

ゼラニウム(Pelargonium×hortorum Bailey)における高温 ストレス耐性の系統間変異および検定法

誌名	育種学研究 = Breeding research
ISSN	13447629
巻/号	62
掲載ページ	p. 57-63
発行年月	2004年6月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



原著論文

ゼラニウム (*Pelargonium × hortorum* Bailey) における高温ストレス耐性の系統間変異および検定法

鄧 金根・本藤加奈・柿原文香・加藤正弘

(愛媛大学農学部, 松山市, 〒790-8566)

摘要

遺伝子型を異にするゼラニウム (*Pelargonium × hortorum* Bailey) の野生種 4 種および各野生種と園芸品種との雑種 8 系統をビニールハウスで栽培し, 栽培適温期 (5 月) における高温処理や夏期の自然高温がゼラニウムの生育や開花に及ぼす影響を調査し, 高温ストレス耐性系統の簡便な選抜方法を確立した。

栽培適温期における高温処理によって, 全ての系統で葉緑素含量 (SPAD 値) が減少し, SPAD 比 I (高温処理区の SPAD 値/無処理区の SPAD 値) は 5% 水準で有意な系統間差が見られた。2 回目の処理では, 高温ストレス耐性に系統間差が大きく現れ, 野生種 1 種および雑種 4 系統が強い耐性を示した。また, 葉と花の高温ストレス耐性に正の相関 ($r = 0.806^{**}$) が, SPAD 比 I と葉および花の高温ストレス耐性との間にも正の相関 ($r = 0.963^{***}$, $r = 0.747^{**}$) が認められた。

夏期の高温による SPAD 値, 小花数, 花弁面積および花色の変化にも系統間差が見られた。開花時花器形質の評価をそれぞれ 5 段階のスコアで表し, 高温ストレス耐性を評価した。その結果, 雑種 4 系統は強い耐性が認められた。SPAD 比 II (8 月の SPAD 値/5 月の無処理区の SPAD 値) と開花時花器形質評価値との間には相関関係が認められなかった。一方, SPAD 比 II と葉温との間には負の相関関係 ($r = -0.721^{**}$) が認められたが, 開花時花器形質評価値と葉温との間には関連性が見られなかった。また, 5 月の花の高温ストレス耐性と開花時花器形質評価値との間にも相関関係 ($r = 0.630^{*}$) が認められた。

以上のことから, ゼラニウムにおいては, 栽培適温期に高温処理し SPAD 比による一次選抜を行った後, 高温期に開花時花器形質評価から選抜する二次評価方法が効果的であり, 本種の高温ストレス耐性系統の選抜に利用できると考えられる。

キーワード: ゼラニウム, 野生種, 高温ストレス, 系統間変異, 検定法

緒言

ゼラニウム (*Pelargonium × hortorum* Bailey) はフウロソウ科に属し, 南アフリカ原産の数種の野生種 (*P. zonale*, *P. inquinans* など) から作出された雑種の総称である (Dobay 1978)。18 世紀初頭から欧米諸国で数多くの園芸品種が育成され, 今も栽培が盛んに行われている。四季咲き性であるが, 高温多湿に弱い。日本では, 特に梅雨時期や夏期の高温時に, 葉にクロロシスを生じ, 花梗数, 小花数の減少や花卉の縮小化および花色の劣化が見られ, 観賞価値が著しく低下する。これまでゼラニウムの生育や開花に及ぼす温度の影響について, 生理学的な研究が多くなされてきた (Armitage *et al.* 1981, Marousky and Harbaugh 1981, Welander 1983, White and Warrington 1984, 1988, Merritt and Kohl 1985, White and Polys 1987)。これらの研究の多くは, 供試材料が一つの園芸品種に限られ, しかも, 全て人工気象条件下で行われている。花卉の大量生産を人工気象条件下で行うと費用の負担が大きくなる (Lee *et al.* 1990), これらの研究成果を実際の栽培に直接応用しにくい。したがって, 日本の夏期のような高温下においても, 観賞価値の低下しない高温ストレス耐性品種の育成が望まれる。

環境条件に対する反応は品種の生態特性と関係があり, 中でも高温ストレス耐性の遺伝力は比較的高いことが明らかにされている (Yoshida *et al.* 1981)。キク (Whealy *et al.* 1987) やインパチェンス (Lee *et al.* 1990) では, 高温条件下における生育や開花の反応が遺伝子型により異なることが報告されている。ゼラニウムの種々の系統においても, 高温に対する反応に差異があり, これにより高温ストレス耐性系統を選抜できる可能性が考えられるが, それに関する具体的な検定法はまだ確立していない。

本実験では, 高温ストレス耐性品種の育成を最終目標とし, 遺伝子型を異にする多数のゼラニウム系統を供試して, 栽培適温期 (5 月) における高温処理や夏期の自然高温がゼラニウムの生育や開花に及ぼす影響を調査し, 高温ストレス耐性系統の選抜を簡便に行う方法を検討した。

材料および方法

供試材料には, ゼラニウム (*Pelargonium × hortorum*

編集委員: 岡崎桂一

2003 年 9 月 1 日受理 2004 年 1 月 8 日受理

Correspondence: dengig@agr.chime-u.ac.jp

Bailey) の野生種 4 種および各野生種と園芸品種との雑種 8 系統を用いた (Table 1).

1999 年 10 月 25 日に挿し木を行い、12 月 4 日に 5 号素焼鉢に定植し、換気扇付きビニールハウス内において栽培した。灌水は通常土の乾燥状況に応じて適宜行い、夏期だけは朝と夕方 2 回行った。施肥は週に 1 回、住友液肥 2 号を 1000 倍に希釈して行った。また、2000 年 6 月 13 日に剪定を行った。

1. 栽培適温期 (5 月) における高温処理

換気扇付きビニールハウスの内で栽培した個体を無処

Table 1. List of materials used in the experiment

Strain No.	Taxa	Source
1	(XG27 × <i>Pelargonium acetosum</i>) 4 self	F ₂
2	(W8Y2 × <i>P. acetosum</i>) 17	F ₁
3	<i>P. acetosum</i>	Wild species
4	(KD12 × <i>P. inquinans</i>) 10	F ₁
5	(KD12 × <i>P. inquinans</i>) 7	F ₁
6	<i>P. inquinans</i>	Wild species
7	(<i>P. frutetorum</i> × XG27) 3 self	F ₂
8	(<i>P. frutetorum</i> × D6) 2	F ₁
9	<i>P. frutetorum</i>	Wild species
10	[(<i>P. salmoneum</i> × D6)8 × K6] 16	F ₂
11	[W8Y2 × (<i>P. acetosum</i> × <i>P. salmoneum</i>) 16] 9	F ₂
12	<i>P. salmoneum</i>	Wild species

理区とした。また、このハウス内にさらに小型のビニールハウスを設置し、この中に鉢植えの供試個体を入れた状態を高温処理区とした。高温処理は、2000 年 5 月 20 日～31 日の晴天日に 3 回行った (Fig. 1).

2. 高温ストレス耐性評価に関する形質の調査とその評価方法

5 月における高温処理および 8 月の自然高温下での高温ストレス耐性の評価は、5 月における換気扇付きビニールハウス内の供試個体 (無処理区) を対照とした。調査した各形質および方法は次の通りであった。

(1) 高温処理後の葉および花の形態的観察

高温ストレス耐性を評価するために、葉の活力および葉色、また、花色の変化および花弁の大きさを基にし、それぞれ無処理区を 5 (高温障害が無)、高温による最も障害の大きい個体を 1 (高温障害甚大) とした 5 段階の基準を設けた。観察は 1 回目の処理後 5 月 22 日、2 回目の処理後 28 日、3 回目の処理後 6 月 2 日に行った。

(2) 葉緑素含量

葉緑素含量は葉緑素計 MINOLTA SPAD-502 型を用いて測定した。この指示値 (SPAD 値) は、葉緑素含量そのものを表す値ではないが、試料中の葉緑素含量と相関 ($r=0.792^{***}$, $n=29$, 未発表) のある値を示す。各供試材料につき 5 月の調査では 3 から 5 個体、8 月の調査では 5 個体を用い、各個体あたり上位葉 5 枚について 15 点 (1 枚の葉に 3 箇所) を測定した。高温処理および自然の高温による葉緑素含量の変化は、野生種や雑種系統が本来持っている固有の葉緑素含量を補正する意味で、高温

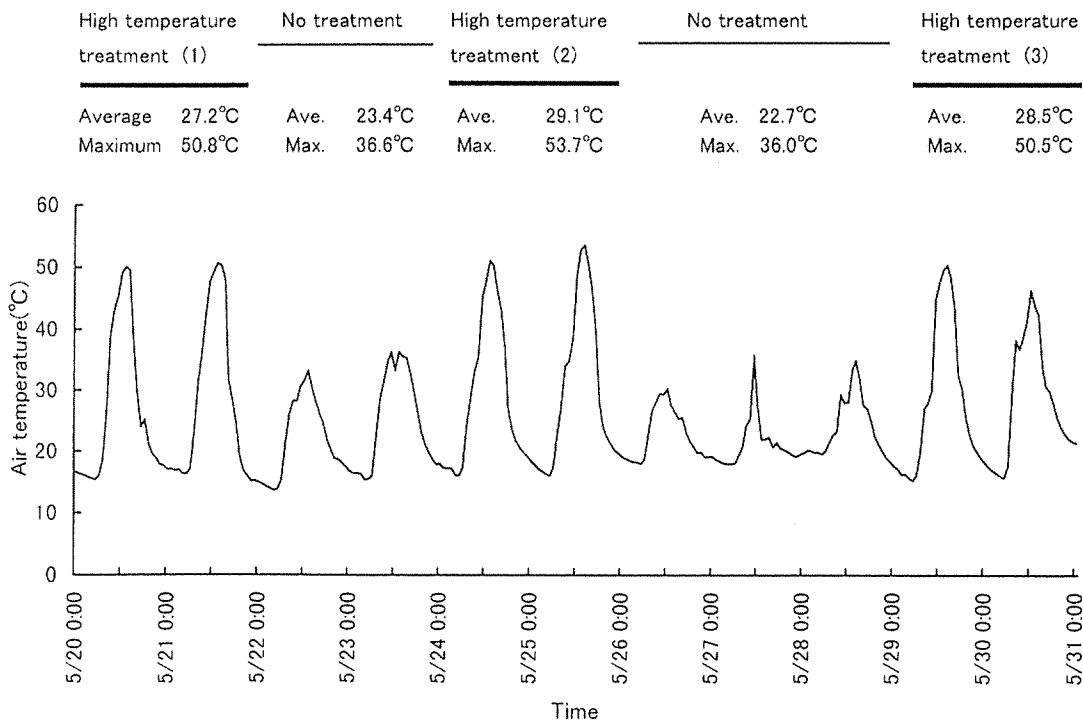


Fig. 1. Process of high temperature treatment (2000)

処理区の SPAD 値/無処理区の SPAD 値を求め、これを SPAD 比 I とし、8 月の SPAD 値/5 月の無処理区の SPAD 値を求め、これを SPAD 比 II とした。高温処理個体の測定は 2 回目処理後の 5 月 28 日に行った。

(3) 開花時花器形質

供試系統あたり 5 個体について個体あたりの小花数、花梗あたり的小花数および花卉面積〔花卉の長さ×幅 (cm)〕を調査した。8 月におけるこれらの値も前述の葉緑素含量と同様な理由で 5 月の無処理区の値との比較で表示した。

(4) 花色

花色調査には日本園芸植物標準色票 (農林水産省編) を用いて、開花当日の花卉を測色した。また、Hunter 全自動色差計 (東京電色, TC-6FD 型) を用いて CIE 1976 (森 1991) 表色系 L^* , a^* , b^* 値を測定した。8 月の花色と無処理区 (5 月) の花色の変異を表す ΔE^*ab (色差) 値は $\Delta E^*ab = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$ により算出した。

(5) 葉温

葉温の測定には MINOLTA 放射温度計 505S を、気温の測定には ANRITSU THERMO PRINTER AP-210 温度計を用いた。葉温は 8 月 29 日の午前 10 時から午後 5 時まで 1 時間毎に測定した。また、葉温の変化を詳細に調査するため、8 月の晴天日の数日間を選んで午前 10 時から午後 5 時までの間、4 分毎に葉温と気温を測定した。測定器の都合で系統により測定日が異なったため、葉気温差 (気温 - 葉温) を求めた。

結果

1. 5 月の高温処理による高温ストレス耐性の系統間差

5 月 20 日から 31 日にかけて 3 回行った高温処理によるハウス内の気温の推移を Fig. 1 に示した。高温処理により一時的に (午後 2 時ごろ) 最高 53.7°C まで上昇した。平均気温は 27 ~ 29°C であった。無処理区では、最高 36.6°C、平均気温は約 23°C を示した。最低気温は処理の有無に係わらず 15°C 程度であった。1 回目の処理 (5 月 20 ~ 22 日) 後の観察では葉、花いずれにも高温障害があまり見られなかった (Fig. 2-a)。しかし、2 回目の処理 (5 月 24 ~ 26 日) 後では系統 1 が立ち枯れしたほか、ほぼ全ての系統で葉の黄化、花色の褪せ、花卉の縮小や蕾の枯れなどが観察された。形態的な高温障害から判定した葉または花の高温ストレス耐性評価値 (1 ~ 5) は約 1.0 から 4.3 であった。系統 2, 4, 5, 6, 11, 12 の 6 系統は高温処理による葉の高温障害が比較的軽く (Fig. 2-b)、その中の 5 系統が野生種 *P. inquinans*, *P. salmoneum* およびそれらの雑種であった。系統 2, 4, 5, 11, 12 の 5 系統は花の高温障害が比較的軽く、その中の 4 系統が野生種 *P. inquinans* の雑種 2 系統と野生種 *P. salmoneum* およびその雑種であった。葉と花の双方の評価値 3.0 以上を示したのは系統 2, 4, 5, 11, 12 であった。2 回目の

処理において、葉の高温ストレス耐性評価値と花の高温ストレス耐性評価値の間には強い相関関係が認められた (Fig. 2-b)。3 回目の処理 (5 月 29 ~ 31 日) 後は、系統 5 のほか全ての系統で高温障害がひどくなった (Fig. 2-c)。

2 回目の高温処理後、葉が枯れた系統 1 は SPAD 値を正確に測定できなかったが、全ての系統で処理により SPAD 値が減少した。その結果、SPAD 比 I は平均で 0.728 (最高が系統 6 の 0.791, 最低が系統 7 の 0.637) であった。この SPAD 比を逆正弦変換し分散分析を行った結果、5% 水準で有意な系統間差が認められた (Fig. 3)。

SPAD 比 I と葉および花の高温ストレス耐性評価値の間にはそれぞれ 0.1%, 1% 有意水準で正の相関関係が認められた (Fig. 4)。

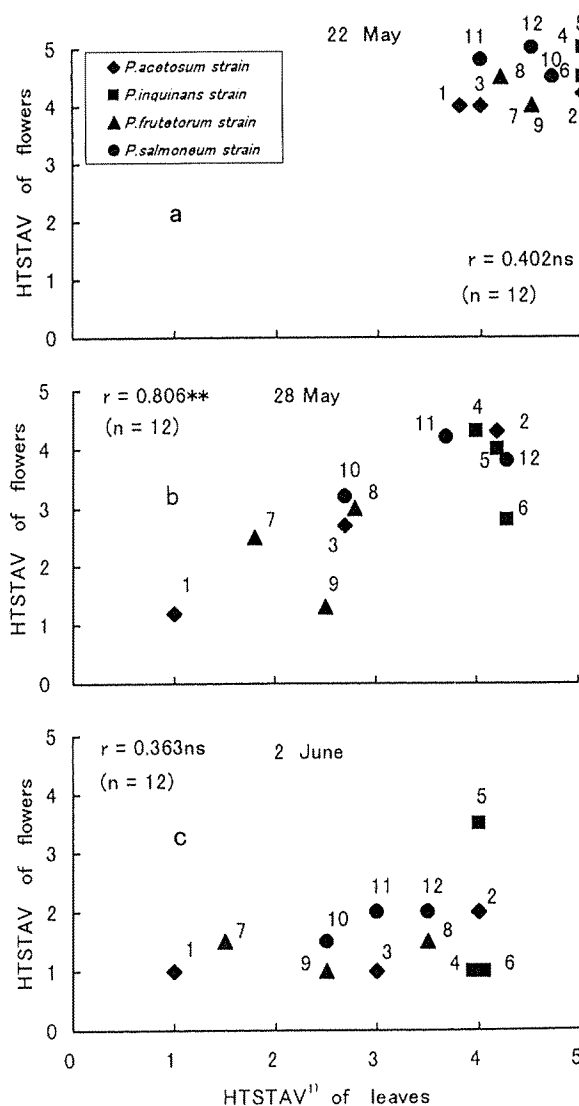


Fig. 2. High-temperature stress tolerance of leaves and flowers under high-temperature treatments

¹⁾ High-temperature stress tolerance assessment value (HTSTAV)

a: High-temperature tolerance assessment on 22 May

b: High-temperature tolerance assessment on 28 May

c: High-temperature tolerance assessment on 2 June

2. 夏期の高温における高温ストレス耐性の系統間差

換気扇付きビニールハウス内で栽培していたゼラニウム各系統の高温期（8月）における諸特性を適温期（5月）のそれと比較し、その結果をTable 2に示した。なお、8月のハウス内気温（午前10時から午後5時まで）は最高が44.0°C、最低が32.2°C、平均が37.2°Cであった。SPAD値についてみると、系統2, 4, 5, 11, 12の5系統では、8月と5月はほぼ同程度であった。しかし、8月に系統1は5月における含量の70%と高温による低下が見られた。なお、ほかの系統でもクロロシスの発生が現れた。また、系統1は5月に高温処理した場合も立ち枯れしており、高温ストレスに極めて弱いことがわかった。

8月における個体あたりの小花数を調査したところ、系統11は5月よりも小花数が多く、系統2, 4, 6の3系統は5月とほぼ同程度であった。また、残りの系統においては小花数が減少した（Table 2）。花梗あたり的小花数は、5月に比べると全ての系統で減少し、系統間で差が見られ、0.96から0.29までの変異が認められた。花卉面積は全ての系統で著しく小さくなり、夏期の高温下で5月の花卉面積を維持できる系統が見られなかった。5月における花色は4R, 7R, 2RP, 5RPあるいは7RPであった。色差値から見て、系統3, 4, 9の3系統では花色の変化があまり見られなかったが、残りの系統では花色に大きな変化が見られた。このように、夏期の高温による個体あたり的小花数、花梗あたり的小花数、花卉面積や花色の変化にも系統間差が見られた。しかし、これらの形

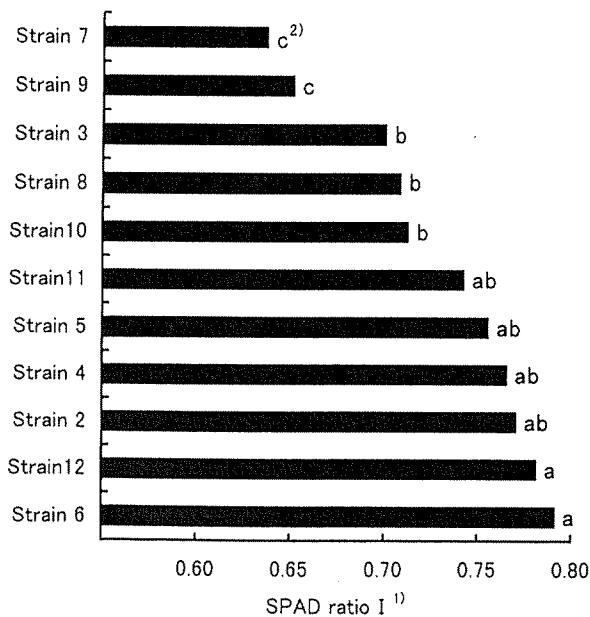


Fig. 3. Ratio of chlorophyll content in various strains under the second high-temperature treatments on 28 May

¹⁾ SPAD value of treatment/SPAD value of control

²⁾ Separation of values by Tukey's multiple range test at $p = 0.05$

質比（8月/5月）と SPAD 比 II との間には有意な相関関係が認められなかった。

そこで、開花時花器形質を総合的に評価するため、小花数比、花卉面積比の評価をそれぞれ5段階のスコア（Table 3）で表し、開花時花器形質を合計スコアの平均値で示した。系統2, 4, 10, 11の4系統が3.0以上の評価値を示した（Table 2）。この4系統のうち3系統が野生種 *P. inquinans* または *P. salmoneum* の雑種であった。特に、系統2は開花時花器形質評価値が4.7で、最も強い高温ストレス耐性を有していた。SPAD 比 II と開花時花器形質評価値との間には有意な相関関係が認められなかった。しかしながら、花の高温ストレス耐性評価値（5月）と夏期に調査した開花時花器形質評価値との間には有意な相関関係が見られた ($r = 0.630^*$)。

3. 高温ストレス耐性と葉温との関係

8月29日における各系統の葉温（測定値の平均値）は概ね34.5~38.0°Cであった。この葉温と SPAD 比 II との間には1%の有意水準で負の相関関係が認められ（Fig. 5-a）、SPAD 比 II が高いものほど葉温が低かった。また、葉気温差と SPAD 比 II との間にも1%の有意水準で正の相関関係が認められ（Fig. 5-b）、葉気温差が大きい系統ほど SPAD 比 II は高かった。一方、8月に調査した開花時花器形質（開花花梗数、小花数および花卉面積）には葉

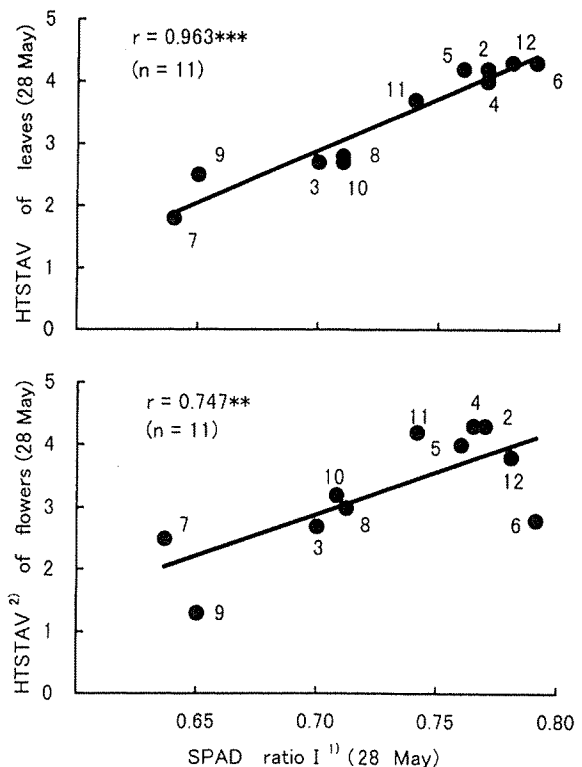


Fig. 4. Ratio of chlorophyll content and the assessment of high-temperature stress tolerance in leaves and flowers

¹⁾ SPAD value of treatment/SPAD value of control

²⁾ High-temperature stress tolerance assessment value

Table 2. Assessment of high-temperature stress tolerance and characters of the strains under optimum growth and high temperature conditions

Strain No.	SPAD value			No. of florets/Individual			No. of florets/Peduncle		
	May	August	Ratio ¹⁾	May	August	Ratio ²⁾	May	August	Ratio ³⁾
1	63.1	44.3	0.70	96.5	86.6	0.90	26.8	11.1	0.41
2	62.8	59.3	0.94	69.1	80.3	1.16	10.8	10.3	0.95
3	52.5	46.8	0.89	87.4	40.7	0.47	9.5	5.5	0.58
4	43.8	43.5	0.99	97.7	101.2	1.04	40.7	23.0	0.57
5	45.2	42.8	0.95	124.8	92.4	0.74	31.2	14.9	0.48
6	42.5	36.9	0.87	138.9	140.0	1.01	24.8	14.0	0.56
7	42.9	36.3	0.85	213.2	171.4	0.80	32.3	11.9	0.40
8	44.5	37.1	0.83	357.1	89.1	0.25	37.2	13.5	0.36
9	38.8	32.8	0.85	268.3	30.4	0.11	25.8	7.6	0.29
10	55.8	48.9	0.88	215.7	183.5	0.85	33.7	27.8	0.83
11	38.5	35.8	0.93	78.7	129.3	1.64	12.7	12.2	0.96
12	47.3	51.4	1.09	96.5	84.6	0.88	19.3	9.4	0.49

Strain No.	Petal area (cm ²)			Petal color		Scores (August)
	May	August	Ratio ⁴⁾	Color ⁵⁾	$\Delta E^*ab^6)$	HTSTAV ⁷⁾ of flowers
1	5.39	2.57	0.48	7RP(9706)	8.04	2.0
2	1.63	1.16	0.71	5RP(9504)	9.79	4.7
3	1.96	0.95	0.48	2RP(9202)	4.26	1.7
4	3.40	2.03	0.60	4R(0406)	3.10	3.0
5	3.92	2.31	0.59	7R(0706)	6.56	2.0
6	2.21	0.90	0.41	7R(0706)	6.78	2.7
7	3.84	2.30	0.60	7R(0705)	7.83	2.3
8	4.12	2.56	0.62	7R(0704)	10.62	1.7
9	2.83	1.69	0.60	7R(0704)	3.30	1.3
10	4.07	2.75	0.67	4R(0402)	7.87	4.0
11	2.73	1.87	0.69	2RP(9204)	8.03	4.3
12	3.99	2.23	0.56	7R(0705)	17.93	2.3

¹⁾ Value on 30 August/value on 11 May ²⁾ Value in August/value in May³⁾ Value on 31 August/value on 15 May ⁴⁾ Value on 15–22 August/value on 5–12 May⁵⁾ Petal color in May⁶⁾ Difference between color value on 10–17 August and color value on 10–13 May⁷⁾ High-temperature stress tolerance assessment value**Table 3.** Scores in characters for assessing high-temperature stress tolerance of flowers¹⁾

Characters	Scores				
	1	2	3	4	5
Ratio of floret number per individual	≤ 0.25	0.26–0.50	0.51–0.75	0.76–1.00	> 1.00
Ratio of floret number per peduncle	≤ 0.50	0.51–0.60	0.61–0.70	0.71–0.80	> 0.80
Petal area ratio	≤ 0.50	0.51–0.60	0.61–0.70	0.71–0.80	> 0.80

¹⁾ Scores of flower heat tolerance = Total scores of ratio of floret number per individual, ratio of floret number per peduncle and petal area ratio/3

温や葉気温差との関連性は見られなかった。

考察

温度が葉緑素含量に及ぼす影響については、これまでにも多くの研究が行われ、マリーゴールドにおいては葉

緑素含量に温度が大きく影響する (Armitage and Carlson 1981)。ゼラニウムに関しては、一定期間の暗黒条件下では、葉緑素含量と気温 (4.5 ~ 21°C) との間に負の相関関係があること (Marousky and Harbaugh 1981)、32°C 以上の高温条件下で栽培するとクロロシスが生じ、植物体が枯死すること (Armitage *et al.* 1981) が報告されており、

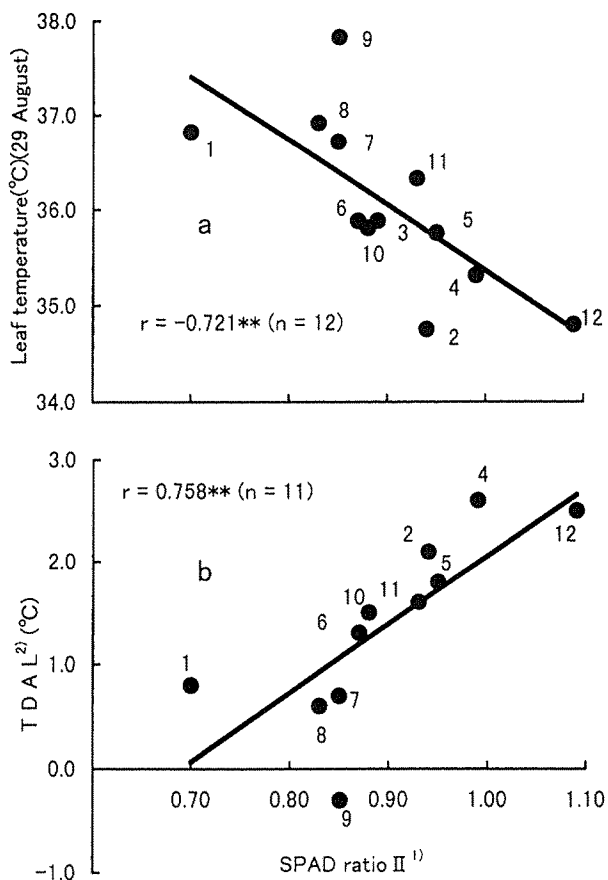


Fig. 5. Correlation between SPAD ratio II and leaf temperature, TDAL

¹⁾ SPAD value in August/SPAD value of control in May

²⁾ Temperature difference between air and leaves

高温ストレスはクロロシス発生の要因の一つと考えられる。今回の実験でも5月に高温処理を断続的に行ったところ、全ての供試系統でクロロシスが発生し、SPAD比Iには明らかな系統間差が見られた (Fig. 3)。また、このSPAD比Iは5月の葉および花の高温ストレス耐性評価との間に正の相関関係が認められた (Fig. 4)。これらの結果はSPAD比Iを指標として、葉や花の高温ストレス耐性が評価できる可能性を示唆している。

花芽や花蕾の成長発育は環境温度に左右されやすく、特に、花茎数や花持ち、花の大きさおよび花色など花の品質が温度に影響される (五井 1985, 松井・禰 1994, 樋口 1999)。インパチェンスでは花が高温 (35°C) によって小さくなり (Lee *et al.* 1990)、ゼラニウムでも高温 (32°C) によって小花数が著しく減少し、花が小さくなると報告されている (Armitage *et al.* 1981)。本実験でも同様に、夏期の高温による花梗数、小花数の減少や花卉の縮小などが観察され、花の品質は高温下で劣ることが確かめられた (Table 2)。8月における開花時花器形質評価値とSPAD比IIとの間の関連性を見ると、両者には有意な相関は見られなかった。このことは、高温ストレスが開花時花器形質に及ぼす影響はSPAD比で評価できず、小花数比および花卉面積比に基づく開花時花器形質評価が必

要であることを示した。

葉温は気温や日照に対する植物体の直接的な反応であり、葉温は高温ストレス耐性を表す一指標である (Kitroongruang *et al.* 1992)。今回の実験では、SPAD比IIと葉温との間に負の相関関係が、また、これと葉気温差との間に正の相関関係が見られた。この結果から、高温ストレスによるSPAD比の系統間差には、葉温の系統間差が関与していると考えられる。今後は系統間における葉温の差異の起因を解明していく必要があると思われる。一方、8月に行った調査結果では、小花数比および花卉面積比と、葉温あるいは葉気温差との間にはいずれも相関が見られなかった。これは葉温の系統間差が開花時花器形質の変化には影響を及ぼさないことを示している。

以上のことから、栽培適温期 (5月) に高温処理し、SPAD比を調査するとともに葉や花の高温障害を観察し、それに基づいて評価すれば、ゼラニウムの高温ストレス耐性系統を選抜できると考えられる。しかし、本実験のような短期間の処理方法では、高温による花の高温障害を観察することはできるが、開花花梗数や小花数への影響まで評価することはできない。8月の高温期は5月の処理区ほど気温が上がらず、また気温が長期に亘って徐々に上昇することもあるか、開花時花器形質による高温ストレス耐性評価が可能であった。従って、ゼラニウムの高温ストレス耐性の選抜にあたっては、5月に高温処理し、SPAD比による一次選抜を行い、次いで8月の高温期に、開花時花器形質評価から選抜する二次評価方法が効果的と思われる。5月に開花時花器形質に関する開花花梗数や小花数への影響を評価するのはできないものの、SPAD比で一旦選抜することにより、系統数が減少し、栽培の労力および面積が削減される利点がある。本実験で用いた高温処理法は、極めて簡易で安価な操作であり、多数のゼラニウム系統を供試する高温ストレス耐性系統の選抜には特に有効であるといえる。

引用文献

- Armitage, A. M. and W. H. Carlson (1981) The effect of quantum flux density, day and night temperature and phosphorus and potassium status on anthocyanin and chlorophyll content in marigold leaves. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 106: 639-642.
- Armitage, A. M., W. H. Carlson and J. A. Flore (1981) The effect of temperature and quantum flux density on the morphology, physiology, and flowering of hybrid geraniums. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 106: 643-647.
- Dobay, I. (1978) Notes of the ancestry of cultivated pelargoniums. *Proc. of the Australian national pelargonium/geranium convention.* Sydney 81-84.
- 五井正憲 (1985) 花卉の開花調節 (15). *農及園.* 60: 585-591.
- 樋口春三 (1999) 観賞園芸花卉の生産と利用. *全国農業改良普及協会* 379-405.
- Kitroongruang, N., S. Jodo, M. Hisai and M. Kato (1992) Photosyn-

- thetic characteristics of melons grown under high temperature. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 61: 107-114.
- Lee, W. S., J. E. Barret and T. A. Nell (1990) High temperature effects on the growth and flowering of *Impatiens wallerana* cultivars. Acta Horticulturae 272: 121-127.
- Marousky, F. J. and B. K. Harbaugh (1981) Influence of temperature, light, and ethylene on seedlings of geranium (*Pelargonium × hortorum* Bailey) during simulated shipping conditions. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 106: 527-530.
- 松井鏑一郎・禿 泰雄 (1994) 開花期の気温と光が *Dendrobium* 交配種の花の形質に及ぼす影響. 岐阜大農研報 59: 49-55.
- Merritt, R. H. and H. C. Kohl, Jr. (1985) Photoperiod and soil temperature effects on crop productivity efficiency and growth of seedling geraniums in the greenhouse. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 110: 204-207.
- 森 礼於 (1991) 国際照明委員会 (CIE), 色彩科学事典, 日本色彩学会編, 朝倉書店, 東京. 107.
- Welander, N. Torkel (1983) Effect of temperature and irradiance on vegetative and generative development in *Pelargonium × hortorum* 'Radio'. Scientia Horticulturae 21: 283-290.
- Whealy, C. A., T. A. Nell and J. E. Barrett (1987) High temperature effects on growth and floral development of *Chrysanthemum morifolium*. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112: 464-468.
- White, J. W. and I. J. Warrington (1984) Growth and development responses of geranium to temperature, light integral, CO₂, and chlormequat. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 109: 728-735.
- White, J. W. and I. J. Warrington (1988) Temperature and light integral effects on growth and flowering of hybrid geraniums. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 113: 354-359.
- White, J. W. and S. M. Polys (1987) Photon flux and leaf temperature effects on flower initiation and early development of 'Red Elite' geraniums. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112: 945-950.
- Yoshida, S., T. Satake and D. J. Mackill (1981) High temperature stress in rice. IRRI Research Series 67: 1-15.

Varietal Differences and Method of Selection for High-Temperature Stress Tolerance in Geranium (*Pelargonium × hortorum* Bailey)

Jingen Deng, Kana Hondo, Fumika Kakihara and Masahiro Kato

Faculty of Agriculture, Ehime University, 3-5-7 Tarumi, Matsuyama, Ehime 790-8566, Japan

Twelve genotypes of geranium (*Pelargonium × hortorum* Bailey) were grown in a greenhouse. Experiments were conducted to identify the response of the geraniums to high-temperature stress in order to develop a method of selection for high-temperature stress tolerance. All of the accessions showed a decrease in chlorophyll content under high-temperature treatments. A significant difference was found in the SPAD ratio I (treatment / no treatment) (SPAD-RI) in twelve accessions. Variation was found in high-temperature stress tolerance among accessions, and one wild species and four hybrid accessions showed a high-temperature stress tolerance. Moreover, a significant correlation was found between leaves and flowers in the value of high-temperature stress tolerance assessment ($r = 0.806^{**}$), between SPAD-R I and high-temperature stress tolerance assessment value (HTSTAV) of leaves ($r = 0.963^{***}$), and between SPAD-RI and HTSTAV of flowers ($r = 0.747^{**}$). Some characters were assessed and rated on a score of one to five. Flower quality was assessed for each

accession under high-temperature conditions in August. High-temperature stress tolerance was found in four hybrid accessions. However, there was no significant correlation between the SPAD ratio II (August / no treatment in May)(SPAD-RII) and the value of flower quality assessment. A negative correlation was found between the leaf temperature and SPAD-RII ($r = -0.721^{**}$), but it unlike between the leaf temperature and flowering characters. A significant correlation was found between HTSTAV of flowers and the value of flower quality assessment ($r = 0.630^{*}$). These results suggest that high-temperature stress-tolerant varieties could be selected by high-temperature treatment during the optimum growth period (May in Japan) and then by comparison of certain characters under high-temperature conditions and optimum growth conditions within one year.

Key Words: *Pelargonium × hortorum*, wild species, high-temperature stress, varietal differences, method of selection.