

花色の発現のしくみと肥効

(1) 花色の発現のしくみ

① 花色と花色素の関係

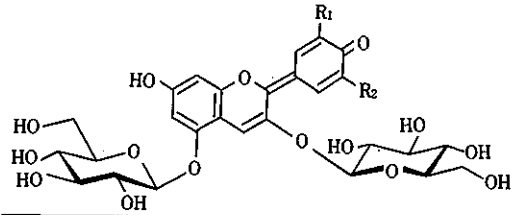
花卉の商品価値を左右する形質の一つに花色があげられる。花色の発現のしくみを理解し、栽培によって花色をコントロールする技術が望まれる。しかし、花色は遺伝的に大きく支配されており、栽培環境（温度、光、施肥など）によって大きく変化させることはできないが、遺伝的に決定された花色内での濃淡、色調および光沢の変化は期待できる。

花色は、赤、紫、青色などのシアニック系と、白、黄、緑色などのアシアニック系とに大別することができる。前者には花色素としてアントシアニン（フラボノイド類）が含まれる。後者には、白色の場合、淡黄色のフラボンやフラボノールが含まれ、黄色の場合、カロチノイド類およびカルコンやオーロン（フラボノイド類）が含まれ、緑色の場合、クロロフィルが含まれている。これらと異なり、アカザ目やサボテン目の花には、赤色のベタシアニンと黄色のベタキサンチンといわれる花色素ベタレンが含まれている。

これらの花色素のなかで花色変異に最も関与しているのがアントシアニンであり、したがって色素の構造、生合成、発現のしくみなどが最もよく研究されている。

② アントシアニンの構造

アントシアニンは、骨格の部分のアントシアニジンにグルコースなどの糖が結合した配糖体として、液胞中に存在する（第1図）。しかし、最近では配糖体にさらに有機酸が結合したアシル化アント



R ₁	R ₂	アントシアニン	アントシアニジン
H	H	ペラルゴニン	ペラルゴニジン
OH	H	シアニン	シアニジン
OCH ₃	H	ペオニン	ペオニジン
OH	OH	デルフィン	デルフィニジン
OCH ₃	OH	ベチュニン	ベチュニジン
OCH ₃	OCH ₃	マルビン	マルビジン

第1図 基本的なアントシアニンの構造

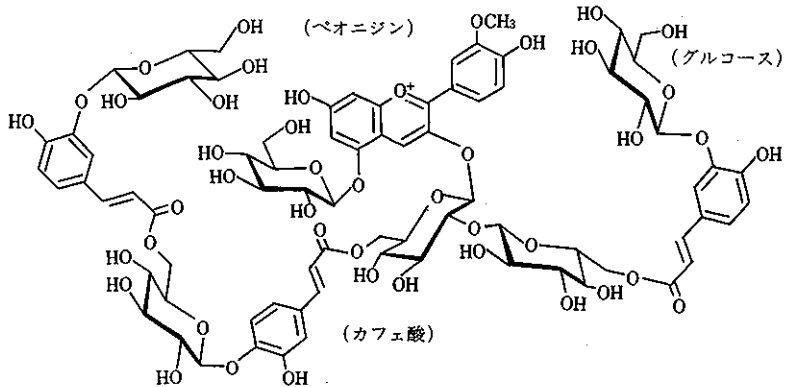
(近藤・吉田, 1992)

シアニンが数多く同定され、主要な切り花のキク（山口ら, 1987）やカーネーション（山口, 1989）でも、その構造が改訂された。第2図は、高度に有機酸が結合された西洋アサガオのアシル化アントシアニンの構造である（後藤ら, 1989）。

③ 花色の発現とpHの関係

アントシアニンの色はpHによって連続的に変化する。これは色素の構造変化によるもので、4種類の化学種が可逆的に変化することに起因している（第3図）。

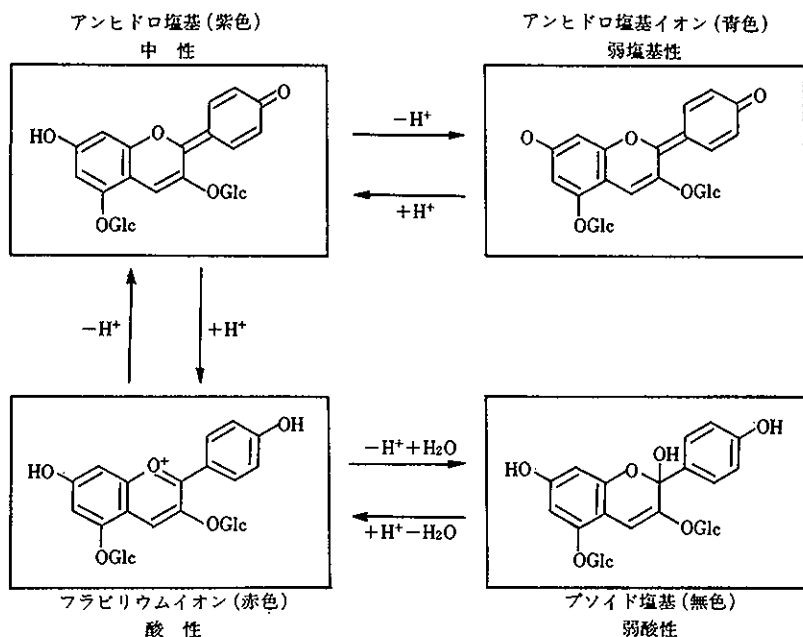
生きた細胞内では、細胞液のpHが弱酸性であるため、この条件下ではアントシアニンが無色の化学種であるプソイド塩基となり、色素の本来の色が発現しない。青色が発現するために



第2図 西洋アサガオ‘ヘブリー・ブルー’のアシル化

アントシアニンの構造

(後藤・近藤, 1989)



第3図 pHとアントシアニンの色および構造の関係

(後藤・近藤, 1989を一部改変)

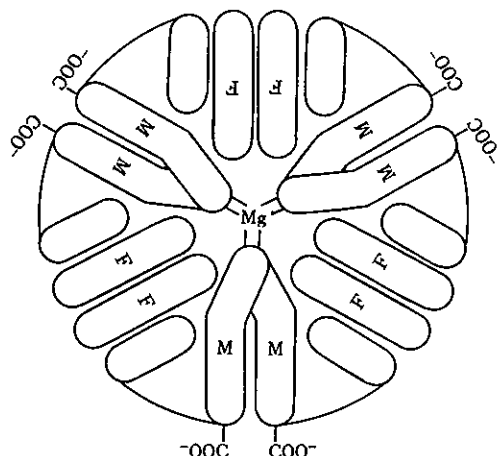
色素以外の無色の共存物質が関与していることが報告されている。例外として、西洋アサガオの青色品種は、花卉のpHが約7.5であり、弱塩基性で本来の色が発現する。

④花色発現と金属イオンの関係

花色の発現には、色素以外に金属イオンや無色の共存物質(コピグメント)が必要な場合があり、最もよく研究されているのは、青色を呈するヤグルマギク、アジサイ、ツユクサである。これらのアントシアニンと金属イ

オンは錯化合物(メタル・コンプレックス)を形成し、さらにコピグメントが会合して高分子を形成する。

アジサイでは、金属イオンとして Al^{3+} が、コピグメントとして3-カフェオイルキナ酸が、色素のデルフィニジン3-グルコシドと高分子を形成している。ツユクサについては、金属イオンとして Mg^{2+} が、コピグメントとしてフラボンの一種であるフラボコンメリンが、色素のデルフィニジン3-パラクマロイルグルコシド-5-マロニルグルコシド(マロニルアオバニン)と高分子を形成している(第4図, 近藤ら, 1992)。ヤグルマギクについては、金属イオンとして Fe^{3+} と Mg^{2+} が、コピグメントとしてフラボンが、色素のシアニジン3-スクシニルグルコシド-5-グルコシドと高分子を形成している。メタルコンプレックスとコピグメントによって花色が詳しく説明されているのはこの3例であるが、他にもっと広く存在しているのではないかと考えられている(斉藤ら, 1992)。このような場合、施肥によって花色を大きく変えることが期待される。



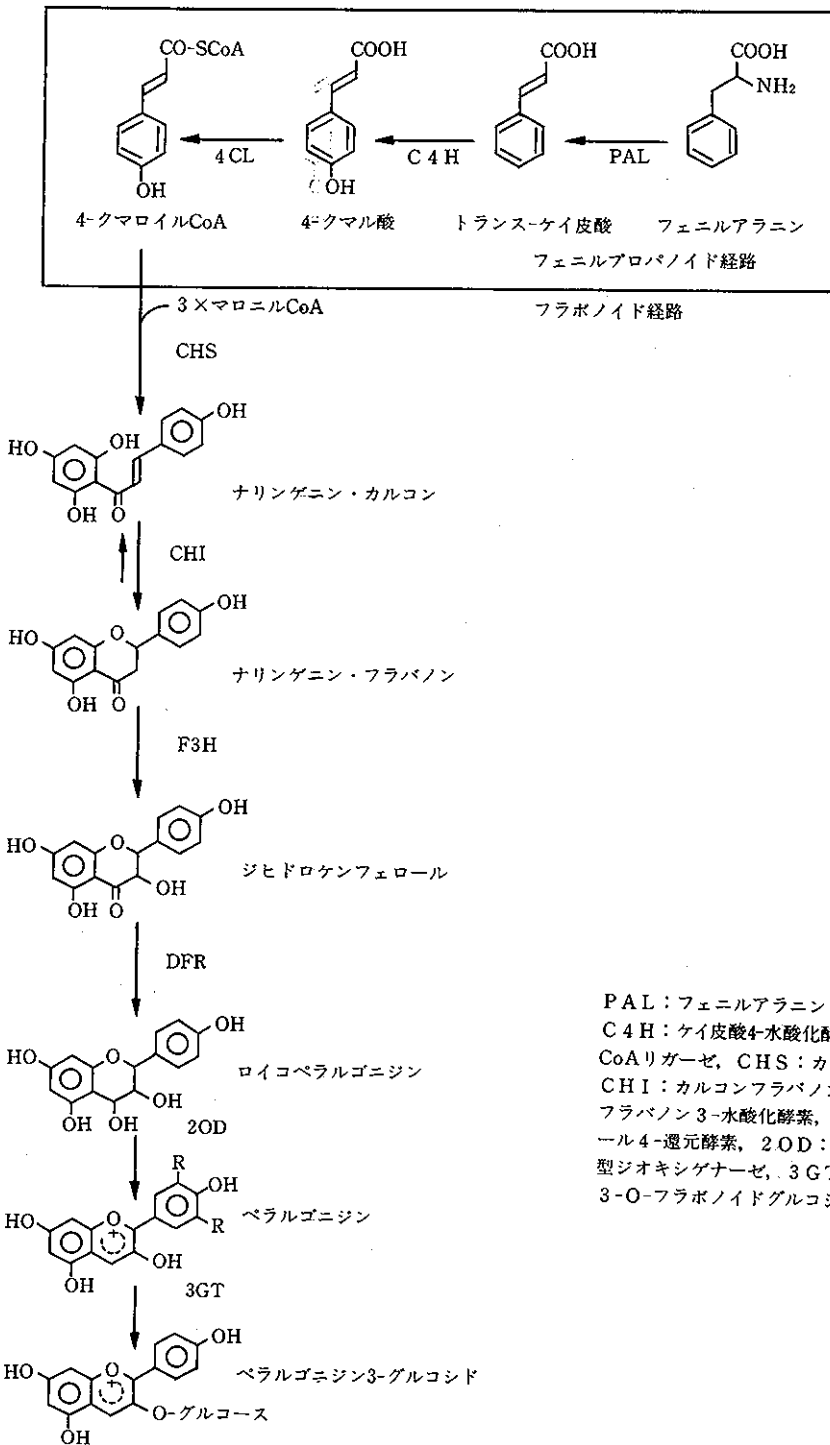
第4図 ツユクサの高分子色素コンメリンの構造模式図 (後藤・近藤, 1989)

M: マロニルアオバニン(アシル化アントシアニン)

F: フラボコンメリン(コピグメントのフラボン)

Mg: 上下に重なっている2マグネシウムイオン

は、弱塩基性でアントシアニンの化学種がアンヒドロ塩基アニオンとなることが必要であり、一方、赤色が発現するためには、酸性で化学種がフラビリウムイオンとなることが必要である。したがって、花色の発現には弱酸性で色素本来の色を発現させるしくみが必要である。現在、



PAL: フェニルアラニン・アンモニア・リアーゼ,
C4H: ケイ皮酸4-水酸化酵素, 4CL: 4-クマル酸:
CoAリガーゼ, CHS: カルコン・シクターゼ,
CHI: カルコンフラバノンイソメラーゼ, F3H:
フラバノン3-水酸化酵素, DFR: ジヒドロフラボノ
ール4-還元酵素, 2OD: 2-オキソグルタル酸依存
型ジオキシゲナーゼ, 3GT: UDP-グルコース:
3-O-フラボノイドグルコシル基転移酵素

第5図 アントシアニンの生合成経路

(山田・橋本, 1992を一部改変)

第1表 アジサイの花色変異に及ぼすアルミニウムと鉄の影響(砂耕法)

(Allen, 1943)

培養液のpH	培養液を与えてから7日目の砂耕のpH	培養液中の鉄含量 (ppm)	培養液中のアルミニウム含量 (ppm)	花 色	花のアルミニウム含量 (ppm)	花の鉄含量 (ppm)
4.8	5.6	0	0	桃 色	53	196
4.0	5.5	2.79	0	桃 色	71	201
3.2	5.3	27.9	0	桃 色	40	368
1.6	4.1	279.0	0	桃 色	86	943
1.0	3.5	2,790.0	0	**	—	—
3.7	5.5	2.79	1.348	桃 色	147	190
3.3	5.1	2.79	13.48	フジ色	235	231
2.6	5.1	2.79	134.8	青 色	1,269	256
2.4	4.0	2.79	1,348.0	青 色	4,572	278
4.1	5.6	0	1.348	桃 色	187	216
3.3	5.3	0	13.48	フジ色	203	222
2.6	5.0	0	134.8	青 色	981	261
2.4	4.1	0	1,348.0	青 色	4,200	248

** 植物は枯死する

第2表 用土の酸度、肥料三成分とアジサイの花色

(鶴島, 1970)

試 験 区		花 色	色 測 値		
用 土	三成分比		L	a	b
酸性 pH 5.0~5.5	N:P:K 6-1-1	藤 青 色	50.4	6.8	-31.9
		青 藤 色	48.6	11.0	-47.1
		青 色	62.0	16.0	-42.4
		桃 色	73.6	40.0	-20.0
中性 pH 7.0~7.2	3-2-2	桃 藤 色	60.8	32.3	-20.7
		藤 桃 色	60.1	39.8	-17.0
		1-1-6			

品種：ホルスタイン

⑤花色の発現と色素生合成の関係

花色が発現するためには、花色の原因物質である色素の発現が必要である。さらに色素の発現には、色素生合成に関係する酵素の発現が必要である。

栽培環境によって花色の発現がコントロールされるのは、環境要因によって酵素の発現がコントロールされるからである。詳しくは環境要因がシグナルとなって、酵素の遺伝子のスイッチを ON の状態にするからである(山田ら, 1992)。遺伝子の花色の発現の関係は、ペチュニアやキンギョソウを材料にし、遺伝子工学的な研究によって明らかにされつつある(Meyer, 1991)。

アントシアニンは、第5図に示すように約10種類の酵素からなる経路によって、無色の簡単な出発物質から生合成される。この経路は、前

半部分をフェニルプロパノイド経路といい、後半部分をフラボノイド経路という。色素の素材となる出発物質は、呼吸や光合成の産物から供給されるので、施肥によって健全な植物を育成することが、花色の発現の前提条件となる。

(2) 花色の発現と環境因子

①花色の発現と光、温度の関係

花色の発現は、色素の生合成に及ぼす環境要因によって影響をうける。環境要因として光、温度、施肥などがあげられる。

光のシグナルは、色素合成酵素の遺伝子の発現を介して色素の生

合成を促進する。一般に紫外線で促進されるが、植物によっては、赤色、遠赤色、青色および近紫外の波長でも促進される。

温度については、低温ほど花色の発現が促進されるが、生育適温との関係から、10~25℃が適当と考えられる。バラやチューリップでは、13~23℃でアントシアニンの生成が盛んで、30℃を超えると極端に少なくなる。また、10~20℃くらいでピロード感が発現する(高野, 1991)。

②花色の発現と施肥の関係

一般に、窒素が多用されると色素の生合成が抑制され、養分や水分が欠乏すると促進される。しかし、健全な生育を維持しつつ花色の発現を促進するには、窒素をひかえめに施肥することが望まれる。また、花卉の内部の組織(スポンジ層)が厚いと花色が鮮明になるが、これはリ

第3表 ハイドランジアの栽培過程における花色の安定対策

(細谷・三浦, 1987)

栽培期間	夏季の株養成期間			促成期間		
	用土	施肥	その他	用土	施肥	その他
桃色系品種	用土は弱アルカリ性にする(そのため酸性の用土素材はさけ、炭酸石灰か苦土石灰を配合する)	NやPをやや多く施用し、Kは少なく与える(リン液肥が有効)		用土は弱アルカリ性とし、その方法は夏季と同じ	Kをやや少なく、N、Pをやや多く施すようにし、Nはアンモニア態Nの硫酸などをを用いる(憐安液肥を利用)	用土のpHが高いとFeやMgの吸収が悪くクロロシス(黄化)が起こるので、硫酸鉄かキレート鉄を水に溶かして、かん注、または葉面散布する
青色系品種	用土は酸性にする(そのためピートなど酸性の用土素材を用いるか、硫酸アルミニウムの1,000倍液を3-4回かん注する)	NやPの施用をややひかえ、Kを多めに施し、7-8月にKだけの施用も行なう	10月上旬までに硫酸アルミニウムの1,000倍液を3-4回かん注する	用土は酸性にし、その処置は夏季と同じ	N、Pの施用をややひかえ、Kを多く施用し、Nは硝酸態Nの硝安や硝酸カリを用いる	1-2月に3回ぐらい硫酸アルミニウムの1,000倍液をかん注する

ン酸によって促進され、窒素によって抑制される。さらに、花卉の化学成分を分析すると、他の部分よりもリン酸の含量が高い。したがって、リン酸を十分に施肥することが花卉の質を高める(安田, 1986)。

アジサイの花色素には金属イオン(Al)が含まれ、Alイオンの植物への吸収が土壌のpHによって変化することから、この植物についての花色の発現と施肥の関係が最も研究されている。第1表に示すように、Alを多く施用すると、花色が桃色からフジ色を経て青色に変化し、青色の花弁にはAlが最も多く含まれるようになる(Allen, 1943)。また、種々のpHの土壌で育てたアジサイの花色は、酸性で青色を、中性やアルカリ性で桃色を示す(細谷, 1987)。さらに、Alの吸収は土壌の酸度以外にも肥料の三成分によって左右され、第2表に示すように酸性土ではK多施用で青色になり、中性土ではN多施用で桃色となる。したがって、第3表に示すように、目的の花色を発現させるためには、苦土石灰や酸性用土のピートモスを用いてpHを調整し、硫酸アルミニウム(硫酸バンド)でAlを添加し、三成分の施用を株養成期間から管理しなければならない(細谷ら, 1987)。

<執筆> 山口 雅篤(南九州大学園芸学部)

引用文献

- Allen, R. C. 1943. Contrbs. Boyce. Thompson Inst. 13, 221.
- 後藤俊夫・近藤忠雄. 1989. 青い花, その色の不思議. 現代化学. 221, 24-30.
- 細谷毅・三浦泰昌. 1987. 花卉の栄養生理と施肥. 農文協. pp.224-228.
- 近藤忠雄・吉田久美. 1992. ツクサ青色花弁色素コンメリニンの構造と青色発現機構. Bio INDUSTRY, 9, 28-37.
- Meyer, P. 1991. Engineering of Novel Flower Colors. (in Genetics and Breeding of Ornamental Species. eds. Harding J.) Kluwer Academic Publishers. Netherland.
- 斎藤規夫. 1989. 青色花の色素と花色の安定化. バイオホルティ. 2, 49-59.
- 高野泰吉. 1991. 園芸通論. 朝倉書店. pp.132-136.
- 山田康之・橋本隆. 1992. 二次代謝系酵素遺伝子の発現制御. 蛋白質 核酸 酵素. 37, 331-337.
- 山口雅篤ら. 1987. キクのマロニル化アントシアニンの分布と同定. 園芸学会発表要旨. 354-355.
- 山口雅篤. 1989. カーネーションの花色素に関する基礎研究. 南九州大学研究報告. 1-78.
- 安田齊. 1986. 花の色の謎. 東海大学出版. pp.159-168.
- 安田齊. 1975. 花色の生理. 生化学. pp.163-177.