

11 塔塔加地區臺灣雲杉 (*Picea morrissonicola*) 光合作用之季節變化

翁仁憲¹、廖天賜²、孫國笏¹、鍾基啓¹、林宗平¹、徐鎮暉¹

¹ 國立中興大學生命科學系

² 國立中興大學森林學系

E-mail: jhweng@dragon.nchu.edu.tw

摘要	132
壹、前言	132
貳、材料及方法	133
參、結果	134
肆、討論	134
伍、參考文獻	139
英文摘要	142

11 塔塔加地區臺灣雲杉 (*Picea morrissonicola*) 光合作用之季節變化

翁仁憲¹、廖天賜²、孫國笏¹、鍾基啓¹、林宗平¹、徐鎮暉¹

¹國立中興大學生命科學系

²國立中興大學森林學系

E-mail: jhweng@dragon.nchu.edu.tw

摘要

本研究之目的在探討生長於亞熱帶亞高山地區臺灣雲杉(*Picea morrissonicola*)光合作用能力之季節變化，試驗於1998年11月至2001年5月間進行。結果顯示光合作用能力(光飽合淨光合速率， $Psat$)、葉綠素螢光(Fv/Fm)及可溶性蛋白質(SP)含量等在仲或暮春經夏秋至早冬期間均維持在較高之水準。其中 Fv/Fm 值大致與氣溫間呈曲線迴歸關係， Fv/Fm 開始降低或完全恢復之關鍵日均溫約在 $12^{\circ}C$ 左右。 $Psat$ 及SP之季節變化與 Fv/Fm 的變化趨勢大致相似，但入春後氣溫及 Fv/Fm 均已回升，但 $Psat$ 及SP含量仍暫處於較低之水準。複迴歸分析結果顯示 Fv/Fm 與SP含量共同影響了 $Psat$ 的季節變化，其迴歸方程式為： $Psat = -359.04 + 623.88 Fv/Fm + 22.21 SP$, ($R^2 = 0.788$, $P < 0.01$)。顯示臺灣雲杉在冬季 $Psat$ 降低及在春季回復之主因，為光抑制及葉片可溶性蛋白質含量之變化所致。而 $Psat$ 在春季回復遲緩之原因，為葉片可溶性蛋白質含量回升較慢使然。

關鍵詞：葉綠素螢光、針葉樹、光合作用能力、台灣雲杉、季節、可溶性蛋白質、亞高山、亞熱帶。

壹、前言

針葉樹種大多自然分布於地球上溫帶至亞極區之常綠林帶。然而，有趣的是，亞熱帶地區如臺灣的亞高山及高山亦有分布。已知在北半球約有40種針葉樹種的存

在，其中的一種為臺灣雲杉(*Picea morrissonicola*)則為臺灣特有種，分布於海拔2300-3000 m之高山上。

針葉樹之針葉常留存在枝條上經歷數年之久，因此它們需面對數次嚴寒之季節，且要維持光合作用能力，以便在氣溫回升時能正常運作。植物在冬季時之光合

作用受到抑制，常肇因於高光及低溫綜合效應，低溫使卡爾文循環之酵素活性降低而抑制了光合作用(Öquist *et al.*, 1987; Strand and Öquist, 1988)。而高光造成之光抑制之原因乃是低溫先降低了光合作用能力，使得光合系統吸收之能量傳遞受阻所致(Strand and Öquist, 1985; Öquist *et al.*, 1987; Strand and Öquist, 1988; Streb *et al.*, 1998)。光抑制可由葉綠素螢光之可變與最大量螢光比值(Fv/Fm)的降低來估算(Strand and Öquist, 1985; Bolhar-Nordenkamp *et al.*, 1988; Ottander *et al.*, 1995)。

許多報告指出，C3植物葉綠體中固定CO₂的主要酵素 RuBPC之活性隨季節而變化，且在夏季顯著高於冬季(Gezelius and Smith, 1985; Naidu and Swamy, 1995)。在數篇研究報告中之結果顯示，葉片中可溶性蛋白質之含量與RuBPC含量呈正相關(Friedrech and Haffaker, 1980; Bravdo and Pallas, 1982; Muthuchelian, 1992; Naidu and Swamy, 1995)。此外葉綠素含量亦在冬季(Ottander *et al.*, 1995)或低溫(Haldimann, 1998; Vogg *et al.*, 1998)或短日的條件下(Vogg *et al.*, 1998)減少。如此冬季光合作用能力降低的原因之一，為葉綠素含量的減少(Vogg *et al.*, 1998)。

多位學者曾在現場測定雲杉及松樹光合作用之季節變化(Ottander and Öquist, 1991; Ottander *et al.*, 1995; Schaberg *et al.*, 1995, 1998; Strand and Lundmark, 1995; Lundmark *et al.*, 1998; Vogg *et al.*, 1998)，這些結果指出光合作用能力之改變與季節氣溫的變化有密切關係。然而，這些研究均在溫帶及亞寒帶之低地完成。但是熱帶或亞熱帶高山地區之環境條件和高緯度之低地不同，其環境因子中溫度的日變化甚

於季節變化。從臺灣中央氣象局阿里山氣象站(23°31', 120°48', 2408 m)於1934-1997年間所記錄的資料觀之，最暖月之平均溫度為14.1°C，最冷月則為5.6°C，兩者之溫差僅8.5°C，呈現冬暖與夏涼之氣候，而高緯度之低地則有嚴寒之冬季。故熱帶或亞熱帶高山地區，植物光合作用能力之改變與高緯度之低地應有不同，為了探討氣候之變遷對臺灣亞高山地區針葉樹光合作用之影響，本研究選擇生長於臺灣高海拔的臺灣雲杉為材料，連續三年在不同季節進行測定。試驗分析包含了氣體交換、葉綠素螢光、葉綠素及可溶性蛋白質含量等。

貳、材料及方法

本試驗在塔塔加現場(23°29', 120°53', 2650 m)採取10年生臺灣雲杉之東南向1-2年生枝條為材料，測定其光合作用能力、葉綠素螢光、葉綠素及可溶性蛋白質含量，試驗自1998年11月開始進行，迄於2001年5月。

一、光合作用和葉綠素螢光之季節變化

供測定用枝條之採樣在早上6:30進行，自樹上採下後隨即置入水中再修剪一次使切口不離水，然後以鹵素燈(600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPF)照射至行光合測定為止。

光合作用能力以可攜帶式之開放氣體系統(LI-6400, LI-COR Inc., USA)，配合針葉測定箱(6400-05, LI-COR Inc., USA)在飽和照度(>1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPF)、自然氣溫、濕度及CO₂濃度之條件下進行。若光度低於1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 時，則以鹵素

燈光補助之。光合作用有效太陽輻射能是以輻射量計(LI-185A, LI-COR Inc., USA)測定。光合作用測定後接著以植物效率分析儀(PEA, Hansatech Ltd., Englan)測定在室溫下經暗處理之變動(F_v)及最大(F_m)葉綠素螢光，並計算其比值(F_v/F_m) (Blennow *et al.*, 1998)，測定時間為10:00-15:00，所有測定均重複4次。

二、葉綠素及可溶性蛋白質之測定

光合作用及葉綠素螢光測定之後，採取50 mg 之新鮮針葉樣本，置於低溫冰桶($<5^{\circ}\text{C}$)攜回實驗室，供葉綠素及可溶性蛋白質含量之測定。葉綠素係以80% 丙酮淬取後以分光光譜儀(U-2000, Hitachi, Japan)在645 及 663 nm波長測定之(Arnon, 1949)。可溶性蛋白質則以Lowry等(1951)之方法測定。氣象資料得自距本試驗地水平距離8 km之中央氣象局阿里山氣象站。

參、結果

一、光合作用和葉綠素螢光之季節變化

本研究發現，臺灣雲杉在飽和光度之光合作用能力(light saturated net photosynthesis rate, $Psat$) 和 F_v/F_m ，均在4月份或5月份至翌年元月份維持較高側值，但是在低溫季節值會降低，入春後又會回升，此經年變化在1年生或2年生針葉並無顯著差異(圖1)。為了解從冬季至春季，氣溫之變化對臺灣雲杉之 $Psat$ 及 F_v/F_m 之影響，圖2顯示自1998至2000連續三年從12月至次年4月間之日均溫、 F_v/F_m 及 $Psat$ 之變化，結果顯示 F_v/F_m 和氣溫間之變化非常密

切。而 F_v/F_m 與測定當日之日均溫間具有曲線相關，其相關係數(r)為0.849 ($P<0.01$)(圖3)。而 F_v/F_m 和測定前1-7日多日均溫(1-7日、1-6日……)間的相關係數為0.796至0.806 ($P<0.01$)。

依溫度對 $Psat$ 的影響來看，可發現大部份的 $Psat$ 和氣溫變化非常相近。可是，在1999年4月16日、2000年3月11日、2001年3月31日，儘管此時氣溫和 F_v/F_m 均已回升，但臺灣雲杉之 $Psat$ 仍低(圖2)。除了前面提及的日期之外，所觀測之資料均顯示 $Psat$ 和測定當日之平均溫度、測定前1-7日多日均溫之間存在著曲線關係 ($0.686<r<0.818$, $0.005<P<0.001$)。其中 $Psat$ 和測定前一天均溫之關係最密切(圖4)。

二、葉綠素及可溶性蛋白質含量之季節變化

在2年生之針葉，其可溶性蛋白質含量之季節變化和 $Psat$ 相近，但1年生之針葉則否，因其可溶性蛋白質含量偏低(圖1)。同時也發現在1999年4月16日及2000年3月11日，儘管此時氣溫均已回升，但臺灣雲杉2年生針葉之可溶性蛋白質含量仍低；2001年為暖冬(圖2)，此時其可溶性蛋白質含量直到2001年2月份還未降低，然而到了4月份則降低至1999年和2000年時冬季中期至早春之低水準(圖1)。

圖1亦顯示葉綠素含量在秋季至隆冬較高，而入春至初夏則降低，此一趨勢和 $Psat$ 與 F_v/F_m 兩者之間的相關性甚低。

肆、討論

曾有幾位研究者報導，生長於溫帶及亞寒帶之雲杉，在野外之情況下，其光合

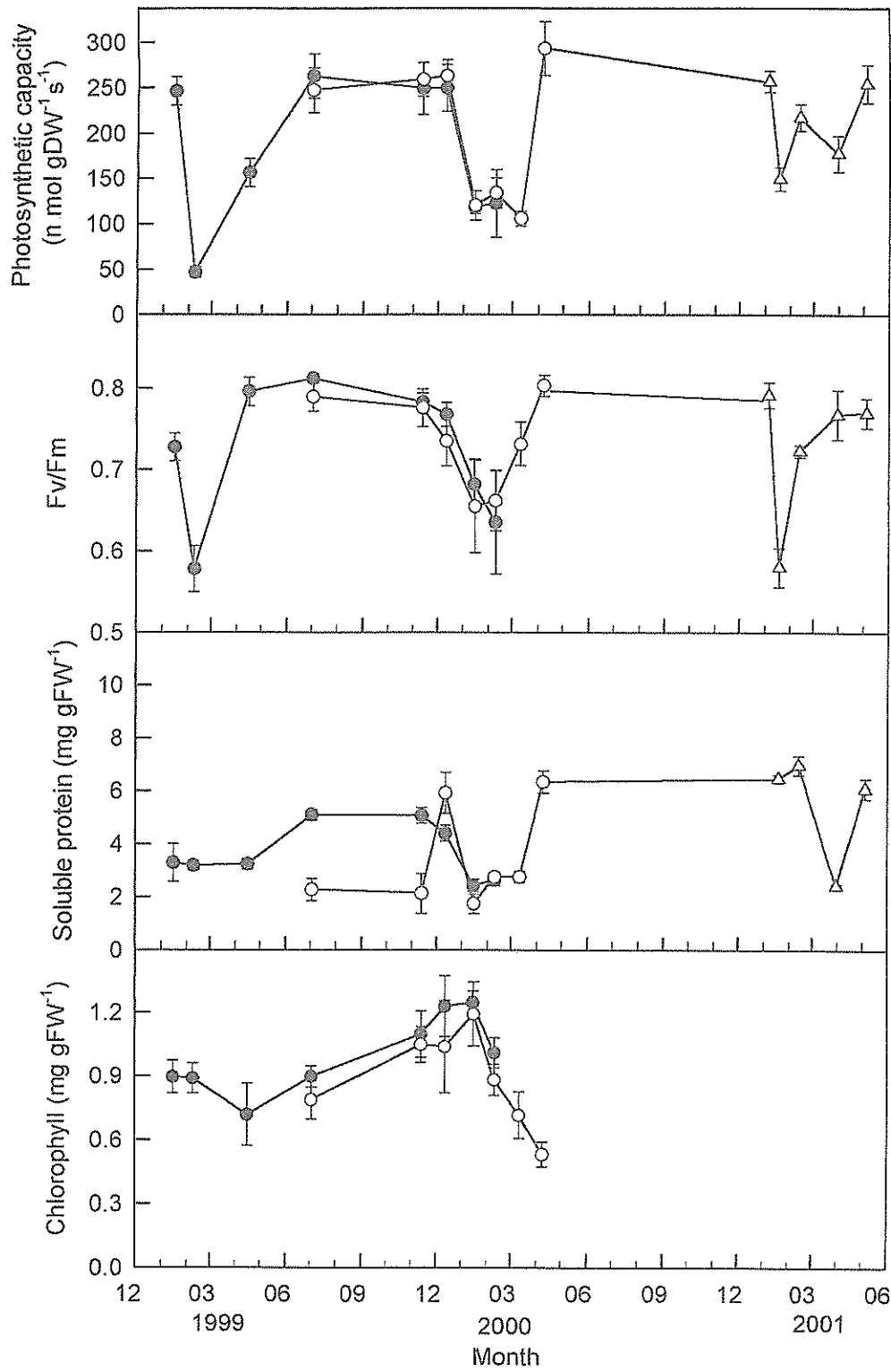


圖 1. 臺灣雲杉之光合作用能力、葉綠素螢光(Fv/Fm)、可溶性蛋白質及葉綠素含量的季節變化。●, ○ 及 △: 針葉分別萌長於1998, 1999 及 2000年。 I: se (n=3-4).

作用能力之季節變化和氣溫的季節變化相平行。光合作用能力及PSII的光化學效率(Fv/Fm)在入秋後受夜間降霜之影響而逐漸減低(Lundmark *et al.*, 1998; Schaberg *et al.*, 1998)。晚春之際，當日均氣溫回升至0°C以上時，挪威雲杉(*P. abies*)之Fv/Fm開始恢復，至12°C時則完全恢復(Lundmark *et al.*, 1998)。紅雲杉(*P. rubens*)光合作用之恢復亦具相同的趨勢(Schaberg *et al.*, 1998)。

本研究中發現臺灣雲杉在遭受低溫逆境之前，即由仲春或晚春至入冬初期仍維持在一較高之Psat和Fv/Fm水平(圖1及圖2)。Fv/Fm之變化隨氣溫變化的型態非常相近(圖2及圖3)，由此關係顯示Fv/Fm開始

降低或完全回升的日均溫約在12°C左右(圖3)。此一結果指出溫度為Fv/Fm完全恢復的關鍵與其他高緯度地區者完全相似。但開始引起Fv/Fm降低之溫度則較高緯度者為高(Lundmark *et al.*, 1998; Schaberg *et al.*, 1998)。

本研究結果雖然顯示大部分之Psat和氣溫的變化趨勢相近，然而在1999年4月16日、2000年3月11日，儘管此時氣溫和Fv/Fm均已回升，但臺灣雲杉之Psat仍低(圖2)。圖1亦顯示在2001年3月31日Psat有短暫降低之現象。曾有報告指出，受冬季抑制的蘇格蘭松之針葉在實驗室適宜的條件下，在數日內甚至數小時內完全恢復

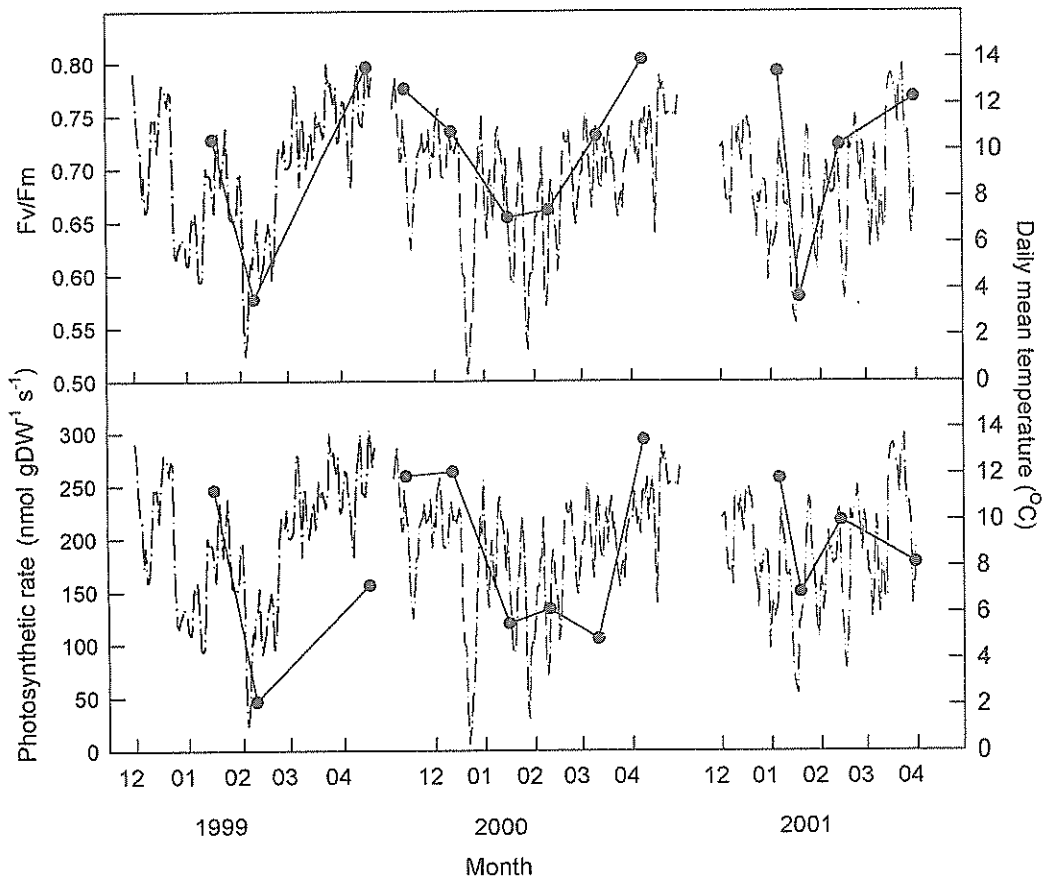


圖 2. 臺灣雲杉在冬季之光合作用能力(●)、葉綠素螢光(Fv/Fm, ●)及日平均氣溫之變化。

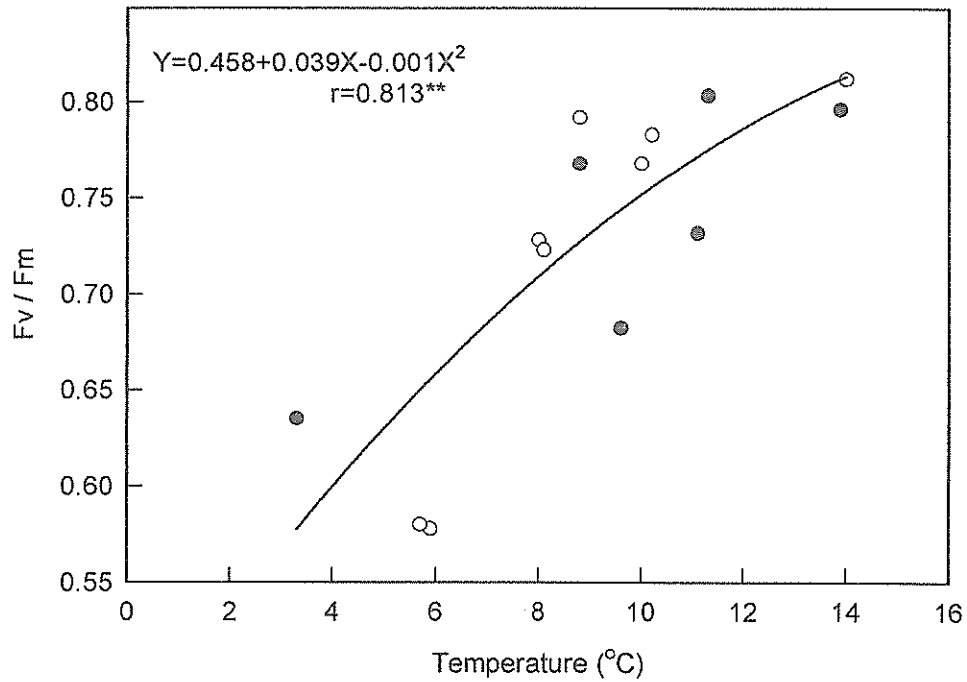


圖 3. 臺灣雲杉之葉綠素螢光(Fv/Fm)與測定當日平均氣溫間之關係，○：於溫暖及由暖至冷季測定者；●：葉綠素螢光回復時測定者。

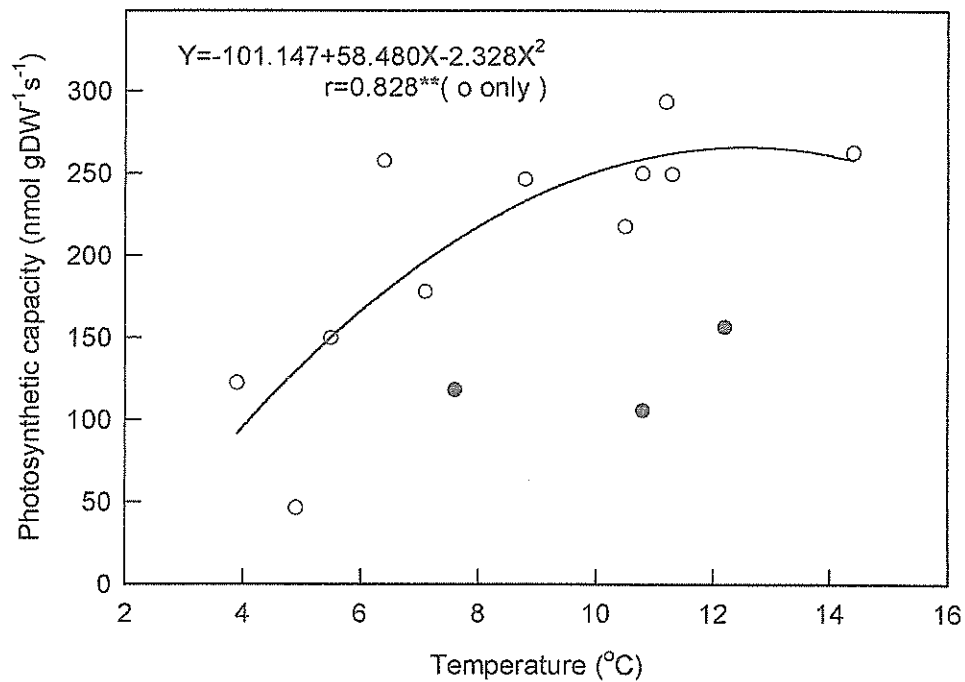


圖 4. 臺灣雲杉之光合作用能力與測定前一天平均氣溫間之關係，●：於1999年4月16日、2000年1月15日及3月11日所測定者；○：其餘日期所測定者。

(Lundmark *et al.*, 1988; Ottander *et al.*, 1995)。然而在自然條件下，光合作用能力要完全恢復則可能要耗時數月之久(Lundmark *et al.*, 1988; Ottander and Öquist, 1991; Wieser, 1997; Schaberg *et al.*, 1998)。Schaberg *et al.* (1998)指出受冬季抑制之紅雲杉可由溫度之誘導，在3小時即可回升其光合作用能力，但只能達到生長季節的37%而已。因此，即使將材料短時間置於接近理想的環境中，光合作用受到冬季抑制之情形仍明顯的存在(Schaberg *et al.*, 1998)。Ottander and Öquist(1991)亦指出受冬季逆境影響的蘇格蘭松，其PSII的光化學效率之回復不管是在實驗室或野外均較光合作用能力要來的快。

植物因冬季引起的光合作用之抑制包括某幾個生理機制，例如光抑制(Strand and Öquist, 1985; Öquist *et al.*, 1987; Strand and Öquist, 1988; Streb *et al.*, 1998)、氣孔開度(Schaberg *et al.*, 1995; Schaberg *et al.*, 1998)、葉綠體結構(Fincher and Alscher, 1992)、葉綠素(Ottander *et al.*, 1995; Vogg *et al.*, 1998)及可溶性蛋白質含量(Naidu and Swamy, 1995; Ottander *et al.*, 1995)和酵素活性(Gezelius and Hallen, 1980; Strand and Öquist, 1988; Naidu and Swamy, 1995)等。在冬季，缺水亦為另一限制因子 (Schaberg *et al.*, 1998)。

本研究所測定之枝條均在黎明時採取，且立即在水中修剪以避免枝條缺水造成光合作用之限制因子。圖1顯示，從1999年到2000年間2年生針葉之Psat的季節變化和可溶性蛋白質含量相當一致，在1999年4月16日及2000年3月11日甚至相輔相成。在上述日子，氣溫和Fv/Fm均已回升，但可溶性蛋白質含量仍處於低水平，此時Psat則

未完全回升。此外，亦發現在2001年時Psat亦受到可溶性蛋白質含量之影響，當時可溶性蛋白質含量受到暖冬之影響，直到2001年2月份還未降低，在2001年1月19日所測得之Fv/Fm已低於2000年所測得之值，然而其Psat並未如2000年冬天所測得者那樣低。此外，在2001年之3月份儘管Fv/Fm已接近完全恢復，但Psat仍隨可溶性蛋白質含之減少而降低。

葉片之可溶性蛋白質主要是由光合作用酵素所構成 (Friedrich and Haffaker, 1980)，且與C3植物葉綠體中固定CO₂的主要酵素 RuBPC間具正相關 (Bravdo and Pallas, 1982; Muthuchelian, 1992; Naidu and Swamy, 1995)。許多實例顯示，單葉之光合作用能力與可溶性蛋白質具正線性關係 (Patterson *et al.*, 1977; Bravdo and Pallas, 1982; Weng and Chen, 1987; Muthuchelian, 1992)。Ottander and Öquist (1991)斷定蘇格蘭松樹之PSII具較快速從光抑制回復之能力，而遜於從低溫抑制回復之能力，主要關鍵在於酵素之含量。圖1顯示Psat和可溶性蛋白質含量受冬季低溫逆境後之回復較Fv/Fm慢。由複迴歸分析結果，清楚的顯示了2年生針葉之Psat的季節變化同時受到Fv/Fm與可溶性蛋白質含量之影響($Psat = -359.04 + 623.88 Fv/Fm + 22.21 SP$, $R^2 = 0.788$, $P < 0.01$)，Fv/Fm和可溶性蛋白質含量對Psat的標準淨迴歸係數(standard partial regression coefficient)，部分相關係數分別為0.662 (57%)及0.498 (43%)，因此可溶性蛋白質含量對Psat的影響份量幾近於Fv/Fm。此外，實測之Psat和迴歸方程式估算之Psat ($Psat = -359.04 + 623.88 Fv/Fm + 22.21 SP$)間，亦具統計上之顯著相關性 ($r=0.887$, $n=14$, $P < 0.001$, 圖5)，此一結果可

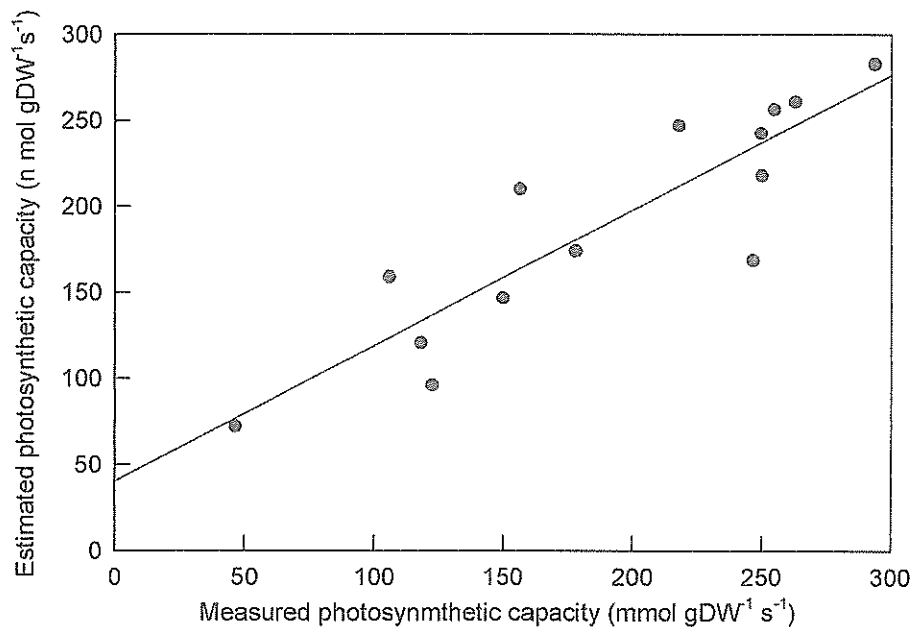


圖 5. 以複迴歸方程式($Y (Psat) = -359.04 + 623.88 Fv/Fm + 22.21 SP$)所估計之光合作用能力和實測光合作用能力之關係。

供推斷，在入春後，光合作用能力恢復延緩的原因之一為針葉之可溶性蛋白質含量恢復緩慢所致。且臺灣雲杉在不同季節之 $Psat$ ，可以由針葉之 Fv/Fm 值和可溶性蛋白質含量來估算。

Gazelles and Helen (1980)的報告指出，*Pinus silvestris* 之可溶性蛋白質含量在4月份降低然後在7月份回升，此時之 $RuBPC$ 活性亦高，暗示了蛋白質(包括羧化酵素)為新生幼枝之主要氮源。圖1及圖2顯示2001年之1-2月份為暖冬，因此可溶性蛋白質含量並未受低溫之影響而降低，然而在同年3月31日氣溫雖未下降，但可溶性蛋白質含量和 $Psat$ 卻降低。同樣的情況亦發生在另外兩種針葉樹臺灣二葉松(*Pinus taiwanensis*) 和 臺灣鐵杉 (*Tsuga chinensis*)(未發表資料)，此結果顯示可溶性蛋白質供為新生幼枝之氮源。

葉綠素亦為影響光合作用能力之主因，大多數的報告指出葉綠素含量會在低

溫或短日情況下降低(Ottander *et al.*, 1995; Vogg *et al.*, 1998)，雖然圖1顯示臺灣雲杉之葉綠素含量在夏季較高而在冬季較低，然而其和 $Psat$ 間之關係並未如 $Psat$ 和 Fv/Fm 間之關係強，亦弱於 $Psat$ 和可溶性蛋白質含量間之關係。

從以上結果我們得到以下之結論：臺灣雲杉之光合作用能力，在冬季降低而在春季回復之主要原因，為光抑制(Fv/Fm 值降低)及葉片可溶性蛋白質含量變化所致。

伍、參考文獻

- Amon, D.J. 1949. Copper enzyme in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol.* 24: 1-15.
- Blennow, K., A.R.G. Lang, P. Dunne and M.C. Ball. 1998. Cold-induced photoinhibition and growth of seedling snow gum (*Eucalyptus pauciflora*)

- under differing temperature and radiation regimes in fragmented forests. *Plant Cell Environ.* 21:407-416.
- Bolhar-Nordenkamp, H.R. and E.G. Lechner. 1988. Temperature and light dependent modifications of chlorophyll fluorescence kinetics in spruce needles during winter. *Photosyn. Res.* 18:287-298.
- Bravdo, B. and J.E. Pallas. 1982. Photosynthesis, photorespiration and RuBP carboxylase/oxygenase activity in selected peanut genotypes. *Photosynthetica* 16:36-42.
- Fincher, J. and R.G. Alscher. 1992. The effect of long-term ozone exposure on injury in seedlings of red spruce (*Picea rubens* Sarg.). *New Phytol.* 120:49-59.
- Friedrech, J.W. and R.C. Haffaker. 1980. Photosynthesis, leaf resistances, and ribulose-1,5-biphosphate carboxylase degradation in senescing barley leaves. *Plant Physiol.* 65:1103-1107.
- Gezelius, K. and M. Hallen. 1980. Seasonal variation in ribulose bisphosphate activity in *Pinus sylvestris*. *Physiol. Plant.* 48:88-98.
- Haldimann, P. 1998. Low growth temperature-induced changes to pigment composition and photosynthesis in *Zea mays* genotypes differing in chilling sensitivity. *Plant Cell Environ.* 21:200-208.
- Lowry, O.H., N.J. Rosenbrough, A.L. Farr and R.J. Randall. 1951. Protein measurement with folin reagent. *J. Biol. Chem.* 193:265-275.
- Lundmark, T., J.E. Hallgren and J. Haden. 1988. Recovery from winter depression of photosynthesis in pine and spruce. *Trees* 2:110-114.
- Lundmark, T., J. Burgh, M. Strand and A. Koppel. 1998. Seasonal variation of maximum photochemical efficiency in boreal Norway spruce stands. *Trees* 13:63-67.
- Muthuchelian, K. 1992. Biomass productivity relative to net photosynthetic rate, ribulose-1,5-biophosphate carboxylase activity, soluble protein and nitrogen contents in ten tree species. *Photosynthetica* 26:333-339.
- Naidu, C.V. and P.M. Swamy. 1995. Seasonal variation in ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase activity and its relationship with leaf protein content and net photosynthetic rate in tropical deciduous tree species. *Photosynthetica* 31:85-90.
- Öquist, G. 1986. Effect of winter stress on chlorophyll organization and function in Scots pine. *J. Plant Physiol.* 120:169-179.
- Öquist, G. and M. Strand. 1986. Effects of frost hardening on photosynthetic quantum yield, chlorophyll organization, and energy distribution between the two photo systems in Scots pine. *Can. J. Bot.* 64: 748-753.
- Öquist, G., D.H. Greer and E. Ogreen. 1987. Light stress at low temperature. p. 67-87. In: *Topics in Photosynthesis*. Vol. 9.

- Eds. Kyle, D.J., C.B. Ormond and C.J. Anthem. Leerier Amsterdam.
- Ottander, C. and G. Öquist. 1991. Recovery of photosynthesis in winter-stressed Scots pine. *Plant cell Environ.* 14:345-349.
- Ottander, C., D. Campbell and G. Öquist. 1995. Seasonal changes in photosystem II organization and pigment composition in *Pinus sylvestris*. *Plantar* 197: 176-183.
- Patterson, D. T., J.A. Bounce, R.S. Alberta and E.V. Oldenburg. 1977. Photosynthesis in relation to leaf characteristics of cotton from controlled and field environments. *Plant Physiol.* 59:384-387.
- Schaberg, P.G., R.C. Wilkinson, J.B. Shane, J.R. Donnelly and P.F. Cal. 1995. Winter photosynthesis of red spruce from three Vermont seed sources. *Tree Physiol.* 15: 345-350.
- Schaberg, P.G., J.B. Shane, P.F. Cal, J.R. Donnelly, and G.R. Strobes. 1998. Photosynthetic capacity of red spruce during winter. *Tree Physiol.* 18: 271-276.
- Strand, M. and G. Quits. 1985. Inhibition of photosynthesis by freezing temperature and high light levels in cold-acclimated seedlings of Scots pine (*Pinus sylvestris*). II Effects on chlorophyll fluorescence at room temperature and 77K. *Physiol. Plant.* 65:117-123.
- Strand, M. and G. Quits. 1988. Effects of frost hardening, deadening and freezing stress on in vivo chlorophyll fluorescence of Scots pine seedlings (*Pinus sylvestris* L.). *Plant Cell Environ.* 11:231-238.
- Strand, M. and T. Lundmark. 1995. Recovery of photosynthesis in 1-year-old needles of unfertilized and fertilized Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karts.) during spring. *Tree Physiol.* 15:151-158.
- Streb, P., W. Shan, J. Federated and R. Bilgy. 1998. Divergent strategies of photo protection in high-mountain plants. *Planta* 207:313-324.
- Vogg, G., R. Heim, J. Hansen, C. Schafer and E. Beck. 1998. Frost hardening and photosynthetic performance of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles. I. Seasonal changes in the photosynthetic apparatus and its function. *Planta* 204: 193-200.
- Weng, J.H. and C.Y. Chen. 1987. Differences between India and Japonica rice varieties in CO₂ exchange rates in response to leaf nitrogen and temperature. *Photosynth. Res.* 14: 171-178.
- Wiser, G. 1997. Carbon dioxide gas exchange of cumbrance pine (*Pinus cembra*) at the alpine timberline during winter. *Tree Physiol.* 17:473-477.

Seasonal Variation in Photosynthesis of *Picea morrisonicola* Grown at Tatachia area of Taiwan

Jen- Hsien Weng¹, Tien-Szu Liao², Kuo-Hu Sun¹, Chi-Ch Chung¹,
Chung-Ping Lin¹ and Chung-Hei Hsu¹

¹ Department of Life Science / ² Department of Forestry,
National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan (ROC)

E-mail: jhweng@dragon.nchu.edu.tw

Abstract

The purpose of this study is to investigate seasonal variation in photosynthesis capacity of Taiwan spruce (*Picea morrisonicola*) grown in sub-alpine region (Tatachia area, 23°29', 120°53', 2650 m) of Taiwan. Experiments were conducted from November 1998 to May 2001 to cover several different growing seasons. It was observed that the photosynthesis capacity (light saturated net photosynthetic rate, P_{sat}), chlorophyll fluorescence (F_v/F_m) and soluble protein (SP) content of needles maintained in higher levels during the period from mid or late spring to early winter. A curvilinear relationship was detected between F_v/F_m and multi-day mean temperature. Among these independent variables, the mean temperature of the measuring days showed the highest correlation to the F_v/F_m . The switching point for F_v/F_m activities, either start to decrease or begin to make full recovery, was found at about 12°C air temperature. The seasonal variations of P_{sat} and soluble protein content of needles were similar to that of the F_v/F_m . However, at early or mid spring, P_{sat} and soluble protein content were still kept in a lower level, whereas the air temperature and F_v/F_m levels had already risen. By applying multiple regression analysis, it was shown that both F_v/F_m and soluble protein content of needles affected the seasonal variation of P_{sat} : $P_{sat} = -359.04 + 623.88 F_v/F_m + 22.21 SP$, ($R^2 = 0.788$, $P < 0.01$). Results suggest that the decrease in photosynthesis capacity for Taiwan spruce in winter and its recovery in the spring may due to the photoinhibition and soluble protein content in needles. The other possible reason of the delay in the recovery for photosynthesis capacity in spring may due to the late recovery of soluble protein contents in needles.

Key words: Chlorophyll fluorescence, Conifer tree, Photosynthetic capacity, Taiwan spruce, season, Soluble protein, Sub-alpine, Subtropical.