バラ花卉の色調発現の研究(第5報) 赤色系花卉におけるアントシアンの量的 効果に関する色彩科学的研究

安 田 齊*

Hitoshi YASUDA: Studies on the expression of color tone in rose petals V.
Colorimetric study on the quantitative effect of anthocyanin in red petals.

Received April 15, 1967

Abstract

The relationship between anthocyanin content and flower colors was studied in roses using two groups of cultivars, the red one including Happiness, Crimson Glory and Karl Herbst, and the black one including Bonne Nuit, Charles Mallerin and Josephine Bruce.

I. S. C. C.—N. B. S. color name was used for the designation of the flower colors.

In red cultivars, the petal color varies with increasing anthocyanin content ranging from 150 γ/cm^2 to 800 γ/cm^2 in the following order: deep or dark purplish Red→very dark purplish Red→very dusky Red.

In black cultivars, increase of pigment content within the range of 300 γ/cm^2 to 1000 γ/cm^2 brings about the color change in the following order: very dusky purplish Red→very dusky Red Purple→purplish Black→reddish Black.

The order of color variation in red petals within the black cultivars was the same as that within the red cultivars.

No quantitative effect seemed to exist between the red and black cultivars.

アントシアン含量の花色に与える影響 (quantitative effect) については、古くは Paech¹⁾ により、また最近では Harborne²⁾ によって記載されているが、バラについては Ahuja ら³⁾ の研究が見られるにすぎない。これらの研究では、例えば赤とピンクのように、花色の差違が著しい場合をおもに取扱っており、また多くの場合花色の比較は色の系統の差がはっきりしている栽培品種間でなされている。しかし花色は同色系統の品種間でも、また同一品種内でも、環境条件によって微細な変異だけでなく、かなりの変化さえ起りうることは日常経験されるところであり、バラについては具体的な研究も見られる⁴⁻⁶⁾。

著者は近来赤色系バラ花卉を用いて花色の発現を

“tone” のレベルで研究しているが、その一環として今回このレベルでの色素の量的効果を明らかにするための研究をおこなった。すでに報告⁷⁾ したように、いわゆる黒バラの花弁の色素は質的には赤バラのものと同一と見なすことができるので、ここではすべて赤色系として取扱った。

花色の微細な変異を表現するには、主観的判断や俗称による表現の曖昧をさけるために、色彩科学上の表現を採用した。このような事例は従来にもしばしば見られ、例えば Rvachev⁸⁾ は種々の植物の葉について、Iizuka⁹⁾ は柿の果実の熟度と着色との関係について、また Shisa ら¹⁰⁾ はバラの花色と温度との関係について、それぞれ資料を提供している。

本研究では、分光反射率測定とアントシアン定量とに同一花卉の同一部位を用いて、色素含量と色彩科学の諸数値とを直接関連させて両者の関係をしら

* 信州大学理学部生物學教室 Department of Biology, Faculty of Science, Shinshu University, Matsumoto, Japan.

べた。その結果を以下に報告する。

材料および方法

実験に用いた植物は3種類の赤バラの栽培品種 Happiness, Crimson Glory, Karl Herbst と、3種類のピロード性黒紅色品種(いわゆる黒バラ) Bonne Nuit, Charles Mallerin, Josephine Bruce で、いずれも4-5年間通常の方法により屋外で肥培管理したものである。これらの株の春、夏および秋の花から健全で、かつブルーイングの著しく現われていない花弁を選んで実験に供した。黒バラ花弁中には典型的に黒色性を示すもののほかに、単純に赤色を示すものもあり、これらは区別して取扱った。

花弁中のアントシアンは、Shibata ら¹⁰⁾がチューリップの花弁の色素定性に推奨した方法によって、グリコシド、アグリコンおよび糖についてそれぞれペーパークロマトグラフ法で同定した。また、アグリコンには Robinson ら¹¹⁾の定性試験を、グリコシドには Abe ら¹²⁾の部分的加水分解によるペーパークロマトグラフ法を併用した。

花弁の分光反射率は、前報¹³⁾の方法により、標準光Cを用いて測定した。これに用いた花弁は、直ちに既報⁷⁾の方法によるアントシアンの定量に用いた。したがって、分光反射率曲線とアントシアン含量とは同一花弁の使用によって直接関連づけられている。反射は面積と密接な関係があるので、アントシアン含量は単位面積当りの量として表わした。

花弁の表色には C. I. E. 標準表色系を採用したが、詳しい説明は東¹⁴⁾その他の専門書^{15,16)}にゆずり、ここでは方法の概略を記すにとどめる。すなわち、得られた花弁の分光反射率曲線を三色係数計算器(島津製)にかけて三色刺激値 X, Y, Z を求め、次式によって x, y, z をそれぞれ算出する。

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}, \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z}, \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z}$$

物体色をこの x, y および Y (明度で普通 % で表わす) で表現するのが C. I. E. 標準表色系である。このまゝでもよいわけであるが、具体的な色名で表わした方が理解しやすいので、本報ではこゝに求められた x, y および Y からさらに I. S. C. C.—N. B. S. 方式により色名を割出した。これには日置の図¹⁵⁾を使用した。

結 果

実験に用いた6品種中、Happiness の花弁のアントシアンは Ahuja ら¹⁷⁾および Yasuda⁷⁾により、Bonne Nuit のものは Yasuda⁷⁾によりそれぞれシアニン単独であること、また Crimson Glory の色素は Shisa ら⁶⁾によりシアニンと少量のクリサンテミンであることが示されている。残る3品種については文献に見当たらない。本研究では一応使用した品種の全部について色素の定性を行なった。その結果 Happiness, Karl Herbst, Bonne Nuit および Charles Mallerin の花弁からはシアニンだけが、Crimson Glory と Josephine Bruce の花弁からはシアニンのほか時にはごく少量のクリサンテミンが検出された。Rf 値などの詳しい結果は省略する。いずれの場合でも、花弁中のアントシアン含量はシアニンとして示した。

分光反射率曲線の一例として Happiness について得られたものの一部を Fig. 1 に示す。シアニン含量の低下にともなって、560 mμ 以上の部分に現われる S 字曲線は左方に移動し、シアニン含量がある程度以下になるとさらに 400-480 mμ の間に1つの山形曲線が現われ、このピークの高さは色素含量に反比例する傾向がある。他の品種の場合にも、全く同様の傾向がみられた。

シアニン含量と Y 値との間には反比例の関係が成立する (Fig. 2)。色素含量が比較的低い 100~400 γ/cm² の場合は含量の増減による Y 値の変化の割合は大きい。例えば 500~1000 γ/cm² の比較的高含量の場合はこの割合はあまり大きくない。両者の関

Fig. 1. Spectral reflectance curves of the petals of a red rose cultivar, Happiness. Cyanin contents are (1): 183.6, (2): 225.0, (3) 382.5 and (4) 427.8 γ/cm² respectively.

Fig. 2. Relationship between cyanin content and lightness Y (%) in petals. Symbols are as follows: 1: Happiness, 2: Crimson Glory, 3: Karl Herbst, 4: black petal of Charles Mallerin, 5: black petal of Bonne Nuit, 6: black petal of Josephine Bruce, 7: red petal of Charles Mallerin, 8: red petal of Bonne Nuit, 9: red petal of Josephine Bruce.

係はほぼ双曲線で代表される。しかし、これをより詳細に見れば、赤バラ花卉のY値と黒バラ花卉のそれとの間には色素含量変化の連続的關係はない。すなわち、同一シアニン含量のとき、黒バラのY値は赤バラのY値に比して一般に低い。しかし、黒バラにおける赤色花卉の場合は赤バラの場合と同じ範疇に入っている。赤バラ内および黒バラ内では品種間に特に差異は見られなかった。

各品種における種々のシアニン含量の花卉色の色度座標を Fig. 3. に示した。色度図上赤バラ花卉の座標と黒バラ花卉の座標とは、それぞれ一群をなし

ており相互に明瞭に区別されている。黒バラの一群は赤バラのものより標準光Cの色度座標に近い位置にある。また、黒バラ中の赤色花卉は赤バラの一群の中に含まれている。概していえば、それぞれの群の中ではほぼ同程度の色素含量の花卉の座標は1つの弧上に分布しており、この弧は色素含量に比例してC座標に大体平行して近づいていると見ることができる。そして、黒バラと赤バラ間では色度図上においても含量変化の連続性は見られない。また、それぞれの群の中では品種による差異は見出せない。

種々の色素含量と、色度座標 x, y および明度Yから I. S. C. C.—N. B. S. 色名方式で表現された花卉色との関係を Table 1 にまとめた。赤バラ花卉では色素含量の増加にともなって花卉色は

deep or dark purplish Red→very dark purplish Red→very dusky Red

の順に変化し、黒バラ花卉では

very dusky purplish Red→very dusky Red Purple→purplish Black→reddish Black

の順に変化する傾向が見出される。こゝにおいても赤バラ花卉と黒バラ花卉の間には明らかな区別が認められ、かつ両者間には色素含量変化の連続的な関係は見出せない。また黒バラ中の赤色花卉は赤バラの中に包含されている。

考 察

花色のごくわずかな差異を総括的に問題にする際に“tone”という言葉がしばしば用いられているが(例: Paech¹⁾, Harborne²⁾, Yasuda), どの程度の細かな色の差を意味するのかは明確でない。著者は I. S. C. C.—N. B. S. 表色方式中の修飾語* に当る程度の色の差を tone とすれば、その意味がより具体的にしかも明確になるのではないかと考える。

本研究における花卉色をこの意味の tone でまとめると、赤色花卉の場合、本実験の範囲内では、主たる色は Red であるが、ただ色素含量の増大にともなって tone のレベルでは deep or dark purplish→very dark purplish→very dusky の順

* この方式では、主たる色を 名詞で表わし(大文字で始める: Red, Black など), それに二三の修飾語をつけて(小文字で始める: purplish, dark など)さらに細かな色の差を表わす。

に変化している。黒バラの場合は、色素含量の増大にしたがって、主たる色のレベルにおいてすでに Red→Red Purple→Black の変化が見られる。tone のレベルでは Black に対して purplish→reddish と変っている。著者は既報^{18,19)}で黒バラの花色を「Red に加わる blackish tone」と表現したが、

これは上述のことから適当でなく「Black に加わる purplish または reddish tone」と訂正すべきである。

花色は色素含量によるほか、pH, co-pigmentation, metal-chelation などによっても変化する^{1,2)}。著者は前報¹⁸⁾で同一品種のバラ花卉でも酸性側で

Fig. 3. Chromaticity diagram of the petals of red and black roses. Symbols are the same as in Fig. 2. Numbers denote cyanin contents (γ/cm^2). C: Chromaticity coordinate of standard illuminate ($x=0.3101$, $y=0.3163$).

Table 1. Relationship between cyanin contents and I.S.C.C.
—N.B.S color names in petals. Symbols are the same as shown in Fig. 2.

Cyanin content γ/cm^2		100	200	300	400	500	600	700	800	900
Color name		200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Strong purplish	Red	△								
deep	purplish Red	○△	□							
dark	purplish Red	□△△	○△□	○□□						
very dark	purplish Red	○△△	△△□	○△△	○△△					
very dusky	Red			○	○	○	○	□	□	□
very dusky	purplish Red		▲▲	●▲	○	○	○	□		
very dusky	Red Purple		▲	■	■	■	■	■		
purplish	Black			▲▲▲	●▲	●●●	●●●	■		
reddish	Black					●		■	■	■

pH 1 以内の変異を見ている。この程度の pH の変化が tone のレベルでアントシアンの発色に影響を与えることが Harborne²⁾ により記載されている。バラ花卉における co-pigmentation による bluing effect の研究は Harborne²⁾ により紹介されたものがあるが、同時に reddening effect を示す co-pigmentation も考えなければならない (Yasuda 未発表資料)。バラ花卉における metal-chelation の報告は著者の知る限りでは見当たらないが、赤色系に関する限りでは安定な chelation は考えなくてもよい。本報の結果中、アントシアン含量と色彩科学的諸要素との相関に見られる少しの分散は、主として pH および co-pigmentation のわずかな変化に基因するものと考えられる。しかし、これらのことがあったとしても、本研究で示めされた結果からは赤バラおよび黒バラそれぞれにおける tone のレベルを含めた花色変異は、アントシアン含量の高低が主たる原因となっていると見ることができる。

赤色花卉での黒色性発現は一般に赤色色素の極端に高い含量に帰せられ、Harborne の抄録²⁾ 中にもこれについての実例が示されている。しかし、本研究で示されたように、バラの場合、赤色花卉と黒色花卉との間には色素含量と色彩科学的諸要素との相関に連続的な関係が成立していない。このことは黒バラ花卉の黒色性発現が、単に赤バラ花卉における色素の高含量の結果ではないことを意味する。さきに著者は、黒バラ花卉の黒色性発現の主因は花卉の表皮の形態的特性にあり、色素の質および量には帰せられないことを示した^{7,18,19)}。しかし、このときの花色の判定は肉眼による主観的なものであった。本報で得られた上記の見解はこの量的関係を客観的に裏づけたといえる。

摘 要

赤バラおよび黒バラの花卉について、アントシアン含量と花色との関係を色彩科学的に研究した。用いた品種は赤バラとしては Happiness, Crimson Glory, Karl Herbst, 黒バラとしては Bonne Nuit, Charles Mallerin, Josephine Bruce である。花色は花卉の分光反射率曲線から C. I. E. 標準表色系により x, y および Y を求め、これから I. S. C. C.—N. B. S. 方式により具体的な色名として表現した。得られた結果は次の通りである。

(1) 赤バラ 花卉ではアントシアン含量が大体 150 γ/cm^2 から 800 γ/cm^2 に高まるにつれて、花色は deep or dard purplish Red→very dark purplish Red→very dusky Red の順で異る。

(2) 黒バラ 花卉では色素含量が大体 300 γ/cm^2 から 1000 γ/cm^2 に高まるにつれて、花色は very dusky purplish Red→very dusky Red Purple→purplish Black→reddish Black の順で変化する。

(3) 黒バラにおける赤色花卉では、赤バラ花卉の場合と同じ順序で変化する。

(4) 赤バラの花色の变化と黒バラのそれとの間には、アントシアン含量による連続的な関係は見られない。

本研究に当り種々御指導を賜った信州大学教授中山 包先生および同大学助教授竹村寿二先生に深甚な謝意を表する。

文 献

- 1) Paech, K., Ann. Rev. Plant Physiol. 6: 273 (1955).
- 2) Harborne, J. B., Chemistry and Biochemistry of Plant Pigments, 247 (Goodwin, T. W. Ed., Academic Press, London and New York, 1965).
- 3) Ahuja, K. G., Mitchell, H. L. and Carpenter, W. J., Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 83: 829 (1963).
- 4) Ratsek, J. C., ibid. 39: 419 (1941).
- 5) ———, ibid. 44: 549 (1944).
- 6) Shisa, M. and Takano, T., Jour. Jap. Soc. Hort. Sci. 33: 140 (1964).
- 7) Yasuda, H., Jour. Fac. Lib. Art. Sci. Shinshu Univ. No. 15 Part II: 23 (1965).
- 8) Rvachev, V. P., Guminetskii, S. G. and Sakhnovskii, M. Yu., Biofizika 10: 658 (1965).
- 9) Iizuka, I., Mem. Ehime Univ. Sect. II Ser. B 5: 103 (1965).
- 10) Shibata, M. and Ishikura, N., Jap. Jour. Bot. 17: 230 (1960).
- 11) Robinson, G. M. and Robinson, R., Biochem. J. 25: 1687 (1931).
- 12) Abe, Y. and Hayashi, K., Bot. Mag. Tokyo 69: 577 (1956).
- 13) Yasuda, H., Bot. Mag. Tokyo 80: 86 (1967).

- 14) Azuma, T., Ôyôshikisaigaku (Nikkan-kogyôshinbunsha, Tokyo, 1957).
- 15) Hioki, R., Handbook of Color Science, 71 (Shikisaikagakukyokai, 2nd Ed. Nankôdô, Tokyo, 1964).
- 16) Fukuda, T., Iro no sokutei to ôyô, (Nikkan-kogyoshinbunsha, Tokyo, 1962).
- 17) Ahuja, K. G., Carpenter, W. J. and Mitchell, H. L., Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. **82**: 562 (1963).
- 18) Yasuda, H., Jour. Lib. Art. Sci. Shinshu Univ. No. 14 Part II: 31 (1964).
- 19) ———, ibid. No. 15 Part II: 15 (1965).