

センリョウ *Sarcandra glabra* (Thunb.) Nakai の光合成特性および乾物生産

渡辺賢太・村崎 聡¹⁾・高木素紀

(茨城県農業総合センター鹿島地帯特産指導所)

要約

正月飾り用切り枝であるセンリョウ *Sarcandra glabra* (Thunb.) Nakai は陰性植物であるため、竹を編んだ「竹簾 (たけす)」で囲われた遮光施設で栽培されるが、資材不足等により新たな遮光方法、施設が求められている。しかし、遮光栽培試験に取り組むための基礎的知見となる光合成特性や乾物生産に関する知見は乏しい。そこで、本研究では、慣行の竹簾遮光施設の栽培環境について把握するとともに、センリョウ個葉の光-光合成曲線、時期別乾物生産を調査した。慣行の遮光施設の月別の日平均気温は3.4~26.7°Cで、日平均照度は1,371~3,873lx、日最大照度は3,615~12,086lxであった。センリョウの光-光合成曲線を推定した結果、光飽和点は葉温とともに上昇し、20~30°Cの間では144~374 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ であった。また、時期別の乾物生産量は、8~12月、2~4月の間に株全体の乾物重が増加した。乾物生産の成長解析から、4~10月は相対成長速度が速く、10~12月、2~4月はやや低下し、12~翌年2月には負の値を示した。以上から、慣行の竹簾遮光施設はセンリョウの生育に適した栽培環境であること、8~12月、2~4月はセンリョウの乾物生産に重要な時期であることが明らかとなった。

キーワード：陰性植物、光-光合成曲線、光強度、気温、成長解析

1. はじめに

センリョウは茨城県切り枝類の主要品目である。本県では神栖市(旧波崎町)を中心に栽培されており、東京都中央卸売市場における取扱金額は2010年から12年連続1位、2021年については2.1億円で東京都のシェア56%を占める(茨城県営業戦略部東京渉外局県産品販売促進チーム、2022)。センリョウは常緑樹で、果実は11月中旬頃から赤や黄色に着色し、冬でも緑色の葉と果実のコントラストが美しく、名前が富を象徴する「千両」を連想させるため、正月飾り用として安定した需要がある。

センリョウは日陰を好む陰性植物であるため、本県では竹簾で組んだ遮光施設で栽培されている。竹簾とは、モウソウチクを長さ1.8mまたは2.7mに切り、幅2cm程度に割ったものを針金ですだれ状に編んだ竹材である。センリョウは、この竹簾で四方を覆われた遮光施設で栽培される(Fig. 1)。施設内では、株間25~35cmでベッド幅30~45cmに1条もしくは2条植えとし、10a当たり約5,500株の栽植密度で栽培される。センリョウは、毎年春から夏にかけて株元から発生した新梢を、開花結実後の翌年冬に株元から収穫して切り枝とし、同一株から10年以上収穫し続ける永年性作物である。一方、竹簾の耐用年数は6~7年であり、生産者は6~7年おきに新たに竹簾を購入し、張替え作業を実施している。近年、国内の竹簾資材業者が減少してきていることに加え、円安等により中国産の竹簾資材も値上がりしており、センリョウ農家からは、竹簾以外の遮光方法による栽培体系の確立が望まれている。竹簾に代わる新たな遮光方法を確立するためには、それと同等の栽培環境を整える必要があるが、施設内の照度や気温といった栽培環境について詳細に調査した報告はなく、客観的な指標がない。さらに、新たな栽培施設における栽培に必要なセンリョウの養分吸収特性についても不明である。

一方で、施設園芸や畑作物分野では、対象となる作物の個葉の光合成速度を測定し、光飽和点や光補償点を明らかにすることで作物に適した光環境や温度条件の指標としてきた(和田ら、2010; Shimada et al., 2017)。また、個葉だけでなく株単位もしくは群落単位で、光合成産物である乾物生産量を調査し、乾物生産の最大化につながる光環境が研究されている(東出、2018)。さらに、レンコンでは時期別の乾物生産量を把握することで、養分吸収特性に応じた施肥体系が確立されている(小田部・飯村、2015)。

そこで、本研究では竹簾に代わる新たな遮光栽培体系の確立に向けて、慣行の竹簾遮光施設内の栽培環境を把握するとともに、センリョウ個葉における光-光合成曲線や時期別乾物生産量の変化から栽培環境や肥培管理の指標を明らかにすることを目的として試験を実施した。

1) 現 県南農林事務所経営・普及部門



Fig. 1 Exterior view of the shading facility, called as a “takesu” in Japanese, for *Sarcandra glabra* cultivation made by cutting bamboo into fine boards.

2. 方法

2. 1 慣行の竹簾遮光施設内の環境調査

調査は、茨城県農業総合センター鹿島地帯特産指導所（茨城県神栖市息栖；35.887N, 140.626E）の竹簾遮光施設で実施した。調査は2022年4月11日から2023年3月31日まで実施した。調査ほ場の面積は625m²で、ほ場中央部の高さ50cmの位置に照度センサー（RSH-4020、エスペックミック社製）と気温センサー（TR-0106、ティアンドデイ社製）を各2個設置し、1時間毎に自記記録計（RS-13L、RT-14、いずれもエスペックミック社製）により照度および気温を測定し、その平均値を測定値とした。各日について、日最低気温、日平均気温、日最高気温、日平均照度および日最高照度を算出した。なお、日平均照度の算出には、夜間の照度データは使用しなかった。それぞれ月別の平均値を算出した。

2. 2 センリョウ個葉の光—光合成曲線の検討

試験には、当所所有の赤実早生系統の3年生株を供試した。供試株は、神栖市波崎から採集した砂質土壌を充填した直径10.5cmの黒ポリポットで栽培し、所内竹簾遮光施設内で管理した。

光合成速度の測定は、2019年8月に携帯型光合成蒸散測定装置（LI-6400XT、LI-COR社製）を使用し、茨城県農業総合センター園芸研究所（茨城県笠間市）内の人工光人工気象室内で実施した。人工気象室内の気温は、20℃、25℃、30℃となるよう設定し、日照は16L8Dとした。調査前日に、供試株を人工気象室内に置き、観測条件に順化させた。測定は、6cm²のチャンバーで供試株の展開第2葉の中心部分を挟み、葉温が20℃、25℃、30℃になるようチャンバー内の気温を制御しながら実施した。チャンバー内の相対湿度は、50～60%に制御した。チャンバー内の光強度（光合成有効光量子束密度（以下、PPFD））の設定は、1,500μmol・m⁻²・s⁻¹で順化させたのち、1,000、800、500、300、200、100、80、60、40、20、10、0μmol・m⁻²・s⁻¹の順に低下させた。葉温別の各3株について、純光合成速度、気孔コンダクタンスおよび蒸散速度を測定した。各条件での測定は、値が3分以上安定したのちに記録し、1条件当たり照射時間は10分以内とした。純光合成速度については、以下の非直角双曲線（Thornley, 1976；彦坂, 2016）で近似した。

$$A_{net} = \frac{\phi I_C + A_{max} - \sqrt{(\phi I_C + A_{max})^2 - 4\phi I_C A_{max}\theta}}{2\theta} - R$$

A_{net} は純光合成速度、 A_{max} は飽和光下での最大光合成速度、 I_C は葉面積あたりの葉が受けた光強度（PPFD）、 ϕ は初期勾配（弱光条件での光利用効率）、 R は暗呼吸速度、 θ は曲線の凸度を示す。また、光飽和点として A_{max} の80%に達した時点のPPFDを求めた。なお、数値解析には統計ソフトR（ver.3.0.2; Ihaka and Gentleman, 1996）のnls関数（非線形関数）を用いた。また、光強度別の蒸散速度および気孔コンダクタンスは、葉温間の測定値をTukey-Kramerの多重比較法により検定した。

2. 3 遮光施設内における時期別乾物生産および成長解析

試験には当所所有の赤実早生系統の2年生株を供試した。供試株は、赤土：鹿沼土：ピートモス：パーライトを容積比10：3：2：1で混合した培土を充填した直径12cm高さ13cmの深底黒色ポリポットで管理した。試験は、所内の2.1と同一の竹簾遮光施設内で行い、試験区は地面を防草シートで被覆し、その上にプラスチック製の育苗箱（縦477×横326×高さ76mm）を設置し、そこへ供試株を並べた。灌水は、株元にドリップロが当たるように配置した軟質点滴灌水チューブを用いて、灌水同時施肥により実施した。肥料は、灌水同時施肥用肥料（タンクミックスA&B、OATアグリオ社製）をN-P₂O₅-K₂O = 25.0-12.5-36.0mg L⁻¹の濃度になるよう調整し、株当たり20~60mLを毎日施用した。

試験は、2022年4月8日から実施した。同日に無作為に選んだ16株を対象に、各株の葉面積について緑葉面積計（GA-5、東京光電株式会社製）を用いて測定した。葉面積測定後、葉、茎、根に分けて80℃で48時間以上通風乾燥させ、乾物重を測定した。同様の調査を6月6日、8月1日、10月3日、12月7日、2023年2月13日および4月11日に実施し、各日16株×7回の計112株分を分解調査した。得られた葉面積、葉、茎および根の乾物重を基に、成長解析で用いられる指標（Blackman, 1919; Pandey et al., 2017）を算出した。成長解析とは、単位時間当たりの乾物生産量から植物の成長に関わる特性を把握する方法である（彦坂、2016）。各調査期間の差分の計算には、各調査日ごとに株当たり乾物重で並べ替え、同順位のデータをペアとして計算した。

3. 結果

3. 1 慣行の竹簾遮光施設内の環境調査

調査期間中の月別気温および照度はTable1のとおりであった。日平均気温、日最高気温、日最低気温は、8月がそれぞれ26.7℃、32.6℃、23.0℃で最も高く、1月が3.4℃、9.4℃、-1.7℃で最も低かった。日最低気温と日最高気温の差は、9月が8.1℃と最も小さく、2月が11.8℃と最も大きかった。

日平均照度は、6月が3,873lxと最も高く、次いで7月、5月が高かった。一方、12月が1,371lxと最も低く、次いで1月、12月であった。日最大照度は、7月が12,086lxと最も高く、12月が3,615lxと最も低かった。

Table 1 Temperature and illuminance of each month in Takesu.

Month	Temperature ^{a)}			Illuminance ^{b)}	
	daily average	daily maximum	daily minimum	daily average	daily maximum
	(°C)			(lx)	
April	14.3	19.7	9.3	3,098	8,531
May	17.9	23.5	13.3	3,707	10,567
June	22.2	27.9	17.8	3,873	10,940
July	26.7	32.6	22.9	3,723	12,086
August	26.7	32.6	23.0	3,596	10,920
September	23.7	28.5	20.5	3,419	9,521
October	16.9	21.6	13.0	2,508	6,715
November	13.3	18.1	8.5	1,825	5,456
December	5.4	10.9	0.7	1,371	3,615
January	3.4	9.4	-1.7	1,630	4,657
February	5.7	12.0	0.2	2,609	8,228
March	11.6	17.1	6.5	3,653	11,740

a) Average, maximum, and minimum temperatures for each day were first calculated, then the averages for each month were determined.

b) Average and maximum illuminance (excluding nighttime periods) for each day were first calculated, then the averages for each month were determined.

3. 2 センリョウ個葉の光—光合成曲線の検討

センリョウ個葉の葉温別光—光合成曲線はFig.2に示した。光補償点は、葉温20℃では6.4μmol·m⁻²·s⁻¹、25℃では4.6μmol·m⁻²·s⁻¹、30℃では5.4μmol·m⁻²·s⁻¹とほぼ同等の値であった。光飽和点は、葉温20℃では144μmol·m⁻²·s⁻¹

$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 25°C では $164\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 30°C では $374\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ と葉温が高いほど高かった。最大光合成速度は、葉温 20°C では $1.3\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 25°C では $2.5\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 30°C では $2.6\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ と葉温が高いほど最大光合成速度は高かった。初期勾配は、葉温 20°C では0.03、 25°C および 30°C では0.05でほぼ同等であった。暗呼吸速度は、葉温 20°C では $0.2\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 25°C では $0.22\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 30°C では $0.23\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ で同等であった。また、葉温別の蒸散速度および気孔コンダクタンスについては、葉温別で有意な差は認められなかったが、葉温が高いほどいずれも高まる傾向であった (Fig. 3、Fig. 4)。

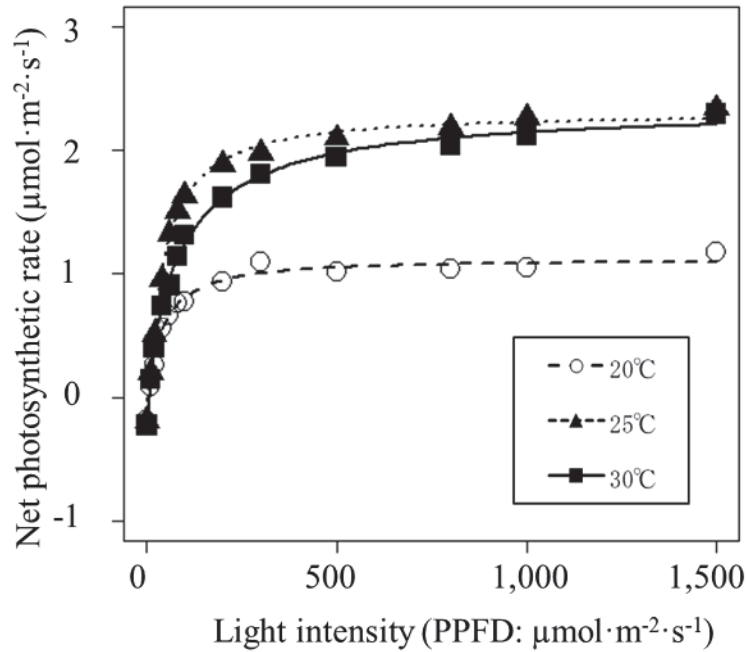


Fig. 2 Photosynthesis irradiance response curves of individual *Sarcandra glabra* leaves at three different leaf temperatures (n=3).

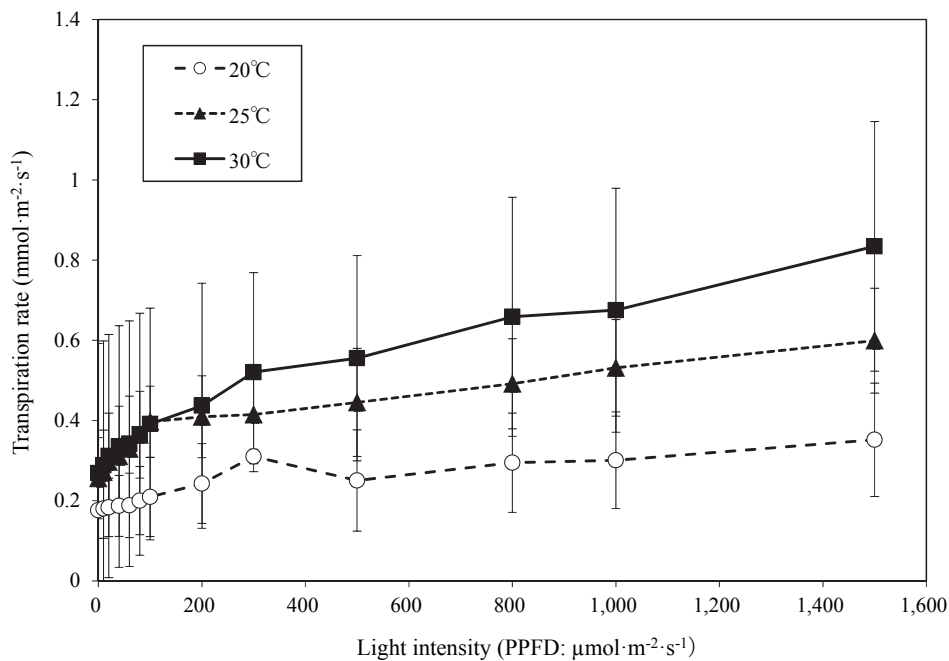


Fig. 3 Transpiration rate of individual *Sarcandra glabra* leaves at three different leaf temperatures. The error bars indicate 95% confidence interval (n=3).

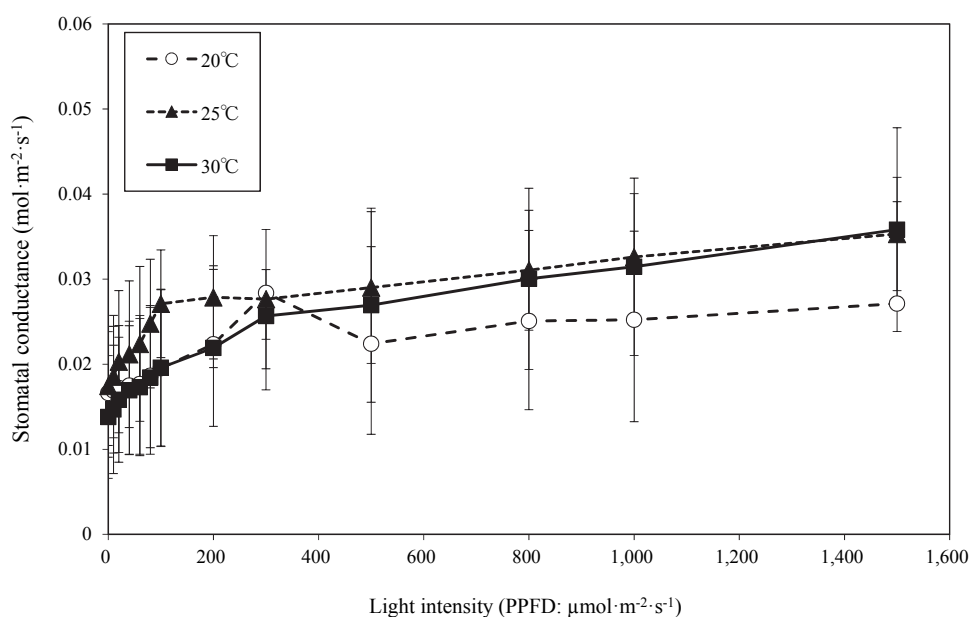


Fig. 4 Stomatal conductance of individual *Sarcandra glabra* leaves at three leaf temperatures. The error bars indicate 95% confidence interval (n=3).

3. 3 竹簾遮光施設内における時期別乾物生産および成長解析

センリョウ2年生株の時期別乾物重および葉面積の推移を Table 2 に示した。株全体では、8~10月、10~12月、2~4月に乾物重が前回の調査日と比較して、有意に増加し、増加率はそれぞれ213%、189%、158%であった。部位別では、葉は8~10月、10~12月および2~4月の3期間、茎および根は10~12月、2~4月に有意に増加し、葉と比較して約2ヶ月遅れて乾物増加が認められた。葉面積は8~10月に有意に増加したが、10~12月、12~2月、2~4月までは有意な増加は認められなかった。

時期別成長解析の結果は Table 3 に示した。相対成長速度は4~6月、6~8月、8~10月までは $1.2 \times 10^{-2} \text{d}^{-1}$ と同程度で、12~2月には $2.0 \times 10^{-4} \text{d}^{-1}$ と著しく低下した。同様に、純同化速度は4~6月、6~8月、8~10月、10~12月までは同程度で、12月~2月には低下した。一方、葉面積比は6~8月が $150.8 \text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ と最も高く、その後10~12月、12~2月および2~4月にかけて有意に低下し続けた。葉重比は、6~8月および8~10月が $0.57 \sim 0.58 \text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ と最も高く、12~2月および2~4月が $0.50 \sim 0.50 \text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ と低かった。比葉面積は4~6月、6~8月、8~10月が $254.9 \sim 264.1 \text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ と最も高く、2~4月が $159.5 \text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ と最も低かった。

4 考察

本研究では、慣行の竹簾遮光施設の栽培環境およびセンリョウ個葉の光飽和点、光補償点を明らかにした。両者を時期別に比較すると、日最高気温が 23.5°C となった5月では、日最大照度はPPFD換算で $197 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ となり、葉温 25°C の光飽和点 $164 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ と同等の値となった。また、日最高気温が 32.6°C だった8月では、日最大照度はPPFD換算で $202 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ となり葉温 30°C の光飽和点 $374 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下であった。このことから、慣行の竹簾遮光施設は個葉の光飽和点と同等もしくは光飽和点以下となっており、過度に光飽和点を超えない、センリョウの生育に適した栽培環境になっていることが示唆された。

個葉の光-光合成曲線について本研究では葉温 25°C の光飽和点は $164 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ であり、気温 25°C の光飽和点が $300 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ とした Bae et al. (2016) の報告と比較するとやや低い結果であった。これは、日長、気温といった季節的な変化や生育環境に応じて、光合成特性が変化したために生じた差ではないかと考える。例えば、パッションフルーツでは調査時期により光-光合成曲線の形状が変わること (Shimada et al., 2017) や、クヌギでは低照度条件で栽培すると光飽和点が低下する (徐ら, 1992) ことが報告されている。今回の調査では、竹簾下で管理したセンリョウを8月に供試したが、Bae et al. (2016) の報告では遮光ネットを展張したビニールハ

Table 2 The temporal transition of dry matter weight and leaf area of *Sarcandra grabra* in second year of seeding throughout one year.

Survey date (Y/M/D)	Survey period	No. of plants (No.)	Dry weight						Leaf Area					
			Leaf			Stem			Root			Total		
			Average (g)	Percentage increase ^{b)} (%)	Percentage increase (%)	Average (g)	Percentage increase (%)	Percentage increase (%)	Average (g)	Percentage increase (%)	Percentage increase (%)	Average (cm ²)	Percentage increase (%)	
2022/4/8	—	16	0.15 a	—	0.04 a	—	0.14 a	—	0.33 a	—	34.6 a	—		
2022/6/6	Apr.–Jun.	16	0.42 a	280	0.10 a	250	0.16 a	114	0.67 a	203	112.9 ab	326		
2022/8/1	Jun.–Aug.	16	0.69 a	164	0.22 ab	220	0.35 a	219	1.25 a	187	179.9 b	159		
2022/10/3	Aug.–Oct.	16	1.64 b	238	0.49 bc	223	0.54 a	154	2.66 b	213	413.1 c	230		
2022/12/7	Oct.–Dec.	16	2.45 c	149	0.90 d	184	1.67 b	309	5.02 c	189	492.4 cd	119		
2023/2/13	Dec.–Feb.	16	2.45 c	100	0.80 cd	89	1.76 b	105	4.94 c	98	457.5 cd	93		
2023/4/11	Feb.–Apr.	16	3.90 d	159	1.40 e	175	2.40 c	136	7.80 d	158	542.1 d	118		

a) Different letters in the same column indicates significant differences between the averages at $P < 0.05$ (Tukey–Kramer test).

b) Percentage increase for each tissue = (Dry weight (or Leaf area) of a given sampling data / Dry weight (or Leaf area) of the previous survey date) * 100.

ウス下で管理したセンリョウを 9 月に供試しており、測定に供試する前の栽培環境が異なっている。今後は、センリョウにおいても複数の季節や栽培条件でも個葉の光合成曲線を明らかにする必要がある。

センリョウの光合成速度は葉温の影響を受け、葉温 20～30℃の範囲では、25℃および 30℃の条件で光合成速度は最も高かった。他の作物においても葉温や気温に光合成速度が影響されることが報告されている。例えば、イチゴ（和田ら、2010）やカンキツ（岩崎・大垣、1985）、アスパラガス（稲垣ら、1989）では、気温の上昇により気孔コンダクタンスおよび蒸散速度が増加するとともに、炭酸ガス交換能が高まることで光合成速度が高まるとされており、センリョウでも同様の機構が関係していると考えられた。

今回作成した光–光合成曲線では、光強度が $1,500\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ でも、光合成速度の顕著な低下は認められなかった。一方、センリョウは屋外（快晴時には最大 $2,000\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ）の直射日光条件下で栽培すると葉が黄化して生育遅延が生じ、そのまま長期間栽培すると枯死する。今回、 $1,500\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の条件下でも光合成速度の低下が認められなかった理由として、本研究では光を照射した時間が 3～10 分であったためだと考える。一般に、光飽和点を超える光強度（以下、強光）による葉の障害は光阻害と呼ばれ、強光により光化学系 II が損傷し、葉の光エネルギーを取り込む量子効率が低下する（宮尾（徳富）・水澤、1999）。一瞬であれば光合成 II 系は自己修復するが、修復能を上回る強光条件下に数時間さらされると光化学系 II が破壊され、光合成機能の低下、葉の黄化などの生育障害が発生する。（彦坂、2016）。今回、3～10 分程度の強光では、植物の光化学系 II の修復能力により光合成能力に影響を与えなかったと考えられる。陰性植物である薬用植物オタネニンジンも、光飽和点はセンリョウと同程度の $200\sim 400\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ であるが（Lee et al., 2012; Zhang et al., 2022）、栽培期間中 $370\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の光強度で照射し続けると、光阻害の影響により SPAD 値の低下や根の肥大が停止することも報告されている（川勝、2023）ため、遮光の必要が論じられている。そのため、今回、光飽和点は明らかとなったが、今後、光強度と照射時間がセンリョウの光阻害に与える影響を調査していくことが、生育阻害が生じない遮光条件を解明するためには、不可欠である。

センリョウの時期別および部位別乾物調査から、茎および根は、葉と比較して約 2 ヶ月遅れて乾物増加することが明らかとなった。地上部の乾物増加ののちに地下部の貯蔵組織（根部）の乾物重が増加することはアスパラガスでも報告されている。これは地上部の光合成により得た同化産物の転流によるものと考えられている（日笠・鎌田、1994）。センリョウの茎には、翌年の新梢が発生する地際

部分の肥大茎も含まれており、茎や根が貯蔵組織として機能している可能性も考えられる。今回の結果から、株全体の乾物生産量が増加した8月以降に養分吸収量が高まり、乾物生産量の増加の認められなかった12～2月には養分吸収が停滞する可能性が示唆された。なお、現地慣行の追肥体系では3～4月に施肥する生産者が多く、8月以降の追肥は一般的ではない。今後は、時期別に植物体内の無機成分を調査し、時期別の養分吸収特性を明らかにすることで、効率的な肥培管理の指標とすることが期待される。

Table3 The growth analysis of *Sarcandra glabra* in second year of seedling throughout one year.

Period of growth analysis	Relative Growth Rate ^{a) b)} (RGR) (d ⁻¹)	Net Assimilation Rate ^{c)} (NAR) (g cm ⁻² d ⁻¹)	Leaf Area Ratio ^{d)} (LAR) (cm ² g ⁻¹)	Leaf Mass Ratio ^{e)} (LMR) (g g ⁻¹)	Specific Leaf Area ^{f)} (SLA) (cm ² g ⁻¹)
Apr.–Jun.	1.2×10 ⁻² a	8.4×10 ⁻⁵ a	138.0 a	0.54 a	259.6 a
Jun.–Aug.	1.2×10 ⁻² a	7.9×10 ⁻⁵ a	150.8 b	0.57 bc	264.1 a
Aug.–Oct.	1.2×10 ⁻² a	8.0×10 ⁻⁵ a	147.1 ab	0.58 c	254.9 a
Oct.–Dec.	1.0×10 ⁻² b	7.9×10 ⁻⁵ a	121.8 c	0.54 a	224.4 b
Dec.–Feb.	-2.0×10 ⁻⁴ c	-1.0×10 ⁻⁶ b	96.3 d	0.50 d	194.9 c
Feb.–Apr.	0.8×10 ⁻² b	11.0×10 ⁻⁵ c	80.3 e	0.50 ad	159.5 d

a) Different letters in the same column indicates significant differences between the averages at $P < 0.05$ (Tukey–Kramer test).

b) $RGR = \{\log(\text{present plant dry weight}) - \log(\text{previous plant dry weight})\} / \text{period of analysis}$.

(RGR) indicates the increase in plant mass per period of analysis.

c) $NAR = (\text{present plant dry weight} - \text{previous plant dry weight}) \times \{\log(\text{present leaf area}) - \log(\text{previous leaf area})\} / \{(\text{present leaf area} - \text{previous leaf area}) / \text{periods of analysis}\}$.

(NAR) indicates the increase in plant mass per leaf area per period of analysis.

d) $LAR = (\text{present leaf area} - \text{previous leaf area}) \times \{\log(\text{present plant dry weight}) - \log(\text{previous plant dry weight})\} / \{\log(\text{present leaf area}) - \log(\text{previous leaf area})\} / (\text{present plant dry weight} - \text{previous plant dry weight})$.

(LAR) indicates the efficiency with which a plant uses its leaves to produce plant material.

e) $LMR = (\text{present dry leaf weight} - \text{previous dry leaf weight}) \times \{\log(\text{present plant dry weight}) - \log(\text{previous plant dry weight})\} / \{\log(\text{present dry leaf weight}) - \log(\text{previous dry leaf weight})\} / (\text{present plant dry weight} - \text{previous plant dry weight})$.

(LMR) indicates the allocation of dry matter to leaves.

f) $SLA = \{(\text{present leaf area} - \text{previous leaf area}) \times \{\log(\text{present dry leaf weight}) - \log(\text{previous dry leaf weight})\} / \{\log(\text{present leaf area}) - \log(\text{previous leaf area})\} / (\text{present plant dry weight} - \text{previous plant dry weight})$.

(SLA) indicates how much leaf area could be expanded with 1g of leaf. The lower the value, the thicker the leaf.

成長解析の結果から、4～10月は相対成長速度が $1.2 \times 10^{-2} \text{d}^{-1}$ と同程度で、純同化速度および葉面積比も同程度であった。しかし、10～12月には相対成長速度が $1.0 \times 10^{-2} \text{d}^{-1}$ とやや低下し、純同化速度は4～10月と同程度であった。その理由として、10～12月は4～10月に比べて葉面積への投資が減少したために、純同化速度はそれまでと同程度であっても相対成長速度が鈍化したと考える。一方、純同化速度は維持されたことから、ここで同化から貯蔵へのシフトが起きたと考える。

12月から2月にかけては乾物増加が認められず、相対成長速度や純同化速度も著しく低下していた。12～2月は日平均気温が 4.4°C と最も低く、日平均照度が $1,543 \text{lx}$ と調査期間を通じて最も低かった。3.2で明らかにした光-光合成曲線から推定した光補償点は 20°C で $6.4 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ であり、照度に換算すると 346lx となる。12月から2月の日平均照度は $1,543 \text{lx}$ であり、 346lx を大きく上回っていることから、この時期は気温が制限要因となり、センリョウの生育が停滞し、乾物生産や同化が認められなかったと推察する。ただし、本研究では 20°C 未満での光-光合成曲線は作成していないため、冬季のセンリョウの乾物生産については、今後さらに検討していく必要がある。

また、2月から4月にはいずれの部位でも乾物重の増加が認められた。また、相対成長速度は12～2月と比較して増加するものの、10～12月と比較すると同程度、4～10月と比較してやや低かった。これは、葉面積比が調

査期間中で最も低下したこと、純同化速度が調査期間中で最も高まったためだと考える。2~4月には比葉面積が、調査期間中で最も低く、葉が厚くなっていた。牧草のチモシーでは比葉面積は光合成速度と負の相関があり、葉が厚いほど光合成速度が高まることが報告されている(窪田・植田、1977)。センリョウでも同様に、葉の厚みが増すことで葉緑体の含有量が増し、純同化速度が増加したと考える。なお、この時期は日平均気温 12.3℃とやや低い一方、照度は日平均照度が 3,459lx、日最大照度は 11,337lx と期間中最も高かった。これらのことから、日平均気温 12.3℃あれば光合成には十分な光強度であり、センリョウの乾物生産が行われることが示唆された。

一方、本研究で得られたセンリョウ個葉の最大光合成速度は $1.3\sim 2.6\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ であり、イチゴの $15\sim 25\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (和田ら、2010)、パプリカの $10\sim 30\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (橋田ら、2015) などと比較してかなり低かった。また、センリョウ 2 年生株の乾物生産量は、本調査期間の約 1 年で株当たり約 7.5g であった。スギ 2 年生株の乾物生産量は約 20.7~47.9g (松村ら、1996)、モモ 2 年生樹では約 2.42kg (寿松木ら、1986) と報告されており、センリョウは他植物と比較すると乾物生産量が少ない。センリョウの緩慢な乾物生産特性は、個葉の光合成速度が低いことによるものと考えられる。

本研究では、慣行の竹簾遮光施設の栽培環境条件を明らかにするとともに、センリョウ個葉における光飽和点や光補償点といった光合成特性、時期別の乾物生産特性を明らかにした。これらの結果から、竹簾に代わる新たな遮光施設による栽培体系の確立に向けた、光環境や肥培管理の指標となる基礎的データが得られた。また、センリョウは気温や生育時期に応じて光合成速度(純同化速度)が変化するとともに、葉の形態や乾物分配も変化していくことを明らかにし、生育時期に応じた管理技術の重要性が示唆された。なお、本研究は苗木による試験であるため、今後は開花および果実生産を伴う成木での試験を実施していく必要がある。

今後の試験では、照度ではなく、植物の光吸収スペクトルとして重要な光強度(PPFD 等) データを取得し解析していく予定である。これらの結果から、センリョウの光合成や乾物生産を最大化できる栽培指標(光環境、肥料の濃度等)を検討し、新たな遮光施設栽培の確立を目指したい。

謝辞

本研究を推進するにあたり、茨城県農業総合センター園芸研究所野菜研究室には、携帯型光合成蒸散測定装置および人工光人工気象室の使用について、多大なご協力を頂きました。また、鹿島地帯特産指導所の菊池弘子氏ならびに会計年度任用職員の皆様には、センリョウの栽培管理および調査に多大なご尽力を頂きました。ここに記して、深く感謝の意を表します。

引用文献

- Bae E. J., Jin, E. J. J., Bae, J. H., Lee, K. S. and Choi, S. M. (2016) Growth and physiological characteristics of *Sarcandra glabra* and *Ardisia crenata* under different light intensity. *Journal of Korean Society for People, Plants and Environment* 19: 85-93.
- Blackman, V.H. (1919) The compound interest law and plant growth. *Annals of botany* 33: 353-360.
- 橋田祐二・高橋昭彦・下元耕太・高橋憲子・仁科弘重・高山弘太郎 (2015) 高軒高温室における長期の加湿処理による飽差環境の違いがパプリカの葉の形態・光合成機能および収穫物に及ぼす影響. *Eco-Engineering* 27: 91-98.
- 日笠裕治・鎌田賢一 (1994) アスパラガスの周年的養分吸収特性. *日本土壤肥科学雑誌* 65: 34-40.
- 東出忠桐 (2018) 施設トマトの収量増加を目的とした受光と物質生産の関係の利用. *園芸学研究* 17: 133-146.
- 彦坂幸毅 (2016) 植物の光合成・物質生産の測定とモデリング. 共立出版、東京、128pp.
- 茨城県営業戦略部東京渉外局県産品販売促進チーム (2022) 東京都中央卸売市場における花きの取扱数量・価格の推移. pp. 52-53.
- <https://www.pref.ibaraki.jp/eigyoto/kyo/kensan/documents/r4kakihoukoku.pdf> (2023 年 8 月 27 日アクセス).
- Ihaka, R. and Gentleman, R. (1996) R: a language for data analysis and graphics. *Journal of Computer Graphics and Statistics* 5: 299-314.
- 稲垣 昇・津田和久・前川 進・寺分元一 (1989) アスパラガスの光合成に及ぼす光強度、CO₂ 濃度及び温度の影響. *園芸學會雑誌* 58: 369-376.
- 岩崎直人・大垣智昭 (1985) カンキツの種・品種における光合成特性と温度・光条件. *園芸學會雑誌* 54: 315-322.

- 川勝貴史 (2023) オタネニンジン (*Panax ginseng* C.A. Meyer) の養液栽培による苗生産に関する研究. 筑波大学大学院 博士学位論文.
- 窪田文武・植田精一 (1977) チモン一個葉の光合成速度と SLA (比葉面積)との関係. 日本草地学会誌 23 : 101-107.
- Lee, J.S., Lee, D. Y., Lee, J. H., Ahn, I.O. and In, J.G. (2012) Photosynthetic characteristics of resistance and susceptible lines to high temperature injury in *Panax ginseng* Meyer. Journal of Ginseng Research 36: 461-468.
- 松村秀幸・青木 博・河野吉久・伊豆田 猛・戸塚 績. (1996). スギ, ヒノキ, ケヤキ苗の乾物成長とガス交換速度に対するオゾン影響. 大気環境学会誌 31:247-261.
- 宮尾 (徳富) 光恵・水澤直樹 (1999) 強光環境から身を守る植物の防御機構. 化学と生物 37 : 396-400.
- 小田部 裕・飯村 強 (2015) 茨城県におけるレンコン主要品種の乾物生産および養分吸収特性. 日本土壌肥科学雑誌 86(4) :283-289.
- Pandey, R., Paul, V., Das, M., Meena, M. and Meena, R. C. (2017) Plant growth analysis. Physiological Techniques to Analyze the Impact of Climate Change on Crop Plants. (Vijay, P., R. Pandey, Pal Singh M. eds.) ICAR-Indian Agricultural Research Institute, India, pp. 103-107.
- Shimada, A., Kubo, T., Tominaga, S. and Yamamoto, M. (2017) Effect of temperature on photosynthesis characteristics in the passion fruits 'Summer Queen' and 'Ruby Star'. The Horticulture Journal 86: 194-199.
- 寿松木章・佐藤雄夫・佐々木生雄 (1986) モモ樹の乾物重と養分吸収量の 10 年間の増加過程. 園芸学会雑誌 54 : 431-437.
- Thornley, J.H.M. (1976) Mathematical models in plant physiology. Academic Press, London, 318pp.
- 和田義春・添野隆史・稲葉幸雄 (2010) 促成, 半促成栽培におけるイチゴ品種 'とちおとめ' の高 CO₂ 濃度下の葉光合成速度促進に及ぼす光と温度の影響. 日本作物学会紀事 79 : 192-197.
- 徐 国林・二宮生夫・荻野和彦 (1992) 異なった光環境のもとで生育した数種の樹木の光合成能 光-光合成曲線の解析. 日本緑化工学会誌 17 : 94-101.
- Zhang, Y. X., Niu, Y. Q., Wang, X. F., Wang, Z. H., Wang, M. L., Yang, J., Wang, Y. G., Zhang, W. J., Song, Z.P. and Li, L. F. (2022) Phenotypic and transcriptomic responses of the shade-grown species *Panax ginseng* to variable light conditions. Annals of Botany 130: 749-762.

Photosynthetic Characteristics and Dry Matter Production of *Sarcandra glabra* (Thunb.) Nakai

Kenta WATANABE¹, Satoshi MURAZAKI and Motonori TAKAGI

Summary

Sarcandra glabra, a plant that bears many small red fruits and green leaves even in winter, are cultivated for use as traditional New Year's decorations in Japan. The plant was grown in shaded facilities called *takesu* made by cutting bamboo into boards to provide shade, though new shading methods and facilities for the *S. glabra* rearing system are needed, given the high cost and shortage of bamboo. However, there is a lack of basic knowledge regarding the photosynthetic characteristics and dry matter production of *S. glabra* for field trials. Therefore, this study aims to show the cultivation environment of conventional shaded facilities, the light-photosynthesis curve, and season-specific dry matter production of *S. glabra*. The results of this study showed that monthly mean daily temperatures in the shaded facilities ranged from 3.4 to 26.7°C and maximum daily irradiance ranged from 3,615 to 12,086 lx. The estimated light-photosynthesis curve of *S. glabra* indicated that the light saturation point increased with leaf temperature and ranged from 144 to 374 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ between 20°C and 30°C. Dry matter production during one year showed an increase in dry matter weight of the entire plant from August to December and from February to April. Growth analysis of dry matter production showed that the relative growth rate was high from April to October, low from October to December, and returned a negative value from December to February of the following year. These results suggest that the photosynthetic rate of *S. glabra* changes not only with temperature and growth stage but also with leaf thickness and dry matter partitioning.

Keywords: shade plant, photosynthesis irradiance response curves, light intensity, temperature, growth analysis

¹ Address: Kashima Horticultural Research Station, Ibaraki Agricultural Center, 2815 Ikisu, Kamisu City, Ibaraki 314-0133, Japan