培地温を制御したロックウール耕におけるガーベラの 生育・開花と光合成, 水ポテンシャルの計測

勝川健三¹⁾・青木光幸²⁾・稲本勝彦³⁾・土井元章³⁾・
松山賢一郎³⁾・今西英雄³⁾

¹⁾(株)関西テック 671-2532 兵庫県宍粟郡山崎町高所

²⁾関西電力(株)総合技術研究所 661-0974 兵庫県尼崎市若王子

³⁾大阪府立大学大学院農学生命科学研究科 599-8531 堺市学園町

Growth and Flowering of Gerbera Plants Grown on Temperature-Regulated Rockwool Medium in Relation to Photosynthesis and Water Potentials

Kenzo KATSUKAWA¹⁾, Mitsuyuki AOKI²⁾, Katsuhiko INAMOTO³⁾,
Motoaki DOI³⁾, Kenichiro MATSUYAMA³⁾ and Hideo IMANISHI³⁾

¹⁾Kansai Tech. Co., Yamasaki, Siso, Hyogo 671-2532

²⁾The Kansai Electric Power Co., Inc. Technical Research Center, Amagasaki, Hyogo 661-0974, Japan

³⁾Graduate School of Agriculture and Biological Sciences, Osaka Prefecture University, Sakai, Osaka 599-8531

Abstract

The effects of regulation of medium temperature at 19–23°C on the growth and flowering of *Gerbera hybrida* Hort. 'Nini' were investigated in relation to leaf water potential, photosynthesis and dry matter distribution. The number of inflorescences developed per crown was 1.8–2.0 and was almost constant in all temperature regimes throughout the experiment. The increase in the number of inflorescences caused by regulation of medium temperature was attributed to an increase in the number of newly formed crowns, which was observed in plants grown on cooled medium in summer and/or heated medium in winter. The water stress during the daytime was reduced by the cooling of the medium in summer and consequent high stomatal conductance resulted in an increased photosynthetic rate, which presumably facilitated the accumulation of dry matter in the crown. On the other hand, heating of the medium inhibited the accumulation of dry matter in roots. The combination of medium cooling in summer and heating in winter did not have any additive effects on cut flower yield.

Keywords : dry matter distribution, *Gerbera hybrida*, medium temperature, photosynthesis, water potential

結 言

ガーベラ (*Gerbera hybrida* Hort.) は、半耐寒性の宿根

2000年5月26日受付

2000年8月6日受理

草であり、栽培温度を20°C内外に保てば周年生育して開花する。しかしわが国では夏季の栽培温度が著しく高くなり、切り花品質の低下を招く一方、冬季はエネルギー消費の点からせいぜい15°C程度の加温が行われているので、この時期に収量が低下する。これまで、冬季に地温を20°C程度にまで加温することにより、低気温

であっても、収量の増加ならびに切り花品質の向上が図りうる事が報告されている¹⁻³⁾。我々は、ヒートポンプを用いたロックウール培地の温度制御システムを開発し、冬季の加温のみならず夏季に培地を冷却することにより、周年にわたって培地温度をガーベラの生育適温である20~25°Cに制御した結果、これらの処理が収量の増加と切り花品質の向上に有効であることを認めた⁴⁾。

このように、ガーベラ切り花の収量ならびに品質に及ぼす培地温度の影響についてはいくつかの報告があるが、生育・開花に対して培地温度がどのような機作で影響を及ぼしているのかは明らかではない。そこで本実験では、この点について、部位別の乾物蓄積、光合成、ならびに葉の水分状態の観点から検討を行った。

材料および方法

1. 植物材料および栽培方法

小輪系の黄色半八重咲き品種である‘ニニ’((株)ミヨシより入手)を供試した。大阪府立大学農学部実験圃場(大阪府堺市)のガラス室内に、粒状ロックウール(日東紡(株)製, RS 42)を培地とする栽培コンテナ(内径縦96 cm×横29 cm×深さ16.5 cm)を設置し、栽培実験を行った。栽培装置は、既報⁴⁾と同様のものを用い、温度を調節した循環水(冷却時10°C, 加温時40°C)をコンテナ内に通した鉄パイプに流して培地温を制御した。1996年6月12日に、1コンテナ当たり展葉数3~4枚の購入苗3株を株間25 cmとして植え付けた。

実験区としては、夏季(6月15日~9月30日)の冷却の有無ならびに冬季(10月1日以降)加温の有無を組み合わせ、4区を設定した(以下無制御区、冷却区、加温区、冷却・加温区とする)。なお、培地温は、深さ5 cmの位置に設置した温度センサーにより三方弁を開閉して循環水の流量制御(最大流量5 L・min⁻¹)を行うことで、いずれの時期も20°Cを目標に制御した。冬季のガラス栽培室内は、最低気温が10°Cを下回らないように加温した。気温および培地温はタイプTの熱電対を用いてハイブリッドレコーダ(横河電機(株)製, HR1300)により測定した。

大塚ハウス肥料A処方による培養液(EC 1.2 dS・m⁻¹)を、コンテナから漏れ出る程度の量を毎日灌水チューブを用いて与えた。開花した花茎は慣行の切り前で収穫し、また10日に1回程度葉が混み合わないよう摘葉を行った。

2. 生育・開花

1996年7月1日, 9月2日, 11月6日, 1997年1月

10日の約2か月ごと計4回、植物体を掘り上げ、クラウン(短縮茎)の分枝数、クラウン当たりの着生葉数と着生花らい数を調査した。また、部位(葉、クラウン、花序と花茎を含む切り花部位、根)別の新鮮重と乾物重を調査した。なお、2回の調査日間に収穫した切り花ならびに摘葉した葉についても、その都度新鮮重、乾物重を調査し、後の調査日のデータに含めて取り扱った。新鮮重、乾物重は、その増減の傾向が似かよっていたので、結果には乾物重のデータのみを示した。

3. 光合成、気孔コンダクタンス、水ポテンシャル

晴天日を選び、1996年7月20日, 10月9日, 1997年1月16日の6時(1997年1月16日のみ8時)から18時(同16時)までの2時間ごとに、携帯型光合成測定装置(LI-COR製, LI-6100)を用いて、無制御区および夏季冷却、冬季加温を行った培地温制御区の2区について、株の最上位の展開葉から下3~4番目に着生している健全葉の光合成速度と気孔コンダクタンスを各区10枚について測定した。なお、測定に当たっては、周囲のCO₂濃度が450 ppm程度になるように留意した。

光合成の測定と同日に、サイクロメーター(Wescor製, HR-33 T)を用い、24時間にわたって2時間ごとの葉の水ポテンシャルを測定した。

結 果

1. 培地温の推移

コンテナ中央部深さ5 cmの位置で計測した培地温は、培地温制御を行った区で実験期間中を通じて19~22°Cで推移したのに対して、無制御区では6~8月は25~28°C, 9月以降22~25°Cで推移した(データ省略)。10月には無制御区と制御(加温)区の培地温の差は小さかったが、11月以降無制御区の培地温は徐々に低下し、1, 2月は13°C内外で推移した。

2. 生育・開花

いずれの区でも、植え付け後徐々に展葉数が増加し、それにもなってクラウン数も増加していった(データ省略)。開花は、冷却の有無に関係なく、7月末から8月初めにかけて始まった(Fig. 1)。

7月1日の時点では実験区間であり生育差は認められなかったが、9月2日の測定では冷却区の方が株全体ならびに葉を除く各部位の新鮮重、乾物重がやや大きくなった(Fig. 2A)。培地冷却は、9月2日時点での収量(この時点までの切り花本数)やクラウン数に有意な影響を及ぼさなかったものの、夏季の切り花品質を改善した。このことは9月2日時点で花茎を含めた花の乾物重が大

Fig. 1 Flowering of *Gerbera hybrida* 'Nini' grown with regulation of medium temperature.

きくなったことからもうかがえる (Fig. 2A). 9月に入ると冷却区の収量が、無制御区を上回るようになり (Fig. 1), このことは11月までの花茎を含む花の乾物重の増大に反映した (Fig. 2B) が, 切り花品質に対する培地冷却の効果はみられなくなった (データ省略). 10月の地温は, 制御 (加温) 区, 無制御区に大差がなかったことから (データ省略), 11月6日の測定で区切り, 培地冷却の影響をみると, 夏季の培地冷却は9月2日から11月6日の間に発生したクラウン数を増加させていることが分かる (Table 1).

10月1日から開始した加温の影響は11月以降に現れた. すなわち培地加温区では11月6日以降1月10日までに発生したクラウン数が有意に増加し, またクラウン当たりの着生葉数も増加した (Table 2). 11月以降1月末までの収量は, 加温区で最も多くなり, 次いで冷却・加温区であった (Fig. 1). 1月10日時点では, 冬季に加温を行った加温区および冷却・加温区において, 植物全体に対する根の乾物重の割合が小さくなった (Fig. 2C). ただし, 冷却・加温区は, 冷却区や加温区に比べ, 株全体の乾物重が小さかった.

Fig. 2 Dry matter of the component parts of *Gerbera hybrida* 'Nini' grown with regulation of medium temperature. The labels indicate the regime of regulation of medium temperature in summer (June 15–September 30, 1996) and/or winter (October 1, 1996–). ▨, inflorescence with flower stalk; □, crown; ■, leaves; ▩, roots.

3. 光合成速度, 気孔コンダクタンス, 水ポテンシャル

8月20日の計測では, 早朝から昼にかけて PPFD が増加するに伴って光合成速度が増加した. 無制御, 冷却の両区とも10時の計測で CO_2 吸収速度は $15 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 前後にまで達し, 以後徐々に減少していった. また, 10時~14時の測定において制御 (冷却) 区的光合成速度が無制御区より大きくなった (Fig. 3). 気孔コン

Table 1 Effects of regulation of medium temperature on the formation of crowns, leaves and inflorescences of *Gerbera hybrida* 'Nini' in autumn (from Sep. 2 to Nov. 6 in 1996)

Regulation of medium temperature (Summer/Winter)	No. of crowns	No. of leaves per crown	No. of inflorescences per crown
Ambient/Ambient	5.6	3.4	1.9
Ambient/Heated	5.9	5.3	1.9
Cooled/Ambient	8.1	3.9	1.9
Cooled/Heated	6.5	3.7	2.0
Analysis of variance			
Cooled in summer	P < 0.05	P ≥ 0.05	P ≥ 0.05
Heated in winter	P ≥ 0.05	P ≥ 0.05	P ≥ 0.05
Interaction	P ≥ 0.05	P ≥ 0.05	P ≥ 0.05

Data include detached leaves and harvested inflorescences.

Table 2 Effects of regulation of medium temperature on the formation of crowns, leaves and inflorescences of *Gerbera hybrida* 'Nini' in winter (from Nov. 7 in 1996 to Jan. 10 in 1997)

Regulation of medium temperature (Summer/Winter)	No. of crowns	No. of leaves per crown	No. of inflorescences per crown
Ambient/Ambient	8.5	2.6	1.8
Ambient/Heated	10.8	3.8	1.9
Cooled/Ambient	7.5	2.7	2.0
Cooled/Heated	9.1	3.2	1.9
Analysis of variance			
Cooled in summer	P ≥ 0.05	P ≥ 0.05	P ≥ 0.05
Heated in winter	P < 0.05	P < 0.05	P ≥ 0.05
Interaction	P ≥ 0.05	P ≥ 0.05	P ≥ 0.05

Data include detached leaves and harvested inflorescences.

ダクタンスについては, 無制御区で測定開始後徐々に減少していったのに対し, 制御(冷却)区ではいったん増加して12時の計測で最大に達し, 以後減少した。一方, 葉の水ポテンシャルは, 両区とも昼間に低下する傾向にあったが, 12時, 14時の測定において無制御区でより低くなり, -1.5 MPa に達した。

10月9日の計測では, 無制御区, 制御(冷却・加温)区の培地温に大差がなく, 光合成速度, 気孔コンダクタンス, 水ポテンシャルのいずれにおいても, 両区間に有意な差は認められなかった(データ省略)。なお, 昼間の光合成速度のピークは CO_2 吸収速度 $10\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 前後と, 8月20日の計測に比べて低くなった。

1月16日の計測では, 1日を通じて無制御区の培地温が 12°C 前後で推移し, 加温区よりも 10°C 程度低かったにもかかわらず, 光合成速度, 気孔コンダクタンス, 水ポテンシャルのいずれにおいても, 無制御区と加温区との間に大きな違いが認められなかった(Fig. 4)。また, 水ポテンシャルは, 前2回の測定とは異なり, 昼間に低下することはなく, 1日を通じて -0.5 MPa 前後で推移

した(Fig. 4)。

考 察

ガーベラの花芽は, 基本的には短縮茎(クラウン)の茎頂とその直下の葉腋に分化する⁹⁾。したがって, 切り花本数は, 短縮茎の分枝数, すなわちクラウン数により決まる。また, 本来花芽が着生すべき位置に花芽が分化しなかったり, あるいは何らかの原因で花芽が発達停止あるいは枯死することが収量の減少につながる。本実験の結果, 夏季の培地冷却や冬季の加温は, クラウン数を増加させることにより切り花収量を増加させていると考えられた。すなわち, 夏季冷却区の9月における切り花数の増加(Fig. 1)は9月2日から11月6日までのクラウン数の増加(Table 1)を, 夏季無制御冬季加温区の1月における切り花数の増加(Fig. 1)は, 11月から1月にかけての発生したクラウン数の増加(Table 2)を, それぞれ反映しているのであろう。一方, クラウン当たりに分化した花らい数は, 培地温制御の影響を受けずに, いず

Fig. 3 Diurnal changes in the photosynthetic rate, stomatal conductance and leaf water potential of *Gerbera hybrida* 'Nini' grown in summer in ambient (○) and cooled (●) media. Data were obtained on August 20, 1996. ✱, photosynthetic photon flux density.

Fig. 4 Diurnal changes in the photosynthetic rate, stomatal conductance and leaf water potential of *Gerbera hybrida* 'Nini' grown in winter in ambient (○) and heated (●) media. Data were obtained on January 16, 1997. ✱, photosynthetic photon flux density.

れの時期、いずれの実験区とも1.8~2.0と安定しており、クラウンあたりの花らい数が切り花収量を左右する要因ではないと考えられた (Table 1, Table 2)。

冬季の培地加温は、クラウンあたりに着生する葉数を増加させた (Table 2)。この増加は、新たにクラウンが発達可能な葉腋を増やすことにつながっているものと考えられる。森田・西尾⁶⁾は、冬季の短日条件がクラウン数を増加させることを報告しているが、本実験の結果から、冬季の加温条件もクラウン数を増加させることが示された。

9月2日の測定において、冷却区の株の新鮮重、乾物重がともに無制御区より大きくなり、高温期である7~8月の光合成産物の蓄積が冷却区で優っていることが示された (Fig. 2A)。これは、冷却区において根の呼吸消耗が低く抑えられるばかりでなく、8月20日の計測結果からも分かるように、培地冷却により根の吸水能

力が高く維持されて日中でも葉に水ストレスがかかりにくく、その結果、気孔コンダクタンスが高く維持されて光合成速度が日中でも高く維持できたことによるものと考えられた (Fig. 3)。実際、無制御区では7, 8月の晴天日の夕方には、若い葉や花茎に軽度の萎凋が観察された。この夏季における株への乾物蓄積は、秋季のクラウン数と収量の増加につながったものと考えられた。

一方、冬季の加温により1月10日における全植物体に対する根の乾物重の割合が小さくなった (Fig. 2)。現在切り花生産に使用されているガーベラの品種は、周年開花性が高くなるように改良されているものの、一方で宿根草としての特性、すなわち低温に耐えるため地下部に栄養分を転流・貯蔵する性質を残しており、この根への乾物蓄積がより低い培地温下で促されるものと考えられる。同化産物の根への転流増大は、競合部位である地上部への同化産物転流を阻害し、その結果、秋から冬に

かけての株の生産性を低下させる要因になっていると考えられる。したがって、より多くの乾物を地上部に分配させる培地加温処理が、生産性を高めるために有効と考えられる。

夏季の培地冷却、冬季の地中加温はそれぞれ単独ではクラウン数の増加や切り花本数の増加をもたらすことに有効であり、その原因については上述のような考察が可能である。しかし、両者を組み合わせた冷却・加温区においては必ずしも相加的な結果とはならなかった。同様の結果は据え置き株についても得られており⁴⁾、一般に「咲き疲れ」と呼ばれる開花の波が生じ、好適と考えられる培地温に周年保持するだけでは株の生産性を常に高い状態に維持できないことを示している。この点に関して、培地温管理以外の管理技術、例えば肥培管理、日長処理、摘葉、断根などの処理も組み合わせることで、根圏を含めた生産群落構造の最適化を図り、開花を平準化させるといったことが必要となるのであろう。

摘 要

19～23℃での培地温制御がガーベラ (*Gerbera hybrida* Hort.) ‘ニニ’の生育・開花に及ぼす影響について、葉の水分状態および光合成速度ならびに乾物の分配と蓄積の観点から検討した。クラウン(短縮茎)当たりに着生した花序数は1.8～2.0で、実験期間中を通じて安定しており処理による差は認められなかった。しかし、夏季の冷却あるいは冬季の加温といった培地温制御は、新たに形成されるクラウンの分枝数を増加させることにより切り

花収量を増加させると考えられた。培地冷却は、夏季の昼間の水ストレスを軽減し、その結果気孔コンダクタンスが維持されて光合成速度が高く保たれ、このことがクラウンへの乾物蓄積を促したものと考えられた。一方、冬季の培地加温は根への乾物蓄積を抑制した。夏季の冷却と冬季の加温は切り花収量に関して、相加的な結果をもたらさなかった。

引用文献

- 1) 浜田 豊：ガーベラ *Gerbera jamesonii hybrida* hort. に関する研究 ソイルヒーティングが株の生育・収量・品質に及ぼす影響, 東京農試研報, 23: 29-47(1991)
- 2) Martínez-García, P. F., Catalá-Forner, M. M., Romero-Aranda, R., Solves-Ferrer, M. J. and Día-Mínguez, R.: Root zone heating of gerbera in rockwool, *Acta Hort.*, 246: 45-52(1989)
- 3) 森田隆史, 西尾敏彦：ロックウール栽培における培地加温がガーベラの生育と開花に及ぼす影響, 農および園, 69: 509-510(1994)
- 4) 勝川健三, 大東秀章, 青木光幸：ロックウール耕による培地温制御とガーベラの周年生産に関する研究, 農業電化, 52(6): 7-10(1999)
- 5) Leffring, L.: Flower production in gerbera. I. Correlations between shoot, leaf and flower formation in seedlings, *Scientia Hort.*, 1: 221-229(1973)
- 6) 森田隆史, 西尾敏彦：光中断がガーベラの生育と開花に及ぼす影響, 生物環境調節, 32: 263-264(1994)