

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

計畫名稱：鳴子百合葉片淨光合成速率特性及根莖低溫需求模式

計畫編號：NSC 91-2313-B-002-362

執行期間：91年8月1日至92年7月31日

主持人：葉德銘 國立台灣大學園藝學系

一、摘要

鳴子百合為百合科宿根植物，葉形優美，在台灣屬切葉生產。本研究主要目的為探討光度、二氧化碳及溫度對鳴子百合葉片淨光合成速率之影響，並建立根莖萌芽之低溫需求資料，及根莖萌芽與地上部生長之度積值模式，以提供產期調節參考。當二氧化碳濃度為350 ppm時，葉片淨光合成速率在光度 $350 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以上達飽和。溫度13-25°C時，葉片淨光合成速率隨溫度增加而遞增；溫度25-38°C時，葉片淨光合成速率隨溫度增加而下降。鳴子百合根莖萌芽及地上部伸長之低溫需求，以迴歸推測-1.5-15°C具有促進萌芽之效果，而以2°C處理59天效果最好，移出種植於15-20°C下8天後可萌芽。由溫度與貯藏天數所建立根莖萌芽速率與低溫累積之度積值成直線相關($P < 0.001$)，可供產期調節參考。

關鍵字：根莖、淨光合成速率、低溫需求
Key words: rhizome, net photosynthetic rate, chilling requirement

Abstract

Polygonatum odoratum 'Variegatum', commonly known as Solomon's Seal, is a liliaceae perennial plant and is produced as cut leaves in Taiwan. The influences of irradiance, CO₂ concentration, and air temperature were studied on leaf net photosynthetic rate of *Polygonatum odoratum*. At 350 ppm CO₂ concentration, leaf net photosynthetic rate was saturated at

irradiance above $350 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ photosynthetically active radiation (PAR). Leaf net photosynthetic rate increased as temperature increased from 13 to 25°C and declined with increasing temperature from 25 to 38°C. The low temperatures for the sprouting and elongation of the shoot range from -1.5 to 5°C, while chilling at 2°C for 59 days of storage resulted in earliest sprouting in 8 days, when transferred to 15-20°C. A significant linear correlation ($P < 0.001$) between the rate of sprouting which was determined by both the temperature and storage time and the thermal time of cold treatment was observed, and could be used for the off-season crop production.

二、緣由與目的

鳴子百合 (*Polygonatum odoratum* 'Variegatum', Variegated Solomon's Seal) 為百合科宿根植物，原生於日本、中國大陸 (Jeffrey, 1979; 1982) 及韓國 (Tamura, 1990) 等。鳴子百合栽培初期以 28°C 促進地上部伸長及下一季植株葉斑之形成，待地上部完全展開後，降低溫度為 18°C 以利於新根莖之生長 (Yeh et al., 2000)。但關於溫度對鳴子百合淨光合成速率影響之相關資料闕如，因此首先探討鳴子百合葉片淨光合成速率之特性。

鳴子百合葉形優美，在台灣屬切葉生

產，供插花配材。埔里、信義鄉、東勢鄉及魚池鄉栽培業者由日本進口經低溫處理之根莖，每年約 3000 箱，由於貨源難預訂且多集中在 11 月以後進口，根莖品質影響切葉採收率，並且產期易集中(李,1993)，影響切葉價格。鳴子百合於本省中海拔栽培可採宿根栽培，利用冬天自然低溫來滿足根莖萌芽之低溫需求，當氣溫於 3 月開始回升時，根莖於 3 至 4 月期間開始陸續萌芽，切葉主要產期為 5-7 月，10 月中旬後地上部枯萎，此時根莖未遭遇低溫，因此無法供應低海拔栽培業者根莖所需。

球根花卉如台灣百合，低溫處理可迅速促使簇生苗抽莖，提早開花(鄭和許,1984)，然而貯藏溫度及處理時間長短會影響百合鱗莖萌芽與抽莖，如鐵砲百合(Wang and Roberts,1970)；亞洲型百合(阮,1986)。此外低溫處理對百合抽莖後生長亦有影響(梁等人,1983)。由於鳴子百合根莖萌芽之低溫需求相關文獻闕如，因此本研究探討溫度與處理時間對鳴子百合根莖與地上部生長之影響，期建立根莖萌芽之低溫需求資料。

溫度與處理時間可供建立度積值(thermal time)模式，可應用於球根花卉之生長、發育與開花，如球根鳶尾之葉片形成(Elphinstone et al.,1988)與花芽創始(Elphinstone et al.,1990)等，本研究亦嘗試建立鳴子百合根莖萌芽與地上部生長之度積值模式，可供產期調節參考。並探討鳴子百合葉片淨光合成速率及低溫促成栽培方式，以期對鳴子百合根莖萌芽及地上部伸長之低溫需求試驗有所助益，以供栽培參考。

三、材料與方法

參與試驗之鳴子百合(*Polygonatum odoratum* 'Variegatum') 根莖採自栽培於

南投縣海拔 2100 公尺國立台灣大學農學院附設山地實驗農場之梅峰。試驗場地分別於(1)台大山地台大山地實驗農場，自然光照之簡易遮雨棚內進行，屋頂為 PC 塑膠膜。(2)台大農學院自然日照之人工氣候玻璃溫室。

試驗皆栽植於黑色塑膠盆(41 x 21 x 12 cm)內，介質皆採用由泥炭苔、珍珠石與蛭石依體積比 1:1:1 混合均勻種植，每週施用全量 Johnson's solution 一次，採完全濕透並流出 30% 為原則，每盆約施用 1500 mL，澆水視介質乾燥程度而定，另外於每月充分淋洗一次，以避免鹽分累積。人工氣候室之試驗，於種植前根莖先行以億力(Benlate)殺菌劑稀釋 1000 倍，浸泡半天，陰乾後種植，種植期間噴藥以防紅蜘蛛及蚜蟲。進行之試驗及方法如下：

(一).不同位置葉片之淨光合成速率比較

待鳴子百合地上部完全展開後，測量不同部位葉片之淨光合成速率。將受測部位葉溫維持在 23-27°C，蒸氣壓差保持在 1KPa 以內、CO₂ 濃度為 350ppm、光度為 350 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，葉槽內光度則利用 LI-6400 光合作用測定儀附加之可拆卸式人工光源(6400-02 LED light source)調控。

(二).環境因子對鳴子百合葉片淨光合成速率之影響

1.光度

將受測部位葉溫維持在 23-27°C，蒸氣壓差保持在 1KPa 以內、CO₂ 濃度為 350ppm、光度由 600 降至 0 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，葉槽內光度則利用 LED light source 調控。於 600 至 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 之間每次變化 40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，而 200 至 0 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 之間每次變化 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，並使恆溫箱與葉槽內光度相近。每次光度變化之後平衡 20 分鐘並開始記錄光合作用數值。

2.溫度

利用 LI-610 露點發生器連接 LI-6400

以控制蒸氣壓差在 1KPa 以內，測定部位光度由 LED Light Source 提供光度 $500 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，另外恆溫箱光度提供為 $500 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。CO₂ 濃度為 350ppm，溫度控制是以恆溫箱內氣溫影響葉溫，由 18°C 遞增至 44°C，每次溫度變化約 2°C。而於每一次溫度調整後，溫度穩定後開始平衡 30 分鐘，待光合作用數值穩定後記錄該值。

(三).恆溫對鳴子百合根莖萌芽及地上部伸長之影響

於 7 月中旬至 9 月中旬，約每 2 週採收鳴子百合根莖一次，此根莖為二年生，長約 12-14 公分，採收後埋於介質中，保持濕潤，並以密封袋密封以防失水，置於生長室及生長箱暗貯藏。每處理 12 根莖。生長箱溫度設定分別為 1、2 及 3°C，分別皆處理 24、36、43、59 及 72 天，而生長室溫度設定為 5、10、15 及 20°C，分別皆處理 21、35、52、63 及 77 天，生長箱及生長室溫度分別以氣象資料記錄儀記錄。並嘗試將根莖萌芽速率與處理之平均溫度作直線迴歸，且將根莖萌芽後地上部能順利伸長之根莖萌芽速率，乘以處理天數，並計算度積值，將根莖萌芽速率與度積值關係作直線迴歸分析。

(四).田間之鳴子百合根莖萌芽試驗

試驗之鳴子百合種植於梅峰，地上部約於 11 月 1 日枯萎，並每隔 7 天採收根莖，此根莖為二年生，長約 12-14 公分，每次採收根莖 10 個，並以氣象資料記錄儀記錄田間溫度，於 11 月 1 日開始計算田間每日之平均溫度，並累積其度積值，Tb 值由試驗三所得。

上述二試驗中，經低溫處理之根莖種植於日/夜溫 20/15°C 之人工氣候玻璃溫室，種植深度約為表土下 5 公分，每 2 天記錄根莖萌芽情形，待芽突破表土 1 公分視為萌芽，並紀錄植株生長情形。

(五).測量方法如下：

1.葉片之淨光合成速率測定

葉片之淨光合成速率皆以 LI-6400 可攜式光合作用測定儀 (LI-6400 portable photosynthesis system, LI-COR Inc., Nebraska) 進行測定，依其配件組合可個別控制光度及葉溫等環境因子，另可接上 CO₂ injector 後設定不同濃度二氧化碳 ($0-2000 \mu \text{mol mol}^{-1}$) 以進行試驗。葉槽光度控制上利用附加之可拆卸式人工光源 (6400-02 LED light source) 提供 $0-600 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 光度，其波長為單一波長 670nm。蒸氣壓差之控制以 LI-610 露點產生器 (dewpoint generator, LI-COR Inc., Nebraska) 進行。此外葉片之淨光合成速率測定在恆溫箱內進行，恆溫箱光源以五盞 1000W 之複金屬水銀燈 (旭光 HMF 1000 LJBU) 提供，並配合百吉牌黑色之遮陰網，控制不同光度，試驗溫度以恆溫箱內冷氣機控制，另外於恆溫箱上方裝填一層約 8 公分之水層，藉以減少熱能。

2.氣象資料之記錄

以英國 Grant Instruments (Cambridge) 公司之氣象記錄儀，配合光度感應器 LI-200SZ Pyranometer Sensor、溫度感應器，置於植株旁記錄實驗時之氣象資料，每半小時記錄一次。

3.統計分析

試驗設計採用採完全逢機試驗設計 (Completely Randomized Design, CRD)，以鄧肯氏多變域分析 (Duncan's Multiple Range Test) 分析實驗之各處理間 $P=5\%$ 有無差異顯著。

四、結果與討論

待鳴子百合地上部完全展開後，測量不同部位葉片之淨光合成速率，由結果可知不同部位葉片之淨光合成速率並無明顯

差異(表1),因此每次選由下而上第六片葉測量植株淨光合成速率。

鳴子百合植株給予控制之環境,將受測部位葉溫維持在 23-27°C,蒸氣壓差保持在 1KPa 以內、CO₂ 濃度為 350ppm、並給予光度 0-600 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 之變化,植株葉片淨光合成速率隨光度變化呈現一光反應曲線(圖1),與百合水仙(Leonardons et al.,1994)、百合(Sorrentino et al.,1997)及鐵砲百合(Berghage et al.,1990)等相似,由光反應曲線,推測鳴子百合為 C₃ 型植物。此外鳴子百合葉片淨光合成速率隨光度增加,並在光度 350 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以上呈現飽和,在光度 20 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 達光補償點,顯示鳴子百合為陰性植物,需光性較低。

光度控制為 500 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、蒸氣壓差保持在 1KPa 以內、CO₂ 濃度為 350 ppm,當溫度為 13-25°C 時,鳴子百合植株葉片之淨光合成速率,隨溫度上升呈現遞增趨勢,而當溫度為 25-38°C,葉片之淨光合成速率呈現下降趨勢,葉片淨光合成速率隨溫度變化呈現一反應曲線(圖2),與百合水仙(Leonardons et al.,1994)等相似,而鳴子百合植株葉片淨光合成速率溫度反應曲線,與許多生長於寒冷地區之高等植株或給予低溫處理者之溫度反應曲線相似(Berry and Bjorkman, 1980),鳴子百合葉片淨光合成速率最適溫度為 23-25°C,與鳴子百合植株生長最適溫度相同(Yeh et al.,2000)。

鳴子百合葉片淨光合成速率隨二氧化碳濃度增加呈現遞增(圖3),當二氧化碳濃度達 650ppm 時達飽和,且葉片淨光合成速率也較二氧化碳 350ppm 時高,相似情形可見於百合水仙(Leonardons et al.,1994)。當提高環境中二氧化碳濃度,可以降低植株氣孔傳導度和蒸散作用,並

增加對水分利用效率,同時可促進植株之淨光成速率提升及光使用效率(Drake and Miquel, 1997; Hirose et al., 1997),此外提昇二氧化碳濃度之利益,在許多園藝作物已被證明(Enoch, 1990; Mortensen, 1987),像百合水仙可提高花莖產量(Van Labeke and Dambre, 1998),因此鳴子百合或許可藉由提高大氣中二氧化碳濃度,來提高植株葉片淨光成速率,進而提升產量。

鳴子百合根莖以溫度為 0.8-5.5°C,貯藏 24-72 天其根莖萌芽率皆可達 100%。而貯藏溫度為 10°C 時,貯藏天數需達 77 天根莖萌芽率才可達 100%,貯藏 21 天之根莖萌芽率僅為 67%,此結果與前人研究所指低溫處理時間長短會影響鐵砲百合鱗莖萌芽(Wang and Roberts,1970)相似,可見 10°C 對促進鳴子百合根莖萌芽效率相對低於 0.8-5.5°C。當貯藏溫度高於 15°C 時,不論貯藏天數為何,根莖萌芽率皆無法達 100%,結果顯示低溫 0.8-10°C 處理可促進鳴子百合根莖萌芽(表2)。

鳴子百合當溫度為 0.8-5.5°C 貯藏 21-72 天,根莖萌芽後並無消蕾情形出現。10°C 僅於貯藏 21 天時,根莖萌芽後出現 50% 之消蕾率,而 15 及 20°C 貯藏者皆有消蕾情形出現,且以 20°C 貯藏者其消蕾率明顯高於 15°C,結果顯示當根莖低溫處理不足時,易造成根莖萌芽率低,或即使根莖萌芽仍會呈現消蕾情形,可見根莖萌芽確實要有低溫需求(表2)。

當溫度為 0.8-10°C 貯藏 21-72 天,鳴子百合根莖萌芽後,地上部皆可順利伸長,無簇生化情況出現,但當貯藏溫度為 15 及 20°C 時,有些根莖即使會萌芽,且不呈現消蕾情形,但地上部仍會形成簇生化而不抽長,長度小於 5 公分(表2),此結果與低溫可有效促進百合抽莖(鄭和許,1984; 阮,1986)相似。

貯藏溫度為0.8-10°C，貯藏天數為21-77天時，鳴子百合根莖萌芽所需天數，均隨貯藏天數增加而遞減。以2°C處理59天效果最好，移出種植於15-20°C下8天後可萌芽(表2)，與低溫處理可提早鐵砲百合植株生長(梁等人,1983)相似。綜合上述結果，鳴子百合根莖之低溫需求結果與百合(Wang and Roberts,1970)、鬱金香(Moe and Wickström,1973;1979;Rees,1969)及台灣一葉蘭(滕,1985)之預冷處理相似，即當低溫不足時，會造成植株無法萌芽、萌芽後消蕾或無法順利伸長等情形發生。

以根莖萌芽速率與貯藏平均溫度迴歸推測：三基點分別為 $T_b=-0.5^{\circ}\text{C}$ ， $T_o=2^{\circ}\text{C}$ 及 $T_m=15^{\circ}\text{C}$ (圖4)，溫度與處理時間建立之度積值(thermal time)模式，可應用於植物生長、發育與開花，如胡蘿蔔(Atherton et al.,1990)及瓜葉菊(Yeh and Atherton,1997)之幼年期、球根鳶尾之葉片形成(Elphinstone et al.,1988)與花芽創始(Elphinstone et al.,1990)、胡蘿蔔(Atherton et al.,1990)及瓜葉菊(Yeh et al.,1997)之春化作用等，但對於根莖萌芽之低溫需求則未有相關度積值報告，而鳴子百合根莖萌芽速率與貯藏平均溫度可成直線迴歸，此結果與 Atherton 等人(1990)及 Craigon 等人(1990)所提出之度積值模式符合，由根莖萌芽速率與貯藏平均溫度迴歸可知：在0.8至2°C之間，根莖萌芽速率與溫度成正直線相關($P<0.01$)，根莖萌芽速率隨溫度增加而遞加，而2至15°C之間，根莖萌芽速率與溫度呈負直線相關($P<0.01$)，根莖萌芽速率隨溫度增加而遞減，可知各溫度對鳴子百合根莖萌芽之相對效率，其中以2°C最好。

由溫度與貯藏天數所建立根莖萌芽速率與低溫累積之度積值成直線相關($P<0.001$)，將田間之度積值及根莖萌芽速

率套用於此直線相關(圖5)，田間數據分佈於直線附近，證明此直線迴歸可用於預測鳴子百合根莖之萌芽，可供產期調節參考。

若要取代業者11月由日本進口之根莖，則可利用貯藏技術。由實驗得知-1.5-15°C具有促進鳴子百合根莖萌芽及地上部伸長之效果，可於11月採收鳴子百合根莖，利用冷藏庫貯藏再移出於平地種植，並可藉由溫度與貯藏天數所建立根莖萌芽速率與低溫累積之度積值迴歸所成之直線，來預測產期，例如貯藏溫度為2°C時，35天後當度積值累積至120時，相對其萌芽率為0.07，即是移出於20°C環境下14天鳴子百合根莖即可萌芽。由前面試驗得知鳴子百合生長適溫為20-25°C，若配合冷藏庫貯藏，滿足其根莖之低溫需求，即可達成栽培，此方式與百合及鬱金香(Rees,1992)利用冷藏之促成栽培相似。

參考文獻

- 李育尚. 1993. 本省切葉、切枝市場及生產概況介紹. In:陳榮五、周明燕編. 觀葉植物產業及生產技術研討會專刊. 台灣省台南區農業改良場. 60pp.
- 阮明淑. 1986. 亞洲型百合種球型態觀察及其花期調節. 國立台灣大學園藝學研究所碩士論文. p65.
- 梁貴柱、李晔、康有德. 1983. 溫度對鐵砲百合“Georgia”小鱗莖生長之影響. 中國園藝 29:112-119.
- 滕蕙蘭、李晔、蔡牧起. 1985. 球莖熟度、貯溫與貯期對台灣一葉蘭開花與碳水化合物含量之影響. 中國園藝 31:174-187.
- 鄭免、許圳塗. 1984. 苗期溫度、低溫及光週處理對台灣百合抽莖及開花的影響. 中國園藝 30:50-58.
- Atherton, J. G., J. Craigon and E. A. Basher. 1990. Flowering and bolting in carrot. I. Juvenility, cardinal temperatures and thermal times for vernalization. J. Hort. Sci. 65:423-429.
- Berghage, R. D., J. A. Flore, R. D. Heins and J. E. Erwin. 1990. The relationship between day and night temperature influences photosynthesis but not light compensation point or flower longevity of easter lily, *Lilium Longiflorum* Thunb. Acta Hort. 272:
- Berry, J. and O. Bjorkman. 1980. Photosynthetic

- response and adaptation to temperature in higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 31:491-543.
- Craigon, J., J. G. Atherton and E. A. Basher. 1990. Flowering and bolting in carrot. II. Prediction in growth room, glasshouse and field environments. *J. Hort. Sci.* 65:547-554.
- Drake, B. G. and A. G. Miquel. 1997. More efficient plants: a consequence of rising atmospheric CO₂?. *Annu. Rev. Plant. Physiol. Plant. Mol. Biol.* 48:609-639.
- Elphinstone, E. D., A. R. Rees and J. G. Atherton. 1988. Temperature and development in *Iris x hollandica* during preplanting storage. I. Leaf initiation. *J. Hort. Sci.* 63:287-294.
- Elphinstone, E. D., A. R. Rees and J. G. Atherton. 1990. Temperature and development in *Iris x hollandica* during pre-planting storage. II. Floral initiation. *J. Hort. Sci.* 65:185-192.
- Hirose, T. et al. 1997. CO₂ elevation, canopy photosynthesis, and optimal leaf area index. *Ecology* 78:2339-2350.
- Jeffrey, C. 1979. The genus *Polygonatum* (Liliaceae) in Eastern Asia. *Kew Bull* 34:435-471.
- Jeffrey, C. 1982. Further note on Eastern Asia *Polygonatum* (Liliaceae). *Kew Bull* 37:335-339.
- Leonardons, E. D., M. J. Tsujita and B. Grodzinski. 1994. Net carbon dioxide exchange rates and predicted growth patterns in *Alstroemeria* 'Jacqueline' at varying irradiances, carbon dioxide concentrations, and air temperatures. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 119:1265-1275.
- Moe, R. and A. Wickstr ϕ m. 1973. The effect of storage temperature on shoot growth, flowering, and carbohydrate metabolism in tulip bulbs. *Physiol. Plant.* 28: 81-87.
- Moe, R. and A. Wickstr ϕ m. 1979. Effect of precooling at 5 or -1°C on shoot growth, flowering and carbohydrate metabolism in tulip bulbs. *Scientia Hort.* 10:187-201.
- Mortensen, L. M. 1987. Review: CO₂ enrichment in greenhouses. *Crop responses. Sci. Hortic.* 33:1-25.
- Rees, A. R. 1966. Dry-matter production by field-grown tulips. *J. Hort. Sci.* 41:19-30.
- Rees, A. R. 1972. The storage of bulbs. In: *The Growth of Bulbs.* Academic Press. London. p116-146.
- Rees, A. R. 1992. Ornamental Bulbs, Corms and Tubers. C.A.B. international. U.K. p149-158.
- Sorrentino, G., L. Cerio., and A. Alvino. 1997. Effect of shading and air temperature on leaf photosynthesis, fluorescence and growth in lily plants. *Sci. Hort.* 69:259-273.
- Slack, G. and D. W. Hand. 1983. The effect of day and night temperatures on the growth, development and yield of glasshouse cucumbers. *J. Hort. Sci.* 58:567-573.
- Tamura, M. N. 1990. Biosystematic studies on the genus *Polygonatum* (Liliaceae) I. Karyotype analysis of species indigenous to Japan and its adjacent regions. *Cytologia* 55:443-466.
- Van Labeke, M. and P. Dambre. 1998. Effect of supplementary lighting and CO₂ enrichment on yield and flower stem quality of *Alstroemeria* cultivars. *Sci. Hort.* 74:269-278.
- Wang, S. Y. and A. N. Roberts. 1970. Physiology of dormancy in *Lilium longiflorum* 'Ace', Thunb. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 95:554-558.
- Yeh, D. M. and J. G. Atherton. 1997. Manipulation of flowering in cineraria. II. Juvenility. *J. Hort. Sci.* 72:55-66.
- Yeh, D. M., J. G. Atherton and J. Craigon. 1997. Manipulation of flowering in cineraria. III. Cardinal temperature and thermal times for vernalization. *J. Hort. Sci.* 72:379-387.
- Yeh, D. M., Y. R. Lin, and J. G. Atherton. 2000. Effects of post-chilling temperature on growth and variegation in Solomon's Seal. *Ann. Appl. Biol.*

Table 1. A comparison of net photosynthetic rate on different leaf ontogenic positions in *Polygonatum odoratum* 'Variegatum'.

葉片位置 leaf ontogenic positions	淨光合作用 Net photosynthetic rate ($\mu\text{ mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$)
1	6.5a
2	6.3a
3	6.8a
4	6.5a
5	6.7a
6	6.2a
7	5.8a
8	5.5a
9	5.5a

^zMeans separation within columns by Duncan's multiple rang test ($P \leq 0.05$).

Table 2. Effects of storage temperature and duration of temperature treatments on rhizome sprouting and aerial shoot growth of *Polygonatum odoratum* 'Variegatum'.

Temp (°C)	Storage		Sprouting (%)	Blasting (%)	Rosette (%)	Days to rhizome sprouting	Aerial shoot length (cm)
	Duration (days)						
0.8	24		100	0	0	15.0	--
	36		100	0	0	13.2	--
	43		100	0	0	13.3	--
	59		100	0	0	11.5	41.5±2.4
	72		100	0	0	8.0	40.6±2.5
1.5	24		100	0	0	13.0	--
	36		100	0	0	17.5	--
	43		100	0	0	11.2	--
	59		100	0	0	10.7	43.4±1.2
	72		100	0	0	9.5	43.9±1.0
2	24		100	0	0	24.2	33.0±1.0
	36		100	0	0	14.7	--
	43		100	0	0	10.7	--
	59		100	0	0	7.6	42.0±1.4
	72		100	0	0	9.5	41.4±0.8
5.5	21		100	0	0	17.7	35.6±2.3
	35		100	0	0	15.3	41.1±1.4
	52		100	0	0	13.3	37.4±2.0
	63		100	0	0	13.0	35.6±0.9
	77		100	0	0	13.1	34.9±1.6
10	21		67	50	0	44.3	11.8±4.2
	35		83	0	0	32.0	44.0±3.6
	52		83	0	0	23.8	--
	63		67	0	0	20.0	33.4±0.6
	77		100	0	0	17.5	38.4±4.0
15	21		17	0	100	86.2	4.0±0.0
	35		50	33	67	71.2	3.0±0.0
	52		33	50	50	78.8	3.0±0.0
	63		33	0	100	87.0	2.0±0.0
	77		17	0	100	86.1	2.5±0.0
20	21		33	50	50	78.2	4.5±0.0
	35		33	100	0	73.7	0.0±0.0
	52		17	100	0	86.2	0.0±0.0
	63		17	0	100	86.2	3.0±0.0
	77		50	100	0	58.2	0.0±0.0
LSD ($P=0.05$)			10.8	25.2	23.0	8.68	

^z not measured.

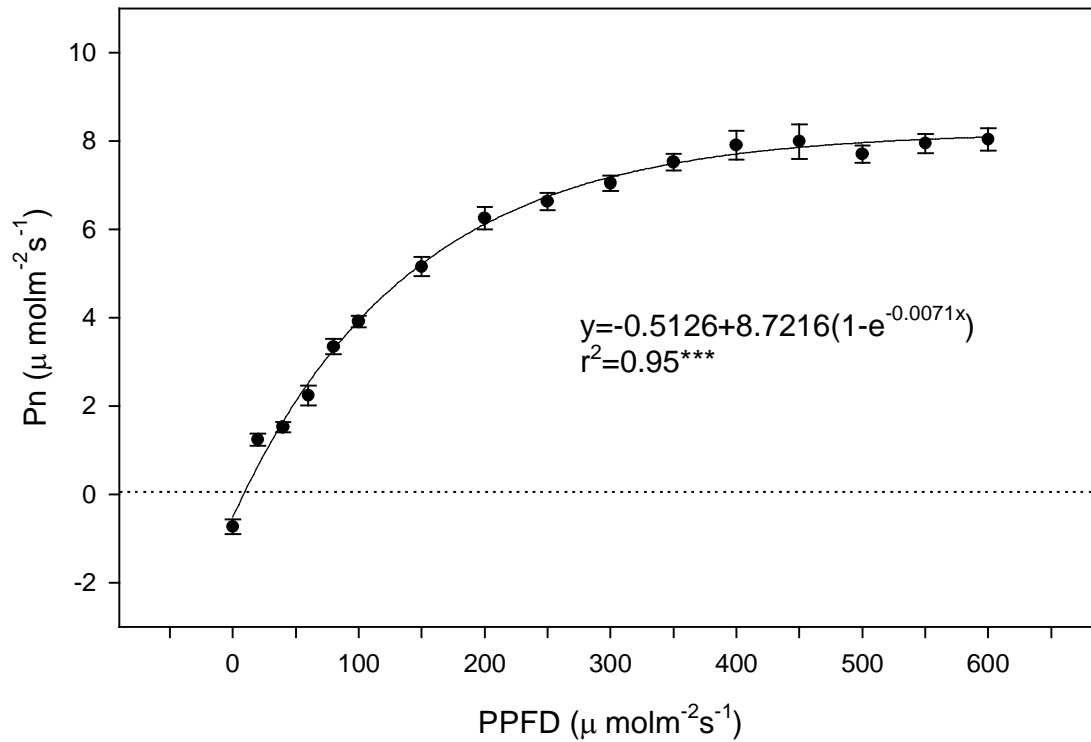


Fig 1. The relationship between net photosynthetic rate (Pn) and photosynthetic photon flux density (PPFD) of *Polygonatum odoratum* 'Variegatum'. Bar indicates standard error of the mean.

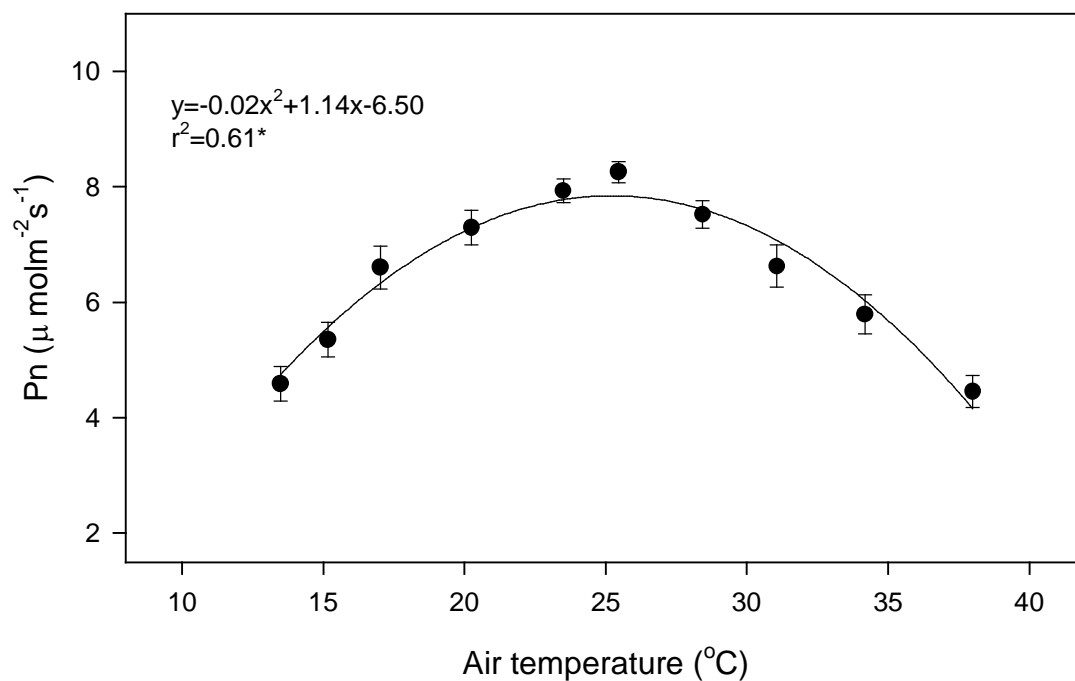


Fig 2. The relationship between net photosynthetic rate (Pn) and air temperature of *Polygonatum odoratum* 'Variegatum'. Bar indicates standard error of the mean.

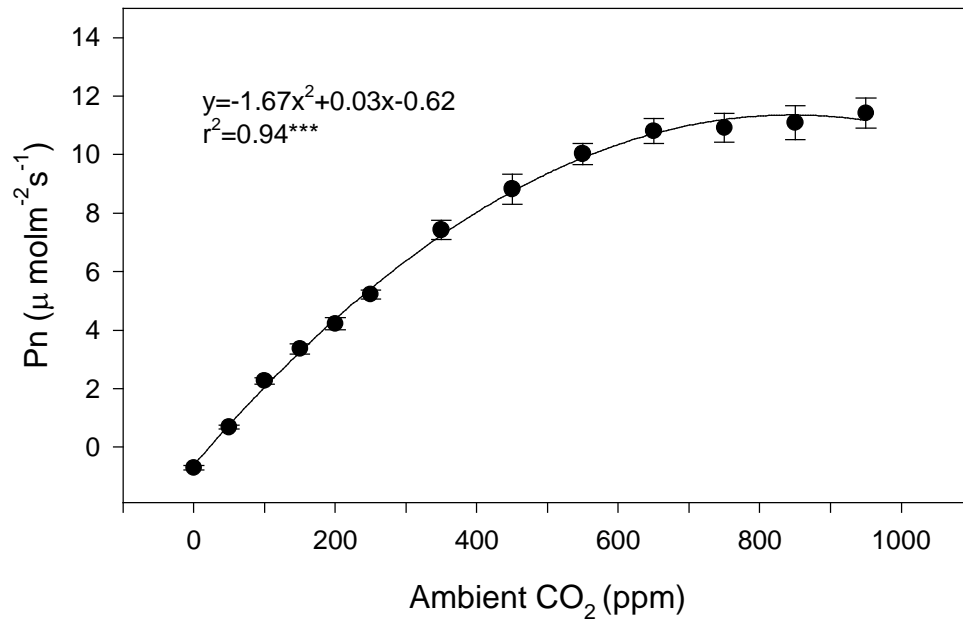


Fig 3. The relationship between net photosynthetic rate (Pn) and ambient CO₂ concentration of *Polygonatum odoratum* 'Variegatum'. Bar indicates standard error of the mean.

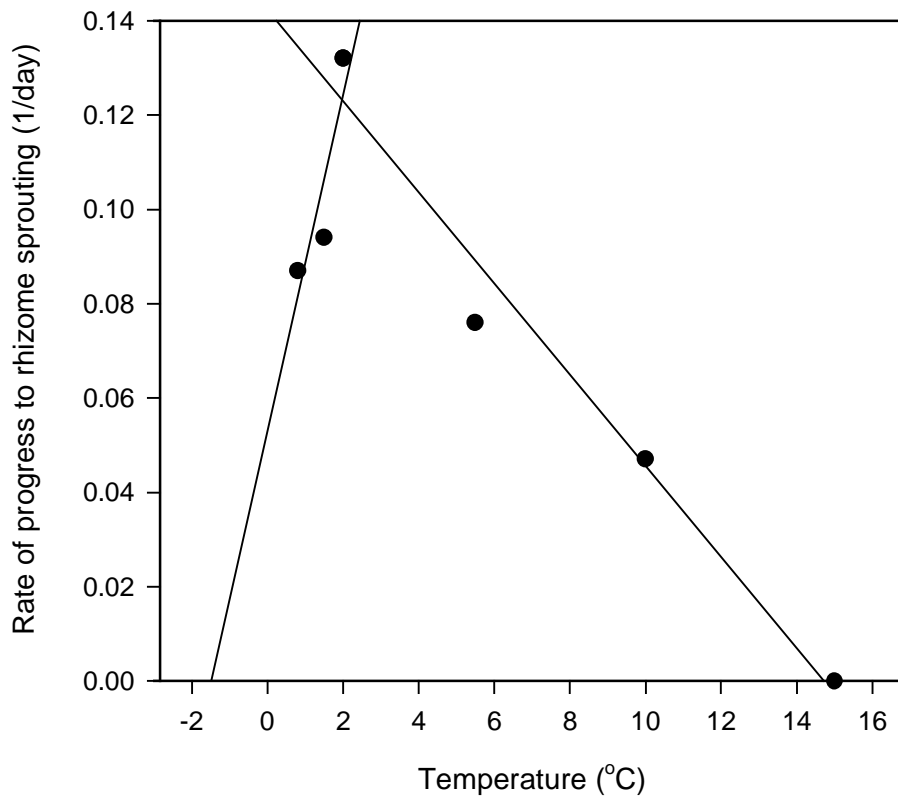


Fig 4. Relationship between temperature and rate of progress to rhizome sprouting of *Polygonatum odoratum* 'Variegatum' following 59 days at different low temperatures.

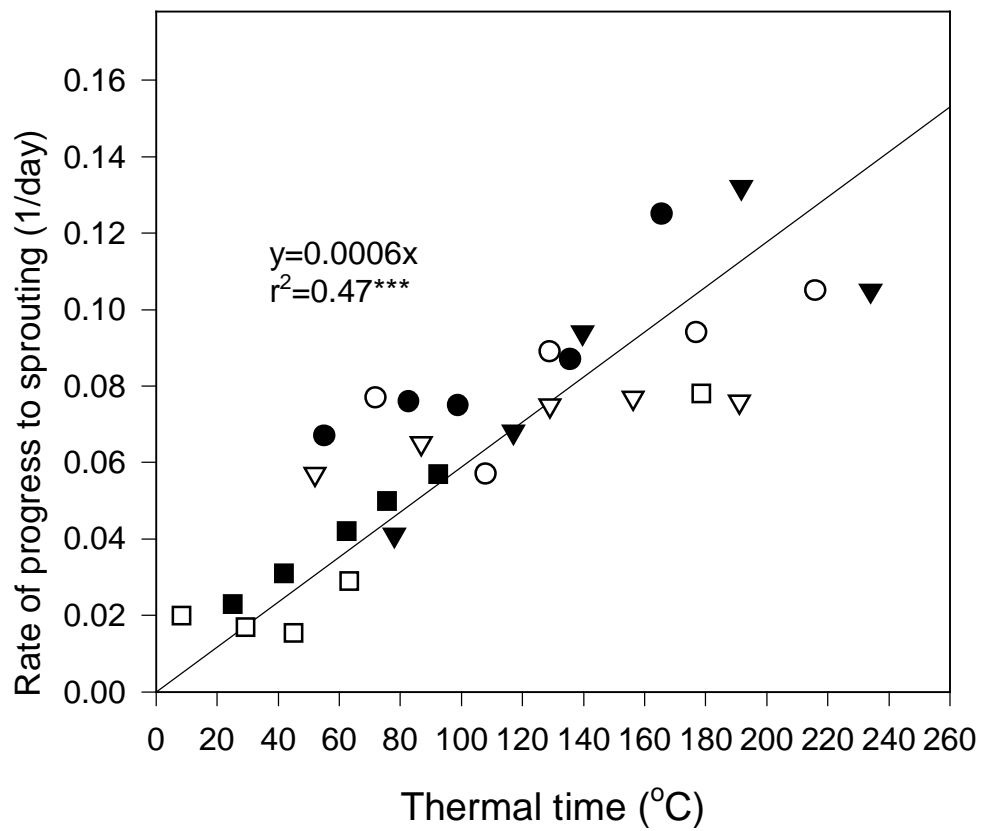


Fig 5. Relationship between rate of progress to sprouting and thermal time accumulated by *Polygonatum odoratum* 'Variegatum' during chilling at 0.8(●), 1.5(o), 2(▼), 5.5(▽) and 10 °C(■) and rhizome grown in the field over winter (□) for various periods prior to transfer to the glasshouse The model line is derived from constant temperature data.