

# 減濕式乾燥窯基準表之訂定(二)

## 3 cm 柳 杉

翟 思 湧      李 銘 鐘

### Development of A Dehumidification Drying Schedule for 3cm Cryptomeria

Sy-Yung Jai and Ming-Chung Lee

臺 灣 省 林 業 試 驗 所

臺 灣 臺 北

中 華 民 國 七 十 五 年 一 月

TAIWAN FORESTRY RESEARCH INSTITUTE

Taipei, Taiwan, Republic of China

Jan. 1986



# 減濕式乾燥窯基準表之訂定(二)

## 3 cm 柳 杉

翟 思 湧      李 銘 鐘

### 摘 要

本省苗栗產約45年生柳杉造林木，鋸為 3cm 厚，15cm 寬，180cm長之試材，並依鋸割順序使相鄰四片分屬不同之 4 組。以四種減濕乾燥基準進行試驗。結果顯示：3cm厚柳杉板材可減濕乾燥至含水量 10%以下；S-4 基準（表 2）之效果較佳，其乾燥速率約為 0.54% MC/hr.；柳杉材弦向收縮率約為徑向之兩倍。

### 前 言

近年來新興之減濕乾燥設備由於價格較廉，操作容易，密身構造簡單，能源消耗較少，切合一般中小型工廠需要，故深獲業界喜愛而廣被採用<sup>(3, 4)</sup>。但此種乾燥設備之性能與傳統式蒸汽乾燥窯（Conventional steam dry kiln）迥然不同。有關乾燥基準，迄未經研究機構試驗訂定，僅有製造廠商所提供之試探性「操作程序」可資參考。一般業者多不熟諳而摸索使用；致乾燥效果不良，該種設備之優點亦未能充份發揮。為此，筆者曾於70年度就國產減濕式乾燥窯之性能進行探討<sup>(1)</sup>嗣後並對一般商用木材減濕式乾燥基準之訂定進行系列研究。已完成 3cm 巴西橡膠木之基準<sup>(2)</sup>，結果顯示：乾燥效果極為良好。

本研究之目的乃配合業界需求，製訂 3cm 柳杉製品（材）之減濕乾燥基準，期能提高此種木材之乾燥品質，降低乾燥成本，對柳杉造林木之推廣利用有所助益。

### 材料及方法

#### 試驗材料

本試驗所用試材乃採自苗栗南庄鄉約45年生之柳杉（*Cryptomeria japonica*）造林木。共取樣木 8 株，伐倒後每隔 180cm 截取一段，挑選末徑約為 35~20cm者為試材，共得32段。平均直徑為 29cm（最大 40cm，最小 25cm）。隨即運回臺北本所鋸製試材。其規格為 3cm（厚）×180cm（長）×15cm（寬）。鋸切試材時每相鄰四片，分別依序編號為：1A；1B；1C；1D，2A；2B；2C；2D，餘類推，使其分屬不同之 A, B, C, D, 四組。分組完畢後，兩端塗以防裂漆（End-Coating），以塑膠布嚴密包裝備用。

#### 試驗方法

製作樣板（Preparing kiln samples）——先在A組之試材中，逢機選取10塊；然後在B，C，及D組中各另選取相對應之試材10塊，作為樣板。例如，在A組中若逢機選取 3A, 5A, 10A, ……

等為樣板材；在B組中則必選取 3B, 5B, 10B, ... 等為樣板材。C組；D組亦同。在試材中央部位截取 60cm長之一段為樣板，同時在緊連樣板兩端各鋸切 2.5cm長之一段為含水量試片 (Moisture sections)。每一含水量試片鋸妥後，立即拂去木屑及鬆脫之木絲等，以電動天平稱其重量至 0.01 gm 並記錄之，供測含水量之用。之後，於此試片之橫斷面上測定徑、弦向收縮率測定線，以卡尺 (Vernier caliper) 度量其線長至 0.05mm 並記錄之，供測爐 (全) 乾收縮率之用。最後再以排水法測定試片之生材體積至 0.01cm<sup>3</sup> 並記錄之，供測比重之用。

每一樣板鋸妥後，立即以防裂漆 (End-coating) 塗其兩端，並稱重量至 0.01gm (所用天平之最

大能量為 6kgs)，供計算樣板爐乾重 (Calculated oven-dry weight) 之用。然後在樣板中央劃一收縮率測定線，以卡尺在此線上度量板之寬與厚至 0.05mm 並記錄之；此測定線乃用以測定木材在乾燥過程中，其不同含水量之徑、弦向收縮率。設樣板為象鋸板 (Quartersawn board)，則其厚為弦向，寬為徑向；設為平鋸板 (Plainsawn board)，則其厚為徑向，寬為弦向。

上述處理完成後，將所有含水量試片置於自動調溫之電烘箱中，以 103° ± 2°C 之溫度烘至爐 (絕) 乾後，分別求出試材之：(1) 生材含水量，(2) 比重，(3) 厚度，(4) 爐乾收縮率，以及 (5) 樣板之推算爐乾重等。有關試材特性，詳見下表 1。

表 1 試材特性<sup>1</sup>  
Table 1 Characteristics of material used in experiment

樹 種 Species		製 品 Lumber				
普通名 Common name	學 名 Scientific name	產 地 Origin	原木平均直徑 Ave. dia. of logs (cm)	品 等 Grade	紋理 <sup>2</sup> Grain	平均厚度 Ave. Thickness (cm)
柳 杉 Cryptomeria	Cryptomeria japonica	臺灣苗栗 Miao-Li Taiwan	29 Max. 40 Min. 25	三等以上 No. 3 & better	混合 Mixed	2.90 (0.02) <sup>4</sup>
平均收縮率 (生材至全乾)						
平均生材含水量 Ave. Green M.C. (%)	平均比重 <sup>3</sup> SP/GR (Wo/Vg)	Ave. Shrinkage (Green to 0%)		弦 向 Tangential	徑 向 Radial	
128.28 (5.56)	0.344 (0.005)	7.57 (0.28)		4.12 (0.15)		

1. 試體數為 40。 Number of specimen: 40 pieces.

2. 指平鋸板與象鋸板而言。 Plainsawn or Quartersawn lumber.

3. 比重以爐乾重量與生材體積求出。 Based on O.D. Wt. and green volume.

4. 括號內數值為標準誤。 Value in parenthesis represents standard error.

擬訂乾燥基準 (Designing drying schedules) —— 根據乾燥密與試材之特性，並參照有關資料<sup>5, 6</sup> 設計四種基準表 (表 2) 進行乾燥試驗。

操作方法 (Operating method) —— 採行全

時運轉。風扇單向循環。每天至少一次將密內所有樣板取出，分別計算其含水量，並檢查乾燥缺點，列入記錄。以二分之一含水量最高之樣板作為控制樣板 (Controlling samples)；根據控制樣板含

表 2 3cm 柳杉所試用之四種基準表  
 Tabl 2 Drying schedules used for 3cm Cryptomeria

S-1			S-2			S-3			S-4		
M.C. (%)	D.B.T. (°C)	R.H. (%)	M.C. (%)	D.B.T. (°C)	R.H. (%)	M.C. (%)	D.B.T. (°C)	R.H. (%)	M.C. (%)	D.B.T. (°C)	R.H. (%)
60以上	46	43	60以上	50	40	60以上	50	36	60以上	55	36
60	46	40	60	50	38	60	50	34	60	55	34
55	46	38	55	50	36	55	50	32	55	55	32
50	46	36	50	50	34	50	55	30	50	55	30
45	50	33	45	55	32	45	55	26	45	60	26
40	50	28	40	55	30	40	60	22	40	60	22
35	50	25	35	55	26	35	60	20	35	60	20
30	55	22	30	60	22	30	60	14	30	60	14
25	55	20	25	60	20	25	60	10	25	60	10
20	60	14	20	60	14						
15	60	10	15	60	10						
E.T.	60	43	E.T.	60	43	E.T.	60	43	E.T.	60	43
C.T.	60	84	C.T.	60	84	C.T.	60	84	C.T.	60	84

S = 乾燥基準 (Drying Schedule)  
 M.C. = 含水量 (Moisture Content)  
 D.B.T. = 乾燥溫度 (Dry-bulb Temperature)  
 R.H. = 相對濕度 (Relative Humidity)  
 E.T. = 均勻處理 (Equalizing Treatment)  
 C.T. = 調節處理 (Conditioning Treatment)

水量之變化情形，照基準表內所設定之溫濕度標準調整密內控制條件。如是每日作業，至最後含水量降達10%為止。

則定收縮率 (Determining percent shrinkage) ——當平均含水量降至約50%時，開始就各樣板劃定之收縮率測定線，逐日量取其寬度與厚度，並以生材時所度量之寬厚為基準，計算其不同含水量之徑，弦向收縮率。

最後含水量與應力試驗 (Final M. C. and drying stress test) ——各密乾燥完畢稍加冷卻後，將所有樣板取出，先將一端切除 15cm，再繼續橫切2.5cm厚之試片3塊，從事下列三項測定：

(1)第一塊測定平均含水量；

(2)第二塊測定表層 (Shell) 與心層 (Core) 之含水量差異情形；

(3)第三塊作叉形試驗 (Prong test) 以評估表面僵化 (Casehardening) 之程度。

計分為：

- A. 無僵化 (Not casehardened)，即所鋸之叉齒伸直平行。
- B. 輕微僵化 (Slightly casehardened)，兩側之叉齒向內彎曲，但齒端並未接觸。
- C. 僵化 (Casehardened)，兩側之叉齒向內彎曲，齒端緊緊相接。
- D. 逆僵化 (Reverse casehardened)，兩端叉齒向外彎曲。

計算乾燥缺點(Calculating drying defects)

- 一般乾燥缺點之計算，按下列方式進行之：
- (1)表面乾裂 (Surface checks) 以樣板平面積內所發生乾裂之總長計算之。
  - (2)端裂 (End checks) 以樣板兩端橫斷面積內所發生乾裂之總長計算之。
  - (3)翹曲 (Warp) 以樣板翹曲部份最大撓度 (Maximum deflection) 與凹面弦長之比表示之。

試驗設備

本試驗所用之設備乃委請山富機械公司設計製造。計分乾燥機 (Lumber dryer) 本體與密身構造兩部份。

乾燥機本體為 96cm (寬) × 45cm (深) × 130cm (高)。使用壓縮機為 3HP，送風機1/2HP。另有1/2HP，葉片直徑 40cm之風扇兩臺，以加

強密內之氣流循環。此外，並在機體內特別裝設一套電氣加熱之增 (調) 濕器 (Humidifier)，作為均勻處理與調節處理之用。密身構造之尺寸為 160 cm (寬) × 200cm (深) × 190cm (高)。壁厚 5cm，中間為絕緣保溫之玻璃棉。乾燥機置於密內。溫濕度由電子儀完全自動控制之。溫度最高可達 60°C，平均材間風速為 1.02m/sec。此外，另行裝設一套 FOXBORO 乾濕球溫度自動記錄儀，將全部乾燥情況予以繪記。

結果與討論

乾燥效果

四種處理原始與最後含水量之均勻程度經 F 值測驗結果，差異在 0.05 水準均不顯著 (表 3)；此可指出，四組試材之含水量不論乾燥前或乾燥後都很均勻。其表心層含水量之差距經變方分析結果，

表 3 3cm 柳杉之最後含水量與乾燥速率<sup>1</sup>

Table 3 Final moisture content and drying rate of 3cm Cryptomeria

乾燥基準 Drying schedule	原始含水量 <sup>2</sup> Initial M.C. (%)	最後含水量 Final moisture content (%)				乾燥時間 <sup>4</sup> Drying time (hrs.)	乾燥速率 <sup>3</sup> Drying rate (%M.C./hr)
		平均 <sup>2</sup> Average	邊層 Shell	心層 Core	差距 <sup>3</sup> Distance		
S-1	123.80 (12.76)	10.56 (0.33)	11.21 (0.27)	11.17 (0.54)	0.88 (0.24)	232.0	0.4881 (0.0540)
S-2	122.87 (10.88)	10.39 (0.41)	10.26 (0.46)	10.45 (0.52)	0.68 (0.17)	255.0	0.4411 (0.0422)
S-3	130.39 (10.38)	10.51 (0.26)	10.59 (0.22)	10.17 (0.51)	1.30 (0.23)	282.0	0.4251 (0.0359)
S-4	136.07 (13.13)	9.22 (0.30)	8.55 (0.44)	9.58 (0.37)	1.02 (0.20)	235.0	0.5419 (0.0548)

1. 樣板數為 10. No. of specimen: 10 pieces.

2. F 值測驗結果，各處理間含水量均勻程度之差異在 0.05 水準不顯著。

After F-test, differences of the uniformity of M.C. between treatments not significant at 0.05 level.

3. 變方分析結果差異在 0.05 水準不顯著。

After variance analysis, differences between treatments not significant at 0.05 level.

4. 包括均勻處理與調節處理時間。

Including equalizing and conditioning treatment.

5. 括號內數字為標準誤。 Value in parenthesis represents standard error.

差異在0.05水準亦不顯著，而且差距甚小；此足顯示四種處理（乾燥基準）均獲得相同品質之結果。至於乾燥速率，雖然 S-4 乾燥最快但差異在 0.05 水準亦不顯著。其原因或為柳杉較易乾燥，而四種處理條件之差距對針葉樹而言，不够劇烈所使然。再者 S-4處理之條件已達一般減濕乾燥設備之極限，差異雖不顯著，其乾燥效果仍應以 S-4為最佳。乾燥缺點

四種處理均未發生面裂 (Surface checks) 與端裂 (End checks)。平均翹曲 (Ave. warp) 之差異在0.05水治亦不顯著，此足證明四種處理

之乾燥品質均達同一標準。至於表面僵化 (Case-hardening) 情形，以 S-4最佳，10塊樣板之乾燥應力已完全解除，未發生任何僵化與逆僵化；S-2次之，9塊無僵化，1塊逆僵化；S-1 與 S-3 較遜。大略言之，3cm 柳杉施以3小時之調節處理，概可將乾燥應力 (Drying stress) 完全解除。綜合以上乾燥缺點與乾燥速率 (表3)，3cm柳杉板材進行減濕乾燥時，仍以 S-4基準 (表2) 之效果最佳。有關 S-4之乾燥情況與含水量降低情形，詳如圖1。

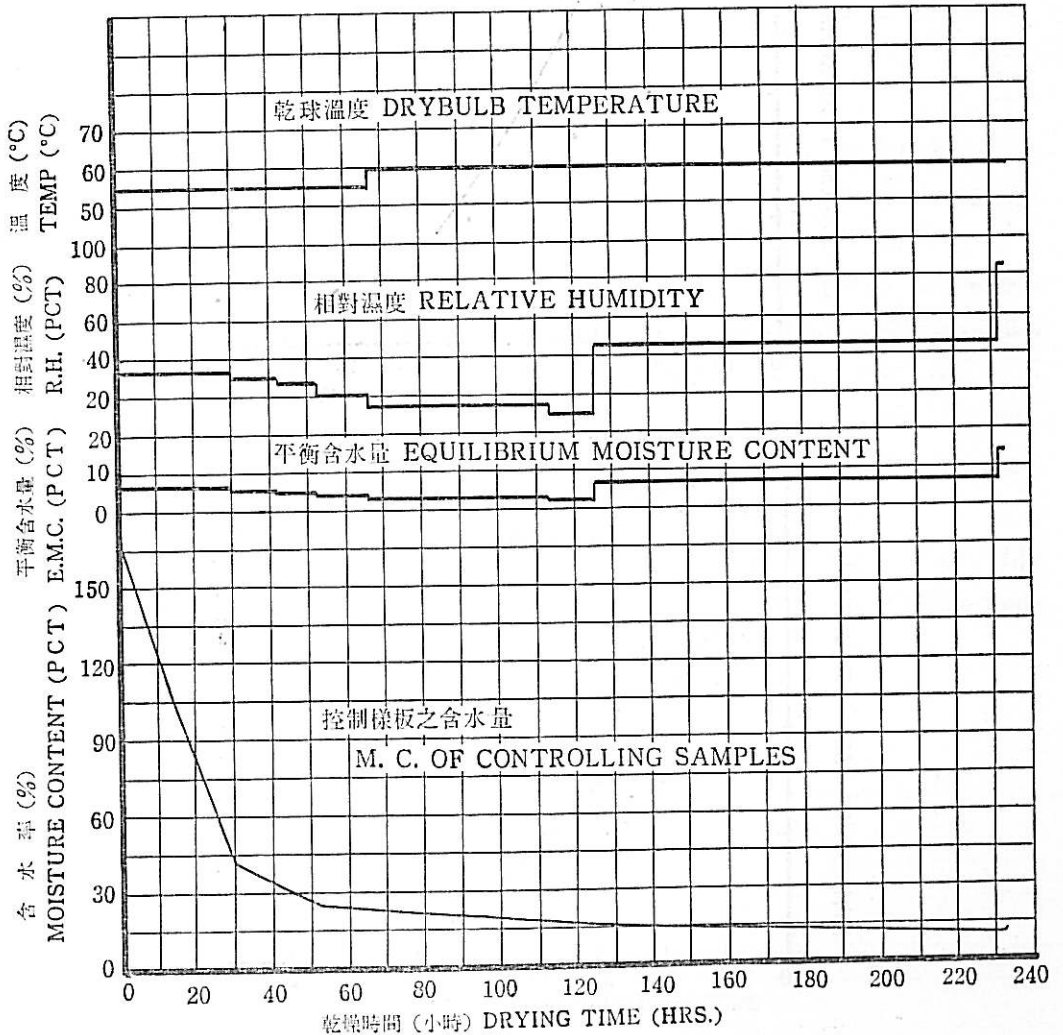


圖1. 以S-4 基準乾燥 3cm 柳杉之窖內情況與含水量降低情形

Fig. 1. kiln conditions and drying curve for 3cm Cryptomeria dried with Schedule S-4.

收縮率

含水量與收縮率之關係成曲線相關。弦向收縮

約為徑向收縮之兩倍（圖2）。由此可推想，柳杉材乾燥時易生翹曲。

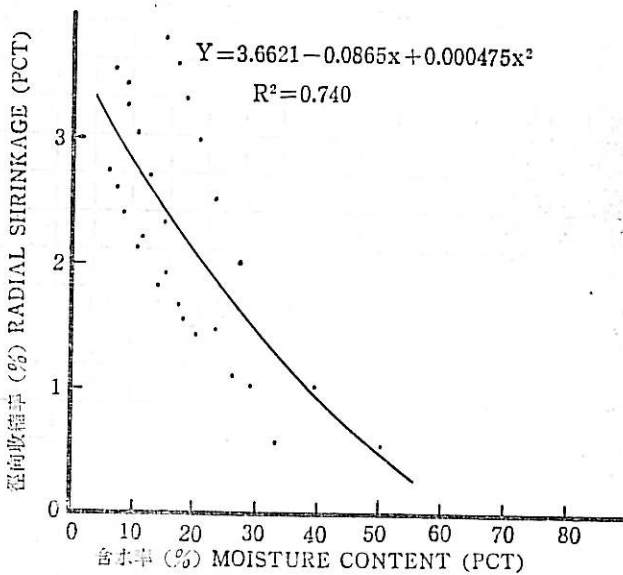
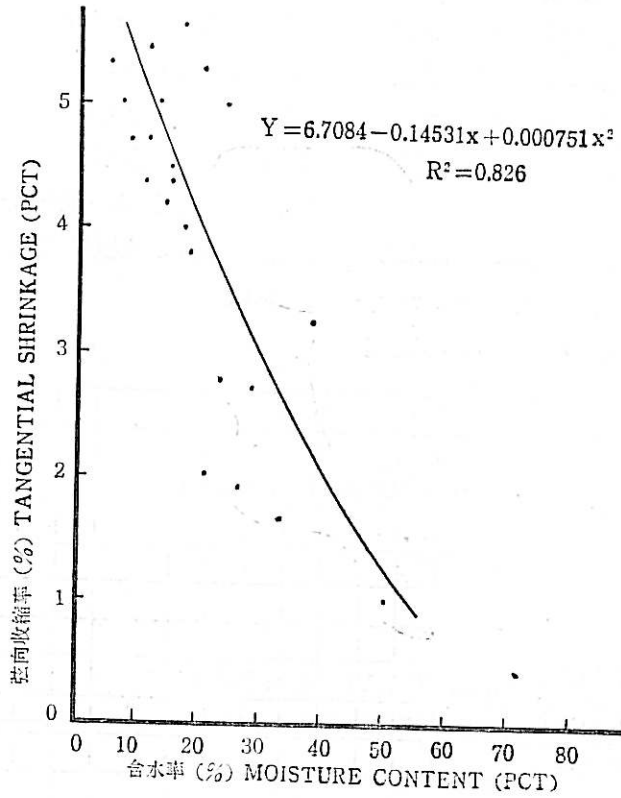


圖2. 3cm 柳杉含水量與收縮率之關係

Fig. 2 Relationship between moisture content and shrinkage of 3cm *Cryptomeria*

表 4 3cm 柳杉材之乾燥缺點<sup>1</sup>  
Table 4 Drying defects of 3cm Cryptomeria.

乾燥基準 Drying schedule	面裂總長度 Total length of surface checks (cm)	端裂總長度 Total length of end checks (cm)	平均翹曲 <sup>2</sup> Average warp (%)	發生表面僵化之樣板數 Number of casehardened samples				
				調節處理時間 Condition- ing time (hrs)	無僵化 Not casehar- dened	輕微僵化 Slight casehar- dened	僵化 Casehar- dened	逆僵化 Reverse casehar- dened
S-1	0	0	1.126	3.0	7	1	0	2
S-2	0	0	0.789	3.0	9	0	0	1
S-3	0	0	0.424	3.0	6	2	0	2
S-4	0	0	0.924	3.0	10	0	0	0

1. 樣板數為 10 No. of specimen: 10 pieces.

2. 變方分析結果差異在0.05水準不顯著 Differences not significant at 0.05 level.

### 結 論

1. 減濕乾燥 3cm柳杉板材，可採用 S-4 基準（表 2）；其乾燥速率約為 0.54%MC/hr.。
2. 柳杉材含水量與收縮率之關係成曲線相關。弦向收縮約為徑向收縮之兩倍。
3. 減濕式乾燥密，可將 3cm 柳杉板材自生材乾燥至最後含水量10%以下。

### 參考文獻

1. 翟思湧，1981。減濕式乾燥密效能之研究。林試所研究報告第354號。12pp.
2. 翟思湧，李銘鐘，1985。減濕式乾燥密基準表之訂定(→) 3cm 巴西橡膠木，林試所試驗報告第

437號。8pp.

3. Huber, H. A. 1977. Dehumidification drying of wood. Woodworking and Furnit. Dig. May, 1977. 2pp.
4. Huber, H. A. 1981. New Generation Drying Equipment. Woodworking and Furnit. Dig. Jan. 1981. 5pp.
5. Merkara Inc. of Toronto Canada, 1978. Western Lumber Drying System. 62pp.
6. Rasmussen, E. F. 1961. Dry Kiln Operator's Manual. USDA Handbook No. 188. p79-110.



## Development of A Dehumidification Drying Schedule for 3cm Cryptomeria

Sy-Yung Jai and Ming-Chung Lee

### English Summary

The objective here was to develop a dehumidification drying schedule for 3cm Cryptomeria. Thirty-two 180cm-long bolts ranging in diameter from 40 to 25cm were used for this study. The bolts were then sawed into 3-by 15 cm test boards. During cutting, each four consecutive boards were divided into four groups and sealed in plastic bags until the time of drying.

Each group of the test boards was dehumidification-kiln-dried by a different drying schedule (Table 2) from green to final moisture content of about 10%, and then compared primarily for drying rate and defects. Moisture content during drying was monitored by standard sample board technique.

The results of this study indicated that.

1. Schedule S-4 (Table 2) can be efficiently applied to dry 3cm Cryptomeria from green to 10 percent MC, and the drying rate is about 0.54% MC/hr..
2. The relationship between MC and shrinkage is in a curvilinear correlation, and the percent tangential shrinkage is about twice as much as radial does.
3. The local made dehumidification dry kiln is capable of drying 3cm Cryptomeria to a final MC below 10 percent.