

# 微波乾燥測定木材含水率可行性之研究

熊如珍<sup>1,2)</sup> 翟思湧<sup>1)</sup>

## 摘要

本研究旨在探討微波乾燥測定木材含水率之可行性，特以檸檬桉 (*Eucalyptus citriodora*) 與香楠 (*Machilus zuihoensis*) 為試材，就微波烘箱照射與傳統烘箱乾燥，分別測計其生材含水率、氣乾材含水率以及纖維飽和點含水率。

試驗結果顯示：自生材或氣乾材乾燥至絕乾狀態，若經由傳統烘箱(103 ± 2 °C) 乾燥，檸檬桉試材需要長達 3 天的時間，香楠試材則需 24 小時；若改採微波烘箱照射時，檸檬桉試材僅需 2(氣乾材)或 4 分鐘(生材)，香楠試材亦僅 90 秒鐘(氣乾材)或 3 分鐘(生材)。香楠心材纖維飽和點含水率之測定，經由收縮率所推算者 (傳統烘箱者 28.36 %，微波烘箱照射者 28.98 %，費時 2 週以上)，與依據微波烘箱照射之乾燥速率所推定者 (28.60 %，費時 60 秒鐘)，二處理間之結果一致，並無差異。

關鍵詞：微波乾燥、烘箱乾燥、木材含水率、檸檬桉、香楠。

熊如珍、翟思湧 1997 微波烘箱測定木材含水率。台灣林業科學 12(2): 203-210。

## Feasibility Study of Wood Moisture Content Determination Using Microwave Drying

Ju-chen Hsiung<sup>1,2)</sup> and Sy-yung Jai<sup>1)</sup>

### 【 Summary 】

This study evaluates the feasibility of wood moisture content determination using microwave drying instead of conventional oven drying. Lemon-scented gum (*Eucalyptus citriodora*) and incense machilus (*Machilus zuihoensis*) were used for this study.

Treatments of wood drying were: A (conventional oven drying) and B (Microwave oven drying). The moisture contents of green and air-dried specimens were tested for lemon-scented gum and incense machilus. The moisture content at the fiber saturation point was tested only for incense machilus.

The results of this study indicate that:

1. The times of the wood moisture content determination using microwave drying (treatment B) for lemon-scented gum were 2 min (air-dried wood) or 4 min (green wood), and for incense machilus were 1.5 min (air-dried wood) or 3 min (green wood).

2. For incense machilus, the differences of the moisture contents at the fiber saturation point (calculated from the shrinkage) were not significant between treatments A and B.

1) 臺灣省林業試驗所森林利用系,台北市南海路53號 Division of Forest Utilization, Taiwan Forestry Research Institute, 53 Nan-Hai Rd., Taipei, Taiwan, ROC.

2) 通訊作者 Corresponding author

1996年12月送審 1997年1月通過 Received December 1996, Accepted January 1997.

3. For incense machilus heartwood, the time (determined for the moisture content at the fiber saturation point) obtained from the drying rate for treatment B was a few minutes, while that for the shrinkage for treatment A was more than 2 weeks.

4. The application of microwave drying reduces the drying time for wood moisture content determination as compared with using conventional oven drying.

**Key words:** microwave drying, oven drying, wood moisture content, lemon-scented gum, incense machilus.

Hsiung, J. C., and S. Y. Jai. 1997. Feasibility Study of Wood Moisture Content Determination Using Microwave Drying. *Taiwan J. For. Sci.* 12(2): 203-210.

## 一、緒言

木材中的水分，在立木狀態下，為樹木生長所不可少者。但當樹木伐倒後，作為原料之木材在加工利用時，在大多數情況下水分的存在是極為不利的。而木材的物理、力學性質和各種加工利用，無一不受木材中水分之影響；故現代的木材處理技術與理論研究，均與木材水分有密切關係。因此，木材與水分關係的研究，可說是合理利用、節約利用和綜合利用上不可缺少的一門學科(成俊卿，1985)。

綜合考慮水分與木材的結合形式與水分在木材中的位置，將木材中的水分分為化學水、自由水與吸著水。化學水存在於木材化學成分中，且數量極少，一般不予考慮；自由水存在於木材中大的毛細管系統即細胞腔和細胞間隙中，僅對木材重量、耐久性和導熱性等有影響；吸著水係吸附水與微毛細管水組成，不易從木材中排除，木材的物理、機械強度以及導電、傳聲等性質都隨著吸著水的多少而變化(王松永，1983；成俊卿，1985)。

木材屬於植物有機體，在自然狀態下均含有水分，但其含水量的多少，則依其周遭環境之變化而增減。當進行木材加工利用時，有數種重要的含水率變化，例如：生材含水率、氣乾材含水率、纖維飽和點含水率、...等，而含水率是以木材中之水分所佔木材全乾重量的百分率表示之(翟思湧，1986)。生材含水率是指生長著的樹木或剛伐倒的樹木之含水率，自生材依循乾燥基準

表行木材乾燥處理時，生材含水率乃不可或缺的基準資料。濕木材長期放置在一定之溫度與相對濕度之大氣中時，木材中水分不斷地蒸發，直到處於平衡狀態，即木材中水分的蒸發停止，此時木材之含水率稱為氣乾材含水率；預防木材在使用中會因乾燥而發生乾裂或翹曲，故在使用前木材需乾燥至氣乾狀態為止。纖維飽和點乃指木材中不存在自由水而細胞壁中吸著水呈現飽和之狀態(王松永，1981)，其與木材性質以及木材利用之關係密切，所謂水分對材性的影響，多半即指此吸著水。

通常所採用之木材含水率測定法，屬爐乾法最為精確(楊慶瀾，1974；翟思湧，1986)。但以爐乾法來測定木材含水率稍嫌費時，其烘至絕乾時間約需 20 ~ 60 小時(王松永，1981)；若改用微波照射快速測定木材含水率(James，1985)，乾燥時間可縮短至數分鐘(翟思湧，1986)。纖維飽和點，用乾縮與含水率關係的方法來測定，多半亦採用爐乾法，不僅耗時，且依不同的測定方法，所推算之纖維飽和點，其結果略有差異。

本研究以闊葉樹中生長快速、品質良好之檸檬桉針對微波乾燥快速測定木材之生材含水率及氣乾材含水率作初步之試驗，而香楠材則續對微波乾燥測定木材纖維飽和點之可行性作進一步之探討。

## 二、材料與方法

### (一) 試驗材料

1. 檸檬桉 (*Eucalyptus citriodora*)

採自本所之蓮華池分所，截取 2 m 長之原木段。分別就心材以及邊材製成橫斷面為 2 cm × 2 cm，其長度為 45 cm 之試材備用。

2. 香楠 (*Machilus zuihoensis*)

採自本所之蓮華池分所，截取 2 m 長之原木段。分別就心材以及邊材製成橫斷面為 3 cm × 3 cm，其長度為 45 cm 之試材備用。

有關試材特性詳如 Table 1。

(二) 試驗方法

1. 乾燥試驗設計

(1) 傳統爐乾法為對照組，烘箱設定為 103 ± 2 °C，乾燥至絕乾。

(2) 微波乾燥法為試驗組，以最大出力為 700 W 之微波烘箱進行乾燥。

2. 試體之製作

(1) 檸檬桉

製成 2 cm × 2 cm × 2 cm 之正方體小角材。

(2) 香楠

製成 3 cm × 3 cm × 0.5 cm(長)之兩面徑切面

之正方形試體。

3. 乾燥試驗

試體製妥後，每一乾燥試驗條件各隨機選取 5 個。檸檬桉之邊材部份僅就生材狀態進行乾燥試驗，測定生材含水率；其心材部份則分別自生材狀態以及氣乾材狀態進行乾燥試驗，測定生材含水率、氣乾材含水率。香楠之心材與邊材除分別自生材狀態、氣乾材狀態（自生材至氣乾材狀態，檸檬桉者費時約四週，香楠者需時兩週）進行乾燥試驗，測定生材含水率、氣乾材含水率，續測定其纖維飽和點含水率。

(1) 檸檬桉

對照組：試體稱取重量後置於 103 ± 2 °C 之烘箱中，乾燥至重量不變為止，稱量各試體之重量，供測定其生材含水率以及氣乾材含水率之用。

試驗組：試體稱取重量後以強微波照射時，間隔 30 秒稱取重量一次，直到重量不再減少或表面出現局部燒焦現象時為止，供測定其生材含水率以及氣乾材含水率之用。

Table 1. Characteristics of materials used in the experiment.

Species <sup>1)</sup>	Diameter (cm)		Avg.	Avg.	Avg. oven-dry		T/R
			green M.C. (%)	specific gravity <sup>3)</sup> (Wo/Vg)	shrinkage (%)		
					Tangential	Radial	
<i>Eucalyptus</i>	Avg. 42.7	Heartwood	44.18	0.882	9.89	6.31	1.59
<i>citriodora</i>	Max. 68.0		(0.22) <sup>2)</sup>	(0.002)	(0.11)	(0.07)	(0.03)
	Min. 26.0	Sapwood	45.87	0.795	10.31	8.22	1.26
			(0.36)	(0.006)	(0.22)	(0.13)	(0.01)
<i>Machilus</i>	Avg. 48.4	Heartwood	92.59	0.433	6.56	2.94	2.25
<i>zuihoensis</i>	Max. 59.8		(1.34)	(0.002)	(0.09)	(0.10)	(0.06)
	Min. 36.4	Sapwood	95.20	0.444	7.58	3.68	2.07
			(2.70)	(0.005)	(0.15)	(0.06)	(0.05)

<sup>1)</sup> Number of specimens is 15 for each category.

<sup>2)</sup> Values in parentheses represent standard error.

<sup>3)</sup> Based on oven-dried weight and green volume.

(2)香楠

對照組：試體稱取重量以及度量其徑、弦向測定基準線長度後置於 103 ± 2 °C 之烘箱中，乾燥至重量不變為止，稱量各試體之重量以及測定基準線長度。

試驗組：試體稱取重量以及度量其徑、弦向測定基準線長度後以強微波照射時，間隔 30 秒稱取重量一次，直到重量不再減少或表面出現局部燒焦現象時為止。

以上兩組試體所稱量之重量係供測定其生材含水率及氣乾材含水率之用；而測定基準線之長度則分別供測定全收縮率及對含水率每減少 1 % 時之平均收縮率，以推算其纖維飽和點含水率之用。

4.乾燥速率之測定

在纖維飽和點以上之自由水極易從木材中除去，而自纖維飽和點以下之吸著水則不易從木材中排除，當木材乾燥進行時，其乾燥速率在纖維飽和點前後應有極大之差異。故另就香楠心材進行微波照射乾燥速率之測定，以推定其纖維飽和點。

將香楠心材試體以微波照射時間每間隔 10 秒作為分組之標準，每隔 10 秒含水率降低所推算之乾燥速率用以判定纖維飽和點。

5.分析項目

$$(1) \text{ 生材含水率}(\%) = \frac{W_g - W_o}{W_o} \times 100$$

$$(2) \text{ 氣乾材含水率}(\%) = \frac{W_a - W_o}{W_o} \times 100$$

$$(3) \text{ 對含水率每減少 1 \% 時之平均收縮率}(\%) = \frac{L_a - L_o}{nL} \times 100$$

$$(4) \text{ 全收縮率}(\%) = \frac{L_g - L_o}{L_g} \times 100$$

$$(5) \text{ 纖維飽和點含水率}(\%) = \frac{(4)}{(3)}$$

式內， $W_g$ ：生材時，試體之重量(g)。

$W_a$ ：氣乾材時，試體重量(g)。

$W_o$ ：絕乾材時，試體之重量(g)。

$n$ ：氣乾材時，含水率百分數。

$L_g$ ：生材時，基準線長(cm)。

$L_a$ ：氣乾材時，基準線長(cm)。

$L_o$ ：絕乾材時，基準線長(cm)。

$L$ ：含水率為 15 % 時之基準線長 (cm)，

由  $L_a$  及  $L_o$  之比例換算式如下：

$$L = L_o + \frac{15(L_a - L_o)}{n} \times 100$$

三、結果與討論

微波烘箱照射以乾燥木材，隨著材中水分之逸出，試體之重量亦隨之減輕。當試體中之水分全數逸出且產生焦味甚至出現燒焦現象時，其重量不但未停止減輕反而遽減，顯示試驗組無法如對照組以重量不再減少為含水率之測試終點。若將尚未發出焦味或表面完全無燒焦現象之試體，置於 103 ± 2 °C 之傳統烘箱中，其重量仍會減輕，顯示木材乾燥未達絕乾狀態。故微波照射檢測含水率，其照射終點之認定，改採試材產生焦味時或試體表面出現局部燒焦現象時。此時木材之熱分解作用，應屬水分蒸發完畢，才將進入預碳化階段。

(一)檸檬桉

1.生材部份

對照組：以傳統烘箱乾燥邊材試體時，經 7 小時後，可使含水率降至 1 % 以下；若乾燥心材試體，在 24 小時後之含水率方降至 1 % 左右。欲將試體自生材狀態乾燥至絕乾狀態，不論是心材或是邊材均需要 72 小時，其所測得之生材含水率詳如 Table 2。

試驗組：以微波烘箱照射試體時，不論是心材或是邊材，經 4 分鐘即有焦味產生，且有些試體表面出現局部燒焦現象，顯示試體已乾燥至絕乾狀態。所測得之生材含水率亦詳如 Table 2。

2.氣乾材部份

檸檬桉試材自生材狀態始，經 4 週可達氣乾平衡狀態。

**Table 2. Moisture changes of lemon-scented gum.**

Treatment <sup>1)</sup>	Avg. green M.C. <sup>3,4)</sup> (%)		Avg. air-dried
	Heartwood	Sapwood	M.C. of heartwood <sup>3,4)</sup> (%)
A	39.03(0.91) <sup>2)</sup>	54.68(1.81)	13.60(0.04)
B	38.94(1.41)	54.88(1.66)	13.62(0.03)

<sup>1)</sup> A: Conventional oven dried, B: Microwave oven dried.

<sup>2)</sup> Values in parentheses represent standard error.

<sup>3)</sup> After F-test, differences of the uniformity of M.C. between treatments A and B are not significant at the 0.05 level.

<sup>4)</sup> After analysis of variance, differences between treatments A and B are not significant at the 0.05 level.

對照組：以傳統烘箱乾燥心材小角材之氣乾材試體時，需要 3 天才能烘至絕乾狀態。

試驗組：以微波烘箱照射心材小角材之氣乾材試體時，僅需 2 分鐘即可乾燥至絕乾狀態。

以上兩組所測得之氣乾材含水率詳如 Table 2。

由 Table 2 中可看出，檸檬桉試材之生材含水率，經由傳統烘箱乾燥所測定者(心材 39.03%，邊材 54.68%)與微波烘箱照射所測定者(心材為 38.94%，邊材 54.88%)，不論是心材或是邊材，二處理間之差異在 95%信賴區間測試下均不顯著。由 Table 2 中亦可看出，以心材測試氣乾材含水率的結果，經由傳統烘箱乾燥所測定者(13.60%)與微波烘箱照射所測定者(13.62%)，二處理間之差異在 95%信賴區間測試下亦不顯著。

綜合以上試驗結果得知，檸檬桉試材不論是生材或是氣乾材，要乾燥至絕乾狀態，經由傳統爐乾技術者需要長達 3 天的時間，若改採微波照射處理時，僅需 2 分鐘(氣乾材)或 4 分鐘(生材)。故，以微波照射快速測定檸檬桉木材含水率，可改善傳統上爐乾法測計木材含水率費時之缺憾。

(二) 香楠

1. 生材含水率

對照組：以傳統烘箱將試體自生材狀態乾燥至絕乾狀態，不論是心材或是邊材，需要 24 小時。

試驗組：以微波烘箱將試體自生材狀態乾燥至絕乾狀態，不論是心材或是邊材，僅需時 3 分

鐘。

以上兩組分別測得之生材含水率詳如 Table 3。

2. 氣乾材含水率

香楠試材自生材狀態始，經 2 週可達氣乾平衡狀態。

對照組：以傳統烘箱將試體自氣乾狀態乾燥至絕乾狀態，不論是心材或是邊材，需要 24 小時。

試驗組：以微波烘箱將試體自生材狀態乾燥至絕乾狀態，不論是心材或是邊材，僅需時 90 秒鐘。

以上兩組所測得之氣乾材含水率詳如 Table 3。

由 Table 3 中可看出，香楠試材之生材含水率，經由傳統烘箱乾燥所測定者(心材 95.22%，邊材 96.29%)與微波烘箱照射所測定者(心材 94.07%，邊材 98.85%)，不論是心材或是邊材，二處理間之差異在 95%信賴區間測試下均不顯著。由 Table 3 中亦可看出，氣乾材含水率的測試結果，經由傳統烘箱乾燥所測定者(心材 13.52%，邊材 14.17%)與微波烘箱照射所測定者(13.53%，邊材 14.34%)，不論是心材或是邊材，二處理間之差異在 95%信賴區間測試下亦均不顯著。

綜合以上試驗結果得知，香楠試材不論是生材或是氣乾材，要乾燥至絕乾狀態，經由傳統爐乾技術者需要經過 24 小時，若改為微波照射處理時，僅需 90 秒鐘(氣乾材)或 3 分鐘(生材)。故，亦可採微波照射快速測定香楠木材含水率，取代

**Table 3. Moisture changes of incense machilus.**

Treatment <sup>1)</sup>	Avg. green M.C. <sup>3,4)</sup> (%)		Avg. air-dried M.C. <sup>3,4)</sup> (%)	
	Heartwood	Sapwood	heartwood	Sapwood
A	95.22(1.69) <sup>2)</sup>	96.29(4.67)	13.52(0.11)	14.17(0.08)
B	94.07(0.94)	98.85(2.61)	13.53(0.05)	14.34(0.09)

<sup>1)</sup> A: Conventional oven dried, B: Microwave oven dried.

<sup>2)</sup> Values in parentheses represent standard error.

<sup>3)</sup> After F-test, differences of the uniformity of M.C. between treatments A and B are not significant at the 0.05 level.

<sup>4)</sup> After analysis of variance, differences between treatments A and B are not significant at the 0.05 level.

**Table 4. Shrinkage percentages of incense machilus.**

Treatment <sup>1)</sup>	Avg. oven-dry shrinkage (%)		Avg. shrinkage per 1% M.C. reduction (% / %)	
	Tangential	Radial	Tangential	Radial
HA	6.50(0.08) <sup>2)</sup>	2.76(0.10)	0.229(0.004)	0.128(0.006)
HB	6.42(0.08)	2.49(0.06)	0.222(0.005)	0.115(0.002)
SA	7.64(0.29)	3.55(0.07)	0.233(0.001)	0.154(0.003)
SB	7.34(0.29)	3.37(0.09)	0.213(0.002)	0.134(0.002)

<sup>1)</sup> HA: Heartwood in conventional oven dried, HB: Heartwood in microwave oven dried, SA: Sapwood in conventional oven dried, SB: Sapwood in microwave oven dried.

<sup>2)</sup> Values in parentheses represent standard error.

傳統上爐乾法測計木材含水率之費時。

### 3. 木材收縮率

香楠試材對照組與試驗組，其心材、邊材之全收縮率以及對含水率每減少 1 % 時之平均收縮率詳如 Table 4。

### 4. 纖維飽和點含水率

#### (1) 依收縮率所推算者

對照組與試驗組，不論是心材或是邊材，依據 Table 4 中所列香楠試材之全收縮率以及對含水率每減少 1 % 時之平均收縮率，所推算之纖維飽和點含水率詳如 Table 5。

由 Table 5 中可看出，香楠心材之纖維飽和點含水率依據乾燥後之收縮率所推算者，傳統烘箱乾燥(弦向 28.36 %，徑向 21.61 %)，與微波烘箱照射(弦向 28.98 %，徑向 21.67 %)，不論是弦向或是徑向，二處理間之差異在 95 % 信賴區間測試下均不顯著。由 Table 5 中亦可看出，香楠邊材之纖維飽和點含水率由乾燥後之收縮率所推算者，傳統烘箱乾燥(弦向 32.75 %，徑向 23.12 %)，與微波烘箱照射(弦向 34.45 %，徑向 25.19 %)，不論是弦向或是徑向，二處理間之差異在 95 % 信賴區間測試下亦均不顯著。

**Table 5. Moisture contents of the fiber saturation point of incense machilus.**

Treatment <sup>1)</sup>	Moisture contents of fiber saturation point <sup>3,4)</sup> (%)				
	Tangential		Radial		Drying Rate
HA	28.36	(0.53) <sup>2)</sup>	21.61	(0.22)	—
HB	28.98	(0.62)	21.67	(0.68)	28.60 (1.15)
SA	32.75	(1.21)	23.12	(0.71)	—
SB	34.45	(1.64)	25.19	(0.53)	—

<sup>1)</sup> HA: Heartwood in conventional oven dried, HB: Heartwood in microwave oven dried, SA: Sapwood in conventional oven dried, SB: Sapwood in microwave oven dried.

<sup>2)</sup> Values in parentheses represent standard error.

<sup>3)</sup> After F-test, differences of the uniformity of M.C. between treatments A and B are not significant at the 0.05 level.

<sup>4)</sup> After analysis of variance, differences between treatments A and B are not significant at the 0.05 level.

**Table 6. Drying rate of incense machilus using a microwave oven.**

Drying time (s)	Final M.C. (%)	Drying rate <sup>2)</sup> (M.C.% / s)
20	56.97 (0.81) <sup>1)</sup>	—
30	47.01 (0.51)	0.996 (0.030) A
40	37.23 (1.89)	0.978 (0.150) A
50	28.60 (1.15)	0.864 (0.077) A
60	24.86 (0.87)	0.374 (0.051) B

<sup>1)</sup> Values in parentheses represent standard error.

<sup>2)</sup> Comparable means followed by the same letter are not significantly different at the 0.05 level according to Duncan's new multiple range test.

從以上之試驗結果得知，香楠不論是心材或是邊材，不論是弦向或是徑向，由收縮率所推算之纖維飽和點含水率，經由傳統烘箱乾燥與微波烘箱照射二處理之結果均一致。

(2)依乾燥速率所推算者

香楠心材試體分別以微波照射 20 秒、30 秒、40 秒、50 秒及 60 秒後之含水率詳如 Table 6。其間每一階段之乾燥速率亦詳列於 Table 6 中。

由 Table 6 中可看出，香楠心材在微波照射時間達 50 秒時，其乾燥速率(0.864 % M.C./s)較微波照射時間 40 秒者(0.978 % M.C./s)為低，但其間之差異在 0.05 水準仍不顯著，顯示微波照射乾燥木材，在此 50 秒之前水分極易從木材中逸

出，此減少之水分應屬材中之自由水部分。但當微波照射時間增為 60 秒時，其乾燥速率(0.374 % M.C./s)很明顯地低於微波照射時間 50 秒者，且其間之差異在 0.05 水準顯著。由於本試驗所用之試材屬小尺寸，試體之縱向長度僅 0.5 cm，乾燥過程中試體水分極易從試體之縱向兩端逸出，應無水分梯度之虞；故自 50 秒起，微波照射乾燥木材所逸出之水分全屬材中之吸著水(約束水)，促使其乾燥速率銳減，故此時木材之含水率必低於其纖維飽和點。由前述結果，可知當香楠心材經微波照射時間達 50 秒時，其時之含水率(28.60 %)應近於木材之纖維飽和點含水率。

綜合以上試驗結果，纖維飽和點含水率之測定，以香楠心材依微波烘箱照射之乾燥速率所推

定者(28.60%，僅費時 60 秒鐘)，與依弦向收縮率所推算者(傳統烘箱者 28.36%，微波烘箱照射者 28.98%，費時 2 週以上)，並無差異。

#### 四、結論

- (一) 自生材或是氣乾材乾燥至絕乾狀態，經由傳統烘箱(103 ± 2 °C)來乾燥，檸檬桉試材需長達 3 天的時間，香楠試材則需 24 小時；若改採微波烘箱照射時，檸檬桉試材僅需 2(氣乾材)或 4 分鐘(生材)，香楠試材僅 90 秒鐘(氣乾材)或 3 分鐘(生材)。
- (二) 纖維飽和點含水率之測定經由收縮率所推算者，香楠木材不論是心材或是邊材，不論是弦向或是徑向，以微波烘箱照射與傳統烘箱乾燥二處理之結果一致，並無差異。
- (三) 香楠心材依據微波烘箱照射之乾燥速率以推定木材纖維飽和點含水率，僅費時 60 秒鐘，而經由收縮率所推算者則費時 2 週以上。
- (四) 微波乾燥快速測定木材含水率，僅需數分鐘，可改善傳統上爐乾法測計木材含水率費時之缺憾。
- (五) 木材纖維飽和點含水率之測定，依據微波

烘箱照射之乾燥速率以推算者，宜就其他樹種作進一步探討。

#### 引用文獻

- 楊慶瀾 1974 木材工藝與利用。台灣省林務局木材產銷月刊社。38 頁。
- 王松永 1981 木材微波加熱之彎曲成型加工。木工家具 12 月號，8 ~ 14 頁。
- 王松永 1981 木材物理(一)。台灣林業 7(1): 38-40。
- 王松永 1983 商用木材，林產工業叢書 1。中華民國林產事業協會。台灣。29 ~ 31 頁。
- 黃清吟 1984 微波加熱改善木材可塑性之研究。台大森林研究所碩士論文。5 ~ 22 頁。
- 成俊卿 1985 木材學。中國林業出版社。北京。380 ~ 388 頁。
- 翟思湧 1986 木材在存貯期間的水分變化(上)。木工家具 20(2): 24-26。
- James, W. L., Y. H. Yen, and R. J. King. 1985. A microwave method for measuring moisture content, density, and grain angle of wood. USDA FPL-0250: 9 pp.