

巨量元素缺乏對赤桉苗木生長 及養分狀況之影響

程煒兒 洪富文

摘 要

為探討赤桉苗木缺乏巨量元素所呈現之症狀，以及養分缺乏對生長和養分狀況之影響，供為研判該樹種營養缺乏之依據，並提供施肥參考，特以養分缺乏之培養液培育苗木，經18週生長所得結果是：1. 缺氮植株症狀出現最早，且明顯。植株矮小，無分枝，葉片黃化，下層葉離層前變桃紅色。2. 巨量元素缺乏對苗木生長影響最鉅者為氮素缺乏，各項生長量均大幅下降，地上部乾物重僅為完全營養液培育苗木之9%；其次是缺磷，為81%；缺鉀為82%。除缺氮外，缺鉀赤桉苗木根乾重為完全營養液者之67%。3. 除缺鎂 (-Mg) 之地上部乾物重外，赤桉苗木之各項生長量，培育於完全營養液與缺鈣 (-Ca)，缺鎂 (-Mg) 及缺硫 (-S) 者間差異均不顯著。4. 赤桉苗木之葉片養分濃度，可反應苗木及營養液之養分狀況。營養液中缺乏某種養分時，其葉片中該養分之濃度亦低。5. 與生長在完全營養液中赤桉苗木葉片中各養分濃度間之適當比例相比較，可顯示出於巨量元素缺乏下所導致各養分濃度間之不平衡。

關鍵詞：赤桉，巨量元素，養分缺乏症狀，養分濃度，養分狀況。

程煒兒，洪富文。1989. 巨量元素缺乏對赤桉苗木生長及養分狀況之影響·林業試驗所研究報告季刊4(4): 167—175.

Effect of Macronutrient Deficiency on the Growth and Nutrient Status of *Eucalyptus camaldulensis* Seedlings

Wei-Er Cheng Fu-Wen Horng

[Summary]

The Growth, nutrient status and symptoms of nutrient deficiency of 18-week-old *Eucalyptus camaldulensis* seedlings grown in pots of silica sands and irrigated with various macronutrient-deficient solutions were studied. The aim of this study is to develop a reference guide for the diagnosis of macronutrient deficiency and for proper fertilization of this fast-growing species in plantation forests in Taiwan.

Conspicuous symptoms of nitrogen deficiency developed rapidly and the seedlings were small with no branch. All leaves were yellowish and the lower part turned reddish before falling. The dry weight of the seedlings grown in nitrogen-deficient nutrient solutions dropped to only 9% of the control seedlings supplied with complete nutrients. With potassium and phosphorus deficiency, the dry weights reduced to 82% and 81%, respectively. No growth differences were found for Ca-, Mg- and S-defi-

1989年4月送審

1989年10月通過

cient seedlings when compared with the control except for the above ground biomass of the Mg-deficient seedlings. The results indicated that nitrogen would be the major limiting factor for seedling growth, at least at the early stage.

When a specific macronutrient was removed from the nutrient solution, the resulted seedlings also has lower concentrations of the nutrient in its leaves indicating a nutrient imbalance as compared with the control seedlings.

Key words: *Eucalyptus camaldulensis*, Macronutrient, Nutrient deficiency,

Cheng, W. E. and F. W. Horng. 1989. Effect of macronutrient deficiency on the growth and nutrient status of *Eucalyptus camaldulensis* seedlings. Bull. TaiWan Bull. Taiwan For. Res. Inst. New series, 4(4): 167-175.

一、緒 言

桉屬樹種 (*Eucalyptus*) 原產於澳洲與新幾內亞，可為短或長伐期樹種。木材可供作家具、建築、紙漿、合板及器具之用 (姜家華等, 1987)。林業試驗所於民國76年引進十餘種桉樹類，在臺灣各地低海拔地區進行引種與適應性等試驗。據初步結果顯示，赤桉 (*Eucalyptus camaldulensis*) 玫瑰桉 (*Eucalyptus grandis*) 與垂尾桉 (*Eucalyptus urophylla*) 等較具發展潛力 (楊政川等, 1988)。據作者初步調查結果，本省東部及東北部地區數處桉樹造林地，由於土壤肥力之差異，生長有優劣之分。由於引進的桉樹類為速生樹種，養分需求高，對某些桉樹而言，施肥可增加生產。如在印度玫瑰桉經施肥後，其乾物重增加9倍 (Sharma et al. 1984)。本省民間桉樹造林地亦多予以施肥。施肥或為增產，或為改良貧瘠之生育地；但目前赤桉對無機養分之需求，或適宜養分量方面尚無充分資料可查，故必需先瞭解其養分狀況，始能作有效經濟的施肥措施。為此，特以不同條件之營養液培育赤桉苗木，藉以探討赤桉苗木在營養失調下所呈現之症狀，以及其生長和養分狀況，供為研判造林樹種營養缺乏依據，並提供施肥參考。

二、材料與方法

供試赤桉種子係由林試所育林系自澳洲引進。介質係經INHCl洗滌後，再以去離子水洗滌至其洗出液pH值與去離子水pH值相同，導電度低於1.0之石英砂。營養液則採用 Erdmann, et al (1979) 營養液之配製方法，其成分和濃度如附錄表A 1和A 2；營養液之pH值調至6.0。

試驗時，分別以缺氮 (-N)，缺磷 (-P)，

缺鉀 (-K)，缺鈣 (-Ca)，缺鎂 (-Mg) 與缺硫 (-S) 等營養液，以及兩組對照，一為完全營養液，一為去離子水，共8處理，10重複；採逢機完全區集排列方式進行赤桉苗木之砂耕盆栽試驗。

播種前，秤取經處理之砂砂 7.0kg (相當烘乾重5.7kg) 放置於內套以塑膠袋之內徑19cm，高24cm之盆鉢中，共80盆。1988年5月31日每盆直播赤桉種子 0.006gn，自播種至幼苗成長共22天，其間均施以去離子水保持濕潤，於6月21日至7月25日期間，前兩週每盆每週施一次 $\frac{1}{8}$ 強度完全營養液 40ml，後兩週改為 $\frac{1}{4}$ 強度完全營養液 250ml。苗木經56天培育後開始疏苗，每盆留健壯苗2株，並每盆以1L去離子水清洗砂砂，盆鉢口蓋以保麗隆板以防止污染。7月26日開始按試驗設計分別施以完全 (complete)，缺氮 (-N)，缺磷 (-P)，缺鉀 (-K)，缺鈣 (-Ca)，缺鎂 (-Mg)，缺硫 (-S) 營養液及去離子水 (D-H₂O) 等培育苗木。每週每盆施 $\frac{1}{4}$ 強度各處理營養液 500ml，兩週後各處理改用十足強度 (full strength) 營養液，每週每盆施用 250ml，隔兩週則施用 500ml 1次以沖洗砂砂，其餘時間則以自動裝置施加去離子水，每天2次，每次約 200ml，自動給水裝置係參考林試所黃瑞祥之設計。

疏苗後即開始苗高及地際直徑調查，每兩週調查一次，並記錄苗木生長狀況，10月4日收穫，每處理收穫5重複，另5重複用以繼續觀察養分缺乏症狀，收穫時先測量各處理之葉面積，之後，分別秤量各部位 (葉，枝，莖，根) 鮮重，再以去離子水洗滌植體後置送風式烘箱在65°C下烘至恆重。

烘乾之苗木經粉碎後進行各養分分析，N以Kjeldahl法測定，P以乾灰法 (dry ashing) 灰化後，以鈳酸鉍法測定；K, Ca, Mg, S經濕灰法

(wet-digestion method) (Allen, 1986) 分解後，K，Ca，Mg 以原子吸收光譜儀分析，S 則用比濁法以分光光度儀測定。

各處理的生長量及葉部各種養分濃度經變異數分析，顯著者再以鄧肯氏新多變域檢定法檢定。

三、結果與討論

(一) 苗木養分缺乏之目視症狀

赤桉苗木經換缺乏單一巨量元素之營養液培育後 1 週，即開始觀察植株生長情況，其呈現之症狀如下：

缺氮 (-N)：植株矮小，莖細弱而筆直，無分枝，葉片狹小。葉片黃化先從下層葉開始，自綠色褪至淡綠色再至淡黃綠色，此症狀往上層葉片進行，至全株顏色皆成黃綠色；然後，葉基、葉尖，以及葉片邊緣均呈紫紅色；而淡黃綠色之下層葉片亦夾雜不規則桃紅斑，嚴重時整片葉變成紅色，最後形成離層。

缺磷 (-P)：初期跡象是葉片轉為暗綠色，上有褐色斑點，再過一時期下層葉片略褪色，為暗淡綠色或黃綠色，上夾雜暗紫褐色斑，並有斑點狀死組織出現。(圖3)

缺鉀 (-K)：初期下層葉片自綠色轉為淡綠色，繼之，中層葉片綠色上分佈白色小斑點(鹽斑)及深綠色斑點，中下層葉片自葉緣起至主脈開始黃化成淡黃綠色，愈下層黃化程度愈嚴重，最下層葉片並出現銹斑及壞疽現象，葉面起縐，部份葉片扭曲，最後脫落。(圖4)

缺鈣 (-Ca)：下層葉片自綠色轉變至淡黃色時，葉尖出現銹斑，而中層葉片則以綠色為主夾雜淡黃綠色斑點，上層葉片正常。當缺乏症狀繼續時，下層葉片以暗黃綠色為底上夾雜有黃綠色、深紅色及黃色，並在葉片上出現水漬狀大小不規則之斑點或斑塊，斑塊外圍邊緣為紅褐色，再嚴重時則整片葉為紅色(胭脂紅)，紅色葉片上有淺綠色水漬狀大小不規則斑點或斑塊出現，最後葉片脫落。

缺鎂 (-Mg)：自下層葉片開始褪色，下層葉片葉脈間組織自綠色轉為淡黃綠色，中層葉為灰綠色，黃化程度深者，整葉片變淡黃色，並局部出現壞疽斑，缺乏徵狀嚴重時，葉片變淡褐色，狀似乾

枯，其質薄如紙般，最後離層。

缺硫 (-S)：下層葉片主脈為淡綠色，葉脈間組織主為淡黃綠色，上有淡紫褐斑出現，葉尖焦枯，繼之，下層葉片主脈為黃色，葉脈間組織則為黃綠色摻雜桃紅色，葉尖呈壞疽現象。

以上所見症狀是經過10週之觀察，不同處理之養分缺乏症狀所出現的時間不同；同一時間、同一植株之不同部位所出現症狀亦有異。本試驗赤桉苗木缺氮(-N)症狀是所有處理中出現最早，而且也最明顯，與去離子水(D-H₂O)處理相似，苗木生長受抑制；缺氮症狀和Jacobs (1979) 所描述桉樹類缺氮症狀相似，亦與 Erdmann, et al (1979) 所描述之白蠟樹(Whiteash) 相仿。缺磷(-P) 葉片之症狀大致和 Jacobs (1979)，以及 Hale 和 Orcutt (1987) 文中植物養分缺乏症狀關鍵所描述相同，但本試驗之赤桉苗木葉片在養分缺乏處理10週後，才明顯出現一般植物葉片缺磷之暗藍綠色。缺鉀(-K) 黃化症狀在第6週始明顯出現，部分與Jacobs (1979) 所報導相似。但Jacobs (1979) 所描述缺鉀(-K) 分枝顯著成叢生狀似圓形頂端，而本試驗缺鉀(-K) 赤桉苗木外型却與完全營養液培育之苗木相似，並未出現圓形頂端，此為最大之不同點。或許Jacobs (1979) 所指的是不同種之桉樹；而本試驗缺鉀(-K) 赤桉苗木落葉較其處理為多。缺鈣(-Ca)、缺鎂(-Mg) 之症狀與 Jacobs (1979) 所描述大致相似，但缺鎂(-Mg) 症狀並不如其所述葉片過早熟而脫落，留下光禿之莖部和頂端一叢葉片。缺鈣(-Ca)、缺鎂(-Mg)、缺硫(-S) 症狀出現較晚，同時缺鈣、硫之症狀出現在頂端分生組織和幼葉之一般症狀 (Horst, 1986)，在本試驗赤桉苗木收穫前並未出現。

以上即為赤桉苗木養分缺乏症狀之定性診斷。植物若在其構造、表現，或功能上發生任何可覺察到的改變，如葉片黃化、壞疽、畸形，或生長和產量減少時都被認為養分缺乏結果之症狀。在缺乏出現前其生長或產量通常已受到損害。因此，以各種方法予以診斷或研判。可見症狀之診斷雖快速且不昂貴，但在單一養分缺乏下易於診斷，在田間受到多種因素如一種以上養分之缺乏，病蟲及空氣污染等等之影響，對症狀診斷則較困難。故同時以生長量及植物養分測定等等方法作為研判，除可證實可見症狀之診斷外，同時亦可證實所謂之潛伏障礙

(Hidden trouble) 因許多養分缺乏無特殊症狀，只生長力減弱及減產，可藉植物養分測定證實該等潛伏障礙予以矯正。

(二)不同處理苗高生長與苗齡之關係

苗木在施用不同處理營養液後，每兩週調查苗高一次，作為生長的指標，以比較在不同營養條件

下之生長過程，所得結果如圖1。苗木生長在缺磷(-P)、缺鉀(-K)、缺鈣(Ca)、缺鎂(-Mg)，以及缺硫(-S)等營養液中之高生長趨勢與生長在完全營養液中相近，隨苗齡而增加，而培育於缺氮(-N)營養液中苗木却與去離子水(D-H₂O)對照組相同，苗木生長緩慢，幾呈停止狀態，而

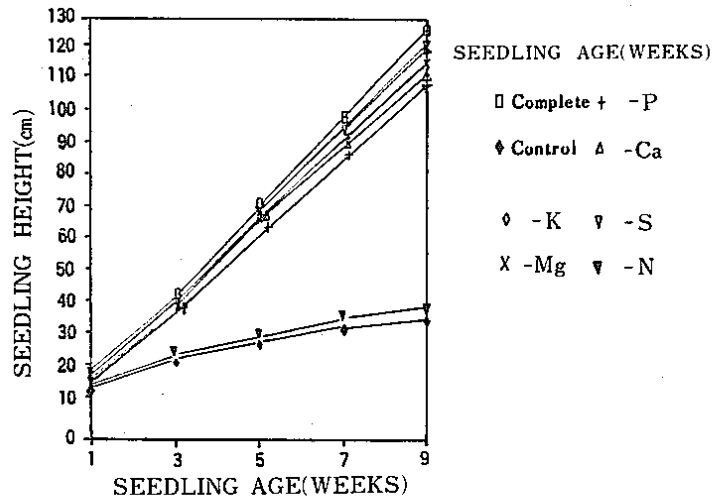


圖1. 不同處理苗高與苗齡之關係
Fig. 1. Relationship between seedling height and age by treatment

其他處理之赤桉苗木雖缺乏P、K、Ca、Mg、S，但高生長仍繼續，僅較完全營養液者略差。缺氮赤桉苗木除氮素，其他養分均充分供應，其生長受抑制，除因養分失衡外，並顯示赤桉生長初期即需給予充足N素。

(三)不同處理苗木各部位乾物質之百分率分佈

苗木在不同養分條件下生長，其各部位(葉、枝、莖、根)乾物質之百分率分佈亦異。如圖2所示，缺氮(-N)與去離子水(D-H₂O)對照組相似，苗木無分枝，只有葉、莖、根三部份，葉部約佔50%，而根部約佔26%，該兩部位之百分分佈較其

他處理均高，而其莖部百分率則相對減少，且較其他處理低。缺鈣(-Ca)與缺鎂(-Mg)處理苗木各部位(葉、枝、莖、根)乾物質之百分率分佈相同，與完全營養液處理之苗木分佈亦接近。缺鉀(-K)處理苗木之葉和根乾重低，故其枝與莖部位乾物質之百分分佈相對提高。缺硫(-S)處理苗木則因枝與根乾重較高，故葉與莖部之百分分佈相對減少。而缺磷(-P)處理苗木因莖部乾重較低，因而相對其他部位提高。由圖2可知，缺乏巨量元素之苗木乾物質分配與完全營養液者不同；而缺乏巨量元素苗木間之乾物質分配亦不同。

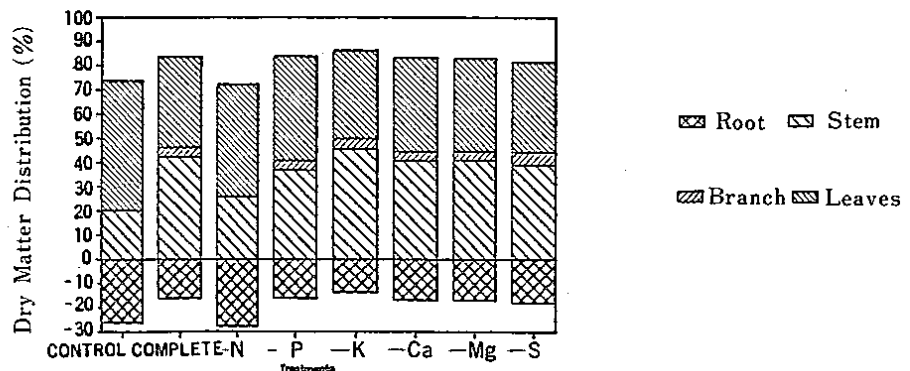


圖2 赤桉苗木各部位(葉、枝、莖、根)乾物質之百分率分佈
Fig. 2 Percent distribution of dry matter in various components *Camaldulensis* (leaves, branch, stem, root) of *Eucalyptus*

四各種養分對赤桉苗木生長量之影響

苗木生長量包括高生長、地際直徑、乾物質(葉部、地上部、根部)以及莖根率和葉面積等項, 如表 1 所示。

高生長以完全營養液培育之苗木最高為 126.1 cm, 並與缺氮(-N)、缺磷(-P)以及去離子水(D-H₂O)處理之苗木高生長呈顯著差異, 與其他處理則差異不顯著; 而缺氮(-N)苗高為 40.3 cm 與去離子水(D-H₂O)之苗高 36.4 cm 為最低, 且兩者間無顯著差異。

地際直徑以缺硫(-S)處理苗木之 7.15 mm 最高, 但與完全營養液處理之 6.88 mm, 以及缺鈣(-Ca)處理之 6.59 mm 差異均不顯著; 而完全營養液處理苗木之地際直徑則與缺氮(-N)、缺磷(-P)以及去離子水(D-H₂O)處理苗木之地際直徑間呈顯著差異, 而缺氮(-N)與去離子水(D-H₂O)處理間則無顯著差異。

地上部乾重以完全營養液處理苗木最重, 為 27.8 (gm. pot⁻¹), 且與缺硫(-S)、缺鈣(-Ca)處理之苗木地上部乾重間差異不顯著, 但與其他處理差異則極顯著; 地上部乾重仍以缺氮(-N)之 2.4 (gm·pot⁻¹) 與去離子水之 2.52 (gm. pot⁻¹) 最低, 而該兩處理相互間則無差異。

根部乾重以缺硫(-S)處理苗木根為最重, 為 6.3 (gm. pot⁻¹), 但與完全營養液及缺鈣(-Ca)處理相比則差異不顯著; 而完全營養液處理則分別與缺鉀(-K)、缺氮(-N)及去離子水(D-H₂O)處理之苗木根重呈顯著差異, 與其他處理(-P、-Mg、-Ca)則無顯著差異; 缺氮和去離子水(D-H₂O)處理之根重最低, 分別是 0.93 和 0.90 (gm·pot⁻¹), 兩者無顯著差異, 但分別與其他處理根重呈顯著差異。

葉部乾重及莖根率, 在完全營養液與缺磷(-P)、缺鈣(-Ca)、缺鎂(-Mg)及缺硫(-S)處理間之差異均不顯著, 而與缺鉀(-K)、缺氮(-N)和去離子水(D-H₂O)處理則呈顯著差異。缺氮(-N)與去離子水(D-H₂O)葉重依次為 1.54 與 1.83 (gm·got⁻¹) 二者間無顯著差異。缺鉀(-K)處理葉重雖次低為 9.62 (gm·pot⁻¹), 但分別與缺氮(-N)及去離子水(D-H₂O)處理顯著差異。至於莖根率則以缺鉀(-K)處理苗木之莖根率最高, 而缺氮(-N)與去離子水(D-H₂O)處理最低。

葉面積則以完全營養液培育之苗木葉面積最大, 為 2,972 cm², 並與各處理(-N、-P、-K、D-H₂O)苗木葉面積之差異呈極顯著。

表 1 : 各處理之赤桉苗木生長 18 週(包括後 10 週之養分缺乏處理)後之平均高生長, 地際直徑, 乾物質, 莖根率及葉面積

Table 1: Average height growth, collar diameter, dry matter, shoot root ratio and leaf area of 18-week old *Eucalyptus camaldulensis* seedlings by treatments (including the later 10 weeks nutrient deficiency treatments).

Treatment	Height cm	Collar diameter mm	Average dry weight(gm. pot ⁻¹)			Shoot/root ratio	Leaf area cm ²
			Shoot	Root	Leaf		
Control	36.4 ^c	2.3 ¹	2.5 ^c	0.90 ^d	1.8 ^c	2.9 ^c	198 ^c
Complete	126.1 ^a	6.9 ^{a,b}	27.8 ^a	5.37 ^{a,b}	12.4 ^a	5.1 ^b	2,972 ^a
-N	40.3 ^c	2.4 ¹	2.4 ^c	0.93 ^d	1.5 ^c	2.6 ^c	214 ^c
-P	108.5 ^b	5.9 ^c	22.6 ^b	4.37 ^{b,c}	11.6 ^{a,b}	5.2 ^b	2,489 ^b
-K	118.9 ^{a,b}	6.3 ^{b,c}	22.8 ^b	3.62 ^c	9.2 ^b	6.4 ^a	2,463 ^b
-Ca	113.1 ^{a,b}	6.6 ^{a,b}	23.8 ^{a,b}	4.83 ^{a,b,c}	11.1 ^{a,b}	5.0 ^b	—
-Mg	116.0 ^{a,b}	6.3 ^{b,c}	22.7 ^b	4.64 ^{b,c}	10.5 ^{a,b}	5.1 ^b	—
-S	120.1 ^{a,b}	7.2 ^a	27.7 ^a	6.31 ^a	12.6 ^a	4.7 ^b	—
F-value	74.79 ^{**}	100.35 ^{**}	43.75 ^{**}	16.15 ^{**}	34.75 ^{**}	15.24 ^{**}	116.26 ^{**}

(1) Theoretical F-value (0.01, 7&28)=3.36

(2) Values in the same vertical column followed by the same letter(s) are not statistically different ($\alpha=0.05$) by Duncan's multiple range test.

(3) "—" in the table means no determination.

綜合以上結果，各項生長量在完全營養液處理與缺鈣 (-Ca)、缺鎂 (-Mg) 及缺硫 (-S) 處理差異均不顯著，僅缺鎂 (-Mg) 之地上部例外，而與缺氮 (-N) 處理則呈顯著差異；而各項生長中，分別若干項 (表 1) 在完全營養液處理與缺磷 (-P)、缺鉀 (-K) 處理間呈極顯著差異；而各項生長量在缺氮 (-N) 與去離子水 (D-H₂O) 處理間差異均不顯著，此足顯示對赤桉苗木生長影響最嚴重者為氮素，其次是磷和鉀，故今就此三元素、氮、磷、鉀加以討論。

氮素是蛋白質、核酸、葉綠素及其他有機化合物之組成成分 (Baule和Fricker, 1970)，缺氮結果，除葉綠素合成受影響致葉片黃化外，植株細小，葉片狹窄，老葉早熟而脫落，枝條生長受限制，根部生長亦受影響，而在一般情形下根莖比增加 (Mengel 和Kikrby, 1978) 此現象與本試驗赤桉苗木缺氮之狀況相似；亦為其生長量大幅下降之原因。Horst (1986) 報導，氮素供應不足時，植物生長受抑制，若增加氮量，則乾物產量增加，葉片之長度、寬度及葉面積均增加。本試驗完全營養液處理之赤桉苗木，較缺氮 (-N) 處理之乾物重與葉面積亦呈大幅增加 (表 1) 此與 Horst 所述相符。

磷素在植物葉片光合作用和碳水化合物代謝作用具調節功能，可被視為主要生長限制因子之一 (Horst, 1986)。當磷素缺乏時，低分子量氮聚積，蛋白質合成減少，生長下降，因此植株變小，根系生長受限制和莖變纖弱；本試驗缺磷 (-P) 之赤桉苗木地上部與根部較完全營養液處理苗木少 20% 左右。在乾物百分率分佈上亦可顯示缺磷 (-P) 莖部佔全株 36%，除缺氮 (-N) 處理外，比任何處理低。

缺鉀則蛋白質與碳水化合物之合成均受到抑制，加速老葉脫落，及根部發育受阻 (Baule和Fricker, 1970)；赤桉苗木在缺鉀 (-K) 營養液培育過程中，係落葉最多之處理，其葉乾重只有完全營養液處理之 74%，根系生長只有完全營養液處理之 67%，除缺氮 (-N) 處理外，是所有處理中最差者。

就氮、磷、鉀養分缺乏對赤桉苗木生長而言，缺氮較缺磷、鉀之影響程度為深，因缺氮赤桉苗木生長嚴重受阻與生長在去離子水中赤桉苗木無異。如Ellis 和Webb (1985) 報導，絲皮白楊桉 (*E.*

delegatensis) 苗木乾重，以單獨施用磷肥或鉀肥者較之單獨施氮肥為低，而施同量氮肥再配以磷、鉀肥則生產提高。雪梨藍桉 (*E. Saligna*) 苗木之高生長及胸高直徑在單獨施氮肥下較單施磷肥顯著增加，而氮、磷併施較之單獨施氮肥為高 (Cromer, 1984)。本試驗亦如此，所有養分供應充份而只缺氮時，其地上部乾物重只有完全營養液處理之 9%，若所有養分包括氮在內供給充份，單獨缺磷，則其地上部乾物重為完全營養液處理之 81%，可見本試驗之赤桉與絲皮白楊桉 (*E. delegatensis*) 和雪梨藍桉 (*E. saligna*) 同樣對氮之需求比其他養分如磷、鉀等為高。因此，赤桉不宜生長於含氮量低之介質或生育地。

綜合以上所述，大量元素缺乏會影響到赤桉苗木之生長，而影響程度則因養分種類而異，其中氮素應可視為赤桉苗木生長最具決定性之因子，而苗木生長量亦可作為養分缺乏之研判。

苗木葉片之養分狀況

苗木分別在各種養分缺乏之營養液中培育 10 週後，其葉片養分濃度列於表 2。缺乏某種養分營養液所培育之苗木，其葉片中該養分之濃度較完全營養液所培育之苗木葉片為低 (表 2)。例如葉片中氮濃度在完全營養液為 3.32 為在缺氮 (-N) 營養液葉片濃度 (1.24) 之 2.7 倍。又在完全營養液葉片中磷、鉀、鈣、鎂、硫濃度分別為缺磷 (-P)、缺鉀 (-K)、缺鈣 (Ca)、缺鎂 (-Mg) 與缺硫 (-S) 營養液各該葉片中濃度之 3.6、2.8、2.7、1.6 及 1.3 倍。另於缺乏某種養分之營養液所培育之苗木其葉片中之其它養分濃度，則有高於或低於完全營養液者，經鄧肯氏新多變域檢定法檢定亦有差異顯著與不顯著之分 (表 2)，例如缺氮 (-N) 營養液葉片之磷素濃度低於，而鉀素濃度則高於完全營養液者，在經統計分析均呈顯著差異。

這些結果顯示，缺乏某養分營養液之赤桉苗木，葉片中該養分濃度即較完全營養液處理為低，是故葉片之養分濃度為研判苗木及介質養分狀況之良好方法。

在完全營養液葉片中之磷濃度低於缺鉀 (-K) 處理者，而鉀濃度低於缺氮 (-N) 處理，鎂濃度低於缺鈣 (-Ca) 及缺硫 (-S) 處理，硫濃度則低於缺鉀 (-K) 處理，此乃因稀釋效應之故。

Horst (1984) 指出：適宜於植物生長之礦質

表2 各處理之赤桉苗木生長18週(包括後10週之養分缺乏處理)後之葉片平均養分濃度

Table 2: Mean nutrient concentrations from leaves of *Eucalyptus camaldulensis* seedlings after 18-weeks under nutrient deficiency treatments

Treatment	Nutrient concentration (%)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Control	1.12 ^c	0.16 ^{o f}	1.99 ^c	0.73 ^b	0.27 ^{d e}	0.35 ^c
Complete	3.32 ^{a b}	0.40 ^{c b}	2.19 ^{b c}	0.98 ^a	0.38 ^c	0.43 ^b
-N	1.24 ^c	0.25 ^{o e}	2.57 ^a	1.00 ^a	0.34 ^{c d}	0.41 ^b
-P	3.19 ^b	0.11 ^f	2.50 ^{a b}	0.96 ^a	0.35 ^c	0.34 ^c
-K	3.75 ^a	0.51 ^a	0.78 ^d	1.00 ^a	0.40 ^{b c}	0.57 ^a
-Ca	3.29 ^b	0.33 ^{c d}	2.01 ^c	0.37 ^c	0.57 ^a	0.46 ^b
-Mg	3.55 ^{a b}	0.46 ^{a b}	2.22 ^{b c}	0.99 ^a	0.24 ^e	0.47 ^b
-S	3.21 ^b	0.32 ^{c d}	2.36 ^{a b}	1.01 ^a	0.47 ^b	0.32 ^c
F-value	52.56 ^{**}	16.79 ^{**}	30.88 ^{**}	9.65 ^{**}	17.82 ^{**}	14.67 ^{**}

(1)Theoretical F-value (0.01, 7&28)=3.36

(2)Values in the same vertical column followed by the same letter(s) are not statistically different ($\alpha=0.05$) by Duncan's multiple range test.

元素濃度範圍為N2-5%、P0.3-0.5%、K2-5%、Ca 0.1-75.0%、Mg 0.5%、S0.2-0.5%；本試驗完全營養液培育之赤桉苗木，其葉片養分濃度(%)分別是：N 3.32、P 0.4、K 2.2、Ca 0.98、Mg 0.38以及S 0.43。而缺乏巨量元素之葉片養分濃度(%)，除營養液中缺乏之巨量元素低於上述範圍之下限外，其餘元素均在其範圍之內；例如缺氮(-N)營養液苗木葉片之N%為1.24，低於適宜之範圍2—5%外，葉片中之其他養分元素(P、K、Ca、Mg、S)均在適宜範圍內(表2)，僅由於氮濃度之過低而生長受阻，如 Mead (1984)所指，每種礦質元素在植體葉片有其適宜生長之濃度範圍，高於此範圍則可能產生毒害，而低於此範圍結果植物生長有其不同程度的阻礙，故葉片濃度或含量可以反應植物養分狀況以及其生長潛能。

由上結果顯示：缺乏某一巨量元素時，雖所有其他巨量元素均在適宜於赤桉苗木生長濃度範圍，但結果生長仍然受抑制，此乃因養分不均衡所致。因此各養分間應有適當的比例，以適合植物的需要。今照Ingested (1979)所表示方式，計算每種養分與氮之比例，氮定為100；則本試驗以完全營養液培育之赤桉苗木葉片養分間之比例作為最適當比例如下：N:P:K:Ca:Mg:S = 100:12:66:30:11:13；而缺氮葉片之比例為：N:P:K:Ca:

Mg:S=100:20:207:81:27:33 以該兩比例相比，很明顯因缺氮導致其他養分過高，尤以K、Ca為甚。此因營養失調所造成之不平衡結果均反應在缺氮(-N)處理赤桉苗木之生長障礙上。故可利用生長正常或生長量高之植物葉片各養分濃度間之比例作標準，以研判生長異常植株葉片各養分濃度間之比例及時施肥矯正。此外本試驗結果所得之最適各養分間比例如上述，可提供為赤桉苗木肥料使用時養分元素間比例之參考。

綜合以上結果，可獲知葉片養分濃度之高低，葉片各養分濃度間之適當比例，以及葉片濃度與培育苗木營養液養分狀況之相互關係。是故利用葉片養分濃度分析以研判養分狀況當屬可行。

四、結 論

(一)赤桉苗木缺氮之症狀出現最早，且明顯，植株矮小，生長受阻。缺磷初期跡象為葉片暗綠色，上有褐色斑點，至於一般前人所述缺磷所呈現之暗藍綠色症狀，三個月後始出現。缺鉀時中層葉片綠色上分佈白色小斑點(鹽斑)，下層葉黃化出現銹斑。缺鈣、缺鎂、缺硫所呈現之症狀與前人所述大致相同，僅缺鈣、缺硫之分生組織及頂部幼葉症狀，於試驗結束時尚未出現。

(二)巨量元素缺乏對赤桉苗木生長影響最鉅者為

氮素缺乏。各項生長量均大幅下降，地上部乾物重僅為完全營養液培育之苗木9%；其次是缺磷，為81%；缺鉀為82%。除缺氮外，缺鉀赤桉苗木根乾重為完全營養液之67%。可見對赤桉苗木生長而言，氮素較其它元素為重要。此可視為赤桉苗木生長最具決定性之因子。

(三)赤桉苗木葉片養分濃度可反應苗木及營養液之養分狀況；營養液中缺乏某種養分時，其葉片中該養分之濃度亦低。故可利用葉片養分分析以研判生長介質或生育地之養分狀況。

(四)與生長在完全營養液中赤桉苗木葉片中各養分濃度間之適當比例相比較，可顯示出於巨量元素缺乏下所導致各養分濃度間之不平衡。本試驗結果所得各養分濃度間之最適比例(N:P:K:Ca:Mg:S = 100:12:66:30:11:13)可提供為赤桉苗木肥料使用時養分元素間比例之參考。

(五)綜合以上，赤桉苗木栽植需否施肥可由養分缺乏症狀，生長量、葉片養分濃度以及養分間之適當比例作為研判依據。赤桉生長需高量氮素，此與豆科樹種需高量磷素和鈣素則不同。此可供為赤桉苗木施肥參考。赤桉施氮肥時期應為幼苗期。

附 錄

本試驗營養液之配製係參照下列兩表；附表A 1 供配完全營養之用。附表A 2 供養分缺乏培育用之替代鹽類溶液並指明溶液中之刪除和替換成分。

表A1：完全營養液之成分

Table A1 Composition of the complete nutrient solution

MACRONUTRIENTS	
Compound or salt	Molarity
KNO ₃	0.002
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	0.003
MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.002
KH ₂ PO ₄	0.002
MICRONUTRIENTS	
FE-EDTA	0.0000891
H BO ₃	0.0000374
MnCl ₂ ·4H ₂ O	0.0000070
ZnCl ₂	0.0000007
CuCl ₂ ·2H ₂ O	0.0000003
MoO ₃	0.0000003

表A 2：缺乏培養液中所省略與更換之替代鹽類溶液組成分

Table A2 Composition of the substitute salt solutions for deficient cultures showing solutions to omit and to replace

Deficiency	Omit	Replace with
-N	KNO ₃ , Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	0.002M KCl, 0.003M CaCl ₂ ·6H ₂ O
-P	KH ₂ PO ₄	0.002M KCl
-K	KNO ₃ , KH ₂ PO ₄	0.002M NaH ₂ PO ₄ , 0.002M NaNO ₃
-Ca	Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O, MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.002M Na ₂ SO ₄ , 0.003M Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O
-Mg	MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.002M Na ₂ SO ₄
-S	MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.002M MgCl ₂ ·6H ₂ O

資料來源：Erdmann, G. G., T. Metzger and R. R. Oberg, 1979. Macronutrient deficiency symptoms in seedlings of four northern hardwoods. Gen. Tech. Rep. NC-53, 36P. U. S. Dep. Agric. For. Serv., North Cent. For. Exp. Stn., St. Paul, MN.

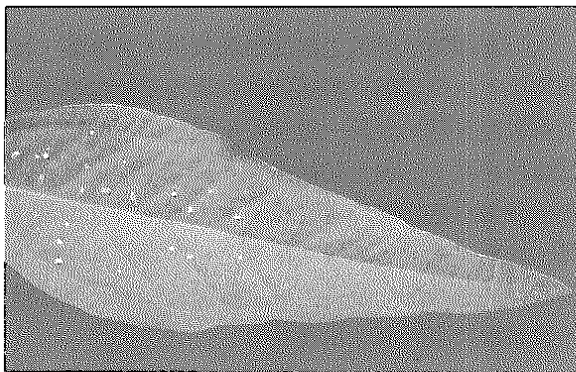


圖3. 赤桉缺磷(-P)症狀

Figure 3. Phosphorus deficiency symptom of *Eucalyptus camaldulensis*

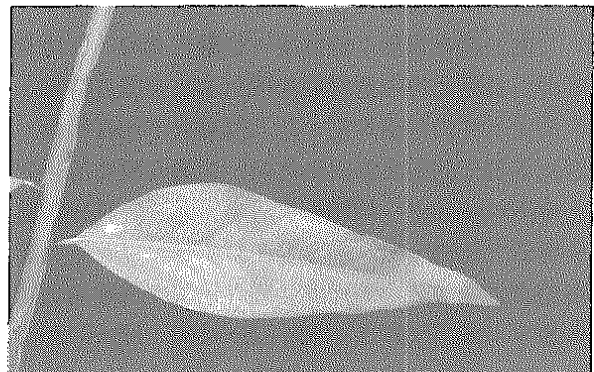


圖4. 赤桉缺鉀(-K)症狀

Figure 4. Potassium deficiency symptom of *Eucalyptus camaldulensis*

參考文獻

- 孔繁熙、張淑玲、洪富文、程兆熊。(1986)。薩爾瓦多型銀合歡巨量元素缺乏的症狀及對苗木生長的影響，中華林學季刊，Vol. 19(1)。
- 姜家華、柳重勝、王亞男、林世宗。(1987)。桉樹引種試驗(一)，台大實驗林研究報告, I (1) : 107 - 119。
- 楊政川、張添榮、許原瑞、鍾振德。(1988)。速生樹種簡介(一)桉樹種臺灣省林業試驗所編印，P.13。
- Allen, S. E., H. M. Grimshaw and A. p. Rowland. 1986. Chemical Analysis P. 285-342. In Moore and Chapman. Method in Plant Ecology. (2nd ed). Blackwell Scientific Publications, Oxford London.
- Baule, H and C. Fricker. 1970. The fertilizer treatment of forest tree. P. 34-61 Munchen, Germany.
- Bell, D. T. 1984. Foliar and twig macronutrients (N, P, K, Ca and Mg) in selected species of Eucalyptus used in rehabilitation: sources of variation. Plant and Soil, 81: 363-376.
- Cromer, P. N. A. M. Wheeldr. and N. J. Barr. 1984, Mineral nutrition and growth of Eucalyptus seedlings. New Zealand Journal of Forestry Science 14(2) : 229-239.
- Erdmann, G. G. , T. Metzget and R. R. Oberg. 1979. Macronutrient deficiency symptoms in seedlings of four northern hardwoods. Gen. Tech. Rep. NC-53, 36P. U. S. Dep. Agric. For. Serv., North Cent for Exp. Stn., St. Paul, MN.
- Ellis, R. C, D. P. Webb., A. M. Graley and A. F. Rout 1985. The effect of weed competition and nitrogen nutrition on the growth of seedlings of Eucalyptus delegatersis in a Highland Area of Tasmania. Aust. Fos. Res., 15: 395-408.
- Horst Marschner. 1986. Mineral nutrition of higher plants. 391-410. Academic Press, New York.
- Hale, M. G. and D. M. Orcutt, 1987. The physiology of plants under stress. P. 71-92. John Wiley & Sons.
- Haridasan, M. 1985. Accumulation by eucalyptus seedlings from acidic and calcareous soils of the cerrade region of central Brazil. Plant and Soil, 86 : 35-45.
- Jacobs, M. R. 1979. Eucalyptus for planting P. 244-245. FAO, Rome, Italy.
- Mead, D. J. 1984. Diagnosis of nutrient deficiencies in plantations. In Bowen and Nambiar (ed.), Nutrition of plantation forests. Academic Press, New York. P. 259-292.
- Mengel, K. and E. A. Kirby. 1978. Principle of plant nutrition. International Potasrh Institute. Switzerland.
- Sharma, S. K., G. K. Prasad and G. N. Gupta. 1984, Fertilizer application and growth of Eucalyptus Grandis on a severely Truncated soil. P. 132-138. In Eucalyptus in India past, present and future. Proceedings of the National seminar on Eucalyptus in Indian Forestry. Peechi, Kerala India.