

アヤメ属植物のフラボノイド：その構造，分布，機能（総説）

岩科 司¹・大谷俊二²

IWASHINA, Tsukasa¹ and Shunji OOTANI²: Flavonoids of the Genus *Iris*;
Structures, Distribution and Function (Review)

アヤメ属 (*Iris*) は150~300種ほどが北半球の温帯を中心に分布している (Köhlein 1981; 佐竹1982; 大滝 1989)。アヤメ属植物には大きく美しい花を咲かせる種が多く、観賞用として栽培されてきた。ジャーマンアイリス (*I. germanica* L.) などのように古くから品種改良が進められ、多くの品種が作出されてきた種もある一方で (堀中 1980)、ルイジアナアイリス類のように比較的近年、より栽培されるようになり改良が進められてきたものもある (Caillet and Mertzweiler 1988)。

日本において特筆すべきなのはハナショウブ (*I. ensata* Thunb.) で、野生種であるノハナショウブ (*I. ensata* var. *spontanea* (Makino) Nakai) から500年以上も前から改良が進められ、現在までに2000をこえるハナショウブ品種が成立している (富野 1974, 1980a; 平尾・加茂 1981; McEwen 1990)。

アヤメ属植物は観賞用としてばかりでなく、例えばイチハツ (*I. tectorum* Maxim.) の根茎が鳶尾根と称せられ、緩下剤、吐剤、めまいなどの薬として用いられ (柴田 1927; 柴田ら 1960; 森田ら 1972; Morita *et al.* 1972)、またハナショウブの葉が染料として利用されていた (富野 1980 b)。これはおそらくタンニンが含まれているためであろうと考えられる。

アヤメ属植物に含まれている化学物質としてはトリテルペン (Wong *et al.* 1985)、ベンゾキノ (Wong *et al.* 1985) なども報告されているが、特に注目されるのはフラボノイドとその関連化合物である。フラボノイドは藻類の *Nitella* 属からも例外的に報告されているが (Markham and Porter 1969)、一般的には蘚苔類以上の植物から広く報告されている化合物群である (Markham 1988; Niemann 1988; Giannasi 1988; Williams and Harborne 1988)。これらは我々がふだん口にしているほとんどの植物性食品にも含まれており、いくつかのもので抗酸化、抗菌、抗腫瘍、血圧降下作用などの各種活性が認められ (岩科 1994a, 1994b, 1994c, 1994d)、近年、食品、清涼飲料水、さらには消臭剤やトイレットペーパーまでに添加されるようになった。

アヤメ属植物についても、そのフラボノイドの存在は19世紀後半にはすでに知られており (De Laire and Tiemann 1893)、以来多くの化合物が分離同定された。

色素成分については、アヤメ属植物の多彩な花の主要成分が特に重視され、花色構成成分としてのフラボノイド、特にアントシアニンが注目されてきた。一方、根茎からはアヤメ属特有のイソフラボンとその関連化合物が数多く報告されている。

本論文では、これまでにアヤメ属で報告されたフラボノイドとその化学構造、この属における分布、化学分類学的調査研究、そして花色構成物質としてのフラボノイド並びに今後の新花色品種作出のためのフラボノイドの花色発現での役割、さらに根茎成分としての機能などを広く総説

¹国立科学博物館 筑波研究資料センター 筑波実験植物園, Tsukuba Botanical Garden, National Science Museum, Tsukuba 305-0005.

²東京農業大学 生物産業学部, 〒099-2422 北海道網走市八坂196. Faculty of Bio-industry, Tokyo University of Agriculture, Hokkaido.

する。

アヤメ属植物に含まれるフラボノイドの化学構造と分布、存在部位

現在までにアヤメ属植物でフラボノイドが認められた種ごとに、含有フラボノイドとその検出部位をTable 1に示した。これまでフラボノイドが検出されたアヤメ属植物は著者らの知る限り89種類である。これは仮にアヤメ属が最少150種と考えると60%弱、最大300種と考えると30%弱に相当する。今日までにアヤメ属植物から報告されたフラボノイドのクラスとしてはアントシアニン、フラボノール、フラボン、C-グリコシルフラボン、イソフラボン、ロイコアントシアニジン、ジヒドロフラボノール、ロテノイド、フラバノン、それにクマラノクロモンがあげられる。

黄色を呈するアントクロル系のカルコンとオーロン、さらにはジヒドロカルコン、ビフラボンなどはこれまで報告がない。これら各成分の検出報告をまとめると、Table 2に示すようになる。アヤメ属全体を概観すると、C-グリコシルフラボンが最も多くの種から、またアントシアニン、フラボノール、ロイコアントシアニジン、イソフラボンが比較的多くの種から報告されている。一方、フラボン、フラバノンは稀な成分として、さらにロテノイド、ジヒドロフラボノール、クマラノクロモンは非常に稀であることがわかる。表示した種について、すべての部位、成分が分析されているわけではないが、アヤメ属としての主要成分の分布の傾向をとらえることができる。

その他のフェノール化合物としてC₆-C₃-C₆を基本骨格とするフラボノイドに構造的にも、また生合成的にも極めて関連しているC₆-C₁-C₆を基本骨格とするキサントンは、多くのアヤメ属植物から検出されている (Table 1 および Table 2) (Richardson 1983)。なお、ケイ皮酸類のカフェー酸 (caffeic acid) とその誘導体であるクロロゲン酸 (chlorogenic acid) などのエステル類もハナショウブ、ヒオウギアヤメ (*I. setosa* Pallas), カキツバタ (*I. laevigata* Fisch.) の葉や花に普遍的に存在しているが (林ら 1989; 岩科, 未発表), これらはフラボノイドなどポリフェノール類の前駆物質としてアヤメ属はもとより、ほとんどの高等植物に存在すると考えられるので、Table 1からは削除した。

化学分析が比較的好くなされてきたのは、古来よりヨーロッパで一般に栽培されてきたジャーマンアイリスやニオイアイリス (*I. florentina* L.), それにハナショウブなどで、中近東やアジア中部の乾燥地などに自生するような野生のアヤメ属植物はほとんど分析されていない。しかし、よく研究されている種についても、例えば、ハナショウブにみられるように、花のフラボノイドについては近年かなり詳細に分析研究されたが (林ら 1978; Ishikura and Yamamoto 1978; Iwashina *et al.* 1996; Yabuya 1991; Yabuya *et al.* 1994a, 1994b, 1997), 葉や根茎についてはほとんど、あるいはまったく手付かずで、特定部位についてのみ分析がなされた種が大多数である。イソフラボンのように根茎にのみ特有の成分と、またアントシアニンのように主に花に存在する成分など、植物部位によって含まれる成分が大きく異なるという点が、属全体について例えばフラボノイドを化学分類学的観点から考えようとする場合には大変不備である。これらをふまえた上で、今回はあえてアヤメ属植物から報告されたフラボノイドについて多角的な検討を行い、現況を明らかにする。

C-グリコシルフラボン

アヤメ属のフラボノイドの中でC-グリコシルフラボンがほとんどの植物の葉の成分として最も普遍的で、Willams *et al.* (1986) によれば、その成分の多くについての詳細な化学構造は決定できなかったものの、彼女らが調査したアヤメ属植物61種類のうちC-グリコシルフラボンの存在が認められなかったのは *I. aphylla* L. と *I. variegata* L. のわずか2種のみであった。今日までに分析されたほとんどの種の主要成分は isovitexin, vitexin, isoorientin および orientin (Fig. 1)

Table 1. The reports of flavonoids in the genus *Iris*

<i>Species</i>	Classes of flavonoids	Flavonoids
<i>Iris albertii</i> Regel	Xanthone*	Mangiferin, Isomangiferin. (lv) (Williams <i>et al.</i> 1986)
<i>I. albicans</i> Lange	C-Glycosylflavone	Isovitexin, Vitexin, Isoorientin, Swertisin, Swertiajaponin, Apigenin C-glycoside, Luteolin C-glycoside. (lv) (Williams <i>et al.</i> 1997)
	Xanthone*	Mangiferin, Mangiferin O-glucoside, Isomangiferin, Isomangiferin O-glucoside, Acylated mangiferin. (lv) (Williams <i>et al.</i> 1997)
<i>I. aphylla</i> L.	Xanthone*	Mangiferin. (lv) (Bate-Smith 1968; Williams <i>et al.</i> 1986) Isomangiferin. (lv) (Williams <i>et al.</i> 1986)
<i>I. biflora</i> L.	C-Glycosylflavone	Isoorientin, Orientin, Swertisin, Apigenin C-glycoside, Apigenin di-C-glycoside, Luteolin C-glycoside, Luteolin di-C-glycoside. (lv) (Williams <i>et al.</i> 1997)
	Xanthone*	Mangiferin, Mangiferin O-glucoside, Isomangiferin, Isomangiferin O-glucoside, Methylated mangiferin. (lv) (Williams <i>et al.</i> 1997)
<i>I. bracteata</i> S. Wats.	Flavonol	Quercetin glycoside, Kaempferol glycoside, Myricetin glycoside. (lv) (Bate-Smith 1968)
	Leucoanthocyanidin	Leucocyanidin, Leucodelphinidin. (lv) (Bate-Smith 1968)
<i>I. bulleyana</i> Dykes	Flavonol	Quercetin glycoside. (lv) (Bate-Smith 1968)
	Leucoanthocyanidin	Leucocyanidin. (lv) (Bate-Smith 1968)
<i>I. cengialtii</i> Ambr.	Xanthone*	Mangiferin. (lv) (Williams and Harborne 1985)
<i>I. chamaeiris</i> Bertol.	Xanthone*	Mangiferin. (lv) (Bate-Smith 1968)

-(continued)-

Table 1.

-(continued)-

I. chrysographes Dykes**Anthocyanin**Delphinidin 3-*O*-(*p*-coumaroylrutinoside)-5-*O*-glucoside, Malvidin glycoside. (fl) (Harborne 1964)**Flavonol**

Quercetin glycoside. (lv) (Bate-Smith 1968)

LeucoanthocyanidinLeucocyanidin, Leucodelphinidin. (lv) (Bate-Smith 1968; Williams *et al.* 1986)*I. chrysophylla* Howell**C-Glycosylflavone**Isovitexin, Isovitexin *O*-glycoside, Vitexin, Isoorientin, Orientin, Vicenin, Lucenin. (lv) (Carter and Brehm 1969)*I. clarkei* Baker**Leucoanthocyanidin**Leucocyanidin, Leucodelphinidin. (lv) (Williams *et al.* 1986)*I. crocea* Jacquemont**Dihydroflavonol**

Alpinone. (rz) (Shawl and Kumar 1992)

IsoflavoneTectorigenin, Tectorigenin 7-*O*-glucoside, Tectorigenin 4'-*O*-glucoside, 5,7-Dihydroxy-6,2'-dimethoxyisoflavone. (rz) (Shawl and Kumar 1992)**Rotenoid**

9-Methoxyirispurinol. (rz) (Shawl and Kumar 1992)

I. delavayi M. Micheli**Anthocyanin**Delphinidin 3-*O*-(*p*-coumaroylrutinoside)-5-*O*-glucoside, Malvidin glycoside. (fl) (Harborne 1964)**Flavonol**Quercetin glycoside, Myricetin glycoside. (lv) (Williams *et al.* 1986)**Leucoanthocyanidin**Leucocyanidin, Leucodelphinidin. (lv) (Williams *et al.* 1986)*I. dichotoma* Pallas**Xanthone***

Mangiferin. (lv) (Bate-Smith and Harborne 1963; Bate-Smith and Swain 1965; Bate-Smith 1968)

I. douglasiana Herb.**Flavonol**Quercetin glycoside. (lv) (Bate-Smith and Swain 1965; Bate-Smith 1968; Williams *et al.* 1986)Kaempferol glycoside. (lv) (Bate-Smith 1968; Williams *et al.* 1986)

Myricetin glycoside. (lv) (Bate-Smith 1968)

Isorhamnetin glycoside. (lv) (Williams *et al.* 1986)**Leucoanthocyanin**Leucocyanidin. (lv) (Bate-Smith and Swain 1965; Bate-Smith 1968; Williams *et al.* 1986)

-(continued)-

Table 1.

-(continued)-

 Leucodelphinidin. (lv) (Bate-Smith and Swain 1965; Bate-Smith 1968)
I. ensata Thunb. (ハナショウブ)**Anthocyanin**
 Malvidin 3-*O*-(*p*-coumaroylrutinoside)-5-*O*-glucoside. (fl) (Takeda and Hayashi 1964; 林ら 1978; Ishikura and Yamamoto 1978; Yabuya 1991)

 Petunidin 3-*O*-(*p*-coumaroylrutinoside)-5-*O*-glucoside. (fl) (林ら 1978; Ishikura and Yamamoto 1978; Yabuya 1991)

 Delphinidin 3-*O*-(*p*-coumaroylrutinoside)-5-*O*-glucoside. (fl) (Yabuya 1991; Yabuya *et al.* 1994a; Yabuya *et al.* 1997)

 Malvidin 3-*O*-rutinoside-5-*O*-glucoside, Malvidin 3-*O*-(*p*-coumaroylrutinoside), Malvidin 3-*O*-rutinoside, Petunidin 3-*O*-rutinoside-5-*O*-glucoside, Petunidin 3-*O*-(*p*-coumaroylrutinoside), Petunidin 3-*O*-rutinoside, Delphinidin 3-*O*-rutinoside, Delphinidin glycoside. (fl) (Ishikura and Yamamoto 1978)

 Cyanidin 3-*O*-rutinoside-5-*O*-glucoside, Peonidin 3-*O*-(*p*-coumaroylrutinoside). (fl) (Yabuya *et al.* 1994b)
C-Glycosylflavone
 Isovitexin, Isovitexin 7-*O*-glucoside, Isovitexin 2''-*O*-rhamnoside, Isovitexin 2''-*O*-xyloside, Vitexin, Isoorientin, Orientin, Vicenin-2, Apigenin 6,8-di-*C*-hexoside, 5,4'-Dihydroxy-7,3'-dimethoxyflavone 6-*C*-glycoside. (fl) (Iwashina *et al.* 1996)
Xanthone*
 Mangiferin, Isomangiferin. (fl, lv) (Williams *et al.* 1986; Iwashina *et al.* 1996)
I. ensata Thunb. var. *spontanea* (Makino) Nakai (ノハナショウブ)**Anthocyanin**
 Malvidin 3-*O*-(*p*-coumaroylrutinoside)-5-*O*-glucoside, Petunidin 3-*O*-(*p*-coumaroylrutinoside)-5-*O*-glucoside. (fl) (林ら 1978; Ishikura and Yamamoto 1978; Ishikura 1980; Yabuya 1991)

 Malvidin 3-*O*-rutinoside-5-*O*-glucoside, Petunidin 3-*O*-rutinoside-5-*O*-glucoside, Delphinidin glycoside. (fl) (Ishikura and Yamamoto 1978; Ishikura 1980)
C-Glycosylflavone
 Embigenin X''-*O*-rhamnoside. (lv) (Blinova *et al.* 1977)

 Embigenin 2''-*O*-rhamnoside. (lv) (Kitanov and Pryakhina 1985)

Orientin, Isoorientin. (lv) (Pryakhina and Blinova 1984)

Leucoanthocyanidin

Leucocyanidin, Leucodelphinidin. (lv) (Bate-Smith 1968)

Xanthone*

Mangiferin. (lv) (Bate-Smith 1968)

I. flavescens DC.**Xanthone***

Mangiferin. (lv) (Bate-Smith 1968)

I. flavissima Pallas (= *I. humilis*)**Leucoanthocyanidin**

Leucocyanidin. (lv) (Bate-Smith 1968)

I. florentina L. (ニオイイリス)**C-Glycosylflavone**

 -(continued)-

Table 1.

-(continued)-

 Swertisin, Isoswertisin, Isoswertiajaponin. (lv) (Fujita and Inoue 1982)
IsoflavoneIrilone 4'-*O*-glucoside, Irisolone 4'-*O*-bioside. (rz) (Tsukida *et al.* 1973)Irigenin. (rz) (柴田ら 1960; Farkas and Várady 1960; Morita *et al.* 1973; Arisawa *et al.* 1973a)Irisolone, Iristectorigenin B, Irisfloreantin. (rz) (Morita *et al.* 1973; Arisawa *et al.* 1973a)Irigenin 7-*O*-glucoside. (rz) (De Laire and Tiemann 1893; Baker 1928; 柴田ら 1960; Farkas *et al.* 1966; Arisawa *et al.* 1973a)Iriflogenin 4'-*O*-glucoside. (rz) (Arisawa *et al.* 1973a)**Xanthone***Mangiferin. (rz, lv) (Arisawa *et al.* 1973b; 藤田・井上 1981; Fujita and Inoue 1982)Irisxanthone. (rz) (Arisawa *et al.* 1973b; 藤田・井上 1981; Al-Hazimi and Miana 1990)

Isomangiferin. (rz) (藤田・井上 1981; Fujita and Inoue 1982)

Mangiferin 7-methyl ether, Isomangiferin 7-methyl ether. (lv) (Fujita and Inoue 1982; Al-Hazimi and Miana 1990)

1-Hydroxy-3,5,6-trimethoxyxanthone 2-*C*-glucoside, 1,3,5,6-Tetrahydroxyxanthone 2-*C*-glucoside. (rz) (藤田・井上 1981)*I. forrestii* Dykes**Flavonol**Quercetin glycoside, Myricetin glycoside. (lv) (Williams *et al.* 1986)*I. furcata* Marschall von Bieberstein**Xanthone***

Mangiferin. (lv) (Richardson 1983)

I. germanica L. (ジャーマンアイリス)**Anthocyanin**

Delphinidin glycoside. (fl) (Ashtakala and Forward 1971)

Flavonol

Quercetin glycoside, Kaempferol glycoside. (fl) (Ashtakala and Forward 1971)

Quercetin, Kaempferol, 3'-Isobutenylquercetin***. (rz) (Crawford *et al.* 1994)**C-Glycosylflavone**Embigenin, Embigenin 2''-*O*-rhamnoside. (Kawase and Yagishita 1968)Isovitexin, Vitexin, Isoorientin, Orientin, Swertisin, Swertiajaponin, Apigenin *C*-glycoside, Apigenin di-*C*-glycoside, Luteolin *C*-glycoside, Luteolin di-*C*-glycoside. (lv) (Williams *et al.* 1997)**Flavanone**Selenone***, 6-hydroxy-5,7,3',4',5'-pentamethoxyflavanone***. (rz) (Crawford *et al.* 1994)**Isoflavone**Irigenin. (rz) (Bate-Smith and Swain 1965; Pailer and Franke 1973; El-Moghazy *et al.* 1980; Crawford *et al.* 1994)Irigenin 7-*O*-glucoside. (wp) (Dhar and Kalla 1972; El-Moghazy *et al.* 1980)

Irilone. (rz) (Dhar and Kalla 1973)

Tectorigenin 7-*O*-glucoside, Homotectorigenin 7-*O*-glucoside. (rz) (Kawase *et al.* 1973)Tectorigenin. (lv) (rz) (Pailer and Franke 1973; Williams *et al.* 1997)Irisolone***, 2-Hydroxyirigenin***. (rz) (Crawford *et al.* 1994)

Irisolidone, Irisolone, Irisfloreantin, 5,3',4'-Trimethoxy-6,7-methylenedioxyisoflavone, 5,4'-Dihydroxy-6,7-

-(continued)-

Table 1.

-(continued)-

methylenedioxyisoflavone, 5,7,3'-Trihydroxy-6,4'-dimethoxyisoflavone, Iristectorigenin B. (rz) (Pailer and Franke 1973)

Dihydroflavonol

Dihydroquercetin 7,3'-dimethyl ether. (rz) (Pailer and Franke 1973)

Leucoanthocyanidin

Leucocyanidin. (lv) (Bate-Smith 1968)

Xanthone*

Mangiferin. (lv, fl) (Bate-Smith and Swain 1965; Bate-Smith 1968; Ashtakala and Forward 1971; Williams *et al.* 1986; Crawford *et al.* 1994; Williams *et al.* 1997)

Isomangiferin. (lv) (Williams *et al.* 1986; Williams *et al.* 1997)

Mangiferin *O*-glucoside, Isomangiferin *O*-glucoside. (lv) (Williams *et al.* 1997)

6-Dehydroxyjacareubin***. (rz) (Crawford *et al.* 1994)

I. germanica L. var. *alba***Isoflavone**

5,3'-Dihydroxy-4',5'-dimethoxy-6,7-methylenedioxyisoflavone, Irisolidone 7-*O*-glucoside, 5,7,3'-Trihydroxy-4',5'-dimethoxyisoflavone 7-*O*-glucoside. (rz) (Ali *et al.* 1983)

I. gracilipes A. Gray (ヒメシャガ)**Anthocyanin**

Malvidin 3-*O*-(feruloylrhamnosylglucoside)-5-*O*-glucoside, Petunidin glycoside, Delphinidin glycoside. (fl) (林ら 1984)

C-Glycosylflavone

7,4'-Oxygenated-5-hydroxy-*C*-glycosylflavone X''-*O*-glucoside, 7,4'-Oxygenated-5-hydroxy-*C*-glycosylflavone X''-*O*-rhamnoside, 7-Oxygenated-5,4'-dihydroxy-*C*-glycosylflavone X''-*O*-rhamnosylgalactoside. (fl) (林ら 1984)

I. graminea L.**Flavonol**

Quercetin glycoside, Myricetin glycoside. (lv) (Williams *et al.* 1986)

Leucoanthocyanidin

Leucocyanidin. (lv) (Williams *et al.* 1986)

I. graminea L. var. *pseudocyperus* (Schur.) Beck.**Leucoanthocyanidin**

Leucocyanidin. (lv) (Williams *et al.* 1986)

I. histrioides (G. F. Wilson) S. Arnott**Xanthone***

Mangiferin, Isomangiferin. (lv) (Williams *et al.* 1986)

I. hollandica Hort. (ダッチアイリス)**Anthocyanin**

Delphinidin glycoside. (fl) (Ishikura 1978)

I. hoogiana Dykes

-(continued)-

Table 1.

-(continued)-

-
- Xanthone***
Mangiferin, Mangiferin *O*-glycoside, Isomangiferin. (lv) (Williams *et al.* 1986)
- I. hookeriana* Foster
Isoflavone
Irigenin, Irigenin 7-*O*-glucoside, Irisfloreantin, Junipegenin A. (rz) (Shawl *et al.* 1985)
- I. humilis* Georgi
Flavonol
Quercetin glycoside. (lv) (Williams *et al.* 1986)
Xanthone*
Mangiferin. (lv) (Williams *et al.* 1986)
- I. imbricata* Lindl.
Xanthone*
Mangiferin. (lv) (Bate-Smith 1968)
-
- I. innominata* L. F. Hend.
Flavonol
Quercetin glycoside. (lv) (Bate-Smith 1968; Williams *et al.* 1986)
Kaempferol glycoside, Myricetin glycoside. (lv) (Bate-Smith 1968)
Leucoanthocyanidin
Leucocyanidin, Leucodelphinidin. (lv) (Bate-Smith 1968)
- I. japonica* Thunb. (シヤガ)
Anthocyanin
Delphinidin 3-*O*-(*p*-coumaroylrutinoside)-5-*O*-glucoside, Delphinidin 3-*O*-rutinoside-5-*O*-glucoside, Petunidin 3-*O*-(*p*-coumaroylrutinoside)-5-*O*-glucoside, Petunidin 3-*O*-rutinoside-5-*O*-glucoside, Malvidin glycoside. (fl) (Ishikura 1980)
Malvidin monoglucoside. (fl) (Sannie and Sauvain 1957)
C-Glycosylflavone
Swertisin, Embigenin 2''-*O*-rhamnoside. (fl) (有澤ら 1973)
- I. kashmiriana* Baker
Isoflavone
Iriskashmirianin, Isoiriskashmirianin. (rz) (Kachroo *et al.* 1990)
Irisolidone. (rz) (Dhar and Kalla 1975)
- I. kerneriana* Asch. & Sint. ex Baker
Leucoanthocyanidin
Leucocyanidin, Leucodelphinidin. (lv) (Bate-Smith 1968)
- I. kumaonensis* Wall.
Isoflavone
Irigenin 7-*O*-glucoside. (wp, rz) (Dhar and Kalla 1972; Agarwal *et al.* 1984b)
Iriskumaonin. (wp, rz) (Kalla *et al.* 1978; Agarwal *et al.* 1984b)
-

-(continued)-

Table 1.

-(continued)-

 Irirogenin, Iriskumaonin methyl ether, Irisfloreutin, Junipegenin A. (rz) (Agarwal *et al.* 1984b)

I. lactea Pallas (= *I. ensata*)**C-Glycosylflavone**

Embigenin 2''-O-(2'''-acetyl)rhamnoside, Embigenin 2''-O-(2'''-acetyl)rhamnoside-X''-acetate. (lv) (Pryakhina *et al.* 1984)
Swertiajaponin. (lv) (Pryakhina and Blinova 1987)

Xanthone*

Mangiferin, Isomangiferin. (lv) (Williams *et al.* 1986)

I. laevigata Fisch. (カキツバタ)**Anthocyanin**

Malvidin 3-O-(p-coumaroylrutinoside)-5-O-glucoside, Malvidin 3-O-rutinoside-5-O-glucoside, Petunidin 3-O-(p-coumaroylrutinoside)-5-O-glucoside, Petunidin 3-O-rutinoside-5-O-glucoside. (fl) (Ishikura 1980; Yabuya 1987)
Delphinidin glycoside. (fl) (Ishikura 1980)

C-Glycosylflavone

Isovitexin, Isovitexin 2''-O-rhamnoside, Isovitexin 4'-O-glucoside, Isovitexin 4'-O-galactoside, Isovitexin X''-O-galactoside, Acylated isovitexin X''-O-glucoside, Vitexin, Isoorientin, Swertisin, Swertisin X''-O-rhamnoside, Swertisin X''-O-galactoside, Vicenin-2, Isoscoparin, Scoparin 7-O-glucoside, Apigenin 6,8-di-C-glycoside. (fl) (Iwashina and Ootani 1996)

Leucoanthocyanidin

Leucocyanidin, Leucodelphinidin. (lv) (Bate-Smith 1968)

Xanthone*

Mangiferin. (lv) (Richardson 1983)

I. lazica Alboff**Xanthone***

Mangiferin, Isomangiferin. (lv) (Williams *et al.* 1986)

I. lutescens Lam.**C-Glycosylflavone**

Isoorientin, Swertisin, Apigenin di-C-glycoside, Luteolin C-glycoside, Luteolin di-C-glycoside. (lv) (Williams *et al.* 1997)

Isoflavone

Tectorigenin. (lv) (Williams *et al.* 1997)

Xanthone*

Mangiferin, Isomangiferin. (lv) (Williams *et al.* 1986; Williams *et al.* 1997)
Mangiferin O-glucoside, Isomangiferin O-glucoside, Acylated mangiferin, Methylated mangiferin. (lv) (Williams *et al.* 1997)

I. lutescens Lam. var. *alba***Xanthone***

Mangiferin, Isomangiferin. (lv) (Williams *et al.* 1986)

I. macroshiphon Torrey

 -(continued)-

Table 1.

-(continued)-

Flavonol
Quercetin glycoside, Myricetin glycoside. (lv) (Williams <i>et al.</i> 1986)
<i>I. marsica</i> Ricci & Colasante
C-Glycosylflavone
Isorientin, Swertisin, Luteolin C-glycoside. (lv) (Williams <i>et al.</i> 1997)
Xanthone*
Mangiferin, Mangiferin <i>O</i> -glucoside, Isomangiferin, Isomangiferin <i>O</i> -glucoside, Acylated mangiferin, Methylated mangiferin. (lv) (Williams <i>et al.</i> 1997)
<i>I. mellita</i> Janka
Xanthone*
Mangiferin. (lv) (Williams and Harborne 1985)
<i>I. milesii</i> M. Foster
Flavonol
Quercetin 3-methyl ether. (rz) (Agarwal <i>et al.</i> 1984a)
Flavanone
Sakuranetin. (rz) (Agarwal <i>et al.</i> 1984a)
Isoflavone
Prunetin, Tectorigenin, Tectorigenin 7- <i>O</i> -glucoside, Irogenin, Irogenin 7- <i>O</i> -glucoside, 5,6,7,4'-tetrahydroxy-8-methoxyisoflavone, Iristectorigenin B 7- or 4'- <i>O</i> -glucoside. (rz) (Agarwal <i>et al.</i> 1984a)
5,6,7,4'-Tetrahydroxy-3'-methoxyisoflavone. (rz) (Agarwal <i>et al.</i> 1984b)
<i>I. missouriensis</i> Nutt.
Isoflavone
Irisone A, Irisone B, 5,7-Dihydroxy-6,2'-dimethoxyisoflavone. (rz) (Wong <i>et al.</i> 1987)
<i>I. monnieri</i> DC.
Leucoanthocyanidin
Leucocyanidin. (lv) (Williams <i>et al.</i> 1986)
<i>I. nepalensis</i> D. Don
Isoflavone
Irisolone. (rz) (Gopinath <i>et al.</i> 1961; Prakash <i>et al.</i> 1965; Bate-Smith and Swain 1965; Fukui and Matsumoto 1965; Ingham 1983; Crawford <i>et al.</i> 1994)
Irisolidone. (rz) (Prakash <i>et al.</i> 1965; Ingham 1983)
Irogenin. (rz) (Gopinath <i>et al.</i> 1963; Prakash <i>et al.</i> 1965; Ingham 1983)
<i>I. nertshinskia</i> Loddiges f. <i>albiflora</i> Honda (シロアヤメ)
C-Glycosylflavone
Swertisin, Swertiajaponin. (fl) (Kawase 1968; Hirose <i>et al.</i> 1981)
Swertisin 2''- <i>O</i> -glucoside, Swertiajaponin 2''- <i>O</i> -glucoside. (fl) (Hirose <i>et al.</i> 1981)
<i>I. nigricans</i> Dinsmore
Isoflavone

-(continued)-

Table 1.

-(continued)-

Nigricin, Nigricanin, Irlone, 5,3'-Dihydroxy-4',5'-dimethoxy-6,7-methylenedioxyisoflavone. (rz) (Al-Khalil *et al.* 1994)

I. orientalis Miller**Leucoanthocyanidin**

Leucocyanidin. (lv) (Williams *et al.* 1986)

I. pallida Lam.**C-Glycosylflavone**

Isovitexin, Isoorientin, Swertisin 2"-O-rhamnoside, Embigenin 2"-O-rhamnoside, Luteolin C-glycoside. (lv) (Williams *et al.* 1997)

Isoflavone

Irigenin 7-O-glucoside. (Baker 1928; Dean 1963; Ingham 1983)

Xanthone*

Mangiferin, Mangiferin O-glucoside, Isomangiferin, Isomangiferin O-glucoside. (lv) (Williams *et al.* 1997)

I. pallida Lam. subsp. *cengialtii* (Ambr.) Foster**Xanthone***

Mangiferin, Isomangiferin. (lv) (Williams *et al.* 1986)

I. prismatica Pursh**Flavonol**

Kaempferol glycoside. (lv) (Bate-Smith 1968)

I. pseudacorus Fisch. (キショウブ)**Flavone**

Apigenin**, hispidulin**. (lv) (Hanawa *et al.* 1991b)

Flavonol

Kaempferol, Isorhamnetin. (pl) (Stanley and Linskens 1974)

Flavanone

5,7,2'-Trihydroxyflavanone**. (lv) (Hanawa *et al.* 1991b)

Dihydroflavonol

Alpinone**, Dihydrokaempferol 7-methyl ether**. (lv) (Hanawa *et al.* 1991b)

Isoflavone

Irilin A**, Irilin B**, Irilin C**, Iristectorigenin A**, Iristectorigenin B**, Tectorigenin**, Orobol 3'-methyl ether**, Pratensein**, Biochanin A**, Genistein**. (lv) (Hanawa *et al.* 1991a)

Leucoanthocyanidin

Leucocyanidin, Leucodelphinidin. (lv) (Bate-Smith and Swain 1965; Bate-Smith 1968)

Coumaranochromone

Ayamenin A**, Ayamenin B**, Ayamenin C**, Ayamenin D**, 5,7,3'-Trihydroxy-6-methoxy-coumaranochromone**, Lupinalbin A**. (lv) (Hanawa *et al.* 1991a)

Ayamenin E**. (lv) (Hanawa *et al.* 1991b)

Xanthone*

Mangiferin. (lv) (Bate-Smith and Harborne 1963; Bate-Smith and Swain 1965; Bate-Smith 1968; Williams *et al.* 1986)

Isomangiferin, Mangiferin O-glycoside. (lv) (Williams *et al.* 1986)

-(continued)-

Table 1.

-(continued)-

I. pseudopumila Tineo**Flavone**Apigenin. (lv) (Williams *et al.* 1997)**C-Glycosylflavone**Isoorientin, Apigenin C-glycoside, Apigenin di-C-glycoside, Luteolin di-C-glycoside. (lv) (Williams *et al.* 1997)**Isoflavone**Tectorigenin. (lv) (Williams *et al.* 1997)**Xanthone***Mangiferin. (lv) (Williams *et al.* 1986; Williams *et al.* 1997)Isomangiferin, Mangiferin O-glucoside, Methylated mangiferin. (lv) (Williams *et al.* 1997)*I. pumila* L.**Xanthone***Mangiferin. (lv) (Williams and Harborne 1985; Williams *et al.* 1986)*I. reichenbachii* Heuffel**Flavone**Acacetin, Chrysoeriol. (lv) (Williams *et al.* 1997)**C-Glycosylflavone**Isoorientin, Luteolin di-C-glycoside. (lv) (Williams *et al.* 1997)**Xanthone***Mangiferin, Isomangiferin. (lv) (Williams *et al.* 1986; Williams *et al.* 1997)Mangiferin O-glucoside, Acylated mangiferin, Methylated mangiferin. (lv) (Williams *et al.* 1997)*I. reticulata* M. Beib.**Xanthone***Mangiferin, Isomangiferin. (lv) (Williams *et al.* 1986)*I. revoluta* Colasante**C-Glycosylflavone**Vitexin, Isoorientin, Swertisin, Apigenin C-glycoside. (lv) (Williams *et al.* 1997)**Xanthone***Mangiferin, Mangiferin O-glucoside, Isomangiferin. (lv) (Williams *et al.* 1997)*I. rossii* Baker (エヒメアヤメ)**Anthocyanin**

Acylated delphinidin triglucoside (fl) (林ら 1980)

C-Glycosylflavone

Swertisin (fl), vitexin (lv) (林ら 1980)

Xanthone*

Mangiferin. (fl) (lv) (林ら 1980)

I. sanguinea Hornem. ex Donn (アヤメ)**Anthocyanin**

Delphinidin 3-O-(p-coumaroylrutinoside)-5-O-glucoside, Delphinidin 3-O-rutinoside-5-O-glucoside, Petunidin

-(continued)-

Table 1.

-(continued)-

3-*O*-(*p*-coumaroylrutinoside)-5-*O*-glucoside, Petunidin 3-*O*-rutinoside-5-*O*-glucoside, Malvidin glycoside. (fl) (Ishikura 1980)

Flavonol

Quercetin glycoside, Myricetin glycoside. (lv) (Williams *et al.* 1986)

C-Glycosylflavone

Swertisin, Isoswertisin. (lv) (岩科, 未発表)

Embigenin 2''-*O*-rhamnoside. (fl) (森田 1976)

I. sari Schott ex Baker**Xanthone***

Mangiferin. (lv) (Bate-Smith and Swain 1965; Bate-Smith 1968)

I. setina Colasante**C-Glycosylflavone**

Isoorientin, Swertisin, Apigenin *C*-glycoside, Apigenin di-*C*-glycoside, Luteolin di-*C*-glycoside. (lv) (Williams *et al.* 1997)

Xanthone*

Isomangiferin, Mangiferin *O*-glucoside, Isomangiferin *O*-glucoside, Acylated mangiferin. (lv) (Williams *et al.* 1997)

I. setosa Pallas (ヒオウギアヤメ)**Anthocyanin**

Malvidin 3-*O*-(*p*-coumaroylrutinoside)-5-*O*-glucoside. (fl) (Ueno *et al.* 1969; 藪谷ら1988; 林ら 1989)

Petunidin 3-*O*-(*p*-coumaroylrutinoside)-5-*O*-glucoside. (fl) (藪谷ら 1988; 林ら1989)

Delphinidin 3-*O*-rutinoside-5-*O*-glucoside, Delphinidin 3-*O*-(*p*-coumaroylrutinoside)-5-*O*-glucoside, Petunidin 3-*O*-rutinoside-5-*O*-glucoside, Malvidin 3-*O*-rutinoside-5-*O*-glucoside. (fl) (藪谷ら 1988)

C-Glycosylflavone

Isovitexin, Vitexin, Vicenin-2, Isoorientin, Orientin (fl) (lv), Isovitexin X'' -*O*-glucoside (fl), Luteolin 6,8-di-*C*-glycoside, *C*-Glycosylapigenin 7-*O*-glycoside (lv). (林ら 1989)

Xanthone*

Mangiferin. (lv) (Williams *et al.* 1986; 林ら 1989)

Xanthone *C*-glycoside. (fl) (lv) (林ら 1989)

Isomangiferin. (lv) (Williams *et al.* 1986)

I. setosa Pallas var. *canadensis* M. Foster (カナダヒオウギアヤメ)**C-Glycosylflavone**

Isoorientin, Orientin, Vicenin-2, Luteolin 6,8-di-*C*-glycoside. (lv) (Iwashina and Ootani 1995)

Xanthone*

Mangiferin, Isomangiferin. (lv) (Williams *et al.* 1986; Iwashina and Ootani 1995)

Xanthone *C*-glycoside, Xanthone *O*-galactoside. (lv) (Iwashina and Ootani 1995)

I. setosa Pallas var. *hondoensis* Honda (キリガミネヒオウギアヤメ)**Anthocyanin**

Malvidin 3-*O*-(*p*-coumaroylrutinoside)-5-*O*-glucoside, Petunidin 3-*O*-(*p*-coumaroylrutinoside)-5-*O*-glucoside, Malvidin glycoside. (fl) (藪谷ら 1988; 林ら 1989)

Delphinidin 3-*O*-rutinoside-5-*O*-glucoside, Delphinidin 3-*O*-(*p*-coumaroylrutinoside)-5-*O*-glucoside, Petunidin 3-

-(continued)-

Table 1.

-(continued)-

O-rutinoside-5-*O*-glucoside, Malvidin 3-*O*-rutinoside-5-*O*-glucoside. (fl) (藪谷ら 1988)

C-Glycosylflavone

Isovitexin, Vitexin, Vicenin-2, Isoorientin, Orientin, Isovitexin 4'-*O*-glucoside (fl) (lv), Isovitexin X''-*O*-glucoside, Vitexin 4'-*O*-galactoside, Isovitexin 4'-*O*-galactoside (fl), Luteolin 6,8-di-*C*-glycoside, *C*-Glycosylapigenin 7-*O*-glycoside, Isovitexin *O*-glycoside (lv). (林ら 1989)

Xanthone*

Mangiferin, Xanthone *C*-glycoside, *C*-Glycosylxanthone *O*-glycoside. (fl) (lv) (林ら 1989)

I. setosa Pallas var. *nasuensis* Hara (ナスヒオウギアヤメ)**Anthocyanin**

Malvidin 3-*O*-(*p*-coumaroylrutinoside)-5-*O*-glucoside, Petunidin 3-*O*-(*p*-coumaroylrutinoside)-5-*O*-glucoside. (fl) (藪谷ら 1988; 林ら 1989)

Delphinidin 3-*O*-rutinoside-5-*O*-glucoside, Delphinidin 3-*O*-(*p*-coumaroylrutinoside)-5-*O*-glucoside, Petunidin 3-*O*-rutinoside-5-*O*-glucoside, Malvidin 3-*O*-rutinoside-5-*O*-glucoside. (fl) (藪谷ら 1988)

C-Glycosylflavone

Isovitexin, Vitexin, Vicenin-2, Isoorientin, Orientin, Isovitexin 4'-*O*-glucoside, swertisin (fl) (lv), Isovitexin X''-*O*-glucoside, Vitexin 4'-*O*-galactoside, Isovitexin 4'-*O*-galactoside, Swertisin 2''-*O*-glucoside (fl), Isoswertisin, Isoswertijaponin, Swertijaponin, Isoswertijaponin X''-*O*-rhamnoside, Luteolin 6,8-di-*C*-glycoside, *C*-Glycosylapigenin 7-*O*-glycoside, Isovitexin *O*-glycoside (lv). (林ら 1989)

Xanthone*

Mangiferin, Xanthone *C*-glycoside, *C*-Glycosylxanthone *O*-glycoside. (fl) (lv) (林ら 1989)

I. sibirica L.**Flavonol**

Quercetin glycoside, Myricetin glycoside. (lv) (Bate-Smith and Swain 1965; Bate-Smith 1968; Williams *et al.* 1968)

Leucoanthocyanidin

Leucocyanidin, Leucodelphinidin. (lv) (Bate-Smith and Swain 1965; Bate-Smith 1968)

I. sisyrinchium L.**Xanthone***

Mangiferin. (lv) (Bate-Smith 1968)

I. sitenisi Janka**Flavonol**

Quercetin glycoside. (lv) (Williams *et al.* 1986)

I. spuria L.**Flavanone**

5,8,2'-Trihydroxy-7-methoxyflavanone. (rz) (Shawl *et al.* 1988a)

Isoflavone

Iristectorigenin A, Iristectorigenin A 7-*O*-glucoside, 5,7-Dihydroxy-6,2'-dimethoxyisoflavone. (rz) (Shawl *et al.* 1984)

5,2'-Dihydroxy-7,8-dimethoxyisoflavone. (rz) (Shawl *et al.* 1988a)

Rotenoid

Irispurinol. (rz) (Shawl *et al.* 1988b)

-(continued)-

Table 1.

-(continued)-

Leucoanthocyanidin
Leucocyanidin, Leucodelphinidin. (lv) (Bate-Smith 1968)
<i>I. suaveolens</i> Boissier & Reuter
Xanthone*
Mangiferin, Isomangiferin. (lv) (Williams <i>et al.</i> 1986)
<i>I. subbiflora</i> Brot.
Xanthone*
Mangiferin, Isomangiferin. (lv) (Williams <i>et al.</i> 1986)
<i>I. tectorum</i> Maxim. (イチハツ)
Anthocyanin
Delphinidin 3- <i>O</i> -(<i>p</i> -coumaroylrutinoside)-5- <i>O</i> -glucoside, Delphinidin 3- <i>O</i> -rutinoside-5- <i>O</i> -glucoside. (fl) (Ishikura 1980)
C-Glycosylflavone
Embigenin 2''- <i>O</i> -rhamnoside. (fl) (Hirose <i>et al.</i> 1962)
Isoflavone
Tectorigenin. (rz) (Bate-Smith and Swain 1965)
Tectorigenin 7- <i>O</i> -glucoside. (rz) (柴田 1927; 朝比奈ら 1928; Seshadri 1962)
Irigenin 7- <i>O</i> -glucoside. (rz) (Seshadri 1962)
Iristectorigenin B 7- or 4'- <i>O</i> -glucoside. (rz) (森田ら 1972)
Iristectorigenin A 7- <i>O</i> -glucoside. (rz) (Morita <i>et al.</i> 1972)
<i>I. tenax</i> Dougl.
Flavonol
Quercetin glycoside, Kaempferol glycoside. (lv) (Bate-Smith 1968)
C-Glycosylflavone
Isovitexin, Isovitexin <i>O</i> -glycoside, Isoorientin. (lv) (Carter and Brehm 1969)
Leucoanthocyanidin
Leucocyanidin, Leucodelphinidin. (lv) (Bate-Smith 1968)
<i>I. tenuifolia</i> Pall.
Flavanone
5,2',3'-Trihydroxy-6,7-methylenedioxyflavanone, 5,2'-Dihydroxy-6,7-methylenedioxyflavanone, 5,2',3'- Trihydroxy-7-methoxyflavanone, 5,3'-Dihydroxy-7,2'-dimethoxyflavanone. (rz) (Kojima <i>et al.</i> 1997)
Dihydroflavonol
3,5,2',3'-Tetrahydroxy-7-methoxyflavanone, 3,5,3'-Trihydroxy-7,2'-dimethoxyflavanone. (rz) (Kojima <i>et al.</i> 1997)
<i>I. tingitana</i> Boiss. & Reut.
Anthocyanin
Delphinidin 3- <i>O</i> -(<i>p</i> -coumaroylrutinoside)-5- <i>O</i> -glucoside. (fl) (Asen <i>et al.</i> 1970)
C-Glycosylflavone
Vitexin, Isoorientin, Swertisin, Swertisin X''- <i>O</i> -xyloside, Swertiajaponin. (fl) (Asen <i>et al.</i> 1970)
Isoflavone

-(continued)-

Table 1.

-(continued)-

5,4'-Dimethoxy-6,7-methylenedioxyisoflavone, 3'-Hydroxy-5,4'-dimethoxy-6,7-methylenedioxyisoflavone.
(rz) (El-Emary *et al.* 1980)
Irigenin, Irisfloreantin. (rz) (Ingham 1983)

I. trojana Kerner ex Stapf.**Xanthone***

Mangiferin, Isomangiferin. (lv) (Williams *et al.* 1986)

I. unguicularis Poir. (カンザキアヤメ)**Flavone**

Kanzakiflavone-1. (rz) (Arisawa and Morita 1976; Arisawa *et al.* 1976)

Kanzakiflavone-2. (rz) (Arisawa *et al.* 1976)

Isoflavone

Irigenin, Iristectorigenin A. (rz) (Arisawa and Morita 1976; Arisawa *et al.* 1976)

Irigenin 7-*O*-glucoside. (rz) (Arisawa *et al.* 1976)

Xanthone*

Mangiferin. (rz, lv) (Bate-Smith and Swain 1965; Bate-Smith 1968; Arisawa *et al.* 1976; Williams and Harborne 1985; Williams *et al.* 1986)

Isomangiferin. (rz, lv) (Arisawa *et al.* 1976; Williams *et al.* 1986)

I. unguicularis Poir. var. *lazica* Alboff (= *I. lazica*)**Xanthone***

Mangiferin. (lv) (Williams and Harborne 1985)

I. variegata L.**C-Glycosylflavone**

Isoorientin, Luteolin C-glycoside. (lv) (Williams *et al.* 1997)

Isoflavone

Tectorigenin. (lv) (Williams *et al.* 1997)

Xanthone*

Mangiferin, Isomangiferin. (lv) (Williams *et al.* 1986; Williams *et al.* 1997)

Mangiferin *O*-glucoside, Isomangiferin *O*-glucoside. (lv) (Williams *et al.* 1997)

I. versicolor L.**Anthocyanin**

Delphinidin 3-*O*-(*p*-coumaroylrutinoside)-5-*O*-glucoside, Delphinidin 3-*O*-rutinoside-5-*O*-glucoside, Petunidin 3-*O*-(*p*-coumaroylrutinoside)-5-*O*-glucoside, Petunidin 3-*O*-rutinoside-5-*O*-glucoside, Malvidin 3-*O*-(*p*-coumaroylrutinoside)-5-*O*-glucoside, Malvidin 3-*O*-rutinoside-5-*O*-glucoside. (fl) (藪谷ら 1988)

Leucoanthocyanidin

Leucodelphinidin. (lv) (Bate-Smith 1968)

Xanthone*

Mangiferin. (lv) (Bate-Smith 1968)

I. versicolor L. var. *kermesina***Xanthone***

Mangiferin, Isomangiferin. (lv) (Williams *et al.* 1986)

-(continued)-

Table 1.

-(continued)-

I. virginica L.**Anthocyanin**

Delphinidin 3-*O*-(*p*-coumaroylrutinoside)-5-*O*-glucoside, Delphinidin 3-*O*-rutinoside-5-*O*-glucoside, Petunidin 3-*O*-(*p*-coumaroylrutinoside)-5-*O*-glucoside, Petunidin 3-*O*-rutinoside-5-*O*-glucoside, Malvidin 3-*O*-(*p*-coumaroylrutinoside)-5-*O*-glucoside, Malvidin 3-*O*-rutinoside-5-*O*-glucoside. (fl) (藪谷ら 1988)

I. virginica L. var. *shrevei* (Small) Anders**Xanthone***

Mangiferin, Isomangiferin. (lv) (Williams *et al.* 1986)

I. watti Baker**Isoflavone**

Isoshekegenin 7-*O*-glucoside****. (rz) (McIlroy 1951; Zechner 1966)

*Xanthones which based C₆-C₁-C₆ are not flavonoids, but thier distributions were listed in Table 1, because the compounds were biosynthetically related to the flavonoids.

**The compounds were produced by treatment of the leaves with cupric chloride.

***The compounds were produced from the anoxically treated plants.

****Isoshekegenin, of which the structure is not determined, is presumed to be coumarin by Karrer (1958) and Murray *et al.* (1982).

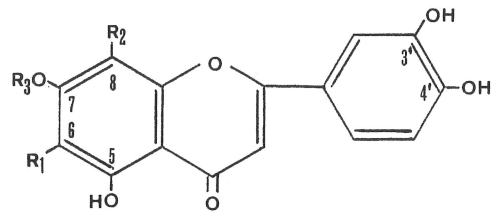
(fl) = flowers, (lv) = leaves, (pl) = pollen, (rz) = rhizomes and (wp) = whole plants.

で、次いで 7-*O*-メチル化 C-グリコシルフラボンの swertisin, isoswertisin, swertiajaponin および isoswertiajaponin である。また C-グリコシルフラボンはハナショウブ (Iwashina *et al.* 1996), ジャーマンアイリス (Kawase and Yagishita 1968), ヒメシャガ (*I. gracilipes* A. Gray) (林ら 1984), シャガ (*I. japonica* Thunb.) (有澤ら 1973), カキツバタ (Iwashina and Ootani 1996), *I. pallida* Lam. (Williams *et al.* 1997), ヒオウギアヤマ (林ら 1989) などでは isovitexin 4'-*O*-glucoside (isosaponarin), isovitexin 7-*O*-glucoside (saponarin), swertisin 2''-*O*-glucoside (flavoayamenin), embigenin 2''-*O*-rhamnoside (embinin) など *O*-配糖体としても存在する。vicenin-2 など 6-位と 8-位の両方に C-グリコシル基の結合したのも時に検出されるがいずれの場合でも微量な存在である。

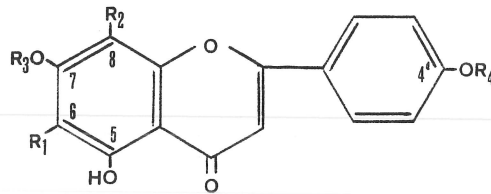
これらの C-グリコシルフラボンは花でも主要成分として存在し、後述するようにアントシアニンとともに花色の発現や変異に大いに関与している。しかし、根茎からは今まで全く報告されていない。

フラボン

同じフラボンでありながら C-結合の糖を有しない一般的なフラボンはアヤマ属では非常にマイナーな存在で、これまでにわずか 4 種で検出されたにすぎない (Table 1)。いずれも糖をエーテル結合していない遊離の状態で分離されている。フラボンを有する種のうち、*I. pseudopumila* Tineo と *I. reichenbachii* Heuffel では、前者から apigenin (Fig. 2) が、また後者からはメチル化フラボンの acetin と chrysoeriol がそれぞれ葉から検出されている (Williams *et al.* 1997)。カンザキアヤマ (*I. unguicularis* Poir.) からは根茎から非常に稀な 2 種類のフラボンが分離同定された (Arisawa and Morita 1976; Arisawa *et al.* 1976)。これは 6-位と 7-位の間がメチレンジオキシル化されたもので、それぞれ kanzakiflavone-1 および kanzakiflavone-2 (Fig. 2) と命名され



- $R_1 = C\text{-glucosyl}, R_2 = R_3 = R_4 = H$: isovitexin
 $R_1 = R_3 = R_4 = H, R_2 = C\text{-glucosyl}$: vitexin
 $R_1 = R_2 = C\text{-glucosyl}, R_3 = R_4 = H$: vicenin-2
 $R_1 = C\text{-glucosyl}, R_2 = R_4 = H, R_3 = Me$: swertisin
 $R_1 = R_4 = H, R_2 = C\text{-glucosyl}, R_3 = Me$: isoswertisin
 $R_1 = C\text{-glucosyl}, R_2 = H, R_3 = R_4 = Me$: embigenin



- $R_1 = C\text{-glucosyl}, R_2 = R_3 = H$: isoorientin
 $R_1 = R_3 = H, R_2 = C\text{-glucosyl}$: orientin
 $R_1 = C\text{-glucosyl}, R_2 = H, R_3 = Me$: swertiajaponin
 $R_1 = H, R_2 = C\text{-glucosyl}, R_3 = Me$: isoswertiajaponin

Fig. 1. Chemical structures of C-glycosylflavones isolated from *Iris* species.

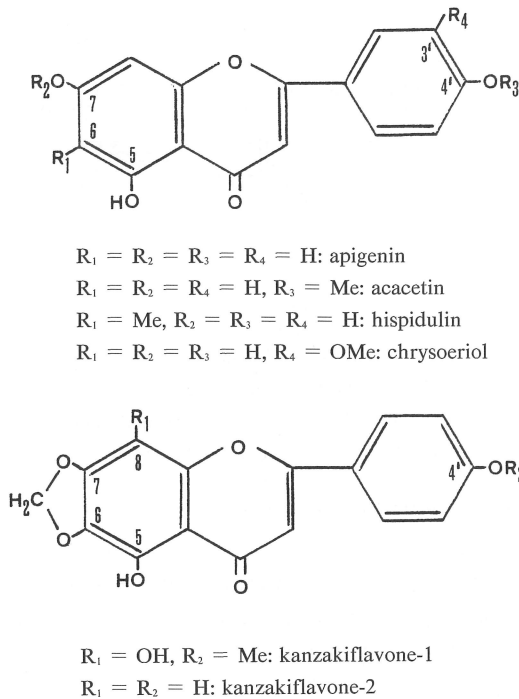
ている。メチレンジオキシル化されたフラボンは非常に稀で、これら2種類を含め、これまでに自然界でわずか19種類しか見出されていない (Wollenweber 1994)。アヤメ属では後述するようにイソフラボン、フラバノンのような他のフラボノイドのクラスでもメチレンジオキシル化されたフラボノイドが報告されている。

フラボンが分離されたもう1種の植物はキショウブ (*I. pseudacorus* Fisch.) で、葉から apigenin と 6-O-メチル化フラボンである hispidulin が分離同定された (Hanawa *et al.* 1991b)。しかし、これは塩化第二銅 (cupric chloride) で処理してストレスを与えた葉から得られたもので、正常葉からは検出されない。

遊離の状態のフラボンはこれまで花からは得られていない。

フラボノール

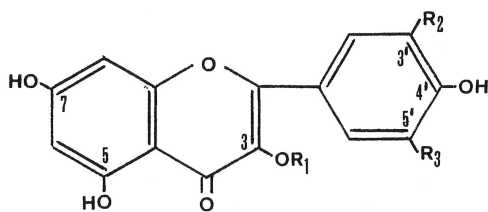
フラボノールはいくつかのアヤメ属植物から散在的に報告されている (Table 1)。ジャーマンアイリスの花で kaempferol と quercetin (Fig. 3) の配糖体が (Ashtakara and Forward 1971)、キショウブの花粉から kaempferol と isorhamnetin が (Stanley and Linskens 1974)、また *I. milesii* M. Foster の根茎から quercetin 3-methyl ether が分離された (Agarwal *et al.* 1984a) 以外はすべて葉からの報告で、*I. douglasiana* Herb. で isorhamnetin (Fig. 3) の配糖体が検出されたほかはすべて、一般的な kaempferol, quercetin および myricetin の配糖体であるが、いずれも微量成分としてで、詳細な配糖体レベルの同定には至っていない (Williams *et al.* 1986)。

Fig. 2. Chemical structures of flavones isolated from *Iris* species.

ジャーマンアイリスでは根茎を好氣的な状態に置くと遊離の状態の kaempferol と quercetin とが産生されるが、嫌氣的な条件下では kaempferol は合成されず、quercetin に加えて、3'-位がイソプテニル化 ($(\text{CH}_3)_2\text{C}=\text{CH}-\text{CH}_2-$) された quercetin が産生される (Crawford *et al.* 1994)。これもやはり前述の塩化第二銅での処理と同様に、ストレスを与えた条件下では本来の生合成経路から外れた化合物が形成される一つの例といえよう。

アントシアニン

アヤメ属植物からのアントシアニンの報告はすべて花からのものである。分析された植物の多くは主に日本に自生している種、あるいは栽培品種で、日本の研究者を中心に分離同定が行われた。主要なアントシアニンは delphinidin, petunidin および malvidin (Fig. 4) の 3-O-(p-coumaroylrutinoside)-5-O-glucoside、すなわち delphanin, petanin および ensatin で、時にそれらに相当する非アシル化配糖体が共存するか、置き換わる。ensatin については、ハナショウブ品種“日の出”および“布袋”から分離された当初は malvidin 3-O-(p-coumaroyldigluco-*side*) と同定されたが (Hayashi 1940, 1941; 林 1940)、後に上記の化学構造に改められた (Takeda and Hayashi 1964)。イチハツ、シャガ、アヤメ (*I. sanguinea* Hornem. ex Donn)、エヒメアヤメ (*I. rossii* Baker) などでは delphinidin 配糖体が主要色素であるが (Ishikura 1980; 林ら 1980)、一方、カキツバタやヒオウギアヤメでは malvidin と petunidin の配糖体が主要色素である (Ishikura 1980; Yabuya 1987; Ueno *et al.* 1969; 藪谷ら 1988; 林ら 1989)。ハナショウブでは多くの品種の主要色素が malvidin と petunidin、主に ensatin と petanin であるが、近年、藪谷らの高速液体クロマトグラフィー (HPLC) による分析によって、delphinidin (主に delphanin)、さらには cyanidin (cyanidin 3-O-rutinoside-5-O-glucoside) や peonidin (peonidin 3-O-(p-coumaroylrutino-



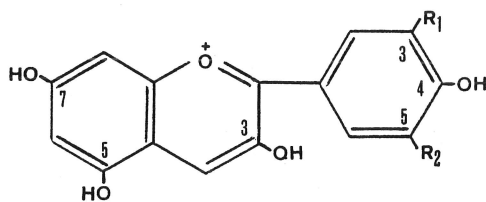
- $R_1 = R_2 = R_3 = \text{H}$: kaempferol
 $R_1 = R_3 = \text{H}, R_2 = \text{OH}$: quercetin
 $R_1 = \text{H}, R_2 = R_3 = \text{OH}$: myricetin
 $R_1 = R_3 = \text{H}, R_2 = \text{OMe}$: isorhamnetin
 $R_1 = \text{Me}, R_2 = \text{OH}, R_3 = \text{H}$: quercetin 3-methyl ether
 $R_1 = R_3 = \text{H}, R_2 = \textit{O}$ -isobutenyl: 3'-*O*-isobutenylquercetin

Fig. 3. Chemical structures of flavonol aglycones isolated from *Iris* species.

side)) が主要色素である品種も発見された (Yabuya 1991; Yabuya *et al.* 1994a, 1994b, 1997)。cyanidin や peonidin の配糖体はアヤメ属植物では現在までにハナショウブ以外からは報告されていない。ちなみに自然界に存在する 6 種類の主要アントシアニジンのうち、pelargonidin はまだアヤメ属植物からは見出されていない。これらアントシアニンには花色発現に重要な色素であり、花の色との関係については後に詳述する。

イソフラボン

アヤメ属植物に含まれているフラボノイドのうちで特に重要なものの一つがイソフラボンである。イソフラボンとは、他のフラボノイドでは B 環が 2-位に結合するのに対して 3-位に結合しているフラボノイドのクラスであり、19 世紀の後半にはすでにニオイリスの根茎から irigenin 7-*O*-glucoside (iridin) が分離同定されていた (De Laire and Tiemann 1893)。これらのイソフラボンは稀に葉でも検出される事があるが、アヤメ属では一般に根茎に集中して、しかも主要成分として分離される。現在までにアヤメ属植物で分離同定されたイソフラボンは、18 種の植物からアグリコンレベルでさえも 38 種類に及ぶ (Table 3)。これらはその物質名、例えば irisone, irilin, ristectorigenin, irigenin, irilone, irisflorentin, iriflogenin, irisolone などからも推察されるように、



- $R_1 = R_2 = \text{H}$: pelargonidin
 $R_1 = \text{OH}, R_2 = \text{H}$: cyanidin
 $R_1 = \text{OMe}, R_2 = \text{H}$: peonidin
 $R_1 = R_2 = \text{OH}$: delphinidin
 $R_1 = \text{OMe}, R_2 = \text{OH}$: petunidin
 $R_1 = R_2 = \text{OMe}$: malvidin

Fig. 4. Chemical structures of anthocyanidins.

Table 2. Distribution of flavonoid classes and xanthenes in the genus *Iris sensu lato*

Taxa		An	F1	Fn	CG	IF	LA	FA	RO	DF	CC	XA
Genus <i>Iris</i>												
Subgenus <i>Limniris</i>												
Sect. <i>Limniris</i>												
Subsect. <i>Apogon</i>												
Ser. <i>Sibiricae</i>	<i>I. bulleyana</i>		+				+					
	<i>I. chrysographes</i>	+	+		+***		+					
	<i>I. clarkei</i>				+***		+					
	<i>I. delavayi</i>	+	+		+***		+					
	<i>I. forrestii</i>		+		+***							
	<i>I. sanguinea</i>	+	+		+							
	<i>I. sibirica</i>		+		+***		+					
Ser. <i>Prismatica</i>	<i>I. prismatica</i>		+									
Ser. <i>Laevigatae</i>	<i>I. laevigata</i>	+			+		+					+
	<i>I. pseudacorus</i>		+	+*	+***	+*	+	+*		+*	+*	+
	<i>I. versicolor</i>	+					+					+
	<i>I. v. var. kermesina</i>				+***							+
	<i>I. virginica</i>	+										
	<i>I. v. var. shrevei</i>				+***							+
Ser. <i>Chinensis</i>	<i>I. rossii</i>	+			+							+
Ser. <i>Californicae</i>	<i>I. bracteata</i>		+				+					
	<i>I. chrysophylla</i>				+							
	<i>I. douglasiana</i>		+		+***		+					
	<i>I. innominata</i>		+		+***		+					
	<i>I. macroshiphon</i>		+		+***							
	<i>I. tenax</i>		+		+		+					
Ser. <i>Longipetalae</i>	<i>I. missouriensis</i>				+***	+						
Ser. <i>Tripetalae</i>	<i>I. setosa</i>	+			+							+
	<i>I. s. var. canadensis</i>				+							
	<i>I. s. var. hondoensis</i>	+			+							+
	<i>I. s. var. nasuensis</i>	+			+							+
Subsect. <i>Ensatae</i>												
Ser. <i>Ensatae</i>	<i>I. ensata</i>	+			+							+
	<i>I. e. var. spontanea</i>	+			+		+					+
Subsect. <i>Tenuifolia</i>												
Ser. <i>Tenuifolia</i>	<i>I. tenuifolia</i>							+				
Sect. <i>Unguiculares</i>												
Subsect. <i>Unguicularis</i>												
Ser. <i>Unguicularis</i>	<i>I. lazica</i>				+***							+
	<i>I. unguicularis</i>			+	+***	+						+
Subgenus <i>Xyridion</i>												
Sect. <i>Xyridion</i>												
Ser. <i>Spuriae</i>	<i>I. crocea</i>					+			+	+		
	<i>I. monnieri</i>				+***		+					
	<i>I. orientalis</i>				+***		+					

-(continued)-

Table 2.

-(continued)-

	Taxa	An	F1	Fn	CG	IF	LA	FA	RO	DF	CC	XA
	<i>I. spuria</i>				****	+	+	+	+			
Ser. Gramineae	<i>I. gramineae</i>		+		****		+					
	<i>I. g. var. pseudocyperus</i>				****		+					
	<i>I. kerneriana</i>						+					
	<i>I. sitensisii</i>		+		****							
Subgenus Nepalensis	<i>I. nepalensis</i>					+						
Subgenus Pardanthopsis	<i>I. dichotoma</i>											+
Subgenus Crossiris												
Sect. Crossiris												
Ser. Japonica	<i>I. japonica</i>	+			+							
Ser. Tectores	<i>I. milesii</i>		+		****	+		+				
	<i>I. tectorum</i>	+			+	+						
Sect. Monospatha	<i>I. chamaeiris</i>											+
	<i>I. gracilipes</i>	+			+							
	<i>I. kashmiriana</i>						+					
	<i>I. lutescens</i>				+	+						+
Subgenus Iris												
Sect. Iris												
Ser. Pumilae	<i>I. albertii</i>				****							+
	<i>I. albicans</i>				+							+
	<i>I. aphylla</i>											+
	<i>I. germanica</i>	+	+		+	+	+	+		+		+
	<i>I. florentina</i>				+	+						+
	<i>I. mellita</i>											+
	<i>I. pseudopumila</i>			+	+	+						+
	<i>I. pumila</i>				****							+
	<i>I. reichenbachii</i>			+	+							+
	<i>I. suaveolens</i>				****							+
Ser. Elatae	<i>I. biflora</i>				+							+
	<i>I. cengialtii</i>				****							+
	<i>I. flavescens</i>											+
	<i>I. furcata</i>											+
	<i>I. variegata</i>				+	+						+
	<i>I. pallida</i>				+	+						+
	<i>I. imbricata</i>											+
	<i>I. subbiflora</i>				****							+
	<i>I. trojana</i>				****							+
Sect. Hexapogon												
Subsect. Regelia	<i>I. flavissima</i>						+					
	<i>I. hoogiana</i>				****							+
	<i>I. humilis</i>		+		****							+
Subsect. Pseudoregelia	<i>I. hookeriana</i>					+						
Subsect. Oncocyclus	<i>I. nigricans</i>					+						
	<i>I. sari</i>											+

-(continued)-

Table 2.

-(continued)-

Taxa		An	F1	Fn	CG	IF	LA	FA	RO	DF	CC	XA
Genus <i>Xyphium</i> **	<i>I. hollandica</i>	+										
Genus <i>Iridodictyum</i> **												
Sect. <i>Iridodictyum</i>	<i>I. histrioides</i>				+	***						+
	<i>I. reticulata</i>				+	***						+
	<i>I. tingitana</i>	+			+		+					
Genus <i>Gynandris</i> **	<i>I. sisyrinchium</i>											+

Classification according to Rodionenko (Köhlein 1987).

*The compounds were produced from the anoxically treated plants, or by treatment with cupric chloride.

** Some authors, e.g., Dykes-Diels and Lawrence, regard those genera as the genus *Iris sensu lato*.

***C-Glycosylflavones were reported by Williams *et al.* (1986), but each compounds were not identified.

An = anthocyanin, F1 = flavanol, Fn = flavone, CG = C-glycosylflavone, IF = isoflavone, LA = leucoanthocyanidin, RO = rotenoid, DF = dihydroflavonol, CC = coumaranochromone and XA = xanthone.

アヤメ属植物固有の成分か、あるいはアヤメ属で初めて分離されたものがほとんどである (Dewick 1994)。また tectorigenin, irigenin, irilone, iriflogenin, homotectorigenin, irisolidone などは 7-O-glucoside, 4'-O-glucoside などの配糖体としても検出される。

アヤメ属植物から分離されたイソフラボンの特徴として、6,7-メチレンジオキシル化 (irisfloreantin, iriflogenin, irisolone, iriskashmirianin など)、6-あるいは8-位、あるいはその両方のヒドロキシル化あるいはメトキシル化 (iristectorigenin, tectorigenin, irisolidone など)、2'-位のヒドロキシル化あるいはメトキシル化 (irisone A, irisone B など) があげられる。また塩化第二銅での処理によってストレスを与えられたキシウブの葉で産生される irilin C, genistein を除いて、必ず1ヶ所あるいはそれ以上メトキシル化あるいはメチレンジオキシル化されている (Table 3)。これらは同一の種に含有されているC-グリコシルフラボンやフラボノールともかなり異なった置換パターンであり、根茎でのみ、その生合成が発現されるだけでなく、他のフラボノイドとはまったく異なった生合成経路によって生産される可能性が強い。しかしながら、メチレンジオキシル化や6-あるいは8-位での置換の生合成経路は現在までまったくわかっていない。

アヤメ属を含むアヤメ科 (family Iridaceae) はマメ科に次いで多様なイソフラボンを合成する種群ではあるが、すべての種がイソフラボンを産生するのではなく、Rodionenko による分類体系の *Limniris* 亜属の *Limniris* 節に包含される種からは従来、塩化第二銅の処理によってストレスを与えられたキシウブの葉で見出された以外 (Hanawa *et al.* 1991a), *I. missouriensis* Nutt. で検出されたにすぎない (Wong *et al.* 1987)。

日本産のアヤメ属植物ではカキツバタ、ヒメシャガ、シャガ、キシウブ、カマヤマキシウブ (*I. sanguinea* Hornem. ex Donn var. *violacea* Makino) の根茎がペーパークロマトグラフィーによって分析されているが、イソフラボンの呈色を示す物質は見出されていない (森田 1976)。ちなみに上記の *Limniris* 節に包含されるハナキシウブについてはまだ根茎成分の報告はない。

ロテノイドおよびクマラノクロモン

ロテノイド (rotenoid) とクマラノクロモン (coumaranochromone) はいずれもイソフラボノ

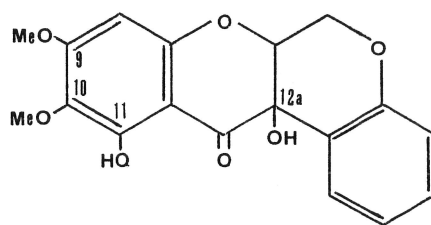
イド系のフラボノイドである。ロテノイドではそのうちの12a-ヒドロキシロテノイドの irispurinol と 9-methoxyirispurinol (Fig. 5) が *I. spuria* L. と *I. crocea* Jacqemont の根茎からそれぞれ分離されている (Shawl *et al.* 1988b; Shawl and Kumar 1992)。これらはいずれも配糖体ではなく、遊離の状態で存在する。12a-ヒドロキシロテノイドは1994年の段階で、自然界で27種類しか報告されておらず、*I. spuria* と *I. crocea* からの上記のロテノイドは現在まで他の植物からは見出されていない (Dewick 1994)。

一方、クマラノクロモンはキショウブから分離された他のイソフラボン、フラボン、フラバノン、ジヒドロフラボノール (Table 1) と同じく、塩化第二銅の処理によってストレスを与えられた葉から7種類、すなわち ayamenin A-E, lupinalbin A および 5,7,3'-trihydroxy-6-methoxycoumaranochromone (Fig. 6) が分離された (Hanawa *et al.* 1991a, 1991b)。これらのうち、ayamenin A - Eは新規化合物であった。なお、これらの化合物はキショウブの正常な葉からは検出されない。

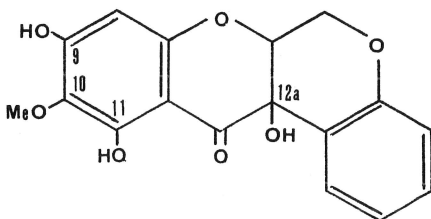
1994年の段階で、クマラノクロモンは自然界でわずか20種類しか報告されていない (Dewick 1994)。これらロテノイドやクマラノクロモンの生合成経路はイソフラボンを経由して合成されるようであるが (Stafford 1990)、これについてもまだよくわかっていない。

フラバノンおよびジヒドロフラボノール

フラバノンはアヤメ属からは5種の植物、すなわちキショウブ、ジャーマンアイリス、*I. spuria*, *I. tenuifolia* Pall. および *I. milesii* M. Foster から9種類が分離同定されている (Hanawa *et al.* 1991b; Shawl *et al.* 1988a; Kojima *et al.* 1997; Crawford *et al.* 1994; Agarwal *et al.* 1984a)。嫌気的な条件でストレスを与えられたジャーマンアイリスからの2種類のフラバノン (Crawford *et al.* 1994) と *I. milesii* からの sakuranetin (Agrawal *et al.* 1984a) を除いて、これらのフラバノンに共通しているのはすべてが2'-置換体である事である (Fig. 7)。さらに、このうちの *I. tenuifolia* からの2種類は6,7-メチレンジオキシル化されている。キショウブからのフラバノン (5,7,2'-trihydroxyflavanone) は塩化第二銅で処理された葉から分離されたが (Hanawa *et al.* 1991b), *I. spuria* と *I. tenuifolia* のフラバノンはいずれも根茎から分離されたものである (Shawl *et al.* 1988a; Kojima *et al.* 1997)。



9-methoxyirispurinol



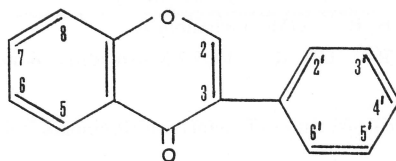
irispurinol

Fig. 5. Chemical structures of rotenoids isolated from *Iris* species.

Table 3. Isoflavone aglycones isolated from *Iris* species

Trivial name	Structures
biochanin A*	5,7-dihydroxy-4'-methoxyisoflavone
genistein*	5,7,3'-trihydroxyisoflavone
homotectorigenin	5,7,4'-trihydroxy-8-methoxyisoflavone
iriflogenin	5,4'-dihydroxy-3'-methoxy-6,7-methylenedioxyisoflavone
irilin A*	5,2'-dihydroxy-6,7-dimethoxyisoflavone
irilin B*	5,7,2'-trihydroxy-6-methoxyisoflavone
irilin C*	5,7,2'-trihydroxyisoflavone
irilone	5,4'-dihydroxy-6,7-methylenedioxyisoflavone
irisflorentin	5,3',4',5'-tetramethoxy-6,7-methylenedioxyisoflavone
iriskashmirianin	4'-hydroxy-5,3'-dimethoxy-6,7-methylenedioxyisoflavone
iriskumaonin	3'-hydroxy-5,4'-dimethoxy-6,7-methylenedioxyisoflavone
irisolidone	5,7-dihydroxy-6,4'-dimethoxyisoflavone
irisolone	4'-hydroxy-5-methoxy-6,7-methylenedioxyisoflavone
irisone A	5-hydroxy-2'-methoxy-6,7-methylenedioxyisoflavone
irisone B	5,2'-dihydroxy-6,7-methylenedioxyisoflavone
iristectorigenin A	5,7,3'-trihydroxy-6,4'-dimethoxyisoflavone
iristectorigenin B	5,7,4'-trihydroxy-6,3'-dimethoxyisoflavone
isoiriskashmirianin	3'-hydroxy-5,4'-dimethoxy-6,7-methylenedioxyisoflavone
isoshekagenin	unknown
junipegenin A	5,7,3',5'-tetrahydroxy-4'-methoxyisoflavone
nigricanin	4'-hydroxy-5,3'-dimethoxy-6,7-methylenedioxyisoflavone
nigricin	4'-hydroxy-5-methoxy-6,7-methylenedioxyisoflavone
orobol 3'-methyl ether*	5,7,4'-trihydroxy-3'-methoxyisoflavone
pratensein*	5,7,3'-trihydroxy-4'-methoxyisoflavone
prunetin	5,4'-dihydroxy-7-methoxyisoflavone
tectorigenin	5,7,4'-trihydroxy-6-methoxyisoflavone
	5,2'-dihydroxy-7,8-dimethoxyisoflavone
	5,7-dihydroxy-6,2'-dimethoxyisoflavone
	5,7,3'-trihydroxy-6,4'-dimethoxyisoflavone
	5,7,3'-trihydroxy-4',5'-dimethoxyisoflavone
	5,6,7,4'-tetrahydroxy-8-methoxyisoflavone
	5,6,7,4'-tetrahydroxy-3'-methoxyisoflavone
	5,4'-dihydroxy-6,7-methylenedioxyisoflavone
	5,4'-dimethoxy-6,7-methylenedioxyisoflavone
	3'-hydroxy-5,4'-dimethoxy-6,7-methylenedioxyisoflavone
	5,3'-dihydroxy-4',5'-dimethoxy-6,7-methylenedioxyisoflavone
	5,3',4'-trimethoxy-6,7-methylenedioxyisoflavone

*The compounds were produced by treatment of the leaves with cupric chloride.



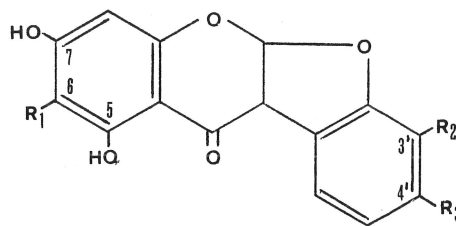
一方、ジヒドロフラボノールは4種のアヤメ属植物から分離された。キショウブからの alpinone と dihydrokaempferol 7-methyl ether (Fig. 8) はやはり、塩化第二銅で処理された葉から抽出されたものである (Hanawa *et al.* 1991b)。 *I. crocea* からは根茎から alpinone が (Shaw and Kumar 1992)、ジャーマンアイリスの根茎からは dihydroquercetin 7,3'-dimethyl ether が (Pailer and Franke 1973)、そして *I. tenuifolia* からは根茎から前述したフラバノンとともにやはり 2'-位が置換された2種類のジヒドロフラボノール (Table 1) が分離されている (Kojima *et al.* 1997)。

これらフラバノンとジヒドロフラボノールの化学構造は、前述のイソフラボンと類似した置換パターン (2'-置換や6,7-メチレンジオキシル化、メトキシル基の存在) であり、その生合成経路の相関が推定される。なお、フラバノン、ジヒドロフラボノールのいずれも配糖体としてではなく、遊離の状態が存在する。

ロイコアントシアニン

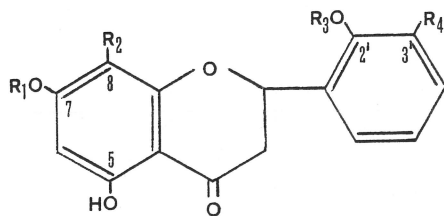
現在までに21種のアヤメ属植物からロイコアントシアニンが検出されている (Table 1 および 2)。見出されるのは leucocyanidin と leucodelphinidin の2種類で、leucodelphinidin のみを有する *I. versicolor* L. を除いて、leucocyanidin 単独か、両者が共に存在する。いずれも葉からの検出で、花や根茎からは見出されていない。

ロイコアントシアニンは植物からの無色の抽出物を塩酸水溶液中などで加熱した時に、アントシアニンとして出現するものの総称であり、多分、本来植物体中では縮合性タンニン (プロアントシアニン重合体) あるいはフラバン3,4-ジオールなどとして存在しているものが多いと思われる。例えば、ジャーマンアイリスの果実のプロアントシアニン重合体は procyanidin (熱塩酸処理によってアントシアニンの cyanidin となる) と prodelfinidin (同、delphinidin となる) が89:11の比率であり、キショウブの果実のものは同じく20:80、しかし同じキショウブでも、葉のプロアントシアニン重合体は procyanidin のみで構成されているという報告もある (Porter 1988)。しかし現在まで、アヤメ属植物では植物体中に含まれている状態そのままの形でプロアントシアニン重合体が分離されたという報告はない。

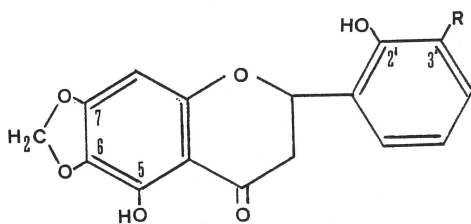


- $R_1 = R_2 = R_3 = \text{H}$: ayamenin B
- $R_1 = R_3 = \text{H}, R_2 = \text{OH}$: ayamenin C
- $R_1 = \text{OMe}, R_2 = R_3 = \text{H}$: ayamenin A
- $R_1 = \text{OMe}, R_2 = \text{H}, R_3 = \text{OH}$: ayamenin D
- $R_1 = \text{H}, R_2 = \text{OH}, R_3 = \text{OMe}$: ayamenin E
- $R_1 = R_2 = \text{H}, R_3 = \text{OMe}$: lupinalbin A
- $R_1 = \text{OMe}, R_2 = \text{OH}, R_3 = \text{H}$: 5,7,3'-trihydroxy-6-methoxycoumaranochromone

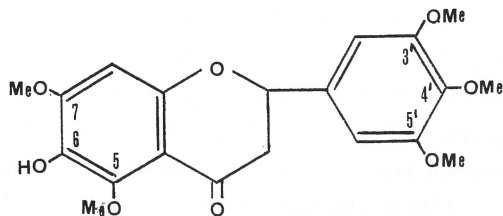
Fig. 6. Chemical structures of coumaranochromones isolated from *Iris* species.



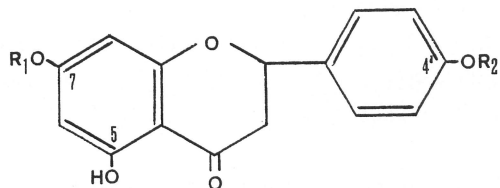
- $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = H$: 5,7,2'-trihydroxyflavanone
 $R_1 = Me, R_2 = OH, R_3 = R_4 = H$: 5,8,2'-trihydroxy-7-methoxyflavanone
 $R_1 = Me, R_2 = R_3 = H, R_4 = OH$: 5,2',3'-trihydroxy-7-methoxyflavanone
 $R_1 = R_3 = Me, R_2 = H, R_4 = OH$: 5,3'-dihydroxy-7,2'-dimethoxyflavanone



- $R = H$: 5,2'-dihydroxy-6,7-methylenedioxyflavanone
 $R = OH$: 5,2',3'-trihydroxy-6,7-methylenedioxyflavanone

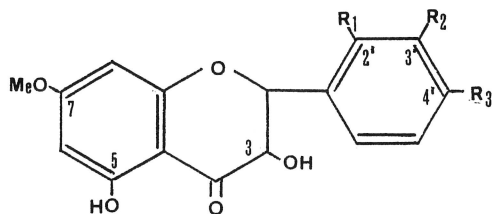


6-hydroxy-5,7,3',4',5'-pentamethoxyflavanone



- $R_1 = Me, R_2 = H$: sakuranetin
 $R_1 = H, R_2 = isobutenyl$: selenone

Fig. 7. Chemical structures of flavanones isolated from *Iris* species.



- $R_1 = R_2 = R_3 = H$: alpinone
 $R_1 = H, R_2 = OMe, R_3 = OH$: dihydroquercetin 7,3'-dimethyl ether
 $R_1 = R_2 = H, R_3 = OH$: dihydrokaempferol 7-methyl ether
 $R_1 = R_2 = OH, R_3 = H$: 3,5,2',3'-tetrahydroxy-7-methoxydihydroflavonol
 $R_1 = OMe, R_2 = OH, R_3 = H$: 3,5,3'-trihydroxy-7,2'-dimethoxydihydroflavonol

Fig. 8. Chemical structures of dihydroflavonols isolated from *Iris* species.

キサントン

キサントンは前述したように $C_6-C_1-C_6$ を基本骨格としており、 $C_6-C_3-C_6$ を基本骨格とするフラボノイドとは異なる。しかし、フラボノイドが一般に P-クマル酸 (p-coumaric acid) にマロニル-CoA 3 分子が重合されるのに対して、キサントンはその途中の 2 分子が重合して得られる化合物群であり (Stafford 1990), 生合成的にフラボノイドとは近い物質である。多くのものはペーパークロマトグラフィーや薄層クロマトグラフィーではクロマトグラム上に UV 下でピンクあるいは暗橙色のスポットとして出現し、アンモニア蒸気にさらすとけい光のある黄色に変化するので他のフラボノイドや芳香族の有機酸とは容易に区別がつく。

アヤメ属植物では現在までに、キサントンについてはキショウブ、ヒオウギアヤメ、ニオイイリス、ハナショウブ、エヒメアヤメなど 40 種類の植物の葉あるいは花、あるいはその両方から検出されている (Table 1 および 2)。これらのすべての植物から報告されているのがキサントンの C-配糖体である mangiferin (Fig. 9) で、異性体の isomangiferin やこれらの O-配糖体が伴われていることもある。mangiferin はチャセンシダ属 (*Asplenium*) (Smith and Harborne 1971; Richardson and Lorenz-Liburnau 1982) やメシダ属 (*Athyrium*) (Richardson and Lorenz-Liburnau 1983) などのシダ類からラン科植物 (Williams 1979) に至るまで、今日まで天然で得られているキサントンのうちで散在的ではあるが植物界に最も広く分布が知られている化合物である (Richardson 1983; Al-Hazimi and Miana 1990)。

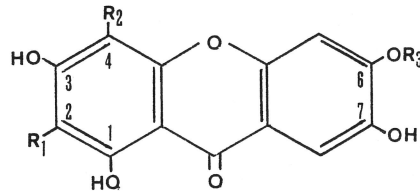
アヤメ属植物から報告されたその他のキサントンとしてはニオイイリスの根茎から irisanthone (Fig. 9) (Arisawa *et al.* 1973b), 1-hydroxy-3,5,6-trimethoxyanthone 2-C-glucoside と 1,3,5,6-tetramethoxyanthone 2-C-glucoside (藤田・井上 1981) が知られている。ジャーマンアイリスでは正常な状態で産生するキサントンは mangiferin, isomangiferin およびそれらの O-配糖体であるが、根茎を嫌気的な条件でストレスを与えると、これらの物質は合成されず、6-dehydroxyjacareubin (Fig. 9) という極めて稀なキサントンが産出される (Crawford *et al.* 1994)。

フラボノイドを指標としたヒオウギアヤメとその関連種の化学分類

前述したように、フラボノイドが報告されたアヤメ属の種は、まだ全体の 30-60% ほどであり、花、葉、あるいは根茎に含まれている成分の組成はたとえ同一種であっても非常に異なっている。しかもこれらすべての部位のフラボノイドが分析された種はほとんどない。従って、この段階ではフラボノイドを指標としてアヤメ属全体の分類を論議するのは尚早だと思われる。そのため、

ここでは個々の種の種分化についてフラボノイドおよび関連化合物を指標として検討が行われた例を紹介する。これはヒオウギアヤメとその変種の種分化についてのものであり、林 孝三博士とその共同研究者によって発表されたものである。

ヒオウギアヤメは周北極要素の植物で、カナダ、アリューシャンから、シベリア東部、アジア東北部、そして日本の北海道、本州の中部地方以北に広く分布している。しかしながら、その変種であるキリガミネヒオウギアヤメ (*I. setosa* Pallas var. *hondoensis* Honda) とナスヒオウギアヤメ (*I. setosa* Pallas var. *nasuensis* Hara) はそれぞれ、長野県の霧ヶ峰と栃木県的那須地方の非常に狭い範囲にのみ分布している。これらの変種の成因に関しては、ヒオウギアヤメ自体から分化したという考えと、ヒオウギアヤメとカキツバタとの雑種に由来するという考え方があった(原・黒澤 1963)。ヒオウギアヤメとその2変種の花および葉のフラボノイドを分析したところ、主要成分はC-グリコシルフラボンとキサントンであり、それらのパターンはほとんど同一であったが、2つの変種にはヒオウギアヤメに含まれていたものに加えて、isovitexinやvitexinのB環の4'-位に糖(ガラクトース)を結合しているC-グリコシルフラボンの存在が認められた。さらに、両変種の間では、ナスヒオウギアヤメから swertisin, isoswertisin, swertiajaponin, isoswertiajaponin など、主に7-位がメトキシル化されたC-グリコシルフラボンが検出された(林

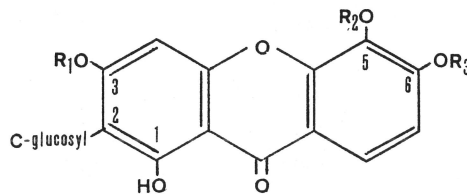


$R_1 = C\text{-glucosyl}, R_2 = R_3 = H$: mangiferin

$R_1 = R_3 = H, R_2 = C\text{-glucosyl}$: isomangiferin

$R_1 = C\text{-glucosyl}, R_2 = H, R_3 = Me$: mangiferin 7-methyl ether

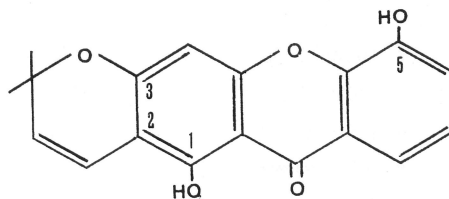
$R_1 = H, R_2 = C\text{-glucosyl}, R_3 = Me$: isomangiferin 7-methyl ether



$R_1 = R_3 = H, R_2 = Me$: irisxanthone

$R_1 = R_2 = R_3 = Me$: 1-hydroxy-3,5,6-trimethoxyxanthone 2-C-glucoside

$R_1 = R_2 = R_3 = H$: 1,3,5,6-tetrahydroxyxanthone 2-C-glucoside



6-dehydroxyjacareubin

Fig. 9. Chemical structures of xanthones isolated from *Iris* species.

ら 1989)。当初はこれら 3 変種間のフラボノイドの質的変異が小さい事から、日本固有の 2 変種は母種のアヤメ自体から分化したものと推定された。しかし、シベリア産を含む多くのアヤメの集団や個体を分析してもメトキシル化されたり、B 環がグリコシル化された C-グリコシルフラボンは認められなかった。そこで、これらの化学的形質はアヤメ内部ではなく、外部から導入されたものと推定し、2 つの変種が雑種起源であるという説で片親と推定されているカキツバタを分析したところ、B 環がグリコシル化された C-グリコシルフラボンとメトキシル化された C-グリコシルフラボンの両者が検出された（しかし、キサントンは欠失している）(Iwashina and Ootani 1996)。その結果、日本固有の 2 変種のうち、ナスアヤメはアヤメとカキツバタの両方のフラボノイドの形質を併せ持っている事が判明し、少なくともナスアヤメはこれら両種の雑種起源である可能性が示唆された。

キリガミネアヤメではカキツバタに含まれているメトキシル化された C-グリコシルフラボンが欠失しており、いっそうの研究が必要であると思われる。なお、染色体的にはアヤメが $2n=38$ であるのに対して、カキツバタが $2n=32$ であり、ナスアヤメ ($2n=ca. 54$) とキリガミネアヤメ ($2n=54$ まれに 52, 56, 57) の染色体数はアヤメの 4 倍体とカキツバタの 2 倍体との交配で生ずると考えられる数と一致する (原・黒澤 1963; 芹澤・近藤 1992)。

アヤメにはさらにカナダに自生するカナダアヤメ (*I. setosa* Pallas var. *canadensis* M. Foster) という変種がある。この葉のフラボノイドを分析したところ、B 環に糖を結合したものとメトキシル化されたものはもとより、アヤメ (広義) に主要成分として存在する isovitexin や vitexin さえも欠失しており、この変種が日本固有の 2 変種とは明らかに起源を異にしたものであることが判明した (Iwashina and Ootani 1995)。

アヤメ属植物に含まれるフラボノイドの機能

アヤメ属植物から分離されたフラボノイドは前述したようにかなりの器官特異性がある。例えば、アントシアニンには花でのみ、C-グリコシルフラボンとキサントンは主に花と葉に存在し、根茎にはほとんどない。逆にイソフラボンは根茎では合成されるが、他の器官からは一般に検出されない。このようなフラボノイドはそれぞれの器官でどのような機能を果たしているのかをここでは述べる。

花色の発現とフラボノイド

アヤメ属植物の花色は特にヨーロッパで改良されたジャーマンアイリスやダッチアイリスなどを中心に比較的色彩が豊富である。この花の色にとって重要な色素がアントシアニンである。現在までに 18 種類のアヤメ属植物で花のアントシアニンが分析されている。一般に赤、赤紫、紫系統の花色がアントシアニンによって発現される。アヤメ属で色素成分として普通に見出されるのは delphinidin, petunidin それに malvidin の配糖体である。また、他の植物群では一般的な cyanidin や peonidin の配糖体はハナショウブのごく少数の品種から検出されているにすぎないことは前にも述べた (Yabuya *et al.* 1994b)。また pelargonidin は現在まで報告されていない。

これらアントシアニンに次いで重要な成分は、共存する C-グリコシルフラボンで、いくつかの種では実際にコピグメント (copigment) 物質として、花色をより深色化 (青色化) させる作用のあることが判明している。その 2 つの例をここに紹介する。

ひとつは Prof. Blaauw Iris (*I. tingitana* Boiss. & Reut.) の場合で、この植物の花色は delphanin (= delphinidin 3-O-(p-coumaroylrutinoside)-5-O-glucoside) の存在によるが、5 種類の C-グリコシルフラボンも共存する。すなわち、swertisin, その O-xyloside, vitexin, isoorientin および

swertiajaponin が生体内でコピグメント物質として働き、花色をより青色化していることが証明されている (Asen *et al.* 1970)。特に swertisin が最も強いコピグメント効果があり、delphanin の溶液に swertisin を加えることにより pH1.2 の状態で本来の delphanin の吸収極大よりも 40 nm もの深色移動を生じることが判明した (Asen *et al.* 1970)。

もう一つの例はハナショウブで、藪谷らによって主に研究が進められた。ハナショウブのほとんどの品種のアントシアニンには ensatin (= malvidin 3-O-(p-coumaroylrutinoside)-5-O-glucoside) と petanin (= petunidin 3-O-(p-coumaroylrutinoside)-5-O-glucoside) である (林ら, 1978; Ishikura and Yamamoto 1978; Yabuya 1991) にもかかわらず、その花色は赤紫色から青紫色までを発現する。これらの花色の様々な品種を HPLC で定量的に分析すると、より青色味の強い花色の品種ほど紫外域に吸収を持つ特定の物質群がより多く存在することが判明した (Yabuya *et al.* 1994a)。これらは 12 種類の C-グリコシルフラボンと C-グリコシルキサントンで、特に isovitexin が多量に存在していた (Iwashina *et al.* 1996)。このフラボンがハナショウブのコピグメント物質と推定し、*in vitro* の状態でコピグメント効果の実験を行ったところ、ensatin の吸収極大よりも 32 nm もの深色移動が生じ、isovitexin がコピグメント物質として働いていることが判明した (Yabuya *et al.* 1997)。なお、*in vitro* の状態では Prof. Blaauw Iris の場合にコピグメント物質として働いている swertisin が isovitexin よりもさらに強力なコピグメント効果のあることが判明しているが、(藪谷ら, 1997) 現在までのところ、ハナショウブからはまだ swertisin の存在は報告されていない。

これとは別に、ハナショウブでは他のアヤメ属植物には見出されていない cyanidin や peonidin を主要色素とする品種も発見されており (Yabuya *et al.* 1994b)、現在のハナショウブにはない赤色花品種作出の可能性も大きい。

アヤメ属植物には他に黄色花の種あるいは品種も多数あるが、これらの主要色素はフラボノイドではなく carotene や lycopene のようなカロチノイド色素である (Köhlein 1987)。より濃い黄色を呈するフラボノイドであるカルコンやオーロンは今までアヤメ属植物では見出されてはいない。また C-グリコシルフラボンも含めたフラボンやフラボノール、それにキサントンは非常に淡い黄色であるためにアヤメ属植物ではそれ自体では花に黄色を発現させる成分となっているとは考えにくい。

根茎成分としてのイソフラボン

アヤメ属の根茎には非常に稀な構造のイソフラボンが主要成分として存在する。天然に存在するイソフラボンのいくつかは抗菌作用があり、植物が菌から身を守るために生産するファイトアレキシン (phytoalexin) として報告されている (瓜谷・小島 1977; Grayer and Harborne 1994; Ingham *et al.* 1983)。また一方で、イソフラボンは、例えばアカクロバーなどのマメ科植物では、いや地現象を引き起こす物質としても知られている (Tamura *et al.* 1967, 1969; Chang *et al.* 1969)。

残念ながら現在まで、アヤメ属植物のイソフラボンが植物において、どのような機能を有しているのかは解明されていない。しかしイソフラボンの中でも、アヤメ属のイソフラボンにみられるようなメチル化されたものは一般に植物や菌に対して毒性を示すことが多く、おそらくファイトアレキシンとして働いているものと思われる。また、ハナショウブなどアヤメ属植物は連作障害の発生する種が多く、このような現象と物質の構造との関係など、アヤメ属のイソフラボンについては今後の研究を必要とする。

以上のようにアヤメ属植物からは非常に多種多様なフラボノイドが報告されており、特にその

分布や機能について検討し、総括した。しかし、特に根茎に含まれるイソフラボンのように分離同定は行われたものの、その植物における機能や生合成経路についてはほとんど解明されていないのが現状である。さらに、花色との関係についてもアヤメ属植物の鑑賞用としての、より多彩な花色品種の作出のためには、コピグメントとしてのフラボノイドも含めた広範かつ詳細なデータが求められており、よりいっそうのフラボノイドの分析・研究が必要と思われる。

Summary

The genus *Iris* are consist of 150–300 species and mainly native to the temperate zone of the North Hemisphere. Until now, 30–60% of *Iris* species were surveyed for the flavonoids. Anthocyanins, C-glycosylflavones, flavones, flavonols, isoflavones, leucoanthocyanidins, dihydroflavonols, rotenoids, flavanones and coumaranochromones were reported as flavonoid classes from the genus. Of these classes, C-glycosylflavones, i.e., isovitexin, vitexin, orientin, isoorientin, swertisin, swertiajaponin etc., and their O-glycosides are major components, and are found from the leaves and flowers of almost species (Table 1).

Isoflavones, of which many ones are peculiar to *Iris* species or were reported from the genus for the first time, are also major flavonoids. In almost cases, isoflavones are contained in the rhizomes, and but not in flowers and leaves. Majority of iris isoflavones are methoxylated at one or more position(s), or methylendioxyated, such as irisfloreutin, iriflogenin, irisolone, iriskashmirianin etc., and many ones are 6- and/or 8-hydroxylated or methoxylated, such as iristectorigenin, tectorigenin, irisolidone etc, and/or 2'-hydroxylated or methoxylated, such as irisone A, irisone B etc., which are characteristic of iris isoflavones.

Though flavonols are found from some species, they occur as minor components of the leaves (Table 2).

Leucoanthocyanidins, i.e. leucocyanidin and/or leucodelphinidin are also detected from the leaves of many *Iris* species.

Flavones, rotenoids, coumaranochromones, flavanones and dihydroflavonols are minor compounds. Though they are isolated from the rhizomes, a few ones are detected from the leaves of some species. They are rare flavonoids in plants as cases of isoflavones.

Major anthocyanins of *Iris* species are delphinidin, petunidin and malvidin. In almost species, they were isolated from the flowers as 3-O-(p-coumaroylrutinoside)-5-O-glucoside, i.e., delphanin, petanin and ensatin and their deacylated glycosides. Cyanidin and peonidin which are common anthocyanidins in other almost plants were isolated from the flowers of a few cultivars of Japanese garden iris, *I. ensata*, among *Iris* species. However, pelargonidin is not reported in the genus *Iris*.

Xanthoness, which based C₆-C₁-C₆ and differ from the flavonoids (C₆-C₃-C₆), are also widely distributed in *Iris* species. A major compound is C-glycosylxanthone, mangiferin, which occasionally accompanied with isomangiferin and their O-glycosides. Though common xanthoness are isolated from the leaves and flowers, rare irisxanthone, 1-hydroxy-3,5,6-trimethoxyxanthone 2-C-glucoside and 1,3,5,6-tetramethoxyxanthone 2-C-glucoside are detected from the rhizomes of *I. florentina*.

The speciation of *Iris setosa* and two Japanese varieties, var. *hondoensis* and var. *nasuensis* was described as a chemotaxonomical study of *Iris* species using the flavonoids. Moreover, correlation between the flower colors and flavonoids (anthocyanins and C-glycosylflavones as copigments) in cases of *I. tingitana* and *I. ensata*. The function of isoflavones in the rhizomes were also roughly illustrated.

文 献

- Agarwal, V. K., R. K. Thappa, S. G. Agarwal and K. L. Dhar, 1984a. Phenolic constituents of *Iris milesii* rhizomes. *Phytochemistry* **23**: 1342-1343.
- , —, —, M. S. Mehra and K. L. Dhar, 1984b. Isoflavones of two *Iris* species. *Phytochemistry* **23**: 2703-2704.
- Ali, A. A., N. A. El-Emary, M. A. El-Moghazy, F. M. Darwish and A. W. Frahm, 1983. Three isoflavonoids from *Iris germanica*. *Phytochemistry* **22**: 2061-2063.
- Al-Hazimi, H. M. G. and G. A. Miana, 1990. Naturally occurring xanthenes in higher plants and ferns. *J. Chem. Soc. Pak.* **12**: 174-188.
- Al-Khalil, S., D. Al-Eisawi, M. Kato and M. Inuma, 1994. New isoflavones from *Iris nigricans*. *J. Nat. Prod.* **57**: 201-205.
- Arisawa, M., N. Morita, Y. Kondo and T. Takemoto, 1973a. Studies on constituents of *Iris* genus plants. IV. The constituents of *Iris florentina* L. (2). *Chem. Pharm. Bull.* **21**: 2323-2328.
- , —, — and —, 1973b. The constituents of *Iris florentina* L. (3). Structure of irixanthone, a new C-glycosylxanthone. *Chem. Pharm. Bull.* **21**: 2562-2565.
- and —, 1976. Studies on constituents of genus *Iris*. VII. The constituents of *Iris unguicularis* Poir. (1). *Chem. Pharm. Bull.* **24**: 815-817.
- , H. Kizu and N. Morita, 1976. Studies on constituents of genus *Iris*. VIII. The constituents of *Iris unguicularis* Poir. (2). *Chem. Pharm. Bull.* **24**: 1609-1612.
- 有澤宗久・森田直賢・近藤嘉和・竹本常松, 1973. *Iris* 属植物の成分研究 (第6報) ニオイイリス *Iris florentina* L. の根茎成分とシャガ *Iris japonica* Thunb. の花弁成分. *薬学雑誌* **93**: 1655-1659.
- 朝比奈泰彦・柴田文一郎・小川善次, 1928. 鳶尾根の成分テクトリヂンの構造. *薬学雑誌* **48**: 1087-1093.
- Asen, S., R. N. Stewart, K. H. Norris and D. R. Massie, 1970. A stable blue non-metallic co-pigment complex of delphinin and C-glycosylflavones in Prof. Blaauw Iris. *Phytochemistry* **9**: 619-627.
- Ashtakala, S. S. and D. F. Forward, 1971. Pigmentation in iris hybrids: occurrence of flavonoid pigments in six cultivars of *Iris germanica*. *Can. J. Bot.* **49**: 1975-1979.
- Baker, W., 1928. The constitution of irigenin and iridin. Part I. *J. Chem. Soc.* p.1022-1033.
- Bate-Smith, E. C. and J. B. Harborne, 1963. Mangiferin and other glycochenolics in *Iris* species. *Nature* **198**: 1307-1308.
- and T. Swain, 1965. Recent developments in the chemotaxonomy of flavonoid compounds. *Lloydia* **28**: 313-331.
- , 1968. The phenolic constituents of plants and their taxonomic significance II. Monocotyledons. *J. Linn. Soc. Bot.* **60**: 325-356.
- Blinova, K. F., V. I. Glyzin and N. I. Pryakhina, 1977. C-Glycoside from *Iris ensata*. *Chem. Nat. Compds.* **13**: 104 (= *Khim. Prir. Soedin.* p.116, 1976).
- Caillet, M. and J. K. Mertzweiler (eds.), 1988. The Louisiana Iris — The History and Culture of Five Native American Species and Their Hybrids. Texas Gardener Press, Texas.
- Carter, L. C. and B. G. Brehm, 1969. Chemical and morphological analysis of introgressive hybridization between *Iris tenax* and *I. chrysophylla*. *Brittonia* **21**: 44-54.
- Chang, C. F., A. Suzuki, S. Kumai and S. Tamura, 1969. Chemical studies on "clover sickness". Part II. Biological functions of isoflavonoids and their related compounds. *Agric. Biol. Chem.* **33**: 398-408.
- Crawford, R. M. M., D. A. Lindsay, J. C. Walton and B. Wollenweber-Ratzer, 1994. Towards the characterization of radicals formed in rhizomes of *Iris germanica*. *Phytochemistry* **37**: 979-985.
- Dean, F. M., 1963. Naturally Occurring Oxygen Ring Compounds. Butter Worths, London. p.369.
- De Laire, G. and F. Tiemann, 1893. Über Iridin, das Glucosid der Veilchenwurzel. *Ber. Deutsch. Chem. Ges.* **26**: 2010-2044.
- Dewick, P. M., 1994. Isoflavonoids. In: Harborne, J. B. (ed.) *The Flavonoids: Advances in Research Since 1986*. Chapman and Hall, London. p. 117-238.
- Dhar, K. L. and A. K. Kalla, 1972. Isoflavones of *Iris kumaonensis* and *I. germanica*. *Phytochemistry* **11**: 3097-3098.
- and —, 1973. A new isoflavone from *Iris germanica*. *Phytochemistry* **12**: 734-735.
- and —, 1975. Irisolidone from *Iris kashimiriensis*. *J. Indian Chem. Soc.* **52**: 784.
- El-Emary, N. A., Y. Kobayashi and Y. Ogihara, 1980. Two isoflavonoids from the fresh bulbs of *Iris tingitana*. *Phytochemistry* **19**: 1878-1879.
- El-Moghazy, A. M., A. A. Ali, N. A. El-Emary and F. M. Darwish, 1980. Isoflavones from the rhizomes of *Iris germanica*. *Fitoterapia* **51**: 237-238.
- Farkas, L. and J. Várady, 1960. Über die Ringsomerisierung von Isoflavonen, IV. Direktsynthese des Irogenins. *Chem. Ber.* **93**: 2685-2687.

- , —, T. Rettegi, L. Hörhammer, H. Wagner and W. Böhringer, 1966. Über die Ringisomerisierung von Isoflavonen, XIII. Endgültige Konstitutionsaufklärung und vollständige Synthese des Iridins. Chem. Ber. **99**: 865-867.
- 藤田正雄・井上隆夫, 1981. ニオイイリスの成分研究 (第1報) 地下部に含まれる C-Glucosylxanthone の単離およびそれらの合成. 薬学雑誌 **101**: 1118-1123.
- Fujita, M. and T. Inoue, 1982. Studies on the constituents of *Iris florentina* L. II. C-Glucosides of xanthenes and flavones from the leaves. Chem. Pharm. Bull. **30**: 2342-2348.
- Fukui, K. and T. Matsumoto, 1965. The synthesis of irisolone. Bull. Chem. Soc. Japan **38**: 887-893.
- Giannasi, D. E., 1988. Flavonoids and evolution in the dicotyledons. In: Harborne, J. B. (ed.) The Flavonoids: Advances in Research Since 1980. Chapman and Hall, London. p. 479-504.
- Gopinath, K. W., A. R. Kidwai and L. Prakash, 1961. The chemical examination of *Iris nepalensis* - I. Structure of irisolone. Tetrahedron **16**: 201-205.
- , L. Prakash and A. R. Kidwai, 1963. Chemical examination of *Iris nepalensis* D. Don: Part II - Isolation of irigenin. Indian J. Chem. **1**: 187-188.
- Grayer, R. J. and J. B. Harborne, 1994. A survey of antifungal compounds from higher plants 1982-1993. Phytochemistry **37**: 19-42.
- Hanawa, F., S. Tahara and J. Mizutani, 1991a. Isoflavonoids produced by *Iris pseudacorus* leaves treated with cupric chloride. Phytochemistry **30**: 157-163.
- , — and —, 1991b. Flavonoids produced by *Iris pseudacorus* leaves treated with cupric chloride. Phytochemistry **30**: 2197-2198.
- 原 寛・黒澤幸子, 1963. 日本植物の細胞分類学的予察 (2). 植物研究雑誌 **45**: 275-288.
- Harborne, J. B., 1964. Plant polyphenols - XI. The structure of acylated anthocyanins. Phytochemistry **3**: 151-160.
- Hayashi, K., 1940. Isolation of ensatin, an acylated anthocyanin from the flowers of Japanese *Iris*. Proc. Imp. Acad. Tokyo **16**: 478-481.
- , 1941. Studien über Anthocyane, VI. Über Ensatin, ein neues Anthocyanin der Blüten von Japanischen Schwertlilien. Acta Phytotchim. **12**: 65-82.
- 林 孝三, 1940. はなしゃうぶノ花色素ニ就イテ (豫報). 植物学雑誌 **45**: 275-288.
- ・大谷俊二・佐藤克二・津山 尚・石倉成行, 1978. 花色構成物質による日本産 *Iris* の類縁と系統. 進化生研研究報告 **1**: 1-16.
- ・—・岩科 司, 1980. タレユエソウ (エヒメアヤメ) の色素成分について. 進化生研研究報告 **1**: 17-26.
- ・岩科 司・川崎 勝・大谷俊二, 1984. ヒメジャガ *Iris gracilipes* の花のフラボノイド成分. 進化生研研究報告 **2**: 75-83.
- ・大谷俊二・岩科 司, 1989. ヒオウギアヤメおよびその近縁植物における色素成分の比較分析 - 各種のフラボノイドを中心として - . 進化生研研究報告 **6**: 30-60.
- Hegnauer, R., 1986. Chemotaxonomie der Pflanzen. Band 7. Birkhauser Verlag, Basel. p.663-675.
- 平尾秀一・加茂元照, 1981. 最新花菖蒲ハンドブック. 日本花菖蒲協会 (監修). 誠文堂新光社・東京.
- Hirose, R., Y. Kazuta, D. Koga, A. Ide and K. Yagishita, 1981. On the structure of C-glycosyl flavones, flavoayamenin and luteoayamenin, in petals of *Iris nertshinskia* Loddiges form. *albiflora* Honda. Agric. Biol. Chem. **45**: 551-555.
- Hirose, Y., S. Hayashi and E. Kawagishi, 1962. Studies on the valuable utilization of plant products. V. A new flavonoid occurring in the flowers of *Iris tectorum* Maxim. 1. - As a preliminary - . Kumamoto Pharm. Bull. **5**: 324-326.
- 堀中 明, 1980. ジャーマンアイリスの歴史. 塚本洋太郎 (監修) 花菖蒲. 家の光協会・東京. p. 137-198.
- Ingham, J. L., 1983. Naturally occurring isoflavonoids (1855-1981). Fortschr. Chem. Org. Naturst. **43**: 1-265.
- , S. Tahara and J. B. Harborne, 1983. Fungitoxic isoflavones from *Lupinus albus* and other *Lupinus* species. Z. Naturforsch. **38c**: 194-200.
- Ishikura, N., 1978. Light absorption patterns of anthocyanin-containing cells. Plant & Cell Physiol. **19**: 887-893.
- and E. Yamamoto, 1978. Anthocyanins in the flowers of Japanese garden iris belonging to 'Higo' line. Kumamoto J. Sci. Biol. **14**: 9-15.
- , 1980. Anthocyanins in iris flowers. Experientia **36**: 656-657.
- Iwashina, T. and S. Ootani, 1995. Polyphenols in *Iris setosa* var. *canadensis* and their chemotaxonomic comparisons with three Japanese varieties. Ann. Tsukuba Bot. Gard. **14**: 35-41.
- and —, 1996. Flavonoids in the flowers of *Iris laevigata* (Iridaceae). Res. Inst. Evolut. Biol. Sci. Rep. **8**: 41-48.
- , K. Kamenosono and T. Yabuya, 1996. Isolation and identification of flavonoid and related compounds as co-pigmentation from the flowers of *Iris ensata*. J. Jpn. Bot. **71**: 281-287.
- 岩科 司, 1994a. 食品に含まれるフラボノイドとその機能 1. 果物のフラボノイド. 食品工業 **37**(12): 52-70.
- , 1994b. 食品に含まれるフラボノイドとその機能 2. 野菜のフラボノイド. 食品工業 **37**(14): 67-79.
- , 1994c. 食品に含まれるフラボノイドとその機能 3. 作物とお茶のフラボノイド. 食品工業 **37**(16): 67-81.
- , 1994d. 食品に含まれるフラボノイドとその機能 4. ハーブや香辛料などのフラボノイド. 食品工業 **37**(18): 55-69.

- Kachroo, P. K., T. K. Razdan, M. A. Qurishi, M. A. Khuroo, S. Koul and K. L. Dhar, 1990. Two isoflavones from *Iris kashmiriana*. *Phytochemistry* **29**: 1014-1016.
- Kalla, A. K., M. K. Bhan and K. L. Dhar, 1978. A new isoflavone from *Iris kumaonensis*. *Phytochemistry* **17**: 1441-1442.
- Karrer, W., 1958. *Konstitution und Vorkommen der organischen Pflanzenstoffe*. Birkhauser Verlag, Basel. p.548.
- Kawase, A., 1968. Studies on the flavonoid of Iridaceae Part III. On the structure of flavoayamenin, a new C-glycosyl flavone in the petals of *Iris nertschinskia* Loddiges form. *albiflora* Honda. *Agric. Biol. Chem.* **32**: 1028-1032.
- and K. Yagishita, 1968. On the structure of a new C-glycosyl flavone, embinin, isolated from the petals of *Iris germanica* Linnaeus. *Agric. Biol. Chem.* **32**: 537-538.
- , N. Ohta and K. Yagishita, 1973. On the chemical structure of a new isoflavone glucoside, homotectoridin, isolated together with tectoridin from the rhizomes of *Iris germanica* Linnaeus. *Agric. Biol. Chem.* **37**: 145-150.
- Kitanov, G. and N. I. Pryakhyna, 1985. Determination of structure of 6-C-rhamnoglucoside, isolated from *Iris ensata*. *Farmatsiya (Sofia)* **35**: 10-13 (in Russian).
- Köhlein, F., 1981. *Iris*. Timber Press, Portland.
- Kojima, K., P. Gombosurengyin, P. Ondogny, D. Begzsürengyin, O. Zevgeegyin, K. Hatano and Y. Ogihara, 1997. Flavanones from *Iris tenuifolia*. *Phytochemistry* **44**: 711-714.
- Markham, K. R. and L. J. Porter, 1969. Flavonoids in the green algae (Chlorophyta). *Phytochemistry* **8**: 1777-1781.
- , 1988. Distribution of flavonoids in the lower plants and its evolutionary significance. In: Harborne, J. B. (ed.) *The Flavonoids: Advances in Research Since 1980*. Chapman and Hall, London. p. 427-468
- McEwen, C., 1990. *The Japanese Iris*. University Press of New England, Hanover.
- McIlroy, R. J., 1951. *The Plant Glycosides*. Edward Arnold & Co. London. p.43.
- Morita, N., M. Shimokoriyama, M. Shimizu and M. Arisawa, 1972. Studies on medicinal resources. XXXII. The components of rhizome of *Iris tectorum* Maximowicz (Iridaceae). *Chem. Pharm. Bull.* **20**: 730-733.
- , M. Arisawa, Y. Kondo and T. Takemoto, 1973. Studies on constituents of *Iris* genus plants. III. The constituents of *Iris florentina* L. (1). *Chem. Pharm. Bull.* **21**: 600-603.
- 森田直賢・下郡山正巳・清水岑夫・有澤宗久, 1972. 薬用資源の研究 (第33報) イチハツ *Iris tectorum* Maximowicz (Iridaceae) 根の成分について その2. *薬学雑誌* **92**: 1052-1054.
- , 1976. 植物の分類と成分の関連性について. 特にフラボノイドの Chemotaxonomy への応用. *化学教育* **22**: 475-483.
- Murray, D. H., J. Mendez and S. A. Brown, 1982. The Natural Coumarins. Occurrence, Chemistry and Biochemistry. John Wiley & Sons Ltd., Chichester. p.457 and 474.
- Niemann, G. J., 1988. Distribution and evolution of the flavonoids in gymnosperms. In: Harborne, J. B. (ed.) *The Flavonoids: Advances in Research Since 1980*. Chapman and Hall, London. p. 469-478.
- 大滝末男, 1989. 日本産アヤメ科植物. ニューサイエンス社・東京.
- Pailler, M. and F. Franke, 1973. Über Inhaltstoffe der *Iris germanica* (Schwertlilie). *Monatsh. Chem.* **104**: 1394-1408.
- Porter, L. J., 1988. Flavanes and proanthocyanidins. In: Harborne, J. B. (ed.) *The Flavonoids: Advances in Research Since 1980*. Chapman and Hall, London. p. 21-62.
- Prakash, L., A. Zaman and A. R. Kidwai, 1965. The chemical examination of *Iris nepalensis*. III. Isolation and structure of irisolidone. *J. Org. Chem.* **30**: 3561-3562.
- Pryakhina, N. I. and K. F. Blinova, 1984. Luteolin C-glycosides from *Iris ensata*. *Chem. Nat. Compds.* **20**: 107 (= *Khim. Prir. Soedin.* p.109-110, 1984).
- , V. I. Sheichenko and K. F. Blinova, 1984. Acylated C-glycosides of *Iris lactea*. *Chem. Nat. Compds.* **20**: 554-559 (= *Khim. Prir. Soedin.* p.589-595, 1984).
- and K. F. Blinova, 1987. Swertiajaponin from *Iris lactea*. *Chem. Nat. Compds.* **23**: 257-258 (= *Khim. Prir. Soedin.* p.304-305, 1987).
- Richardson, P. M. and E. Lorenz-Liburnau, 1982. C-Glycosylxanthones in the *Asplenium adiantum-nigrum* complex. *Amer. Fern J.* **72**: 103-106.
- and —, 1983. C-Glycosylxanthones in the fern genus *Athyrium*. *Biochem. Syst. Ecol.* **11**: 187-188.
- , 1983. The taxonomic significance of C-glycosylxanthones in flowering plants. *Biochem. Syst. Ecol.* **11**: 371-375.
- Sannie, D. C. and M. H. Sauvain, 1957. *Memoires du Museum National D'Histoire Naturelle. Serie B, Botanique. Les couleurs des fleurs et des fruits. Anthocyanes et flavones*. Editions du Museum, Paris. p.232.
- 佐竹義輔, 1982. アヤメ科. Iridaceae. 佐竹義輔・大井次三郎・北村四郎・巨理俊二・富成忠夫(編) *日本の野生植物 I, 草本*. 平凡社・東京. p. 60-62.
- 芹澤良久・近藤典生, 1992. 日本産ヒオウギアヤメおよびその2変種の染色体研究. *進化生研研究報告* **7**: 19-33.
- Seshadri, T. R., 1962. Isolation of flavonoid compounds from plant materials. In: Geissman, T. A. (ed.) *The*

- Chemistry of Flavonoid Compounds. Pergamon Press, Oxford. p. 6-33.
- Shawl, A. S., Vishwapaul, A. Zaman and A. K. Kalla, 1984. Isoflavones of *Iris spuria*. *Phytochemistry* **23**: 2405-2406.
- , B. A. Dar and Vishwapaul, 1985. Isoflavones from *Iris hookeriana*. *J. Nat. Prod.* **48**: 849-850.
- , N. Mengi, M. K. Kaul and Vishwapaul, 1988a. Flavonoids of *Iris spuria*. *Phytochemistry* **27**: 1559-1560.
- , —, L. N. Misra and Vishwapaul, 1988b. Irispurinol, a 12a-hydroxyrotenoid from *Iris spuria*. *Phytochemistry* **27**: 3331-3332.
- and T. Kumar, 1992. Isoflavonoids from *Iris crocea*. *Phytochemistry* **31**: 1399-1401.
- 柴田文一郎, 1927. イチハツ (鳶尾) の成分研究 (第一報). *薬学雑誌* **47**: 380-385.
- 柴田承二・原田正敏・ウィダグド・ディダルモ, 1960. 和漢薬成分の研究 (第3報) フラボノイド, アントラキノン等の鎮痙作用について. *薬学雑誌* **80**: 620-624.
- Smith, D. M. and J. B. Harborne, 1971. Xanthonenes in the Appalachian *Asplenium* complex. *Phytochemistry* **10**: 2117-2119.
- Stafford, H. A., 1990. *Flavonoid Metabolism*. CRC Press, Boca Raton. p.133-158.
- Stanley, R. G. and H. F. Linskens, 1974. *Pollen. Biology, Biochemistry, Management*. Springer-Verlag, Berlin. p.236.
- Takeda, K. and K. Hayashi, 1964. Oxydative degradation of acylated anthocyanins showing the presence of organic acid-sugar linkage in the 3-position of anthocyanidins; experiments on ensatin, awobanin and shisonin. *Studies on anthocyanins XLIII. Proc. Japan Acad.* **40**: 510-515.
- Tamura, S., C. Chang, A. Suzuki and S. Kumai, 1967. Isolation and structure of a novel isoflavone derivative in red clover. *Agric. Biol. Chem.* **31**: 1108-1109.
- , —, — and —, 1968. Chemical studies on "clover sickness". Part I. Isolation and structural elucidation of two new isoflavones in red clover. *Agric. Biol. Chem.* **33**: 391-397.
- 富野耕治, 1974. 花菖蒲. 泰文館・東京.
- , 1980a. ハナショウブ発達の歴史. 塚本洋太郎 (監修) 花菖蒲. 家の光協会・東京. p. 27-65.
- , 1980b. 歴史の中のアヤメ類. 塚本洋太郎 (監修) 花菖蒲. 家の光協会・東京. p. 67-136.
- Tsukida, K., K. Saiki and M. Ito, 1973. New isoflavone glycosides from *Iris florentina*. *Phytochemistry* **12**: 2318-2319.
- Ueno, N., E. Takemura and K. Hayashi, 1969. Additional data for the paper-chromatographic survey of anthocyanins in the flora of Japan (IV). *Studies on anthocyanins, LXI. Bot. Mag. Tokyo* **82**: 155-161.
- 瓜谷郁三・小島峯雄, 1977. フィトアレキシン等植物異常二次成分. 名取信策・池川信夫・鈴木真言 (編) 天然有機化合物実験法 — 生理活性物質の抽出と分離. 講談社・東京. p. 217-234.
- Williams, C. A., 1979. The leaf flavonoids of the Orchidaceae. *Phytochemistry* **18**: 803-813.
- and J. B. Harborne, 1985. Biflavonoids, quinones and xanthonenes as rare chemical markers in the family Iridaceae. *Z. Naturforsch.* **40c**: 325-330.
- , — and P. Goldblatt, 1986. Correlations between phenolic patterns and tribal classification in the family Iridaceae. *Phytochemistry* **25**: 2135-2154.
- and —, 1988. Distribution and evolution of flavonoids in the monocotyledons. *In: Harborne, J. B. (ed.) The Flavonoids: Advances in Research Since 1980*. Chapman and Hall, London. p. 505-524.
- , — and M. Colasante, 1997. Flavonoid and xanthone patterns in Bearded *Iris* species and the pathway of chemical evolution in the genus. *Biochem. Syst. Ecol.* **25**: 309-325.
- Wollenweber, E., 1994. Flavones and flavonols. *In: Harborne, J. B. (ed.) The Flavonoids: Advances in Research Since 1986*. Chapman and Hall, London. p. 259-335.
- Wong, S.-M., J. M. Pezzuto, H. H. S. Fong and N. R. Farnsworth, 1985. Isolation, structural elucidation, and chemical synthesis of 2-hydroxy-3-octadecyl-5-methoxy-1,4-benzoquinone (irisoquin), a cytotoxic constituent of *Iris missouriensis*. *J. Pharm. Sci.* **74**: 1114-1116.
- , Y. Oshima, J. M. Pezzuto, H. H. S. Fong and N. R. Farnsworth, 1986. Plant anticancer agents XXXIX: Triterpenes from *Iris missouriensis* (Iridaceae). *J. Pharm. Sci.* **75**: 317-320.
- , C. Konno, Y. Oshima, J. M. Pezzuto, H. H. S. Fong and N. R. Farnsworth, 1987. Irisones A and B: Two new isoflavones from *Iris missouriensis*. *J. Nat. Prod.* **50**: 178-180.
- Yabuya, T., 1987. High-performance liquid chromatographic analysis of anthocyanins in induced amphidiploids of *Iris laevigata* Fisch. × *I. ensata* Thunb. *Euphytica* **36**: 381-387.
- , 1991. High-performance liquid chromatographic analysis of anthocyanins in Japanese garden iris and its wild forms. *Euphytica* **52**: 215-219.
- , M. Nakamura and T. Iwashina, 1994a. Flower color variations due to copigments in Japanese garden iris, *Iris ensata* Thunb. *Proceedings of the International Colloquium on Impact of Plant Biotechnology on Agriculture*. p. 239-250.
- , — and A. Yamasaki, 1994b. p-Coumaroyl glycosides of cyanidin and peonidin in the flowers of Japanese garden iris, *Iris ensata* Thunb. *Euphytica* **74**: 47-50.
- , —, T. Iwashina, M. Yamaguchi and T. Takehara, 1997. Anthocyanin-flavone copigmentation in bluish

purple flowers of Japanese garden iris (*Iris ensata* Thunb.). *Euphytica* **98**: 163-167.

藪谷 勤・愛甲一郎・足立泰二. 1988. ヒオウギアヤメおよびその近縁種における含有アントシアニンの HPLC 分析. 育種学雑誌 **38** (別冊 1): 360-361.

——・竹原照美・岩科 司・山口雅篤・斎藤みずえ, 1997. コピグメンテーションによるアントシアニンの 深色化および安定化. 育種学雑誌 **47** (別冊 2): 312.

Zechner, L., 1966. Glycoside. Verlag von J., Cramer, Lehre. p. 55.