キクの花色に関する研究* (第3報)

花色に対する主要色素の量的効果と花色の測色

河瀬晃四郎・塚本洋太郎

(京都大学農学部)

Studies on flower color in *Chrysanthemum morifolium* Ramat

III. Quantitative effects of major pigments on flower color variation, and measurement of color qualities of petals with a color difference meter

Koshiro KAWASE and Yotaro TSUKAMOTO

College of Agriculture, Kyoto University, Kyoto

Summary

1. To understand the quantitative effect of major pigments on flower color variation in chrysanthemum cultivars (*Chrysanthemum morifolium*), carotenoid and anthocyanin pigments were extracted from the flowers and analyzed both qualitatively and quantitatively.

The flower color was also measured with a color difference meter (Model; NDK-5, Nihondenshoku kogyo) and recorded with L, a, and b values to indicate individual colors. In this study, 68 cultivars were classified into four groups according to the following petal colors: group (1), white; group (2), pink (pink to red-purple); group (3), yellow, and group (4), (i) orange and (ii) red.

The relationship between flower color and kinds or content of pigments in these groups was discussed. Also, the results were compared with data obtained from absorption spectra of intact, fresh petals. The detailed results are described below.

2. In qualitative analysis by thin layer chromatography, three major spots of anthocyanins were detected in 49 cultivars, all of which showed the same qualitative distribution pattern of anthocyanins, and ten major spots of carotenoids were noticed in 26 cultivars, which also showed the same qualitative pattern.

3. Carotenoids were responsible for flower colors of the yellow, the orange and the red groups, and the number of cultivars with high carotenoid content were greater in the red group than in the yellow and the orange groups.

On the other hand, anthocyanins were considered to be responsible for the flower color expression of the pink, the orange and the red groups, and the number of cultivars containing large quantities of anthocyanins were greater in the pink, especially red-purple cultivars, and the red groups than in the orange group.

4. The content of carotenoids was sufficient, even in low concentration, to reveal a yellowish tone in the yellow, the orange and the red groups, but in the case of anthocyanins, a high concentration was necessary to reveal a pinkish tone in the pink group and reddish tone in the orange and the red groups.

5. A method of evaluating the flower color according to the UCS system (Uniform Chromaticity Scale system) made it possible to distinguish slight color differences among the 68 cultivars of chrysanthemum. The classification of flower color by this method coincided with that of the previous experiment, in which the same 68 cultivars were used and the flower colors were derived into four groups according to the

1975年5月22日 受理

* 京都大学審査学位論文の一部である。

absorption curves of intact, fresh petals. Although the difference between deep red and deep red-purple flower colors, in both of which lightness (L) was very low, could be distinguished readily by visual judgement, those flower colors evaluated by UCS system assumed nearly the same position on Hunter's diagram of chromaticity.

6. Carotenoids had no influence on the lightness of flower color determined according to the UCS system, while anthocyanins had an influence on the lightness, which decreased as the content of anthocyanins increased in the pink, the orange and the red groups.

7. Correlation was recognized between the content of carotenoids and a , b , or $\sqrt{a^2+b^2}$ (chroma) values obtained in each flower color group. A similar relationship was found also between the content of anthocyanins and color values. The anthocyanins contributed not only to the shift of hue, but also to the shift of chroma, especially in the pink group. The carotenoids exerted a large contribution on the variation of chroma in the yellow, the orange and the red groups.

Thus, the methods of spectrophotometric and color difference metric analysis of flower color are very useful to clarify the relationship between flower color variation and the kinds or content of pigments in petals.

緒 言

キクの花色を構成している色素に関する研究は、これまで多数報告されており(3, 6~8, 10~13, 15, 18, 20, 25~27), 花に含有されている主要色素としては、カロチノイド色素とフラボノイド色素の2種類が知られている。

前報(17)で明らかにしたように、概略的には、主要色素として黄色の花にはカロチノイド色素, 白, 桃ないし赤紫色花にはフラボノイド色素, そして橙ないし赤色の花には両色素が共存している。

カロチノイド色素としては、これまでに taraxanthin, chrysanthemaxanthin, xanthophyll-mono-epoxide がキクの黄色花から単離, 同定されている(12, 13)。また, フラボノイド色素中, アントシアニン色素については, すでに述べたように, chrysanthemin の他に, 2種類の chrysanthemin の誘導体の存在がほぼ明らかになつている(15)。フラボンおよびフラボノール色素では apigenin, quercetin および acacetin の配糖体を中心となつている(6, 7, 26)。

しかし, これら多数の色素の存在にもかかわらず, キクの花における花色の出現幅は比較的狭く, 単調である。前報で指摘したように, 黄色花は多数のカロチノイド色素を含んでいるにもかかわらず, 多数の黄色花品種の生花卉の吸収スペクトルにおける可視部の吸収極大($\lambda_{\max}$)は, ほとんど同じである。また, 花色がアントシアニン色素に依存する品種では, アントシアニン色素含有量の少ない桃色の花でフラボンおよびフラボノール色素の co-pigmentation の関与があると考えられ, 赤色ないし赤紫色花のものより, 長波長領域への $\lambda_{\max}$ の移動(557~560 nm)がみられる。しかし, 概括的にみた場合はこのアントシアニン型品種の場合も吸収極大は

ほぼ同一の値を示している(21)。そのため, キクの花色を問題とする場合には, 個々のカロチノイド色素およびアントシアニン色素の種類の同定よりは, これら2種類の主要色素がそれぞれの品種の花に含まれている量, すなわち色素の含有量の方が重要な問題となる。

前報において, 生花卉の可視部における吸収スペクトル・カーブの型とキクの花色とが, ほぼ対応することを示した。そして, そのカーブの型により供試した 68 品種をほぼ4グループに分類することができた。それぞれのグループは第1表に示してあるように, (1) 白色花, (2) 桃色~赤紫色花, (3) 黄色花, (4) (i) 橙色花, (ii) 赤色花の各グループである。これらの区分はほぼ構成色素に対応していた。すなわち, (2) はアントシアニン色素を, (3) の黄色花はカロチノイド色素を, (4) は両色素を含み, (1) は両色素とも含んでいない。これらの色素を含んでいる(2), (3), (4)のグループでは, カロチノイド色素およびアントシアニン色素の吸光度(O. D.)が増大するにしたがい, 花の色調が濃くなることを認めた。

ここでは, 色素の定量分析と色差計による花卉の表面色の正確な測色とから得られた結果を前報の結果と対比することによつて, キクの品種にみられる種々の花色を合理的に分類, 整理する方法を追究した。すなわち, 前報での区分方法が色素組成の知見からは合理的な取り扱いであるかどうか, また, これがキクの花色を対象とした育種研究において, 品種の取り扱いの上で適当な分類方法であるかどうかを検討した。

なお, 花色と色素含量の関係については, すでに箕原(10)や遠藤ら(3)により報告されているが, いずれも, 赤色系キクのアントシアニン色素のみを取り扱ったもの

で、本実験のように幅広い花色についての検討はなされていない。

材料および方法

前報で供試した 68 品種を用いた（但し、No. 49 の Peach Chip' は含有色素の定量を行なっていない）。これらの品種の栽培は、京都大学農学部のは場で、慣行法に従って行ない、6 月にさし芽し、10～11 月に開花した花を供試した。試料とする花卉の採取は、外側の小花が水平に展開した時点で行なつた。色素の抽出、定性、定量は常法に準じた(2, 6)。

(I) アントシアニン色素の抽出、定性、定量実験

供試品種についての定性は、セルロースパウダーの薄層クロマトグラフィー（TLC、アビセル SF、10×10cm、フナコシ薬品）を用いて行なつた。

40℃ で通風乾燥した花卉を粉末として、その少量を 1% 塩酸-メタノールに浸漬し、室温（約 25℃）におよそ 6 時間おいた。得られた色素溶液をろ過してクロマトグラフィー用の試料とした。展開溶媒は *n*-ブタノール、酢酸、水の混液（4:1:2, v/v）を用いた。アントシアニン色素を含有する 47 品種すべてに、主要色素として 3 スポットがクロマトグラム上に検出された。

定量は、上記の粉末 50 mg から 1% 塩酸-メタノール 100 ml でアントシアニン色素を抽出し、530 nm での O. D. を測定し、同じ溶媒での標準試料（chrysanthemin）から求めた検量線で、その色素の含有量を算出した。含有量は乾燥重 1 mg あたりの μg （chrysanthemin 相当量）で表わした。

(II) カロチノイド色素の抽出、定性、定量実験

カロチノイド色素の定性、定量には、生花卉を用いた。生花卉を石油ベンジン、アセトン混液（4:1, v/v）とともに乳ばち内ですりつぶし、得られたカロチノイド色素溶液をクロマトグラフィー用の試料とした。定性分析はシリカゲル（silica gel-G, Merck）の TLC を用い、抽出溶剤として用いた石油ベンジン、アセトン混液を展開溶媒とし色素を展開した。得られたクロマトグラム上には、カロチノイド色素を含有する品種すべてに、10 個のスポットが主要なものとして確認された。

定量は生花卉 500 mg を、先の抽出溶剤を用いて乳ばち内ですりつぶし、カロチノイド色素を抽出した。その抽出液を正確に 50 ml の定量に上記溶剤で希釈し、440 nm の O. D. を測定した。キク花卉に存在するカロチノイド色素としては、chrysanthemaxanthin, taraxanthin 等が同定されているが（12, 13）、花卉に含まれて

いる総カロチノイド色素含量に対して、これら個々の色素の占める割合が明らかでないため、本実験では $E=2,500$ の値を用いて、通常使用される換算式、すなわち、 $x=E_d/(E_{1\text{cm}}^{1\%}\times 100)$ で含量を算出し、生体重 1 mg あたりの μg で表わした(2)。

抽出された色素溶液の吸光度測定には、日立 101 型分光光度計を用いた。

(III) 花色の測色

採取された花は直ちに、花色の測色に供試した。測色は測色色差計（NDK-5 型、日本電色工業）により行ない、測色時の花卉の裏打ちには黒色板を用い、測色窓（集光孔）は 5 mm とした。1 品種あたり 5 花序を選び、1 花序につき、最外列の小花および最外列と花心との中間部分の小花の花弁を試料とした。この 5 花序の測定結果の平均をそれぞれの品種の花色とみなし、花色を L, a, b 値（UCS 表色系；Uniform chromaticity scale system）で表わした(9)。その結果をもとにして、それぞれの色名を I. S. C. C.-N. B. S. 法(9)に準じて決定した。

結果および考察

(I) 供試品種における色素の種類

(イ) アントシアニン色素

キクの花に含有されているアントシアニン色素のより詳細な構造研究は、現在遂行中であるので別報で取り扱う予定であるが、品種 'Delaware' を用いた研究で、キクの構成色素は通常の塩酸-メタノールによる抽出方法では、A, B, C の 3 種類の cyanidin の配糖体よりなることが知られている。C 色素は cyanidin 3-glucoside であり、A, B 両色素も cyanidin 3-glucoside の誘導体であることが示されている(15)。このことに関しては、他の研究者によつても類似した結果が示されているが、まだ、決定的な同定はなされていない。

今回取り扱った 49 品種での主要色素組成は第 1 表に示してあるが、各品種における色素の種類（A, B, C）およびそれらの相対量はほとんど同じであり、その中心は B 色素である。本実験では確認できなかったが、そのほか 2, 3 の品種で遠藤らは別の 2 色素の存在を報告している(3)。

これらの色素は色の発色体の本体としては cyanidin であるため、花色に対してはほとんど同じ色調を呈するので、特別に区別せず、すべて cyanidin 3-glucoside（chrysanthemin）として取り扱い、色素含量の方を花色発現に対する問題点として取り上げた。この実験では、分析はアントシアニン色素とカロチノイド色素に限定し、フラボンおよびフラボノール色素は取り上げなかった。

Table 1. Color and pigment data of 68 chrysanthemum cultivars.

Groups ¹⁾	Cultivar name	Flower color ²⁾	Anthocyanins (A)				Carotenoids (C)				Ratio of content (A/C) ³⁾
			Major spots ³⁾	O. D. ⁴⁾	Con- tent ⁵⁾	Con- tent/O. D.	Major spots ⁶⁾	O. D. ⁴⁾ (C ₂)	Con- tent ⁷⁾	Con- tent/O. D.	
(1)	1. Shintoa	Yellow white					?	S	±		
	2. Encore	White									
	3. Otomezakura (white)	〃									
	4. Tip Top	〃									
	5. Shirouarupusu	〃									
	6. Pristine	〃									
	7. Improved Albatross	〃					?	S	0.004		
	8. Iceberg	〃					〃		±		
(2)	9. Indianapolis Pink	Weak reddish purple	A~C	0.49	2.233	4.56					
	10. Okayamaheiba	Weak pink	〃	0.16	0.940	5.88	?		±		
	11. Katanozakura	Weak purplish pink	〃	0.24	〃	3.92					
	12. Personality	Weak reddish purple	〃	0.42	3.009	7.16					
	13. Blue Chip	〃	〃	0.43	2.374	5.52					
	14. Dark Orchid Queen	〃	〃	0.42	3.197	7.61					
	15. Pink Chip	Weak purplish pink	〃	0.19	0.705	3.71					
	16. Criterion	Weak reddish purple	〃	0.34	3.197	9.40					
	17. Rose Chip	Weak red purple	〃	0.39	3.032	7.77	?	S	0.011		301.8
	18. Hialeah	Weak reddish purple	〃	0.43	2.280	5.30					
	19. Kiyomizu	Weak purplish pink	〃	0.14	0.494	3.53					
	20. Seikanohonoo	Moderate reddish purple	〃	0.76	9.238	12.16	?		0.011		839.8
	21. Myoshin	Deep reddish purple	〃	1.47	12.224	8.32	〃		±		
	22. Hananoyama	Deep red purple	〃	1.31	10.719	8.18					
	23. Otomezakura (red-purple)	Dusky red purple	〃	0.83	9.097	10.96	?	0.67	0.025	0.04	363.9
	24. 〃 (purple)	Deep reddish purple	〃	1.07	11.636	10.87					
	25. Shikinoyosooi	〃	〃	1.12	11.871	10.60					
	26. Taihoshikibu	Deep red purple	〃	1.39	20.592	14.81					
	27. Taihomomoyama	〃	〃	0.68	11.236	16.52	?	0.38	0.009	0.02	1248.4
	28. Blue Ridge	〃	〃	1.05	8.510	8.10					
	29. Taihonomiyako	〃	〃	0.83	11.330	13.65					
	30. Dark Blue Chip	Moderate red purple	〃	0.71	3.879	5.46					
	31. Seikobizan	Weak reddish purple	〃	0.74	7.546	10.20	?	0.52	0.006	0.01	1257.7
	32. Senkyowakamurasaki	Very deep red purple	〃	1.93	30.794	15.96					
	33. Aridoshi	Red purple	〃	2.62	29.807	11.38					
	34. Taiseibizan	Very dark purplish red	〃	2.35	23.719	10.09					
(3)	35. Nob Hill	Weak yellow					?	0.21	0.016	0.08	
	36. Mefo	〃					〃	0.14	0.013	0.09	
	37. Yellow Chip	Strong yellow	A~C	0.06	±		A'~J'	0.58	0.112	0.19	1.5
	38. Otomezakura (yellow)	Moderate yellow	〃	S	0.470		〃	0.41	0.122	0.30	3.9
	39. Gold Top	Yellow					〃	0.45	0.144	0.32	
	40. Ginpa	Yellow white					?	0.13	0.004	0.03	
	41. Goldberg	Strong yellow	?	0.06	±		A'~J'	0.58	0.172	0.30	
	42. Yellow Mefo	Moderate yellow					〃	0.67	0.194	0.29	
	43. Yellow Iceberg (1)	Weak yellow					〃	0.56	0.132	0.24	
	44. 〃 (2)	Strong yellow					〃	0.80	0.154	0.19	
	45. Taiseinoissin	〃					〃	1.28	0.153	0.12	
	46. Golden Princess Ann	〃	A~C	0.07	0.306	4.37	〃	0.86	0.131	0.15	2.3
	47. Aztec	Vivid yellow					〃	1.42	0.333	0.23	
	48. Golden Herald	Deep yellow					〃	2.06	0.356	0.17	
(4)	49. Peach Chip	Weak red	A~C	0.41			?	0.47			
	50. Salmon Chip	Moderate orange pink	〃	0.28	2.022	7.22	〃	0.55	0.026	0.05	77.8

Groups ¹⁾	Cultivar name	Flower color ²⁾	Anthocyanins (A)				Carotenoids (C)				Ratio of content (A/C)
			Major spots ³⁾	O. D. ⁴⁾	Content ⁵⁾	Content/O. D.	Major spots ⁶⁾	O. D. ⁴⁾ (C ₂)	Content ⁷⁾	Content/O. D.	
	51. Bronze Chip	Weak orange	A~C	0.40	1.834	4.59	A'~J'	0.68	0.082	0.12	22.4
	52. Princess Ann	Moderate orange pink	〃	〃	2.186	5.47	?	0.62	0.031	0.05	70.5
	53. Princessa d'Oro	Pale yellowish orange	〃	0.04	0.306	7.65	〃	0.33	0.024	0.07	12.8
	54. October	Moderate orange	〃	0.24	1.293	5.39	A'~J'	1.25	0.260	0.21	5.0
	55. Kinkaku	Weak orange	〃	0.23	1.105	4.80	?	0.76	0.164	0.22	6.7
	56. Crescendo	Deep yellowish orange	〃	0.32	1.222	3.82	A'~J'	1.19	0.256	0.21	4.8
	57. Apricot Princess	Moderate orange	〃	0.36	1.420	3.97	〃	1.07	0.124	0.12	11.5
	58. Otomezakura (red)	Deep red	〃	1.07	9.638	9.01	〃	0.89	0.102	0.11	94.5
(ii)	59. Indianapolis Bronze	Moderate red	〃	0.64	3.126	4.88	〃	0.96	0.082	0.09	38.1
	60. Thelma	Red	〃	0.82	7.264	8.86	〃	1.65	0.364	0.22	20.0
	61. Monty	Deep red	〃	0.95	9.144	9.63	〃	1.16	0.354	0.31	25.8
	62. Jetfire	Red	〃	1.15	8.392	7.30	〃	1.99	0.507	0.25	16.6
	63. Fred Yule	Deep orange	〃	0.73	4.020	5.51	〃	1.98	0.303	0.15	129.7
	64. Oriflamme	Dark red	〃	2.00	18.641	9.32	〃	2.14	0.250	0.12	74.2
	65. Chiyonobi	Very dusky red	〃	2.84	45.157	15.90	〃	2.01	0.136	0.07	332.0
	66. Delaware	Dark red	〃	2.18	19.581	8.98	〃	2.07	0.158	0.08	123.9
	67. Algone	Dusky red	〃	1.72	27.151	15.79	〃	1.64	0.185	0.11	146.8
	68. Vulcan	Dark red	〃	1.61	18.900	11.74	〃	1.88	0.260	0.14	72.7

1) See J. Japan. Soc. Hort. Sci. 43(2): 165—173 (1974).

2) According to I. S. C. C.-N. B. S. color designation.

3) Major spots of anthocyanins, extracted with 1% HCl in methanol and detected on cellulose thin layer chromatogram with solvent system, *n*-butanol-acetic acid-water, 4:1:2, v/v. *R_f* values: A=0.56, B=0.46, C=0.38 (cyanidin 3-glucoside).4) Optical density at $\lambda_{\max}$ on the absorption curves from intact, fresh petals normalized to zero optical density at 720 nm. C₂ is major absorption maximum of carotenoids.5) $\mu\text{g}/\text{mg}$ dry weight.6) Major spots on silica gel-G thin layer chromatogram with solvent system, petroleum benzene-acetone, 4:1, v/v. *R_f* values: A'=0.96, B'=0.85, C'=0.58, D'=0.52, E'=0.45, F'=0.41, G'=0.31, H'=0.27, I'=0.21, J'=0.18.7) $\mu\text{g}/\text{mg}$ fresh weight.

Table 2. Spectral investigation of carotenoids from chrysanthemum cultivars.

Compounds	Absorption maxima ($\lambda_{\max}$) in					
	Carbon disulfide ¹⁾			Ethanol ¹⁾		
Carotenoids from chrysanthemums						
Pigment ²⁾ of <i>R_f</i> =0.03	439.0	465.0	496.5	415.5	438.5	468.0
Pigment of <i>R_f</i> =0.09	443.0	469.0	496.5	418.0	442.0	467.0
Reported ³⁾						
Taraxanthin	441	469	501	416	442	471

1) Solvents.

2) Purified with silica gel-G TLC (solvent system; ① petroleum benzene: acetone=4:1, ② benzene: ethanol=6:1, v/v) after saponification.

3) B. H. DAVIES (1965).

(ロ) カロチノイド色素

クロマトグラフィーによる色素分析から、通常、キクには chrysanthemaxanthin, taraxanthin, xanthophyll-mono-epoxide とこれらカロチノイドのエステルが多数存在することが知られている。本実験でも、クロマトグラム上に表われた主要スポットは各品種とも 10 個を

確認し、それら 10 種類のカロチノイドの相対量は各品種ともほぼ同じであり、その結果を第 1 表に示した。

また、品種 'Golden Herald' の花卉からのカロチノイド色素をケン化処理すると、クロマトグラム上に数個のスポット（展開溶媒、石油ベンジン：アセトン=4:1, v/v）が検出されたが、そのうち主要な 2 色素 (*R_f*=

Table 3. Pigment compositions of each group of flower color in 68 chrysanthemum cultivars.

Groups	Pigments
(1) White color	Flavones and Flavonols ¹⁾ .
(2) Pink color	Flavones and Flavonols, Anthocyanins (A~C) ²⁾ .
(3) Yellow color	Flavones and Flavonols, Carotenoids (A'~J') ²⁾ .
(4) (i) Orange color	Flavones and Flavonols, Anthocyanins (A~C), Carotenoids (A'~J').
(ii) Red color	Flavones and Flavonols, Anthocyanins (A~C), Carotenoids (A'~J').

- 1) Major aglycones of flavones and flavonols... Apigenin and luteolin.
2) See Table 1.

0.03, 0.09, 室温は約 25°C) をシリカゲルの TLC (展開溶媒, ① 石油ベンジン: アセトン=4:1, v/v, ② ベンゼン: エタノール=6:1, v/v) により精製し, 吸収スペクトルを測定したところ, 第2表のような結果が得られた. この中で $R_f=0.09$ の色素は taraxanthin と思われるが, 厳密にはさらに詳細な分析が必要である.

第1表に示した色素組成が生花卉の吸収スペクトルに示す効果をその主ピークについてみると, その λ_{max} は 450~485 nm の範囲にあり, ほとんど同じで, しかもクロマトグラムのスポットはいずれも黄色であつた. このため, それぞれのカロチノイド色素を区別せず, 同一の色素として量的な問題のみを取り扱つた.

(ハ) 花色による品種の区分

前報で明らかにしたように, 花色と含有色素の種類との間には密接な関係が認められ, それは第3表の通りであつた. この実験でも, 供試した 68 品種を花色により前報の様式に準じて下記の4つのグループに分類し, 以下, グループ別に色素含量と花色の結果をまとめ, 花色発現に及ぼす色素含量の影響について考察を行なうことにする.

- (1) 白色花グループ
- (2) 桃色花グループ (桃色~赤紫色花)
- (3) 黄色花グループ
- (4) (i) 橙色花グループ
- (ii) 赤色花グループ

(II) カロチノイド色素およびアントシアニン色素の含量

オパール・グラス透過法(22)によつて測定した生花卉のスペクトル・カーブにおいて, カロチノイド色素およびアントシアニン色素の含量を示すと考えられる O.D. には, 実際は, フラボン・フラボノール色素, カロチノイド色素およびアントシアニン色素の3者が関与してい

る. したがつて, O.D. の0点の設定が含有している色素の正しい0点に相当するとは限らないので, その O.D. からそれぞれの厳密な色素含量を直接求めることは困難である(17).

これまで, 色素含量の多少が花色変異の一因となるということ, すなわち, 花色に対する色素の量的効果については多くの報告がみられるが(1, 4, 5, 24, 29), アントシアニン色素のみに関したものが多くいようである.

キクの花の場合, 生花卉のスペクトル・カーブからも明らかのように, アントシアニン色素のほかに, カロチノイド色素の花色への影響が大きい(17).

そこで, カロチノイド色素とアントシアニン色素の抽出, 定量を行ない, 得られた色素含量をグループ別にまとめ, 前報で調査した生花卉のスペクトル・カーブの O.D. と対比することとした. その結果は第1表に示した通りであつた. 今回の定量法は, 乾燥花卉の mg あたりの含量を問題としたので, 測定された色素含量と生花卉の O.D. とがかならずしも高い相関性をもつとは期待できないが, 概略的には, ほぼ両者の間に対応がみられた. しかし, 生花卉の O.D. の高いものではそれが高いほど, 色素含量と O.D. が対応しなかつた. これは生花卉の吸収スペクトル測定技術そのものの限界と関係があるものとみなされる. 以下, 色素含量と生花卉の吸収スペクトル・カーブの O.D. の関連性について詳細に検討してみた.

カロチノイド色素含量をグループごとにみると, 含量の高い品種は黄色花グループよりも橙色花および赤色花グループに多く, なかでも赤色花グループの1品種 'Jetfire' は最も高い含量を示した. この品種の花弁の裏側は他の品種のそれより濃い黄色で, この部分に高濃度のカロチノイド色素が存在しているものと思われる.

ここで, 生花卉のスペクトル・カーブから得られた O.D. とカロチノイド色素含量との関連性をみるため, これら両者の相関関係を求めたところ, 黄色花および橙色花グループの品種では, それぞれ $r=0.90, 0.89$ とかなり高い相関が得られたが, 赤色花グループの品種では $r=0.18$ にすぎず相関はみられなかつた. これは, アントシアニン色素 (あるいはフラボンおよびフラボノール色素) の含量が高くなるにつれ, カロチノイド色素の吸収にアントシアニン色素の干渉が強くなることを示しているものと考えられる.

したがつて, 黄色花および橙色花グループでは, 生花卉のスペクトル・カーブの O.D. からカロチノイド色素含量を推測することができるが, 赤色花グループではそれが困難となる. 同様のことが, 桃色花グループの中

で、カロチノイド色素をごく微量に含む数品種についてもいえる。

他方、桃色、橙色、赤色の花色発現に関与しているアントシアニン色素については、桃色花グループおよび赤色花グループに含量の高い品種が多く、橙色花グループには含量の高い品種はみられなかった。特に赤色花グループの1品種‘千代の美’は最もアントシアニン色素含量が高かった。その花色は、他の品種と異なつて黒味の強い赤色を呈していた。この花色は、主に高濃度のアントシアニン色素によるものと思われるが、他の報告にもみられるように花卉表面の形態的な差異(28)や、タンニンなどの共存物質の影響(23, 30)も関与しているものと思われる。

本実験の結果から、花色発現と色素含量の関係を検討してみると、アントシアニン色素による赤紫色発現には、カロチノイド色素による黄色発現の場合とは異なり、かなり高濃度の色素含量が必要であると考えられる。

ここで、アントシアニン色素含量と、生花卉のスペクトル・カーブにみられるアントシアニン色素のO.D.との関係をみてみると、どのグループにおいても高い相関関係が認められた。すなわち、桃色花グループで $r=0.93$ 、橙色花グループで $r=0.97$ 、また赤色花グループで $r=0.93$ であつた。このことは、生花卉の吸収スペクトル・カーブにおいて、どの花色をとつてみても、アントシアニン色素が示す吸収にカロチノイド色素の吸収があまり影響をもたないことを示すものである。

したがつて、それぞれの花におけるアントシアニン色素の含量は、生花卉のスペクトル・カーブのO.D.からほぼ概略的な値を推定することができるが、カロチノイド色素の場合は、共存するアントシアニン色素の影響が強く、その含量の高い赤色花では、カロチノイド色素の含量を推定することが困難となる。

キクの花は多くの小花の集まりであるため、花序の中心部と周縁部とで花弁色のかかなり異なる品種が多い。すなわち、花弁の生長にともない、カロチノイド色素やアントシアニン色素の含量に変化がみられ(11)、白花品種でも開花の初期には花弁が淡黄色を呈しているものが多い。また、赤色花グループの品種では、特に花弁の表面と裏面の色相は、必ずしも対応した変化を示さないのが普通であり(14)、1個の花序でも部分的にみた場合、色彩構成は複雑である。

白色花や黄色花グループの生花卉のスペクトル・カーブにおいて、アントシアニン色素によると思われる吸収が観察され、また、白色花や桃色花グループのスペクトル・カーブにもカロチノイド色素による吸収が認められ

た。しかし、両色素ともこれらの花色では含有量がごく微量であつて、抽出定量ができない例もみられた。したがつて、それぞれの花に含まれるアントシアニン色素およびカロチノイド色素を定性的に分析する場合、生花卉のスペクトル・カーブを測定すれば、ごく微量に含まれる色素をも直接的に検出することが可能である。また、定量的に分析する場合にも、スペクトル・カーブの測定を併用して微量な色素の存在を確めながら分析を進めることは、色素の抽出、定量を行なう上で非常に有効であるといえる。

ごく微量に含有されている色素は、色相を変えるほど花色発現に影響をもつてはいないが、ここに各グループにおけるアントシアニン色素(A, $\mu\text{g}/\text{mg}$ dry weight)とカロチノイド色素(C, $\mu\text{g}/\text{mg}$ fresh weight)の含有比(A/C)をあげると次のようである。

黄色花グループ 0.3~0.9

橙色花グループ 4.8~129.7

Fig. 1. Distribution of flower color of chrysanthemum cultivars on Hunter's diagram of chromaticity.

Content ($\mu\text{g}/\text{mg}$ fresh weight) of carotenoids.

{ ● ▲ □ 0 — 0.09
○ △ 0.10 and over

Content ($\mu\text{g}/\text{mg}$ dry weight) of anthocyanins.

{ ○ ● 0 — 0.50
△ ▲ 0.51—15.00
□ ■ 15.10 and over

No. 1—8; White flower color group.

9—34; Pink

35—48; Yellow

49—57; Orange

58—68; Red

(No. 49: omitted).

(No. 63: orange flower color).

(see Table 1. for No. 1 to 68).

Fig. 2. Distribution of flower color of chrysanthemum cultivars on L, b -coordinates.

Content ($\mu\text{g}/\text{mg}$ fresh weight) of carotenoids.

● ▲ ■ 0 — 0.09
○ △ □ 0.10 and over

Content ($\mu\text{g}/\text{mg}$ dry weight) of anthocyanins.

○ ● 0 — 0.50
△ ▲ 0.51—15.00
□ ■ 15.10 and over

No. 1—8; White flower color group.

9—34; Pink

35—48; Yellow

49—57; Orange

58—68; Red

(No. 49: omitted).

(No. 63: orange flower color).

(see Table 1. for No. 1 to 68).

赤色花グループ 16.6~146.8

(ただし, '千代の美' は 332.0)

桃色花グループ 301.8~1257.7

(III) 花色の数値的表現および数値的に表現された花色と主要色素の関係

遺伝的にヘテロ性の大きいキクは、雑種後代はもとより自殖後代においても種々の花色の分離を生じ、しかも、その変異は連続的に推移することが多い。また、キクの花色は環境要因、特に温度条件によつて大きな変化を示す(16)。したがつて、その花色を、それを支配する色素含量との関係において論じようとする場合、当然のこととして微妙に異なる色調を識別し、表示する必要がある。その表色方法として、各品種の花色を色差計を

Table 4. Correlation between content of carotenoids or anthocyanins and Hunter color values¹⁾.

Groups	Hunter color values	Content of	
		Carotenoids	Anthocyanins
Pink color	$L^{2)}$	0	-0.83*
	a		0.63*
	b		
Yellow and white color	$\sqrt{a^2+b^2}^{3)}$		0.56*
	a		
	b	0.82*	
Orange color	$\sqrt{a^2+b^2}$	0.92*	
	a	0.34	0.96*
	b	0.94*	-0.27
Red color	$\sqrt{a^2+b^2}$	0.92*	0.22
	a	0.67**	-0.32
	b	0.45	-0.89*
	$\sqrt{a^2+b^2}$	0.84*	-0.55

1) Indicated with a color difference meter.

2) Lightness of all groups.

3) Chroma.

* Significant at the 0.01 level.

** " at the 0.05 level.

用いて測色し、色調を数値的に表現することを試みた。その結果は第 1, 2 図に示した通りである。

本実験に用いた品種の花色は黄色から橙色、赤色そして赤紫色までの色相範囲に分布し、白色花は無彩色を表わす原点から少しはずれた黄色の色相範囲に位置している。ここで用いた UCS 表色系には、CIE 表色系よりも花色間の色差がよく表現できるという利点があるが(9, 10, 19)、視覚的に濃赤色と濃赤紫色とはかなり異なつた色調として判別できるにもかかわらず、第 1, 2 図では非常に接近した色調として表わされている。しかし、全体的にみると、前報で生花卉のスペクトル・カーブの型によつて分類された各グループは、色度図上でもほぼ同じ品種からなるグループに区分された。

前報で述べたように、花色とそれに関係している色素の種類は第 3 表のような関係にあるが、各グループ内においても個々の花色にはかなりの違いがあり、この花色の違いを色素含量から考察するため、グループごとに L 値(明度)、 a 値(+側で赤色の度合を示す)、および b 値(+側で黄色の度合を示す)と、花色に影響の強い色素であるアントシアニン色素とカロチノイド色素の各含量との関係[フラボンおよびフラボノール色素の含有が認められている(6, 7, 26)、今回はこれらの色素の定量分析を行なっていないので、花色に対するこれらの色素の含量の影響については推測にとどめる]を第 4 表にまとめた。

キクの花色の明度(L 値)は白色花グループと黄色花

グループで最も高く、桃色花グループでは色調が濃くなるにつれて明度は下がった。また、黄色から橙色、そして赤色と赤味が増すにつれて明度は低下した（第2図）。すなわち、明度と色素含量の関係について、カロチノイド色素との間には全く相関関係が認められなかったが、アントシアニン色素との間には1%レベルで有意な高い相関関係が認められた。したがって、寛ら(10)により指摘されているように、 L 値でもつてアントシアニン色素含量をある程度推測できるものと思われる。

桃色花グループでは、アントシアニン色素含量と a 値および彩度($\sqrt{a^2+b^2}$)の間に1%レベルで有意な正の相関が、また、黄色花（白色花グループを含めて）グループでは、カロチノイド色素含量と b 値および彩度との間に非常に高い正の相関が認められた。したがって、桃色花グループでは、アントシアニン色素含量の増加により彩度が高くなるわけであるが、他方では明度が低下するので、視覚的にアントシアニン色素により彩度が高くなることを認めることは困難である。同様に、黄色花グループでもカロチノイド色素含量の増加により、彩度は著しく高くなった。しかしながら、桃色花グループでは、アントシアニン色素含量がある量（約20 $\mu\text{g}/\text{mg}$ dry w.）以上に増加すると、 a 値が逆に小さくなり、彩度もまた低下した。

この現象は単にアントシアニン色素含量の増加のみによって説明しうるものではなく、おそらく、フラボンおよびフラボノール色素などの関与が大きいものと思われる。

橙黄色グループでは、 a 値とアントシアニン色素含量、 b 値とカロチノイド色素含量の間に高い相関がみられ、アントシアニン色素含量の増加により色相はより赤の方向へ移ったが、それと同時に、カロチノイド色素含量が減少すれば彩度は低くなり、色調は桃色に近い色となつた。また、カロチノイド色素含量が減少せずにアントシアニン色素含量が増加すると、非常に彩度の高い橙色となつた（例：'Fred Yule'）

以上のグループとは異なり、赤色花グループでは b 値とアントシアニン色素含量、あるいは a 値とカロチノイド色素含量の間に相関関係が認められたが、 a 値とアントシアニン色素の間には相関が認められなかった。これは赤色が濃くなると、 a 値によつて赤色の度合を表わすことができなくなること示すもので、その原因としてアントシアニン色素含量の増加によつて明度と同時に、彩度もまた低下することが上げられる。この彩度の低下には、桃色花グループと同様に、フラボンおよびフラボノール色素が関与しているものと思われる。

前報において、生花卉のスペクトル・カーブの型から、キク品種の花色を4グループに分類したが、本実験における主要色素の定量および色差計による花色の測定結果から、その分類の妥当性が裏付けられた。さらに、生花卉のスペクトル・カーブの測定は、微量含有色素の検出、確認を可能にし、また、その吸光度から色素含量の推定を可能にするものである。また、色差計による花色の測色は花色の客観的な表現を可能にし、微妙な花色変異の識別を可能にするため、その援用は花色の色彩科学的分析を容易にするものである。

これらの機器分析の方法は、花色発現機構の解明に役立つものであり、花色に関する植物化学的、遺伝育種学的研究への広範な応用が期待される。

摘 要

(1) 花色に対する主要色素の量的効果をみるため、カロチノイド色素およびアントシアニン色素の抽出、定性、定量実験を行ない、生花卉のスペクトル・カーブから得られた吸光度と比較検討した。また、花色を客観的に表示するために、測色色差計で花卉色の測色を行なつた。

本実験では、供試した68品種を概略的に(1)白色花、(2)桃色花、(3)黄色花および(4)(i)橙色花、(ii)赤色花の4グループに分け、それらのグループでの花色の特性を検討した。

(2) アントシアニン色素およびカロチノイド色素のTLCを用いた定性的な分析結果から、前者では供試した68品種中、アントシアニン色素を含有すると思われる品種49種の総てに主要なアントシアニン色素として3個のスポットが認められた。後者のカロチノイド色素では10個のスポットが主要なものとして認められ、68品種中、カロチノイド色素の定性に供した26品種の総てに同じ色素スポットを観察した。

(3) 黄色花、橙色花および赤色花の各グループの花色の発現に関与しているカロチノイド色素は、黄色花グループよりも橙色花および赤色花グループに含量の高い品種が多かつた。

他方、桃色花、橙色花および赤色花の各グループの花色発現に関与しているアントシアニン色素では、桃色花グループ（特に赤紫色花）および赤色花グループの品種に比較的高濃度含有の花が出現していた。

(4) カロチノイド色素は、低濃度の含有で十分な黄色の花色発現を行なうことができるのに反し、アントシアニン色素の場合はかなり高濃度の含有で赤色系の花色発現が行なわれていた。

(5) UCS表色系による花色の数値的表現は非常に

近接した色調を判別するのに有効であり、その結果から、前報で区分した4グループの分類もよく説明できた。しかし、明度の低い濃赤色と濃赤紫色との色調の差は肉眼では明らかに認められたが、UCS表色系ではかなり近接した色調として表現された。

(6) UCS表色系で表わされた花色の明度(L)はカロチノイド色素含有濃度の影響を受けていないが、アントシアニン色素によつては影響を受けていて、桃色花、橙色花および赤色花の各グループではその含量の増加によつて明度は低下した。

(7) カロチノイド色素含量およびアントシアニン色素含量と、 a , b , および $\sqrt{a^2+b^2}$ (彩度) との間には、グループ別にそれぞれ相関関係が認められた。アントシアニン色素は色相の変化に寄与していたが、桃色花グループでは彩度の変化に寄与していた。一方、カロチノイド色素は彩度の変化に寄与するところが大きかった。

謝 辞 本実験を行なうにあたり、終始懇切な御助言をいただいた明治学院大学教授齋藤規夫博士に感謝の意を表する。

引用文献

- AHUJA, K. G., H. L. MITCHELL, and W. J. CARPENTER. 1963. Quantitative determination of anthocyanidin from petals of rose cultivars, Pink Coronet and Happiness. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 83 : 829—832.
- DAVIES, B. H. 1965. Analysis of carotenoid pigments. in 'Chemistry and biochemistry of plant pigments' (ed. by T. W. GOODWIN). pp. 489—532. Academic Press. London.
- 遠藤元庸・山田健二. 1972. 栽培ギクの花色に関する研究. 1. 赤色系ギクのアントシアニン色素発現について. 岐阜大農研報. 33 : 51—63.
- HARBORNE, J. B., and H. S. A. SHERRATT. 1961. Plant polyphenols. 3. Flavonoids in genotypes of *Primula sinensis*. *Biochem. J.* 78 : 298—306.
- . 1965. Flavonoids: Distribution and contribution to plant colour. in 'Chemistry and biochemistry of plant pigments' (ed. by T. W. GOODWIN). pp. 247—278. Academic Press. London.
- . 1967. Comparative biochemistry of the flavonoids. Academic Press. London.
- 服部一三・蓬原雄三. 1970. キクの花色突然変異に関する遺伝育種学的研究. 1. 花色突然変異における色素のクロマト分析. 育学雑. 20 : 261—268.
- 林 考三. 1937. 暗赤色菊花色素の単離について. 植雑. 5 : 168—172.
- 目置隆一. 1966. 表色, 「色彩科学ハンドブック」色彩科学協会編, pp. 71—140, 南江堂. 東京.
- 寛 三男・横田弘司・山内弘毅. 1965. 赤色系キクの色調とアントシアニン色素について. 園学雑. 34 : 232—236.
- . 1969. 赤色系キクの色調と Anthocyanin 色素について. Chrysanthemin の単離ならびに Chrysanthemin 含有量と花の色. 広島農短大研報. 3 : 189—192.
- KARRER, P., and E. JUCKER. 1943. Carotinoid aus den Blüten von Winterastern, Chrysanthemamaxanthin. *Helv. Chim. Acta.* 26 : 626—630.
- . J. RUTSCHMANN, and K. STEINLIN. 1945. Zur Kenntnis der Carotinoid-epoxyd. Natürliches Vorkommen von Xanthophyll-epoxyd und α -Carotin-epoxyd. *Helv. Chim. Acta.* 28 : 1146—1156.
- 河瀬晃四郎. 1968. 色差計によるキク花卉色の色彩学的分析. 未発表.
- KAWASE, K., Y. TSUKAMOTO, N. SAITO, and Y. OSAWA. 1970. Studies on flower color in *Chrysanthemum morifolium* Ramat. 1. Anthocyanins. *Plant and Cell Physiol.* 11 : 349—353.
- 河瀬晃四郎. 1972. キクの育種に関する研究 (第17報) 花色に及ぼす温度の影響. 昭和47年園芸学会秋期大会講演要旨. p. 358—359.
- . 塚本洋太郎. 1974. キクの花色に関する研究 (第2報) 生花卉の吸収スペクトルについて. 園学雑. 43 : 165—173.
- KURODA, C., and M. WADA. 1936. The constitution of natural colouring matters, kuromanin, shisonin, and nasunin. *Bull. Chem. Soc. Japan.* 11 : 272—287.
- 新田伸三. 1956. 造園植物の測色学的研究 (N, V, M) パラ, ハナショウブ, グラジオラス, キクの花色の測色. 造園雑. 19 : 1—9.
- ROBINSON, G. M., and R. ROBINSON. 1932. A survey of anthocyanins. *Biochem. J.* 26 : 1647—1663.
- SAITO, N. 1967. Light absorption of anthocyanin-containing tissue of fresh flowers by the use of the opal glass transmission method. *Phytochem.* 6 : 1013—1018.
- SHIBATA, K. 1958. Spectrophotometry of intact biological materials. *J. Biochem. (Tokyo).* 45 : 599—623.
- SINGLETON, V. L. 1972. Common plant phenols other than anthocyanins, contributions to coloration and discoloration. in 'The chemistry of pigments' (ed. by C. O. CHICHESTER). pp. 143—191. Academic Press. London.
- STEWART, R. W., S. ASEN, K. H. NORRIS, and D. R. MASSIE. 1969. Relation of flower color to optical-density spectra of intact tissue and of anthocyanin extracts. *Amer. J. Bot.* 56 : 227—231.

25. 杉山 晃・高野泰吉. 1974. キクのアントシアニンの部分的特性について. 園学雑. 43: 286—294.
26. 和田 水・服部恒代. 1953. アントシアニンの Biogenesis に関する研究. 第Ⅱ報. 白菊の花よりアピゲニン-7-モノグルコサイドの単離. 資源研彙報. 32: 67—70.
27. WILLSTÄTTER, R., und E. K. BOLTON. 1916. Über ein Anthocyan der Winteraster (*Chrysanthemum*). Ann. 412: 136—148.
28. YASUDA, H. 1964. Studies on the expression of color tone in rose petals. 1. Characteristic structure of the epidermis of petals in velvety dark red roses. J. Fac. Lib. Art. Sci. Shinshu Univ. 14: 31—37.
29. 安田 斉. 1967. パ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. 植雑. 80: 357—362.
30. ———. 1973. 花色の生理・生化学, 内田老鶴園新社, 東京.