

馬來麻竹人工林之生長與生物量生產

高毓斌 張添榮

摘要

本研究旨在探討馬來麻竹自造林後16年間，林分生長及生產量隨林齡之自然變動，並由擇伐後生產特性之改變，以評估竹林生產力回復及維持之可能性。

新竹之胸徑生長、生成株數、斷面積生長量及生物量生產量，均因林齡之增加而增大。胸徑自植後第9年始即趨於穩定。生成株數於第3年屆至最大值後，即逐年降低，在自然枯死發生後，尤為明顯。斷面積及生物量之年生產量均以8年生之林分為最大，若未及時擇伐逾熟老竹，生產量將急遽降低。擇伐於植後第15年施行時，翌年新竹生產量將可迅速回復。

林分胸徑將隨林齡增加而持續增大至植後第15年。林分密度於9年生時屆至最大值後，即發生自然枯死，而遞減其個體株數。林分生物量及林分斷面積自造林後逐年增大，15年生林分仍在持續增加中。年淨生產量與新竹生物量生產量之年度變動式樣相似，惟隨林齡之增加，母竹生物量增長量之比率將逐年增大，在老竹發生自然枯死後，此比值將趨減少。8年生人工林之年淨生產量可達 41.4 ton/ha，為目前所知國內之森林作物中，生產力最高者。欲長期維持或改良其生產力，適時擇伐老竹以調整生育空間及竹齡結構，為一關鍵之育林作業。

[關鍵詞] 生產力、林齡效應、退筍、自然枯死、競爭、擇伐。

高毓斌、張添榮。1989，馬來麻竹人工林之生長與生物量生產，林業試驗所研究報告季刊，4(1)：31-42，

The Growth and Biomass Production of *Dendrocalamus asper* Plantation Yu-Ping Kao Tien-Yuang Chang

[Summary]

Dendrocalamus asper, a thick-walled sympodial bamboo with high utilization potential, was first introduced to Taiwan in 1967. A 5*5 m trial plantation with 0.1 ha was established in 1972. Results of stand growth and biomass production of *D. asper* during the following sixteen years after planting are presented in this study. The diameter and basal area growth, biomass accumulation and net production were all substantial increased with the increasing stand ages. The maximum net annual production, which was estimated as 41.4 ton*ha⁻¹, were recorded at the eighth years after planting. Intensive natural-mortality due to density competition occurred beyond this stage. Severe competition significantly affect the plantation productivity by reducing the number of emerging culms and increasing ratio of abortive shoots. An average of 9.3 ton*ha⁻¹ of net annual biomass production was obtained for the trial stand between the age of twelve to fifteen. The plantation regained its high productivity as 26.3 ton*ha⁻¹ one year after removing the culms older than four years old. To regulate the spatial distribution and age structure by harvesting the over-matured culms properly is crucial for sustaining the high yield of *D. asper*. The possible effects of selective cutting on releasing the competition stress to promote the stand productivity are discussed.

1988年11月送審

1988年12月通過

主審委員：呂錦明
邱志明

Key Words: productivity, stand age effect, abortive shoots, natural mortality, competition, selective cutting.

Kao, Y. P., T. Y. Chang. 1989. The growth and biomass production of *Dendrocalamus asper* plantation. Bull. Taiwan For. Res. Inst. New Series. 4 (1): 31-42.

一、緒言

馬來麻竹 (*Dendrocalamus asper* (Schult.) Baker ex Heyne) 為地下莖合軸叢生之熱帶竹類，除印度及孟加拉外，東南亞諸國均有自然分佈或栽培 (Lessard 1980)。稈形高大粗壯，稈肉亦厚，為充裕本省之竹材原料，本所於1967年時首由泰國引進。初期之適應性試驗，曾分別於六龜、嘉義及竹山進行，重要之機械及物理性性質亦曾被分析，依據林維治(未發表)資料記載，馬來麻竹之絕乾比重為0.69，除抗張強度較弱外，他如抗壓、抗彎及抗剪強度均較孟宗竹(*Phyllostachys pubesens*) 為優；纖維長度約2.7mm，寬度為17.0 μ ，屬長纖維植物，宜為高品質之紙漿原料，以硫酸鹽法製漿之收率約41%，裂斷長及破裂比較低，撕力比則高於南方松。

在證實馬來麻竹能適應於本省之生態環境，竹材性質亦優於省產之竹種後，林業試驗所育林系林維治技正遂於六龜分所進行試驗造林，造林後9年內之生長曾被作者等持續記錄，後因人事異動，於1986年後始繼續就此試驗林分探討馬來麻竹之物質生產 (dry matter production) 與養分循環 (nutrient cycling) 之特性。

生物資源之培育與經營，需以其生理及生態特質為基礎，擬定適宜之施業，始能維持再生性及生產力於永續。對竹類資源而言，物質生產與競爭之探討，尤其重要。竹類均依賴地下莖以萌發新竹，同時完成生長與繁殖之過程。新竹雖於短期間內完成形體生長，然其物質之生產、移轉及積聚，仍繼續進行，不但漸為林分生產結構之主體，且為後續之物質生產之基礎。新竹年年不斷地生成，將使竹林之生產結構日趨龐大，因林分密度日漸增大所引發之競爭張力，亦趨激烈。探討在自然發育之過程所進行之競爭作用，以及人為舒解競爭張力後，對其生產或結構之可能效應，將為竹林之密度控制之依據。

本研究報告即以此試驗林栽植後15年時，所施行之生物量調查為基礎，比較馬來麻竹生物量關係

(biomass relation) 在竹齡間發生之變異；進而分析此竹種於長期之發育過程中，林分生長與物質生產之特性因林齡之變動，期能瞭解其生產潛能；並由擇伐後第一年新竹生長反應，探討竹類林分密度控制之意義。

二、材料與方法

本試驗林位於林試所六龜分所扇平工作站，海拔為800m，於1972年初春，以1年生平插苗造林。試區略呈長方形，面積為0.1083ha，區內之竹櫟數為40，相當於植距5m \times 5m，即每公頃之櫟數為400。自造林後翌年始，逢機擇取居中20竹櫟，設定為調查對象。在發筍成竹後之11~12月間，逐年調查新竹竹株之胸徑、竹高及成竹量，調查持續至1981年生長結束後止，共歷經9年。在此期間內，未擇伐任何成熟之老竹，亦無嚴重病蟲害發生。爾後5年間之生長調查因故中斷，未進行任何人為干擾。

至1986年12月時，此15年生林分已完全鬱閉，林內相對光照強度未及林外之15%，地被植羣相當稀少，枯死竹株處處皆是，部份已倒置於林地。竹櫟生長已有優勢及被壓之區別，惟無枯死之竹櫟，成活率仍為100%，所有竹櫟均設為調查對象。

竹櫟經編號並標定相關位置後，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，精度為0.1cm。本文所指1年生即當年發筍所成之竹株，餘者類推。新竹自6~7月萌發至當年12月時，高及徑生長均已完成，大部份仍未長出新枝或抽放嫩葉，竹稈上具纖細之褐色絨毛。在翌年初春後，枝條生成並展開新葉，尚留存之竹籜由淡綠色漸呈淡綠色，竹稈色澤仍呈鮮綠，此為2年生。3年生竹株之主枝已完全發育，部份次生枝已生成，竹籜已脫落，稈部絨毛則呈綠色，竹稈色澤呈深綠。4年生以上之竹株無法精確區別其發筍年度。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，同時進行生物量調查。

生物量調查時，將竹株區分為上述4個齡級，各齡級依胸徑區分為6~9個直徑級，由各直徑級逢機選取1~2株樣木，各齡級之樣木數均為9株，合計為36株。

樣木經選定後，逐株由基部伐倒，測其胸徑、枝下高、生活冠徑及竹高，並以利刃將竹枝分離。稈部由基部始，測定各節之長度，並從1.3m處每隔2m截成一段，以測微尺測定各段上、下兩端之稈肉厚度及稈徑。各段竹稈以Sensotec可携型數字性測重儀秤量其鮮重，由各段基部鋸取長約10~20cm之樣本，秤量鮮重，以測定含水率。竹枝自各段竹稈分離時，即依層序以Licor-3000可携型葉面積儀，量取各段冠層30~50片竹葉之面積，摘取後秤其鮮重；其餘葉片亦秤其鮮重，另取200g樣本。所調查之1年生竹株中，僅2株著生極少量之鮮葉，故冠層解析未施行於此齡級。

生物量調查結束後，全試區擇伐逾熟之老竹及枯竹，各竹叢於留存母竹時，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，各叢之母竹留存量約為5株，餘者均以利鋸由基部伐倒。伐倒木另逢機選取100株量取胸徑、竹高、稈部鮮重及冠部(含枝葉)鮮重，此部份資料將與其他36株樣木資料共同分析，以導出竹高曲線及稈部鮮重預測式。

伐採後歷經1年，即1988年11月間，再次調查新竹生長、退筍發生，或是枯死竹株。

生物量調查所採取之各類樣本，以電氣爐乾器於 $100 \pm 3^\circ\text{C}$ 烘乾至恆重，秤量乾重至0.1g精度。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，則由電動天平秤量至0.01g精度，求出各層次之比葉重(specific leaf weight)，即單位葉面積(m^2)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：

$$W_i = a \text{DBH}^b \quad \text{及} \quad W_i = a (\text{DBH}^2 \times H)^c$$

其中 W_i 表示各部位乾重(kg)或葉面積(m^2)，

DBH及H各為胸徑(cm)及竹高(m)。除顯著性檢定及計算決定係數(R^2)外，另由適合指數(fit index, FI) (劉宣誠、高毓斌1987)以比較迴歸式之精確性，其求算法如次所列：

$$FI = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_i)^2} \right]$$

其中 Y_i 、 \bar{Y}_i 及 \hat{Y}_i 各代表第i個觀測數之實際值、實際均值及以算術單位表示之預測值。

不同竹齡間所導出相對生長式之比較，則以共變數分析(analysis of covariance)檢定各齡級迴歸式之斜率及修正均值，由t一檢定比較各齡級修正均值之差異。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、淨生產量(net production)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，將試區內屬同竹齡之竹株生長參數，分別導入各竹齡之相對生長式，求出此羣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。

淨生產量之估算，則以作者提出之竹林有機物收支表(budget sheet) (高毓斌1981, 1985)為基礎，分別求出新竹生物量生產量及母竹之生物量增長量(biomass increments)，生物量及淨生產量之求算，均基於相同之假設，即各竹齡之相對生長式於不同年度間，仍呈穩定，四年生以上竹株之生物量變動甚微。此假設雖有潛在之限制，仍為目前所發展出較合理之方法，近年來國外研究竹類物質生產之學者，亦多採用之 (Alan *et al.* 1987, Watanabe 1983)。

三、結果與分析

由不同竹齡馬來麻竹各取9株樣木後，導出之乾重或葉面積預測式，如表1所示。以胸徑或(胸徑 2 ×竹高)為自變數，均呈極顯著相關。由決定係數(R^2)或適合指數(FI)比較之結果均顯示：導入竹高能提高預測式精確性約為3%以內。

各竹齡乾重或葉面積預測式之共變數分析如表2所示。以胸徑為共變數，葉、枝部乾重及葉面積關係式之斜率，在竹齡間均具顯著差異，各部位乾重之修正均值亦具極顯著差異。以(胸徑) 2 ×竹高為共變數，除葉部乾重外，其餘關係式之斜率於竹齡間雖未具差異，修正均值均具極顯著差異。

表1. 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)	W = a DBH ^b				W = a (DBH ² · H)b			
		a	b	R ²	F I	a	b	R ²	F I
稈 重	1	0.037	2.611	0.94	0.95	0.029	0.836	0.97	0.98
	2	0.028	2.875	0.99	0.98	0.018	0.943	0.99	0.98
	3	0.039	2.784	0.98	0.99	0.028	0.900	0.98	0.99
	>4	0.088	2.483	0.99	0.99	0.039	0.863	0.99	0.99
枝 重	2	0.095	1.146	0.81	0.76	0.078	0.379	0.82	0.78
	3	0.018	2.036	0.93	0.93	0.016	0.643	0.89	0.91
	>4	0.088	1.420	0.77	0.79	0.060	0.485	0.75	0.78
葉 重	2	0.024	1.548	0.85	0.80	0.018	0.515	0.86	0.82
	3	0.001	2.919	0.93	0.93	0.001	0.926	0.90	0.92
	>4	0.011	1.806	0.77	0.76	0.005	0.631	0.79	0.77
葉面積	2	0.216	1.559	0.88	0.84	0.162	0.516	0.90	0.86
	3	0.053	2.326	0.92	0.91	0.044	0.738	0.91	0.90
	>4	0.112	1.946	0.80	0.78	0.054	0.674	0.82	0.79

*關係式中之W為各部位乾重或葉面積，DBH為胸徑 (cm)，H為竹高 (m)，R²為決定係數，F I為適合指數，本表所列之各迴歸式均具極顯著相關。

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	變異來源	各 部 位				葉 面 積
		葉 部	枝 部	稈 部	重 地 上 部	
胸 徑	迴 歸	136.4**	98.1**	1580.1**	1666.4**	219.4**
	斜 率	8.6**	3.7*	2.6 ^{NS}	2.9 ^{NS}	3.7*
	訂正均值	6.3**	26.0**	14.1**	19.0**	22.0**
(胸徑) ² × 竹高	迴 歸	148.2**	90.6**	2638.8**	2619.7**	228.1**
	斜 率	7.1**	2.6 ^{NS}	1.8 ^{NS}	1.3 ^{NS}	3.4 ^{NS}
	訂正均值	4.7**	23.6**	18.8**	24.6**	22.2**

* 表示具顯著差異 (α=0.05)，**表示具極顯著差異 (α=0.01)，N.S.表示未具顯著差異。

各竹齡馬來麻竹之乾重及葉面積訂正值，經t-檢定之結果如表3所示，枝部及稈部乾重均隨竹齡之增加而增大。

葉面積雖因竹齡增加而趨大，4年生者反較低於3年生，惟3年生以上竹株之葉面積並未具差異。

表3. 馬來麻竹各部位乾重 (kg) 及葉面積 (m²) 訂正均值之比較 (以胸徑²×竹高為共變數) *

竹齡 (yr)	訂正均值			相對率 (%)		
	枝重	稈重	葉面積	枝重	稈重	葉面積
1	—	19.4 ^a	—	—	100	—
2	1.5 ^a	27.4 ^b	9.1 ^a	100	141	100
3	2.2 ^b	31.1 ^c	14.2 ^b	147	160	156
>4	2.7 ^c	32.6 ^c	13.3 ^b	181	168	146

*英文字母相同者表示其間不具顯著差異，英文字母相異者，表示具顯著差異；胸徑均值为 11.4cm，竹高均值为 21.2m。

竹高或稈部鮮重關係式之斜率與訂正均值，於竹齡間均未具差異，以胸徑為自變數之共同迴歸式如下所列：

$$Ht = 1.5509 \text{ DBH}^{1.0626} \quad (R^2 = 0.91, n = 136)$$

$$Fwc = 0.1574 \text{ DBH}^{2.4476} \quad (R^2 = 0.98, n = 136)$$

n=136)

依據表 1 以胸徑為預估變數之關係式，以及逐年調查新竹之胸徑資料，馬來麻竹自造林後翌年始至 16 年生間，新竹年生產量之變動如表 4 所示。林分結構及淨生產量因林齡之變動，則如表 5 所示。

表4. 馬來麻竹之新竹年生產量因林齡之變動

發年	筍度	林齡 (yr.)	胸徑 (cm)	株數 (st/ha)	斷面積 (m ² /ha/yr)	稈部鮮重 (ton/ha/yr)	稈部乾重 (ton/ha/yr)
1973		1	2.26	760	0.3274	1.008	0.278*
1974		2	3.06	1260	1.0591	3.854	1.163
1975		3	4.16	1820	2.6399	10.537	3.195
1976		4	5.71	1640	4.4736	20.429	6.504
1977		5	7.72	1440	7.0411	39.332	12.084
1978		6	8.39	1620	9.4030	50.806	17.193
1979		7	9.28	1300	9.3224	52.632	18.099
1980		8	9.97	1400	11.5215	67.005	23.285
1981		9	10.59	1040	9.5787	56.964	19.954
1984		12	10.55	460	4.1720	24.693	8.635
1985		13	11.40	450	4.8164	29.694	10.540
1986		14	10.98	470	4.6917	28.554	10.089
1987		15	10.08	370	3.7226	22.574	7.962
1988**		16	9.67	1290	10.2309	59.850	20.861

*發筍成竹至當年 12 月時之乾重；

**曾於 1987 年 12 月伐採老竹，每檣留存 4~6 株母竹。

表5. 馬來麻竹林分結構及淨生產量因林齡之變動

年 度	林 齡 (yr.)	胸 徑 (cm)	林分密度 (st/ha)	斷 面 積 (m ² /ha)	生 物 量 (ton/ha)				葉面積 指 數	淨 生 產 量 (ton/ha/yr)
					葉	枝	稈	地上部		
1973	1	2.26	760	0.3274	—	—	0.278	0.278	—	0.278
1974	2	2.76	2020	1.3865	0.067	0.184	1.473	2.024	0.060	1.446
1975	3	3.42	3840	4.0264	0.194	0.514	4.764	5.472	0.195	3.748
1976	4	4.11	5480	8.4998	0.499	1.357	12.220	14.076	0.525	8.604
1977	5	4.86	6920	15.5405	0.904	2.571	27.305	30.780	1.022	16.704
1978	6	5.53	8540	24.9433	1.591	4.529	51.578	57.698	1.823	26.918
1979	7	6.02	9840	34.2655	2.586	7.050	80.980	90.616	2.978	32.918
1980	8	6.52	11240	45.7869	3.790	10.022	118.167	131.979	4.128	41.363
1981	9	6.86	12280	55.3654	4.639	13.242	155.065	172.946	5.460	40.967
枯死量(I)*		5.99	3240	9.7986	—	2.968	22.026	24.994	—	—
1986	14	9.61	8610	66.7320	5.754	17.284	223.215	246.253	7.287	—
枯死量(II)		6.74	580	2.1551	—	0.623	5.000	5.623	—	—
1987(I)**	15	9.87	8400	68.2995	6.037	17.833	232.417	256.287	7.623	10.034
1988(II)	16	10.92	2090	20.4758	1.836	4.402	68.353	74.591	2.174	—
1988	16	10.44	3380	30.7067	1.960	5.173	93.797	100.930	2.437	26.339

*於1986年12月調查時，現存之枯死量為(I)，由1987年1月至同年12月間之枯死量為(II)，枯竹木質部乾重假設為4年生竹株乾重之80%。

**於1987年12月調查時之林分結構為(I)，經擇伐老竹後，所留存母竹之生物量為(II)。

四、討論

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，幼竹在歷經1年後，稈部乾重增加41%，至3年生以後，物質之漸積趨於緩和，較1年生竹株稈部乾重增加60~68% (表3)，故馬來麻竹稈部乾重之變動，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；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，均於成竹後翌年年內生成

。3年生以上竹株之枝重，於年度間仍呈顯著差異，且較稈部為著，或因此竹種稈部之側芽，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。

新葉在成竹第2年生成後，其面積將於第3年達至最大，較2年生竹株增加56%，3年生以上則無顯著差異。葉面積之年度變動，視各竹齡之比葉重及葉量而定，有關此竹種冠層結構之變異，將另文報告。

綜合以上所述，不同齡級間馬來麻竹乾重之變異，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，故無論以胸徑或(胸徑)²×竹高為自變數，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正值之差異都呈顯著(表2)，無法導出其共同迴歸式。

筍芽於稈基形成後，由節間分生組織之細胞分裂、分化、伸長及成熟，竹筍因而出土漸成幼竹。故竹株高生長視節間生長率而定，未與竹齡有關，導入竹高與胸徑結合為一預估變數，將無法自動消除竹齡間之差異(表2)。竹高與胸徑間亦呈極顯

著之相關 ($R^2=0.91$)，各部位乾重導因於竹高之變異，多能同時由胸徑解釋之。導入竹高所增進之精確性均相當低，未超過 3%。更如孟宗竹之竹高曲綫，未因生育地而異，可與胸徑維持一相當穩定之關係 (高毓斌 1985)。因此，高與徑生長間交感作用於年齡、林況或生育地間之變異若未明瞭，竹高之導入迴歸式，亦難自動地提高預測式之精確性。

基於上述特性，本研究遂由各竹齡以胸徑為自變數之相對生長式 (表 1)，為生物量及葉面積指數之估算依據。

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, $D^2 \times H$) 時，馬來麻竹稈部乾重低

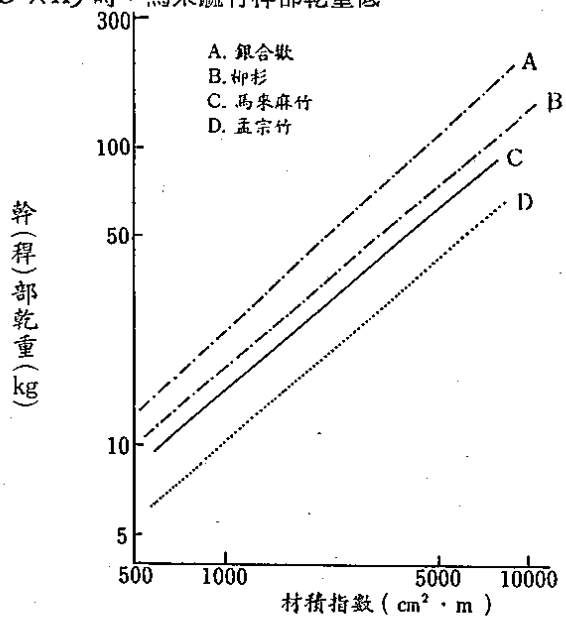


圖 1. 成熟之馬來麻竹稈部乾重與其他樹種之比較。

新竹胸徑之逐年增加，可反映出竹叢地下莖趨於發達。竹類在幼竹生成之際，生長所需養分主要由貯存於地下莖者供應，稈基愈肥大，著生之筍芽愈飽滿，所生成之新竹自然呈徑粗稈高，此正回饋效應之反覆作用，竹林乃得於短期間內趨於鬱閉及成熟。

自然枯死發生後，新竹徑生長趨於穩定，其數值之多寡，或能反映生育地生產力 (site productivity) 之優劣，生產力較高之生育地，地下部生育空間及條件均較理想。在更長期之發育時間後，

於銀合歡及柳杉，較大於孟宗竹 (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，惟孟宗竹與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稈肉及稈肉率，均高於孟宗竹之故。

就新竹生產量而言，馬來麻竹造林後 9 年內，新竹胸徑將因林齡之增加而增大。自林分鬱閉且發生枯死後，年度間雖略具變動，仍呈穩定之徑生長。大徑新竹年年生成之結果，促使林分胸徑隨林齡增加而增大，在林分發生自然枯死後，早期萌發之小徑老竹將陸續死亡，林分胸徑仍逐年增大。二者相互之變動關係如圖 2 所示。

新竹徑生長是否將維持於一穩定最大值，則頗懷疑。當地下莖之活力趨於老化，無發筍能力亦未腐巧之稈基，充斥於地中之生育空間時，新竹生長可能將呈衰退。在林齡 15 年生時擇伐逾熟之老竹，新竹胸徑雖略呈降低，此或因新竹生成量激增後，養分之分配不足所致，而非地下莖生產機能已呈老化。

新竹生成量於造林後第 3 年達至最大，爾後即因林齡增加而趨於減少，尤其是在自然枯死發生後，年生成量將維持於 370~470 st/ha 間 (表 4)。依地下莖系漸趨於發達之觀點而言，成竹量應因林

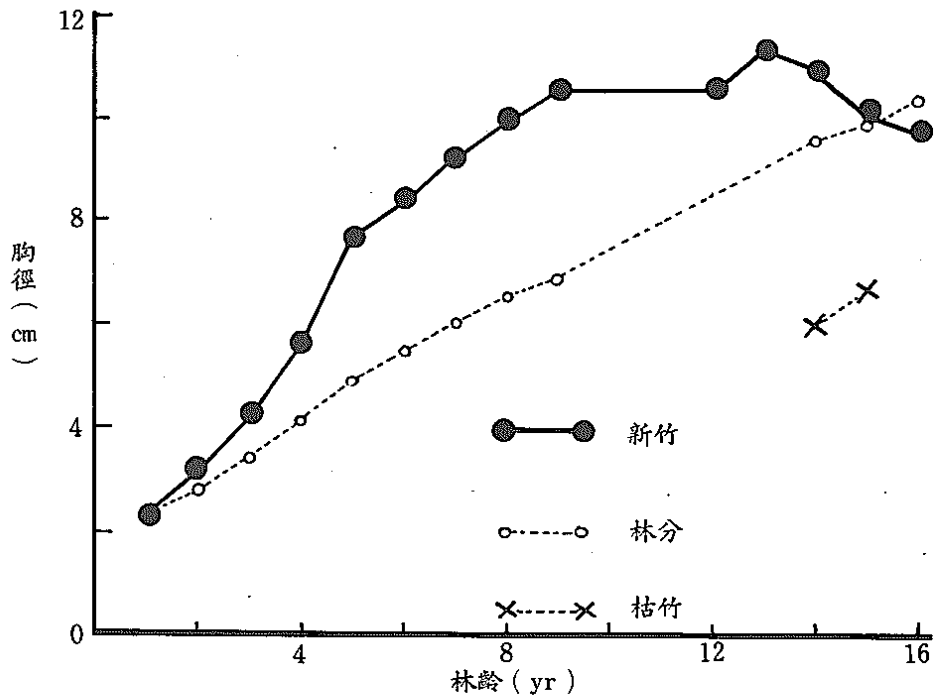


圖2. 新竹、枯死竹及林分胸徑均值因林齡之變動。

齡增加而增大。在此發育階段時，林分尚未鬱閉，導致成竹量之降低，或可歸諸於退筍之形成。所謂退筍即竹筍於生長過程中，未能成竹而枯死者。退筍之發生或會導因於氣候不良及病虫害，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 (*Dendrocalamus giganteus*) 於發筍成竹時，所需養分較小徑之泰國麻竹 (*D. longispathus*) 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，可能較單桿散生型竹類為激烈，亦較早發生，此或為造林3年後，新竹生成量即漸降低之原因。

擇伐老竹後之翌年，新竹生成量急遽增加，每竹叢平均可達3.2株，較未擇伐前4年之平均值增加195% (表4)。擇伐之所以提高新竹生成量，係發筍量顯著增加而退筍率降低之共同作用結果 (表6)。

表6. 不同年度發筍量及退筍率之比較

發筍年度	發筍量 (no/ha)	成竹量 (st/ha)	退筍率 (%)
1986	1180	470	60
1987	1060	370	65
1988*	2230	1290	42

* 擇伐後第1年。

類似之結果曾見於國外之研究，Robillos (1984) 曾指出印尼刺竹 (*Bambusa blumeana*) 在擇伐4年生以上之逾熟老竹後，連續4年之平均成竹量較未伐採者增加111%。

溫帶竹類之變動則呈分歧：桂竹 (*Phyllostachys makinoi*) (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)；施以不同擇伐度之孟宗竹，發筍量及退筍率均無差異 (鈴木、成田1975)。

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，處於休眠狀態且具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。由密度引發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能同時增大。此推論可由其他竹類之研究予以支持，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 (Robillos 1983)；不同植距之牡竹 (*Dendrocalamus strictus*) 歷經 5 年生長後，密植林 (2 × 2 m) 之竹株胸徑較疏植林 (6 × 6 m) 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。

新竹於萌發後即構成林分生產組織之一部份，林分密度隨林齡增加而趨大，至 9 年生時屆於最大量，倘未有老竹之自然枯死，至 14 年生時，林內已有頗多枯死竹，部分已斷折於林地，與地下莖固結仍佇立者為 3240 no/st (表 5)。由上述資料推斷自然疏伐可能始於 10~11 年生間。枯死發生時先由小徑老竹開始，後漸及於中徑竹株。在 14 年生時，胸徑 3 cm 以下之老竹多已不存在；胸徑 4~8 cm 之枯死率高，然多仍固結於母竹之稈基處，呈現立枯，胸徑在 9 cm 以上之竹株，罕有枯死。(圖 3)

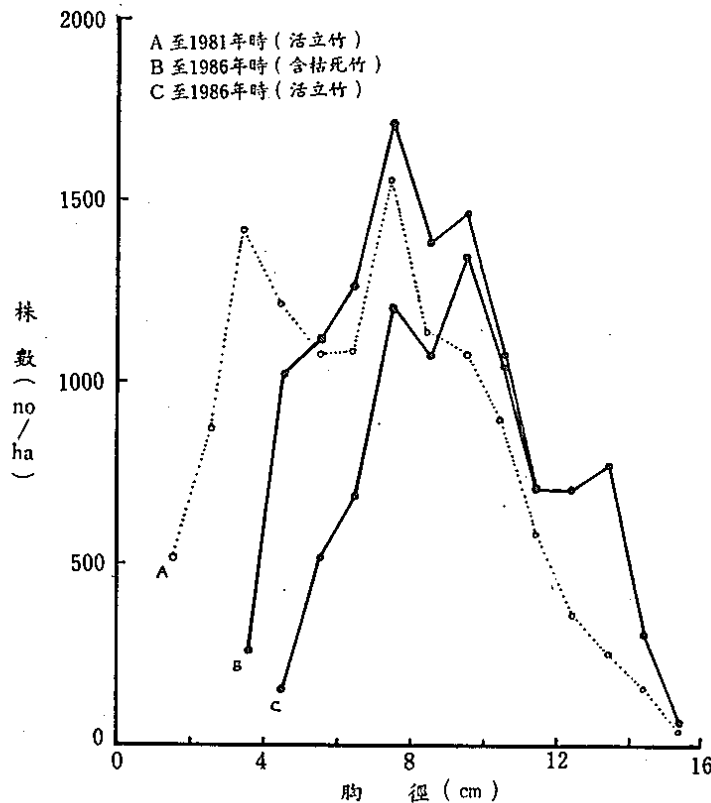


圖3. 不同發育階段馬來麻竹林之胸徑分佈。

上述資料進而可推論枯死量將與林齡呈函數關係，即枯死竹之株數將與林齡呈反比，迨枯死年齡漸及老齡之中，大徑竹後，枯死株數應漸趨減少。理論上，竹林若經長期發育，枯死量雖具年度變動，以平均值而言，應約略同於新竹生成量（上田、沼田 1961, Numata 1979）。馬來麻竹於15年生時，年枯死量580st/ha，枯竹胸徑尚較林分胸徑為低（圖2），此反映出發育初期生成之大量小徑老竹，仍在進行自然枯死中，林分密度仍呈漸減。

自然枯死發生之林分斷面積，約為55~60m²/ha，隨林齡增加，林分斷面積仍持續趨大，15年生時達68m²/ha（表5），此乃新竹斷面積年生長量仍多於年枯死量之故。孟宗竹林斷面積愈高，枯竹之斷面積亦愈大，活立竹之斷面積平均約73m²/ha，枯竹之斷面積則為10m²/ha（渡邊1985），與本研究之調查資料相當接近。

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。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年生時超逾10ton/ha，造林後第8年可達23.3ton/ha（表4）。故馬來麻竹於造林後5~6年時，始能發揮其優越之生產力。斯時林分之葉部生物量僅0.9~1.6ton/ha，葉面積指數為1.0~1.8間（表5），並未完全鬱閉，在此之前林分生長尚未能充分利用生育地。若能於馬來麻竹造林之際，同時混植以短伐期速生之固氮樹種，如台灣赤楊（*Alnus formosana*）或相思樹（*Acacia spp*），迨竹株與林木間之競爭趨於激烈，生長凌壓即將發生時，藉由林木之伐採及收穫，不僅可彌補馬來麻竹造林初期生產力偏低之缺陷，伴隨進行之固氮作用，或有助於林地生產力之改良，進而提高竹林之生產量。在此種混植之育林體系中，競爭作用之發生及適時紓解，將為作業成敗之所繫。有關馬來麻竹與固氮樹種之混植，作者等已於本省東部設置試區以進行研究中，在種間競爭所引發之塑性反應（plastic response）尚未明瞭前，並不宜作大面積之造林嘗試。

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到之激烈競爭；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。本試驗未於此時伐採老竹，無從證實8年生竹林經調整密度後，是否能長久維持或是改良其生產力，基於次列資料，吾人仍可確定伐採逾齡老竹對生產力改良之正面效應：

1：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9.3ton/ha，為8年生時之40%。

2：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 ton/ha，較未伐採前4年內之平均值增加124%。此亦反映出馬來麻竹在經7年之長期鬱閉後，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。

由林分生物量於年度間之變動，將可估算竹林之年淨生產量（表5），淨生產量即竹林光合作用所形成之碳水化合物，部份消耗於呼吸作用、枝葉脫落、竹稈枯死及其他生物之吃食，餘者即以有機物積聚於生產結構之總量。基本上，竹林之生產量將顯現於2種生產過程，即新竹生物量之生產及母竹之生物量增長量（高毓斌1985）。

依研究結果顯示，馬來麻竹之年淨生產量將因造林後年數之增加，急遽增大，造林後8年時可達41.4ton/ha（表5）。依目前所知，國內尚未有其他森林作物之生產力超逾此者，如柳杉人工林於19年生時，其淨生產量始屆至最大值，僅19ton/ha（游漢明1981）。7~14年生杉木（*Cunninghamia lanceolata*）之平均年淨生產量約為11ton/ha（王銘鐘1984）。經施肥後之孟宗竹林，年淨生產量為18ton/ha（高毓斌1985）。僅生長於佳林試區之3年生銀合歡，植距為1×0.5公尺時，淨生產量可達39~40ton/ha（高毓斌、施文君，未發表資料）。

超逾此最大生產階段後，竹林之淨生產量即呈下降，至15年生時僅為10ton/ha，其中79%歸諸於新竹生物量之生產，21%為母竹生物量增長量所構成（表5），竹林在完全鬱閉後，淨生產量因林齡漸趨於少，主要是新竹生產量遽減（表4），且枯死量逐年增多之故。栽植後15年之馬來麻竹，枯死量之木質部乾重，即達5.6ton/ha之多，約為此年度內淨生產量之56%，竹株之大量枯死，遂使母竹所增加之乾物量大部份被抵銷而益形低落。

經擇伐大部份逾齡之母竹後，翌年之淨生產量

即增至 26.3ton/ha，較末伐採前增加162%，生產力之改良效果相當顯著。當此部份之新竹漸構成生產結構之一部份且趨於成熟，擇伐對新竹生產之促進效應亦能持續維持時，竹林高淨生產量之再度達成，將是指日可待之事，在此生產力恢復之過程中，林分生育空間適時維持於一適當狀態，將成爲一關鍵之作業。

五、結論

馬來麻竹自造林後，地下莖之生產結構將日趨健壯與發達，故其胸徑生長、斷面積生長及生物量生產量，均隨林齡之增加或林分趨於成熟而顯著增大。當林分密度高時，激烈之競爭作用促使自然枯死發生，竹林地上部之生產結構雖仍逐年龐大，然其生長及生產量即呈衰退。林分鬱閉前之競爭可能以養分爲主體，自然枯死發生後之競爭機制，僅由養分供需並無法完全解釋，可能個體間光度之相互競爭亦同時存在。競爭張力之紓解，以維持竹林一適宜之空間分佈及年齡結構，既然是竹林生產力維持與改良之關鍵作業，有關競爭機制及過程之研究不應予忽視。

引用文獻

- 王銘鐘 1984 不同林齡杉木林分地上部生物量及養分含量之積聚 臺大森林研究所碩士論文，85頁。
- 黃崑崗 1975 桂竹作業法之研究 林試所試驗報告N0.260，11頁。
- 游漢明 1981 不同齡級柳杉林分地上部之生物量與淨生產量 臺大森林研究所碩士論文，60頁。
- 陳 嶸 1984 竹的種類及栽培利用，342頁。
- 高錦斌 1980 孟宗竹林之地上部生物量，淨生物量及氮積聚 臺大森林研究所碩士論文，121頁。
- 高錦斌 1985 台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。
- 上田弘一郎 1963 有用竹と筍 博友社，314頁。
- 上田弘一郎、沼田 眞 1961 原生竹林の更新ケの生態的研究 京大演報N0,33,PP.27~54。
- 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N0,31,PP.1~60。
- 野中重之 1982 カンロダケ施業改善試験(I)~發筍量と徑級~ 日林九支研論集 N0.35, PP.261~262。
- 渡邊政俊 1985 竹林の生態的特徴に關する研究(II) 放任モウマリウチク林の林分構造 Bamboo Journal No, 3, PP. 7~17。
- 橋本英二、渡邊政俊 1960 竹林材におけるトマソタケノコの發生につひこ 富士竹類植物園報告No.5, PP.65~68。
- 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效果~モウソウチク林の施業試験~林業試験場研究報告 No. 273, PP. 75~93。
- Alan, H. T., and Z. Qin. 1987. Culm dynamics and dry matter production of bamboos in the Wolong and Tangjiahe giant panda reserves, Sichuan, China Journal of Applied Ecology 24: 419-433.
- Banik, R. L. 1983. Emerging culm mortality at early developing stage in bamboo. Bano Biggyan Patrika 83(12): 47-52.
- 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.
- Lessard, L. G. 1981. Bamboo Research in Asia: Proceedings of a workshop held in Singapore.(eds.) Lessard G., and Chouinard, A. PP. 228.
- Numata, M. 1979. The structure and succession of bamboo vegetation. Ecology of grasslands and bamboolands in the world. (ed.) Numata, M. pp. 237-257.
- Robillos, Y. U. 1984. Treatment of kauayan-tinik (*Bambusa blumeana* Blume ex Schultes) clumps for sustained-yield.FPRDI Journal 8(1): 39-57.
- Sheikh, M. I. 1983. Growing space requirements of bamboo. Pakistan Journal of Forestry. 33(2): 92.
- Watanabe, M. 1983. On the productivity of a *Phyllostachys bambusoides* stand in recovering from flowering. J. Jap. For. Soc. 65(3): 89-93.