

研究報告**坡地檳榔園對微氣候影響之研究**陸象豫^{1,3)} 劉瓊霏²⁾ 黃良鑫²⁾ 唐凱軍²⁾**摘 要**

檳榔栽植面積在臺灣迅速增加，對低海拔山坡地環境與生態造成相當的衝擊，並廣泛受到重視，相關單位已著手進行若干試驗研究。本研究藉著比較相同海拔高、相同坡向的天然闊葉林及檳榔園之氣溫、相對濕度、土壤溫度等氣象記錄，探討林地變更為檳榔園後對微氣候之影響，並進而分析此等差異是否會對集水區水質與區域氣候造成影響。本研究計收集 2000 年 1 月至 2001 年 1 月連續約一年的有效記錄，獲知兩種不同林分林冠層上方氣溫及離地表 2 m 處的林內氣溫無顯著差異，但地表 5 cm 處的土壤平均溫度檳榔園高出闊葉林達 2.3 °C，且具統計上的顯著差異。相對濕度方面變異甚大，林冠層檳榔園試區較高，但林內相對濕度則反是，且其間差異均達 1 % 的顯著水準，說明鬱蔽度對相對濕度具有相當大的影響。地表溫度的差異主要係受太陽輻射的影響，晝間兩林分地表溫度差異具有統計上的意義，晚間則否，但最低表土溫度檳榔園者仍較天然闊葉林者為高；而降雨對兩林分溫濕度的影響均不顯著。此外蓮華池地區 1961 至 2000 年長期氣象記錄顯示，此一檳榔園擴植迅速地區的春夏秋三季的平均溫度近年來有增加的現象，雖符合檳榔園與天然闊葉林溫濕度具顯著差異的試驗結果，但是否係導因於檳榔園的增加抑或全球溫室效應所致，則尚待進一步探討。

關鍵詞：檳榔、微氣候、蓮華池。

陸象豫、劉瓊霏、黃良鑫、唐凱軍。2002。坡地檳榔園對微氣候影響之研究。台灣林業科學 17 (2):281-9。

Research paper**A Study of the Influence of Slope Land Betel-nut Plantations on Microclimate**Shiang-Yue Lu,^{1,3)} Chiung-Pin Liu,²⁾ Liang-Shin Hwang,²⁾ Kai-Jung Tang²⁾**【 Summary 】**

Rapid increases in betel-nut plantations in the 1980s and 1990s have significantly affected the environment and biological conditions of slope land in Taiwan. Impacts of converting from

¹⁾ 行政院農業委員會林業試驗所六龜分所，高雄縣 844 六龜鄉中興村 198 號 Liukuei Station, Taiwan Forestry Research Institute. 198 Chung-Shin Village, Liukuei, Kaohsiung 844, Taiwan.

²⁾ 行政院農業委員會林業試驗所集水區經營系，台北市 100 南海路 53 號 Division of Watershed Management, Taiwan Forestry Research Institute. 53 Nanhai Rd., Taipei 100, Taiwan.

³⁾ 通訊作者 Corresponding author.

2002 年 1 月送審 2002 年 3 月通過 Received January 2002, Accepted March 2002.

forested land to betel-nut plantations on the environment are serious enough to have attracted much concern from government and environmental groups. A series of research on this topic has already been carried out. However, most of these researches were focused on problems of soil and water conservation associated with slopeland betel-nut plantations. In order to examine differences in microclimatic conditions between betel-nut plantations and natural hardwood forests, the average air temperature, relative humidity, earth temperature, solar radiation, and rainfall above and below the canopies of these 2 stands were continuously monitored. The available continuous records from January 2000 to January 2001 indicate that there are no differences between these 2 study areas in temperatures above and below the canopy. However, the yearly average earth temperature (at 5-cm depth) of the betel-nut plantation was 2.3°C higher than that of natural hardwood forest, which was significant at the 1% level. The multi-layered and denser canopy of natural hardwood forest stands consumes much solar energy by evapotranspiration and photosynthesis than does that of betel-nut stands. Therefore less energy is available for heating the soil which results in lower earth temperatures than found in betel-nut plantations. However, the difference is less significant during rainy days and at night. Relative humidity is strongly influenced by canopy cover. The transportation of moisture can be hindered under a heavy forest canopy which results in higher relative humidity. Statistical results indicate that relative humidity was significantly under-canopy conditions of natural hardwood stands, whereas above the canopy, it was not as high. In addition, the long-term weather records at Lienhuachih meteorological station of Taiwan Forest Research Institute also reveal that the annual average air temperature, especially for summer seasons, shows a tendency of increase after 1980. Further studies are needed to clarify the effects of the rapid increase in betel-nut cultivation on climate changes in the Lienhuachih area.

Key words: betel nut, microclimate, Lienhuachih.

Lu SY, Liu CP, Hwang LS, Tang KJ. 2002. A Study of the Influence of Slopeland Betel-nut Plantations on Microclimate. *Taiwan J For Sci* 17(2):281-9.

緒言

檳榔在台灣的栽植面積從 1960 年代的一千餘公頃激增至民國 1990 年代的近四萬公頃超過台灣總面積的百分之一以上，成為僅次於稻米與養雞的第三大農產。在豐厚利潤吸引下，臺灣各地北起台北縣的三峽鎮南至屏東縣的枋寮鄉，均可見到大片單一景象的檳榔園，使台灣生態環境最脆弱的山坡地遭受前所未有的衝擊 (Lu et al. 1999)。日益擴張的檳榔園以及其所衍生的各項問題，已引起政府及社會各界的關切，林地變更及山坡地生態破壞亦受到相當的重視。國內學者專家對坡地檳榔園所造成的水土流失已進行若干研究 (Hwang and Wu 1992, Liang and Cheng 1992, Hu 1993, Chen 1997)，但對林地轉換成檳榔園所導

致的溫度、濕度等微氣候改變現象卻未見探討，而是否因此影響水資源亦無法驗證。本研究擬針對此一問題作進一步的探討，俾瞭解坡地土地利用改變後對微氣候所造成的改變情形，進而探究此等改變是否會對區域性氣候有所影響，以作為擬定檳榔問題對策之參考。

材料與方法

一、試區概況

本研究選定蓮華池分所鄰近地區私有檳榔園（火培坑溪與猴籠溪交會處南岸坡面）及相鄰且具有同一海拔高、坡向等立地條件之

天然闊葉林為儀器設置場所。該兩試區海拔高約 760 m，均屬北向坡。檳榔試區所栽植的檳榔約 20 年生，平均高度達 13.5 m，株行距約 2×2 m，鬱蔽度約 70%，林下為雜草全園覆蓋。闊葉林試區林木鬱蔽度接近 100%，主要樹種計有：百日青、南投黃肉楠、銳葉柃木、臺灣山香圓、臺灣紅豆、山豬肝及江某等多種；灌叢類則以烏皮茶、小葉樹杞、大丁黃、小葉赤楠、茜草樹、三叉虎及雞屎樹等為優勢。林冠高度超過 17 m，坡角處夾雜有孟宗竹、桂竹等竹類作物，惟已呈荒廢狀態。此二試區位處相鄰小山丘，天然闊葉林試區較接近嶺線，檳榔園試區則位處中坡處，試區位置如 Fig. 1。

根據林業試驗所蓮華池分所氣象站 1961 年至 2000 年記錄顯示，該區域全年降雨量約 2,181.3 mm，年平均氣溫 20.8°C，年平均皿蒸發量約 1,032.9 mm，年平均相對濕度約 86%。降雨量多集中於 3 月至 9 月，佔全年降雨總

量之 89.3%，單日最大降雨量為 735.0 mm，絕對最高溫度為 37.0°C，絕對最低溫度為 -0.7°C (Lu 1997, Lu et al. 2000)。

二、儀器設置

於檳榔園及闊葉林試區內分別設置高 15 及 18 m 二觀測塔，觀測塔上部架設風速儀 (Young 05103 Wind Monitor)、日射計 (E20 Silicon Pyranometer) 及溫濕度計 (MP 101A temp./RH probe) 等儀器，下部離地表 2 m 處亦重複設置溫濕度計，地表下 5 cm 處設置土壤溫度計 (111 temperature probe) 等儀器。觀測塔上方儀器監測林冠層上方的氣象因子，下方儀器則用於監測林內的各項氣象因子。此外，於闊葉林試區空曠處設置傾倒式雨量計乙座。所有觀測儀器均屬自記式，每隔 10 min 測錄乙次，每小時將測得記錄的平均值及絕對值傳送至 Campbell CR10 data-logger (Campbell Scientific Ltd.) 儲存，並不定期擷取 CR10 data-logger 內之記錄。

三、試驗期間

本研究試驗期間起始於 2000 年 1 月 19 日，終止於翌年 1 月 18 日，為期 1 年。其間檳榔園試區 2000 年 5 月及 12 月各發生一次儀器故障，致該二月份分別遺漏 10 日及 7 日的記錄，因此本研究共收集 348 日的有效資料 (同時具備檳榔園及天然闊葉林全天記錄者)。

四、研究方法

(一) 統計分析

將所收集以小時為單位的氣象記錄，彙整至以日為單位的平均值或累計值，並求得當日的絕對記錄，再以 *t*-test 檢定檳榔園與天然闊葉林相對應記錄的日平均值或極端值是否具有統計上的差異。本研究晝夜間記錄的區分係以當日日射計有感應的時間為依據，日射有記錄時段 (小時) 的數據歸納為日間記錄，反之則劃分至夜間記錄。

除分析試區所監測的記錄外，本研究亦

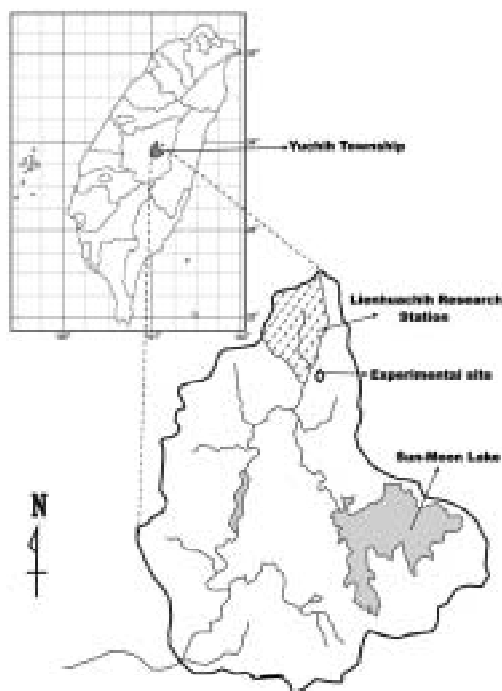


Fig. 1. Location of the experimental area.

分析蓮華池氣象站 1961 - 2000 年資料，檢驗歷年溫濕度的變化情形，並比較蓮華池地區土地利用變更記錄，以檢驗蓮華池地區檳榔園擴增後對該區域氣候變化的趨勢是否吻合。

(二) 能量收支分析

欲了解檳榔園對氣候的影響，就必須以能量收支關係分析檳榔園與天然闊葉林對入射輻射能儲存與消耗的差異。土壤、大氣及植生覆蓋間的能量收支關係為 (Cellier et al. 1996, McCaughey and Saxton 1988, Ogee et al. 2001):

$$R_n = H + \lambda E + G, \quad (1)$$

其中

R_n 為淨輻射量 (net radiation, MJ/m^2);

H 為可感熱流 (atmospheric sensible heat flux, MJ/m^2);

λE 為蒸發散潛能 (latent heat or evaporation flux, MJ/m^2) 及

G 為儲存於土壤及林冠下的能量 (net energy storage within the canopy, MJ/m^2)。

G 又可再區分為：

$$G = G_s + G_a + G_w + G_v + G_p \quad (2)$$

其中

G_s 為土壤熱能蓄積量 (soil heat storage);

G_a 為林冠層可感熱能 (sensible heat storage in the canopy);

G_w 為林冠下方空氣潛能 (latent heat stor-

age in canopy air);

G_v 生物量所儲存的能量 (biomass heat storage); 及

G_p 光合作用儲存能量 (photosynthetic energy storage)。

為探討天然闊葉林改變為檳榔園後能量儲存與消耗間差異，並藉此推估對淨輻射能的影響，僅以探討二林相間相對的差異，而絕對數值則基於儀器設備而未能精確計算之。除量測溫濕度等主要氣候因子外，對推估土壤潛能所需的孔隙率亦實際量測，土壤深層溫度則取蓮華池氣象站觀測值為準。

結果與討論

一、溫度與相對濕度

溫度與濕度的時序變化，為最容易量測的氣象因子。茲將全年度有效資料的溫濕度記錄平均值及統計分析列於 Table 1，各月份平均值則如 Table 2，兩試區樹冠層風速差異不顯著，故未予列入表內。Table 1 顯示檳榔園與天然闊葉林主要氣象因子之差異在相對濕度及地表溫度，此種差別均達 1% 顯著水準。檳榔園林冠層上方較天然闊葉林冠層具有較高的相對濕度，究其原因可能與地形有關，概天然闊葉林試區較接近嶺線，氣流移動較不受阻絕，水蒸氣不易聚積，故相對濕度較低。林內相對濕度則反是，天然闊葉林

Table 1. Comparison of air temperature and relative humidity between natural hardwood forest and betel-nut plantation for different conditions

		Average		t-value
		Betel-nut	Natural hardwood	
Canopy temp.	(°C)	20.4	20.2	0.654
Canopy R.H.	(%)	92.4	89.8	5.716**
Under-canopy temp.	(°C)	20.5	19.6	3.254**
Under-canopy R.H.	(%)	92	93	-2.820**
Ground temp.	(°C)	22.0	19.5	9.103**

¹⁾** Significant at 1% significance level.

Table 2. Monthly average temperature, relative humidity, total solar radiation and rainfall for a betel-nut plantations(Betel)and a natural hardwood forest(Hard.)

	Above the canopy				Below the canopy				Ground		Solar Radiation MJ/m ²	Rainfall mm
	Temperature		R.H.		Temperature		R.H.		Temp.			
	Betel	Hard.	Betel	Hard.	Betel	Hard.	Betel	Hard.	Betel	Hard.		
	°C	°C	%	%	°C	°C	%	%	°C	°C		
Jan	14.5	14.2	91	88	16.8	13.7	91	90	16.1	15.5	57.09	25.5
Feb	15.2	15.3	90	89	15.0	14.8	90	93	16.7	15.6	38.01	139.5
Mar	17.8	17.8	89	87	17.6	17.2	88	91	19.0	17.6	91.30	31.5
Apr	20.4	20.3	92	90	20.2	19.7	91	93	21.2	19.1	84.08	222.5
May ¹⁾	22.1	21.8	95	89	21.8	21.2	96	94	23.2	19.3	43.91	105.0
Jun	23.4	23.2	93	91	23.3	22.4	93	94	25.3	21.8	100.00	1319.5
Jul	24.3	24.0	92	89	24.1	23.2	91	93	26.2	22.7	114.28	223.5
Aug	23.5	23.1	94	92	23.3	22.4	94	95	25.2	22.5	97.95	455.5
Sep	22.9	23.0	92	88	22.8	22.2	90	91	24.8	22.2	88.06	52.0
Oct	22.8	22.7	94	90	22.7	22.1	92	93	24.5	23.1	84.06	27.5
Nov	19.9	19.7	97	93	19.8	19.3	95	95	22.1	20.6	68.33	89.0
Dec ¹⁾	17.4	17.3	93	92	18.8	16.8	92	91	19.5	17.0	63.25	58.0
Avg.	20.4	20.2	93	90	20.5	19.6	92	93	22.0	19.7		
Total											930.31	1749.0

¹⁾ Some records were lost during these months.

平均相對濕度較檳榔園高出 2%，其原因應與鬱蔽度有關，林冠層具有阻絕水蒸氣散失的功能，故鬱蔽度接近 100% 的天然闊葉林蒸發散的水分多不易散失而停留於林內，致相對濕度較高。值得注意的是，由於樹冠層的阻絕效應，天然闊葉林冠層上下方相對濕度之差異可達 4%，顯示植被對微氣候影響之效果。

檳榔園與天然闊葉林林冠層上方溫度及林內溫度間之差異均不顯著，但地表溫度卻明顯的不同。造成溫度差異最主要原因為對入射輻射能的利用方式，兩林分的反射率(albedo)可視為相同(Reifsnyder and Lull 1965)，林冠較密的天然闊葉林吸收大部分的太陽短波輻射以進行光合作用，至林內氣溫較檳榔園為低，惟空氣為熱能的不良傳導體與儲存場所，故林下溫度差異不顯著。林地熱能主要的儲存場所為地表土或積雪(Reifsnyder and Lull 1965, Lu 1996)，鬱蔽度較差的檳榔園，太陽輻射到達地表的機會較闊葉林為多，至地

表溫度較高，且其間的差異達 1% 顯著水準。不同鬱蔽度林地間，受影響最顯著者當為地表溫度。

二、晝與夜間之差異

能量收支關係式中，晝間的主要項目為太陽輻射，夜晚的主要項目則為土壤熱通量(soil heat flux)，影響林地溫度的因子晝夜應有別。有鑑於此，特將所收集的溫度記錄分為晝與夜兩組，晝間的平均溫度取早上 0700 時至傍晚 1900 時的平均值，晚間平均溫度則取晚上 2000 時至翌日清晨 0600 時的平均溫度。據此數據，檳榔園與天然闊葉林統計結果列於 Table 3。兩者間地表溫度的差異無論晝與夜依然甚為顯著，均遠超過 1% 顯著水準，但林下溫度於夜晚卻無顯著差別，晝間則差異顯著。此種現象顯示林間熱能主要來源為太陽的短波輻射能，貯存於地表以長波輻射能散失於大氣中的熱能所佔比率甚微，當地表熱能於日落後逐漸散失後，不同林木覆蓋

林地上方空氣溫度即趨一致。

三、降雨對溫濕度之影響

茲將有效觀測記錄分為雨天及晴天（以日降雨量超過 2.0 mm 為分界點）兩大部分，探討在有雨的情況下，檳榔園與天然闊葉林對微氣候影響之差異。據此所有資料中，降雨日數為 89 日，無雨或微雨日數為 259 日。Table 4 為檳榔園對天然闊葉林統計分析，結果顯示陰雨天對林下溫溼度有所影響，不同鬱蔽度的林相在降雨情況下，林下溫濕度的差異由原先 1% 顯著水準降低至 5 %。若將陰天排除在外，僅考慮日降雨量超過 10mm 的記錄，則得有效記錄 44 筆，除地表溫度具有顯著差異外，其餘諸因子則無統計上的差別。此種現象顯示，太陽輻射量的多寡，為影響鬱蔽度不同林地微氣候的主要因子，陰雨天致使入射輻量減低，因而使林內溫濕度差異較不顯著。

四、長期氣候之影響

由於本研究未量測淨輻射量，故未能求得兩林分的淨輻射量實際數值；然而在公式 (1) 中，檳榔園與天然闊葉林兩者間之可感熱能 (H) 已因樹冠層溫度相接近而證實影響不顯著，則淨輻射能的差異主要來自儲存於土壤及林冠下的能量 (G) 及蒸發散潛能 (λE) 的不同。蒸發散潛能包括：蒸散、蒸發及光合作用所需的能量。蒸散作用多伴隨著光合作用，二者可一併以蒸散作用考慮；蒸發作用與大氣溫濕度及風速有密切關係，水分來源多為降雨期間的截留水，而降雨期間兩林分的林下溫濕度差異較不顯著，故檳榔園與天然闊葉林蒸發散潛能間的差異多肇因於蒸散作用間的差異。儲存於土壤的能量遠較樹幹、枯之落葉及空氣為高，因此林冠下的能量以土壤熱能蓄積量 (G_s) 為主要部分 (Reifsnyder and Lull 1965, McCaughey and Saxton 1988, Xia et al. 2001)，公式 (2) 中其它各項所佔

Table 3. Comparison of air and earth temperatures between betel-nut plantations and natural hardwood forests for daytime and nighttime

	Avg. of daytime			Avg. of nighttime		
	Betel	Hardwood	t-value	Betel	Hardwood	t-value
Canopy temp. (°C)	22.2	22.0	0.720	19.0	18.6	0.452
Under-Canopy temp.(°C)	22.2	21.4	4.231**	19.0	18.6	1.141
Earth Temp. (°C)	22.9	20.0	11.168**	21.8	19.7	7.662**

** Significant at the 1% significance level.

Table 4. Comparison of air temperatures and relative humidities between natural hardwood forests and betel-nut plantations under rainy days and sunny days

	Avg. of sunny days			Avg. of rainy days		
	Betel	Hardwood	t-value	Betel	Hardwood	t-value
Canopy temp. (°C)	20.2	20.0	0.431	21.1	20.8	0.600
Canopy R.H. (%)	91	88	6.001**	96	95	2.181**
Under Canopy Temp. (°C)	20.4	19.5	2.741**	21.1	20.2	1.823*
Under Canopy R.H. (%)	90	91	-2.773**	96	97	-1.655*
Earth temp. (°C)	21.8	19.5	7.275**	23.2	20.4	6.093**

** Significant at the 1% significance level ; * Significant at the 5% significance level.

比重較少而可不予考慮，因而檳榔園與天然闊葉林淨輻射能的差異主要係由土壤蓄積熱能及蒸發散所造成。亦即在鬱閉度較高的天然闊葉林，入射的輻射能多因植物體的蒸發散作用而消耗，而檳榔園因鬱閉度較低，到達地表的輻射能較多，故有較多的機會能加熱土壤。另一方面，加熱單位體積物質使其溫度上升 ΔT 所需的能量 (E ，單位： cal/cm^3) 為：

$$E = \rho \Delta T,$$

其中 ρ 為熱容量 (heat capacity，單位為： $\text{cal}/(\text{cm}^3 \text{ } ^\circ\text{C})$)， ΔT 單位為 $^\circ\text{C}$ 。若視檳榔園及

天然闊葉林地表土壤均屬濕潤範圍，其熱容量約為 $0.4 \text{ cal}/(\text{cm}^3 \text{ } ^\circ\text{C})$ (Petterssen 1980)；而檳榔園地表年平均溫度較天然闊葉林高出約 2.3°C ，可得單位面積 (1 m^2) 表土 5 cm 檳榔園的土壤較天然闊葉林每日於晝間 (以 8 hr 計) 多吸收 $45,400 \text{ cal}$ ($6.595 \text{ watts}/\text{m}^2$) 的熱能。地表所接收的淨輻射能主要源自短波輻射 (Reifsnyder and Lull 1965, Hsia et al. 1992)，其他長波輻射能可忽略不計，則 1 公頃檳榔園每日較天然闊葉林多蓄存保有 $9.08 \times 10^8 \text{ cal}$ 的熱能。兩林分表土層月平均最低溫度如 Table 5，顯示檳榔園表土最低溫度均高於天

Table 5. Monthly average minimum daily ground temperatures ($^\circ\text{C}$) for betel-nut plantations and natural hardwood forests ($^\circ\text{C}$)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Set	Oct	Nov	Dec
Betel-nut	15.9	16.3	18.4	19.8	22.4	23.7	24.7	24.4	23.0	23.4	21.4	18.4
Hardwood	15.2	15.3	17.1	18.3	19.1	21.1	21.8	21.1	21.8	22.4	20.2	16.2

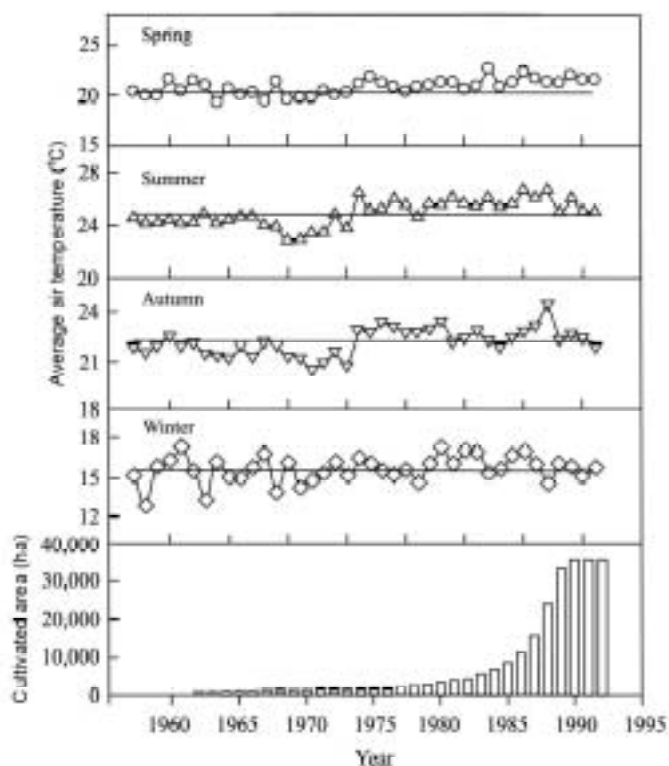


Fig. 2. Average daily air temperature for different seasons in the Lienhuachih area and the cultivated area of betel-nut in Taiwan.

Table 6. Yearly average air temperature in the Lienhuachih area

Range	Average daily temperature	Average maximum daily temperature	Average minimum daily temperature
1961-1965	20.5	27.5	15.4
1966-1970	20.5	26.0	15.8
1971-1975	20.2	26.0	16.0
1976-1980	20.3	26.4	15.7
1981-1985	21.2	25.3	16.3
1986-1990	21.4	25.2	16.9
1991-1995	21.6	25.0	17.3
1996-2000	21.2	25.1	17.3

¹⁾ The yearly average is the average of all daily records in each year.

然闊葉林，表示兩林分白晝吸收而儲存於土壤的熱能，並未於夜晚以長波輻射的方式釋放至大氣而達同一數值。雖然土壤熱通量 (soil heat flux) 的日變化量與入射的輻射量差異甚大 (Xia et al. 2001, Lu et al. 2000)，然而長期地表溫度升高及蓄存較多的熱能，對區域性氣候應會有所影響，但影響的程度因牽涉因子過多且不易實際量測各相關因素的物理量，本研究無法推斷。

然而由林試所蓮華池分所 1961 年至 2000 年各季節 (春季 3-5 月、夏季 6-8 月、秋季 9-11 月、冬季 12 月至翌年 2 月) 日平均溫度 (Fig. 2) 顯示春夏秋季之溫度在 1980 年後隱約呈現上升之趨勢 (高於平均值)，冬季則無升高之跡象。由 1961 年起，各季節每隔五年之平均溫度、平均最高及最低溫度如 Table 6，亦可發現平均溫度平均最低溫度近年來顯著較高。歷年來氣溫記錄顯示蓮華池地區氣溫正逐漸上升，當地居民亦感到近年來作物受霜害的次數明顯減少，以足以證明氣候的變動現象。臺灣地區檳榔栽植面積自 1980 年起迅速增加 (Fig. 2, Agriculture and Forest Department 1991)，蓮華池地區檳榔擴植的情形當與臺灣全島擴增的速度同步；溫度上升與檳榔園擴增的趨勢相接近，是否屬巧合抑或是全球溫室效應的結果，尚待釐清。然而本計畫所收集的資料，正反應出檳榔園地表溫度顯

著較闊葉林為高的事實。多大區域的土地利用改變，方足以影響當地的區域氣候，為待探討的研究課題。

結論

本研究顯示檳榔園與天然闊葉林兩種林分間的林下溫度、濕度及表土溫度具有統計上顯著的差異，即可說明天然林地經開闢成檳榔園後對林內微氣候會有所影響。其中以年平均表土溫度差異達 2.3℃ 最為顯著，顯示林地開發利用後，入射能量的消耗及儲存方式均會改變。惟對區域性氣候影響的程度，因牽涉因子眾多，且受全球溫室效應干擾下，難以驟下推論，但表土溫度增加後，對林地養分利用及水質的影響值得進一步研究。

誌謝

本計畫承農委會經費補助 (計畫序號：林試-集營-03-2)，特此感謝。試驗期間承蒙林試所集水區系與蓮華持分所張茂隆、傅鶴翹、王德華、胡仰松等位先生協助野外儀器架設、維修及收集記錄，方得以順利進行，謹此致謝。

引用文獻

Agriculture and Forest Department. 1991.

Annual report on agriculture in Taiwan. Chung Hsing Village, Taiwan. [in Chinese].

Cellier P, Richard G, Robin P. 1996. Partition of sensible heat fluxes into bare soil and atmosphere. *Agric For Meteorol* 82:245-65.

Chen HH. 1997. The study on slope stability and groundwater in betel palm farm in upper Suili Creek watershed. A compilation of 1996 soil conservation and watershed research project reports. COA For Ser No. 51:513-31. [in Chinese].

Hsia YJ, Hwang LS, Wang LJ, Hwang JL. 1992. Net and solar radiation relationships over five different forest covers in Taiwan. *Bull Taiwan For Res Inst New Ser* 7(4):371-4. [in Chinese with English summary].

Hu SC. 1993. Effects of growing betel palms on steep slopes on hydrological properties and erodibility of soils on Lien-hua-chi area, central Taiwan. *Bull Taiwan For Res Inst New Ser* 8(4):271-6. [in Chinese with English summary].

Huang CT, Wu CC. 1992. Problems of management and soil and water conservation for betel nut plantations. In: Chiang SH, Yu FC, Wu HL, editors. "The impacts of golf course and betel nut plantation on soil and water conservation." Council of Agriculture p30-3. [in Chinese].

Liang S, Cheng JC. 1992. The investigation of situations on soil and water conservation for slopeland betel nut plantation. In: Chiang SH, Yu FC, Wu HL, editors. "The impacts of golf course and betel nut plantation on soil and water conservation." Council of Agriculture p34-55. [in Chinese].

Lu HS, Lin JP, Hwang LS. 2000. Daily fluctuations of soil temperature under nature hardwoods at the Lienhuachih area of central Taiwan. *J Soil Water Conserv* 31(4):267-78. [in Chinese with English summary].

Lu SY. 1996. The role of forests in soil and water conservation. *Taiwan J For Sci* 11(3): 333-47. [in Chinese with English summary].

Lu SY. 1997. Compilation of meteorological data of Lienhuachih area. *Taiwan For Res Inst Extens Ser No. 76.* 449 p. [in Chinese].

Lu SY, Hwang LS, Fu HC. 1999. Studies on hydrological characteristics of arece palm plantations. *Taiwan J For Sci* 14(2):211-21. [in Chinese with English summary].

Lu SY, Tang KJ, Ku HY, Huang HH. 2000. Climatic conditions of forested lands of Taiwan Forestry Research Institute. *Taiwan J For Sci* 15(3):429-40.

McCaughey JH, Saxton WL. 1988. Energy balance storage terms in a mixed forest. *Agric For Meteorol* 44:1-18.

Ogee J, Lamaud E, Brunet Y, Berbigier P, Bonnefond JM. 2001. A long-term study of soil heat flux under a forest canopy. *Agric For Meteorol* 106:173-86.

Petterssen S. 1980. Introduction to meteorology. US Air Force Weather Service. 333 p.

Reifsnyder WE, Lull HW. 1965. Radiation energy in relation to forests. USDA Tech Bull No. 1344.

Xia Y, Fabian P, Winterhalter M, Zhao M. 2001. Forest climatology: estimation and use of daily climatological data for Bavaria, Germany. *Agric Meteorol* 106:87-103.