發筍成竹時，所需養分較小徑之泰國麻竹(*D. longispachus*)為殷切，故退筍率較高(Banik,

1983)。上述資料可推論退筍發生與養分供應間，具有某種之因果關係。如馬來麻竹及巨竹未有地中蔓生之竹鞭，以快速擴展生育空間，竹株亦緊密叢生，發筍期間對養分之相互競爭，可能較單稈散生型竹類為激烈。

溫帶竹類之研究曾指出：桂竹(*Phyllostachys makioni*)(黃崑崗，1975)及剛竹(*P. bambusoides*)(青木，1959)之發筍量及成竹率，

均隨伐採強度之增加而增大；皮白竹 (*P. bambusoides f. kawadana*) 經擇伐 1/2 之竹株後，發筍量雖較對照區增加 10%，退筍率則未受改變(野中，1982)，或施以不同擇伐之孟宗林，發筍量及退筍率均無差異(鈴木、成田，1975)。

事實上，僅由養分供需之觀點，未能完全解釋鬱閉林分在伐採老竹後之變化。擇伐施行時，竹林並未由外界獲得其他養分之供應，僅是紓解因密度所引致之競爭張力(competition stress)。擇伐老竹後，發筍量激增，生長所需養分亦隨之增多，此時之竹林，雖已發展出龐大之養分貯存及移轉系統，如果養分供應不虞缺乏，能支持較多幼竹之生成，然將無法解釋擇伐前之高退筍率，若退筍之發生係因養分競爭所引致，擇伐後之退筍率應呈增加，而非如觀察之趨於減少。有謂伐採將破壞散生型竹類之頂端優勢，處於休眠狀態且分生能力之鞭芽得以萌發，發筍量因而增大(陳嶸，1984；上田，1963)。然如泰竹 (*Thyrsostachys siamensis*) 經皆伐(即徹底破壞頂端優勢)後，發筍量及成竹量均遠低於擇伐處理(Kaitpraneet *et al.*, 1981)。作者推論在一鬱閉已進行自然枯死之竹林，除受限於竹株之自然壽命及養分競爭外，個體間對光度之競爭亦可能同時

存在，因而影響筍芽萌發及退筍發生。由密度引致之競爭張力若得暫時紓解，筍芽之分化及萌發均受促進，光度及養分之供應亦充裕，故其成竹量及成竹率乃同時增大。此推論可由其他竹類研究予以支持，印尼刺竹在擇伐老竹後 2 年內，退筍率雖較未伐採者顯著減少，但隨林齡之增加，退筍率又漸增多(Yolanda, 1984)；不同植距之牡竹 (*Dendrocalamus strictus*) 歷經 5 年生長後，密植林(2×2m)之竹株胸徑較疏植林(6×6m)減少 12%，竹株生成量僅及疏植林之 47%(Sheikh, 1983)。很顯然的，林齡增加或林分密度增大，均使竹株對空間競爭趨於激烈，退筍率轉而增大或成竹量趨於降低，在此種狀態下之競爭，光度與養分均可能同時發生。

(三) 新生竹株之生長與生產

在所探討之巨竹林，其擇伐前及改良後 3 年內，新生竹株之胸徑及竹高之變方分析，如表 12 所示。施用化學肥料或是配合覆土作業，對每年所新生竹株之胸徑或竹高，均未具顯著之促進效應，惟在年度間則呈極顯著之差異。基本上，巨竹林在經擇伐老竹後之第 1 年，其胸徑及竹高均略遜於擇伐前新竹之生長，惟在後續之 2 年內，則幾乎呈直線上昇(圖 6)。

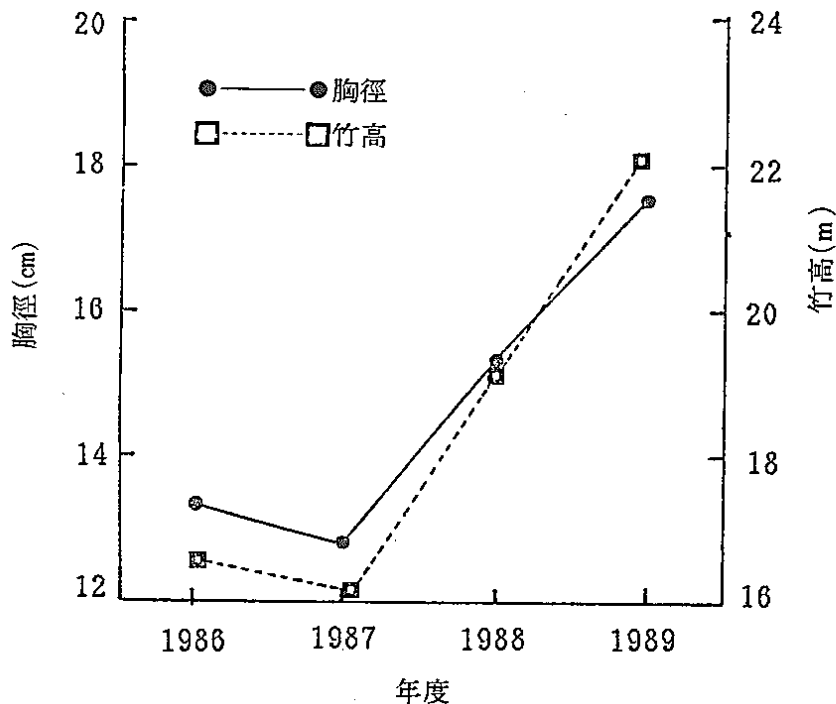


圖6. 巨竹林之新竹胸徑及竹高在年度間之變動(各年度之數值為3種處理之平均值)

表12. 不同處理巨竹林之新竹胸徑與竹高之變方分析.

變異來源		自由 度	胸 徑		竹 高	
			均方	F 值	均方	F 值
區 集	2	4.45		7.44		
年 度	3	42.85	357.1**	70.41	391.2**	
機 誤	6	0.12		0.18		
處 理	2	0.43	0.8 ^{n.s.}	0.73	0.9 ^{n.s.}	
年 度 × 處 理	6	1.34	2.6 ^{n.s.}	2.25	2.6 ^{n.s.}	
機 誤	16	0.52		0.86		

n.s. 表示不具顯著差異($P>0.05$), ** 表示極具顯著差異($P\leq 0.01$).

就新竹之年生成株數、底面積或稈部生物量之變方分析結果而言，無論是在年度間、施肥處

理間，或是年度與處理之交感效應方面，均呈極顯著之差異或效應(表13)。

表13. 不同處理巨竹林之新竹年生長量之變方分析.

變異來源		自由 度	株 數		底面積		生物量	
			均方	F 值	均方	F 值	均方	F 值
區 集	2	8804.01		0.40		7.45		
年 度	3	382926.96	139.0**	7.53	188.3**	90.65	156.3**	
機 誤	6	2754.63		0.04		0.58		
處 理	2	205030.86	60.5**	3.97	132.3**	30.53	74.5**	
年 度 × 處 理	6	78240.74	23.1**	0.85	28.3**	6.96	17.0**	
機 誤	16	3387.35		0.03		0.41		

** 表示極具顯著差異($P\leq 0.01$).

新竹之年生成株數、底面積或稈部生物量在年度間或處理間之比較結果，如表14所示。就年度間之變動趨勢而論，無論是何種處理作業，新竹之年生長量將因擇伐之施行而顯著提昇，即使未施用化學肥料者亦然。惟株數增產之效應，僅及於擇伐後之連續2個生長季內，迨至第3年時，新竹之年生成株數雖仍高於擇伐前之產量，在統計上並不具顯著差異。底面積年生長量及稈部生物量年生產量，擇伐後連續3個生長季，均顯著優於擇伐前之產量，惟未施用化學肥料時，產量以擇伐後2~3年為最高，較擇伐前增加127%~144%之稈部生物量年生產量，或是106%~110%之底面積年生長量；施肥區在擇伐後之第2年，新竹年生長量達至最大，較擇伐前增加206%之底面積或230%之稈部生物量；配合覆土並予施肥之改良作業，新竹年生長量則於擇伐後之2~3年為最高，較擇伐前增加268%~286%之底面積或

282%~301%之稈部生物量。上述資料在在顯示：擇伐老竹對巨竹林之新竹生長，確具有極顯著之促進效果，尤其是配合其他改良作業之施行，如化學肥料之施用或是覆土，竹林生產力將顯受促進。就不同處理間之比較結果而言，施肥及覆土為最具改良效果之作業，施肥次之，對照區為最劣，惟其對巨竹之生產力改良，仍視處理後之年度而異。在擇伐後並予施肥及覆土者，對新竹株數之增產效應，僅及於處理後之2年內，較施肥區增加31%~77%之株數，或較對照區增加68%~168%之新竹。集約改良作業對新竹底面積或稈部生物量年生長量之促進，則可持續至擇伐並處理後之3年內，較施肥區增加15%~70%之底面積或20%~69%之稈部生物量，而較對照區增加32%~132%之底面積或23%~117%之稈部生物量。

表14. 巨竹林之新竹生產在不同處理或年度間之比較.*

項目	年度	對照	施肥	施肥及覆土
株數 (st/ha)	1986	β 244a	β 233a	τ 256a
	1987	α 411c	α 622b	α 1100b
	1988	α 422c	α 544b	β 711a
	1989	α β 333a	β 389a	τ 378a
底面積 (m ² /ha)	1986	τ 1.14a	τ 1.00a	τ 1.06a
	1987	β 1.76c	β 2.41b	α 4.09a
	1988	α 2.39c	α 3.06b	α 3.90a
	1989	α 2.35c	β 2.69b	β 3.10a
稈部生 物量 (ton/ha)	1986	τ 3.651a	τ 2.995a	α 3.120a
	1987	β 5.483c	β 7.070b	α β 11.913a
	1988	α 8.292c	α 9.891b	α 12.515a
	1989	α 8.902b	α 9.168b	β 10.961a

* 由於年度與處理間，具極顯著之交互效應，不同處理間之效應分析，僅能就同一年度內予以比較，不同年度間之變動分析，僅能就同處理內予以比較。表列數值右上角之字母(a~c)為處理間比較之結果，左下角之字母(α ~ τ)為年度間比較之結果。凡字母相同者，表示其間不具顯著差異(P>0.05)，字母相異者，表示其間具顯著差異(P≤0.05)。

依據表5以胸徑為預估變數，以及各竹叢之竹株胸徑資料，馬來麻竹在擇伐前後每年新生竹株生長與生物量生產之比較，如表15所示。在擇伐後之連續2個年度內，新竹之胸徑生長雖略呈下降，然其生成株數、斷面積生長量及稈部生物量生

產量，均較擇伐前為多，若以其平均值比較，擇伐老竹將使新生竹株每年生成之株數，增加193%，斷面積增加131%，稈部生物量生產量增加118%。

表15. 馬來麻竹之新竹生產在擇伐前後之比較。

項目	年度	胸徑 (cm)	株數 (st/ha)	斷面積 (m ² /ha)	稈部生物量 (ton/ha)
擇伐前	1986	10.98	470	4.69	10.089
	1987	10.08	370	3.72	7.962
擇伐後	1988	9.67	1290	10.23	20.861
	1989	9.69	1170	9.21	18.558

新竹初生成時，冠部均尚未發育，稈部生物量即為新竹生物量之年生產量。作者曾探討馬來麻竹造林後新竹生物量之年度變動，結果顯示：馬來麻竹於栽後3年內之新竹年生產量，均未超過4公噸/公頃，此階段之林分發育，可能以地下莖生產結構之發展為主，年生產量於5年生時超過10公噸/公頃，造林後第8年可達23.3公噸/公頃(高毓斌與張添榮, 1989)。

正常之竹林經營，當林分生產力屆至最大值，即應伐採老竹，調整林分密度，留存適齡之健壯母竹，以紓解高林分密度所引致之激烈競爭；爾後由連年或隔年擇伐老竹，以維持竹林於一高生產機能之林分結構。新竹年生產量屆至最大值之後，若未及時調整竹林之生育空間及年齡結構，年生產量將漸呈下降，於12~15年生間新竹生物量年生產量平均僅為9.3公噸/公頃，為8年生

時之40%(高毓斌與張添榮, 1989)。

本研究係於栽植15年後擇伐逾齡老竹, 翌年(1988年)之新竹生物量生產量即激增至 20.9公噸 / 公頃, 較未伐採前2年內之平均值增加113%; 擇伐後第2年之生產量雖略呈下降, 仍較未伐採前增加106%。在15年生時擇伐逾齡老竹, 翌年之生物量生產量將激增至 20.9公噸 / 公頃, 較未伐採前4年內之平均值增加124%。此即反映出馬來麻竹在經長期鬱閉後, 生產機能仍未劣化, 適當伐採作業之施行, 將可恢復竹林之高生產量。

巨竹與馬來麻竹之新竹生物量之連年生產量之比較, 如圖7所示。就林分生產量而言, 無論是擇伐前, 或是擇伐後, 或是施以何種生產改良作業, 馬來麻竹之生產力遠優於巨竹, 以擇伐後第一年之馬來麻竹及經覆土施肥之巨竹相比較, 前者之年生產量(20.9公噸 / 公頃)較後者(12.5公噸 / 公頃)約多67%, 更較未經施肥改良之巨竹(8.3公噸 / 公頃)約多152%左右。若以單叢生產量而論, 竹種間之差異將趨減少。在擇伐前之馬來麻

竹, 單叢之新竹年生產量較巨竹約多39%; 在經擇伐老竹後之馬來麻竹, 生產量雖仍較對照區之巨竹增加26%, 然已與施肥區之巨竹有別, 而僅及經集約栽培之巨竹林之83%而已。

綜合以上之分析, 馬來麻竹林分年生產量之所以較優於巨竹, 主要是採用較高之栽植密度(5×5m), 且其單株乾重較著於巨竹之故。反之, 巨竹若以生物量之生產為其經營目標, 本試驗地所採用之7×7m之植距, 實有不宜之處。若增加巨竹之栽植密度, 及時伐採逾齡老竹, 且控制或改良地下莖隆起之缺陷, 巨竹之生物量生產之潛力, 或並不亞於馬來麻竹。

依據巨竹各部位重量或葉面積與胸徑之相對生長式(表4), 以及各叢竹株之胸徑資料, 各處理之地上部生物量及葉面積指數如表16所示。在擇伐後之連續3年內, 地上部生物量及葉面積指數, 均逐年增加, 至試驗結束時, 對照區、施肥區、施肥及覆土區之地上部生物量各為74.1公噸 / 公頃、80.3公噸 / 公頃及97.0公噸 / 公頃。

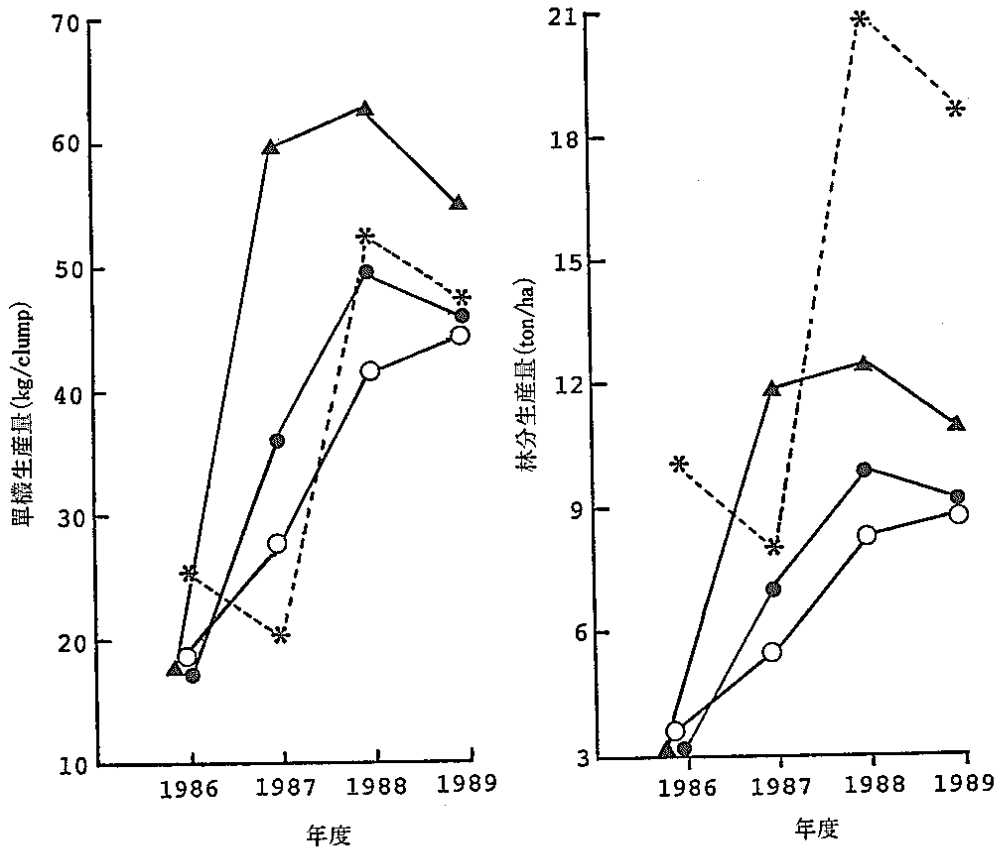


圖7. 巨竹與馬來麻竹新竹生物量生產量之比較(符號說明同於圖5)

表16. 不同處理巨竹林之林分生長及生物量因年度之變動。

處理	年度	胸徑 (cm)	竹高 (m)	底面積 (m ² /ha)	林分 密度 (st/ha)	生物量 (ton/ha)				葉面積 指數
						葉	枝	稈	地上部	
對照	1986 *	13.5	16.9	4.39	1000	2.368	2.971	21.759	27.098	1.829
	1987	13.5	16.9	6.15	1411	3.278	4.360	30.976	38.614	2.553
	1988	13.9	17.4	8.54	1833	4.758	6.116	44.280	55.154	3.717
	1989	14.4	18.0	10.88	2167	6.329	8.389	59.413	74.132	4.928
施肥	1986 *	12.9	16.7	4.02	1000	2.567	3.231	19.328	25.125	2.018
	1987	12.8	16.3	6.44	1622	3.647	4.707	29.529	37.883	2.835
	1988	13.4	17.0	9.50	2167	5.940	7.378	45.537	58.855	4.553
	1989	14.0	17.7	12.19	2556	8.376	10.400	61.557	80.333	6.476
施肥及 覆土	1986 *	12.7	15.8	3.89	1000	2.585	3.217	17.077	22.878	1.998
	1987	12.5	15.7	7.98	2100	3.541	4.523	31.893	39.957	2.757
	1988	13.2	16.5	11.88	2811	7.319	8.809	54.097	70.226	5.570
	1989	13.8	17.3	14.98	3189	10.220	12.728	74.069	97.017	7.970

* 擇伐後之林分狀態

在研究期間內，馬來麻竹林分生物量、葉面積指數及其他生長特性於擇伐前後之變動，如表17所示。在1986年時，林分已極度鬱閉，林分密度高達8610株 / 公頃，地上部所積聚之生物量，高達246.3公噸 / 公頃，其中2%、7%及91%分屬於葉部、枝部及稈部；在1987年時，全年枯死竹株達580株 / 公頃，多屬小徑竹株，而於年底擇伐施行前，現存生活竹株達8400株 / 公頃，地上部生物量為256.3公噸。擇伐度若以株數計，為

此階段林分之75%，每公頃僅留存2090株，每檯約有5~6株為母竹，擇伐後之斷面積之生物量僅為擇伐前之29%~30%。擇伐後連續2年內生產力之提昇，在1989年底時，林分密度已恢復至4550株 / 公頃，地上部生物量達132.9公噸 / 公頃，其中2%、5%及93%分屬於葉部、枝部及稈部，各部位生物量之分配率，大約同於擇伐前之林分狀態。

表17. 擇伐前後馬來麻竹林分生長及生物量積聚之比較。

處理	年度	胸徑 (cm)	竹高 (m)	底面積 (m ² /ha)	林分 密度 (st/ha)	生物量 (ton/ha)				葉面積 指數
						葉	枝	稈	地上部	
擇伐前 (枯損竹) *	1986	9.6	17.4	6.73	8610	5.754	17.284	23.215	246.253	7.287
		6.7	10.8	2.16	580	-	0.623	5.000	5.623	-
	1987	9.9	18.0	68.30	8400	6.037	17.833	232.417	256.287	7.623
施肥	1987	10.9	19.9	20.48	2090	1.836	4.402	68.353	74.591	2.174
	1988	10.4	19.5	30.71	3380	1.960	5.173	93.797	100.930	2.437
	1989	10.2	18.8	39.92	4550	2.991	7.194	122.753	132.938	3.461

* 由1987年1月至同年12月間之枯死量，枯損竹木質部乾重假設為4年生竹株乾重之80%。

(四)地上部有機物之脫落
經不同改良處理之巨竹林，連續3年間有機物

年脫落量之變方分析，如表18所示。在所分析之組成份中，包括落葉、落鞘、落枝、其他或是地

上部之合計，其年脫落量在不同年度間或是處理間，均呈極顯著之差異，惟年度及處理間，並不具顯著之交感效應，此即意謂有機物年脫落量在處理後之連續3個年度內，固然呈明顯之變動趨勢

，然其年度變動不因處理而異，改良作業亦會影響年脫落量之多寡，然其處理間之差異趨向亦不因年度而異。

表18. 不同處理巨竹林之有機物年脫落量之變方分析.

變異來源	自由度	落葉		落鞘		落枝		其他		合計	
		均方	F值	均方	F值	均方	F值	均方	F值	均方	F值
區集	2	0.28		0.03		0.005		0.0005		0.56	
年度	2	8.34	417.0**	1.43	204.3**	0.28	40.0**	0.006	30.0**	19.71	492.8**
機誤	4	0.02		0.007		0.007		0.0002		0.04	
處理	2	4.36	10.4**	0.74	12.3**	0.22	11.0**	0.008	11.4**	11.93	11.6**
處理×年度	4	0.23	0.6 ^{n.s.}	0.06	1.0 ^{n.s.}	0.04	2.0 ^{n.s.}	0.0005	0.7 ^{n.s.}	0.65	0.6 ^{n.s.}
機誤	12	0.42		0.06		0.02		0.0007		1.03	

** 表示具極顯著差異(P ≤ 0.01)， n.s.表示不具顯著差異(P > 0.05).

表19. 不同處理巨竹林之有機物年脫落量(ton/ha/yr)之比較.*

項目	年度	對照	施肥	施肥及覆土	平均
落葉	1987	1.650	2.497	2.943	τ 2.363
	1988	3.142	3.875	4.823	β 3.947
	1989	3.737	3.683	4.892	α 4.104
	平均	2.843 ^b	3.352 ^b	4.219 ^a	3.471
	其他				
落鞘	1987	0.552	0.603	0.888	τ 0.681
	1988	0.647	0.823	1.198	β 0.889
	1989	1.283	1.447	1.925	α 1.552
	平均	0.827 ^b	0.958 ^b	1.337 ^a	1.041
	其他				
落枝	1987	0.167	0.192	0.238	τ 0.199
	1988	0.205	0.225	0.508	β 0.313
	1989	0.378	0.398	0.852	α 0.543
	平均	0.250 ^b	0.272 ^b	0.533 ^a	0.352
	其他				
其他	1987	0.047	0.063	0.080	τ 0.063
	1988	0.070	0.083	0.110	β 0.088
	1989	0.083	0.107	0.160	α 0.117
	平均	0.067 ^b	0.084 ^b	0.117 ^a	0.089
	其他				
合計	1987	2.415	3.355	4.150	τ 3.307
	1988	4.063	5.007	6.640	β 5.237
	1989	5.482	5.635	7.828	α 6.315
	平均	3.987 ^b	4.666 ^b	6.206 ^a	4.953
	其他				

* 由於處理及年度間之交感效應不顯著，故在比較年度間或處理間差異時，係以各年度內3種處理之平均值或是各處理內3個年度之平均值為比較依據，其餘說明同表9.

依據變方分析結果，有機物年脫落量在不同年度或處理間之比較，如表19所示。無論是落葉、落鞘、落枝或其他雜物之脫落量，均隨處理後年數之增加而顯著增大；而施肥區與對照區間並不具顯著差異，均顯著低於施肥及覆土區。在採行集約栽培後之第1年內，地上部年脫落量為4.2公噸/公頃，較施肥區及對照區各增加24%及72%，迨至第2年時，年脫落量增至6.6公噸/公頃，較上一年度增加60%，且較當年之施肥區及對照區各增加33%及63%，處理後第3年之年脫落量更高達7.8公噸/公頃，較第2年度增加18%，且較當年之施肥區及對照區，各增加39%及43%，上述資料遂顯示：集約栽培區之年脫落量與對照區之差異，將因年度而持續地縮小，惟與施肥區間之差異則持續擴大；而地上部所脫落有機物之各組成分比率，除落枝因年度之增加而有漸趨之趨勢外，落葉及落鞘之比率則未見持續性之變動趨向。

擇伐前後之馬來麻竹林分，其地上部有機物脫落量或枯死量，如表20所示。在擇伐未施行之

1987年中，全年所枯損之有機物共達11.1公噸/公頃，其中51%係屬枯死竹株，落葉所具之比率為28%，落鞘及落枝各為11%及8%。迨經擇伐老竹後，1988年所脫落之有機物為3.5公噸/公頃，其中之落葉、落鞘及落枝各為69%、21%及7%；1989年所脫落之有機物增加33%，共達4.6公噸/公頃，其中之66%、24%及7%分屬於落葉、落鞘及落枝。

綜合以上所述，竹林地上部有機物之脫落，深受育林作業之影響。經施肥或集約栽培之巨竹林，其脫落量較大於對照區。或是隨著擇伐後年度之增加，巨竹及馬來麻竹之有機物脫落量亦漸增加之現象，乃反映出生產力改良之結果，尤其是新竹個體之增加，地上部生物量之日漸趨於龐大，由於相互庇蔭效應所致，落葉、落鞘及落枝量亦因而增大。由施肥而導致落葉量增加之現象，亦曾見於孟宗林(高毓斌, 1988)，花旗松(Douglas fir)(Heilman and Gessel, 1963)及科西嘉松(corsican pine)(Miller and Miller, 1976)之研究。

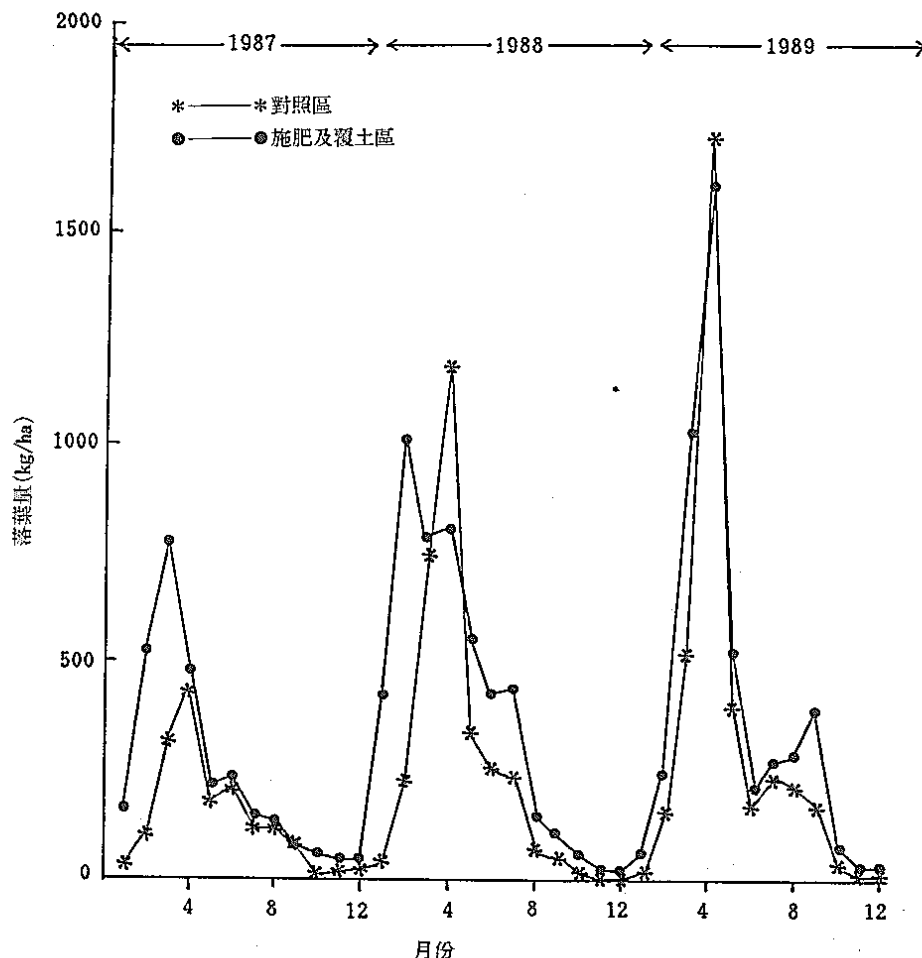


圖8. 不同處理巨竹林之落葉量之季節性變動

表20. 馬來麻竹地上部有機物年脫落量(ton/ha/yr)在不同年度間之比較。

項 目	1987年	1988年	1989年
落 葉	3.137	2.351	3.026
落 鞘	1.256	0.733	1.084
落 枝	0.834	0.237	0.342
其 他	0.196	0.132	0.145
枯 死 竹	5.623	-	-
合 計	11.046	3.453	4.597

在一完全鬱閉且大量竹株已呈枯死之馬來麻竹林分，其年落葉量約在3.1公噸 / 公頃左右，擇伐2年後之年落葉量亦迅速回復至3.0公噸 / 公頃(表20)。與溫帶竹類相比較，如孟宗竹(高毓斌，1988；渡邊，1983)、剛竹(內村，1973)、淡竹(渡邊，1983)、關東苦竹(*Pleioblastus chino*)(河原與佐藤，1977)，其年落葉量均在2—3公噸 / 公頃間，與馬來麻竹相類似，然較巨竹為低。

就其季節性變動而言，由於巨竹之施肥區與對照區之年落葉量、落枝量或落鞘量，並無顯著差異(表19)，年度內月份間之變動趨勢比較，僅限於集約栽培區及對照區。由圖8可以看出，巨竹林落葉之發生，有其明顯之節律。在老竹經擇伐後之翌年(1987)始，若未施肥時，落葉之高峰期見於4月，即約乾燥冬季結束後而筍芽初為萌動時，而3~4月之落葉量約為當年之45%，5~6月之落葉量則占全年之23%；隨著年度之推移，在1988年及1989年之落葉高峰期，仍發生在4月間，未因年度而異，而1988年3~4月間之落葉量約為全年之62%，5~6月之落葉量則占19%，1989年3~4月間之落葉量約61%，5~6月之落葉量則僅為15%。對集約栽培區之巨竹林而言，施肥及覆土之生產力改良作業，不但增大落葉量，且於處理後之2年內，落葉發生之節律亦稍異於對照區，1987年之落葉高峰期較對照區提早一個月發生，即自2月始已大量落葉在當年3月之落葉量，則達至最大，3~4月間之落葉量，在全年所具有之比率，約為43%，略同於對照區；迨至處理後之第2年(1988年)時，在當年1月時已大量落葉，而於2月達至落葉之高峰期，在3~4月間仍維持一相當高之落葉量，月平均量約790~810公斤 / 公頃間；迨至處理後第3年(1989年)時，落葉季節性變動之節律，又恢復至以4月為高峰期，同於未經

改良作業之對照區。頗值注意者，自擇伐後之第2年始，在1988年~1989年間，集約栽培區落葉之發生，有漸形成落葉之次高峰之趨向，時約為7~9月間，惟對照區則較不明顯。

落枝之季節性變動，則如圖9所示。巨竹枝條之脫落，亦有其明顯之節律。就對照區而言，在1987年時，自1月始，落枝量即逐漸增加，在5月時達至高峰，1988年及1989年之落枝高峰，則出現於4月，另於7月有一次高峰。集約栽培區之落枝節律，約略同於對照區，惟6~9月間之落枝高峰，較對照區更為明顯。

落鞘之季節性變動，則如圖10所示。基本上，未經施肥之巨竹林，在連續3個年度內，落鞘高峰期均出現在4月，年度間之差異，並未被明顯察覺出；而經集約栽培之巨竹林，在改良後之最初2年內，即1987年及1988年時，葉鞘及枝鞘大量之脫落，均較對照區提早2個月發生，在2~4月間之落鞘量均相當接近，維持在120~130公斤 / 公頃(1987年)或160~210公斤 / 公頃(1988年)間，迨至1989年以後，落鞘之節律變動，即無異於對照區，仍以當年之4月為明顯之落鞘高峰期。

由圖11可以明白顯示：馬來麻竹落葉之發生，亦有其明顯之節律，且未因擇伐而改變季節變動之趨勢。在完全鬱閉之竹林中，全年有2個落葉之高峰期，即4~5月及9月，此二時期所脫落之竹葉量，各為全年落葉量之25%及22%。竹林在經擇伐後之第1個年度時(1988)，首次之落葉高峰期仍出現在4~5月，其落葉量約為全年之38%，次一落葉高峰期則提早至7~8月間，其落葉量約為全年之24%。在1989年所觀察到之節律，首次之落葉高峰期則延至5~6月間才發生，其落葉量約為全年之33%，而於當年之8月即發生第二次落葉高峰，其落葉量約為全年之11%。

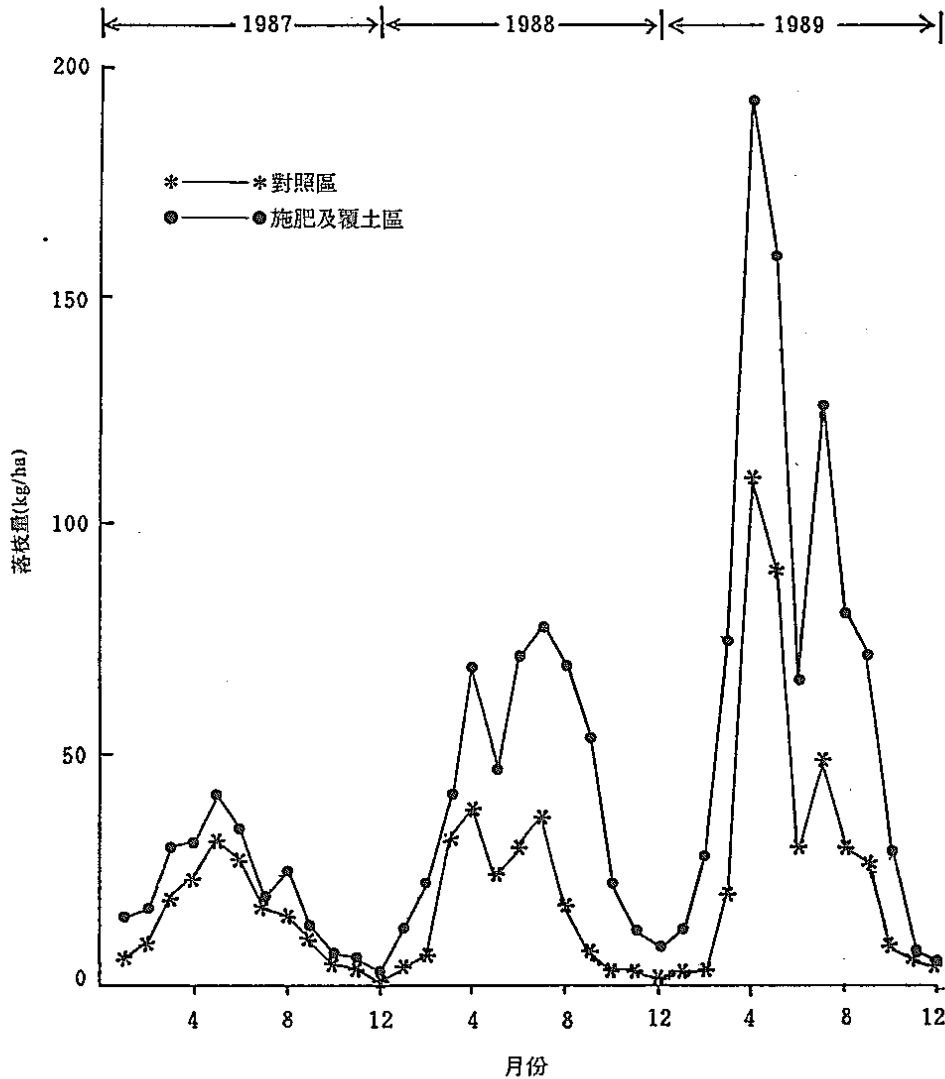


圖9. 不同處理巨竹林之落枝量之季節性變動

落枝之季節性變動，則較少受擇伐所影響(圖 12)。在擇伐前後之3個年度內，均僅見有一落枝之高峰期，1987年發生在6~7月間，1988年及1989年均發生在5~6月間。

就落鞘而言，擇伐將改變其季節性變動(圖 13)。在1987年時，全年共出現3個明顯之落鞘高峰期，即4~6月、7月及9月，各為全年落鞘量之

33%、16%及17%。在伐採逾齡老竹後之第一年度時(1988)，全年僅見有一落鞘高峰期，即以當年年之6月為最多，而5~7月之落鞘量為全年之49%。1989年所觀察到之節律變動，復略異於前一年度，即自當年4月至8月間，均維持一相當穩定之落鞘量，月落鞘量在130~170公斤/公頃間。

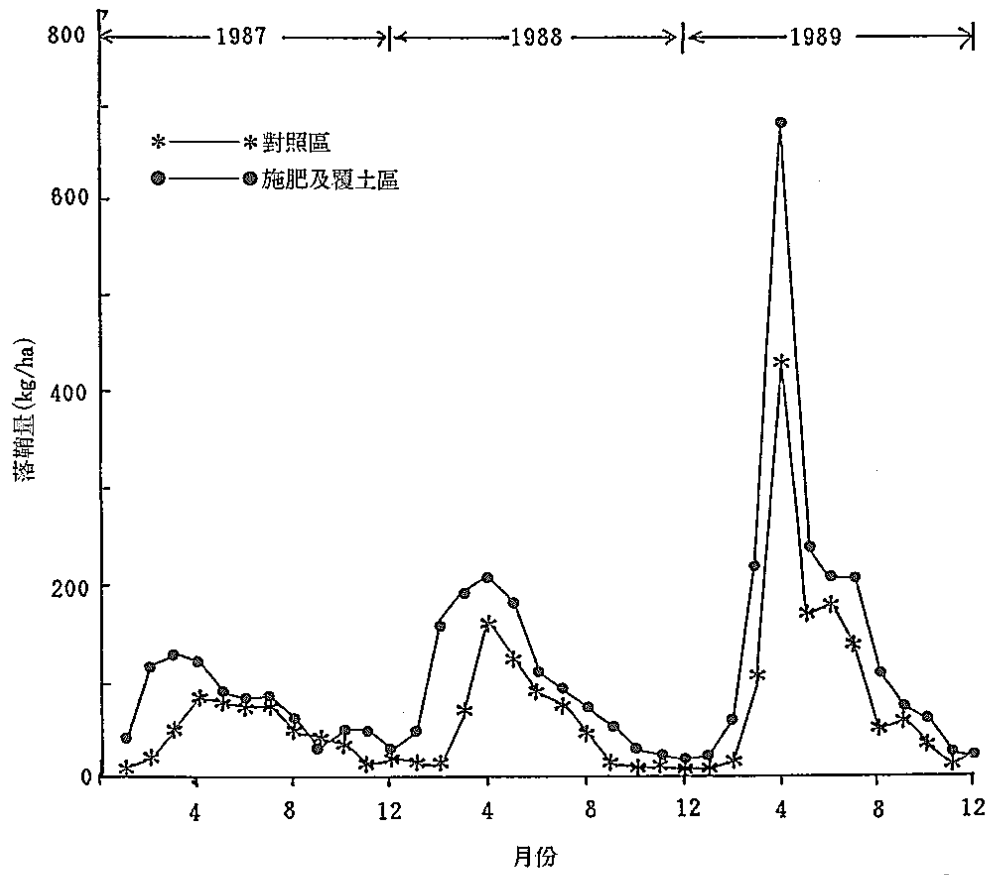


圖10. 不同處理巨竹林之落鞘量之季節性變動

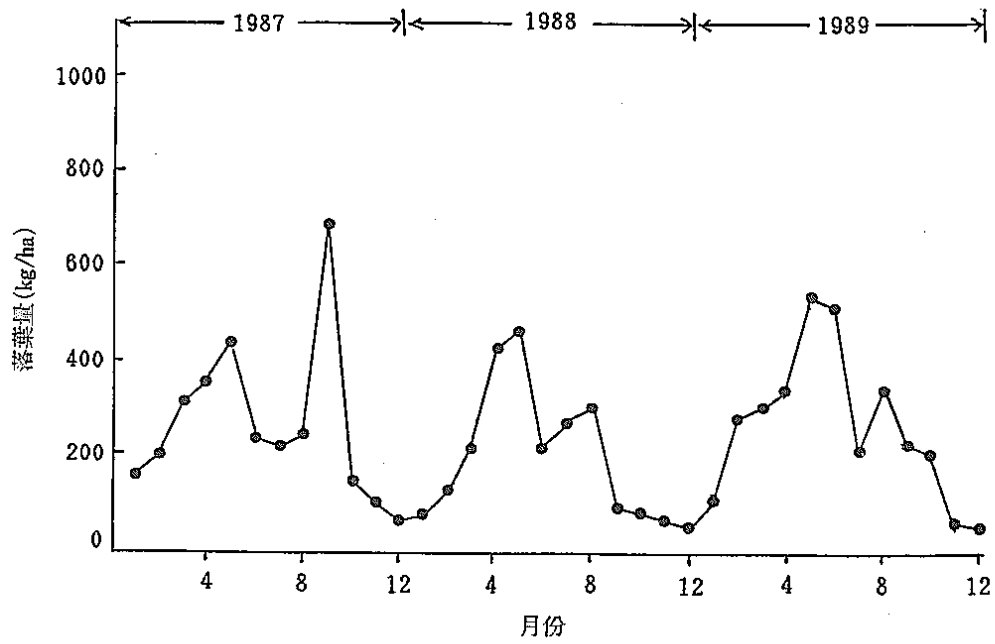


圖11. 馬來麻竹落葉量之季節性變動

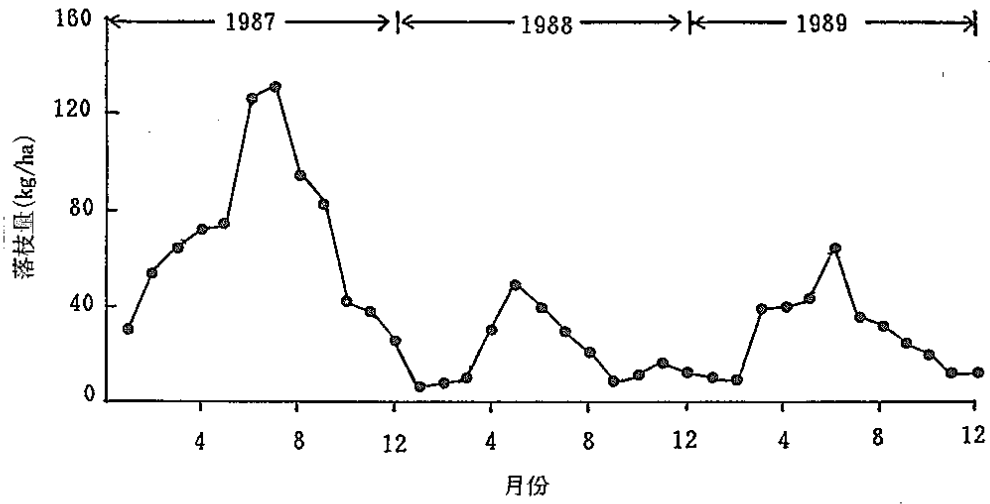


圖12. 馬來麻竹林落枝量之季節性變動

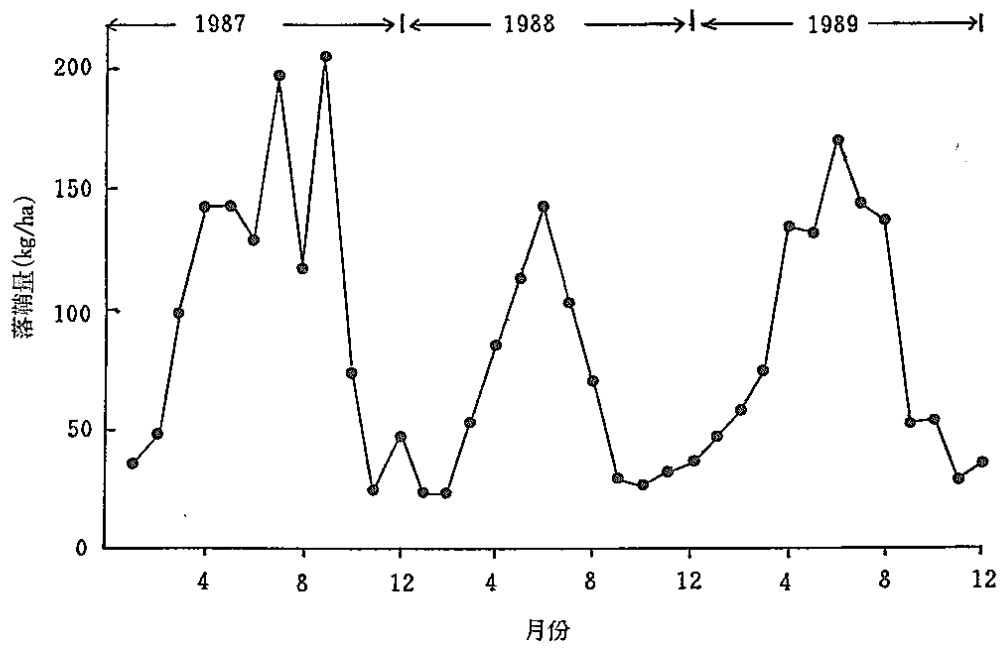


圖13. 馬來麻竹林落葉量之季節性變動

上述資料明白顯示：巨竹及馬來麻竹落葉發生高峰之節律，乃相當穩定，在連續2—3個觀察年度內，均以4~6月為其主要之落葉期。此正屬地下莖筍芽萌動而行將出土之際(表6、表7)。落葉高峰期與發筍期之相吻合，亦見於其他竹類之研究，如孟宗竹(高毓斌，1988；渡邊，1983)及剛竹(Watanabe,1983)，此或是基於生理性之需求，蓋竹林在發筍前，亟需供應大量之養分，以利生長，而依孟宗竹研究之結果，竹葉在萎黃脫落之際，將有大量之氮及磷會發生再移轉(retransbocation)(高毓斌，1985)，藉由落葉前養分之再循環，將可有效供應竹筍萌發所需者，因而提高竹林之養分利用效率。

巨竹林在經集約栽培後，其發筍起始日約較對照區早半個月(表6)，而其落葉高峰期亦較對照區早1個月發生(圖8)，此亦為落葉~發筍間具相互變動關係之另一佐證。在處理後第3年(即1989年)時，不論是何種生產力改良作業，其發筍起始日則相當接近，而其落葉之節律乃再漸趨於致。

在一完全鬱閉之馬來麻竹林內，落葉之發生有2個相當明顯之高峰(圖11)，在經擇伐老竹後，8~9月之落葉高峰較不明顯；而擇伐後之巨竹林，僅具有一落葉高峰，惟隨著林分之發育趨於完

整，在1988~1989年有漸形成7~9月之次一高峰之趨勢。基於上述資料，吾人將可推斷，在一具有完整之齡級分佈，且地上部生物量亦為發達之竹林內，落葉呈雙高峰之現象，亦屬可以預期者。事實上，孟宗竹亦具明顯之雙高峰，在春筍期間，落葉大量發生，迨至12月上旬至1月下旬間，後出現第2個高峰，此一變動式樣且不因生育地或施肥處理而異(高毓斌，1988)。

由於葉鞘及小枝之脫落，係伴隨萎黃葉之脫落及新葉之生成而發生，擇伐後之巨竹及馬來麻竹林僅具有一明顯之落葉高峰期，其落鞘及落枝亦僅具有一高峰期，此將可以理解。惟在鬱閉狀態之馬來麻竹林分，則見有3個明顯之落鞘期(圖13)，孟宗竹則有4個明顯之落鞘期(高毓斌，1988)，此或可反映出其新舊葉之更換時間將因竹株之年齡而異。

(五)淨初生產量之估算

有關巨竹林生物量連年生長量及年淨生產量之變方分析，如表21所示。分析結果顯示：無論是稈部、枝部或葉部之連年生長量或是淨生產量，在各年度間或處理間，均呈極顯著差異，而處理與年度間，亦具極顯著之交感效應。依據變方分析之結果，其均值比較如表22所示。

表21. 不同處理巨竹林生物量年生長量之變方分析.

變異來源	自由度	稈		枝		葉		地上部	
		均方	F值	均方	F值	均方	F值	均方	F值
區集	2	17.07		0.25		0.15		24.92	
年度	2	97.36	221.27**	7.72	772.00**	6.15	205.00**	227.85	307.91**
機誤	4	0.44		0.01		0.03		0.74	
處理	2	102.14	167.44**	4.22	140.61**	3.37	67.40**	193.31	203.48**
年度×處理	4	3.52	5.77*	1.38	46.00**	1.02	20.40**	13.56	14.27**
機誤	12	0.61		0.03		0.05		0.95	

*表示具顯著差異(P≤0.05)，**表示具極顯著差異(P≤0.01)。

就年度變動而言，在未經施肥或覆土改良之對照區，各部位生物量之年生長量，均隨著擇伐後年數之增加而漸趨增大，擇伐後第3年時之年淨生產量為最高，可達19.0公噸/公頃，其中80%、12%及8%分屬於稈部、枝部及葉部，而較擇伐後第1、2年時之年淨生產量，各約增加65%及15%；施肥區在處理後之第2~3年間之年淨生產

量，並無顯著差異，維持在21.0~21.5公噸/公頃間，而較施肥後第1年之年淨生產量約增加64%~68%；施肥並覆土者，則於處理後之第2年，可獲致最大之年淨生產量，約達30.3公噸/公頃，約較處理後第1年增加77%之年淨生產量，迨至處理後第3年時，生產力已略呈衰退，雖仍顯著優於處理後第1年約57%之年淨生產量，然僅

及生產高峰之89%。

就處理之效應而言，稈部、枝部及葉部之生物量年生長量，或是地上部之年淨生產量，均以施肥及覆土之集約作業為最優，施肥處理次之，而對照區為最劣。在處理後第1年之年淨生產量，集約作業區可達17.1公噸 / 公頃，較施肥區及對照區各增加34%及48%之生產量；迨至第2年時，增產之效應則再擴大，集約作業區之年淨生產量達至30.3公噸 / 公頃，較施肥區及對照區各增

加44%及83%；迨至第3年時，年淨生產量雖仍達26.9公噸 / 公頃，然僅較施肥區及對照區各增加25%及42%而已。

由不同處理及年度所測定之淨生產量(表22)及有機物脫落量(表19)，將可進一步估算其淨初生產量。有關不同處理巨竹林之年淨初生產量之變方分析結果(表23)顯示：年度之差異或是處理之效應，均為極顯著，而處理與年度間亦具極顯著之交感效應。

表22. 巨竹林生物量連年生長量(ton/ha/yr)在不同處理或年度間之比較.*

部 位	年 度	對 照	施 肥	施肥及覆土
稈 部	1987	τ 9.217 ^b	β 10.201 ^b	τ 14.816 ^a
	1988	β 13.304 ^c	α 16.008 ^b	α 22.205 ^a
	1989	α 15.133 ^b	α 16.020 ^b	β 19.972 ^a
枝 部	1987	τ 1.389 ^a	τ 1.476 ^a	β 1.307 ^a
	1988	β 1.756 ^c	β 2.671 ^b	α 4.286 ^a
	1989	α 2.273 ^c	α 3.022 ^b	α 4.018 ^a
葉 部	1987	β 0.910 ^a	β 1.081 ^a	τ 0.970 ^a
	1988	α 1.479 ^c	α 2.293 ^b	α 3.764 ^a
	1989	α 1.572 ^c	α 2.436 ^b	β 2.901 ^a
地 上 部 (淨生產量)	1987	τ 11.516 ^b	β 12.758 ^b	τ 17.092 ^a
	1988	β 16.540 ^c	α 20.972 ^b	α 30.255 ^a
	1989	α 18.978 ^c	α 21.478 ^b	β 26.891 ^a

* 均數比較之方法及說明，同於表9。

表23. 不同處理巨竹林之年淨初生產量之變方分析.

變 異 來 源	自 由 度	均 方	F 值
區 集	2	3.19	
年 度	2	373.28	401.38 **
機 誤	4	0.93	
處 理	2	301.19	184.78 **
處理 × 年度	4	16.34	10.02 **
機 誤	12	1.63	

** 表示具極顯著差異(P ≤ 0.01).

就均值比較之結果(表24)而言，無論是何種理，巨竹林之年淨初生產量，均將因擇伐後年度之增加而顯著增大。對照區在1987年之淨初生產量僅及13.9公噸 / 公頃，1988年及1989年則各增

加48%及76%；施肥區在1987年之淨初生產量為16.1公噸 / 公頃，較對照區增加16%之物質生產，1988~1989年間之淨初生產量雖未具顯著差異，然較1987年時增加了61%~66%之淨初生產量

；在連續3個觀察年度內，集約栽培區均顯著優於施肥區及對照區，在1987年時各增加32%及52%之乾物質生產，1988年時之淨初生產量為最大，達至36.9公噸 / 公頃，較施肥區及對照區各增加

42%及79%，1989年亦有34.7公噸 / 公頃之淨初生產量，而較施肥區及對照區各增加29%及42%之乾物質生產。

表24. 巨竹林之年淨初生產量(ton/ha/yr)在處理或年度間之比較.*

年 度	對 照	施 肥	施肥及覆土
1987	τ 13.931 ^c	β 16.113 ^b	β 21.242 ^a
1988	β 20.603 ^c	α 25.979 ^b	α 36.895 ^a
1989	α 24.460 ^c	α 26.813 ^b	α 34.720 ^b

* 均數比較之方法及說明，同於表9。

依據馬來麻竹地上部生物量之年度變動(表17)、新竹之生物量年生產量(表15)及有機物脫落量(表20)等資料，所推算出擇伐前後淨生產量及淨初生產量之比較，如表25所示。在1987年時，所估算出之淨初生產量為21.1公噸 / 公頃，其中之48%為淨生產量，餘52%則因枯損而成死亡有

機物。擇伐老竹後之1988年，淨初生產量增至29.8公噸，較擇伐前增加41%，其中之88%為淨生產量，僅12%之有機物為枯損之部份。1989年之淨初生產量為36.6公噸 / 公頃，較擇伐前增加74%，其中之87%為淨生產量，僅13%之有機物為枯損之部份。

表25. 馬來麻竹在擇伐前後年淨初生產量(ton/ha/yr)之比較.

項目	1987年	1988年	1989年
淨生產量	10.034	26.339	32.008
新竹生物量	7.962	20.861	18.558
母竹生物量生長量	2.072	5.478	13.450
有機物脫落量	11.046	3.453	4.597
淨初生產量	21.080	29.792	36.605

(六)物質生產特性之比較

本研究為解析巨竹與馬來麻竹之物質生產特性，遂以生產效性(growth efficiency)為探討對象。生產效性即單位葉面積所能生產之物質(Waring and Schlesinger,1985)，此不但能反映出葉部之光合能力，且為表現一生態系之能量處理之效性，故O'Neill(1976)以動力指數(power index)稱之，或有以淨光合率(net rate of photosynthesis) (Satoo and Madgwick,1982)、淨生產率(net production rate)(依田, 1971)或淨同化率(net assimilation rate)(Evans,1972)稱之。在一具較高生產效性之生態系或社會，因為對能量處理之效性亦較大，故一旦面臨干擾後，回復至穩定狀態所需時間亦愈短，即該生態系係以較高彈力

(resilience)之策略以維持其穩定性(stability)(O'Neill,1976)。

因育林改良作業或是竹種所導致之淨初生產量之相異，或因光合作用之葉量增加，或因葉部生產效性增加所致。圖14所示，即巨竹及馬來麻竹之生產效性因葉面積指數之變動。很顯然的，無論是巨竹或馬來麻竹，當林分之葉面積指數增加時，其生產效性亦隨之下降。此係因葉面積指數或葉部生物量增加之時，較低冠層的幅射透入量(radiation incident)降低，故其平均之光合作用率(photosynthetic rate)隨之減少所致(Satoo and Madgwick,1982)。就巨竹之不同處理間比較，施用肥料能稍微提高生產效性，惟仍以集約栽培區具最明顯之提昇效果，在處理後第1年之生產

效性可高達770公克 / 平方公尺，遠優於對照區及施肥區之546~568公克 / 平方公尺；迨至第2年時，集約栽培區之生產效性，已因葉量之增大而降至662公克 / 平方公尺。在未經擇伐老竹前，馬來麻竹係呈極度鬱閉之狀態，葉面積指數為

7.623(表17)，其生產效性僅及277公克 / 平方公尺，迨擇伐老竹後之翌年，其生產效性高達1222公克 / 平方公尺，較巨竹約多1.2倍，隨著林分之發育，葉量增多，生產效性乃降至1058公克 / 平方公尺。

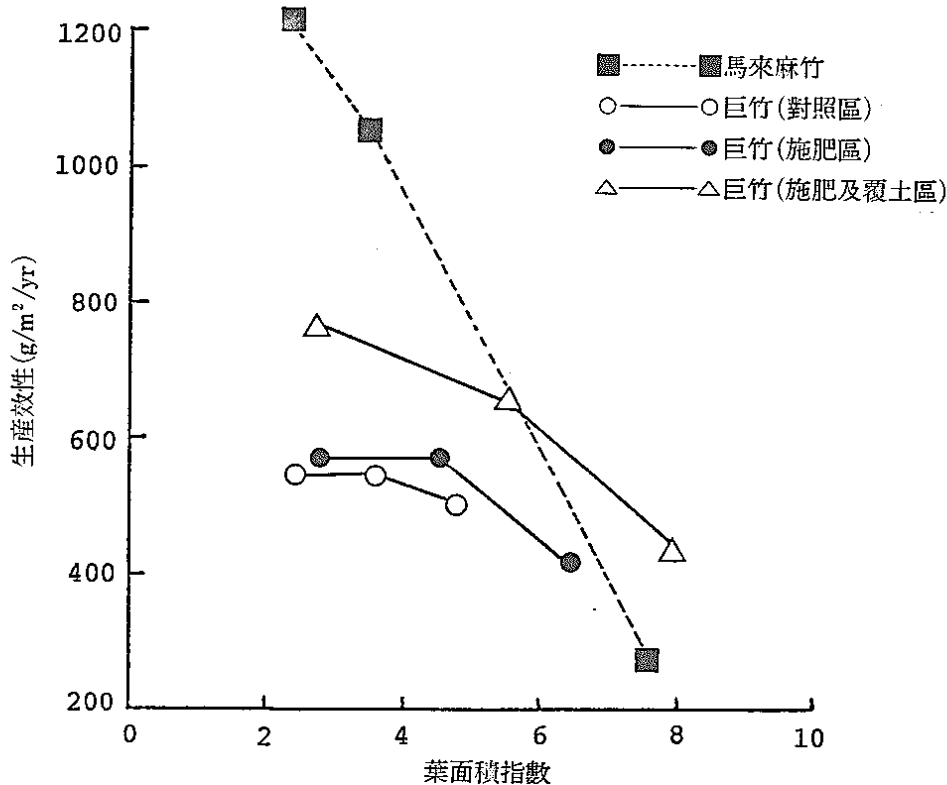


圖14. 巨竹及馬來麻竹之生產效性因葉面積指數之變動

在36年花旗松之間伐研究中，Waring 等(1981)曾指出：當葉面積指數位於4~12時，生產效性係隨葉面積指數增加而直線下降，在此變域之前，生產效性變動較緩，葉面積指數在超逾12之後，冠層之葉部係以相當窄之幅度分佈於樹體之頂部，此二者之關係遂漸成曲線。以本研究所獲資料而論，僅經擇伐之巨竹林，葉面積指數在4以前，生產效率確有略呈穩定之現象，施肥後之巨竹林，葉面積指數在4.5以前，亦具有相類似之傾向，在超逾此範圍後，即呈直線下降；對巨竹之集約栽培區或是馬來麻竹，則葉面積指數在超逾3以後，即呈直線下降。

隨著葉面積指數之增加，生產效性雖呈下降

，但是，淨初生產量則將漸增，直至一適當之葉面積後，再趨減少，如圖15所示。以巨竹而言，在研究期間內，對照區及施肥區之葉面積在增至6時，其淨初生產量之增加已趨緩和，而集約栽培區則已呈下降之趨勢；馬來麻竹之葉面積指數在超逾4左右，則已呈下降，此或導因於馬來麻竹之林分密度較高於巨竹，個體間之競爭較為激烈之故。依森林物質生產之研究結果，一般葉面積指數在超逾6以後，即很難維持一穩定之物質生產，而將漸趨於減少(Madgwick and Olson, 1974; Waring, 1983)。綜合上述之論點，巨竹與馬來麻竹物質生產特性，因冠層結構而引致之變動，基本上，仍是與一般之針、闊葉林相類似。

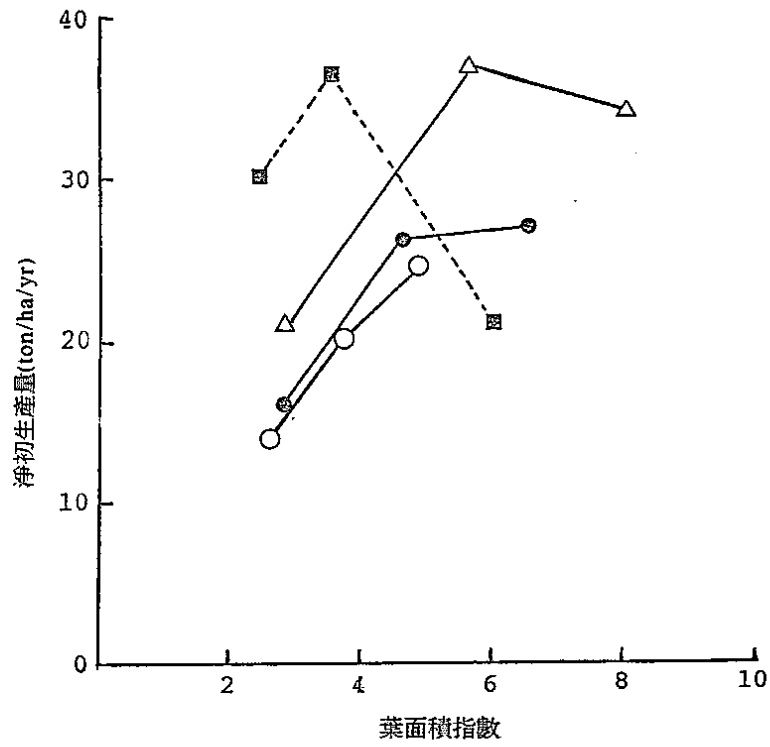


圖15. 巨竹及馬來麻竹淨初生產量因葉面積指數之變動(符號說明同於圖14.)

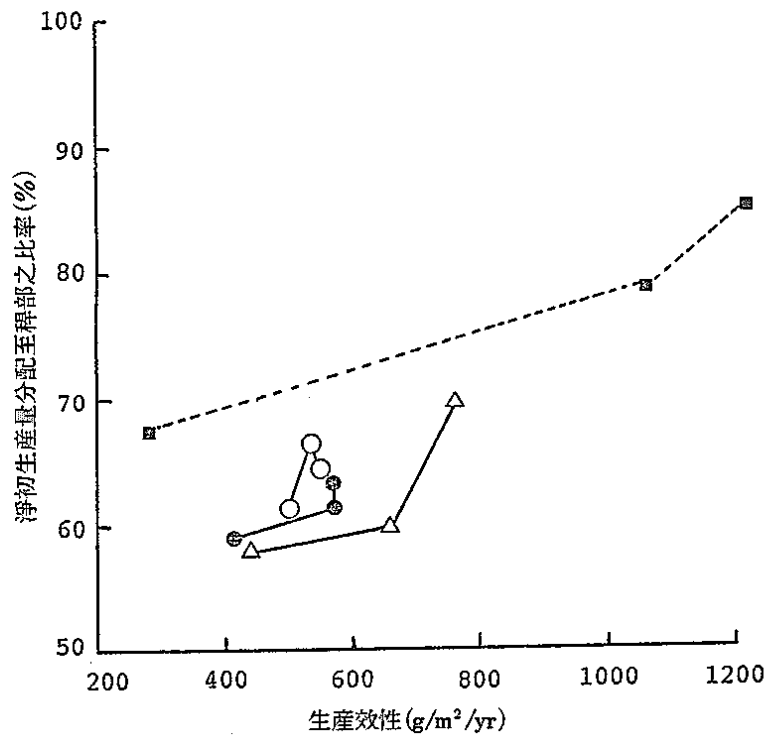


圖16. 淨初生產量分配率與生產效率之關係(符號說明同於圖14.)

圖16所示，即淨初生產量分配至稈部之比率，與生產效性之關係。無論是巨竹或馬來麻竹，隨著生產效性之增加，物質分配至稈部之比率，均將呈漸增，而馬來麻竹則高於巨竹。作者在研究孟宗竹時，亦曾指出：生育不良之孟宗竹林之淨初生產量較低，其所生產之有機物則以較高之比率投資於葉部生物量較低，其所生產之有機物則以較高之比率投資於葉部生物量之生產；支持

結構如稈部及枝部，其生產量於淨初生產量之比率遂相對降低(高毓斌，1988)。葉部為光合作用進行之器官，係竹林生長及生存之基礎，葉部生產所需之養分較木質部為著(高毓斌，1985)，呼吸消耗量亦較木質部為大(Edwards 等，1981)，據此或可推論生育不良之孟宗竹林，流經體系內之能量、乾物質及養分，需由較高比率以消耗於體系機能之維持(maintenance)。

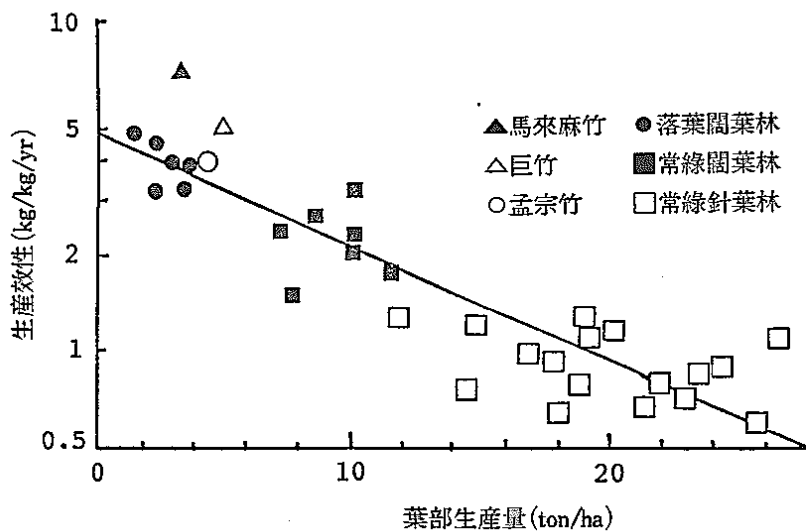


圖17. 竹類與日本各類型森林葉部之生產效性之比較

與其他林型相比較，無論是巨竹、馬來麻竹，或是已經探討之孟宗竹(高毓斌，1988)，基本上，竹類之物質生產特性，均較接近於落葉性之闊葉林，而異於常綠闊葉林。圖17即是以日本各類林型之生產效性(依田，1971)，與上述三種竹類之比較。落葉樹種之生產效性，一般均較常綠樹種為高(依田，1971)，而依Ovington (1957)、Waring 及Schlesinger(1985)之研究，常綠樹種在適宜之氣候及環境下，能進行光合作用之期間及葉量均較落葉性為高，故其生產力亦較優。巨竹及馬來麻竹在本省之環境下，全年均呈常綠，故具常綠樹種之特性，而其高生產效性又類似於落葉樹種。由於兼具常綠及落葉樹種物質生產之優點，此可能即是此二竹種，能具有較一般森林為高之淨初生產量之緣故。

四、結 論

(一)無論是巨竹或馬來麻竹，僅竹高及稈部鮮重之

估算，可於不同竹齡或處理間，導出共同迴歸式，其餘各部位乾重或葉面積之預測式，在竹齡或處理間均呈分離。馬來麻竹之稈壁較厚於巨竹，且隨胸徑之增加而稈壁愈厚，故相同直徑之竹株，馬來麻竹之稈部乾重較大於巨竹。

(二)巨竹經施肥後，能延後發筍終止期，發筍期間較長於對照區，若同時施以化肥及覆土，則兼具提早及延長發筍期之作用。馬來麻竹經擇伐逾齡老竹後，發筍期將提早1個月，惟未能延後發筍終止期。竹種間比較之結果，馬來麻竹之筍期較長於巨竹，惟此二竹種之發筍期，大致與雨季相吻合。

(三)巨竹及馬來麻竹在未擇伐逾齡老竹前，發筍量低而退筍率高，是其共同特徵，在經擇伐後，退筍率將逐年降低。巨竹若輔以化肥之施用，退筍率之降低尤為明顯；採用集約栽培後之翌年，退筍率亦急遽降低，爾後則逐年提高，至第3年時，仍低於對照區。一般狀況下，巨竹之

- 退筍率及單櫟之發筍量，均高於馬來麻竹。
- (四)經擇伐之巨竹，新竹生物量之年生產量，將顯著且逐年提高，未施肥者較擇伐前增加127%~144%，施肥區及集約栽培則各增加206~230%及282~301%。擇伐老竹對馬來麻竹生產力之改良，亦相當顯著，可增加約118%之新竹生物量年生產量。竹種間比較之結果，無論是林分或單櫟之新竹生物量年生產量，馬來麻竹均優於巨竹。
- (五)巨竹地上部脫落之有機物，以落葉為主，次為落鞘及落枝。在經擇伐後，隨著生物量結構之趨於發達，有機物脫落量均與年俱增。對照區及施肥區之脫落量無差異，惟均顯著低於集約栽培區。擇伐前而完全鬱閉之馬來麻竹，回歸之有機物以枯死竹株為主，次乃為落葉，惟經擇伐後，將仍以落葉為主，構成比率類似於巨竹；有機物脫落量亦因林分發育而增加，惟至擇伐後滿2年時，落葉量即無異於擇伐前之林分。就基本葉量而言，馬來麻竹約3.0~3.1公噸/公頃/年，巨竹約為3.7~3.9公噸/公頃/年。
- (六)無論是巨竹或馬來麻竹，其落葉之發生，均有明顯之節律，且相當穩定，大抵以4~6月為落葉高峰，在年度間之變動並不明顯。惟巨竹若經施肥及覆土，處理後之2年內，落葉高峰將提早1~2個月發生。在完全鬱閉且未經擇伐之馬來麻竹，因其竹齡之結構較為完整，乃見有2個落葉高峰期。
- (七)巨竹在經擇伐後，無論是何種處理，淨初生產量均將逐年增加。在連續三個觀察年度內，集約栽培區均顯著優於施肥區及對照區。在處理後第2年時，集約栽培區之淨初生產量達到最大值，為36.9公噸/公頃/年，較施肥區及對照區各增加42%及79%。馬來麻竹亦於擇伐後第2年時，淨初生產量達到最大值，約為36.6公噸/公頃/年，與經集約栽培之巨竹相類似，惟遠優於僅經擇伐未予施肥巨竹林之20.6公噸/公頃/年。
- (八)巨竹或馬來麻竹之生產效性，均因葉面積指數之增加而下降。施肥及覆土作業對巨竹生產效性之提高，較優於對照區及僅施用肥料者，約增加36%~41%。馬來麻竹經擇伐後之翌年，生產效性約增加341%，與巨竹相比較，馬來麻竹之生產效性約為巨竹之2.2倍。此二竹種之淨初生產量，均因葉面積指數之增加而增大，馬來麻竹之葉面積指數在超逾4後，淨初生產

量即漸呈下降，而巨竹則於6左右才發生。隨著生產效性之增加，淨初生產量分配至稈部之比率，均將漸增，馬來麻竹且高於巨竹。

- (九)在本省之氣候環境下，巨竹及馬來麻竹於全年均呈常綠，故其光合作用進行之期間，未因落葉而中斷；然其生產效性高於常綠林，而與落葉林相類似。由於同時兼具常綠林及落葉林物質生產之優點，此二竹種乃能具有較一般森林為高之物質生產能力。

引用文獻

林維治. 1981. 老濃巨竹栽培法. 林試所林業叢刊第17號.

林維治、江濤、張添榮. 1977. 巨竹引種與加工利用研究. 林試所試驗報告第300號.

吳征鎰. 1980. 中國植被. 1375頁.

高毓斌. 1980. 孟宗竹林之地上部生物量、淨生產量及氮積聚. 臺大森林研究所碩士論文. 121頁.

高毓斌. 1985. 臺灣孟宗竹林之生產力及生物性養分循環. 臺大森林研究所博士論文. 237頁.

高毓斌. 1988. 孟宗竹林物質生產之評估. 中華林學季刊. 21(4): 61—79.

高毓斌、張添榮. 1989. 馬來麻竹人工林之生長與生物量生產. 林試所研究報告季刊. 4(1): 31~42.

高毓斌、林維治、張添榮. 1989. 巨竹及馬來麻竹之平插繁殖. 林試所研究報告季刊. 4(2): 53~66.

陳嶸(遺著). 1984. 竹的種類及栽培利用. 342頁.

黃崑崗. 1975. 桂竹林作業法之研究. 林試所試驗報告No. 260. 11頁.

上田弘一郎. 1963. 有用竹と筍. 博友社. 314頁.

內村悅三. 1973. マダケ竹の育成とその開花林の保育に関する研究. 熊本縣林研指研報. 98頁.

青木尊重. 1959. 北九州地方マダケ林の林分材積表並びに林分成長量表の調製. 九大演報 No. 31: 1~60.

依田恭二. 1971. 森林の生態學. 築地書館. 331頁.

河原輝彥、佐藤明. 1977. ササ群落に関する

- 研究エアズマネザサの現存量の季節変化とそのリターフォール量. 日林誌59(6):225~227.
- 渡邊政俊. 1983. 竹林の生態的特徴に関する研究(1)モウソウチワ林とハチク林におけるリターフォールと鞘量. *Bamboo Journal* No. 1:28~35.
- 渡邊哲夫、本山碩碩. 1957. 竹林施業の改善に関する試験. 新潟縣林試研報. No. 2:1~8.
- 野中重之. 1982. カシロダケ 施業改善試験(I)~發筈量と徑級~日林九支研論集. No. 35:261~262.
- 鈴木健敬、成田忠範. 1975. 林分の成長と收穫に對する密度と施肥の効果~モウソウチク林の施業試験. 林業試験場研究報告. No. 273:75~93.
- 橋本英二、渡邊政俊. 1960. 竹林材におけるトマリタケノコの發生について富士竹類植物園報告. No. 5:65~68.
- 橋本英二、渡邊政俊. 1963. ホウライチクの含水率貯藏澱粉の季節的なうつりかわり富士植物園報告. No. 8:29~35.
- Bank, R. L.** 1983. Emerging culm mortality at early developing stage in bamboo. *Bano Biggyan Patrika* 83(12):47-52.
- Edwards, N. T., H.H. Shugart, Jr., S.B. McLaughlin, W.F.** 1981. Terrestrial ecosystems. In: Reichle, D.E.(ed) *Dynamic Properties of Forest Ecosystems*. pp. 499-536.
- Evans, G. C.** 1972. The quantitative analysis of plant growth. Blackwell, Oxford, 734 p.
- Gomez, K. A. and A.A. Gomez.** 1984. Statistical procedures for agricultural research. pp. 680.
- Grey, D. C., A.P.G. Schonau and C.J. Schutz.(eds.)** 1984. Symposium on site and productivity of fast growing plantations. South African Forest Research Institute, pp. 968.
- Hasan, S. M.** 1975. Studies on growth and maturity of bamboo culms. *Commonw. For. Rev.* 54(2):147-153.
- Heilman, P. E. and S. P. Gessel.** 1963. Nitrogen requirements and the biological cycling of nitrogen in Douglas fir in relationship to the effects of nitrogen fertilization. *Plant Soil* 18:386-402.
- Kaitpraneet, W., W. Suwannapinant, B. Thaiutsa and P. Sahunalu.** 1981. Management of bamboo forest for pulp and paper industry. Research Note. Faculty of Forestry, Kasetsart University. 25:9 pp.
- Kao, Y. P.** 1987. Aboveground biomass estimation equations for *Cryptomeria*, *Leucaena*, and Moso bamboo in Taiwan. *Proceedings of the Seminar on Forest Productivity and Site Evaluation*. pp. 105-116.
- Miller, H. G. and J.D. Miller.** 1976. Effect of nitrogen supply on net primary production in Corsican pine. *J. Appl. Ecol.* 13:249-256.
- O'Neill, R. V. and D.L. De Angelis.** 1981. Comparative productivity and biomass relations of forest ecosystem. In: Reichle, D.E.(ed.) *Dynamic Properties of Forest Ecosystems*. pp. 411-450. IBP No. 23, Cambridge Univ. Press.
- Ovington, J. D.** 1957. Dry matter production by *Pinus sylvestris* L. *Ann. Bot. n.s.* 21:287-314.
- Reichle, D. E.(ed.)** 1981. *Dynamic properties of forest ecosystems*. Cambridge University Press, pp. 683.
- Satoo, T. and H.A.I. Madgwick.** 1982. *Forest Biomass*. 152pp. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers.
- Shea, K. K. and L. W. Carlson.** 1984. Increasing productivity of multipurpose tree species: a blueprint for action. *U.S.D.A. For. Serv.* pp. 100.
- Shidel, T. and T. Kira.** 1977. Primary productivity of Japanese forests: productivity of terrestrial communities. University of Tokyo Press, pp. 289.
- Uchimura, E.** 1978. Ecological studies on cultivation of tropical bamboo forest in the Philippines. *Bull. For. & For. Prod. Res. Inst.* No. 301, pp. 79-118.
- Waring, R. H., Newman, K. and Bell, J.** 1981. Efficiency of tree crowns and stemwood production at different canopy leaf densities. *Forestry* 54, 15-23.
- Watanabe, M.** 1983. On the productivity of a *Phyllostachys bambusoides* stand in recovering from flowering. *J. Jap. For. Soc.* 65(3):89-93.

Watanabe, M., M. Inoue and T. Takano. 1989. Discussion on the prediction of culm height in *Phyllostachys bambusoides* bamboos. *Bamboo Journal* 7: 27-38.

Yolanda, R. U. 1984. Treatment of Kauayan-Tinik (*Bambusa blumeana* Blume Ex. Schultes) clumps for sustained yield. *FPRDI Journal* 8(1):39-57.