

ナデシコ属における花の香気成分の特徴 —芳香性カーネーションの育種素材としての評価—

(独)農研機構・花き研究所 岸本久太郎

1. はじめに

ナデシコ科 (Caryophyllaceae) のナデシコ属 (*Dianthus*) は、約300種がヨーロッパやアジアの温帯に分布し、北アメリカやアフリカ高地にもわずかに自生することが知られている¹⁾。日本には、自生種として2変種を含む6種が分布している²⁾。主要な花き品目の一つであるカーネーション (*D. caryophyllus*) を含む本属は、種間交雑が比較的容易であることから、その性質を利用して交雑育種が盛んに行われてきた。これまでに少なくとも20種以上の野生種が、カーネーションやセキチク (*D. chinensis*) などの園芸品種の育種に貢献してきたと考えられている¹⁾。カーネーションに代表されるように、ナデシコ属園芸品種に認められる多様な花形や花色は、遺伝資源活用の賜物と言えるが、野生種には未活用の優良形質が多く残されており、未だ育種素材としての魅力は豊富である。近年では、日本産の野生種を育種材料として、カーネーションの花形や花色³⁾、あるいは開花性等⁴⁾を改良する試みも行われている。

農研機構・花き研究所では、遺伝資源として200系統以上のナデシコ属野生種が維持されている。その中から、カーネーションの主要病害である萎凋細菌病に対して強い抵抗性を示す野生種 (*D. capitatus*) が見出され、世界初の本病害抵抗性カーネーション品種が作出されるなど⁵⁾、

遺伝資源を育種材料として利用する取り組みが行われている。本稿では、花き研究所が保有するナデシコ属野生種の香気成分の調査結果から、カーネーションの芳香性育種素材としての有用性を議論する。

2. カーネーションの香り

カーネーションはナデシコ属園芸品種の中で最もポピュラーな花き品目であり、主に切り花として利用されている。平成23年度の花き生産出荷統計 (農林水産省) に拠れば、日本の切り花類ではキクに次いで出荷量が多く、全出荷量の約8%を占める。国内における流通量は安定しているものの、安価な輸入品の占める割合が増加しており、国内生産量は年々減少している⁶⁾。そのため、国産カーネーションには、輸入品に対抗するための付加価値が求められている。

花の香りは、消費者が切り花を購入する際に重視する品質の一つである⁷⁾。しかしながら、切り花用カーネーションにおいて、芳香性をセールスポイントにした品種は市販されていないように見受けられる。2012年度の花き研究所一般公開で実施したアンケートでは、キク、バラ、カーネーション、ユリといった経済規模の大きい切り花類にチューリップを加えた5品目の内、「香りをイメージできる花は何ですか?」の問いに対して、カーネーションを選択した人は約8%

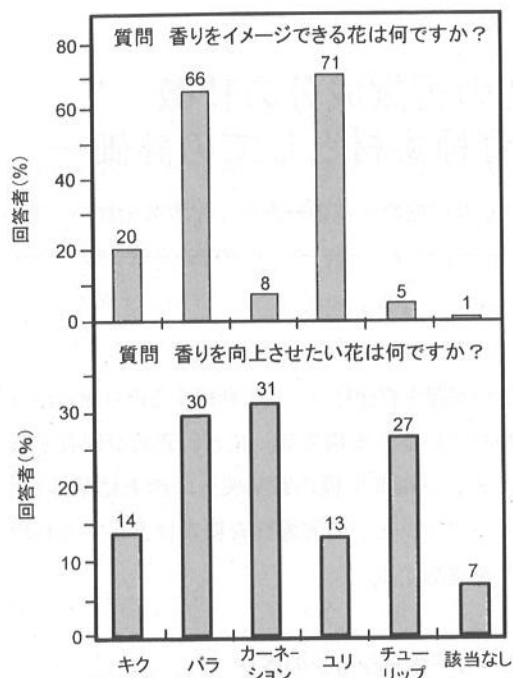


図-1 花き研究所一般公開で実施したアンケート調査(有効回答者数870人, 複数回答可)

であった(図-1)。これは、ユリやバラの選択者の割合(それぞれ約66%と約71%)に比べると非常に少ない結果である(図-1)。一方、同アンケートの「香りを向上させたい花は何ですか?」の問いに対して、最も多く選ばれたのが

カーネーション(約31%)であった(図-1)。このことから、消費者の多くはカーネーションの香りを認知しておらず、カーネーションには他の花き品目と比較して香りの改善が求められていることがうかがえる。

カーネーションの香りは、主に芳香族化合物、テルペノイド、脂肪酸誘導体の3種類の香気成分で構成される^{8,9,10}。特に重要な香気寄与成分は、香気成分を最も多く占める芳香族化合物である。Cleryらの調査によれば、古典的なカーネーション品種は、芳香族化合物のオイゲノールに由来するクローブ様の香りを有しているが、現在の品種は、香気分量や香気成分の種類が著しく減少し、ドライフルーツ様の香りの芳香族化合物である安息香酸メチルの割合が突出した単調な香気成分であることが明らかにされている⁸。われわれも赤色の主要品種‘フランセスコ’を含むいくつかのカーネーション品種の香気成分を調査した結果、同様な結果を得ている¹¹(‘フランセスコ’については表-1)。これらの結果は、現在のカーネーション品種の多くが微香で、香りの種類も乏しいことを示しており、わ

表-1 カーネーションとナデシコ属野生種の花における香気成分発散量

カーネーション	芳香族化合物				テルペノイド			脂肪酸誘導体	
	安息香酸メチル	サリチル酸メチル	イソオイゲノール	その他の芳香族化合物	β -オンメン	β -カリオフィレン	その他のテルペノイド	(2)-3-ヘキセニルアセテート	その他の脂肪酸誘導体
フランセスコ	0.9 ± 0.0	n.d.	n.d.	trace	n.d.	trace	trace	0.2 ± 0.0	trace
ナデシコ属野生種									
グループ1									
<i>D. hungaricus</i>	27.1 ± 3.7	17.4 ± 1.6	10.9 ± 1.1	13.8 ± 3.6	0.8 ± 0.3	n.d.	0.4 ± 0.3	7.2 ± 0.5	2.0 ± 1.4
<i>D. pyrenaicus</i>	0.4 ± 0.2	20.7 ± 8.6	11.0 ± 6.2	3.8 ± 1.7	4.9 ± 0.4	n.d.	1.2 ± 0.5	7.6 ± 0.9	2.5 ± 0.9
<i>D. sp. 1</i>	3.4 ± 1.4	21.4 ± 7.8	14.4 ± 4.5	10.2 ± 5.9	n.d.	n.d.	1.1 ± 0.2	5.6 ± 1.5	0.6 ± 0.2
グループ2									
エソカワナデシコ	n.d.	3.7 ± 0.4	n.d.	1.0 ± 0.1	77.5 ± 3.4	17.7 ± 0.7	6.0 ± 0.4	2.9 ± 0.9	0.1 ± 0.1
カワナデシコ	n.d.	4.3 ± 0.6	n.d.	2.2 ± 0.2	44.5 ± 4.1	10.4 ± 0.3	2.2 ± 0.2	8.9 ± 1.9	10.8 ± 0.5
タカネナデシコ	n.d.	n.d.	n.d.	0.7 ± 0.1	72.7 ± 29.0	16.9 ± 2.2	4.9 ± 2.1	4.6 ± 0.6	2.3 ± 0.4
グループ3									
<i>D. sp. 2</i>	4.9 ± 0.5	2.7 ± 0.1	n.d.	1.1 ± 0.4	n.d.	n.d.	2.0 ± 0.4	17.2 ± 5.9	2.3 ± 0.8
<i>D. sp. 3</i>	15.4 ± 0.6	8.8 ± 1.7	n.d.	2.5 ± 1.0	n.d.	0.5 ± 0.1	1.5 ± 0.0	26.5 ± 3.7	1.3 ± 1.0
<i>D. banaticus</i>	n.d.	n.d.	n.d.	1.8 ± 1.4	18.7 ± 6.5	n.d.	7.4 ± 3.0	14.4 ± 5.4	4.5 ± 2.6

数値はnmol gFW⁻¹ h⁻¹, (n = 3)

trace < 0.1

n.d. は非検出

太字は各花の主要な香気成分

れわれが行ったアンケートの結果は、これらの特徴を反映していると思われる。従って、カーネーションにおける香気成分量の増加や、安息香酸メチル以外の香気成分の付加は、カーネーションの芳香性を改善し、その付加価値の向上につながるかと期待される。

3. ナデシコ属野生種の香り

3-1 香りと発散香気成分

われわれは、ナデシコ属野生種の中から、嗅覚的に強い香り、あるいは特徴的な香りと感じられた11系統を選び、これらを官能的な評価に基づいて分類した^{11), 12)}。その結果、ナデシコ属野生種の香りの特徴は3つに大別された(図-2)。グループ1は他のグループと比較して香りが比較的強く、薬品様の香り、あるいはスパイシーな香りを有する。グループ2は、柑橘様の香り、あるいは

木質様の香りを有し、*D. superbus*種のみで構成されていた。*D. superbus*は、エゾカワラナデシコが基本種とされ、カワラナデシコ (var. *longicalycinus*) とタカネナデシコ (var. *speciosus*) はその変種に相当する。いずれも日本に自生する種類である。興味深いことに、これまでの調査で、グループ2と類似した香りをもつ他の野生種は見つかっていない。グループ3は、青臭みを伴う香りが特徴である。

各花から発散された揮発成分を動的ヘッドスペース法¹³⁾でテナックスTAカラムに吸着させ、採取した香気成分をガスクロマトグラフ質量分析によって解析した¹²⁾。その結果、ナデシコ属野生種の香りは、カーネーションと同様に基本的には芳香族化合物、テルペノイドおよび脂肪酸誘導体で構成されているが、現代的なカーネーション品種とは異なり、豊富な種類の香気

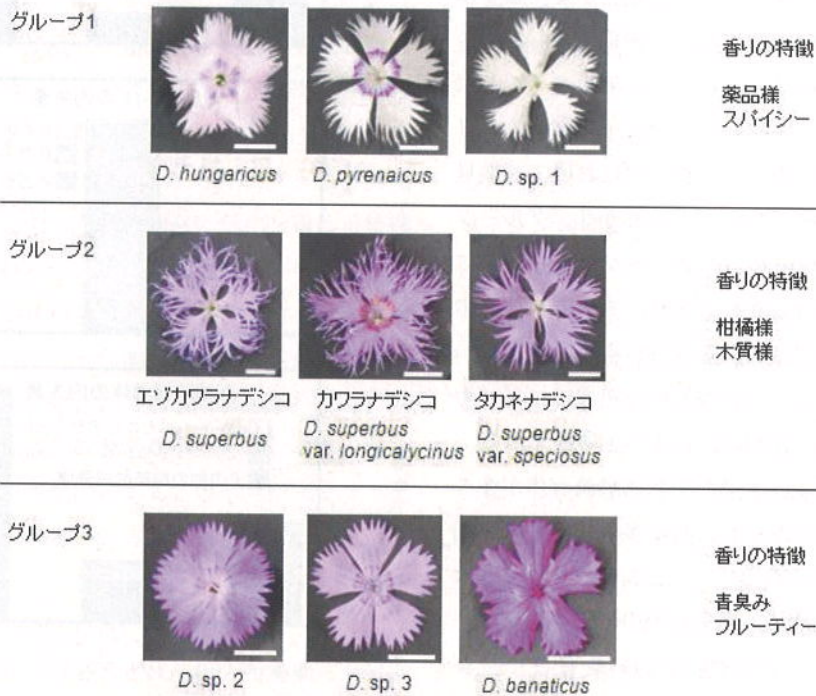


図-2 ナデシコ属野生種における花の香りの嗅覚的なグループ分け (スケールバーは10 mm)

成分を含んでいることが明らかとなった(表-1)。

グループ1の主要な香気成分は芳香族化合物で、特にサリチル酸メチルやイソオイゲノールが共通して多く検出された(表-1)。サリチル酸メチルは、日本では主に湿布葉の香料として使用され、イソオイゲノールは香辛料のクローブと類似した香りを有することから、本グループの薬品様の香りは主にサリチル酸メチルに、スパイシーな香りは主にイソオイゲノールに起因すると推定される。特にサリチル酸メチルは、嗅覚によって認識できる最小濃度が、イソオイゲノールや安息香酸メチルの3分の1程度であることから¹⁴⁾、本グループの最も重要な香気寄与成分であると考えられる。

グループ2の主要な香気成分はテルペノイドで、特にモノテルペンの β -オシメンとセスキテルペンの β -カリオフィレンの割合が突出して多かった(表-1)。本グループの柑橘様、あるいは木質様の香りは主にこれらのテルペノイドに起因すると推定される。 β -オシメンや β -カリオフィレンは、カーネーションにおいても散見される香気成分である^{8, 9, 10)}。しかし、グループ2では、これらのテルペノイドがほぼ独占的に香気成分の割合を占めており、その特徴が他の野生種と嗅覚的に異なる芳香性を生み出していると考えられる。この香気成分組成は、エゾカワラナデシコの仲間の注目すべき特徴である。グループ3には、共通して脂肪酸誘導体が多く含まれていた(表-1)。特に多く検出された脂肪酸誘導体は、(Z)-3-ヘキセニルアセテートであった。本化合物は、青臭さの中にフルーティーな甘さを感じさせる独特の匂いを有し¹⁴⁾、グループ3の香りを特徴付けていると考えられる。この調査結果から、嗅覚的な香りの大まかな違

いは、含まれる芳香族化合物やテルペノイド、脂肪酸誘導体の割合によって決定されると考えて良さそうである。また、これらの調査によって、ナデシコ属野生種の香気成分は多様だけでなく、同生体重当たりからの発散量もカーネーションと比較して非常に多いことが明らかとなった¹¹⁾(表-1)。

3-2 内生香気成分

われわれは、ナデシコ属野生種のがくを除いた花器官における香気成分の内生量についても検討した(図-3)。調査の結果、*D. hungaricus*

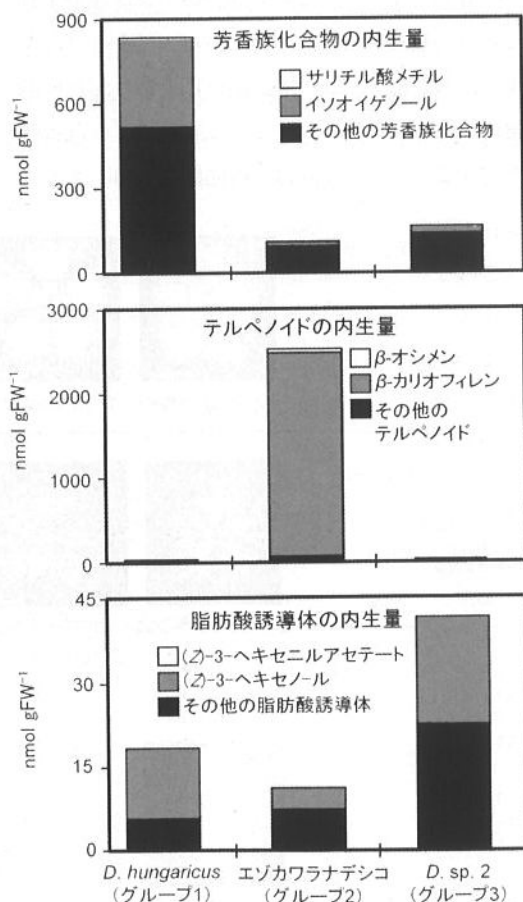


図-3 ナデシコ属野生種における花の内生香気成分量

(グループ1)の主要な発散香氣成分の一つであったサリチル酸メチルは、本種の主要な内生香氣成分ではなかった。一方、発散量の少なかつたいくつかの芳香族化合物は内生成分において高い割合を占めていた。エゾカワラナデシコ(グループ2)の最も主要な発散香氣成分であったβ-オシメンもまた、内生量に占める割合は少なかつた。*D. sp. 2*(グループ3)では、主要な発散香氣成分であった(2*Z*)-3-ヘキニルアセテートは、ほとんど検出されなかつたが、本化合物の前駆体である(2*Z*)-3-ヘキセノールが検出された。3種類の野生種において認められたそれぞれの特徴は、これらが属するグループの他の野生種にも共通していた¹²⁾。

これらの結果は、いくつかの香氣成分は、内生量が少ないにも関わらず、植物体外に効率よく発散され、重要な香氣寄与成分として機能していることを意味している。グループ1において、サリチル酸メチルの発散効率がもう一つの主要な発散香氣成分であるイソオイゲノールの発散効率よりも高い原因の一つとして、本化合物の沸点(222°C)が、イソオイゲノールの沸点(266°C)よりも低く、容易に気化し得る可能性が考えられる。同様に、内生量の割合が少なく発散量の割合が多かつたβ-オシメンや(2*Z*)-3-ヘキニルアセテートも他の主要な香氣成分と比較して低沸点の化合物である。このように花器官からの揮発成分の発散効率は、その沸点と負の相関性を示す傾向があることが、ペチュニアでも知られている¹³⁾。

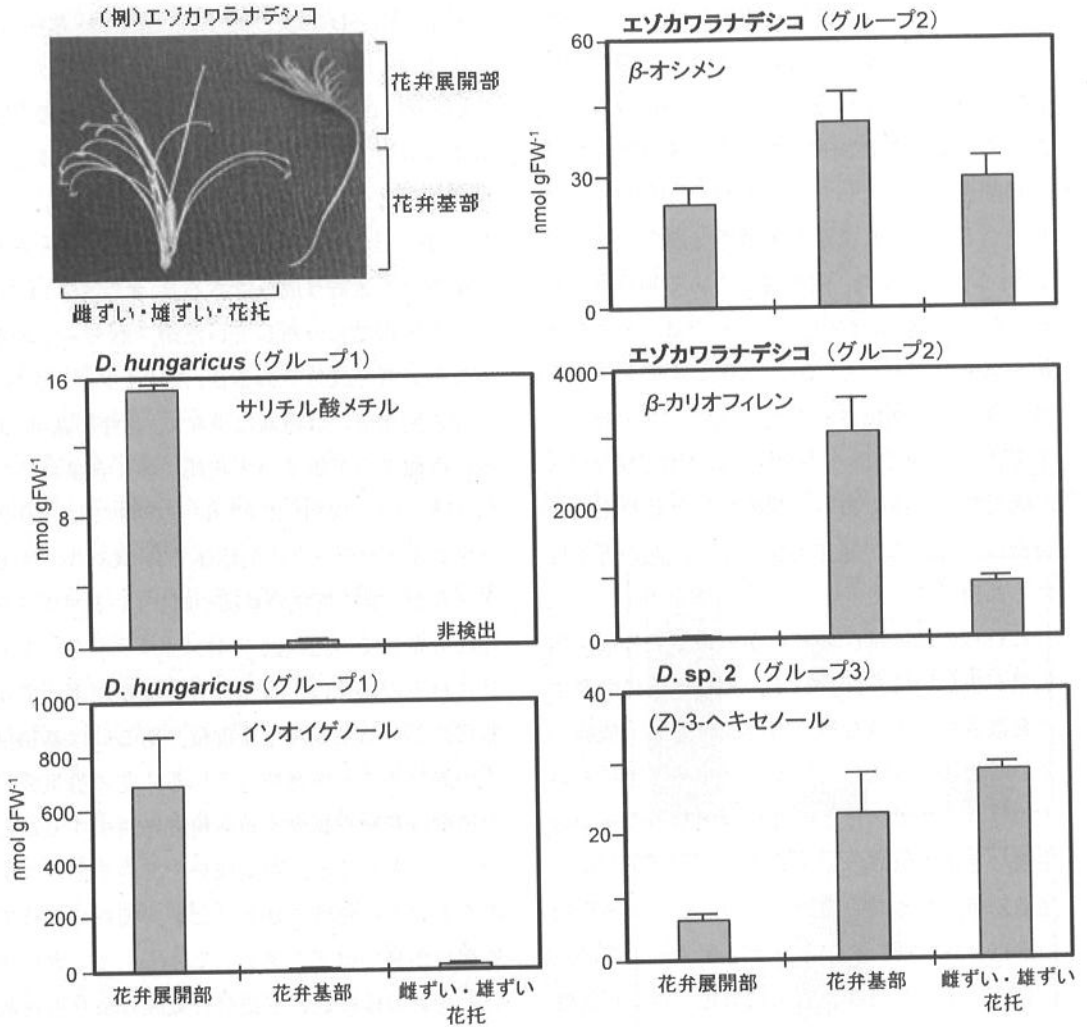
3-3. 香氣成分の分布

花器官における香氣成分の分布を明らかにするため、各グループの花弁の展開部(図-4)と普段はがくに包まれて見ることはできない花弁

の基部(図-4)および雌ずい・雄ずい・花托(図-4)における香氣成分の内生量を比較した。*D. hungaricus*(グループ1)では、最も重要な香氣寄与成分と考えられるサリチル酸メチルとイソオイゲノールが、花弁の展開部に分布していた(図-4)。エゾカワラナデシコ(グループ2)の重要な香氣寄与成分であるβ-オシメンは、いずれの器官にも分布していたが、もう一つの重要な香氣寄与成分であるβ-カリオフィレンは、花弁の展開部には極端に少なく、花弁の基部、あるいは雌ずい・雄ずい・花托に多く含まれていた(図-4)。*D. sp. 2*(グループ3)では、(2*Z*)-3-ヘキニルアセテートの前駆体である(2*Z*)-3-ヘキセノールが、主に花弁の基部や雌ずい・雄ずい・花托に分布していた(図-4)。

これらの結果は、香氣成分の種類によって花器官における主要な生産部位、あるいは蓄積部位が異なることを意味している。花の香氣成分の役割は花粉を媒介する送粉者を誘引することであると考え、香氣成分をできるだけ効率よく大気中に発散させることが、植物にとっても都合が良いはずである。しかし、β-カリオフィレンの様に他の主要な香氣成分よりも比較的沸点が高く、主に花弁の基部に分布している香氣成分は、大気中への蒸散効率が最適化されているとは言えず、生態学的・生理学的に興味のもたれるところである。

こうした花器官における香氣成分の分布の違いは、園芸学的にも重要な意味をもつ。園芸品種では、カーネーションの様に花弁の大輪化や八重化したものも多い。このような形態の花では、観賞価値の高い花弁の展開部の比重がより大きくなり、他の器官はその割合が減少するか、場合によっては消失する。従って、β-カリオフィレンの様に主に花弁の基部や雌ずい・雄ず



い・花托に分布する香気成分は、大輪化の恩恵を受けることはなく、むしろその生産性が低下することも考えられる。

4. ナデシコ属野生種の芳香性育種素材としての有用性

カーネーションにおける香気成分解析の結果から、現代的な品種の香りを向上させるためには、香気成分発散量の増加や安息香酸メチル以

外の香気成分の付与が効果的である。ナデシコ属野生種の香気成分発散量や香気成分組成の解析は、カーネーションに求められているこれらの新規形質が野生種に存在することを明らかにした。

グループ1は、カーネーションにおける芳香族化合物由来の香りをより強化するのに適した育種素材であると考えられる。加えて、グループ1の最も主要な香気寄与成分と目されるサリ

チル酸メチルは、カーネーションの香気成分としては量的にマイナーな因子であることから⁸⁾、本化合物をカーネーションの主要な香気成分として導入することができれば、質的にも新規性の高い芳香性品種の誕生が期待される。

グループ2は、カーネーションにテルペノイドの香りを導入するために適した交雑相手であると考えられる。 β -オシメンや β -カリオフィレンを含め、多くのテルペノイドはその心地良い香りが魅力的なだけでなく、カーネーションから発散される割合も芳香族化合物に比べると少ない^{8, 11)}(表-1)。テルペノイドが主要な香気成分としてカーネーションに獲得されれば、香りの新規性は高いと考えられる。

グループ3は、青臭みを伴うことから、カーネーションの香りの質的な向上には不適かもしれない。

われわれはナデシコ属野生種の香りを官能的な特徴から3つに大別した。今後もナデシコ属野生種の香気成分解析を継続予定であり、上記以外の香りを有する魅力的な野生種が存在する可能性がある。現在、花き研究所ではグループ1と2の野生種とカーネーションを交雑し、野生種の香気成分生合成能がそれらの後代に獲得されるかどうか検討を進めている¹¹⁾。

5. おわりに

Vainsteinらは、Cleryらの研究⁸⁾を引用して、「現在のカーネーションの香りが失われた原因は、香りに関する意図的な選択圧が働いたわけではないと思われる。例えば、花齢と香りが逆相関的な関係であれば、花齢を重視した選抜によって香りは失われてしまう。」という自説を披露している¹⁵⁾。確かに、バラの花で報告されているテルペノイドによる花齢の短縮¹⁶⁾と同様な

現象がカーネーションにも存在するならば、このような選択圧が働く原因となりそうである。

カーネーションにおける興味深い知見として、アントシアニン生合成関連酵素の一つであるフラバノン3-ヒドロキシラーゼの遺伝子発現をアンチセンス技術によって抑制すると、赤い花卉が白くなり、代わりに香気成分である安息香酸メチルの量が増加したという報告がある¹⁷⁾。これは、カーネーションの香気成分(安息香酸メチル)と色素(アントシアニン)が、その生合成過程において共通の基質である(E)-桂皮酸を奪い合っていることを示唆している。この見解が正しければ、濃い花色の(つまりはアントシアニン合成が盛んな)系統を選抜することで、香気成分生合成が盛んな系統が淘汰される可能性も考えられる。

植物の香気成分の特徴の一つとして、植物の防御応答を活性化する作用をもつ化合物が多いことが挙げられる。ナデシコ属野生種の主要な香気成分であることが判明したサリチル酸メチル¹⁸⁾や β -オシメン¹⁹⁾、 β -カリオフィレン²⁰⁾、(Z)-3-ヘキセノール²¹⁾にもそうした作用が知られており、これらの香気成分の導入は、カーネーションの病害抵抗性を高める可能性がある。

ナデシコ属野生種を交雑相手としてカーネーションの芳香性を向上させる研究は、「香りがカーネーションに獲得されるかどうか？」だけの興味に止まらない。「現代のカーネーションが何故香りを失ったのか?」、「香気成分の生理的な機能は何か?」。本研究によって、これら問いに対する答えのヒントも見えてくるかもしれない。

6. 引用文献

- Galbally, J. and E. Galbally. 1997. Carnation and pinks for garden and greenhouses: Their

- true history and complete cultivation. Timber Press, Portland
- 2) 伊藤秋夫, 武田恭明, 塚本洋太郎, 富野耕治. 1989. ナデシコ属. p. 455-462. 塚本洋太郎編. 園芸植物大辞典. 第3巻. 小学館. 東京
 - 3) Nimura, M., J. Kato and M. Mii. 2006. Interspecific hybrid production by reciprocal cross between *Dianthus caryophyllus* L. and *Dianthus x isensis* Hirahata et Kitamura. J. Hort. Sci. Biotechnol. 81: 995-1001
 - 4) 小野崎隆, 八木雅史, 藤田祐一, 棚瀬幸司. 2011. 花持ち性の優れるカーネーションとカラナデシコとの種間交雑および戻し交雑系統の特性. 園学研. 10: 161-172
 - 5) 八木雅史, 小野崎隆, 池田広, 谷川奈津, 柴田道夫, 山口隆, 棚瀬幸司, 住友克彦, 天野正之. 2010. 萎凋細菌病抵抗性カーネーション‘花恋ルージュ’の育成経過とその特性. 花き研報. 10: 1-10
 - 6) 福井博一. 2011. 我が国のこれまでの花き産業の発展と今後の展望. 農研機構・花き研究所. 平成23年度花き戦略会議. p. 3-9
 - 7) 辻和良. 2000. 切り花の消費行動と消費者の購買行動. 和歌山農林水技七研報. 1: 111-120
 - 8) Clery, R. A., N. E. Owen and S. F. Chambers. 1999. An investigation into the scent of carnations. J. Essent. Oil Res. 11: 355-359
 - 9) Hudak, K. H. and J. E. Thompson. 1997. Subcellular localization of secondary lipid metabolites including fragrance volatiles in carnation petals. Plant Physiol. 114: 705-713
 - 10) Schade, F., R. L. Legge and J. E. Thompson. 2001. Fragrance volatiles of developing and senescing carnation flowers. Phytochemistry 56: 703-710
 - 11) 岸本久太郎, 八木雅史, 小野崎隆, 山口博康, 中山真義, 大久保直美. 2012. カーネーションと芳香性ナデシコ属野生種のF1雑種における香気成分解析. 園学研. 11 (別1) p. 435
 - 12) Kishimoto, K., M. Nakayama, M. Yagi, T. Onozaki and N. Oyama-Okubo. 2011. Evaluation of wild *Dianthus* species as genetic resources for fragrant carnation breeding based on their floral scent composition. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 80: 175-181
 - 13) Oyama-Okubo, N., T. Ando, N. Watanabe, E. Marchesi, K. Uchida and N. Nakayama. 2005. Emission mechanism of floral scent in *Petunia axillaries*. Biosci. Biotechnol. Biochem. 69: 773-777
 - 14) Burdock, G. H. 2010. Fenaroli's handbook of flavor ingredients six edition. CRC Press, Boca Raton
 - 15) Vainstein, A., E. Lewinsohn, E. Pichersky and D. Weiss. 2001. Floral fragrance. New inroads into an old commodity. Plant Physiol. 127: 1383-1389
 - 16) 平田敏文, 泉俊輔. 2004. 植物の香りによるアポトシス. p. 166-179. 山村庄亮, 長谷川宏司編. 植物の知恵-化学と生化学からのアプローチ-. 大学教育出版. 岡山
 - 17) Zuker., A., T. Tzfira, H. Ben-Meir, M. Ovadis, E. Shklarman, H. Itzhaki, G. Forkmann, S. Martens, I. Neta-Sharir, D. Weiss and A. Vainstein. 2002. Modification of flower color and fragrance by antisense suppression of the flavanone 3-hydroxylase gene. Mol. Breed. 9:

33-41

- 18) Shulaev, V., P. Silverman and I. Raskin. 1997. Airborne signalling by methyl salicylate in plant pathogen resistance. *Nature* 385: 718-721
- 19) Arimura, G., R. Ozawa, T. Shimoda, T. Nishioka, W. Boland and J. Takabayashi. 2000. Herbivory-induced volatiles elicit defence genes in lima bean leaves. *Nature*. 406: 512-515

- 20) Yamagiwa, Y., Y. Inagaki, Y. Ichinose, K. Toyoda, M. Hyakumachi and T. Shiraiishi. 2011. *Talaromyces wortmannii* FS2 emits β -caryophyllene, which promotes plant growth and induces resistance. *J. Gen. Plant Pathol.* 77: 336-341
- 21) Farag, M. A., M. Fokar, H. Abd, H. Zhang, R. D. Allen and P. W. Paré. 2005. (*Z*)-3-Hexenol induces defense genes and downstream metabolites in maize. *Planta*. 220: 900-909

◆救荒雑草とは、我々が日常食べている農作物が、干ばつ・冷害・水害などのために稔らなかった凶作の年に、飢えを凌ぐのに役立った雑草のことです。

◆とかく駆除の対象となりがちな雑草の中には、薬草や食用となる種が多く存在します。本書では、それらの中から事実上記載のある種(救荒雑草)をまとめて掲載しました。



◆飽食の時代といわれる今日、戦中～戦後の食糧危機時を経験した世代が少数となり、救荒植物への興味が薄れ、スーパーや八百屋で販売されるものしか食べない世代へ変わりつつあり、食の歴史を考える上でも救荒植物として史実に残った植物を後世に残したい思いでつづつた植物誌です。

◆身近な雑草を起点として救荒植物と接することができるように、草本植物を主に取りあげ、記載しました。

全国農村教育協会
http://www.zennokyo.co.jp

〒110-0016 東京都台東区台東1-26-6
TEL.03-3839-9160 FAX.03-3833-1665

救荒雑草 [飢えを救った雑草たち]

著者/佐合 隆一

A5判 192ページ
(内カラー口絵32p)
本体価格1,800円