

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 19 日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23580047

研究課題名(和文)チューリップの化学分類に関する研究

研究課題名(英文)Chemosystematic of Tulips based on tepal anthocyanins as phenetic markers

## 研究代表者

橋本 文雄 (HASHIMOTO, Fumio)

鹿児島大学・農学部・教授

研究者番号：70244142

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、チューリップ品種並びに園芸品種の花弁の色素分布と品種成立の情報から系統的分類法の構築を試みることを目的とする。花弁色素分析の結果、7種の主要色素を同定し、これらをマーカーとして414品種のクラスター解析を行い、PgとCyを主体とする310品種とDpを主体とする104品種に大別された。園芸品種はDpを主体とした紫色系統の野生種から分化したと考えられ、品種群が成立したものと結論した。

研究成果の概要(英文)：The research is focused on the clarification of the establishment of Tulip species and cultivars (lines) by chemosystematics based on tepal anthocyanins as phenetic markers in accordance with the information on the pigments-distribution as well as the progenies' cross references based on the inheritance of tepal anthocyanidins. The seven major anthocyanins are identified and base on the 13 pigment patterns, 414 lines are divided into the 2 large clusters A and B according to Ward's minimum variance cluster analysis; the cluster A included 310 lines based on the major anthocyanidins, Pg and Cy, and the cluster B included 104 lines due to the major anthocyanidin, Dp. The Tulip cultivars are suggested to differentiate from the Dp-dominant species thus concluded to establish the updated or further differentiated phenotypic lines as existed in nowadays.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農学、園芸学・造園学

キーワード：園芸利用 化学分類 チューリップ アントシアニン 遺伝生化学

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) 研究の学術的背景

#### 1-1. チューリップの人為分類と育種の方向性

1554年ベルギーのブルベックがトルコのチューリップをヨーロッパ(ウィーン、プラハ)に紹介して以来、様々な品種が創出され、その数は現在5,400品種といわれている(KAVA, 1996)。オランダ王立球根生産者協会が国際的に品種登録するもので、この系統分類は、開花期を中心に来歴、花形の形態、栽培習性を基にした園芸的な分類となっている。

新品種の作出方法として、過去400年間は、和合成をもつ異系統間交雑による雑種個体の作出と分体繁殖が用いられてきたとされる(花の育種・齊藤清、誠文堂)。花色について、白色は黄色に対して優性であるとの記載がある。育種目標は、(1)花色・花形・花茎、(2)葉形、(3)子球生産量、(4)促成栽培に適している、(5)病害抵抗性に強い、が一般的に紹介されている。

#### 1-2. チューリップのアントシアニンに関する既存の研究

一方、花色や花色素の研究について、柴田萬年は、チューリップ花弁から世界で初めてチューリパニン(Anthocyanin)を単離し、その化学構造を明らかにした(Bot. Mag., 1956)。柴田と石倉は、107品種のチューリップについて、アントシアニンの組成を報告した(Jap. J. Bot., 1960)。本共同研究者の中山らは、チューリップ花弁に7種のアントシアニンが含まれていることを明らかにし、28園芸品種のアントシアニン分布を報告した(JARQ, 1999; B.B.B., 1999)。Andersenら(ノルウェー)は、2種の新規アントシアニンが含まれていることを明らかにした上で(Phytochemistry, 1999)、17品種と25園芸品種のアントシアニン分布(6色素)を精査し、主要因分析に基づく化学分類を行った(Biochem. Sys. Ecol., 2005)。この他、公開特許公報(特開2008-96317、段落【0081】および【0082】)に、新規アントシアニン色素が示され、チューリップの色素が全部で8種類であるとの記載がある。

#### 1-3. 国内外の研究の位置づけ

1. 花色育種法の情報は皆無である。前記した育種目標の(2)～(5)については膨大な情報がある。しかし、(1)の「花色」については、文献が見当たらない。
2. 柴田(Bot. Mag., 1956)および柴田と石倉(Jap. J. Bot., 1960)の研究は、当時としては大変画期的なものであった。柴田らの107品種のデータは精度に劣るので化学分類ができず、従って、定量的データに欠けていた。
3. 本研究分担者の中山らの報告(JARQ, 1999; B.B.B., 1999)及び公開特許公報によって、チューリップのアントシアニンは全部で8種類存在する。
4. Andersenらの研究(Phytochemistry, 1999;

Biochem. Sys. Ecol., 2005)によって、統計学的に化学分類がなされたが、系統的な位置関係や遺伝情報はこれらのデータからは判断できない。

### (2) 参考文献

- 1) Shibata, M., Bot. Mag. Tokyo, 69, 462-468, 1956
- 2) Shibata, M., Ishikura, N., Jap. J. Bot., 17, 230-238, 1960
- 3) Nakayam, M., et al., JARQ, 38, 185-190, 1999; Biosci. Biotechnol. Biochem., 63, 1509-1511, 1999
- 4) Torskangerpoll, K., et al., Phytochemistry, 52, 1687-1692, 1999; Biochem. Sys. Ecol., 33, 499-510, 2005
- 5) 特許【出願人】富山県【発明人】中島・荘司【公開番号】特開2008-96317【優先日】2006.10.12

## 2. 研究の目的

チューリップの花弁色素(アントシアニン)分布を精査し、化学分類を行う。チューリップ属品種は、国際登録リスト(1981年)によると15種類に分類されている。また、その育種は栽培当初から複雑な雑種として始められ、また、その雑種系の記載もない。従って、系統学的あるいは遺伝学的な根拠から分類することは不可能とされ、人為分類に留まっている。本研究は、花弁の色素分布と品種成立の情報から系統的な位置関係を把握し、また、交配雑種後代を調査することにより色素生合成の遺伝的特性を明らかにし、チューリップ属品種を色素化学的に分類し、チューリップ属品種の成立並びに花色の育種に情報を提供するものである。

## 3. 研究の方法

### 3-1. 園芸品種と原種のアントシアニン色素の分析

鹿児島大学農学部観賞園芸学研究室がこれまでに確立したアントシアニンの分析法で行う(Li, J.-B., 他. Phytochemistry, 69, 3166-3171, 2008; Li, J.-B., 他. Phytochemistry, 85, 99-106, 2013)。チューリップ花被片の重量を秤量し、抽出溶媒(酢酸-メタノールの1:1混液)で浸漬し、抽出溶液を高速液体クロマトグラフィー(HPLC)で定性・定量分析する。分析条件の詳細は、上記文献記載の通りである。園芸品種と原種の材料について、新潟県立植物園及び富山県農林水産総合技術センター園芸研究所花き課の協力の下、花被片を採集する。多数のチューリップを分析した。

### 3-2. チューリップ品種栽培

チューリップ品種を栽培し、相当量の花弁を材料として確保する。研究期間中、開花する4品種約2,000球のチューリップ花弁からアントシアニン色素を抽出した。

### 3-3. アントシアニンの抽出・単離法

鹿児島大学農学部観賞園芸学研究室がこれまでに確立したアントシアニンの方法で行った (Li, J.-B., 他. *Phytochemistry*, 69, 3166-3171, 2008)。

### 3-4. SAS 統計ソフトを用いたクラスター分析

前記 1.及び 2.の結果をもとに、文献記載の通り (Li, J.-H., 他. *Phytochemistry*, 71, 1342-1349, 2010; Li, J.-B., 他. *Phytochemistry*, 85, 99-106, 2013)、SAS 統計ソフトを用いたクラスター分析を行った。

## 4. 研究成果

### (1) 結果

#### 1-1. チューリップ 花被片のアントシアニンの色素構成

花被片色素分析の結果、① pelargonidin 3-O-rutinoside (Pg3R)、② pelargonidin 3-O-(2''-O-acetyl)-rutinoside (Pg2''A)、③ cyanidin 3-O-rutinoside (Cy3R)、④ cyanidin 3-O-(2''-O-acetyl)-rutinoside (Cy2''A)、⑤ delphinidin 3-O-rutinoside (Dp3R)、⑥ delphinidin 3-O-(2''-O-acetyl)-rutinoside (Dp2''A)、⑦ delphinidin 3-O-(3''-O-acetyl)-rutinoside (Dp3''A) の 7 種の主要色素を同定した (Fig. 1, Table 1) [Fig. 2 および Fig. 3 以外は本報告書では省略した]。

#### 1-2. 主要因分析およびクラスター解析

7 種の既知色素 (1) ~ (7) をマーカーとして 414 品種のクラスター解析を行った。その結果、ペラルゴニジン (Pg) とシアニジン (Cy) を主体とする 310 品種 (A 群、Fig. 2) とデルフィニジン (Dp) を主体とする 104 品種 (B 群、Fig. 3) の二グループに大別された。主要因分析の結果、Z<sub>1</sub> から Z<sub>4</sub> の四つの要因を得、それぞれの固有値を与え、特に、Z<sub>1</sub> の寄与率は 46.4% と最も大きく影響した (Table 2)。また、13 種類の色素パターンについて、Z<sub>1</sub> から Z<sub>4</sub> の固有ベクトルが与えられた (Table 3)。まず、Pg2''A、Pg および 2''A (2''位がアセチル化されたアントシアニン型) の 3 つの色素パターンはいずれも相関係数が 0.83 を超える値となり、要因 Z<sub>1</sub> に大きく影響を与えた。また、3R 型は -0.76 と要因 Z<sub>1</sub> に対して比較的大きな負の相関を与えた。次に、Dp3R、Cy3R、Cy および Dp の 4 つの色素パターンはいずれも相関係数が 0.75 を超える値となり、要因 Z<sub>2</sub> に最も影響を与えた。さらに、Dp3''A および 3''A (3''位がアセチル化されたアントシアニン型) の 2 つの色素パターンはいずれも相関係数が 0.80 を超える値となり、要因 Z<sub>3</sub> に最も影響を与えた。Pg3R は 0.62 と要因 Z<sub>4</sub> の中では最も高い正の相関係数を与えた。

#### 1-3. クラスター A 群および B 群について

クラスターについて、A 品種群 (310 品種) はさらに、アセチル基を少なく保有する A-1-1 品種群 (151 品種、A-1-1c を除く) (Fig. 2, Table 4)、および、Pg と Cy が優性共存し 2''

位のアセチル化 (2''A) 型が比較的進んだ A-1-2 品種群 (106 品種、A-1-2j の白花品種群を除く) (Fig. 2, Table 5)、並びに Pg を優性型として 2''A が特に強い A-2 品種群 (53 品種) (Fig. 2, Table 6) の 3 者に分別された。B 品種 (104 品種) 群は、Dp を優性色素とする品種群であって、かつ Pg2''A が低い個体群で形成され、大きく 2 つのサブクラスター B-1 (88 品種) および B-2 (16 品種) に分離した (Fig. 3, Table 7)。クラスター B-1 と B-2 の大きな違いは、Dp3''A の含量の多寡によることが明らかとなった。Table 4~Table 7 は、各サブクラスターに含まれる個体数と 13 種の色素パターンの平均値を示す (Fig. 2, Fig. 3)。

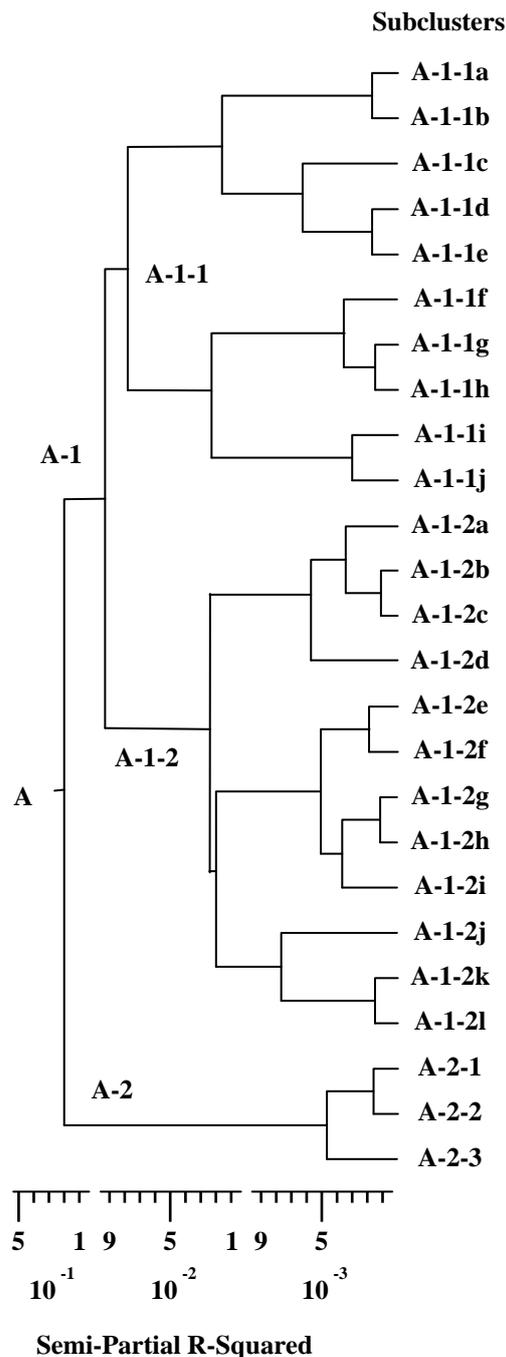
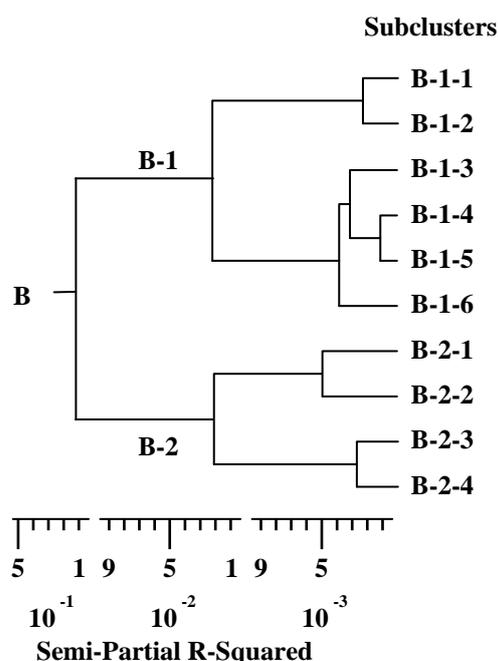


Fig. 2. 13 色素パターンを指標としてワード法クラスター解析によるクラスター A (310 品種) の樹形図。



**Fig. 3.** 13 色素パターンを指標としてウォード法クラスター解析によるクラスターB (104 品種) の樹形図。

#### 1-4. A-1-1 品種群 (151 品種) について

A-1-1 品種群は、さらに A-1-1a~A-1-1j の 10 のサブクラスターに分別された (Fig. 2, Fig. 4~Fig. 10, Table 8~Table 17)。

A-1-1a 群では、Cy が 90%にも及び、3R (3 位の糖にアセチル基を有していないアントシアニン型) 型は 97%であり、3''A 型を 1.9% 程度含んでいた (Fig. 4, Table 4, Table 8)。A-1-1b 群では、Cy は 93%程度で、3R 型はほとんどの品種で 100%であり、3''A 型は 0 品種であった (Fig. 5, Table 4, Table 9)。A-1-1c 群では、Cy は 84%と比較的低く、3R 型は 60%とクラスターA-1-1 中最も低い値で、3''A 型は 5.6%と最も高い値で、中でも 2''A 型が 34%と突出していた (Fig. 6, Table 4, Table 10)。A-1-1d 群では、Pg と Cy の含量比が概ね 1 : 2 でありその合計は 94%と高く、3R 型の 86%に対して 2''A 型が 8.6%、3''A 型が 5.0%と、2''A 型と 3''A 型の両者を比較的多く含有する品種群であった (Fig. 6, Table 4, Table 11)。A-1-1e 群では、Cy が 80%に対して Dp の含量比が 14%と A-1-1 群内で 2 番目に大きな値であり、3R 型は 95%と大きかった (Fig. 6, Table 4, Table 12)。A-1-1f 群では、Pg が 30%、Cy が 67%と平均的であり、3R 型が 99%と大きい品種群で構成された (Fig. 7, Table 4, Table 13)。A-1-1g 群では、Pg が 50%、Cy が 48%とほぼ 1 : 1 の占有率であり、3R 型が 98%と大きい品種群で構成された (Fig. 8, Table 4, Table 14)。A-1-1h 群では、Dp が 27%と非常に高く、Pg が 37%、Cy が 35%とほぼ 1 : 1 : 1 の占有率であり、3R 型が 97%と大きい品種群で構成された (Fig. 8, Table 4, Table 15)。A-1-1i 群では、Pg が 68%と比較的高く、3R 型が 97%と大きい品種群で構成さ

れた (Fig. 9, Table 4, Table 16)。A-1-1j 群では、Pg が 88%と A-1-1 の群内では最も高い占有率となり、3R 型が 98%と大きい品種群で構成された (Fig. 10, Table 4, Table 17)。

#### 1-5. A-1-2 品種群 (106 品種) について

A-1-2 品種群は、さらに A-1-2a~A-1-2l の 12 のサブクラスターに分別された (Fig. 2, Fig. 11~Fig. 15, Table 18~Table 28)。

A-1-2a 群では、2''A 型は 33%であり、Pg は 37%、Cy は 56%であって、Cy3R が 42%を占めた (Fig. 11, Table 5, Table 18)。A-1-2b 群では、2''A 型は 47%であり、Pg は 8%、Cy は 88%と A-1-2 群内で最も高く、Cy3R が 47%、Cy2''A が 41%の高値を占めた (Fig. 12, Table 5, Table 19)。A-1-2c 群では、2''A 型は 44%であり、Pg は 23%、Cy は 73%と比較的高く、Cy3R が 45%、Cy2''A が 28%を占めた (Fig. 12, Table 5, Table 20)。A-1-2d 群では、2''A 型は 17%と A-1-2 群内では最も低い値となり、しかし、Pg は 23%、Cy は 72%であり、Cy3R が 63%と A-1-2 群内で最も高い値となった (Fig. 13, Table 5, Table 21)。A-1-2e 群では、2''A 型は 66%と A-1-2 群内では比較的高い値となり、Pg は 41%、Cy は 53%でほぼ 1 : 1 であり、Cy2''A と Pg2''A がそれぞれ 33%と 31%となり 1 : 1 の含量となった (Fig. 14, Table 5, Table 22)。A-1-2f 群では、2''A 型は 56%と比較的高く、しかし、Dp が 30%も含まれ、Pg は 16%と少なく、Pg2''A が 38%と A-1-2 群内で最も高値となった (Fig. 14, Table 5, Table 23)。A-1-2g 群では、2''A 型は 75%と A-1-2 群内で最も高値となり、Dp が 21%、Pg は 19%と同程度で、Cy は 59%、その内 Cyg2''A が 43%も占めた (Fig. 14, Table 5, Table 24)。A-1-2h 群では、2''A 型は 65%と比較的高値で、Pg は 22%、Cy は 76%、この内 Cy2''A が 47%も占め、A-1-2 群内で最も高値となった (Fig. 14, Table 5, Table 25)。A-1-2i 群では、2''A 型は 54%、3R 型が 44 とほぼ 1 : 1 の含量であり、Pg は 50%、Cy は 49%とこれも 1 : 1 の含量比で、2''A 型は、Cy2''A が 20%、Pg2''A が 34%と、その大部分を占めた (Fig. 14, Table 5, Table 26)。A-1-2j 群は、白色花のアントシアニンを含有しない個体群で形成された (Fig. 15, Table 5)。A-1-2k 群では、2''A 型は 39%、Pg は 68%と比較的高く、Pg2''A は 31%であった (Fig. 15, Table 5, Table 27)。A-1-2l 群では、2''A 型は 29%と比較的低い値で、しかし、Pg は 94%と A-1-2 群内で最も高値となり、中でも Pg3R が 66%とその 3 分の 2 を占めた (Fig. 15, Table 5, Table 28)。

#### 1-6. A-2 品種群 (53 品種) について

A-2 品種群は、さらに A-2-1~A-2-3 の 3 のサブクラスターに分別された (Fig. 2, Fig. 16~Fig. 18, Table 29~Table 31)。

A-2-1 群では、Pg が 83%と高い占有率で、2''A 型は 67%と比較的高い値であった。中でも、Pg2''A は 59%とその 9 割を占めた (Fig. 16,

Table 6, Table 29)。A-2-2 群では、Pg が 93% と高い占有率で、2<sup>''</sup>A 型は 56% と比較的高い値であった。中でも、Pg2<sup>''</sup>A の 54% に加え、Pg3R も 39% と最も高い占有率であった (Fig. 17, Table 6, Table 30)。A-2-3 群では、Pg が 95% と A-2 群では最も高値となり、2<sup>''</sup>A 型も 82% と全クラスターの中で最高値であった。中でも、Pg2<sup>''</sup>A が 79% でこれも全クラスターの中で最高値であった。なお、A-2-3 群には多くの原種が含まれていた (Fig. 18, Table 6, Table 31)。

#### 1-7. B-1 品種群 (88 品種) について

B-1 品種群は、さらに B-1-1~B-1-6 の 6 のサブクラスターに分別された (Fig. 3, Fig. 19~Fig. 22, Table 32~Table 38)。

B-1-1 群では、Dp が 31%、Cy が 64% であって、3R が 96% でほとんどアセチル基を保有しない、かつ、Pg2<sup>''</sup>A が 0.2% とほとんど含まれない個体群で形成された (Fig. 19, Table 7, Table 32)。B-1-2 群では、Dp が 53%、Cy が 43% であって、3R が 99% でほとんどアセチル基を保有しない、かつ、Pg2<sup>''</sup>A が 0% と全く含まれない個体群で形成された (Fig. 19, Table 7, Table 33)。B-1-3 群は 35 個体を含み、そのサブクラスターはさらに B-1-3Y 群 (14 品種) と B-1-3Z 群 (21 品種) の二つに分別された (Fig. 20, Table 7, Table 34, Table 35)。B-1-3Y 群と B-1-3Z 群の個体群の大きな違いは、Dp の含量がそれぞれ 86% と 94% の違いによるものであった。1 個体 (Blue Beauty, Table 34) を除いて、いずれも Pg2<sup>''</sup>A を含有せず、高い Dp 含量が特徴であるが、アセチル化の活性は低かった。B-1-4 群は、Dp が 73%、Cy が 24% であって、3R が 99% でほとんどアセチル基を保有しない、かつ、Pg2<sup>''</sup>A が 0% と全く含まれない個体群で形成された (Fig. 21, Table 7, Table 36)。B-1-5 群は、Dp が 65%、Cy が 20% であって、3R が 81% と比較的低く、代わりに 2<sup>''</sup>A が 18% と大きな値となり、Pg2<sup>''</sup>A を含む個体群で形成された (Fig. 21, Table 7, Table 37)。B-1-6 群は、Dp が 89%、Cy が 9% であって、3R が 83% と比較的低く、代わりに 2<sup>''</sup>A が 14% と大きな値となり、Pg2<sup>''</sup>A を全く含まない個体群で形成された (Fig. 22, Table 7, Table 38)。

#### 1-8. B-2 品種群 (16 品種) について

B-2 品種群は、さらに B-2-1~B-2-4 の 4 のサブクラスターに分別された (Fig. 3, Fig. 23~Fig. 24, Table 39~Table 42)。

B-2-1 群は、Dp が 13%、Cy が 76% であって、2<sup>''</sup>A が 55% と特に大きな値となり、Dp3<sup>''</sup>A を 11% 含む特徴的な個体群で形成された (Fig. 23, Table 7, Table 39)。B-2-2 群は、Dp が 17%、Cy が 59% であって、3R が 85% と特に大きな値となったが、2<sup>''</sup>A 活性を保有せずに 3<sup>''</sup>A 型を 14% 含む、チューリップの中でも特徴的な原種群で形成された (Fig. 23, Table 7, Table 40)。B-2-3 群は、Dp が 86%、Cy が 10% であ

って、2<sup>''</sup>A 型を 46% 活性していたが、これは Dp2<sup>''</sup>A が 39% と、チューリップの中でも高い占有率となり、この群はプルケラの品種群 (オダリスクなど) で構成された (Fig. 24, Table 7, Table 41)。B-2-4 群は、Dp が 95%、Cy が 3% であって、2<sup>''</sup>A 型を 59% 活性していたが、これは Dp2<sup>''</sup>A が 56% と、チューリップの中で最も高い占有率となり、この群はプルケラの品種群 (ペルシアンパール) で構成された (Fig. 24, Table 7, Table 41)。

#### (2) 考察

主要因分析の結果、Pg2<sup>''</sup>A、Pg および 2<sup>''</sup>A が要因 Z<sub>1</sub> に対して比較的大きな固有ベクトルを与え、チューリップの化学分類の大きなマーカーとなることが分かった。事実、クラスター A および B の大きな違いは、Pg2<sup>''</sup>A を多く含むかどうかであり、各小クラスター内では、2<sup>''</sup>A、3R の多寡により分別されている。

各クラスターの特徴を整理すると、A-1-1 群は A-1-1c を除いて、3R 型が 90% を超える個体群からなっている。即ち、2<sup>''</sup>A 活性が低く、Pg と Cy は共存し、Dp の含量が比較的小さい品種群である。A-1-2 群は、2<sup>''</sup>A 活性の強い個体群であり、これもまた Pg と Cy は共存し、Dp の含量が比較的小さい品種群である。この小クラスターには白色花 (A-1-2j) が含まれていた。

A-2 群は、Pg2<sup>''</sup>A 含量が多い個体群で形成され、Pg 含量も 8 割を超えている。この事実を考慮すると、2<sup>''</sup>A 活性の小さい A-1-1 群と 2<sup>''</sup>A 活性の大きい A-2 群は相反する遺伝形質を有するものと推察され、A-1-2 群の品種はこの中間的形質に位置付けられると考える。

B-1 群は、3R 型を多く含み、Dp 含量も多い。一方で、Pg2<sup>''</sup>A 含量は B-1-5 を除いては、ほぼ 0% でほとんどの品種は Pg2<sup>''</sup>A を含んでいない。B-2 群は、Dp 含量の低い B-2-1 および B-2-2 と、Dp 含量が 8 割を超える B-2-3 および B-2-4 に大きく分別された。B-2-2 を除いては 2<sup>''</sup>A 活性が 50% 前後であるが、B-2-1 および B-2-2 群の最も特徴的なことは、Dp3<sup>''</sup>A 含量が 10% 以上であったことである。内訳をみると、B-2 群は、原種由来の品種から構成されていて、特に B-2-3 および B-2-4 はプルケラの品種で構成されていた。

B-1 群並びに A 群の品種群のほとんどには 3<sup>''</sup>A 活性が認められない。一方で、原種由来の品種から構成されている B-2 品種群は 3<sup>''</sup>A 活性が強い。また 2<sup>''</sup>A 活性について、A-1-2 群が中間的形質であると仮定すれば、2<sup>''</sup>A 型が優性型の可能性が非常に強い。事実、A-2-3 群が赤色花の原種後代品種群で形成されていることを考え合わせると、2<sup>''</sup>A 活性が優性形質であることは間違いない。従って、2<sup>''</sup>位および 3<sup>''</sup>位へのアセチル化がともに優性形質であると結論される。即ち、A-1-1 の品種群は最劣性の形質を保有する品種群である。

チューリップの育種について、紫色花 (Dp 型) が優性型であるか劣性型かであるかの情

報はない。一方、ハーボーンは高山植物の花色素進化の過程を Dp (遺伝子型: KK) → Pg (遺伝子型: Kk) → Cy (遺伝子型: kk) と推察している。また、ベルギーのブルベックがトルコのチューリップをヨーロッパ (ウィーン、プラハ) に紹介したのが 1554 年であるが、ほんの 500 年程度で花色形質が変化することは考えにくく、A-2-3 群に認められる赤色花の原種系統が当初からあったことが推定できる。しかし、これらの系統のほとんどは Pg2”A を優性形質とするもので、Cy2”A としての 2”A 活性を有する品種について、A-1-2h などの群に認められるものの活性は 50%以下である。また、B-2 群の中にも B-2-1 のように Dp2”A が 47%も含まれる品種群があるが、これらは Dp3”A を 11%も含んでおり、その意味で A-1-2h の系統群と比較して B-2 群は古い形質を有していると考えられる。また、Cy を多く含む系統は独立した小クラスターを形成していない。従って、B-2 群で形成される品種群の 3”A 活性の強い、また、Dp 優性型の品種群から Cy 形質の個体系統が分離してきたと考えることは合理的である。一方、クラスターA 内でも、A-2 群の 2”A の活性の強い、また、Pg 優性型の品種群から同様に Cy 形質の個体系統が分離してきたと考えることは合理的である。ハーボーンの学説のように、Dp 型が Pg 型に比べ優性形質であるとの指摘はあるが、本クラスター解析の結果からは、チューリップの花色素分化の方向性は Dp→Cy または Pg→Cy であると結論することはできる。しかし、仮に Dp についてチューリップの祖先が優性形質を保持していたとしても、現在ある品種群は、おそらくは Dp と Pg の表現形質は完全な優劣の関係にはないと推察される。

チューリップの花色素形質の最も特徴的なことは、Pg、Cy、Dp の 3 者が共存する傾向にあり、それらの占有率の遺伝形質については、本クラスターを解析した結果からは明確な核遺伝の関係にはないと推定される。従って、その遺伝は量的遺伝子の支配を受けるか、または、不完全優性的遺伝であると推定された。特筆すべきことは、チューリップの色素構成について、Cy を含まない Pg と Dp 型の二共存型 (PgDp 型) が存在しないことである。これは、クラスターが大きく A 群と B 群に分かれたことから支持される。最後に、白色花の系統が A-1-2j 群の小クラスターとして分別され、これらが A-1-2k および A-1-2l とクラスターを形成したことを考慮すると、例えば、フラボノイド生合成の上位酵素系であるカルコンシンターゼ (CHS)、カルコンイソメラーゼ (CHI)、或いは、下部のジヒドロフラボノールレダクターゼ (DFR)、アントシアニンシンターゼ (ANS) など、全てのアントシアニンが一斉に発現しない遺伝子型の存在が示唆され、従って、これらの酵素系の優性/劣性形質の存在が推定された。

以上の結果から園芸品種について、古くは、

系統群は Dp を主体とした紫色系統の野生種から分化したと考えられたが、現存する品種群では Dp と Pg の形質間で完全な優劣の関係はないと推定され、これらの有色系統群からアジアニック系の白色花が出現し、総じて今日あるチューリップ品種群が成立したものと結論した。

### (3) 摘要

- ① チューリップの化学分類の重要なマーカーは、Pg2”A、Pg、2”A および 3R 型である。
- ② 現存の系統群は、花色色素は Dp→Cy および Pg→Cy の方向性により分化し成立した。
- ③ アントシアニンの糖部の 2”位および 3”位へのアセチル化はともに優性形質である。
- ④ 花被片のアントシアニンについて、Pg と Dp の二共存型 (PgDp 型) は存在しない。
- ⑤ 白色花は、CHS、CHI、DFR、ANS など、劣性ホモ型の遺伝形質により発現する。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者は下線)

[学会発表] (計 3 件)

- ① Fumio Hashimoto\*, Masayoshi Nakayama, et al. Chemosystematics of Tulips by tepal anthocyanins as phenetic markers. *International Conference on Polyphenols*. Nagoya, 2014 年 9 月 3 日発表予定
- ② Hashimoto, F.\*, Ju, X.T., Nakayama, M., et al. Phenetics of tulip cultivars based on tepal anthocyanins. *The 7<sup>th</sup> International Workshop on Anthocyanins*. Porto, Portugal, Abstracts, p142, P76, 2013 年 9 月 9 日
- ③ Nakayama, M., Hashimoto, F.\* Detection of a copigment to delphinidin 3-rutinoside responsible for deep-purple color of tulip flower by the cross-TLC method. *The 7<sup>th</sup> International Workshop on Anthocyanins*. Porto, Portugal, Abstracts, p91, P33, 2013 年 9 月 9 日

### 6. 研究組織

#### (1) 研究代表者

橋本 文雄 (HASHIMOTO, Fumio)  
鹿児島大学・農学部・教授  
研究者番号: 7 0 2 4 4 1 4 2

#### (2) 研究分担者

中山 真義 (NAKAYAMA, Masayoshi)  
農業・食品産業技術総合研究機構・花き研究所・チーム長  
研究者番号: 4 0 2 3 7 4 7 5